

Université de Nantes
Faculté des Sciences et des Techniques

**UTILISATION D'EAUX SALEES SOUTERRAINES EN
BAIE DE BOURGNEUF, POUR LE
PREGROSSISSEMENT INTENSIF DE MOLLUSQUES
FILTREURS EN NOURRICERIE.**

diplôme de recherche de l'Université

présenté par

Jean-Pierre BAUD
le 20 décembre 1991

devant le jury :

Mr Thomas GINSBURGER-VOGEL, Président
Mr Alain BODOY
Mr Maurice HERAL
Mr Jean-Michel ROBERT

Laboratoire de Biologie Marine, Université de Nantes



A mes enfants, Tom et Nico...

RESUME :

L'utilisation d'une eau salée souterraine riche en sels nutritifs et de température constante a permis d'étudier l'influence des paramètres physicochimiques essentiels sur la croissance intensive de naissains de *Crassostrea gigas* et de *Ruditapes philippinarum* en nourricerie durant les périodes hivernales et estivales. Après la mise au point d'un procédé fiable de culture d'une algue fourrage, la variabilité saisonnière des composés biochimiques de la diatomée *Skeletonema costatum* produite en grands volumes extérieurs (50 m³) est étudiée. Les conditions d'élevage lors des différentes expériences sont contrôlées (densité de naissain, débit d'eau de mer, concentration de phytoplancton et température). Les différents résultats biologiques obtenus sont analysés et après traitement des interactions, une hiérarchie des différents paramètres contrôlés a pu être mise en évidence. Cette étude permet à la fois de progresser dans la connaissance des facteurs et des relations complexes liant la croissance des juvéniles au milieu et de proposer une stratégie de prégrossissement des coquillages transférable au secteur aquacole.

Mots-clés : *Ruditapes philippinarum*, *Crassostrea gigas*, prégrossissement intensif, nourricerie, eau salée souterraine, baie de Bourgneuf, relations trophiques.

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	
INTRODUCTION	1
I. LE CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET ECOLOGIQUE DES POLDERS DE BOUIN	6
1.1. Situation géographique	6
1.2. Origine des polders	6
1.3. Climatologie	7
1.4. Caractéristiques hydrologiques	8
1.4.1. L'eau de mer	8
1.4.1.1. Réseau hydraulique	8
1.4.1.2. Caractéristiques physico-chimiques	10
1.5. Utilisation des eaux salées souterraines dans la nourricerie expérimentale	15
II. MATERIELS ET METHODES RETENUS	17
2.1. La nourricerie expérimentale	17
2.2. Utilisation de la ressource thermique des eaux souterraines	17
2.3. Utilisation de la ressource nutritionnelle des eaux salées souterraines pour la production de microphytes	20
2.4. Choix des espèces de bivalves destinés au prégrossissement	24
2.5. Démarche expérimentale au niveau de la nourricerie	25
2.6. Expression des résultats	28
III. RESULTATS	30
3.1. Les variables hydrobiologiques	30
3.1.1. La température, variation et contrôle par échangeur	30
3.1.2. Le phytoplancton : croissance et biomasse pour la diatomée <i>Skeletonema costatum</i>	32
3.2. Croissance des deux espèces de Mollusques Bivalves <i>Ruditapes philippinarum</i> et <i>Crassostrea gigas</i> dans la nourricerie expérimentale	41
3.2.1. La palourde japonaise (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	41
3.2.1.1. Hiérarchisation et définition des paramètres d'élevage en nourricerie : analyses factorielles de correspondance	
3.2.1.2. Performances de croissance	53

3.2.2. L'huître creuse (<i>Crassostrea gigas</i>)	54
3.2.2.1. Hiérarchisation et définition des paramètres d'élevage en nourricerie : analyses factorielles de correspondance	54
3.2.2.2. Performances de croissance	61
IV. DISCUSSION	61
4.1. Actions de la température	61
4.2. Production de nourriture	64
4.3. Apports de nourriture	65
4.4. Rythmes d'apports de nourriture	66
4.5. Aspects économiques	68
V. CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES	69
VI. BIBLIOGRAPHIE	71

AVANT-PROPOS

Avant de présenter ce travail, il m'est agréable de manifester, ici, toute ma reconnaissance aux membres du jury.

Monsieur T. Ginsburger-Vogel, Professeur à l'Université de Nantes qui a bien voulu accepter la présidence de ce jury, ce dont je l'en remercie vivement.

Monsieur J.M. Robert, Professeur à l'Université de Nantes et responsable du Laboratoire de Biologie Marine qui m'a incité à présenter ce mémoire dans le cadre universitaire et m'a encouragé et conseillé lors de la rédaction de ce travail. Je tiens à lui exprimer ici toute ma gratitude.

Monsieur A. Bodoy, Chef du laboratoire URRA/IFREMER de La Tremblade avec qui je travaille depuis cinq ans et qui par sa disponibilité, sa compétence et sa patience m'a permis de progresser dans le travail de recherche et dans la rédaction des publications scientifiques. Je lui en suis très reconnaissant.

Monsieur M. Héral, Chef du Laboratoire LABEIM /IFREMER qui malgré ses nombreuses occupations a accepté de participer à la soutenance de ce travail et demeure toujours disponible pour échanger des réflexions et informer ces collègues sur le plan scientifique. Je l'en remercie très sincèrement.

Je tiens également à remercier :

Monsieur J.P. Dréno, Chef du Laboratoire IFREMER d'Arcachon qui m'a autorisé à utiliser l'ensemble des résultats acquis sur le prégrossissement en nourricerie, pour la rédaction de ce mémoire, alors qu'il était à cette époque responsable du laboratoire de Bouin.

Monsieur C. Bacher, cadre de recherche au laboratoire IFREMER de La Tremblade qui m'a initié aux traitements statistiques et a participé à l'analyse des données.

Monsieur J.P. Flassch, responsable du programme diversification à IFREMER qui m'a toujours soutenu dans mon travail et a participé à l'élaboration des programmes aquacoles et à l'évolution de la station IFREMER de Bouin.

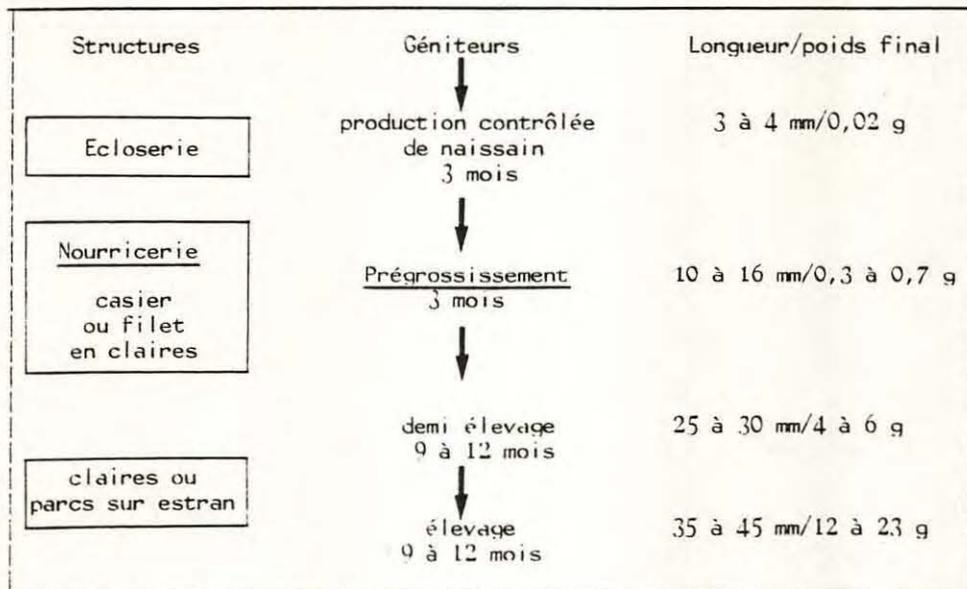
Mademoiselle S. Taillade, secrétaire IFREMER de La Tremblade, qui a assuré la frappe de ce manuscrit ainsi que de nombreux autres avec beaucoup de soin et de manière remarquable.

INTRODUCTION

En raison de l'importance écologique et économique des bivalves filtreurs, naturellement présents ou cultivés sur les zones découvrantes du littoral, de nombreuses études visant à approcher les mécanismes régissant leur croissance ont été réalisées notamment sur des espèces à haute valeur marchande (Winter, 1978 ; Bayne et Newell, 1983).

Grâce à ces connaissances et à la maîtrise technologique de la production de juvéniles en écloserie (Loosanoff, 1963 ; Maurer et Price, 1967 ; Breese et Malouf, 1975 ; Le Borgne, 1980, 1983), il est maintenant possible d'obtenir artificiellement un stock de naissains d'espèces variées et de ne plus être tributaire du caractère aléatoire du captage en milieu naturel, qui caractérise les ostréidés et pectinidés. Ceci permet d'acquérir une plus grande maîtrise zootechnique des différents stades de croissance des mollusques filtreurs. Cependant, les phases principales d'élevage regroupées dans le tableau 1, font encore l'objet d'études fondamentales puis appliquées à chaque stade de production dans le but de définir les conditions optimales de croissance et de survie des coquillages dans les marais littoraux et en milieu ouvert.

Tableau 1 : Phases d'élevage de la palourde japonaise *Ruditapes philippinarum*.



Parmi celles-ci le prégrossissement représente une étape indispensable à la réussite des élevages de mollusques en aquaculture (Bayes, 1981 ; Le Borgne, 1981).

Cette étape décisive, car intermédiaire entre la production contrôlée des larves (écloserie) et le grossissement des coquillages dans la nature, a pour but d'obtenir en un temps réduit et à un coût raisonnable, avec un bon taux de survie, des individus viables susceptibles d'être grossis ultérieurement jusqu'à la taille marchande.

Pour ce faire, diverses techniques peuvent être utilisées (Claus, 1981).

La méthode "extensive" (sans apport de nourriture) :

- En casiers en surélevé en marais ou dans la zone de balancement des marées :

les poches de type ostréicole ou les clayettes sont immergées sur des tables ostréicoles ou des pontons de subsurface dans des bassins d'eau de mer ou claires habituellement utilisés pour l'affinage des huîtres ou sur estran (Anonymes, 1988).

- Sous filet à même le sol : une couche de sédiment est emprisonnée entre deux nappes de filet et protège ainsi le naissain de la prédation en claire ou sur estran. La récolte des palourdes prégressives se fait en relevant la poche formée par le filet (Peyre *et al.*, 1980).

La méthode "intensive" (apport de nourriture exogène) :

En nourricerie de prégrossissement par flux en continu d'un courant d'eau ascendant enrichi ou non en nourriture phytoplanctonique à travers des bacs ou tubes tamis contenant des jeunes bivalves (Sunderlin *et al.*, 1976 ; Lucas, 1978 ; Roels *et al.*, 1979 ; Hadley et Manzi, 1984 ; Manzi *et al.*, 1986).

En baie de Bourgneuf et concernant la méthode extensive en casier, les travaux de Dréno (1979) avaient conduit cet auteur à la conclusion qu'il serait judicieux de rechercher une technique de prégrossissement intensive permettant de contrôler efficacement les paramètres écophysologiques de l'environnement et sur le plan de la gestion vénéricole de réduire la charge importante du temps de main d'oeuvre. C'est ainsi qu'après la construction d'une nourricerie expérimentale en 1982 sur le site de la station IFREMER de Bouin (fig. 1). Les travaux de St Félix, Baud et Hommebon en 1984 permirent de déterminer la

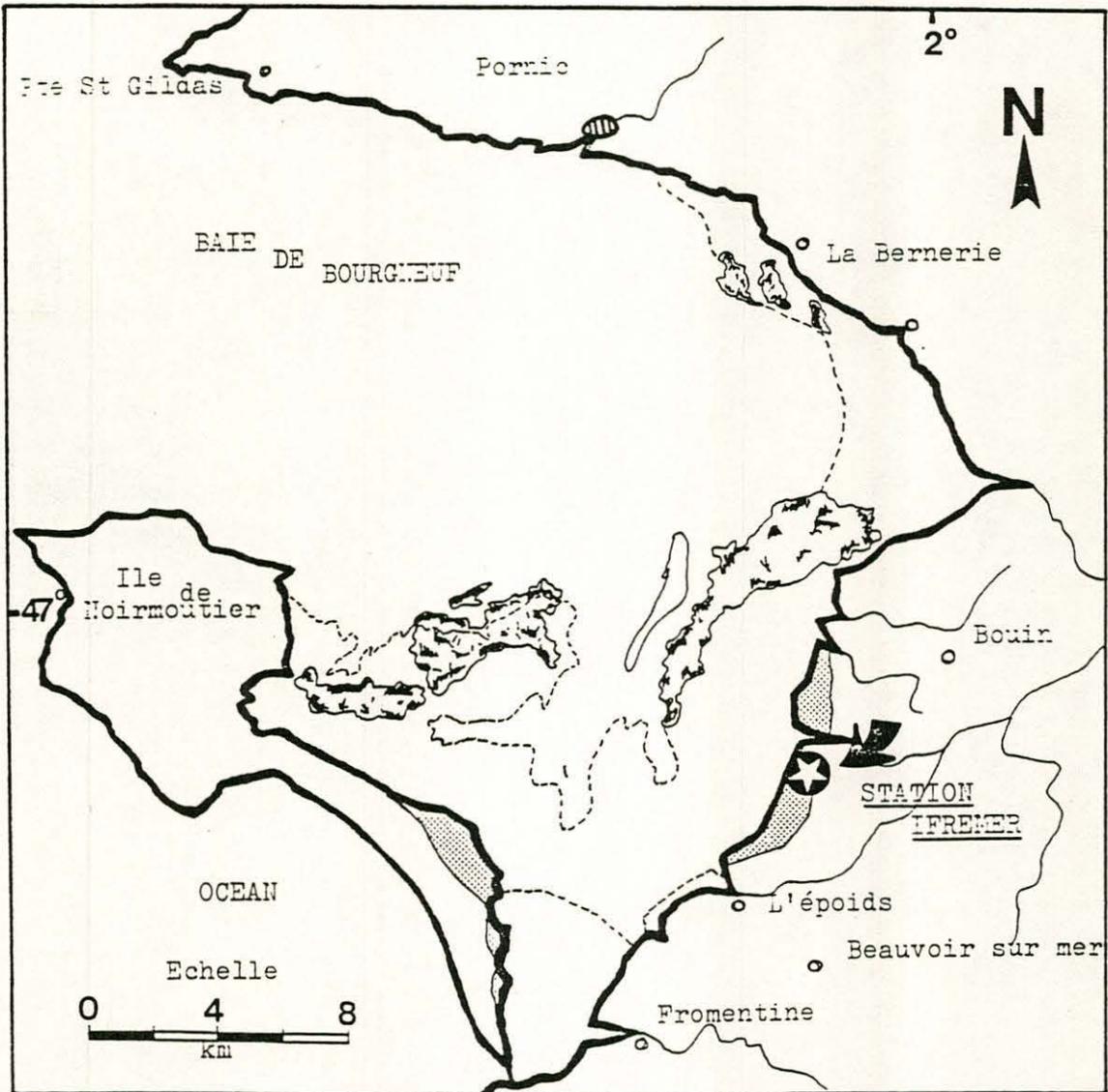
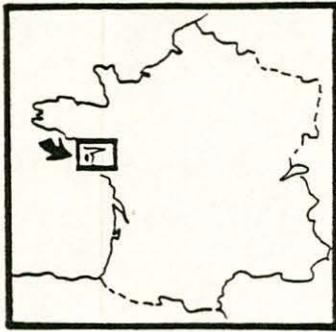


Figure 1 : Localisation de la station IFREMER de Bouin et des Polders (en gris) en baie de Bourgneuf.

qualité de cet outil et ses caractéristiques optimales de fonctionnement (débit, densité, fréquence de nettoyage, etc...) en période printanière et automnale. A la lumière des premiers résultats acquis et dans le but de raccourcir le cycle d'élevage de bivalves comme la palourde, *Ruditapes philippinarum* et l'huître *Crassostrea gigas*, il est apparu nécessaire de décaler les périodes de prégrossissement dans les marais vers l'hiver et l'été, afin de pouvoir semer ultérieurement le naissain au printemps ou en automne, périodes de fortes croissances constatées sous nos latitudes. Il a été ainsi possible en décalant les périodes de prégrossissement, d'une part de diminuer le stress physiologique des juvéniles pouvant entraîner des mortalités en période de carence nutritionnelle ou de basse température et d'autre part d'améliorer le taux de croissance et d'engraissement des bivalves, avant le semis en claire ou sur estran. Enfin, cette technologie s'est avérée transférable aux espèces aquacoles sensibles aux basses températures (pectinidés, crevettes japonaises, bars, daurades, ...).

Au préalable, la connaissance des caractéristiques climatologiques et hydrologiques du champ expérimental est apparue comme un préliminaire à toute définition de protocoles expérimentaux. Il était en effet indispensable de mettre en évidence les facteurs susceptibles de limiter la croissance des bivalves au cours de ces périodes critiques. Les températures hivernales trop basses (Lucas, 1978) et la déficience de nourriture phytoplanctonique en hiver et en été (Prince *et al.*, 1976 ; Mann, 1979 ; Incze *et al.*, 1980) sont alors vite apparues comme les deux éléments critiques à prendre en compte.

Or, la découverte de l'existence des nappes d'eau salée souterraine sur le pourtour de la baie de Bourgneuf, par Bresson en 1981 et les analyses physico-chimiques de leur qualité ont mis en évidence leur constance en température et leur grande richesse en nutriments, donc leur fertilité potentielle pour la production de nourriture phytoplanctonique (Robert, 1987). L'utilisation de cette ressource hydrogéologique devenait alors intéressante pour pallier l'insuffisance des températures hivernales et les déficiences nutritionnelles du milieu naturel. Dès lors, il existait potentiellement une technique permettant d'améliorer les taux de croissance et de survie de deux espèces de bivalves (*C. gigas* et *R. philippinarum*). Cette amélioration, étudiée en nourricerie en faisant varier les paramètres du milieu et les conditions d'élevage pour chaque saison grâce à une approche expérimentale fait l'objet du présent mémoire. Elle comporte une phase de faisabilité, basée sur la mise en évidence de la fertilité potentielle de l'eau salée souterraine pour la production de microalgues, puis une phase

d'optimisation des principaux paramètres agissant sur la croissance des espèces de bivalves étudiées.

La diatomée *Skeletonema costatum* a été choisie comme source de nourriture pour toutes les expériences en raison de sa présence dominante presque toute l'année dans les marais, sa grande adaptation vis à vis des fortes concentrations en ammoniacque issues des eaux salées souterraines et sa facilité de production en grands volumes (Rince, 1979b ; Goldman et Mann, 1980 ; De Pauw *et al.*, 1983 ; Laing, 1985).

L'ensemble des résultats expérimentaux obtenus ont fait l'objet d'un traitement sur les interactions et la hiérarchie des paramètres étudiés. Celles-ci sont étudiées, pour chaque saison, afin de ne retenir que la meilleure stratégie de prégrossissement des deux espèces étudiées. En effet, la présente étude sert également de base à une analyse économique dans un but de transfert de technologie.

En résumé, l'ensemble de ces études doit contribuer à approfondir les connaissances sur les relations trophiques entre un milieu contrôlé et les bivalves en élevage. Il permet également de proposer une méthodologie intensive de prégrossissement transférable au secteur professionnel, afin d'élargir le champ de diversification des pratiques culturales pour les aquaculteurs.

I. LE CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET ECOLOGIQUE DES POLDERS DE BOUIN

1.1. Situation géographique

Au nord du département de la Vendée, proche de la limite sud de la Loire-Atlantique, la station IFREMER de Bouin est située sur le littoral de la baie de Bourgneuf dans une zone de polder de 196 hectares réservés à l'aquaculture. Elle s'étend sur une superficie de 1,6 hectares et possède 5 000 m² de claires expérimentales creusées dans l'argile.

Inserée parmi les 130 exploitations conchylicoles installées dans les deux extrémités de ce polder (fig. 1), elle est une composante privilégiée d'étude et de suivi de cet écosystème côtier.

La baie de Bourgneuf avec 12 600 tonnes de production d'huîtres creuses et 1 200 tonnes de moules de bouchots (Baud et Haure, 1988) est un secteur largement dévolu à la conchyliculture. De plus, ses marais utilisés autrefois pour le sel et ses vastes polders gagnés sur la mer en font une région à forte potentialité pour l'aquaculture extensive et intensive (Robert, 1990).

1.2. Origine des polders

La baie de Bourgneuf a depuis fort longtemps été le siège d'interventions humaines visant à conquérir de nouvelles terres sur la mer.

L'endiguement du littoral a débuté au XI^{ème} siècle avec les techniques développées par les moines bénédictins. De nouvelles techniques de poldérisation importées par les Hollandais au XVII^{ème} siècle ne feront qu'accélérer les conquêtes sur le milieu marin, de terres exhausées par l'envasement naturel de la baie de Bourgneuf. La période la plus intensive de poldérisation restera pour cette région, le XIX^{ème} siècle. Entre 1810 et 1879 diverses sociétés endiguèrent et par la-même annexèrent environ 500 hectares du milieu maritime sur le pourtour de la baie de Bourgneuf (Vergier, 1957). La conquête des polders de Bouin (Vergier, 1961) quant à elle, ne fut effective qu'avec la construction d'une nouvelle digue établie entre 1958 et 1964 et annexant une surface jusqu'alors partiellement inondée entre le port du Bec et le port des Champs.

Les premiers terrains conquis furent tout d'abord cultivés puis exploités pour le sel au XVIIIème siècle. Le déclin des salines accéléra l'exode rural et ce n'est qu'après la dernière guerre et avec la croissance de l'ostréiculture dans les années 60, que les polders en limite de digue, intéressèrent des investisseurs désireux de se livrer à des activités aquacoles.

Depuis, ces zones, après une attribution géographique effectuée par la commune de Bouin entre agriculture et aquaculture, sont partiellement dévolues à des exploitations conchylicoles traditionnelles effectuant le stockage et la préparation des huîtres pour leur expédition.

Pour accélérer la diversification des productions aquacoles des recherches sont actuellement en cours. Elles doivent tout d'abord prendre en compte les caractéristiques climatologiques et hydrauliques propres à ce secteur, de façon à valoriser le site et optimiser les élevages d'espèces de mollusques susceptibles sous certaines conditions, de s'adapter à l'ensemble des marais atlantiques.

1.3. Climatologie

La climatologie décrit un ensemble de phénomènes météorologiques (température, vents, précipitations, insolation) qui caractérisent l'état de l'atmosphère et son évolution en un lieu donné.

Les variations saisonnières induisent sur le milieu marin côtier et plus encore sur l'écosystème des claires, en raison des faibles hauteurs d'eau de mer qui y transitent, des fluctuations des paramètres physico-chimiques influant directement sur le comportement des bivalves filtreurs (Robert, 1983).

Au nord comme au sud de l'estuaire de la Loire, entre le Morbihan et la Vendée, le climat est du type atlantique tempéré, caractérisé par des hivers doux et des étés frais (Héral et François, 1976). L'absence de relief expose l'ensemble des polders à l'action des vents dont le régime et la direction sont caractéristiques du climat régional atlantique tempéré. Les vents dominants, de secteur ouest-sud-ouest (L.C.H.F., 1986) sont à l'origine de fortes houles dans la région septentrionale de la baie de Bourgneuf (Gouleau, 1971b). Les précipitations, dont le maximum se situe en hiver (150 mm d'eau en février) représentent 802 à 867 mm par an. Il est à noter cependant que la pluviosité en baie de Bourgneuf est de

10 à 20 % plus faible que les mesures enregistrées par la station météorologique de Nantes située à 30 km de la côte (Robert, 1983). L'ensoleillement y est important, la durée annuelle d'insolation étant d'environ 2 000 heures (Lemonier, 1980). Les températures de l'air relevées sur 19 ans à la station météorologique de Noirmoutier (Jegou et Creze, 1977) sont en moyenne supérieures à 20°C pour les mois d'été, et inférieures à 10°C pour les mois d'hiver (décembre, janvier, février).

1.4. Caractéristiques hydrologiques

1.4.1. L'eau de mer

1.4.1.1. Réseau hydraulique

A l'origine, créé pour le stockage et le dégorgement des huîtres creuses, le réseau hydraulique du polder de Bouin est composé de deux systèmes autonomes d'alimentation et d'évacuation assurant l'irrigation des deux extrémités du polder par la commande de vannes incorporées dans la digue de protection.

L'eau de mer de la baie de Bourgneuf entre, lors des marées de coefficient au moins égal à 50, dans un canal d'alimentation principal, qui se divise en canaux secondaires perpendiculaires.

De là, chaque conchyliculteur peut, par l'intermédiaire d'une petite écluse ou d'un "busage", alimenter par gravité sa parcelle et évacuer ses eaux usées dans des canaux secondaires. Ceux-ci sont positionnés le long de chaque lotissement et se jettent dans le collecteur principal d'évacuation, large canal régulièrement vidangé à marée basse (fig. 2).

Ce type de configuration hydraulique de par sa cote par rapport à l'estran permet une alimentation gravitaire en continu pour toutes les parcelles grâce à la différence de niveau entre le canal d'alimentation et le canal d'évacuation.

La rétention d'eau est assurée, indépendamment du jeu des marées, par ces deux ouvrages collectifs qui sont gérés par un éclusier, salarié de l'association des utilisateurs du Polder (loi 1901).

Depuis janvier 1988, une extension du canal d'alimentation relie les deux pointes du polder et permettra dans l'avenir, l'exploitation aquacole de la zone centrale sur une superficie de 96 hectares.

