

IFREMER
Polder des Champs
85230 ROUIN
Tél. : 51.68.77.80

DIRECTION DES RESSOURCES VIVANTES

DEPARTEMENT RESSOURCES AQUICOLES

<p>AUTEUR (S) :</p> <p>Jean-Pierre BAUD</p>	<p>CODE :</p> <p>N° : DRV-88-031-RA/ROUIN</p>
<p>TITRE :</p> <p>STRATEGIE DE PREGROSSISSEMENT INTENSIF DE NAISSAINS DE PALOURDES (<i>R. PHILIPPINARUM</i>) ET D'HUITRES (<i>C. GIGAS</i>) EN BAIE DE BOURGNEUF.</p>	<p>date : 30 Décembre 1988</p> <p>tirage nb : 35</p> <p>Nb pages : 89 Nb figures : 44 Nb photos :</p>
<p>CONTRAT :</p> <p>CONVENTION DE RECHERCHES SMIDAP PAYS DE LOIRE N° 86 4240</p>	<p>DIFFUSION :</p> <p>Libre : <input checked="" type="checkbox"/> Restreinte : Confidentielle :</p>

RESUME :

Du naissain de palourde japonaise et d'huître creuse a été pré-grossi en conditions intensives en nourricerie au moyen d'une eau salée souterraine; utilisée comme ressource thermique et comme source de sels nutritifs pour la production d'algue fourrage. Les paramètres essentiels du milieu ont été suivis et les conditions d'élevage ont été contrôlées (densité de naissain, débit d'eau de mer, concentration de phytoplancton et température). Les résultats biologiques obtenus après traitement des interactions et de la hiérarchie des paramètres étudiés ont fait l'objet d'une analyse économique, pour chaque saison, par rapport à différentes stratégies de pré-grossissement des coquillages. Cette étude permet finalement de proposer une méthodologie intensive de pré-grossissement transférable au secteur professionnel aquicole.

Mots clés : Baie de Bourgneuf, *R. philippinarum*, *C. gigas*, pré-grossissement, nourricerie, culture intensive.

SOMMAIRE

	Pages
REMERCIEMENTS	
INTRODUCTION.....	1
I. LE CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET BIOLOGIQUE DES POLDERS DE BOUIN, LIEU D'IMPLANTATION DE LA NOURRICERIE EXPERIMENTALE....	5
1.1. Situation géographique.....	5
1.2. Caractéristiques hydrologiques.....	5
1.2.1. L'eau de mer.....	5
1.2.1.1. Réseau hydraulique.....	5
1.2.2. Les eaux souterraines.....	9
II. MATERIELS ET METHODES	
2.1. La nourricerie.....	11
2.2. Utilisation de la ressource thermique des eaux souterraines.....	11
2.3. Production phytoplanctonique sur eau souterraine.....	13
2.4. Choix des espèces de bivalves destinés au prégrossissement.....	15
2.5. Démarche expérimentale au niveau de la nourricerie.....	16
2.6. Expression des résultats.....	20
III. RESULTATS.....	22
3.1. Les variables hydrobiologiques.....	22
3.1.1. La température.....	22
3.1.2. Le phytoplancton.....	25

3.2. Croissance de deux espèces de Mollusques Bivalves <u>Ruditapes philippinarum</u> et <u>Crassostrea gigas</u> dans la nourricerie expérimentale.....	25
3.2.1. La palourde japonaise (<u>Ruditapes philippinarum</u>)...	25
3.2.1.1. Hiérarchisation et définition des paramètres d'élevage en nourricerie : Analyses factorielles de correspondance..	26
3.2.1.2. Performances de croissance.....	41
3.2.2. L'huître creuse (<u>Crassostrea gigas</u>).....	42
3.2.2.1. Hiérarchisation et définition des paramètres d'élevage en nourricerie : analyses factorielles de correspondance..	42
3.2.2.2. Performances de croissance.....	53
3.3. Analyse économique des différentes stratégies de prégrossissement en nourricerie.....	54
IV. DISCUSSION.....	75
4.1. Actions de la température.....	76
4.2. Production de nourriture.....	76
4.3. Apports de nourriture.....	78
4.4. Rythmes d'apports de nourriture.....	79
4.5. Aspects économiques.....	80
V. CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES.....	81
VI. BIBLIOGRAPHIE.....	84

REMERCIEMENTS

Cette étude s'insère dans le programme de recherche "diversification conchylicole en Baie de Bourgneuf" et a été partiellement financée par le SMIDAP.

Avant de présenter ce travail, je tiens à remercier vivement :

Mr Jean-Paul DRENO, Chef du Laboratoire IFREMER d'Arcachon qui m'a autorisé à utiliser l'ensemble des résultats acquis sur le prégrossissement en nourricerie et a participé à la correction de ce travail.

Mr Prestal HOMMEBON, ancien technicien de la station IFREMER et vénériculteur à part entière depuis 1986 qui, par son sérieux et sa compétence technique m'a assisté efficacement dans l'obtention des résultats de terrain.

Mr Alain BODOY, Chef du Laboratoire Loire-Gironde qui a participé aux corrections de ce manuscrit.

Mr Jean-Michel ROBERT, Professeur de Biologie Marine à l'Université des Sciences de Nantes pour ses corrections sur l'ensemble de ce rapport.

Mr Cédric BACHER, du Laboratoire IFREMER de La Tremblade qui m'a initié aux traitements statistiques et a participé à l'analyse des données.

L'ITCF pour l'utilisation dans le traitement des données du logiciel STAT-ITCF, développé par ses services.

Mr Pierre MONNIER, Directeur du groupement de gestion aquacole de la Baie de Bourgneuf qui, par sa disponibilité et son vif intérêt pour le sujet, m'a apporté les informations et conseils utiles dans la réalisation de l'approche économique de cette étude.

Mr Denis BAILLY, économiste à IFREMER pour ses conseils et corrections sur la partie économique de ce travail.

Mlle Sylvie TAILLADE, secrétaire aux Laboratoires RA IFREMER de La Tremblade, qui a assuré la frappe de ce manuscrit de manière remarquable.

INTRODUCTION

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

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 une fourniture de naissains pour diverses espèces et de ne plus être tributaire du caractère aléatoire du captage en milieu naturel, qui caractérise les ostreidés 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 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.

Structures	Géniteurs	Longueur/poids final
Ecloserie	production contrôlée de naissain 3 mois	3 à 4 mm/0,02 g
Nourricerie casier ou filet en claires	Prégrossissement 3 mois	10 à 16 mm/0,3 à 0,7 g
claires ou parcs sur estran	demi élevage 9 à 12 mois	25 à 30 mm/4 à 6 g
	élevage 9 à 12 mois	35 à 45 mm/12 à 23 g

Parmi celles-ci le prégrossissement représente une étape indispensable à la réussite d'élevage de mollusques en aquaculture (Bayne, 1981 ; Le Borgne, 1981).

Cette étape décisive 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 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 de subsurface en pleine eau

En casiers disposés dans la zone de balancement des marées

En casiers disposés sur des tables

- La Méthode "intensive" (alimentation par un flux nutritif) :

En nourricerie de prégrossissement par apport 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.

En Baie de Bourgneuf et concernant la méthode extensive en casier, les travaux de Dréno (1979) conduisent cet auteur à la conclusion qu'il serait profitable de rechercher une technique de prégrossissement intensive pour contrôler efficacement les paramètres de l'environnement et réduire la charge importante en temps de main d'oeuvre. Après la construction d'une nourricerie expérimentale en 1982 sur le site de la station IFREMER de Bouin, diverses études (St Félix, Baud et Hommebon, 1984) permirent de déterminer la 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 résultats acquis et dans le but de raccourcir le cycle d'élevage des bivalves, il est apparu nécessaire de décaler les périodes de prégrossissement dans les marais vers l'hiver et l'été, afin de pouvoir semer du naissain au printemps ou en automne, période de forte croissance sous nos latitudes. Il a été ainsi possible lors de tels prégrossissements, 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 et la déficience de nourriture phytoplanctonique en hiver et en été 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. L'utilisation de cette ressource géologique devenait alors intéressante pour pallier l'insuffisance des températures hivernales et les déficiences nutritionnelles du milieu naturel.

Dès lors, il existait une technique permettant d'améliorer les taux de croissance et de mortalité de deux espèces de bivalves (C. gigas et R. philippinarum).

Cette amélioration a été étudiée en nourricerie en faisant varier les paramètres du milieu et les conditions d'élevage pour chaque saison, grâce à une approche expérimentale comportant une phase de faisabilité puis une phase d'optimisation décrites dans ce présent mémoire.