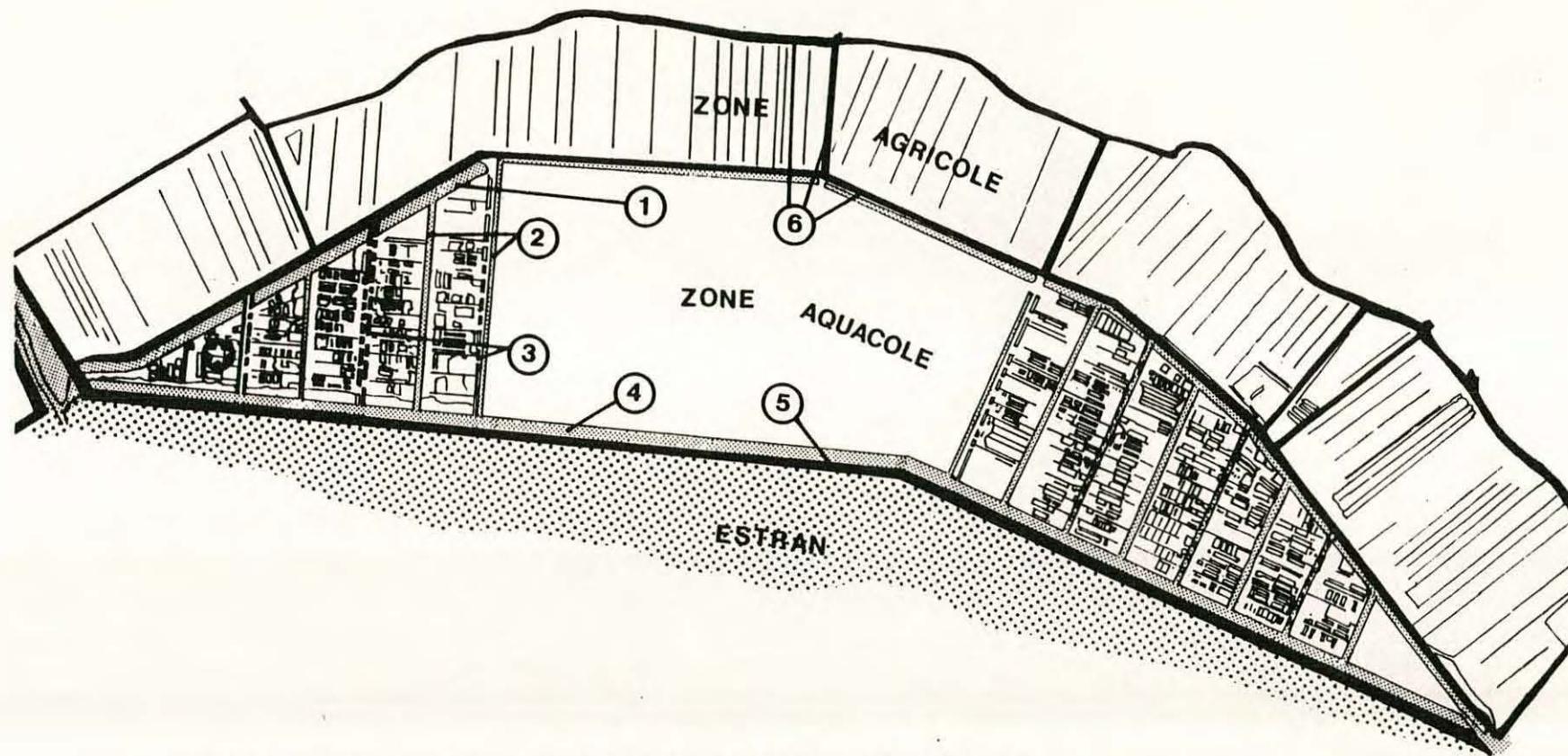


Figure 2 : Description du réseau hydraulique du polder de Bouin :

- ① : Canal d'alimentation principal, ② : Canaux d'alimentation secondaires, ③ : Canaux d'évacuation secondaires, ④ : Canal d'évacuation principal, ⑤ : Digue de front de mer, ⑥ : Chemins d'accès.

1.4.1.2. Caractéristiques physico-chimiques

Le canal d'alimentation secondaire de la station IFREMER (fig. 3) sert d'approvisionnement en eau de mer durant toute la période d'expérience, de décembre 1983 à septembre 1986. Outre les variations climatiques globales, la composition physico-chimique de l'eau de mer agit sur le développement de la production phytoplanctonique, source essentielle de nourriture pour les organismes filtreurs. C'est ainsi que la disponibilité, en termes quantitatifs et qualitatifs, des sels nutritifs est une source de variation de la production primaire (Redfield, 1934 ; Hasting et Thomas, 1977).

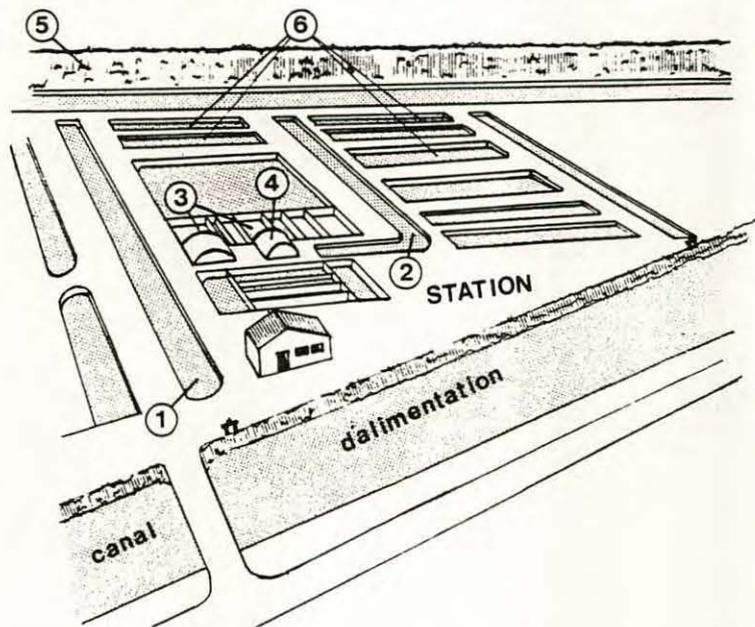


Figure 3 : Schéma de la station IFREMER de Bouin.

- (1) : Canal d'alimentation de la nurricerie, (2) : Canal d'évacuation, (3) : Bacs de production phytoplanctonique, (4) : Nurricerie expérimental, (5) : digue de front de mer, (6) : Claires expérimentales.

Une étude approfondie des successions phytoplanctoniques saisonnières et de l'évolution parallèle des peuplements et de la biomasse algale fixée sur collecteurs expérimentaux, dans les eaux du polder de Bouin ainsi que des relations avec les facteurs abiotiques du milieu, a été réalisée par Na durant l'année 1986. Une partie des analyses a été effectuée dans le canal d'alimentation de la station. Nous en rapportons ici les principales conclusions.

- Température

La mesure des températures moyennes de l'eau prélevée, effectuée quotidiennement à 10 heures dans le canal d'alimentation de la station au cours des années 1984 à 1986 (fig. 4) fait apparaître des valeurs inférieures à 10°C de novembre à février, et supérieures à cette même température, d'avril à octobre. Les températures minimales se situent entre 2,3°C et 5,6°C en février, les températures maximales (moyennes mensuelles) atteignent 20,5°C en juillet.

Les variations saisonnières décrites précédemment sur le plan climatologique induisent donc de façon très nette une variabilité de température annuelle de l'ordre de 16°C.

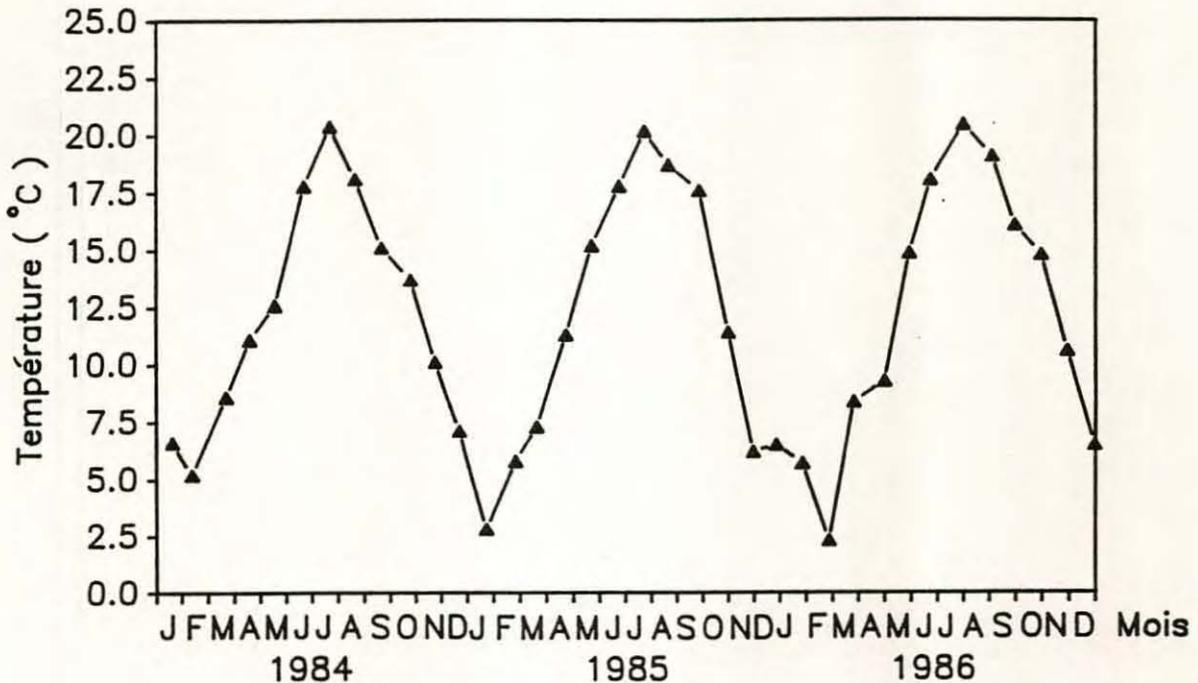


Figure 4 : Variations mensuelles des températures moyennes de l'eau de mer d'alimentation de 1984 à 1986.

- Salinité

Les variations annuelles de salinité sont reportées pour les années 1984 et 1986 sur la figure 5. L'allure générale des variations de salinité similaires à celles des températures est dépendante du niveau d'insolation d'une part et du volume des précipitations d'autre part.

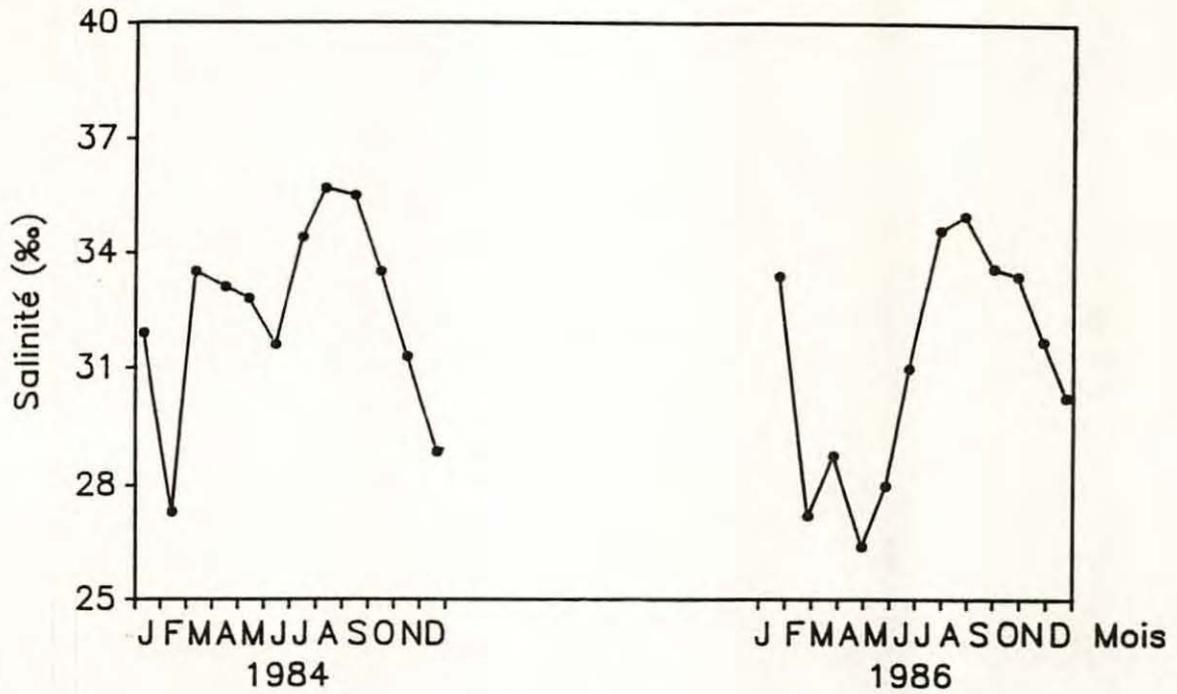


Figure 5 : Variations mensuelles de la salinité au cours des années 1984 et 1986 dans le canal d'alimentation en eau de mer de la nourricerie.

La salinité chute brutalement en hiver avec les pluies abondantes puis remonte au printemps (elle peut redescendre passagèrement en fonction du degré de pluviosité) pour atteindre un maximum en juillet-août. A la fin de la période estivale, la salinité décroît régulièrement jusqu'en février. Les maxima enregistrés en août (35,4 ‰) apparaissent un mois après les plus fortes températures. Les salinités les plus faibles (26,8 ‰) sont obtenues en fin d'hiver et début de printemps, périodes de fortes pluies.

- Turbidité

La turbidité moyenne (6,3 NTU) mesurée dans le canal d'alimentation est inférieure de moitié aux turbidités moyennes relevées au niveau des secteurs ostréicoles de la baie de Bourgneuf (13,2 NTU), (Baud et Haure, 1990). D'après la régression linéaire : $NTU = 0,1470 \text{ SEST} + 2,2296$, ($r^2 = 0,71$) calculée sur 180 couples de données, la charge moyenne en seston total est estimée à 27,7 mg dans le polder alors qu'elle est de 74,5 mg/l dans la zone de balancement des marées. Le circuit d'alimentation de cette zone de polder comporte de longs canaux étroits, ce qui explique cette différence. Cependant la période hivernale 1984 fait apparaître une hausse très nette des valeurs, jusqu'à 76 NTU (fig. 6), qui résulte de l'abondance de pluie et de la présence de vents violents charriant et remettant

en suspension les particules minérales et organiques provenant du sédiment, ou des eaux de ruissellement.

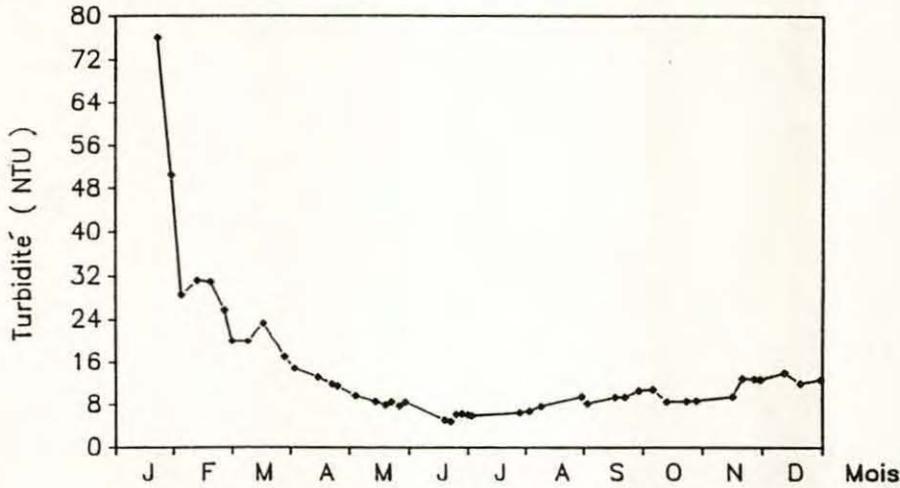


Figure 6 : Variations de la turbidité au cours de l'année 1984 dans le canal d'alimentation de la nourricerie (d'après Na, 1986).

- Saturation en oxygène dissous

La courbe de variation du niveau de saturation en oxygène (fig. 7) met en évidence de faibles concentrations dans le milieu (50 % de saturation) pendant la période estivale. Durant le reste de l'année, la teneur en oxygène oscille entre 80 et 100 % de saturation.

Cette déficience estivale en oxygène est un facteur de fragilité pouvant provoquer des mortalités. Elle devra être prise en considération pour un bon déroulement de l'élevage ou du stockage de bivalves à cette période de l'année.

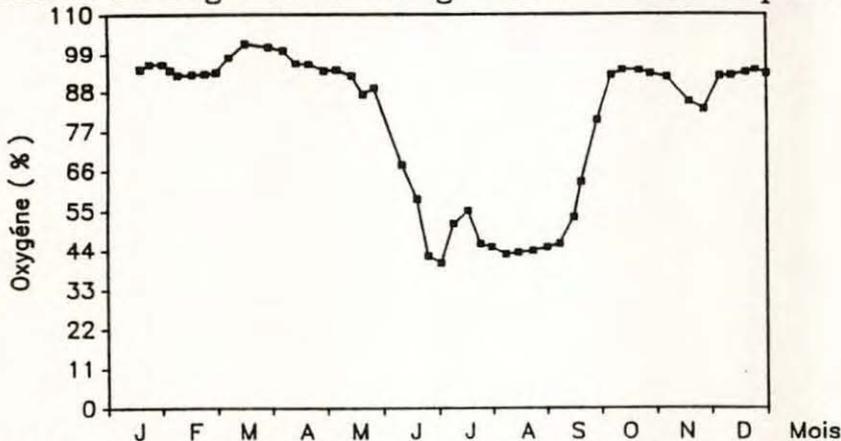


Figure 7 : Variations de la saturation en oxygène dissous, au cours de l'année 1984, dans le canal d'alimentation de la nourricerie (d'après Na, 1986).

- Sels nutritifs

De nombreux auteurs se sont attachés à mettre en évidence la relation étroite qui existe entre la production primaire et les quantités de sels nutritifs présents dans le milieu. Citons entre autres les travaux de Kain et Fogg (1960), Parsons *et al.* (1961) et Redfield *et al.* (1963).

La notion "d'élément ou facteur limitant" contrôlant la production algale a été énoncée par Liebig en 1840. La technique des tests de fertilité (Robert *et al.*, 1979) permet d'une part de mettre en évidence cet élément limitant et d'autre part de déterminer la potentialité de production phytoplanctonique d'un milieu.

Durant l'été, un déficit en azote, qui est apporté pour une grande part à d'autres saisons par le ruissellement des eaux pluviales sur les terres, entraîne une diminution de la teneur en pigments chlorophylliens dans le compartiment pélagique (Robert, 1987). La microflore benthique est moins sujette à ces variations saisonnières (Na, 1986), mais bien que de 25 fois plus importante en biomasse, elle n'est que peu utilisée par les mollusques filtreurs (Zanette, 1980), si elle n'est pas rendue accessible par une remise en suspension.

Selon Rincé (1978) le caractère très saisonnier de la production primaire exprimée en dénombrements phytoplanctoniques et en diversité d'espèces, est caractérisé par des phases de proliférations printanières et automnales et par des phases de ralentissement et de récession en été et en hiver.

Conclusions :

Les caractéristiques climatologiques et hydrologiques de ce secteur permettent de différencier quatre phases annuelles.

Deux périodes favorables :

- Le printemps et l'automne pendant lesquelles les conditions d'ensoleillement, de précipitations et de qualité d'eau créent un milieu propice à la croissance des coquillages filtreurs qui y trouvent le niveau de nourriture et de température suffisant pour une bonne assimilation, ceci induisant une forte croissance.

Deux périodes critiques :

- L'hiver, où les faibles biomasses phytoplanctoniques et les températures basses limitent la croissance des mollusques.

- L'été, période durant laquelle les températures élevées accélèrent le métabolisme des bivalves filtreurs, alors que la population phytoplanctonique assimilable se raréfie avec l'appauvrissement des teneurs en sels nutritifs et le "brouillage" plus ou moins intense dû au zooplancton.

1.5. Utilisation des eaux salées souterraines dans la nourricerie expérimentale

Dans le cadre d'un programme de prospection, mené par la Direction Départementale de l'Agriculture de la Vendée, des forages exploratoires, réalisés en divers points du littoral de la baie de Bourgneuf, ont mis à jour une quantité importante d'eau salée souterraine tant sur l'île de Noirmoutier que sur le continent (Bresson, 1982). Ces nappes aquifères couvrent une vaste surface (150 km²) et sont piégées à une faible profondeur, entre -5 et -15 m dans des calcaires éocènes fracturés situés sous une couche imperméable d'argile (fig. 8).

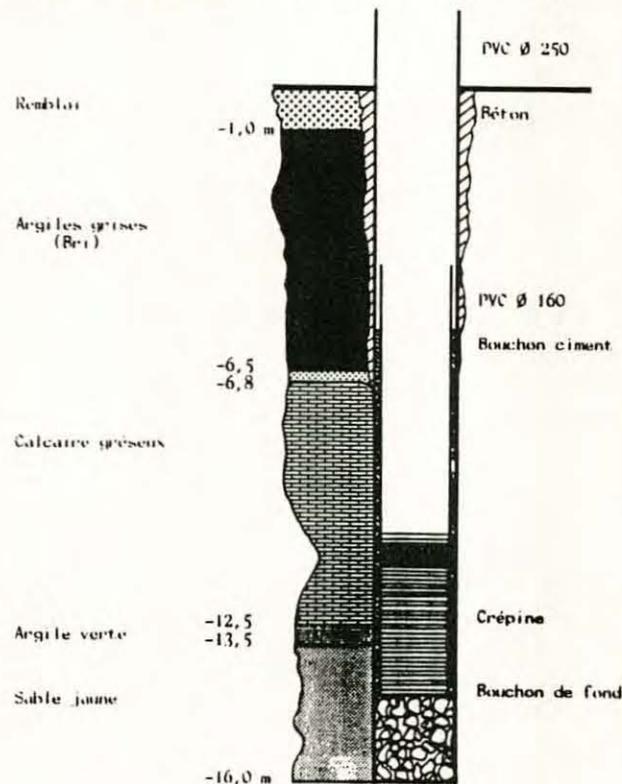


Figure 8 : Environnement géologique et coupe du forage d'eau salée souterraine.

Le volume total a été estimé entre 1 et 3 milliards de m³ sur le pourtour de la baie de Bourgneuf et des essais de pompage de la nappe ont montré, sauf rares exceptions, que l'exploitation de cette eau pouvait se faire à des débits de plusieurs dizaines de m³/h sans rabattement notable du niveau dans le forage (Bresson, comm. pers.). Les caractéristiques physico-chimiques moyennes de l'eau de forage de la station de Bouin sont regroupées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques et teneurs en nutriments de l'eau salée souterraine sur le site de la station IFREMER.

T°C	S ‰	pH	N-NH ₄ ⁺ μg.at.l ⁻¹	N-NO ₂ μg.at.l ⁻¹	N-NO ₃ μg.at.l ⁻¹	P-P ₀₄ μg.at.l ⁻¹	Si-SiO ₃ μg.at.l ⁻¹	Fe total mg.l ⁻¹
13,5	30,4	7,25	307,5	0,2	0,3	24,6	178,9	3,3

Les analyses ont été effectuées sur 20 prélèvements après pompage au débit de 30 m³.h⁻¹, pendant une heure, pour "assainir" la colonne d'eau et durant diverses saisons pour prendre en compte d'éventuelles variations temporelles.

Dans le cas de l'emploi de ces eaux à l'état brut, on peut constater que :

- leur richesse nutritive est élevée, avec une prédominance de la forme ammoniacale sur les formes oxydées de l'azote.

- Le rapport des concentrations en éléments nutritifs notamment de l'azote et du phosphore, ainsi que la grande quantité de silicium tendent à montrer une forte potentialité pour la croissance de diatomées (Redfield, 1934).

- La température constante de 13,5°C, malgré le fait qu'elle caractérise une ressource géothermique de type "très basse température" (Etienne, 1982) permet cependant d'envisager l'utilisation de ces eaux pour réchauffer l'eau de mer en hiver ou la refroidir en été.

Enfin le pH (7,25) plus acide que les valeurs habituelles de l'eau de mer et la présence de fortes teneurs en fer (3,3 mg/l) qui précipite en hydroxyde ferrique au contact de l'air interdisent toute utilisation de cette eau en contact direct avec les bivalves, sans un traitement préalable.

Si les variations des caractéristiques physico-chimiques de ces eaux souterraines sont faibles au sein d'une même aire géographique, elles peuvent être importantes à l'échelle de la baie de Bourgneuf, notamment en ce qui concerne les rapports des concentrations en éléments nutritifs et des salinités (Robert, 1987). Toutefois elles restent, pour la plupart, compatibles avec l'utilisation indirecte (Baud *et al.*, 1991) de cette eau pour la fourniture de calories et la production phytoplanctonique en aquaculture.

II. MATERIELS ET METHODES RETENUS

2.1. La nourricerie expérimentale

Décrite par St Félix *et al.* (1984), la nourricerie de prégrossissement se compose d'un bac tampon, continuellement alimenté en eau de mer par pompage dans le canal d'alimentation, et de 6 couloirs de prégrossissement pouvant contenir chacun 4 tubes tamis d'un diamètre maximum de 50 cm. L'ensemble est protégé par une serre de type agricole (fig. 9). A partir du bac tampon, l'écoulement dans les couloirs se fait gravitairement et alimente en flux continu ascendant (upwelling) les tubes tamis dans lesquels sont élevés les naissains de coquillages.

La figure 9b montre le transit de l'eau à travers les coquillages, qui assure à la fois la fourniture en oxygène et une bonne distribution de la nourriture. A l'origine développé par Budge en 1969 (*in* Claus, 1981), ce dispositif permet d'élever le naissain de bivalves sur plusieurs épaisseurs et évite le colmatage par autonettoyage des fèces et pseudofèces qui sont emportés par le courant ascendant.

2.2. Utilisation de la ressource thermique des eaux souterraines

Pour obtenir un réchauffement efficace de l'eau de mer, plusieurs sources possibles avaient été envisagées : le chauffage direct de l'eau de mer par le fuel, l'électricité ou le gaz étant exclus d'emblée compte tenu de leur coût, l'énergie solaire ne permettant pas d'obtenir des rendements suffisants (C.O.M.E.S., 1983, com. pers.) et l'adjonction d'une pompe à chaleur à la source de calorie que constitue l'eau de forage n'étant pas d'un rapport production/coût favorable, la solution de l'échange direct de calories a donc été jugée la plus favorable.

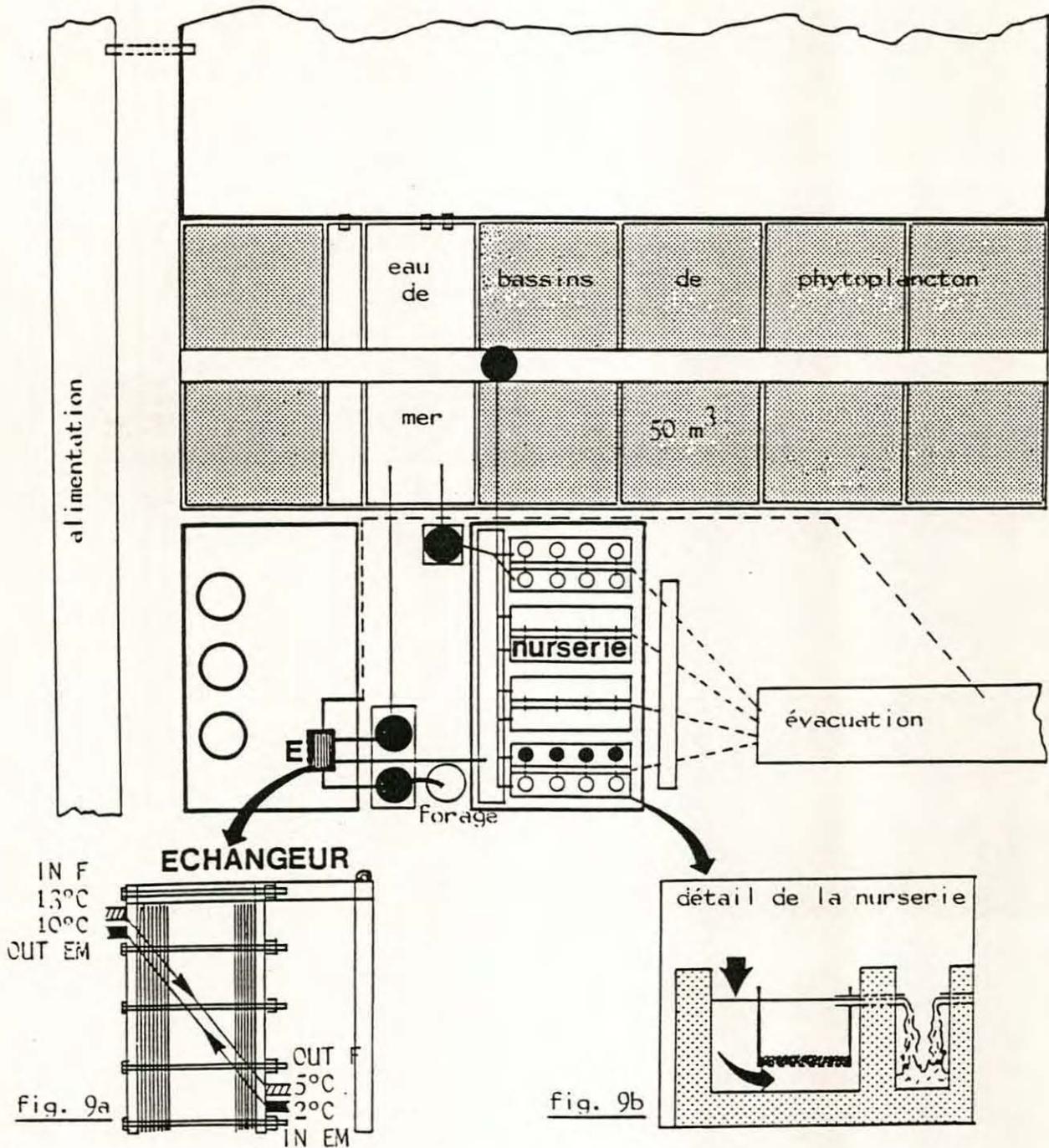


Figure 9 : Schéma et fonctionnement de la structure expérimentale de pré-grossissement intensif.

Celui-ci consiste en un transfert de calories de l'eau de forage (13,5°C) à l'eau de mer par l'intermédiaire d'un échangeur thermique. Dans la nurserie, pour les besoins de l'expérience, un débit de 30 m³ d'eau de mer a été retenu, permettant l'alimentation en eau réchauffée de 10 à 24 tubes tamis selon leur diamètre.

L'échangeur utilisé, est en titane avec un coefficient théorique de transfert de 240 000 Kcal.h⁻¹ permettant de réchauffer l'eau de mer de 2°C à 10°C soit un ΔT de 8°C, pour un débit identique des deux flux à 30 m³/h (fig. 9a). La pression d'entrée de 3 bars est nécessaire pour créer un "flux turbulent" qui évite le colmatage par la charge minérale parfois importante de l'eau de mer en hiver des minuscules canaux situés entre les plaques de l'échangeur. L'eau salée souterraine est donc pompée dans un forage expérimental, réalisé par les services hydrogéologiques de la Vendée en 1982. Ce forage est constitué d'un double tubage de PVC muni d'une crépine de trois mètres de longueur entre -14 et -11 m (fig. 8).

La nappe aquifère ainsi captée dans les calcaires fissurés remonte à hauteur du sol et peut aisément être aspirée à l'aide d'une pompe de surface. Cette eau, injectée dans l'échangeur à plaques de titane, est utilisée comme fluide caloporteur, en cédant ses calories à l'eau de mer l'hiver et en la refroidissant l'été.

La forte teneur en fer (3,3 mg/l) sous forme dissoute Fe⁺⁺ de l'eau souterraine risquait de diminuer le rendement d'échange thermique par déposition d'oxyde ferrique qui à terme colmaterait les microcanaux des plaques de l'échangeur. Le soin apporté au tubage du forage et à l'étanchéité du circuit entre l'aspiration dans le forage et l'injection dans l'échangeur par absence de contact avec l'air a permis au système de fonctionner efficacement. Des baisses de rendement ont nécessité seulement un ou deux nettoyages à l'acide chlorhydrique diluée au 1/10ème pendant les 3 mois de la phase de prégrossissement.

A la sortie de l'échangeur, l'eau souterraine est évacuée dans le réseau de rejet de la station, où, lorsque les besoins s'en font sentir, utilisée pour alimenter les cultures de phytoplancton en grands volumes.

Quant à l'eau de mer échangée, elle s'écoule en continu dans le bac tampon de la nurserie.

2.3. Utilisation de la ressource nutritionnelle des eaux salées souterraines pour la production de microphytes

En aquaculture intensive d'élevage de bivalves, la production d'une nourriture économique, équilibrée et disponible toute l'année est une préoccupation qui mobilise de nombreux chercheurs. Les tentatives de production de nourriture artificielle (Gabbott *et al.*, 1975 ; Masson, 1976 ; Langdon et Siefried, 1984 ; Nell et Wisely, 1985 ; Porteres, 1986) réalisées pour satisfaire les besoins alimentaires croissants durant l'élevage des jeunes coquillages semblent encore, technologiquement et économiquement difficiles à maîtriser. La production d'algues phytoplanctoniques demeure, actuellement, la principale source de nourriture pour les nourriceries de mollusque.

Deux techniques sont utilisées en matière de culture à grande échelle de microalgues :

1°) La production intensive d'une espèce algale. Elle repose sur des techniques connues et maîtrisées. Après filtration de l'eau de mer, celle-ci est enrichie en sels nutritifs, en vitamines et en oligo éléments (milieu de culture de Provasoli, 1957 ou de Guillard Ryther, 1962), est stérilisée. L'ensemencement est réalisé avec une souche axénique d'une espèce phytoplanctonique. La culture monospécifique de l'algue s'effectue en volumes croissants dans des conditions de culture contrôlées.

2°) L'induction de floraisons phytoplanctoniques plurispécifiques par enrichissement direct ou indirect du milieu naturel en sels nutritifs :

- Par ajout de sels nutritifs provenant d'engrais agricole, préalablement dosés et distribués en phase liquide pour une meilleure dilution (Guerin-Ancey *et al.*, 1978 ; Maestrini et Gonzalez-Rodriguez, 1983 ; De Pauw, 1983)

- Par amendements issus de matières organiques ou de déjections d'animaux (Hussenot, 1988)

- Par utilisation d'effluents riches en nutriments (Sauze, 1980 ; Grobbelaar *et al.*, 1981 ; Barnabé, 1986).

Le principal inconvénient de la première méthode est, le coût important d'une telle pratique qui devient rapidement limitant, une fois passé le

Ces différentes algues ont toutes été conservées par repiquage hebdomadaire de manière axénique sur milieu de Provasoli en ballons de 500 ml, sous éclairage artificiel continu.

A partir de ces souches, une adaptation progressive à l'eau souterraine est réalisée en ballons de 20 litres, préalablement stérilisés à l'acide, et remplis d'eau de forage, additionnée de milieu de culture (Provasoli) à raison de 1 ml/l. Ces ballons éclairés et agités continuellement par bullage servent d'inoculum pour des bacs en polyester de 600 litres, installés sous serre, stérilisés au préalable à l'acide chlorydrique puis remplis d'eau salée souterraine. Cette étape, qui nécessite un bullage permanent, est réalisé dans les conditions d'éclairement et de températures extérieures.

Lorsque les concentrations algales sont jugées suffisantes, des volumes unitaires en béton de 50 m³ sontensemencés sous serre pour être utilisés ultérieurement en nourricerie.

Cette approche expérimentale montre la bonne adaptation des six souches testées sur l'eau salée souterraine jusqu'au volume de 600 litres. Les densités numériques de cellules algales varient de 0,8.10⁶ C/ml à 5.10⁶ C/ml selon les espèces (tableau 3).

Cependant à partir d'un volume de 50 m³, seul, deux espèces prolifèrent régulièrement : *Tetraselmis suecica* et *Skeletonema costatum*. Mais c'est pour cette dernière que la reproductibilité des résultats est la plus constante.

Parsons *et al.* (1961) énoncent la conclusion que la composition chimique des algues phytoplanctoniques varie peu, quelle que soit la classe ou la taille de l'espèce, lorsqu'elles sont cultivées dans un même environnement.

Cependant, les mélanges d'espèces et plus particulièrement de diatomées et de flagellés ont généralement un meilleur potentiel nutritionnel qu'une culture monospécifique pour des larves, des juvéniles ou encore des bivalves adultes (Helm *et al.*, 1973 ; Rodde *et al.*, 1976 ; Epifanio *et al.*, 1976 ; Dupuy *et al.*, 1977 ; Helm, 1977 ; Shiraishi in Imai, 1977). Malgré cela et pour des raisons évidentes de simplicité de production et de transfert technologique, la diatomée *Skeletonema costatum* a donc été seule retenue pour constituer "le fourrage" des bivalves en prégrossissement dans notre étude.

Cette diatomée est présente presque toute l'année et en abondance dans les marais atlantiques et particulièrement dans les claires ostréicoles de la baie de Bourgneuf (Rincé, 1979b). C'est ainsi que Robert en 1983 qualifie "d'eaux à *Skeletonema*" les eaux du canal et des claires du polder de Bouin (fig. 10). Sa bonne adaptabilité au cours des saisons est en partie due à sa grande tolérance aux variabilités de température et de salinité. Elle résiste à des gammes de température de 5 à 30°C avec des extrêmes pouvant atteindre 40°C (Matsu, 1954). Des multiplications cellulaires ont été observées pour des salinités allant de 8 ‰ (Ravail et Robert, 1985) à 45 ‰ (Curl et Mc Leod, 1961), les brusques variations positives ou négatives de salinité ne semblant pas perturber sa prolifération. Cependant, les insulations estivales fortes et prolongées risquent selon Ignatiades et Fogg (1973) de ralentir ou d'inhiber la croissance de cette diatomée. Ces diverses caractéristiques ont conduit à adopter un protocole unique de production algale qui servira pendant toute la durée de l'expérience.

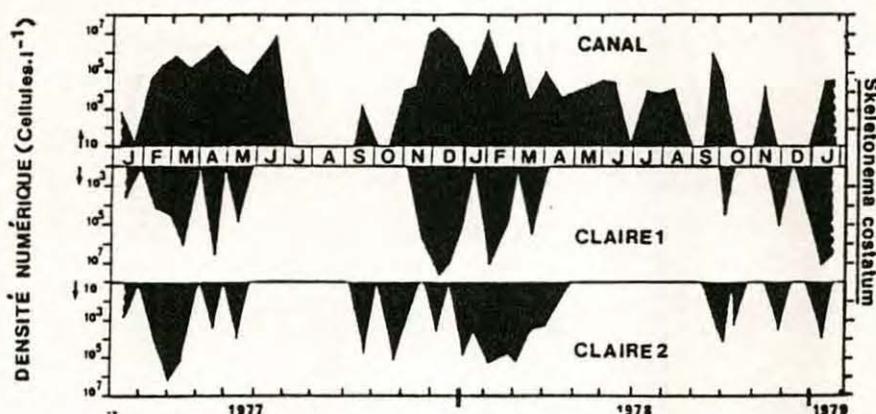


Figure 10 : Evolutions, entre janvier 1977 et janvier 1979, des populations de *S. costatum* dans les eaux du canal et des claires 1 et 2 du polder de Bouin. Pour les eaux des claires, les diagrammes d'abondance de *S. costatum* sont figurés en opposition avec ceux illustrant les variations dans les eaux du canal (d'après Robert, 1983).

La production phytoplanctonique de *Skeletonema costatum*, nécessaire à l'alimentation de la nurserie en hiver et en été s'est effectuée dans 5 bacs en béton de 50 m² de superficie et de 1 mètre de profondeur utile. Ces bassins, individuellement munis de rampes d'agitations qui sont alimentées par un surpresseur à air, communiquent entre eux par l'intermédiaire d'une canalisation enterrée (PVC). Ils peuvent être remplis séparément par pompage d'eau salée

souterraine pour produire après ensemencement un concentré de phytoplancton, distribué à la nourricerie en phase de multiplication intense des cellules.

Les efflorescences sont donc obtenues en conditions extérieures et en volumes finis, par repiquages successifs des bacs. Ceux-ci sont préalablement nettoyés du dépôt provenant de la décomposition des cellules phytoplanctoniques mortes et de la précipitation du fer contenu dans l'eau de forage. Cette décantation, suivie rapidement d'une réduction du milieu, interdit pour l'instant la production à haute densité de cette diatomée en bassin à fond de vase. Si les repiquages du phytoplancton sont toujours effectués d'un bassin à l'autre en phase de division cellulaire active, les cultures se prolongent toute l'année et ne nécessitent pas de volumes intermédiaires.

Pour chaque saison expérimentale, un bac test est suivi quotidiennement pendant toute la croissance et jusqu'à la senescence de la population, par dénombrement des cellules sur lame hématimétrique type cellule de Malassez. La biomasse algale produite est estimée par dosage des pigments (Chlorophylle a (chl_a) et phéophytine a), selon la méthode spectrophotométrique de Lorenzen (1967).

Les variations des teneurs en éléments nutritifs sont évalués sur auto-analyseur Technicon (Treguer et Le Corre, 1975), après filtration des prélèvements sur filtre Whatman GF/C et récupération du filtre, stockage en flacons de 50 cc et congélation pour analyses (azote nitreux et nitrique, phosphates et silicates). L'azote ammoniacal est fixé dès le prélèvement en flacon de 50 cc et analysé au spectrophotomètre, après 24 heures de réaction, selon la méthode de Koroleff (1969).

La salinité est déterminée par la méthode réfractométrique de Benard (1963). La température est relevée *in situ* à l'aide d'un thermomètre au mercure 1/10ème de degré. Le pH est mesuré à l'aide d'un pHmètre de terrain Prolabo modèle P3, gradué au 1/10ème d'unité. Le seston total est estimé par pesée après élimination des sels par lavage au formiate d'ammonium et dessiccation à l'étuve (50°C pendant 48 h). La matière organique en est soustraite par crémation à 500°C pendant 1 heure. Les glucides particuliers sont dosés selon la méthode de Dubois *et al.* (1956) en suivant le protocole de Malara et Charra (1972). Les protéines particulière sont dosées selon la méthode de Lowry *et al.* (1951) et les lipides particuliers, après extraction dans le chloroforme, sont mesurés selon la méthode de Marsh et Weinstein (1966). Pour évaluer les variations à chaque saison de la qualité du milieu d'élevage, des dosages de chlorophylle a et de

phéopigments ainsi que des dénombrements des cellules microalgales sont réalisées 2 fois par semaine sur le concentré de phytoplancton et l'eau de mer transitant dans la nourricerie.

2.4. Choix des espèces de bivalves destinés au prégrossissement

La nourricerie est un outil polyvalent de prégrossissement utilisable pour la plupart des bivalves filtreurs (ostréidés, vénéridés et dans une moindre mesure, pectinidés). Cependant, pour rentabiliser la mise en oeuvre des techniques intensives, il est actuellement nécessaire de favoriser les espèces à valeur commerciale élevée ou/et à forte demande pour la phase de grossissement.

Deux espèces ont donc été testées : la palourde japonaise *Ruditapes philippinarum* (R.P.) et l'huître creuse d'origine japonaise *Crassostrea gigas* (Thunberg) (C.G.). Ces deux bivalves sont réputés pour leur rusticité et leur tolérance vis à vis de brusques changements de température et de salinité. Ils s'adaptent bien aux contraintes de milieu rencontrées dans les marais atlantiques.

La recherche sur la vénériculture a débuté à grande échelle en 1982 dans différents organismes français de recherche. Les résultats obtenus ont été concrétisés par l'implantation de professionnels vénériculteurs sur la frange littorale de nos côtes. La palourde japonaise *Ruditapes philippinarum*, de par sa plus grande résistance et sa meilleure vitesse de croissance (De Kergariou *et al.*, 1981 Bodoy *et al.*, 1986) a supplanté la palourde européenne *Venerupis decussatus* en éclosion et à tous les stades de l'élevage, sur la côte atlantique.

L'huître creuse quant à elle avec *Crassostrea gigas* reste la première espèce quant au volume de coquillage d'élevage produit en France. Les surcharges mises en évidence dans certains secteurs atlantiques (Bodoy *et al.*, 1987 ; Baud et Haure, 1987, 1988) incitent les biologistes à proposer à la profession ostréicole des mesures de gestion du cheptel d'huître creuse. Parmi ces mesures, une rationalisation des méthodes culturales par création d'une filière d'élevage d'huître dite "une à une" serait envisageable. Ces huîtres "une à une" provenant directement d'éclosion ou de télécaptage sur des collecteurs détachables peu après la fixation (Baud et Jolly, sous presse), nécessiteraient un prégrossissement en nourricerie. De ce fait, cette filière éliminerait partiellement

les collecteurs sur parc, qui restent actuellement une source importante de surcharge dans ces écosystèmes.

De plus, ces deux espèces sont de plus produites régulièrement en éclosion toute l'année, ce qui permet d'obtenir des lots de tailles homogènes pour chaque début d'expérience.

2.5. Démarche expérimentale au niveau de la nourricerie

Pour chaque saison critique de prégrossissement, la démarche suivante, en deux temps, a été adoptée :

Une phase exploratoire ou de faisabilité pendant laquelle les principaux paramètres environnementaux, ainsi que les moyens permettant d'augmenter la température et d'enrichir le milieu d'élevage sont cernés.

Une phase d'optimisation, basée sur les résultats précédemment acquis et au cours de laquelle les paramètres influençant la croissance et la mortalité sont étudiés de manière plus fine, pour permettre une analyse de leur importance respective et déboucher sur la mise au point d'une technique de prégrossissement pour chaque saison, transférable à la profession conchylicole.

L'étude s'est donc étalée sur plusieurs années pour retrouver les conditions expérimentales climatologiques et hydrologiques particulières à chaque saison (tableau 4).

Tableau 4 : Epoque et durées des différentes expériences de prégrossissement.

Saison et année	codifiée en	Dates de début et de fin	Durée de prégrossissement en jours
Hiver 83-84	HIV 1	03.01 au 26.03	82
Hiver 84-85	HIV 2	03.12 au 04.03	91
Eté 84	ETE 1	24.07 au 02.10	70
Eté 85	ETE2	28.06 au 10.09	74
Eté 86	ETE 3	19.06 au 18.08	60

Variables environnementales

En nourricerie, le taux de croissance du naissain est dépendant de nombreux paramètres parmi lesquels nous citerons les principaux :

- la saison de prégrossissement (1)
- le débit d'eau de mer transitant dans chaque tube-tamis (2)
- la densité de bivalves par tube tamis (3)
- la qualité et la quantité de nourriture phytoplanctonique apportée (4)
- la fréquence de distribution de la nourriture (5)
- la température d'élevage et ses variations (6)

Pour faciliter le suivi des paramètres et pour définir un protocole d'élevage à la fois efficace et simple d'emploi à des fins de transfert, les débits, les densités et les volumes de nourriture distribués restent constants tout au long d'une période expérimentale.

Deux débits et deux densités sont donc étudiés, selon les critères de prégrossissement définis au printemps et en automne par St Félix *et al.* en 1984, soit 25 000 et 50 000 individus pour 1 m³/h et 3 m³/h d'eau de mer par bac-tamis de diamètre 50 cm et de vide de maille allant de 1 à 3 mm. Le tamisage régulier du naissain, qui permet une meilleure homogénéisation des tailles finales n'a pu être pratiqué car chaque bac tamis possède ses propres paramètres d'élevage qui doivent rester constants au cours de chaque expérience.

Tous les couloirs de prégrossissement sont occultés par une bâche évitant ainsi le fouling, responsable de variations de croissance (Lucas, 1977). Le nettoyage, nécessaire à l'élimination des débris organiques et inorganiques et au brassage des mollusques, est effectué une fois par semaine. Une pompe munie d'une horloge reliant les bacs de phytoplancton aux couloirs de prégrossissement distribue la nourriture selon un rythme de 3 heures d'apport pour deux heures d'arrêt, soit 14 heures d'alimentation sur 24 heures. Enfin, différentes températures d'élevage sont testées pour chaque espèce, en fonction du passage de l'eau de mer dans l'échangeur (eau réchauffée l'hiver et refroidie l'été).

Pour les six paramètres environnementaux ((1) ; (2) ; (3) ; (4) ; (5) ; (6)) contrôlés à la fois pour *Ruditapes philippinarum* et *Crassostrea gigas*, 17

modalités différentes ont été considérées. Elles sont regroupées ainsi que leurs croisements dans le tableau 5.

La programmation des expérimentations sur plusieurs années a permis de sélectionner progressivement les conditions expérimentales les plus intéressantes et d'éviter les croisements systématiques de tous les paramètres entre eux.

Les variations principales de débit s'échelonnent donc de 40 ml/h/ind. à 120 ml/h/ind. Quant à la densité de bivalves par unité de surface, elle oscille entre 12,5 ind./cm² et 25 ind./cm². Les volumes injectés de phytoplancton sont réglés après ajustement de l'injection discontinue de la culture de *Skeletonema costatum* et avec mélange de 3 m³.h⁻¹ d'eau de mer pour obtenir la concentration théorique de 20 µg.l⁻¹ de chlorophylle a en modalité C2.

Cette biomasse phytoplanctonique, qui est celle rencontrée en claire durant les blooms printaniers, a été divisée de moitié (C1) et augmentée du double (C4) pour permettre une analyse plus large de l'impact biologique de ce paramètre sur la croissance des bivalves.

Tableau 5 : Paramètres et modalités d'élevage pour *R. philippinarum* et *C. gigas* rapportés à l'unité de production (tube tamis de diamètre 50 cm). DB1 = 1 m³.h⁻¹ ; DB3 = 3 m³.h⁻¹ ; D25 = 25 000 individus ; D50 = 50 000 individus ; Co = témoin sans apport de *S. costatum* ; C1 = 75 l.h⁻¹ de culture de *S. costatum* ; C2 = 150 l.h⁻¹ de culture de *S. costatum* ; C4 = 300 l.h⁻¹ de culture de *S. costatum* ; DISC = injection discontinue de *S. costatum* ; CONT = injection permanente de *S. costatum* ; NAT = eau naturelle (température extérieure) ; ECH = eau échangée (eau naturelle transitant à travers l'échangeur thermique).

Paramètres	Modalités				
	HIVER 1	HIVER 2	ETE 1	ETE 2	ETE 3
Saison (1)	HIVER 1	HIVER 2	ETE 1	ETE 2	ETE 3
Débit eau de mer (2)	DB1, DB3	DB1, DB3	DB1, DB3	DB3	DB3
Densité (3)	D25, D50	D25, D50	D25	D25, D50	D25
Débit injecté de <i>S. costatum</i> (4)	C0, C2	C1, C2, C4	C0, C1 C2, C4	C0, C1 C2, C4	C2
Fréquence de distribution (5)	DISC	DISC	DISC	DISC	CONT DISC
Qualité d'eau de mer (6)	ECH NAT	ECH	NAT ECH	NAT	NAT

La notion de concentration cellulaire dans le milieu est exprimée par le rapport du débit en eau de mer sur le débit injecté de *Skeletonema costatum*.

Les croisements sélectionnés entre modalités et paramètres totalisent 40 expériences pour les palourdes et 36 expériences pour les huîtres, qui se sont étalées sur 3 ans, en hiver et en été. Leurs influences respectives sont analysées en terme de croissance.

2.6. Expression des résultats

- Les différentes nourriceries commerciales vendent le naissain de bivalves en fonction d'une gamme de taille. Ces lots homogènes en taille sont préalablement tamisés manuellement ou mécaniquement sur des grilles ajourées et calibrées. Ces tamis définissent des classes de taille de mollusques. Il est remarquable de noter qu'à ce stade de l'élevage aucune mesure de poids individuel ne soit prise en compte pour la vente.

- Afin de pouvoir comparer les résultats de la plupart des publications faites sur les performances de croissance des différentes espèces de bivalves en prégrossissement, le taux instantané de croissance rapporté à 30 jours ou G30, est couramment utilisé (Ricker, 1968 ; Spencer et Gough, 1978 ; Claus, 1981). La formule s'établit ainsi :

$$G30 = \frac{30}{t-t_0} \cdot \ln \frac{L_t}{L_{t_0}}$$

L_{t0} = longueur initiale,

L_t = longueur finale,

t-t₀ = durée du prégrossissement en jours.

Pour prendre en compte ces approches différentes, le suivi de la croissance des bivalves a été réalisé de deux manières :

- mensuration individuelle au 1/10ème de mm, effectuée au pied à coulisse sur un échantillon de 30 à 60 individus par tube tamis prélevés au hasard et pesée au mg, d'un lot de 100 individus pour chaque bac d'élevage, tous les 15 jours.

- Détermination de la distribution en classe de taille homogène, réalisée par un tamisage de la totalité de la population de chaque bac tamis en fin d'expérience. Ainsi l'histogramme de fréquences de taille représente fidèlement la performance moyenne de croissance et la dispersion autour de cette moyenne, les populations initiales étant homogènes.

- Pourcentage de mortalité pour chaque bac, calculé par différence entre le nombre de naissains au début et à la fin du prégrossissement.

Méthode d'analyse de croissance

En raison de l'importance en nombre des croisements, et de la difficulté à faire apparaître clairement l'influence des divers paramètres et de leurs interactions, nous avons étudié les différences de répartition des classes de taille obtenues par tamisage final, à l'aide de l'analyse factorielle simple des correspondances (AFC). Les données ont été traitées à l'aide du programme STATITCF (1987) qui fournit les résultats suivants :

- les pourcentages de variance expliqués par les axes principaux, où en d'autres termes la variance expliquée sur chaque axe,

- la projection graphique des coordonnées des classes de taille sur les axes ainsi que le tableau des colonnes définissant dans notre cas les différentes classes de taille. Pour chaque classe de taille le tableau précise sa qualité de représentation (C02) et la contribution relative à l'explication de l'axe (CTR).

En outre, pour chaque analyse, il est possible d'introduire comme variables illustratives ou supplémentaires, les différents paramètres croisés dans le lot d'expériences considérées (NAT ; ECH ; DB1 ; DB3 ; D25 ; D50 ; Co ; C1 ; etc...). Ces paramètres ne participent pas à l'explication des axes (absence de CTR) mais élaborent des liaisons entre les classes de taille et les paramètres de prégrossissement, illustrées clairement sur les plans factoriels. Si leur qualité de représentation (C02) est bonne, ils permettent l'interprétation dans le cadre de la définition d'un protocole d'élevage.

Il est également possible grâce à l'étude des variables supplémentaires de "sélectionner" les variables dans un ordre d'influence décroissante et ce, malgré

des liaisons non linéaires, difficilement accessibles par d'autres méthodes (régression).

III. RESULTATS

3.1. Les variables hydrobiologiques

3.1.1. La température, variation et contrôle par échangeur

Les températures moyennes saisonnières, en eau naturelle et après passage à travers l'échangeur thermique sont regroupées dans le tableau 6. En hiver, l'eau de mer échangée se caractérise par des températures moyennes supérieures ou égales à 10°C, pour une température moyenne de l'eau de l'ordre 5°C, dans le milieu naturel.

Tableau 6 : Variations des températures moyennes en eau de mer (prélèvements effectués à 10 h du matin) pour chaque saison de prégrossissement, en eau naturelle (température extérieure) et en eau échangée (température de l'eau de mer après passage à travers l'échangeur thermique). L'écart-type est donné entre parenthèses.

Saison	TEMPERATURE °C							
	Eau naturelle				Eau échangée			
	Mini	Moyenne	Maxi	Moyenne saisonnière	Mini	Moyenne	Maxi	Moyenne saisonnière
HIVER 1	2,6	5,1 (0,4)	10,0	4,9 (0,5)	10,0	11,7 (0,1)	13,0	11,2 (0,1)
HIVER 2	-2,0	4,7 (0,5)	10,0		8,0	10,8 (0,1)	13,0	
ETE 1	13,5	19,9 (0,4)	24,5	19,9 (0,4)	13,5	16,9 (0,2)	20,0	
ETE 2	15,2	19,2 (0,2)	23,5					
ETE 3	17,2	20,5 (0,2)	23,5					

En été, la température moyenne de l'eau échangée est de 16,9°C alors qu'elle est de 19,8°C en eau de mer naturelle avec des maxima de 24,5°C.