Les résultats biologiques obtenus ont dans cet esprit fait l'objet d'un traitement sur les interactions et la hiérarchie des paramètres étudiés. Celles-ci ont été pondérées par une approche économique, pour chaque saison, afin de ne retenir que la meilleure stratégie de prégrossissement des espèces étudiées.

Finalement, 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 d'action cultural des aquaculteurs.

I. LE CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET BIOLOGIQUE DES POLDERS DE BOUIN, LIEU D'IMPLANTATION DE LA STRUCTURE EXPERIMENTALE

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.

Inscrite parmi les 130 exploitations conchylicoles installées dans les deux extrémités de ce polder (fig. 1), elle représente un outil privilégié pour l'étude et le suivi de cet écosystème infralittoral 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.

1.2. Caractéristiques hydrologiques

1.2.1. Eau de mer

1.2.1.1. Réseau hydraulique

A l'origine créé pour le stockage et le dégorgeement 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 le 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.

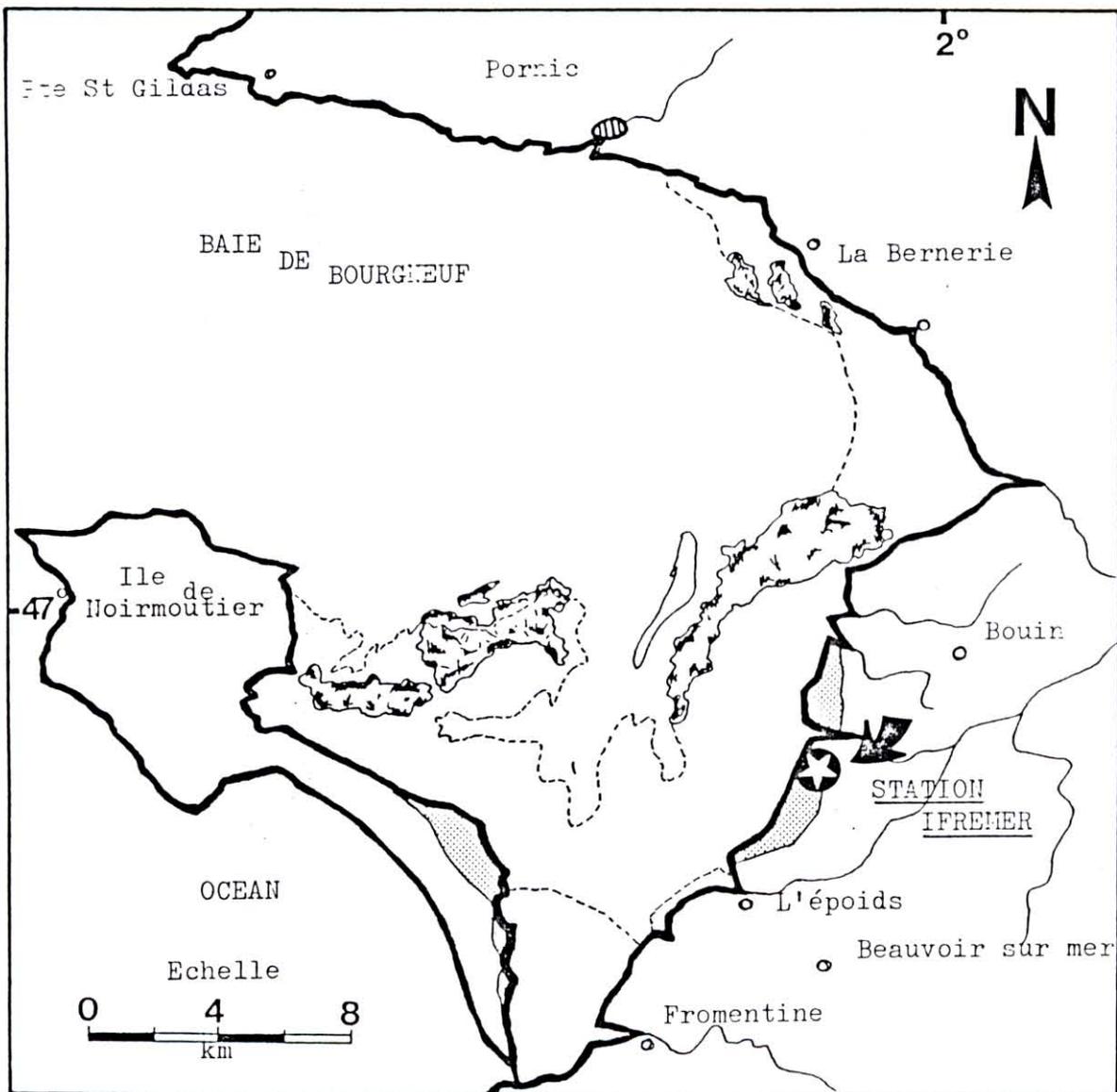
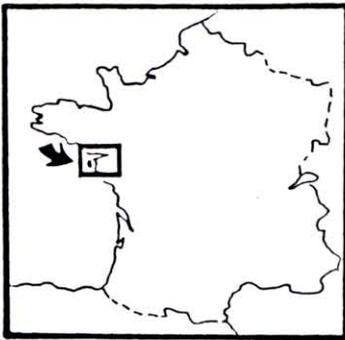