Pendant cette saison, les fluctuations thermiques journalières de l'eau naturelle sont brutales et peuvent faire varier la température au cours d'une

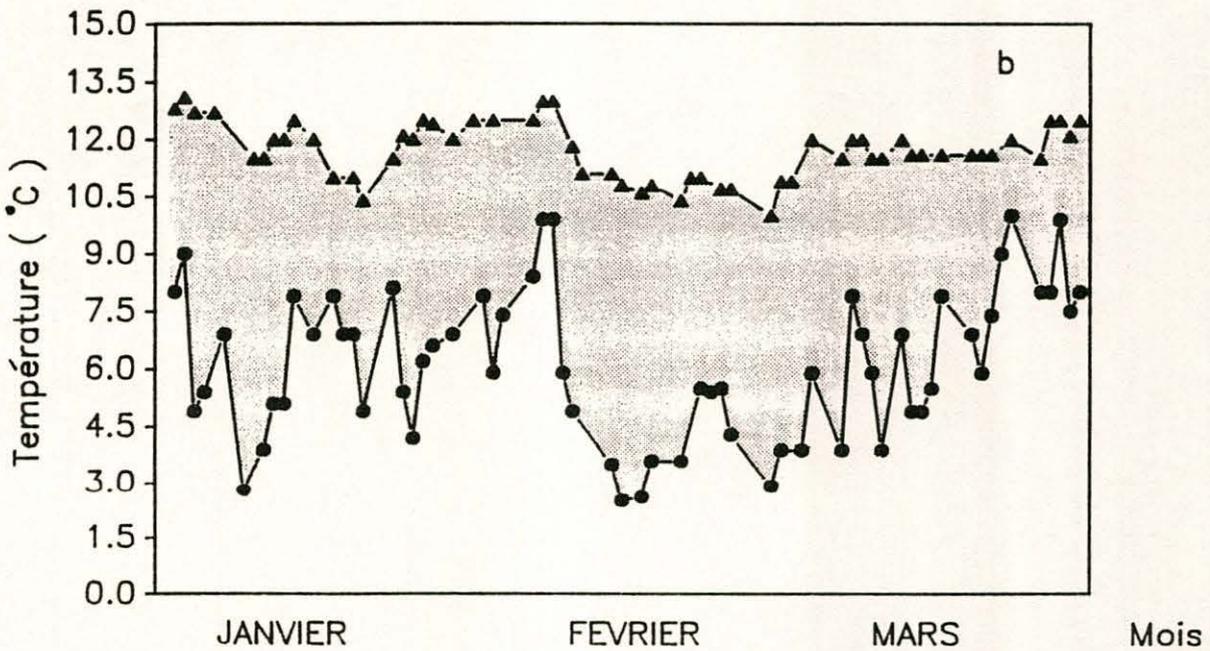
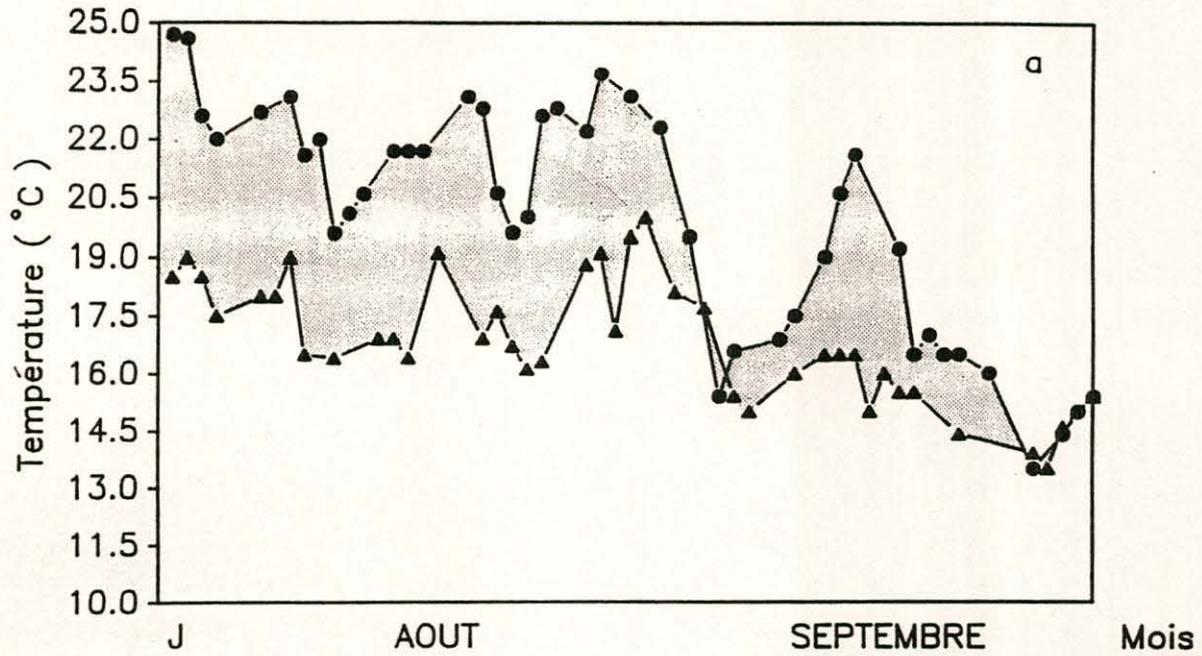


Figure 11 : Evolution de la température avec ou sans utilisation de l'échangeur thermique, a) en été ; b) en hiver. (▲-▲) eau échangée, (●-●) eau naturelle.

période de prégrossissement de 14 à 25°C (fig. 11a). Durant l'hiver, l'amplitude de température oscille entre 2 et 10°C (fig. 11b).

Les différences de température enregistrées entre l'eau échangée et l'eau naturelle rendent compte du bon rendement de l'échangeur thermique employé. Ce rendement est toutefois meilleur en réchauffement qu'en refroidissement. Il est cependant limité par la température relativement basse (13,5°C) de l'eau de forage. La reproductibilité sur 2 ans des gains thermiques obtenus l'hiver et la similitude des variations des températures estivales sur 3 ans permettent ainsi de regrouper les résultats des différentes expériences dans le cadre d'un hiver-type et d'un été-type (fig. 12).

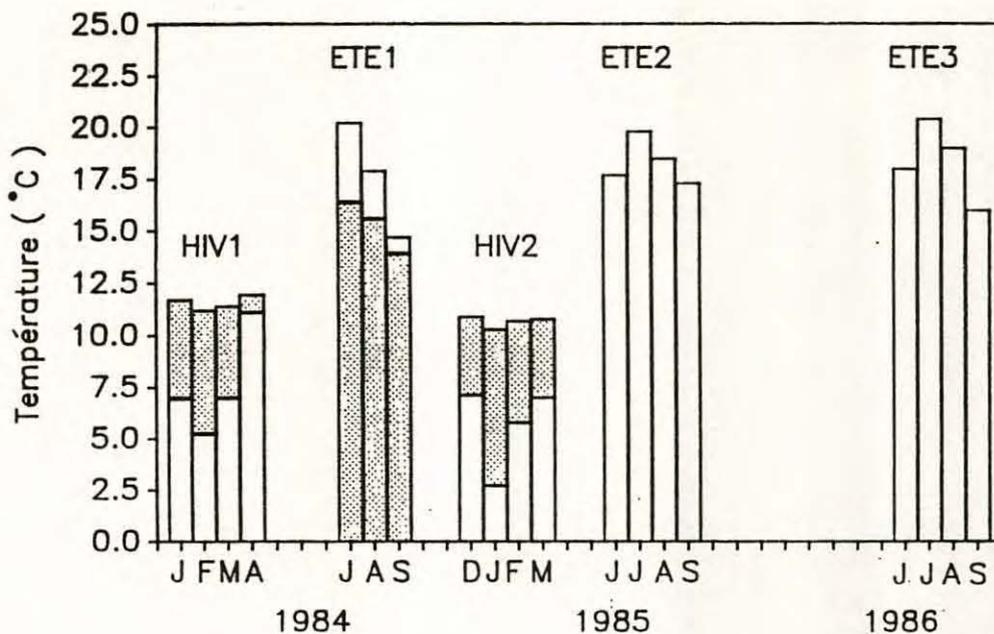


Figure 12 : Evolutions comparées de la température pendant les différentes saisons estivales et hivernales de prégrossissement ; □ eau naturelle ; ▨ eau échangée (l'échangeur n'a pas été utilisé pendant l'été 2 et l'été 3).

3.1.2. Le phytoplancton : croissance et biomasse pour la diatomée *Skeletonema costatum*

- Période hivernale

Le suivi de l'évolution d'une production hivernale de *Skeletonema costatum* en bac de 50 m³ s'est déroulé en février 1986 pendant 24 jours au cours

desquels la phase de croissance du phytoplancton s'est prolongée pendant 14 jours pour régresser ensuite en une phase de senescence d'une durée de 10 jours.

La température de l'eau salée souterraine a varié de 5,0 à 10,7°C pour une salinité constante, d'environ 30 ‰. Le pH, de 7,9 au premier jour, a atteint 8,9 le 14ème jour. Cette valeur maximale est à relier au maximum de concentration cellulaire de *Skeletonema costatum* ($880 \times 10^6 \text{ C.l}^{-1}$) qui correspond à la phase d'épuisement total de NH_4^+ (source la plus importante de l'azote), ainsi qu'à l'utilisation partielle des phosphates et des silicates du milieu (fig. 13).

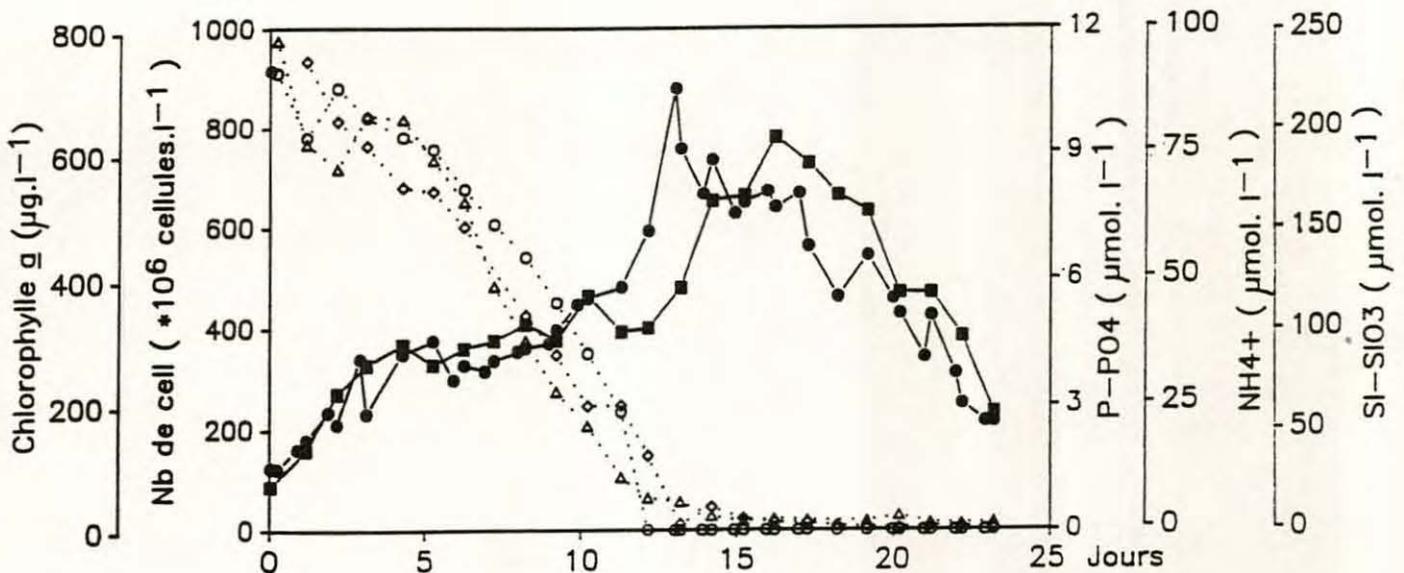


Figure 13 : Variation de teneurs en ammoniacque (NH_4^+ ○-○), en phosphate (P-P04 △-△) et en silicate (Si-SiO₃ ◇-◇) et évolution de la biomasse de *Skeletonema costatum* exprimée en densité numérique (Nbc, ●-●) et en teneur en chlorophylle a (Chla, ■-■) lors d'une efflorescence hivernale en grand volume (février 1986).

Les teneurs en pigments chlorophylliens augmentent de la même façon que le nombre de cellules phytoplanctoniques mais voient leur valeur maximum ($779,6 \mu\text{g.l}^{-1} \text{ chla}$) atteinte 4 jours après la plus forte concentration en nombre de cellules, avant de décroître régulièrement jusqu'au 24ème jour.

- Période estivale

L'évolution de la croissance de *Skeletonema costatum* en eau salée souterraine et en grand volume (50 m³) durant le mois de septembre 1986 montre trois phases (fig. 14).

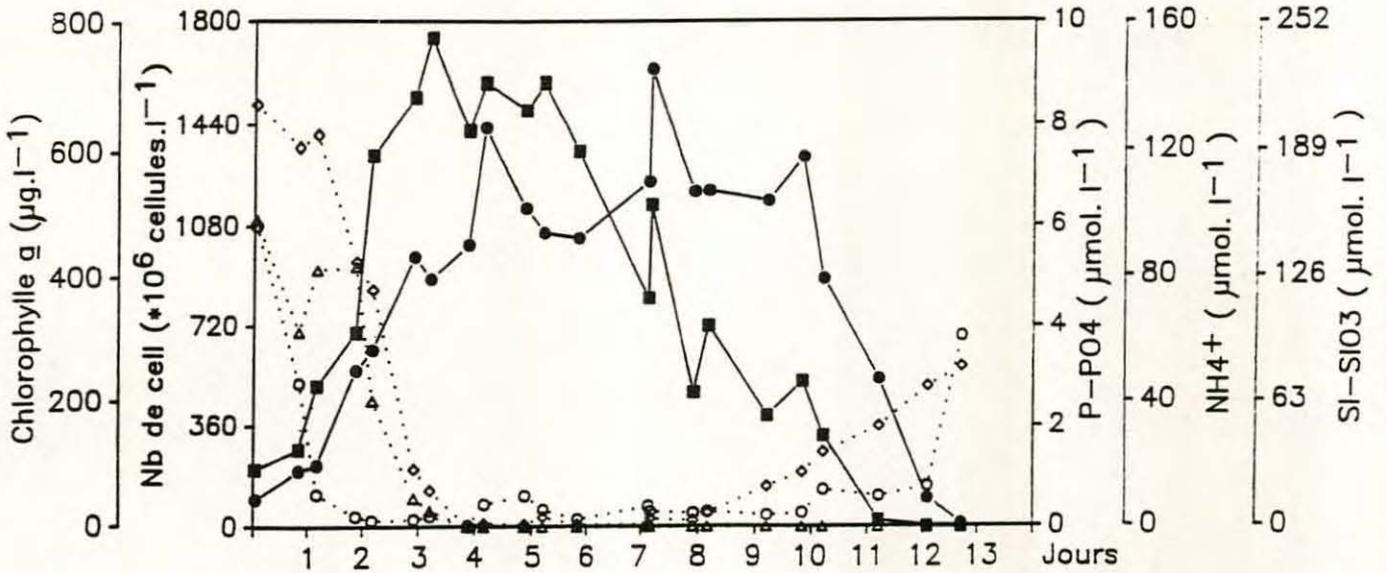


Figure 14 : Variations des teneurs en ammoniacque (NH₄⁺, ○---○), en phosphate (P-P04, △---△) et en silicate (Si-S03, ◇---◇), ainsi qu'évolution de la biomasse de *Skeletonema costatum* exprimée en densité numérique (Nbc, ●---●) et en teneur en chlorophylle a (Chla, ■---■) lors d'une efflorescence estivale en grand volume (septembre 1986).

- Une phase exponentielle de croissance de 4 à 5 jours avec une concentration maximale en chlorophylle a de 774,3 µg.l⁻¹, le 4ème jour.

- Une phase plateau correspondant à la stagnation du nombre de cellules entre 1 000 et 1 600 x 10⁶ C.l⁻¹, pendant 6 jours, où la concentration pigmentaire chute rapidement.

- Enfin, une phase de senescence rapide (4 jours) de l'efflorescence, au cours de laquelle la quasi totalité des cellules phytoplanktoniques décantent au fond du bac.

Les teneurs en sels nutritifs diminuent régulièrement dans ce cas jusqu'à leur disparition quasi totale au fur et à mesure que le nombre de cellules

augmente. Le 5ème jour, la plupart des éléments sont totalement épuisés. La réapparition des sels de silice et de phosphore ne se produit qu'après la phase de plateau, où leurs concentrations augmentent de façon inverse au taux de mortalité des cellules algales en phase de senescence. Ce processus pourrait être la conséquence d'une reminéralisation des cellules mortes, accélérée par les températures élevées (15,2°C à 22,0°C).

Le pH varie au cours de l'efflorescence de 7,5 à 8,9 et la salinité ne subit que peu de variations (30,8 à 31,5 ‰).

La production intensive, sur eau souterraine, de *Skeletonema costatum* est possible en hiver et en été. Les cultures évoluent de la même manière, avec une limitation de la croissance après épuisement de la forme ammoniacale de l'azote, mais avec des cinétiques, des concentrations finales et des durées de vie très différentes selon la saison.

Les efflorescences estivales sont caractérisées par une obtention très rapide d'une quantité importante de cellules phytoplanctoniques ($1\ 000 \cdot 10^6$ C.l⁻¹) avec une concentration pigmentaire totale égale à $774 \mu\text{g.l}^{-1}$. La courte durée des cultures ne permet une utilisation des cellules phytoplanctoniques pour le prégrossissement en nourricerie que pendant 2 à 3 jours.

Durant l'hiver par contre, on constate une augmentation lente du nombre de cellules (12 jours) qui ne permet d'atteindre qu'une concentration moyenne de $500 \cdot 10^6$ C.l⁻¹ avec cependant un taux de chlorophylle similaire à l'été ($779 \mu\text{g.l}^{-1}$). L'utilisation de ce concentré de *Skeletonema costatum* peut être programmé, dans ce cas en fin de phase exponentielle sur 7 jours.

Il apparait clairement que les concentrations en chlorophylle atteintes sont identiques aux deux saisons pour une même qualité nutritive de milieu (eau de forage). Cependant, la concentration maximale en été est obtenue trois fois plus rapidement qu'en hiver. Les courbes de dénombrement cellulaire suivent la même tendance en ce qui concerne leur pente mais se différencient quant au niveau maximum atteint (fig. 15).

Il est probable que les paramètres environnementaux, tels que la température mais aussi l'intensité lumineuse et la photopériode agissent simultanément sur la vitesse de division et la concentration pigmentaire cellulaire.

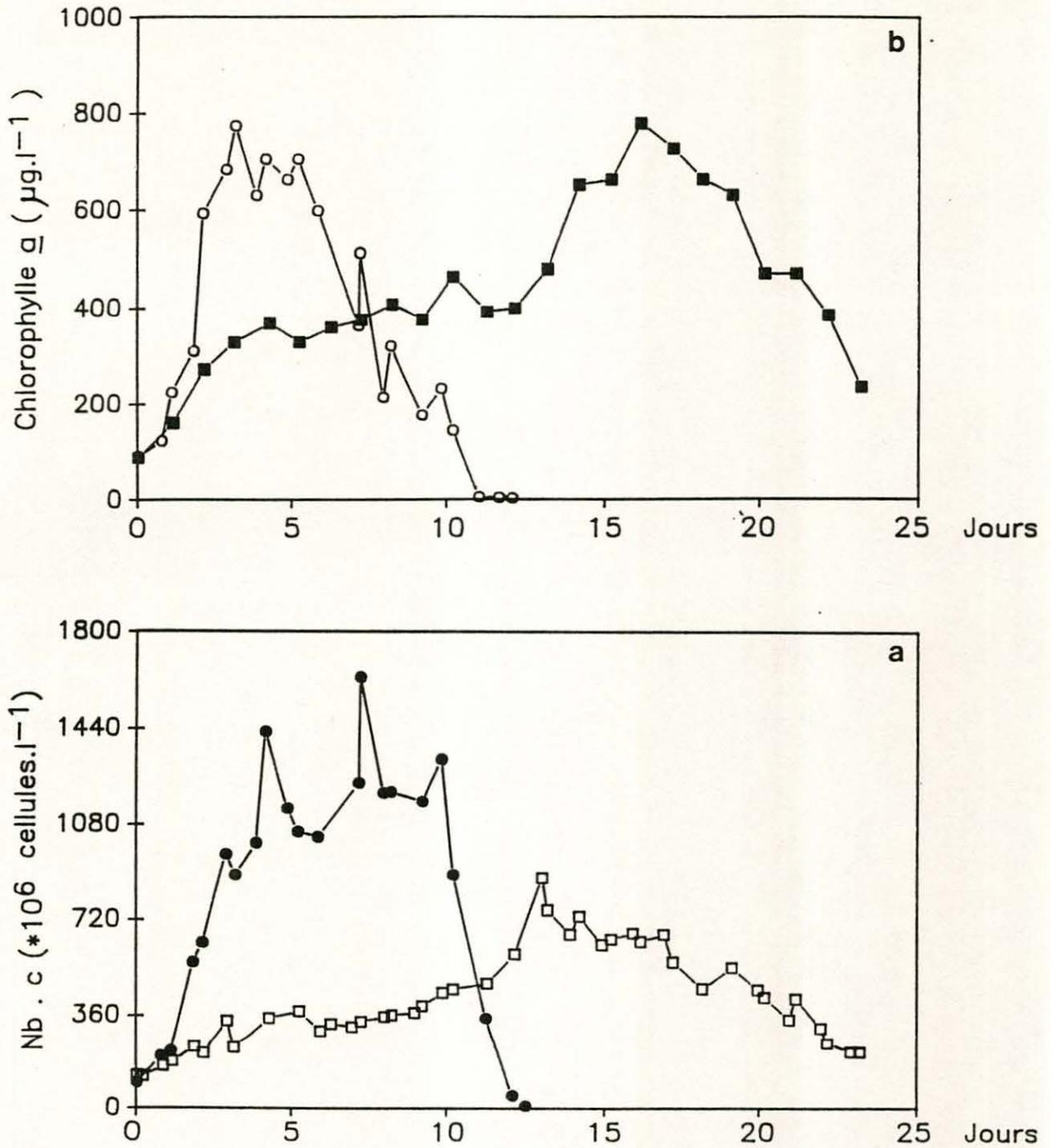


Figure 15 : Comparaison de l'évolution de la biomasse de *Skeletonema costatum* exprimée : a) en densité numérique de cellules en été (●—●) et en hiver (□—□) ; b) en teneur en chlorophylle a, en été (○—○) et en hiver (■—■).

La cinétique de croissance de *Skeletonema costatum* au printemps et en automne est intermédiaire par rapport aux évolutions estivales rapides et hivernales lentes de la multiplication phytoplanctonique (fig. 16). L'évolution de la composition biochimique cellulaire de *Skeletonema costatum* au cours de différentes efflorescences saisonnières (fig. 17) peut être décrite selon un schéma général qui met en évidence une relative constance de la proportion en lipides alors que les proportions en protéines, majoritaires durant la phase exponentielle décroissent lors des phases plateau et de senescence au profit des glucides.

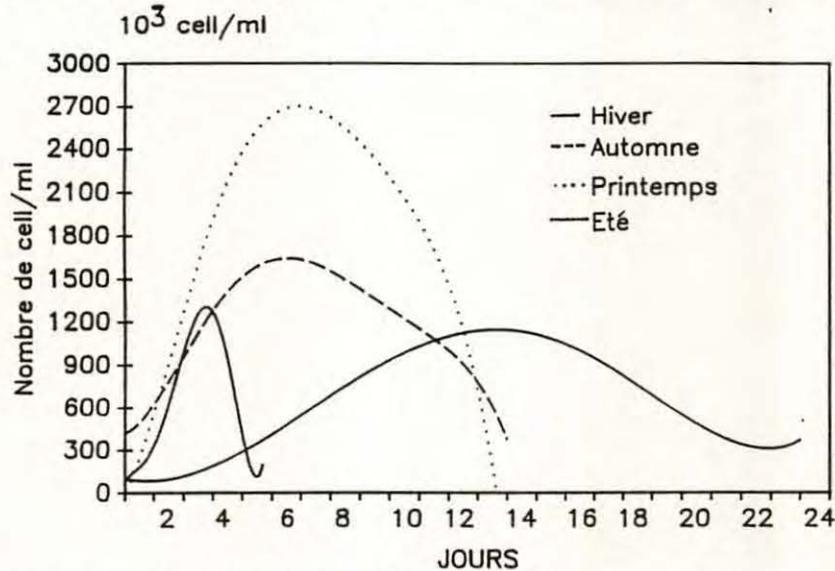


Figure 16 : Evolution de la croissance de *Skeletonema costatum* exprimée en nombre de cellules à différentes saisons.

Cette évolution de la proportion des composés biochimiques est variable selon la phase de croissance et demeure dépendante de la cinétique de l'efflorescence.

L'été cependant, demeure un cas particulier avec des pourcentages de glucides faibles, jusqu'à la phase de senescence.

Des analyses réalisées sur le phytoplancton distribué en phase exponentielle dans la nurricerie durant les mois d'avril à novembre 1988 et 1989 montrent que le pourcentage moyen des composés biochimiques de *Skeletonema costatum* est voisin de 48 % pour les protéines avec une grande stabilité au cours de la période étudiée, de 16 % pour les lipides qui ont tendance à augmenter en automne avec la diminution de la photopériode et de la température et de 36 % pour les glucides qui enregistrent inversement aux lipides une tendance à la décroissance du printemps vers l'automne (fig. 18). Les valeurs moyennes des

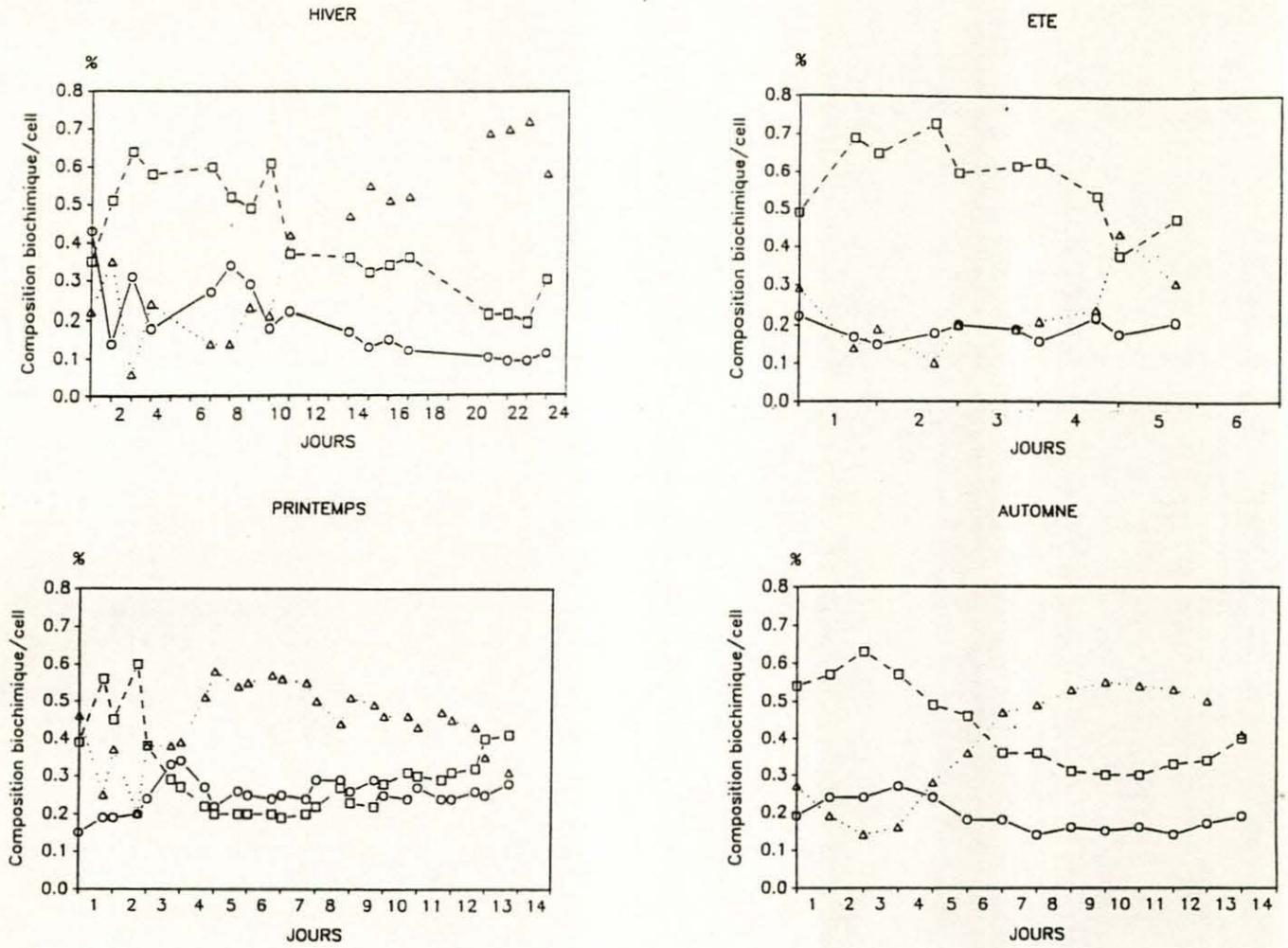


Figure 17 : Evolution de la composition biochimique cellulaire de *Skeletonema costatum* exprimée en pourcentage au cours de différentes efflorescences saisonnières.

- (□-□) Protéines,
- (○-○) Lipides,
- (△-△) Glucides.

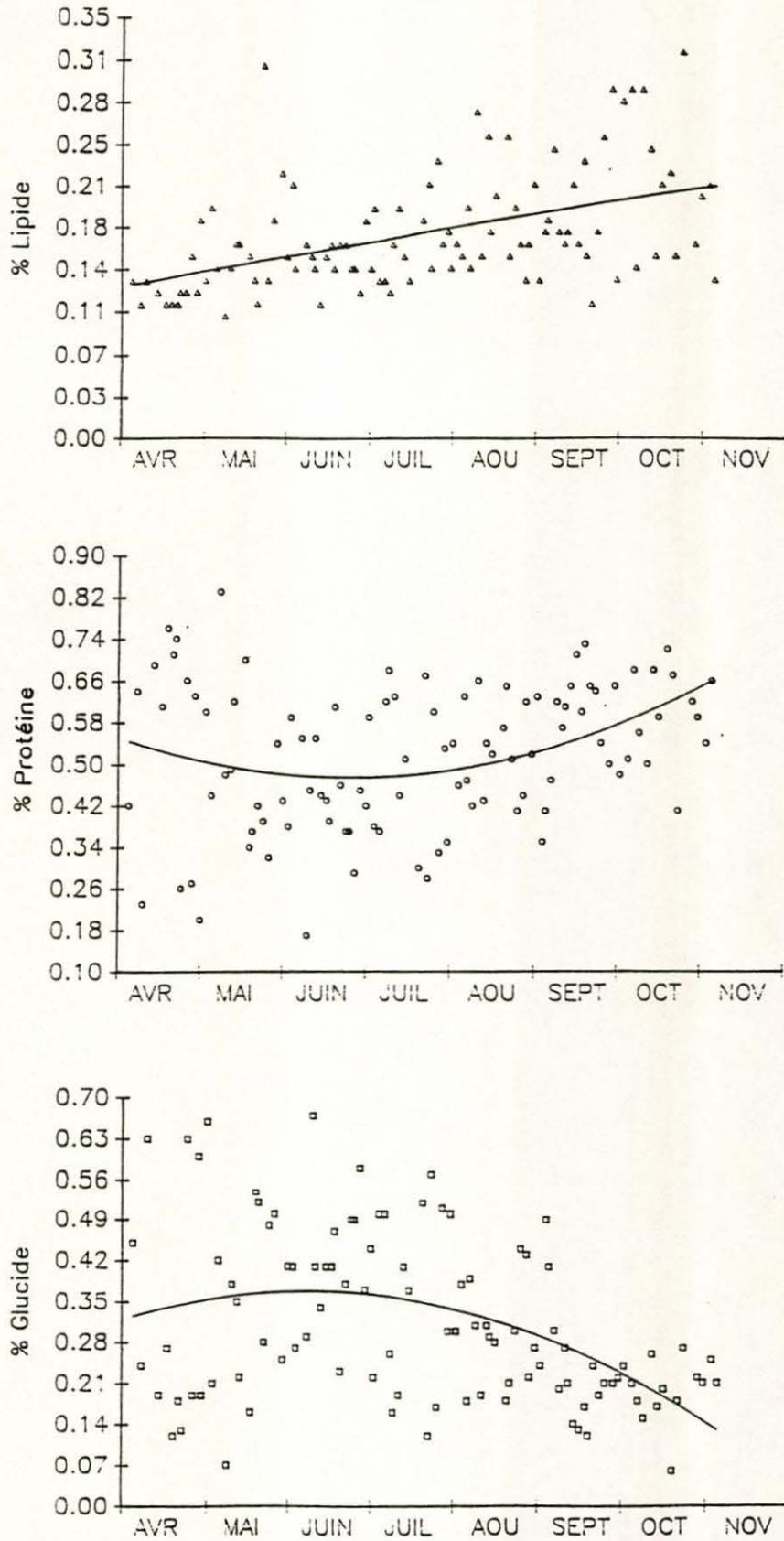


Figure 18 : Variabilité saisonnière des composés biochimiques cellulaires des efflorescences en phase exponentielle de *Skeletonema costatum* exprimés en pourcentage.

principaux indicateurs physiques et biochimiques de cette biomasse sont regroupées dans le tableau 7 et montrent que la variabilité saisonnière de *Skeletonema costatum* calculée à partir des différents intervalles de confiance à 95 % de sécurité est de l'ordre de 10 %, cette période toutefois ne prenant pas en compte les efflorescences hivernales.

Au cours des différents prégrossissements expérimentaux, les concentrés de phytoplancton produits à chaque saison, sont dilués dans l'eau de mer alimentant la nourricerie pour créer différents enrichissements du milieu d'élevage par saison (tableau 8).

Tableau 7 : Concentrations moyennes des principaux paramètres physico-chimiques calculées sur 106 efflorescences de *Skeletonema costatum* d'avril à novembre 1988 et 1989.

Variables	Concentration moyenne	Intervalle de confiance à 95 % de sécurité
Concentration cellulaire	1475,56 10 ³ C.ml ⁻¹	130,14
pH	8,51	0,04
Seston total	65,49 mg.l ⁻¹	6,10
Seston minéral	25,25 mg.l ⁻¹	3,94
Seston organique	40,25 mg.l ⁻¹	2,70
Chlorophylle <u>a</u>	601,54 µg.l ⁻¹	45,00
Phéopigment	119,23 µg.l ⁻¹	28,44
Protéines	14,65 mg.l ⁻¹	1,28
Lipides	4,82 mg.l ⁻¹	0,41
Glucides	10,88 mg.l ⁻¹	1,89

Tableau 8 : Valeurs moyennes par saison de la quantité de cellules phytoplanctoniques et de la teneur en pigments totaux pour l'eau enrichie de *Skeletonema costatum* à la concentration C2 et en fréquence discontinue. L'écart-type est donné entre parenthèses.

Saison	Nombre de cellules après mélange (10 ⁶ /l)	Pigments totaux après mélange (µg/l)	Pigments totaux de l'eau de mer (µg/l)
HIVER 1	27,59 (2,47)	21,6 (2,17)	
HIVER 2	22,61 (1,81)	27,66 (3,67)	
ETE 1		31,2 (5,28)	4,27 (0,65)
ETE 2	34,99 (1,98)	22,88 (2,53)	
ETE 3	63,97 (7,5)	37,49 (3,27)	8,94 (2,0)

3.2. Croissance des deux espèces de Mollusques Bivalves *Ruditapes philippinarum* et *Crassostrea gigas* dans la nourricerie expérimentale

3.2.1. La palourde japonaise (*Ruditapes philippinarum*)

Au début du prégrossissement, les naissains de palourdes appartiennent à la classe de taille de 4 mm (tamis de 2). Après chaque période expérimentale, il est possible de répartir les populations en classe de tailles finales (tableau 9) plus ou moins fortes et nombreuses.

Tableau 9 : Longueur moyenne et poids moyen de *Ruditapes philippinarum* par classe de taille après tamisage. Entre parenthèses figure l'écart-type.

Classe de taille	Longueur moyenne (mm)		Poids moyen (g)	
T2	4,1	(0,1)	0,017	(0,003)
T3	6,4	(0,2)	0,109	(0,007)
T4	7,2	(0,3)	0,17	(0,01)
T5	9,2	(0,3)	0,32	(0,02)
T6	12,3	(0,3)	0,39	(0,02)
T8	15,3	(0,2)	0,69	(0,03)
T10	17,5	(0,3)	1,15	(0,03)

Les pourcentages de bivalves par tubes tamis sont calculés par classe de taille ainsi que le reliquat (To) et la mortalité (CM). Les images finales de chaque population sont regroupées en fonction des saisons, sous forme d'histogrammes (tableau 11).

Chaque numéro désignant un histogramme correspond à des conditions d'expérience définies au chapitre II.5 et précisées dans le tableau 10.

Ces résultats peuvent être utilisés par les éleveurs professionnels pour définir leur stratégie de prégrossissement. En effet, un pourcentage important d'une classe de taille visualisée dans le tableau 9 est le résultat pour une saison donnée d'un protocole précis d'élevage, caractérisé par le numéro de l'expérience. L'éleveur peut ainsi programmer ses conditions de prégrossissement à partir d'une classe de taille finale désirée sur le plan stratégique ou commercial. Celle-ci n'est pas toujours la taille maximale possible.

En première analyse, il apparaît globalement que les classes de taille en fin de prégrossissement de la période estivale sont nettement supérieures à celle de la période hivernale.

3.2.1.1. Hiérarchisation et définition des paramètres d'élevage en nourricerie : Analyses factorielles de correspondance

D'une manière générale, pour chaque figure, l'axe 1 représente le gradient de croissance, illustré par l'échelonnement le long de cet axe des classes de taille dans un ordre croissant ou décroissant. Les pourcentages de variance expliqués par les axes sont donnés dans un tableau. Il est possible, lors de chaque analyse, d'introduire comme variables illustratives ou supplémentaires, les différents paramètres croisés dans le lot d'expériences considérées (NAT, ECH, DB1, DB3, Co, C1, etc...). Si leurs qualités de représentation (C02) reportées dans chaque tableau sont satisfaisantes, elles peuvent souligner l'existence ou l'absence de lien entre ces variables et les performances de croissance.

Ces analyses permettent de déboucher finalement sur une interprétation globale, dans le sens d'une définition d'un protocole d'élevage. Quatre analyses de correspondance ont permis de hiérarchiser les facteurs suivants : qualité d'eau (eau échangée, eau naturelle), débit d'eau de mer (1 ou 3 m³/h) densité (25 000 ou 50 000) et débit de phytoplancton injecté (Co, C1, C2 ou C4).

1ère analyse : Qualité d'eau (EN, ECH) x débit phyto injecté (C0, C2) x débit EM (DB1, DB3) : ETE 1

Pour une densité fixée à 25 000, sont comparés les effets de l'apport éventuel de phytoplancton, l'influence de deux débits d'eau de mer pour deux qualités d'eaux différentes, une eau à température extérieure (NAT) et une eau refroidie par l'échangeur (ECH) (fig. 19a).

La variance de l'axe 1 est expliquée à 98 % environ par les classes de taille T4, T8 et T10 ; exceptées pour les classes reliquat (To) et la mortalité (CM), elles sont bien représentées (tableau 12a). La projection des variables supplémentaires apporte deux informations importantes. D'une part, le débit de phytoplancton injecté est le plus corrélé au gradient de l'axe 1. D'autre part le débit d'eau de mer sur l'axe 1 et la qualité d'eau sur l'axe 2 ont des effets secondaires mais réels, sans qu'il soit possible de déterminer la variable la plus importante (C02

respectif de 0,15 et 0,18). Tout au plus peut-on dire que l'eau naturelle favorise les classes extrêmes.

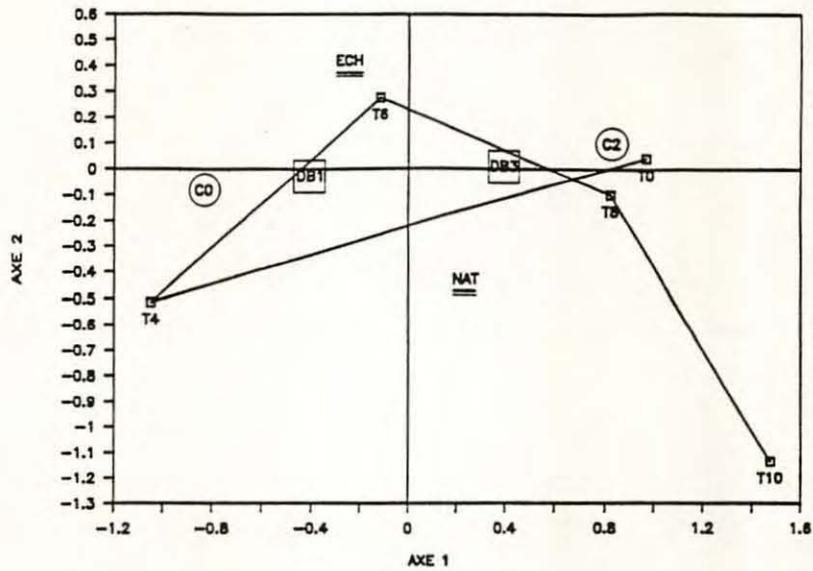


Figure 19a : Analyses factorielles de correspondance de la croissance de *Ruditapes philippinarum* en été. Les paramètres contrôlés sont projetés en variables supplémentaires : concentration x débit x température.

Tableau 12a : Pourcentages expliqués par les axes principaux, qualité de la représentation (C02) et contribution relative à l'inertie expliquée par les deux axes (CTR) des variables utilisées dans les différentes analyses factorielles de correspondance de la croissance de *Ruditapes philippinarum* en été : concentration x débit x température.

Variances expliquées par les axes principaux		81,5 %		16,9 %			
Axes		AXE 1		AXE 2		Axes	
Variables du tableau					Variables supplémentaires	AXE1	AXE 2
	C02	CTR	C02	CTR		C02	C02
CM	0,014	0,1	0,014	0,3	NAT	0,057	0,184
T0	0,272	1,8	0,002	0,0	ECH	0,061	0,177
T4	0,800	43,1	0,192	31,5	C0	0,678	0,006
T6	0,144	1,7	0,752	26,4	C2	0,690	0,006
T8	0,951	30,0	0,000	0,0	DB1	0,156	0,001
T10	0,599	23,4	0,354	42,1	DB3	0,158	0,000

Cette analyse montre l'intérêt d'un débit élevé ($3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) : les classes fortes se trouvent corrélées à l'eau naturelle et à l'apport de nourriture extérieure (*Skeletonema costatum*). Il semble donc qu'en présence de phytoplancton, les palourdes s'accommodent des variations de températures brusques et des moyennes de température élevées qui se traduisent par de fortes croissances mais aussi par des stress expliquant peut-être la présence de petites classes de taille. Le coût économique non négligeable et l'absence de gain sensible de croissance du cheptel, lorsqu'on utilise l'échangeur thermique, justifie l'abandon de ce procédé à cette saison pour les expériences ultérieures.

2ème analyse : Débit phyto injecté (C1, C2, C4) x débit EM (DB1, DB3) : ETE 1

Cette analyse (fig. 19b) réalisée à une densité fixée de 25 000 individus et en eau échangée permet d'affiner la connaissance de l'impact de l'apport du phytoplancton, de l'eau de mer et de la concentration du mélange sur le gradient de croissance. L'influence positive du débit d'eau de mer est confirmée ainsi que la corrélation, entre la classe de taille maximale (T10) et le débit de phytoplancton injecté le plus important (C4). La proximité de la classe mortalité (C02 = 0,73) avec T10 (tableau 12b) est également bien représentée. Ceci permet de nuancer le bilan positif des fortes croissances, car le taux de mortalité est apparemment non négligeable.

Si l'on projette la variable "concentration du mélange", définie par le rapport concentration de phytoplancton/débit d'eau de mer, on ne trouve pas de liens significatifs entre les gradients de croissance et de concentration en nourriture disponible. Les facteurs concentration et débit traduisent donc deux influences indépendantes. L'eau de mer utilisée n'apparaît pas comme un simple vecteur de transport de la nourriture injectée. La meilleure croissance obtenue pour le débit d'eau de mer le plus important (DB3) atteste ce fait.

Si cette eau de mer, utilisée isolément, n'est pas satisfaisante (cf. la première analyse), elle apporte néanmoins des éléments supplémentaires bénéfiques à la croissance.

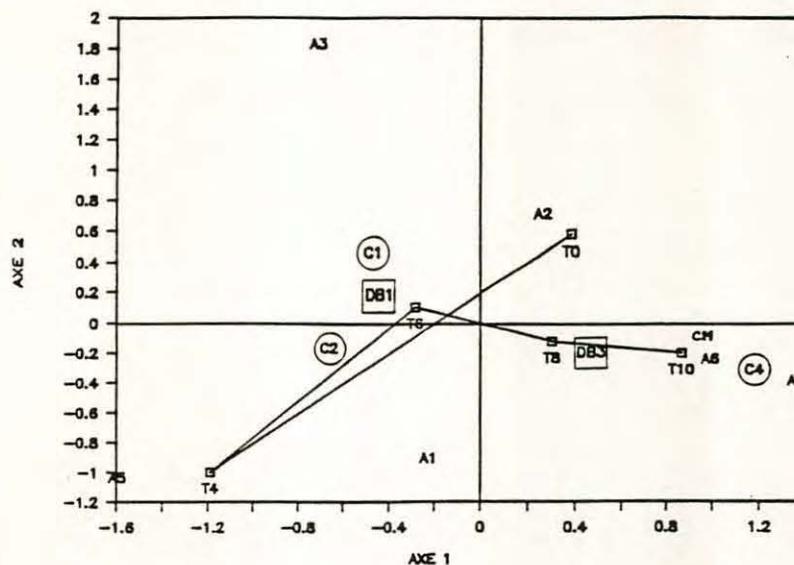


Figure 19b : Analyses factorielles de correspondance de la croissance de *Ruditapes philippinarum* en été. Les paramètres contrôlés sont projetés en variables supplémentaires : concentration x débit : la variable A = concentration/débit est projetée en variable supplémentaire.

Tableau 12b : Pourcentages expliqués par les axes principaux, qualité de la représentation (C02) et contribution relative à l'inertie expliquée par les deux axes (CTR) des variables utilisées dans les différentes analyses factorielles de correspondance de la croissance de *Ruditapes philippinarum* en été : concentration x débit : la variable A = concentration/débit.

Variances expliquées par les axes principaux		81,5 %		16,9 %			
Variables du tableau	Axes		Axes		Variables supplémentaires		
	AXE 1		AXE 2		AXE1	AXE 2	
	C02	CTR	C02	CTR	C02	C02	
T0	0,280	4,0	0,641	27,3	DB1	0,197	0,036
T4	0,577	22,2	0,405	46,7	DB3	0,215	0,035
T6	0,870	26,6	0,126	11,5	C1	0,113	0,111
T8	0,823	22,0	0,130	10,4	C2	0,222	0,013
T10	0,872	25,3	0,046	4,0	C4	0,675	0,046
					A1	0,010	0,165
					A2	0,014	0,100
					A3	0,104	0,682
					A4	0,357	0,028
					A5	0,518	0,217
					A6	0,196	0,011

3ème analyse : Débit phyto injecté (C1, C2, C4) x densité (25 000, 50 000) ; ETE 2

Le débit d'eau de mer étant égal à $3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, l'action de différents débits de la culture de *Skeletonema costatum* injectés a été analysée en fonction de la densité des bivalves en eau naturelle (fig. 19c, tableau 12c).

Ces actions sont nettement visibles et il apparaît clairement que le débit d'injection faible et la forte densité sont associées aux petites classes de taille alors que la densité 25 000 et l'injection C4 sont favorables à de bonnes croissances.

Fréquence d'injection (CONT, DISC) ; ETE 3

Pour les conditions expérimentales suivantes, débit d'eau de mer de $3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$; débit de phyto injecté = C2 et densité de 25 000, l'impact de la modalité d'injection de *Skeletonema costatum* sur la croissance finale a été étudié (fig. 20). Les courbes de croissance en taille moyenne des deux expériences montrent une similitude jusqu'à environ 11 mm, puis un meilleur rendement pour une injection discontinue jusqu'à la taille finale de 15,2 mm. Un test de comparaison de moyennes sur les tailles confirme de manière significative cette tendance ($t = 3,65$; $P = 0,001$).

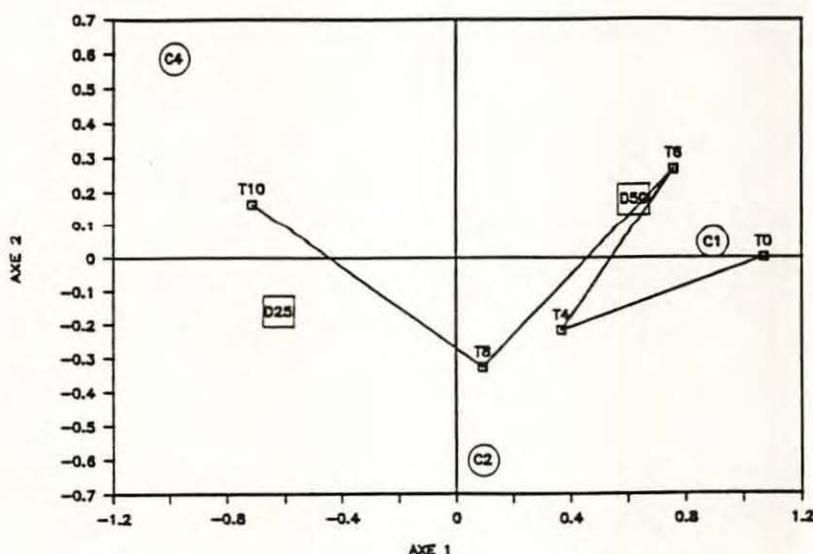


Figure 19c : Analyses factorielles de correspondance de la croissance de *Ruditapes philippinarum* en été. Les paramètres contrôlés sont projetés en variables supplémentaires : concentration x densité.

Tableau 12c : Pourcentages expliqués par les axes principaux, qualité de la représentation (C02) et contribution relative à l'inertie expliquée par les deux axes (CTR) des variables utilisées dans les différentes analyses factorielles de correspondance de la croissance de *Ruditapes philippinarum* en été : concentration x densité.

Variables du tableau	81,5 %		16,9 %		Variables supplémentaires	Axes	
	AXE 1		AXE 2			AXE1	AXE 2
	C02	CTR	C02	CTR		C02	C02
CM	0,001	0,0	0,698	53,8	D25	0,448	0,029
T0	0,469	0,2	0,000	0,0	D50	0,338	0,029
T4	0,350	1,1	0,124	1,9	C1	0,443	0,001
T6	0,889	45,4	0,111	27,4	C2	0,004	0,177
T8	0,073	0,9	0,921	57,4	C4	0,432	0,154
T10	0,950	52,4	0,050	13,3			

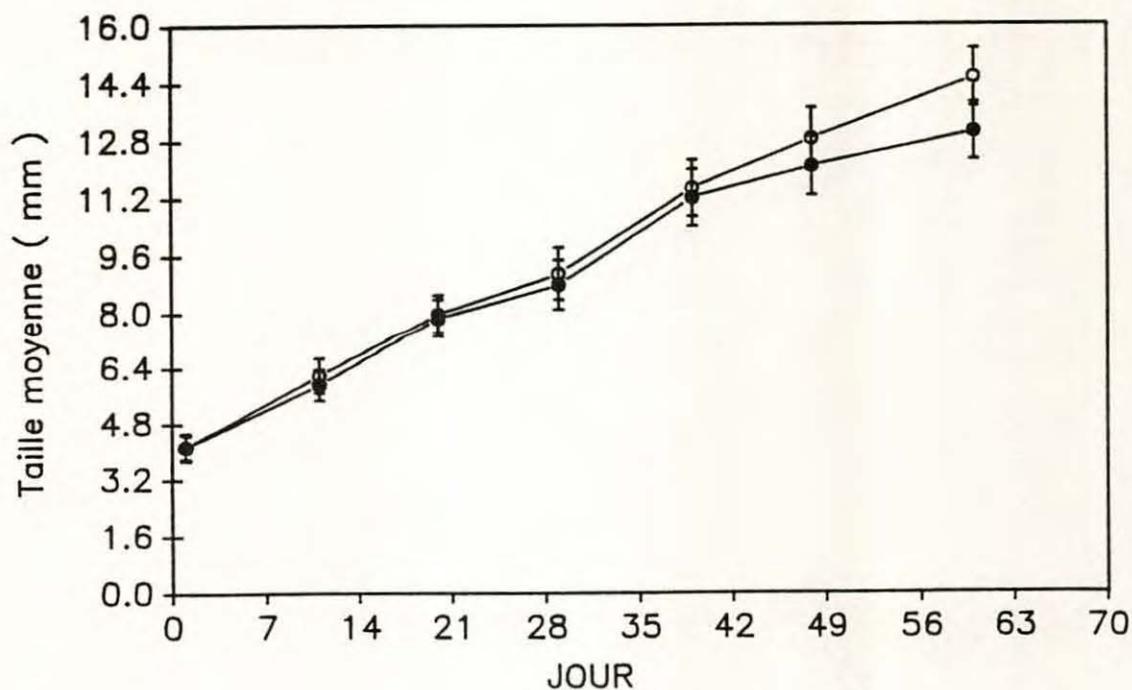


Figure 20 : Evolutions comparées de la croissance de *Ruditapes philippinarum* élevée avec apport de *Skeletonema costatum* en alimentation continue (○—○) et en alimentation discontinue (●—●).

Ce résultat biologique favorable à une alimentation discontinue des palourdes se repercutera positivement au niveau économique puisque la pompe de distribution du phytoplancton ne consommera de l'énergie que durant 14 h au lieu de 24 h.

HIVER :

En hiver, le facteur température devient prépondérant. L'échangeur est alors indispensable pour réaliser un gain de croissance, en augmentant la température de 5°C à 10°C. Cependant les meilleurs résultats sont acquis après adjonction de nourriture phytoplanctonique à l'eau échangée (fig. 21).