Figure 1 : Localisation de la station IFREMER de Bouin et des polders (en gris) en Baie de Bourgneuf.

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 par son niveau par rapport à la cote de l'estran voisin, permet une alimentation gravitaire en continu pour toutes les parcelles par différence de niveau entre les canaux principaux d'alimentation et d'évacuation.

Le stockage de l'eau est assuré 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.

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 précipitation 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 par l'appauvrissement des te-

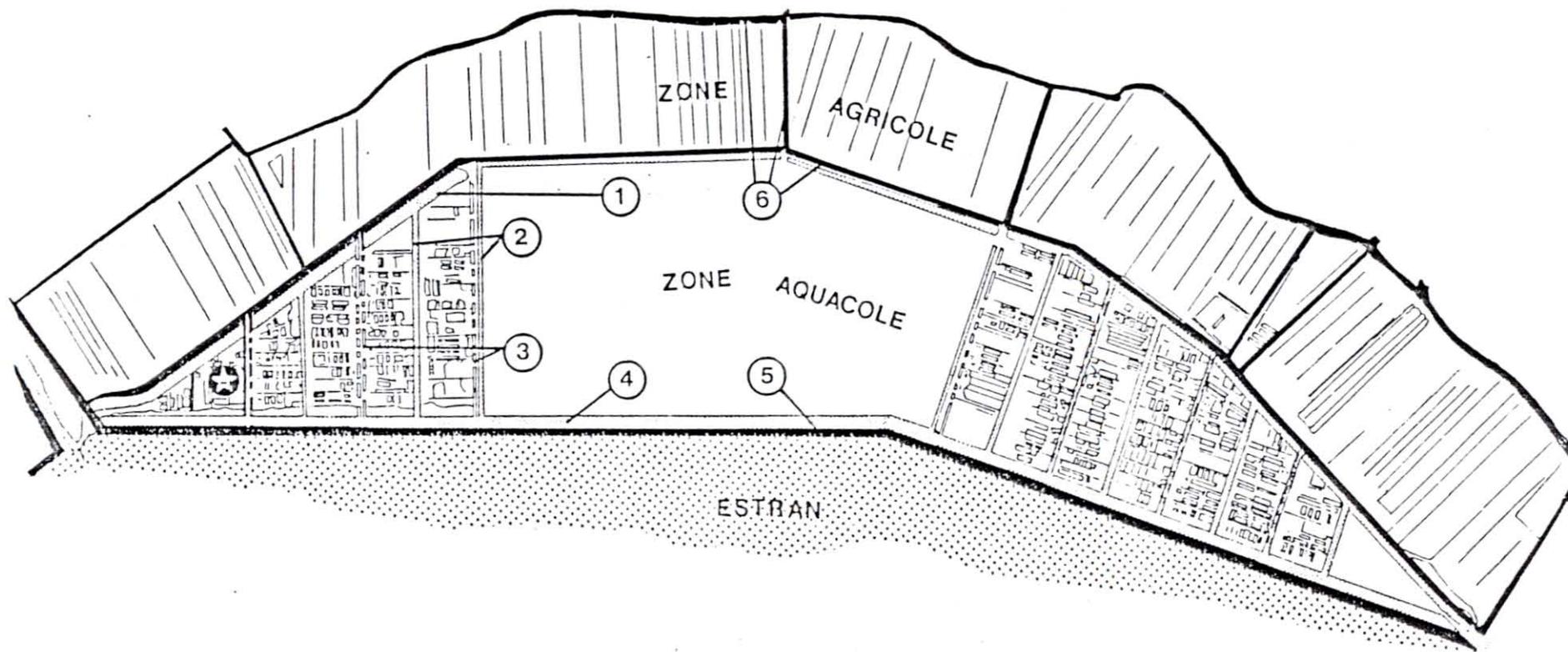


Figure 2 : Description du réseau hydraulique du polder de Bouin :

- 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.

neurs en sels nutritifs et le "grazing" plus ou moins intense dû au zooplancton.