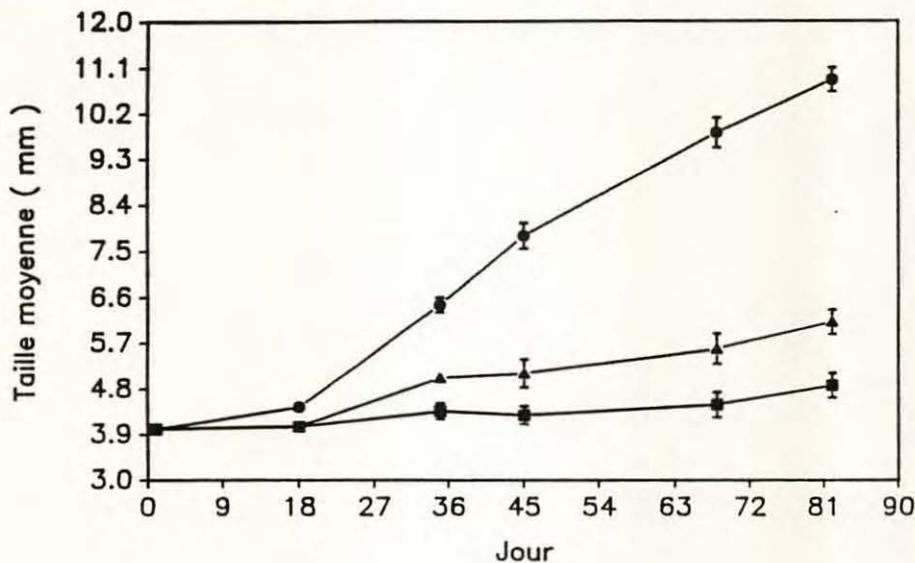


Figure 21 : Croissance comparée de *Ruditapes philippinarum* en prégrossissement hivernal aux conditions expérimentales suivantes : (■—■) DB1, Co, NAT ; (▲—▲) DB1, Co, ECH ; (●—●) DB1, C2, ECH.

L'augmentation de température de 5°C et l'apport de nourriture ne permettent pas toutefois d'atteindre les niveaux de croissance obtenus en été.

Pour affiner la méthodologie, une seule analyse factorielle de correspondance (4ème analyse) permet de tester les influences du débit d'eau de mer, de la densité des individus et du débit de phytoplancton injecté (fig. 22 ; tableau 13) ; une fois l'eau de mer réchauffée par l'échangeur, on retrouve les effets antagonistes de la quantité de phytoplancton injecté (effet positif) et de la densité (effet négatif) sur l'axe 1.

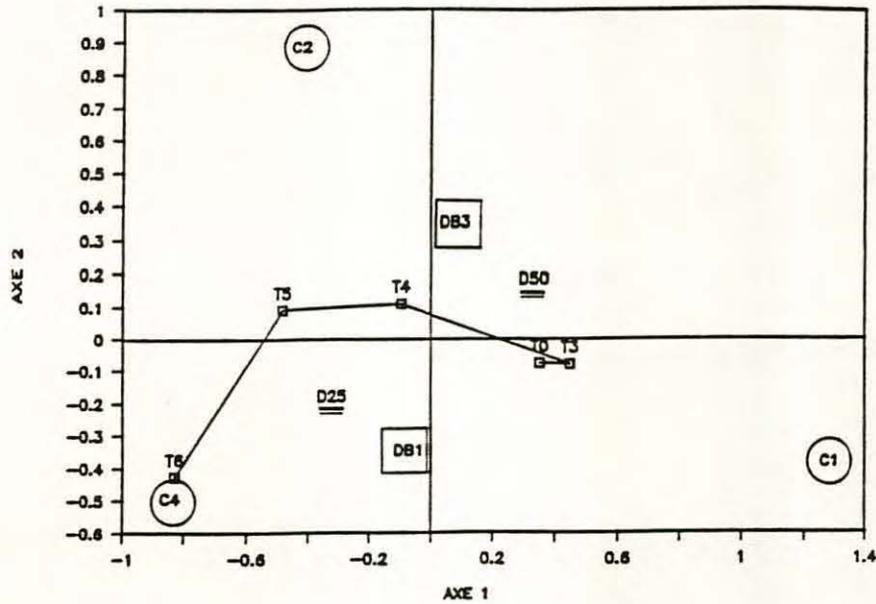


Figure 22 : Analyse factorielle de correspondance de la croissance de *Ruditapes philippinarum* en hiver. Les paramètres contrôlés sont projetés en variables supplémentaires (concentration x débit x densité).

Tableau 13 : Pourcentages expliqués par les axes principaux, qualité de la représentation (C02) et contribution relative à l'inertie expliquée par les deux axes (CTR) des variables de l'analyse factorielle de correspondance de la croissance de *Ruditapes philippinarum* en hiver.

Variances expliquées par les axes principaux		81,5 %		16,9 %				
Variables du tableau	Axes		Axes		Variables supplémentaires		Axes	
	AXE 1		AXE 2		AXE1	AXE 2	AXE1	AXE 2
	C02	CTR	C02	CTR				
CM	0,030	0,1	0,280	10,0	C1	0,817	0,071	
T0	0,871	6,6	0,043	3,3	C2	0,092	0,399	
T4	0,988	38,4	0,010	4,0	C4	0,352	0,120	
T6	0,378	1,4	0,480	18,2	DB1	0,005	0,119	
T8	0,954	29,3	0,033	10,2	DB3	0,006	0,124	
T10	0,789	24,3	0,209	64,3	D25	0,107	0,031	
					D50	0,108	0,034	

Sur l'axe 2, le débit le plus faible semble lié aux classes extrêmes. Or, un test de KHI² sur les débits, ne confirme pas que le débit de 1 m³.h⁻¹ est significativement plus favorable à la croissance. Cependant l'intérêt économique incite à retenir dans ce cas le débit de 1 m³.h⁻¹ par rapport à 3 m³.h⁻¹.

AUTRES SAISONS

Si les conditions de prégressissement sont identiques, il est possible de comparer les croissances en taille moyenne de la palourde au cours des quatre saisons annuelles. Les croissances printanières et automnales sans apport de phytoplancton qui ont été étudiées dans le même site (St Félix *et al.*, 1984) sont supérieures aux croissances hivernales et inférieures aux croissances estivales dans les conditions d'élevage précisées dans la légende de la figure 23. Il ressort de ces résultats que l'augmentation de température dans la gamme étudiée a une influence très nette sur la croissance du naissain de palourde, lorsque la nourriture n'est pas limitante.

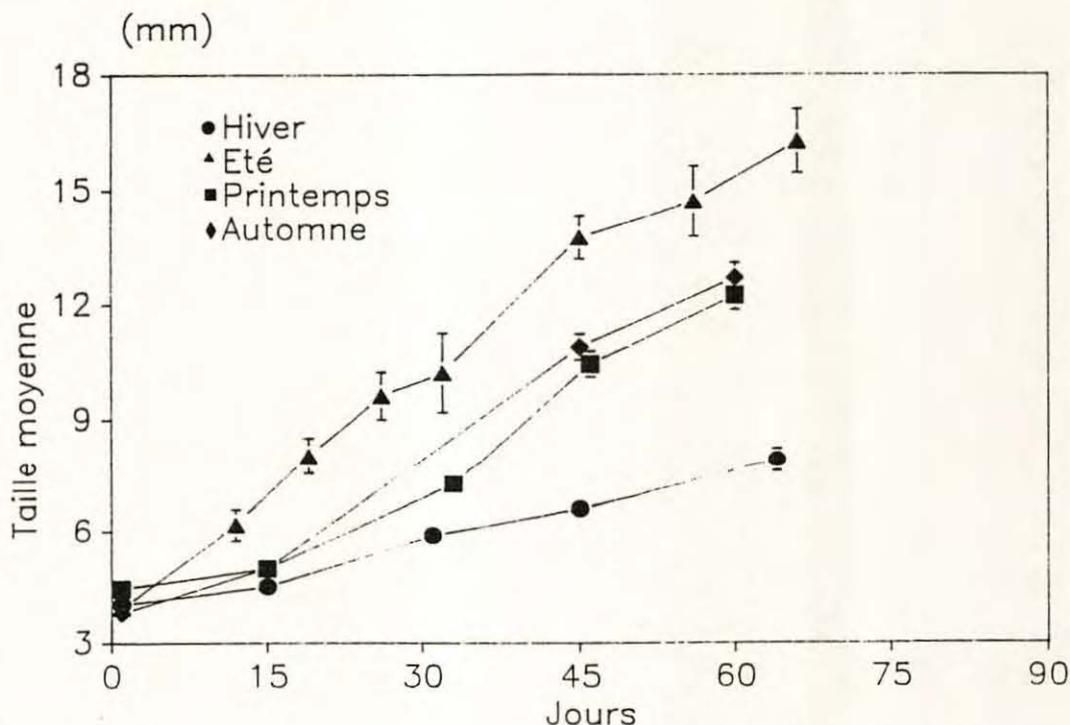


Figure 23 : Evolution comparée de la croissance de *Ruditapes philippinarum* prégressie à différentes saisons. 1°) en intensif ; (▲—▲) été (C2, D25, DB3) et (●—●) en hiver (C2, D25, DB3) ; 2°) en extensif (■—■) au printemps (D25, DB3) et (◆—◆) en automne (D25, DB3).

3.2.1.2. Performances de croissance

Afin de pouvoir comparer les performances de croissance obtenues ici, avec celles relevées dans la littérature, le taux de grossissement sur trente jours (G30) a été utilisé. Il est reporté pour chaque condition de température, sur un graphe (fig. 24) regroupant différents résultats de recherche en prégrossissement (Lucas, 1977, 1981 ; Rodde *et al.*, 1976 ; Le Borgne *et al.*, 1977 ; Dreno, 1979 ; Gimazane et Medhioub, 1979c ; Moerman, 1979 ; Claus *et al.*, 1981 ; Guerrero *et al.*, 1981 ; Riva et Lelong, 1981 ; Spencer et Happer, 1981, in Claus, 1981).

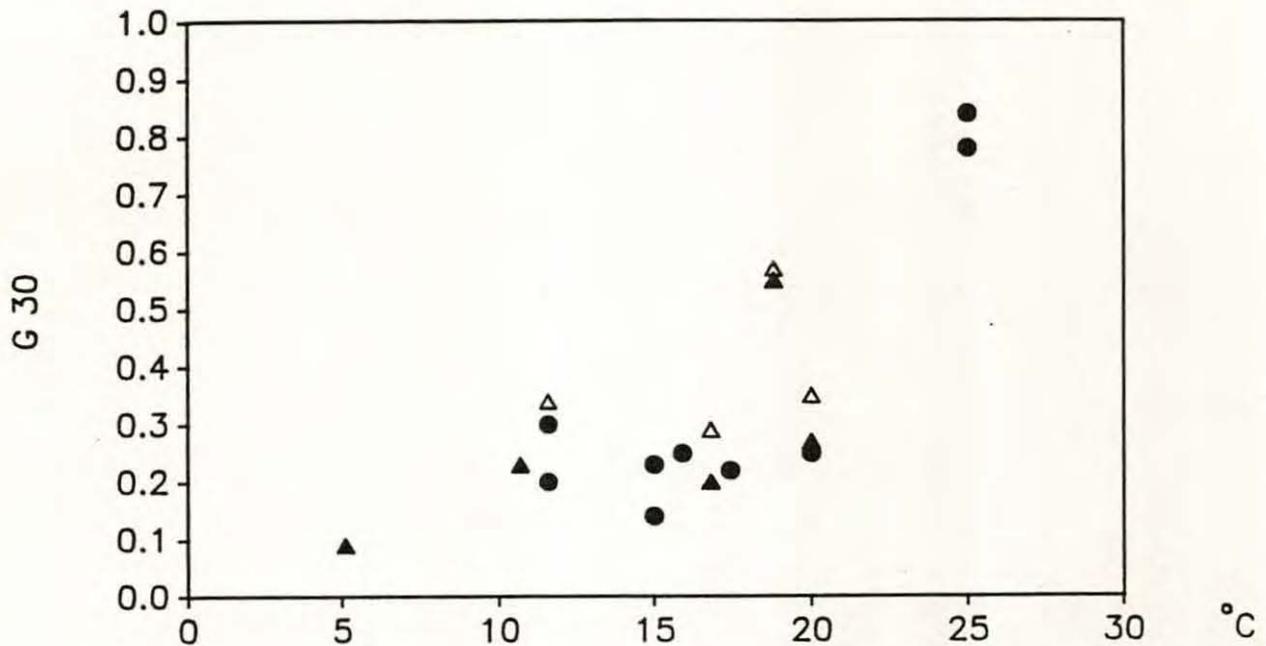


Figure 24 : Performance de croissance (G30) en longueur de coquille de *Ruditapes philippinarum* en fonction de la température : (●) G30 de la littérature (Claus, 1981), (▲) G30 des expériences (Co, D25, DB3) sans apport de phytoplancton, (△) G30 des expériences (C2, D25, DB3) avec apport de phytoplancton.

Les valeurs de G30 obtenues sont nettement corrélées à la température ($r = 0,719$). Ces taux de croissance obtenus dans nos expériences sont généralement supérieurs pour une température donnée à ceux de la littérature. Cette différence pourrait s'expliquer par les conditions d'élevage et notamment par l'apport durant toutes les périodes de prégrossissement de culture de *Skeletonema costatum*. Cette différence constatée semble être confirmée par une augmentation de G30 de 31,7 % à 17°C et 20,9 % à 20°C entre les expérimentations réalisées en eau enrichie et celles réalisées en eau naturelle.

3.2.2. L'huître creuse (*Crassostrea gigas*)

Les classes de taille des différents lots d'huître en fin de prégrossissement exprimées en taille moyenne des populations d'huîtres prégrossies (tableau 14) sont plus nombreuses et pour certaine plus fortes que celles des palourdes, exprimant ainsi un rendement de croissance supérieur chez *C. gigas* par rapport à *R. philippinarum*, pour ces gammes de taille.

Tableau 14 : Longueur moyenne et poids moyen de *Crassostrea gigas* par classe de taille après tamisage. Entre parenthèses figure l'écart-type.

Classe de taille	Longueur moyenne (mm)		Poids moyen (g)	
T2	4,4	(0,2)	0,014	(0,001)
T6	10,5	(0,6)	0,19	(0,01)
T8	13,8	(0,5)	0,41	(0,02)
T10	20,5	(0,5)	0,96	(0,06)
T14	24,7	(0,8)	1,93	(0,13)
T18	29,9	(1,0)	3,90	(0,48)

Les conditions d'expériences, étant similaires à celles de la palourde (tableau 15), le protocole d'analyse de la croissance pour l'huître a été reproduit de façon identique à celui de la palourde.

Les résultats de croissance en fin de prégrossissement sont regroupés sous forme d'histogrammes dans le tableau 16.

3.2.2.1. Hiérarchisation et définition des paramètres d'élevage en nourricerie : analyses factorielles de correspondance

ETE :

Les liaisons entre les paramètres de prégrossissement et le gradient de croissance, visualisées dans les analyses factorielles de correspondance sont identiques pour les deux espèces. Cependant, l'action de l'eau non échangée sur la composition des classes de taille de *Crassostrea gigas* paraît plus radicale (fig. 25a, tableau 17a). On retrouve l'influence du débit de phytoplancton et de la densité en élevage (fig. 25 b, tableau 17b). Le débit d'eau de mer influe secondairement (fig. 25c, tableau 17c), et dans le même sens que pour les palourdes à cette saison. Une fréquence d'injection discontinue de *Skeletonema costatum* est plus favorable pour la croissance qu'une injection continue ($t = 5,11$; $P = 0,000001$).

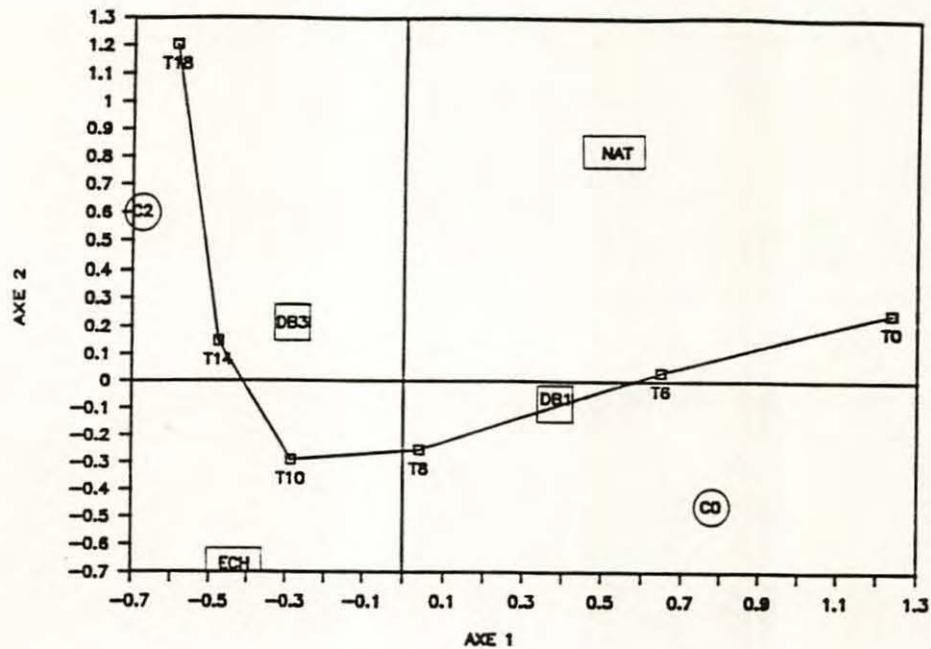


Figure 25a : Analyses factorielles de correspondance de la croissance de *Crassostrea gigas* en été. Les paramètres contrôlés sont projetés en variables supplémentaires : concentration x débit x température.

Tableau 17a : Pourcentages expliqués par les axes principaux, qualité de la représentation (C02) et contribution relative à l'inertie expliquée par les deux axes (CTR) des variables utilisées dans les différentes analyses factorielles de correspondance de la croissance de *Crassostrea gigas* en été : concentration x débit x température.

Variables du tableau	Variances expliquées par les axes principaux						
	69,5 %		27,5 %		Axes		
	AXE 1		AXE 2		AXE 1	AXE 2	
	CO ₂	CTR	CO ₂	CTR	Variables supplémentaires	CO ₂	CO ₂
T0	0,863	50,4	0,035	4,6	C0	0,592	0,203
T6	0,744	20,0	0,002	0,1	C2	0,449	0,363
T8	0,012	0,1	0,473	7,9	DB1	0,146	0,004
T10	0,571	10,4	0,370	15,0	DB3	0,079	0,045
T14	0,687	11,7	0,066	2,5	NAT	0,235	0,557
T18	0,185	7,5	0,779	69,9	ECH	0,222	0,534

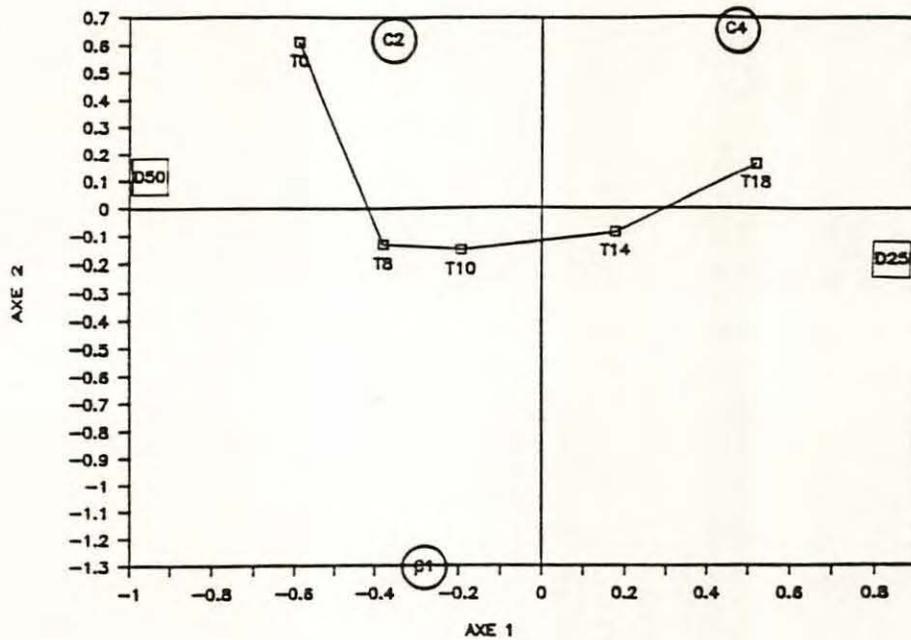


Figure 25b : Analyses factorielles de correspondance de la croissance de *Crassostrea gigas* en été. Les paramètres contrôlés sont projetés en variables supplémentaires : concentration x densité.

Tableau 17b : Pourcentages expliqués par les axes principaux, qualité de la représentation (C02) et contribution relative à l'inertie expliquée par les deux axes (CTR) des variables utilisées dans les différentes analyses factorielles de correspondance de la croissance de *Crassostrea gigas* en été : concentration x densité.

Variances expliquées par les axes principaux		69,5 %		27,5 %			
Axes		AXE 1		AXE 2		Axes	
Variables du tableau					Variables supplémentaires		
	C02	CTR	C02	CTR		AXE 1	AXE 2
T0	0,482	22,9	0,516	64,4	C1	0,036	0,871
T8	0,834	16,3	0,105	5,4	C2	0,066	0,204
T10	0,585	8,4	0,369	14,0	C4	0,114	0,226
T14	0,662	6,5	0,164	4,3	D25	0,784	0,038
T18	0,999	45,9	0,089	12,0	D50	0,807	0,013

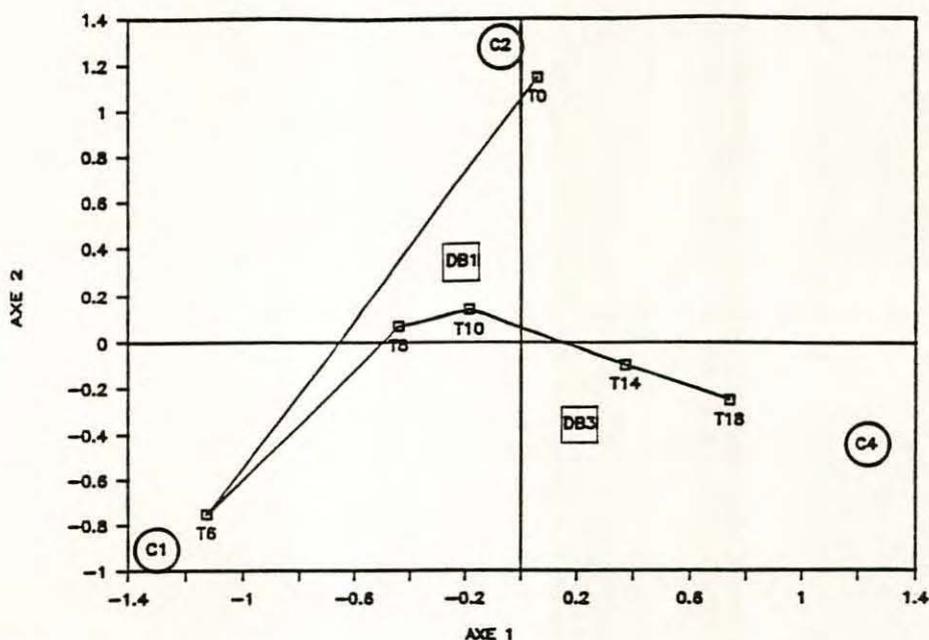


Figure 25c : Analyses factorielles de correspondance de la croissance de *Crassostrea gigas* en été. Les paramètres contrôlés sont projetés en variables supplémentaires : concentration x débit.

Tableau 17c : Pourcentages expliqués par les axes principaux, qualité de la représentation (C02) et contribution relative à l'inertie expliquée par les deux axes (CTR) des variables utilisées dans les différentes analyses factorielles de correspondance de la croissance de *Crassostrea gigas* en été : concentration x débit.

Variables du tableau	70,9 %		27,4 %		Variables supplémentaires	AXE 1	AXE 2
	Axes		Axes				
	AXE 1	AXE 2	AXE 1	AXE 2			
	C02	CTR	C02	CTR		C02	C02
T0	0,003	0,0	0,952	32,3	C1	0,649	0,349
T6	0,650	30,8	0,348	42,6	C2	0,003	0,822
T8	0,932	11,3	0,023	0,7	C4	0,745	0,095
T10	0,608	8,1	0,350	12,1	DB1	0,044	0,124
T14	0,926	22,0	0,064	3,9	DB3	0,051	0,109
T18	0,885	27,7	0,103	8,4			

HIVER :

La figure 26 et le tableau 18 résument les actions des débits, concentration et densité en eau réchauffée, qui constitue, comme pour la palourde, un milieu plus favorable à la croissance. Celles-ci peuvent être hiérarchisées dans l'ordre suivant : concentration, densité, débit.

Le débit d'eau de mer le plus faible ($1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) sera retenu pour des raisons économiques, le test à la moyenne entre les deux débits n'étant pas significatif.

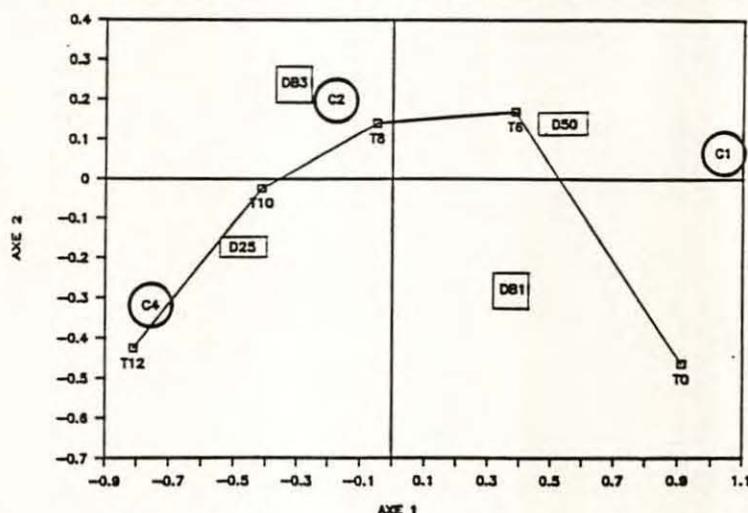


Figure 26 : Analyse factorielle de correspondance de la croissance de *Crassostrea gigas* en hiver. Les paramètres contrôlés sont projetés en variables supplémentaires (concentration x débit x densité).

Tableau 18 : Pourcentages expliqués par les axes principaux, qualité de la représentation (C02) et contribution relative à l'inertie expliquée par les deux axes (CTR) des variables de l'analyse factorielle de correspondance de la croissance de *Crassostrea gigas* en hiver.

Variables du tableau	79,9 %		16,0 %			
	AXE 1		AXE 2		Axes	
	C02	CTR	C02	CTR	AXE 1	AXE 2
T0	0,791	36,5	0,205	47,3	C1	0,491 0,002
T6	0,821	19,2	0,157	18,4	C2	0,017 0,021
T8	0,083	0,2	0,657	9,5	C4	0,292 0,052
T10	0,938	26,3	0,003	0,5	DB1	0,142 0,076
T12	0,713	17,6	0,197	24,4	DB3	0,099 0,059
					D25	0,224 0,030
					D50	0,288 0,019

3.2.2.2. Performance de croissance (fig. 27)

Comparées aux résultats obtenus par de nombreux auteurs (Mann et Ryther, 1977 ; Askew, 1978 ; Leborgne *et al.*, 1977 ; Malouf et Breese, 1978 ; O'Brien, 1979 ; Spencer et Happer, 1981 ; in Claus, 1981) l'évolution des performances de croissance reste identique à celle constatée pour la palourde. Celles-ci sont marquées par l'influence prépondérante, par ordre d'importance, de la température ($r = 0,626$) et de la nourriture.

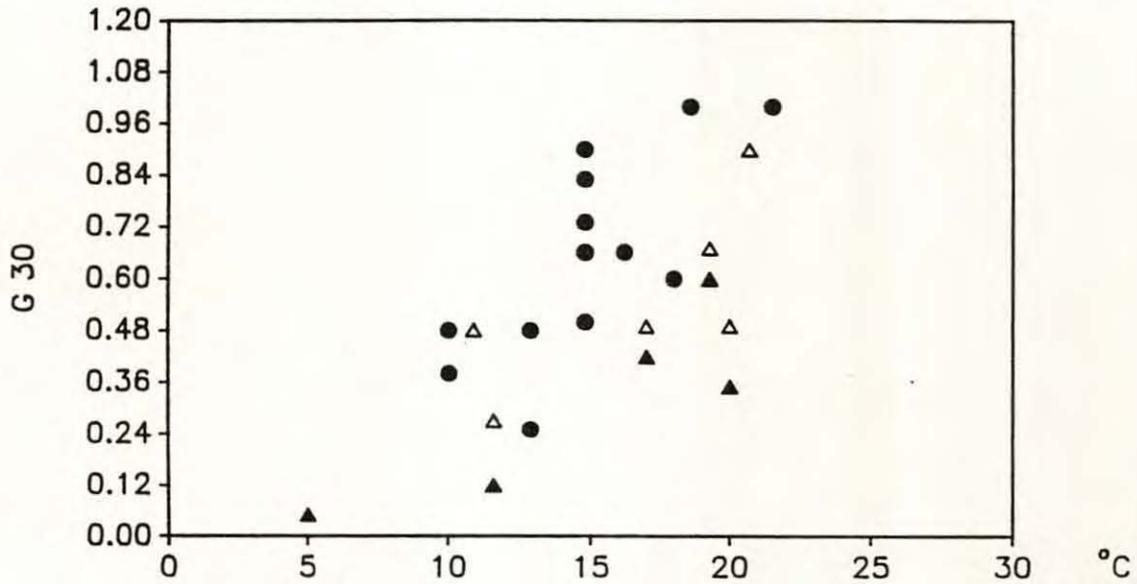


Figure 27 : Performance de croissance (G30) en longueur de coquille de *Crassostrea gigas* en fonction de la température : (●) G30 de la littérature (Claus, 1981), (▲) G30 des expériences (C0, D25, DB3) sans apport de phytoplancton, (△) G30 des expériences (C2, D25, DB3) avec apport de phytoplancton.

La valeur maximale, observée à 20°C, du G30 est égale à 0,484. Elle est de 30 % supérieure à celle de la palourde, pour une température et des conditions d'élevage identiques. Elle confirme ainsi le meilleur rendement de croissance de *Crassostrea gigas* par rapport à *Ruditapes philippinarum*.

IV. DISCUSSION

4.1. Actions de la température

La température est l'un des paramètres essentiels qui régissent la croissance des bivalves en nurserie.

Selon Claus et al. (1981) l'effet de la température est corrélé positivement avec la croissance. "Le biological zéro température" pour une bonne croissance des mollusques filtreurs se situe autour de 13°C selon Walne (1965) et à 10°C selon Ryther et Tenore (1971). Les travaux de Malouf et Breese (1978) suggèrent qu'en conditions de nourriture non limitante, l'optimum de croissance pour *C. gigas* entre 3 et 25 mm se situe aux alentours de 20°C. Les températures élevées favorisent la croissance en coquille de *C. gigas* (Mann, 1979). Pour les vénéréidés Laing et al. (1987) concluent que le taux de croissance de *R. philippinarum* varie avec la température. Il augmente jusqu'à 25°C et décroît au-delà de cette température. Les corrélations positives obtenues entre le taux de croissance (G30) et la température pour *C. gigas* et *R. philippinarum* prégrossis avec une concentration de nourriture identique sont en accord avec les observations de ces auteurs. De plus, elles mettent en évidence une vitesse de croissance plus forte de *C. gigas* ($a = 0,0399$) par rapport à *R. philippinarum* ($a = 0,0237$) (fig. 28). Cet avantage biologique doit être tempéré au niveau économique par une forte demande des aquaculteurs pour la palourde japonaise prégrossie et par un prix plus élevé à la vente de celle-ci à taille identique vis à vis de l'huître creuse.

Le régime optimal de température pour la croissance des bivalves doit être un compromis entre la stimulation de la filtration, la production de chair et la croissance de la coquille, ainsi que le stress associé aux températures élevées (Mann et Ryther, 1977).

L'augmentation de température sans apport de nourriture est néfaste pour la croissance et la survie des mollusques filtreurs : En hiver, Price et al. (1976) démontrèrent que *C. virginica* enregistrait un faible taux de croissance en novembre malgré un réchauffement de l'eau à température adéquate. La croissance était alors limitée par la disponibilité en nourriture. De même, en été, les effets combinés de l'absence de nourriture et de l'élévation de température pouvaient être responsables selon Incze et al. (1980) de fortes mortalités chez *M. edulis*.

L'utilisation de l'échangeur thermique est indispensable en période hivernale pour obtenir une température d'élevage supérieure ou égale à 10°C. Par contre, en été, les maxima de température atteignant rarement des températures supérieures à 25°C dans cette région, le refroidissement de l'eau n'est pas

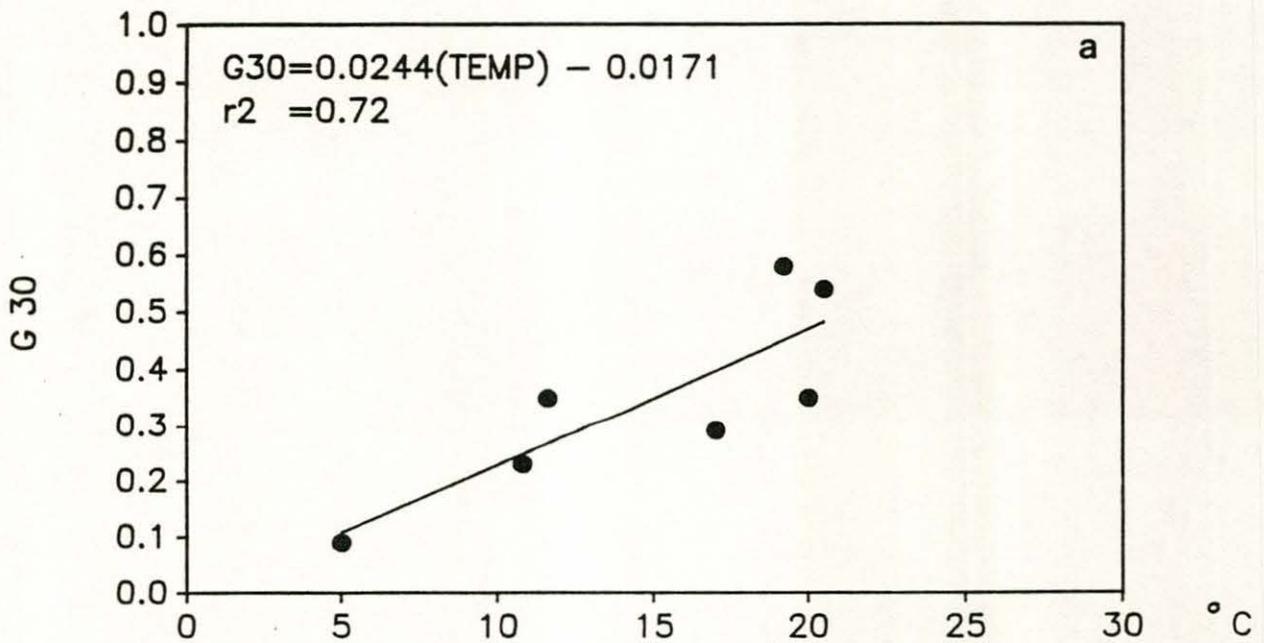
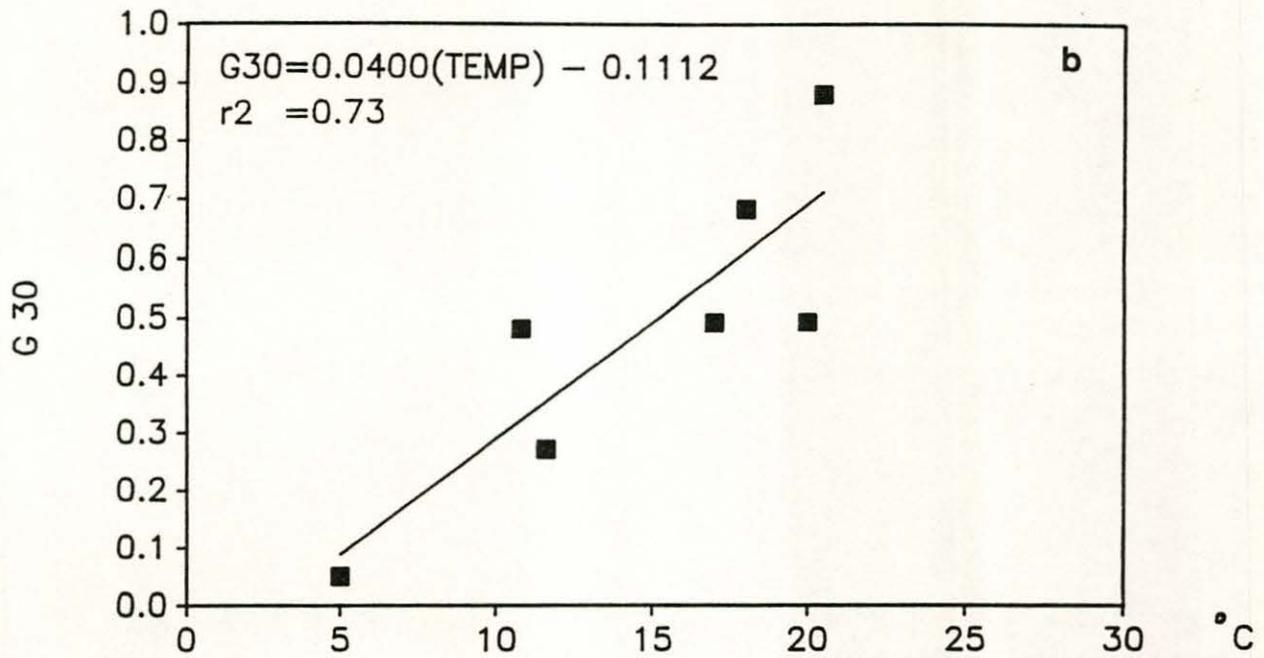


Figure 28 : Corrélation entre la température et la croissance (exprimée en G30) pour : a) *Ruditapes philippinarum* et b) *Crassostrea gigas*.

nécessaire. Il limite d'ailleurs sensiblement la croissance des coquillages lorsqu'il est employé à cette saison.

4.2. Production de nourriture

Dans nos expériences, la nourriture des bivalves est essentiellement acquise par l'apport d'une culture monospécifique d'un concentré de *S. costatum*, produit à faible coût à partir d'eau salée souterraine. Cette diatomée se multiplie aisément dans un milieu à salinité peu élevée et en présence de fortes teneurs en silice (Laing, 1985). Elle semblerait devenir une espèce dominante lorsque les teneurs en ammoniacque sont très fortes (3,3 mg/l). Or, ces fortes teneurs sont une caractéristique fondamentale de ces eaux de forage (Robert, 1987).

La culture continue et en extérieur de grands volumes de *S. costatum* n'a pu être réalisée de façon tout à fait satisfaisante. La technique discontinue employée pour nos expériences donne de meilleurs rendements, ce qui est en accord avec les travaux de Laing et Jones (1983).

Cette microalgue allie avec sa capacité de production en grands volumes une valeur nutritionnelle élevée pour les mollusques filtreurs (Walne, 1970a) et notamment pour *Mercenaria mercenaria* ainsi que *R. philippinarum* (Laing et al., 1987). Ceci corrobore les bons résultats de croissance enregistrés pour les vénéréidés avec cette espèce de diatomée (fig. 24).

Contrairement à Epifanio (1979) et Enright et al. (1986), Laing et Millican (1986) ne mettent pas en évidence une croissance plus forte des bivalves avec des cultures plurispécifiques par rapport aux cultures monospécifiques comme *Chaetoceros calcitrans*, espèce qui présente par ailleurs une très bonne valeur nutritive. Le bon équilibre au niveau des acides aminés essentiels chez cette espèce (Walne, 1970a ; Webb et Chu, 1983) en serait la cause.

Les bons rendements de croissance obtenus avec *S. costatum* pourraient être dus en partie à la présence d'acide gras polyinsaturés essentiels à 20 et 22 atomes de carbone, et particulièrement le 22,6 ω^3 (Langdon et Waldock, 1981). Cependant, selon Laing et Millican (1986) les taux de croissance sont moins élevés pour les élevages de bivalves nourris avec des cultures monospécifiques de *S. costatum* qu'avec des cultures mixtes comprenant *Tetraselmis suecica*. Cette carence nutritionnelle de la diatomée pourrait être le fait de sa faible teneur en Tyrosine, décelée par Chuecas et Riley (1969b). Ceci n'est cependant pas confirmé par les analyses de Enright et al. (1986) puisque *C. calcitrans* présente une meilleure valeur nutritionnelle et en même temps, une teneur en tyrosine moindre que *S. costatum*.

4.3. Apports de nourriture

Les gains de poids et de taille les plus importants en prégrossissement estival sont obtenus avec des apports élevés (C4) de *S. costatum* associés à un débit d'eau de mer de 3 m³/h. Si l'on calcule la concentration en phytoplancton distribué, elle correspond à environ 1 x 10⁵ C/ml en discontinu, soit un apport de phytoplancton par jour et par animal de 1,7.10⁸ cellules algales. Cette valeur correspond, en prenant en compte la taille du naissain de *C. gigas*, sensiblement au seuil optimal de phytoplancton à distribuer par jour, qui est fixé pour les huîtres adultes, par Mattheissen et Toner (1966) à 1,1.10⁹ C algales x animal⁻¹ x jour⁻¹. La concentration instantanée reste toutefois inférieure à celle préconisée par Tenore et Dunstan en 1973 pour *S. costatum*. D'après ces auteurs, les vénérédés et les ostréidés se nourrissent efficacement aux concentrations de 300 µg C/l correspondant à 2 x 10⁵ C/ml. Ces calculs ont été établis sur du naissain élevé en raceways alimentés par un courant laminaire. Cette concentration est approchée, dans notre étude par les conditions expérimentales de débit de 1 m³/h et de densité égale à C2 soit 1,5.10⁵ C/ml et pour le même débit à C4 soit 3.10⁵ C/ml. Toutefois, les performances de croissance sont inférieures dans ce cas à celles obtenues à moins forte concentration algale. Ce constat pourrait s'expliquer par l'impact de la technique d'apport de la nourriture, qui peut être effectuée :

- 1) en courant ascendant ou en courant laminaire
- 2) avec un débit ou à une vitesse plus ou moins rapide
- 3) en apport continu ou séquentiel.

La distribution de la nourriture en courant ascendant apparaît être une technologie très adaptée pour l'optimisation de la croissance, car toute l'eau enrichie passe obligatoirement à travers les coquillages alors qu'en flux laminaire la colonne d'eau transite au-dessus de ceux-ci. Le premier mode de distribution permet d'augmenter la quantité d'individus en élevage et d'en faciliter la maintenance (Manzi *et al.*, 1984).

L'effet du débit est masqué la plupart du temps par l'impact de la quantité de nourriture et de la température. Le mouvement de l'eau agit cependant sur la nutrition et probablement sur la croissance. Selon Malouf et Breese (1978) la croissance des huîtres augmente avec la vitesse de passage (débit) de l'eau à travers les tubes tamis. Elle doit permettre à la fois d'emporter les fèces produites et de stimuler la nutrition par l'établissement des conditions physiques optimales pour la filtration (Kirby Smith, 1972 ; Walne, 1972).

Ainsi, les différentes analyses factorielles montrent clairement que l'effet du débit est secondaire mais que celui-ci agit positivement sur la

croissance notamment pour le débit le plus important en période estivale. L'effet s'inverse en hiver à température faible pour les deux espèces. Cette dépendance entre l'élévation de la température et le débit croissant d'eau enrichie, mise en évidence pour *C. gigas* et *R. philippinarum*, a été soulignée par Rodhouse et O'Kelly en 1981 pour l'huître japonaise. Elle est issue de l'augmentation du taux de filtration en fonction de la température, selon la relation suivante :

$$FR = (- 0,92 + 0,17 T) LW^{-0,32}$$

où FR est égal au débit en $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$, T est égal à la température en degré celsius, et LW égal au poids vivant en gramme pour *C. gigas*.

Si l'on choisit le tamis de 10 (T10) comme classe finale moyenne de *C. gigas* à la fin du prégrossissement, en hiver et en été, et que l'on applique la formule précitée pour un poids moyen de *C. gigas* de 0,96 g et une température estivale de 20°C et hivernale de 10°C, on obtient un débit de 2,5 $\text{ml} \cdot \text{min} \cdot \text{g}^{-1}$. Pour un tube tamis contenant 25 000 individus, ceci représente un débit de 1,2 m^3/h en hiver et 3,9 m^3/h en été. Ces valeurs sont comparables aux débits préconisés dans notre étude (1 m^3/h en hiver et 3 m^3/h en été).

En été, l'eau de mer, même pauvre en phytoplancton, ne semble pas jouer uniquement un rôle de vecteur de nourriture (*S. costatum*). Elle pourrait servir, au-delà du rôle physique de percolation à travers le naissain, de complément nutritionnel pour équilibrer le bol alimentaire (phytoplancton plurispécifique, éléments dissous, oligo-éléments, vitamines) de façon qualitative ou/et de vecteur d'élimination des métabolites. Durant l'hiver l'assimilation et le métabolisme relativement bas des bivalves ne permettraient pas de mettre en évidence cette action.

4.4. Rythmes d'apports de nourriture

L'alimentation en discontinue de *C. gigas* et *R. philippinarum* en prégrossissement est un facteur d'optimisation de la croissance. Il a de plus l'avantage, en aquaculture intensive, de diminuer les coûts de pompage pour la distribution de la nourriture phytoplanctonique (14 h au lieu de 24 h). De nombreux auteurs ont constaté ce fait : Widdows et Bayne (1971), ainsi que Thompson et Bayne (1972) ont démontré une relation inverse entre le rendement d'assimilation et la densité cellulaire, pour un apport continu. Avec un apport discontinu, on force le naissain à avoir un rythme digestif (Langton et Gabott,

1974 ; Owen, 1974). De même, le rythme d'alimentation des bivalves évalué en laboratoire, ne semble pas être constant sur 24 h (Epifanio et Mootz, 1976).

Selon ces auteurs, en présence d'une concentration d'algue constante les huîtres ingèrent une quantité maximum en phase de filtration active, puis diminuent considérablement leur taux de filtration pendant la digestion de ces algues. Ces périodes successives d'activité et de repos dépendent du niveau de nourriture dans le milieu. Les périodicités sont moins marquées pour de faibles concentrations rencontrées dans le milieu marin. Winter (1970) conclue que chez *Mytilus edulis*, les périodes de filtration relativement basses coïncident avec des périodes d'intense activité digestive.

Enfin Langton et Mc Kay (1976) suggèrent que le rendement d'alimentation peut être plus élevé en stimulant la filtration en période d'alimentation, la concentration cellulaire instantanée étant plus forte avec un apport discontinu.

En conclusion, l'établissement d'un régime nutritionnel optimal avec un apport discontinu nécessite de connaître les concentrations maximales et minimales utiles à l'espèce, pour établir la ration quotidienne à injecter dans le système. Cette connaissance est à relier dans le cas de production intensive de cultures monospécifiques, à la valeur nutritionnelle, à la taille et à la concentration de l'algue employée, ainsi qu'à la périodicité d'injection dans le milieu d'élevage en fonction de la température.

Dans nos différentes expériences, les prises de nourriture ont été évaluées par la mesure de la concentration en pigments totaux (méthode de Lorenzen) dans le milieu, avant et après passage de l'eau à travers les différents tubes tamis. Les consommations en pigments totaux s'échelonnent entre 10 et 40 % de la concentration injectée. Il en résulte un faible rendement des coquillages et une perte massive de nourriture qui, dans nos expériences, n'était pas recyclée. Ces chiffres sont similaires à ceux de Manzi et al. (1986) qui constatent pour *M. mercenaria* une réduction importante du taux de croissance lorsque la prise excède 20 % de la chlorophylle apportée. Pour *R. philippinarum* en nourricerie, Héral (1982) obtiennent une croissance correcte lorsque 70 à 80 % de la chlorophylle est présente dans les effluents. Selon Kirby-Smith (1972) *Argopecten irradians concentricus* ne pousse correctement en raceways que lorsque 60 % de la chlorophylle est encore présente dans les eaux de rejets. Il apparait donc que pour l'ensemble des bivalves filtreurs, à toutes les

températures, la proportion d'algue consommée est faible mais qu'un surplus de nourriture est indispensable pour une bonne croissance, ces résultats étant en accord avec ceux de Laing *et al.* (1987) et Walne (1972).

4.5. Aspects économiques

Une étude économique a été réalisée sur les différents scénarios issus des données optimisées de prégrossissement pour chaque saison (Baud, 1988). En résumé, la période de prégrossissement intensif "printemps, été, automne" se présente comme l'option stratégique optimale. Le prégrossissement hivernal seul n'est pas viable économiquement, il peut être intégré à un scénario "prégrossissement toutes saisons" seulement si une plus value importante en grossissement ou en prix de vente peut être réalisée à partir du naissain prégrossi en hiver.

Avec 1,36 F/m³ le prix de revient de la production de *S. costatum* en grands volumes sur plusieurs saisons au cours d'une année revient à moins de 7 % des charges du compte d'exploitation.

De Pauw estimait en 1981 que le prix de revient du phytoplancton ne devait pas excéder 10 % des charges de production pour le prégrossissement d'*Ostrea edulis* et que seul l'induction de blooms naturels plurispécifiques pourrait atteindre cet objectif. Il s'appuyait sur les travaux de Walne (1976) qui pour une production d'*Isochrysis galbana* établissait le prix de revient exprimé en kilogramme de poids sec entre 720 F et 1 200 F alors que Loring (com. pers. in De Pauw, 1981) estimait le prix de revient de *Thalassiosira pseudonana* à 972 F le kg de poids sec.

Ces coûts étaient d'environ 10 fois supérieurs à l'estimation de 138 F le kg de poids sec du phytoplancton produit à partir de blooms naturels par le laboratoire d'Ostend.

Des travaux récents d'optimisation de la concentration de la biomasse de *S. costatum* produite à partir d'eau salée souterraine (Gouabau, 1989 ; Jaouen *et al.*, 1990 ; Morançais, 1990) nous ont permis d'estimer le prix de revient de la pâte de *Skeletonema costatum*. A partir de ces données, une analyse technique et économique a été faite (Durand, comm. pers.). Il en résulte que la centrifugation à bas nombre de g semble être le meilleur procédé pour produire une pâte ayant

pour extrait sec une valeur proche de 20 % et un prix de revient de l'ordre de 50 F/kg. Le séchage par atomisation permet d'obtenir une poudre estimée à 270 F par kilogramme de poids sec, soit quatre fois moins chère que les productions d'algues monospécifiques précédemment décrites et seulement 2 fois plus élevée que les estimations des blooms naturels de De Pauw en 1981. Dans un proche avenir, le prix de revient de *S. costatum* pourrait encore être diminué en recherchant un matériau moins onéreux que le béton pour la fabrication des bacs de culture et en intensifiant la biomasse par ajout de sels nutritifs de type agricole et de carbone sous forme dissoute.

V. CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES

Le prégrossissement intensif en été et en hiver de bivalves filtreurs (*R. philippinarum* et *C. gigas*) est donc réalisable en marais sur le plan biologique grâce à l'utilisation de l'eau salée souterraine.

Ces eaux de forage, de par leur température constante et leur grande richesse en sels nutritifs permettent en effet :

- d'élever la température du milieu d'élevage l'hiver par l'intermédiaire d'un échangeur thermique,
- de produire en toutes saisons la diatomée *Skeletonema costatum*, qui présente un fort potentiel nutritionnel, pour une culture en grands volumes.

Les différentes études zootechniques sur le prégrossissement intensif ont permis de définir une technique d'élevage pour chaque saison, commune aux deux espèces de bivalves et directement transférable aux aquaculteurs. La hiérarchisation des paramètres d'élevage peut être exprimée dans l'ordre décroissant d'importance : température, nourriture, densité, débit. La définition des principaux paramètres d'élevage est rappelée dans le tableau 30.

Tableau 19 : Rappel des conditions d'élevages retenues pour *R. philippinarum* et *C. gigas* en prégrossissement intensif.

Espèces	Saisons	Qualité d'eau	Densité	Débit eau de mer	Débit <i>S. costatum</i>	Fréquence d'injection
<i>R. philippinarum</i>	Hiver	Eau échangée (≈ 10°C)	25 000/tube tamis	1 m ³ /h/tube tamis	150 l/h/tube tamis	discontinue 14 h / 24 h
<i>C. gigas</i>	Eté	Eau naturelle (≈ 20°C)	25 000/tube tamis	3 m ³ /h/tube tamis	150 l/h/tube tamis	discontinue 14 h / 24 h

Les résultats très prometteurs de cette étude se sont soldés depuis 1986 par l'implantation de 11 nourriceries artisanales de palourde et d'huître creuse dont 5 sont actuellement établies sur le modèle intensif dans ce secteur. De ce fait, avec 80 millions de naissains produits en écloserie et 53 millions de naissains prégrossis en 1987, la baie de Bourgneuf se place au premier rang des secteurs de production de juvéniles de bivalves en France. Il est réaliste de penser, que dans un proche avenir, les perspectives d'extension de cette technique pourront dépasser le cadre régional et s'appliquer dans d'autres régions côtières, si elles possèdent des eaux salées souterraines de caractéristiques physico-chimiques similaires, comme en Charente-Maritime et peut être en Gironde.

D'autre part, et hormis les techniques de prégrossissement intensif, l'utilisation des eaux salées souterraines ouvre des voies nouvelles de recherche dans des domaines très variés :

- intensification de toutes les phases d'élevage de bivalves (*R. philippinarum*, *O. edulis*, *Chlamys varia*).
- intensification de l'engraissement des huîtres creuses avant commercialisation.
- production de phytoplancton pour sa valorisation industrielle,
- production de calories pour l'aquaculture,
- milieu d'élevage pour le poisson (turbot, bars, etc...) après traitement physico-chimique de l'eau de forage.

Cependant, au préalable, deux conditions fondamentales à l'exploitation de cette richesse qui nous vient du sous-sol devront être remplies.

D'une part, il convient d'acquérir une connaissance approfondie de la ressource en eau souterraine. D'autre part il sera très vite nécessaire de mettre en place une gestion rationnelle de cette ressource pour assurer la constance de sa qualité, et éviter son épuisement. C'est à ces deux conditions qu'une aquaculture intensive pourra se développer pleinement dans cette région.