1.2.2. Les eaux souterraines

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 point 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 eocènes fracturés situés sous une couche imperméable d'argile (fig. 3).

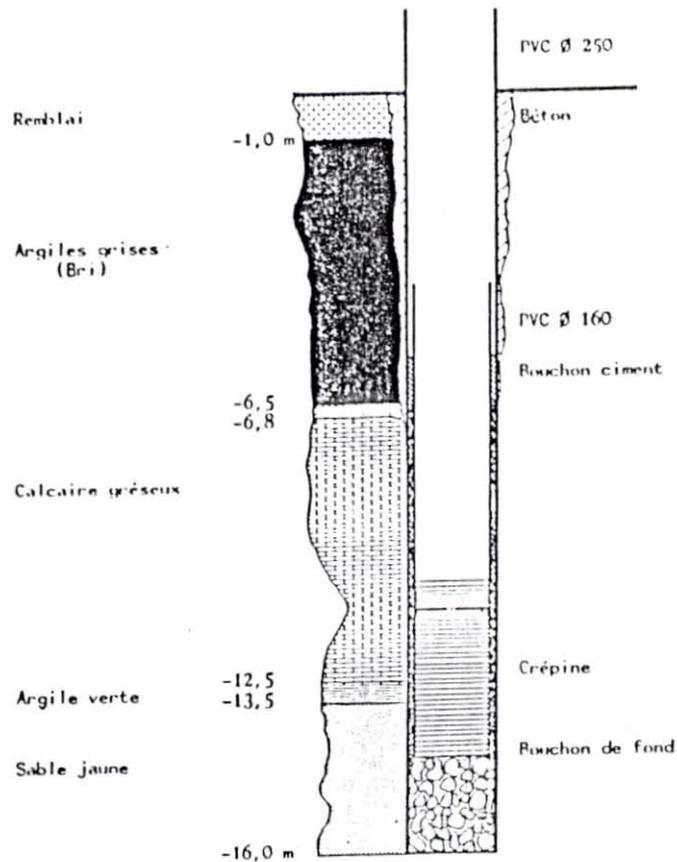


Figure 3 : Coupe et environnement géologique du forage d'eau salée souterraine.

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.

T°C	S ‰	pH	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	Si-SiO ₃	Fe total
			(µg.at.l ⁻¹)					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 m³h⁻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 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 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 apports des concentrations en éléments nutritifs et les salinités (Robert, 1987). Toutefois elles restent, pour la plupart compatibles avec l'utilisation indirecte de cette eau pour la fourniture de calories et la production phytoplanctonique en aquaculture.

II. MATERIEL ET METHODES

2.1. La nourricerie

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. 4). 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 4 montre le transit à travers les coquillages de l'eau 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 d'énergie 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 (Comes, 1983, com. pers.). L'adjonction d'une pompe à chaleur à la source de chaleur 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.

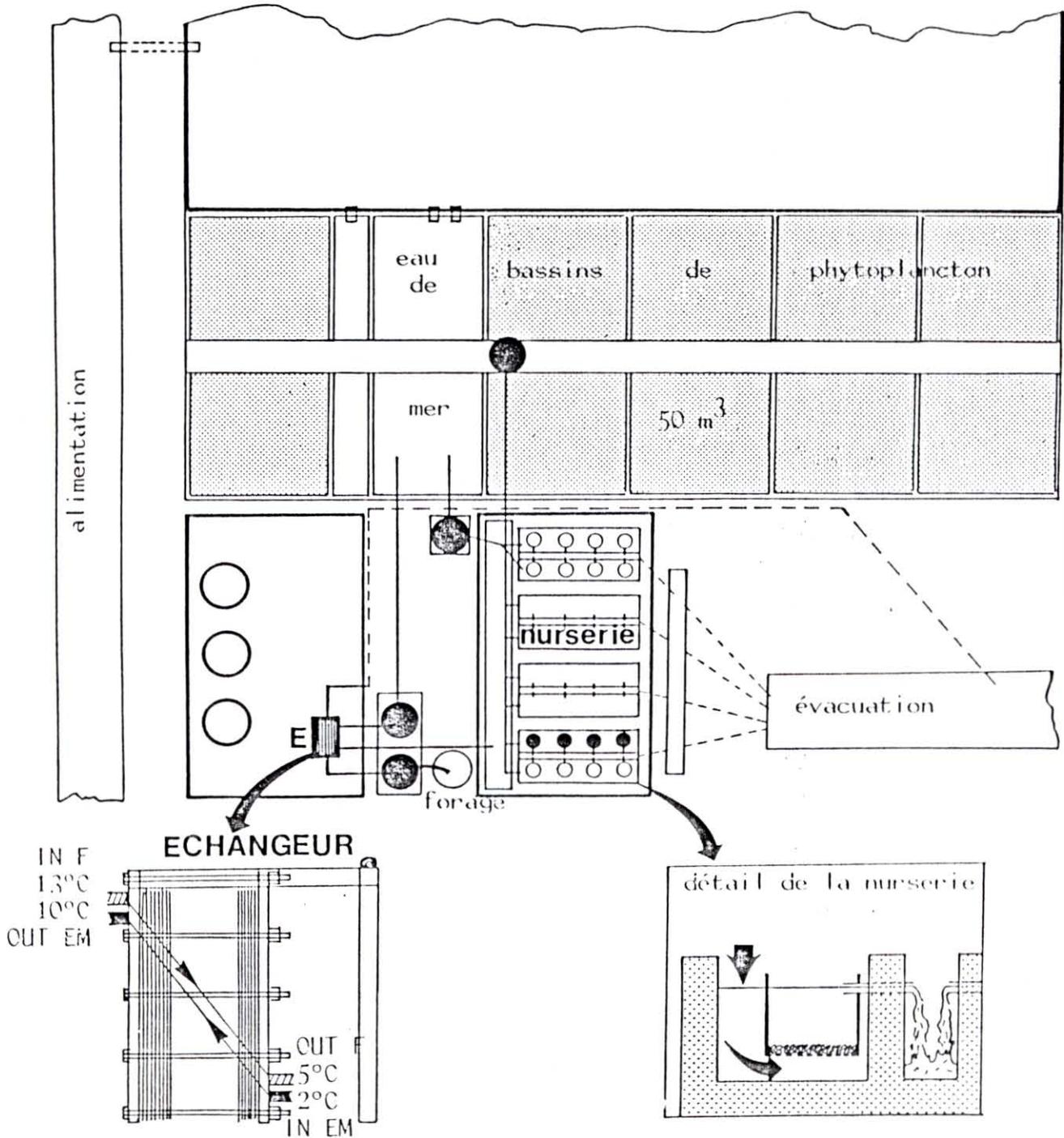


Figure 4 : Schéma et fonctionnement de la structure expérimentale de pré-grossissement intensif.

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 en titane. Dans la nourricerie, 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.

2.3. Production phytoplanctonique sur eau souterraine

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 (Gabott et al., 1975 ; Langdon et Siegfried, 1984 ; Masson, 1976 ; Nell et Wisely, 1985 ; Porteres, 1986) réalisées pour satisfaire les besoins alimentaires croissants durant l'élevage des jeunes coquillages semblent encore, technologiquement et économiquement, difficile à maîtriser. La production d'algues phytoplanctoniques demeure, actuellement, la principale source de nourriture pour les nourriceries de mollusque.

Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau salée souterraine de Bouin et plus particulièrement son caractère abactérien, sa grande limpidité et son abondance en sels minéraux, permettent d'envisager une technique de production phytoplanctonique s'accommodant du milieu extérieur pour produire à faible coût de grandes masses algales de façon très contrôlée.

C'est ainsi qu'une bonne reproductibilité des efflorescences a été atteinte en grands volumes pour la diatomée Skeletonema costatum qui tend à s'imposer comme l'algue unique de ce milieu.

Peu de travaux définissent la valeur nutritionnelle de Skeletonema costatum pour les bivalves en culture monospécifique et par rapport à d'autres espèces phytoplanctoniques.

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 (Rodde 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 été donc seule retenue pour constituer "le fourrage" des bivalves en prégressissement 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, 1979). C'est ainsi que Robert en 1983 qualifie "d'eaux à Skeletonema" les eaux du canal et des claires du polder de Bouin. 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 Load, 1961), les brusques variations positives ou négatives de salinité ne semblant pas perturber sa prolifération. Cependant, les insolation estivales fortes et prolongées risquent selon Ignatiades et Foog (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.