VI. BIBLIOGRAPHIE

- Anonymes, 1988. La palourde. Dossier d'élevage. IFREMER, ISB n°2-905, 434-16.3, 55 p.
- Askew C.G., 1978. A generalized growth and mortality model for assessing the economics of bivalve culture. *Aquaculture* 14 : 91-104.
- Barnabé G., 1986. La collecte des microalgues. In : G. Barnabé (Editor). *Aquaculture*, vol. 1 Lavoisier Technique et Documentation, Paris : 154-198.
- Baud J.P. et Haure J., 1987. Estimation des stocks d'huîtres cultivées dans la Baie de Bourgneuf en 1986. Rapport interne IFREMER DRV 87-020-RA/BOUIN, 32 p..
- Baud J.P., 1988. Stratégie de prégrossissement intensif de naissains de palourdes (*Ruditapes philippinarum*) et d'huîtres (*Crassostrea gigas*) en baie de Bourgneuf. Rapport interne IFREMER RIDRV-88-031-RA/BOUIN, 89 p.
- Baud J.P. et Haure J., 1988. Estimation des stocks de moules de gisements naturels dans la Baie de Bourgneuf en 1986. Rapport interne IFREMER DRV-88-012-RA/BOUIN, 29 p.
- Baud J.P., Haure J., Marion A. et Robert J.M., 1990. Caractéristiques hydrologiques de quatre secteurs ostréicoles de la baie de Bourgneuf en 1987. Rapport interne IFREMER RIDRV-90-04-RA/BOUIN, 66 p.
- Baud J.P., Robert J.M., Lemoine O., 1991. Potential uses of subterranean salt water for aquaculture on the coast of "Pays de Loir"e" (France). Short communication and poster in Dublin, June 10-12. EAS Special publication n° 14, 23, 24 p.
- Baud J.P., Jolly C., 1991. Adaptation de la technique du télécaptage de l'huître creuse (*Crassostrea gigas*) aux conditions d'élevage de la baie de Bourgneuf. IFREMER Rapport interne, sous presse.
- Bayes J.C., 1981. Forced upwelling nurseries for oysters and clams using impounded water systems p. 73-83. In : EMS Special Publication n°7, European Mariculture Society, Bredene, Belgium, 394 p.
- Bayne B.L. and Newell R.C., 1983. Physiological Energetics of Marine Molluscs in the Mollusca, W. Hochachka, ed. vol. 4, Physiologie, Part 1, pp. 407-515.
- Begin M., 1984. Eaux de forages de Bouin ; Caractéristiques et utilisation biologique. Rapport D.D.A. Vendée, 30 p.
- Bernard F., 1963. Détermination rapide de la salinité des milieux marins par réfractométrie. *Arch. Zoo. Exp. Gen.*, 102 : 7-13.
- Bodoy A., Riva A. et Maitre-Allain Th., 1986. Comparaison de la respiration chez *Ruditapes decussatus* (L.) et *Ruditapes philippinarum* (Adams & Reeve) en fonction de la température. *Vie Milieu*, 36 (3) : 83-89.

- Bodoy A., Bacher C. et Geairon P., 1987. Estimation des stocks d'huîtres cultivées dans le bassin de Marennes-Oléron en 1986. Rapport interne IFREMER DRV-87-005-RA/TREM, 22 p.
- Breese W.P. and Malouf R.E., 1975. Hatchery Manual for the Pacific oyster. Oregon state University Sea Grant College Program Publication n° ORESU-H-75-00 and Agricultural Experiment Station, Special Report n° 443, Corvallis, Oreg., 22 p.
- Bresson G., 1981. Recherche en eau souterraine pour l'aquaculture, campagne 1981. Rapport D.D.A. Département de la Vendée, 31 p.
- Bresson G., 1982. Possibilité d'exploitation des eaux souterraines en Vendée pour l'Aquaculture. Rapport D.D.A. Département de la Vendée, 18 p.
- Chuecas I. and Riley J.P., 1969b. Component fatty acids of the total lipids of some marine phytoplankton. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, Vol. 49 : 97-116.
- Claus C., 1981. Trends in nursery rearing of bivalve molluscs p. 1-33 : EMS Special publication n° 7, European Mariculture Society, Bredene, Belgium, 344 p.
- Curl H. Jr and McLeod G.C., 1961. The physiological ecology of a marine Diatom *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve. *J. mar. Res.*, 19 : 70-88.
- De Pauw N., 1981. Use and production of microalgae as food for nursery bivalves. p. 33-69. In : EMS Special publication n° 7, European Mariculture Society, Bredene, Belgium, 394 p.
- De Pauw N. Verboven J. and Claus C., 1983. Large scale microalgae production for nursery rearing of marine bivalves. *Aquacultural Engineering* 2 : 27-47.
- Dréno J.P., 1979. Essai de prégrossissement de naissain de palourdes en claires à huîtres. *Science et Pêche. Bull. Inst. Pêches Marit.*, 292 : 1-11.
- Dubois F., Gilles A., Hamilton J.K., Rebecs P.A. and Smith F., 1956. Colorimetric methods for determination of sugar and related substances. *Anal. Chem.*, 28 : 350-356.
- Dupuy J., Windsor N.T. and Sutton C.E., 1977. Manual for design and operation of an oyster seed hatchery for the american oyster *Crassostrea virginica*. Special report n° 142. In applied marine science and ocean engineering. The virginica institute of marine science, Gloucester Point, Virginia, 104 p.
- Enright C.T., Newkirk G.F., Graigie J.S. and Castell J.D., 1986. Evaluation of phytoplankton as diets for juvenile *Ostrea edulis* L.. *J. exp. Mar. Biol. Ecol.*, vol. 96 : 1-13.
- Epifanio C.E. and Mootz C.A., 1976. Growth of oysters in a recirculating maricultural system. *Proc. Natl. Shellfish. Assoc.*, vol. 65 : 32-37.
- Epifanio C.E., Mootz Logan C. and Turk C., 1976. Culture of six species bivalves in a recirculating seawater system. p. 97-108. In : Proc. 10th European Symposium Marine Biology, vol. 1 Persoone G. and E. Jaspers (eds), Universa Press, Wetteren, Belgium, 620 p.

- Epifanio C.E., 1979. Growth in bivalve molluscs : nutritional effects of two or more species of algae in diets fed to the American oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin) and the hard clam *Mercenaria mercenaria* (L.). *Aquaculture*, 18 : 1-12.
- Etienne H., 1982. Alimentation en eau salée des bassins pour l'aquaculture à partir des eaux souterraines. Programme d'études générales, Note BRGM-PAL-7.
- Gabott P.A., Jones S.A. and Nichols D.H., 1975. Studies on the design and acceptability of micro encapsulated diets for marine particle feeders II. Bivalve Molluscs. Proc 10th European Symp. Mar. Biol. Ostend, B, Sept. 17-23, 1975, vol. 1 : 127-141.
- Gimazane J.P. et Medhioub N., 1979C. Croissance du naissain de la clovisse japonaise *Tapes semidecussatus* dans le lac de Bizerte. Premiers résultats. *Bull. Off. Natl. Pêche*, Tunisie 3 (2) : 99-106.
- Grobbelaar J.U., Sueder C.J. and Toerdien D.F., 1981. Waste water for aquaculture, Univ. Orange Free State Publ. Ser. C, 3 : 215 p.
- Goldman J.C. and Mann R., 1980. Temperature-influenced variation in speciation and chemical composition of marine phytoplankton in outdoor mass cultures. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 46 : 29-39.
- Gouabau X., 1989. Procédés de concentration des microalgues marines, centrifugation-microfiltration tangentielle. Aspects technico-économiques. Rapport de DEA, Université de Nantes, 39 p.
- Gouleau D., 1971b. Le régime hydrodynamique de la Baie de Bourgneuf et ses conséquences sur la sédimentation. *Cahiers Océanographiques*, XXIII, 7 : 629-647.
- Guerin-Ancey O., Maestrini S.Y., Beker L., 1978. Utilisation d'engrais agricoles comme source de nitrates pour la culture massive de quelques algues marines. *Publ. Sci. Tech. CNEXO : Actes Colloq.*, n° 7 : 285-304.
- Guerrero Valero S., Farina Tresguerras T. and Silva Abuin A., 1981. Large scale outdoor algal production for rearing seed oysters and clams to juvenile stage p. 117-139. In : Nursery culturing of bivalve molluscs. Claus C., de Pauw N; and Jaspers E. (eds). EMS Special publication n°7, European Mariculture Society, Bredene, Belgium, 394 p.
- Guillard R.R.L. and Ryther J.H., 1962. Studies of marine planktonic diatoms *Cyclotella nana*. Hustedt and *Delonula conferrecea* (Cleve) Gran. *Can. J. Microbiol.*, 8 : 229-239.
- Hadley N.H., Manzi J.J., 1984. Growth of seed clams *Mercenaria mercenaria*, at various densities in a commercial scale nursery system. *Aquaculture*, 36 : 369-378.
- Hasting J.L. and Thomas W.H., 1977. Qualitative requirements and utilisation of nutrients : algae ; p. 87-163, In : RECHCIGLM, ed., Hand Book series in nutrition and food, sect. D : nutritional requirement, vol. 1, C.R.C. Press, Cleveland Ohio, USA.

- Helm M.M., Holland D.L. and 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.
- Helm M.M., 1977. Mixed algal feeding of *Ostrea edulis* larvae with *Isochrysis galbana* and *Tetraselmis suecica*. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 57 : 1019-1029.
- Héral M. et François P.H., 1976. Premières observations climatologiques en presqu'île Guérandaise et en Brière (Loire-Atlantique). *Bull. Soc. Sci. nat. Ouest Fr.*, 74 : 29-48.
- Héral M., Deslous-Paoli J.M., Garnier J., Prioul D., Heurtebise S. et Razet D., 1982. Facteurs contrôlant la croissance de *Ruditapes philippinarum* dans 4 nurseries de production en Charente-Maritime (France) C.M. 1982/F : 27.
- Hussenot J., 1988. Fertilisation par apport organo-minéral pour la production de bloom phytoplanctonique dans les bassins à fond de terre des marais atlantiques. CREMA L' Houmeau, rapport technique H88-01 : 8p - 6 p tabl. fig.
- Ignatiades S.L. and Fogg G.E., 1973. Studies of the factors affecting the release of organic matter by *Skeletonema costatum* (Greville) cleve in culture. *J. mar. Biol. Ass. U.K.*, 53 : 937-956.
- Imai T., 1977. Aquaculture in shallow sea. Progress in shallow sea culture. Translated from Japanese. Amerind Publishing co., Pvt., Ltd., New Delhi, India, 615 p.
- Incze L.S., Lutz R.A. and Watling L., 1980. Relationships between effects of environmental temperature and seston on growth and mortality of *Mytilus edulis* in a temperate Northern Estuary. *Marine Biology*, 54 : 147-156.
- Jaouen P., Morançais P., Bothorel M., Quemeneur F., Baud J.P., 1990. Hollow fibre microfiltration for the recovery of single cell marine algae. Interests and limitations. An alternate competitive technique to centrifugal separation. Communication orale, écrite et poster. Secon international conference on separations for biotechnologie, Reading, UK, Septembre 11-13, 1990.
- Jegou A.M. et Creze J.Y., 1977. Groupe de travail. Parcs et réserves en milieu marin. Site étudié : la Baie de Bourgneuf. CNEOX, 168 p.
- Kain J.M. and Fogg G.E., 1960. Studies on the growth of marine phytoplankton. III *Prorocentrum micens* Ehrenberg. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 39 : 33-50.
- Kergariou (de) G., Latrouite D., Perodou D. et Claude S., 1981. Données sur la biologie de *Ruditapes philippinarum* et *Ruditapes decussatus* en élevage sur la côte morbihannaise. *Int. Council Exploit. Sea*, C.M. 1981/K : 34, 12 p.
- Kirby Smith W.W., 1972. Growth of the bay scallops : the influence of experimental water currents. *J. exp. mar. biol. Ecol.*, 8 : 7-18.
- Koroleff F., 1969. Direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue. ICES, C.M. 1969/C : 9 Hydr. Comm.

- Laing I. and Jones E., 1983. Large scale turbidostat culture of marine microalgae. *Aquacult. Engng.*, 2 : 203-212.
- Laing I., 1985. Factors affecting the large scale production of four species of commercially important marine algae. *Aquaculture*, vol. 44 : 16-166.
- Laing I. and Millican P.F., 1986. Relative growth and growth efficiency of *Ostrea edulis* L. spat fed various algal diets. *Aquaculture*, vol. 54 : 245-262.
- Laing I., Utting S.D. and Kilada R.W.S., 1987. Interactive effect of diet and temperature on the growth of juvenile clams. *J. exp. Mar. Biol. Ecol.*, vol. 113 : 23-38.
- Langdon C.J. and Siegfried C.A., 1984. Prospects in the development of artificial diets for bivalve filter feeders. *Aquaculture*, 39 : 135-153.
- Langdon C.J. and Waldock M.J., 1981. The effect of algal and artificial diets on the growth and fatty acid composition of *Crassostrea gigas* spat. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, vol. 61 : 431-448.
- Langton R.W. and Gabott P.A., 1974. The tidal rhythm of extracellular digestion and the response to feeding in *Ostrea edulis*. *Mar. Biol.*, 24 : 181-187.
- Langton R.W. and Mc Kay G.U., 1976. Growth of *Crassostrea gigas* Thunberg spat under different feeding regimes in a hatchery. *Aquaculture*, 7 : 225-233.
- L.C.H.F., 1986. Le Gois-Fromentine. Hydraulique et sédimentologie. Avis technique. Rapport pour T.P.E. maritimes, 52 p.
- Le Borgne Y., 1977. L'écloserie-nurserie de la Satmar et les possibilités actuelles de production de naissain de mollusques bivalves. 3rd Meeting of the ICES Working Group on Mariculture. *Actes des Colloques du CNEXO* : 4-353.
- Le Borgne Y., 1980. Big hatchery supplies French growers. *Fish Farming International* 7 (4) : 12-14.
- Le Borgne Y., 1981. Nursery culturing of postlarvae. Key to further development for bivalve molluscs hatcheries p. 141-149. In : EMS Special Publication n°7, European Mariculture Society Bredene, Belgium, 394 p.
- Le Borgne Y., 1983. Dix ans de production en écloserie de Mollusques bivalves. IFREMER *Acte de Colloques* (1) : 151-154.
- Liebig J., 1840. Die chemie in ihrer anwendung auf agrihkultur und Physiologie. Taylor and Walton (4th ed., 1847), London.
- Loosanoff V.L. and Davis H.J.C., 1963. Rearing of bivalve molluscs. *Adv. mar. Biol.*, 1 : 1-138.
- Lorenzen C.J., 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments : spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* 12 : 343-346.
- Lowry O.N., Rosebrough N.I., Farrand A.L. and Randall R.J., 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 193 : 263-275.

- Lucas A., 1977. Culture of the Manila clam (*Venerupis semidecussata* Reeve) from hatchery-reared spat. Publ. Sci. Tech. CNEXO, *Actes Colloq.*, 4 : 317-330.
- Lucas A., 1981. Le rôle du naissain d'écloserie dans la culture des bivalves en 1980. *Pêches maritime* n° mai 1981, 2 p.
- Maestrini S.Y. et Gonzalez-Rodriguez E., 1983. Relative yields of marine algae grown in heavily nutrient-enriched seawater. *La mer* 21 : 145-150.
- Malara G. et Charra R., 1972. Dosage des glucides particuliers selon la méthode de Dubois. Notes de Travail, S.Z. Villefranche-sur-Mer, 5 p.
- Malouf R.E. and Breese W.P., 1978. Intensive culture of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg) in heated effluents. Oregon state Univ. sea grant Program. Publ. n° ORESU-T-78-003 Corvallis.
- Mann R., 1979. The effect of temperature on growth, physiology, and gametogenesis in the manila clam *Tapes philippinarum*. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 1979, vol. 38 : 121-133.
- Mann R. and Ryther J.H., 1977. Growth of six species of bivalve molluscs in a waste recycling. *Aquaculture* 11 : 231-245.
- Manzi J.J., Hadley N.H., Battey C., Haggerty R., Hamilton R. and Carter M., 1984. Culture of the northern hard clam *Mercenaria mercenaria* (Linné) in a commercial scale, upflow, nursery system. *Journal of Shellfish Research*, vol. 4, n°2 : 119-124.
- Manzi J.J., Hadley N.H. and Maddow M.B., 1986. Seed clam, *Mercenaria mercenaria*, culture in an experimental scale upflow nursery system. *Aquaculture*, 54 : 301-311.
- Marsh J.B. and Weinstein D., 1966. Simple charring method for determination of lipids. *J. Lipids Res.*, 7 : 574-576.
- Masson M., 1976. Nourriture des larves de moules (*Mytilus edulis* L.). Essai d'alimentation artificielle. *Bull. Soc. Zool. France*, 101 (5) : 889.
- Matsu E., 1954. On the culture of the marine plankton diatom, *Skeletonema costatum* (Grev.) cleve. In : Review of fisheries Science in Japan. *Jap. Soc. Adv. Sci.*, Tokyo, 41 p.
- Matthiessen G.C. and Toner R.C., 1966. Possible methods of improving the shellfish industry of Martha's Vineyard Duke's County, Massachusetts. *The marine Foundation Inc*, 1-138.
- Maurer D. and Price K.S., 1967. Holding and Spawning Delaware Bay oyster (*Crassostrea virginica*) out of season. I. Laboratory facilities for retarding spawning. *Proc. Natl. Shellf. Assoc.*, 158 : 71-77.
- Mercer J.P., 1981. Nursery culture of bivalve molluscs in Ireland, progress and problems P. 189-195. In : Nursery culturing of bivalve molluscs. EMS Special Publication n°7, European Mariculture Society, Bredene, Belgium, 394 p.

- Moerman R., 1979. Vittesten van enkele groeibepalende factoren bij de juveniele bivalven *Ostrea edulis* L. en *Venerupis semidecussata* Reeve. Rijksuniversiteit Gent. Thesis, 116 p.
- Morançais P., 1990. Optimisation et comparaison de différentes méthodes de concentration de la microalgue marine *Skeletonema costatum* : microfiltration, ultrafiltration et centrifugation. DEA, Université de Nantes. Génie des procédés, 56 p.
- Na G.H., 1986. Successions saisonnières du phytoplancton et évolution parallèle des peuplements et de la biomasse algale fixés sur collecteurs expérimentaux, dans les eaux du polder de Bouin (Vendée, France) : Relation avec les facteurs abiotiques du milieu. Thèse de 3ème cycle, Univ. Nantes, 176 p.
- Nell J.A. and Wisely B., 1985. Experimental feeding of Sydney rock oysters (*Succostrea commercialis*) II protein supplementation of artificial diets for adult oysters. *Aquaculture*, 32 : 1-9.
- O'Brien F.I., 1979. Market time prediction during raft culture of oysters. *Fish Farming International* 6 (1) : 12-13.
- Owen G., 1974. Feeding and digestion in the Bivalvia. *Adv. Physiol. Biochem.*, 5 : 1-35.
- Parsons T.R., Stephens K. and Strickland J.D.H., 1961. On the chemical compositions of eleven species of marine phytoplankters. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 18 : 1000-1016.
- Peyre R., Zanette Y. et Héral M., 1980. Elevage de palourdes sous filet en milieu fermé. *Science et Pêches, Bull. Inst. Pêches Marit.*, 307.
- Porteres G.A., 1986. Contribution à l'amélioration de la culture des naissains de palourdes japonaises (*Ruditapes philippinarum* A & R) : Réchauffement hivernal de l'eau et apport de nourriture.
- Price A.H., Hess C.T. and Smith C.W., 1976. Observations of *Crassostrea virginica* cultured in the heated effluent and discharged radionuclides of a nuclear power reactor. *Proc. Nat. Shellfish. Assoc.*, 66 : 54-68.
- Provasoli L., Mc Laughlin J.J.A. and Droop M.R., 1957. The development of artificial media for marine algae. *Archiv. Für Mikrobiologie*, 25 : 392-428.
- Ravail B. et Robert J.M., 1985. Influence de la salinité sur la multiplication du *Skeletonema costatum* dans les eaux estuariennes de la Loire. *Cryptogamie Algologie*, 6 : 51-60.
- Redfield A.C., 1934. On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton. In James Johnstone Memorial volume. The university press, Liverpool : 176_192.
- Redfield A.C., Ketchum B.H. and Richards F.A., 1963. The influence of organisms on the composition of sea water. In the sea, ed. Hill, Interscience, New-York, Lond., 2 : 26-77.
- Ricker W.E., 1968. Methods for assessment of fish production in fresh waters. IBP Hanbock n°3 Blackwell Scientific Publications, Oxford, 348 p.

- Rincé Y., 1978. Intervention des diatomées dans l'écologie des claires ostréicoles de la baie de Bourgneuf. Thèse Doct. Spécialité, Univ. Nantes, 203 p.
- Rincé Y., 1979b. Cycle saisonnier des peuplements phytoplanctoniques et microphytobentiques des claires ostréicoles de la baie de Bourgneuf. *Rev. Algol.*, 14 (N.S.) : 297-313.
- Riva A. and Lelong P., 1981. Growth of juvenile bivalve molluscs associated with continuous cultures of natural marine phytoplankton p. 253-268. In : EMS Special Publication n°7, European Mariculture Society, Bredene, Belgium.
- Robert J.M., Maestrini S.Y., Bages M., Dréno J.P. et Gonzalez-Rodriguez E., 1979. Estimation au moyen de tests biologiques de la fertilité pour trois diatomées des eaux des claires à huîtres de Vendée. *Oceanol. Acta*, 3 : 275-286.
- Robert J.M., 1983. Fertilité des eaux des claires ostréicoles et verdissement : Utilisation de l'azote par les diatomées dominantes. Thèse d'état, Univ. Nantes, 281 p.
- Robert J.M., 1987. Valorisation des sites aquacoles existants ou potentiels de la région des pays de la Loire, par utilisation des eaux souterraines pour la production d'algues unicellulaires destinées à l'alimentation de différentes espèces de mollusques au cours de leur cycle d'élevage. Rapport convention Région des Pays de Loire et Université de Nantes, 49 p.
- Robert J.M., 1990. An example of development for aquaculture in France : The shellfish-culture polders in the bay of Bourgneuf. *Bull. Ecol.*, t. 21 (3) : 39-43.
- Rodde K.M., Sunderlin J.B. and Roels O.A., 1976. Experimental cultivation of *Tapes japonica* (Dehayes) (Bivalvia : Veneridae) in an artificial upwelling culture system. *Aquaculture*, 9 : 203-215.
- Rodhouse P.G. and O'Kelly M., 1981. Flow requirements of the oysters *Ostrea edulis* L. and *Crassostrea gigas* Thunberg in an upwelling column system of culture. *Aquaculture*, 22 : 1-10.
- Rodhouse P.G., Ottway B. and Burneil G.M., 1981. Bivalve production and food chain efficiency in an experimental nursery system. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 61 : 243-256.
- Roels O.A., Sunderlin J.B., Laurence S., 1979. Bivalve molluscan culture in an artificial upwelling system. *Proc. World Maricul. Soc.* 10 : 122-138.
- Ryther J.H. and Tenore K.R., 1971. Integrated systems of mollusc culture (unpublished manuscript).
- Saint-Félix C., Baud J.P. et Hommebon P., 1984. Diversification de la production conchylicole. Elevage de la palourde japonaise en baie de Bourgneuf. *Science et Pêche*, 344-345-346 : 2 - 22.
- Sauze F., 1980. Utilisation des eaux résiduaires pour la culture des plantes aquatiques. Possibilité de méthanisation de la biomasse aquatique. La technique de l'eau et de l'assainissement n° 398.

- Spencer B.E. and Gough C.J., 1978. The growth and survival of experimental hatches of hatchery-reared spat of *Ostrea edulis* L. and *Crassostrea gigas* Thunberg using different methods for tray cultivation. *Aquaculture*, 13 : 293-312.
- Spencer B.E. and Happer B.T., 1981. Tide-powered upwelling systems for growing nursery-size bivalves in the sea. p. 283-309. In : EMS Special Publication n°7 European Mariculture Society, Bredene, Belgium 394 p.
- STATITCF, 1987. Guide de l'utilisateur. ITCF Edn. Paris, 150 p.
- Sunderlin J.B., Tolias W.J. and Roels O.A., 1976. Growth of the European oyster, *Ostrea edulis* Linné in the St Croix artificial upwelling mariculture system and in natural waters. *Proc. Natn. Shellfish. Ass.* 65 : 43-48.
- Tenore K.R. and Dunstan W.M., 1973. Comparaison of rates of feeding and biodeposition of the american oyster *Crassostrea virginica* Gmelin, feed different species of phytoplankton. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, vol. 12 : 19-26.
- Thompson R.J. and Bayne B.L., 1972. Active metabolism associated with feeding the mussel *Mytilus edulis* L.. *Kiel. Meeresforsch.*, 19 : 20-41.
- Treguer P. et Le Corre P., 1975. Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer (utilisation de l'autoanalyseur II Technicon) 2ème édition, Université de Bretagne Occidentale, 110 p.
- Verger F., 1957. Colmatage et endiguements sur les rivages de la Baie de Bourgneuf (Vendée). *Bull. Inform. C.O.E.C.*, 9 (3).
- Verger F., 1961. Conquête et reconquête des polders à Bouin, en Vendée. *Penn ar Bed* 3 (31).
- Walne P.R., 1965. Observations on the influence of food supply and temperature on the feeding and growth of *Ostrea edulis* L. *Fishery Invest.*, Lond., Vol. 24 (1) : 45 p.
- Walne P.R., 1970a. Studies on the food value of nineteen genera of algae to juvenile bivalves of the genera *Ostrea*, *Crassostrea*, *Mercenaria* and *Mytilus*. *Fishery invest.*, Lond. Ser. 2, 26 (5) : 62 p.
- Walne P.R., 1972. The influence of current speed, body size and water temperature on the filtration rate of five species of bivalves. *J. mar. Biol. Assoc. U.K.*, 52 : 345-374.
- Walne P.R., 1976. Factors affecting the relation between feeding and growth in bivalves p. 169-176. In : Harvesting polluted waters Durk O. (ed.) Plenum Press, New-York, 324 p.
- Webb K.L. and Chu F.L., 1983. Phytoplankton as a food source for bivalve larvae. In, Proceedings of the second International conference on aquaculture Nutrition. Biochemical and physiological approaches to shellfish nutrition, edited by G.D. Pruder C. Langdon and D. Carhlin, Louisiana state University, Baton rouge, Louisiana : 272-291.
- Widdows J. and Bayne B.L., 1971. Temperature acclimation of *Mytilus edulis* L. with reference to its energy budget. *J. mar. Biol. Assoc. U.K.*, 51 : 827.

- Winter J.E., 1970. Filter feeding and food utilization in *Arctica islandica* and *Modiolus modiolus* L. at different food concentrations p. 196-206. In : Marine food chains Stelle J.H. (ed.) Oliver and Boyd, Edinburgh, 552 p.
- Winter J.E., 1978. A review on the knowledge of suspension feeding in lamellibranchiate bivalves, with special reference to artificial aquaculture systems. *Aquaculture*, 13 : 1-33.
- Zanette Y., 1980. Intervention de quelques facteurs dans l'évolution de la biomasse des claires de Marennes-Oléron. *Cons. int. Explor. Mer*, C.M. 1980/L : 45, 11 p.