La production phytoplanctonique en monospécifique de Skeletonema costatum, nécessaire à l'alimentation de la nourricerie 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 nettoyées 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 sont toujours effectués d'un bassin à l'autre avec du phytoplancton en phase de division cellulaire active, les cultures se prolongent toute l'année et ne nécessitent pas de volumes intermédiaires.

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 (ostreidés, veneridés et dans une moindre mesure, pectinidés). Cependant, pour rentabiliser la mise en oeuvre de techniques intensives, plus ou moins sophistiquées, il est actuellement nécessaire de s'adresser à des espèces à valeur commerciale élevée ou/et à forte demande pour la phase de grossissement.

Deux espèces ont donc été expérimentées : la palourde japonaise Ruditapes philippinarum (R.P.) et l'huître creuse d'origine japonaise Crassostrea gigas (Thunberg) (C.G.).

Ces deux bivalves ont démontré 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 (Bodoy et al., 1980 ; De Kergariou et al., 1981) 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 reste avec Crassostrea gigas la première espèce en tonnage de coquillage produit en France. Les surcharges mises en évidence dans certains secteurs atlantiques (Héral, 1986 ; Bodoy et al., 1987 ; Baud et Haure, 1987) 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 d'écloserie ou/et de collecteurs détachables peu après la fixation (Baud et Haure, à paraître), 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. Ces deux espèces sont de plus produites régulièrement en écloserie 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 étaient cernés.

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

L'étude s'est donc étalée sur plusieurs années pour retrouver les conditions expérimentales climatologiques et hydrologiques particulières à chaque saison (tableau 3).

Tableau 3 : Epoques et durées des différentes expériences de prégrossissement.

Saison et année	codifié 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	ETE 2	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 qui puisse être transféré vers la profession, les débits, les densités et les volumes de nourriture distribués ont été constants tout au long d'une période expérimentale.

Deux débits et deux densités ont donc été 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 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 paramètres propres d'élevage qui doivent rester constants au cours de chaque expérience.

Tous les couloirs de prégrossissement ont été 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 a été effectué une fois par semaine. Une pompe munie d'une horloge reliant les bacs de phytoplancton aux couloirs de prégrossissement distribuait 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 ont été 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 4.

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 en 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 ont été réglés après ajustement de l'injection discontinue de la culture de Skeletonema costatum et avec mélange de 3 m³h⁻¹ d'eau de mer pour obtenir la concentration théorique de 20 ug/l de chlorophylle 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 4 : Paramètres et modalités d'élevage pour R. philippinarum et C. gigas rapportés à l'unité de production (tube tamis de diamètre 50 cm). $DB_1 = 1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$; $DB_3 = 3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$; $D_{25} = 2\ 500$ individus ; $D_{50} = 50\ 000$ individus ; $C_0 =$ témoin sans apport de S. costatum ; $C_1 = 75 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ de culture de S. costatum ; $C_2 = 150 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ de culture de S. costatum ; $C_4 = 300 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ 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 <u>S. costatum</u> (4)	C_0, C_2	C_1, C_2, C_4	C_0, C_1, C_2, C_4	C_0, C_1, C_2, C_4	C_2
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 débit en eau de mer sur 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 n'est 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 pour 30 jours ou G30, est couramment utilisé (Richer, 1968 ; Spencer and Gough, 1978 ; Claus, 1981). La formule s'établit ainsi :

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

L_{t_0} = longueur initiale de coquille

L_t = longueur finale de coquille

$t-t_0$ = durée de 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 pesés 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 de 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). Cette méthode, appliquée par Bacher pour cette étude, fera l'objet d'une publication commune (Baud et Bacher, à paraître). Les données ont été traitées à l'aide du programme STATITCF qui fournit les résultats suivants :

- les pourcentages de variance expliqués par les axes principaux, ou 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 (CO_2) 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 (CO_2) 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. Température

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

Tableau 5 : Variations des températures moyennes en eau de mer (prélèvement effectués à 10 h du matin) par saison de prégrossissement, en eau naturelle (température extérieure) et en eau échangée (température eau de mer après passage à travers l'échangeur thermique). L'écart-type est donné entre parenthèses.

TEMPERATURE °C								
Eau naturelle				Eau échangée				
Saison	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	19,0 (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					

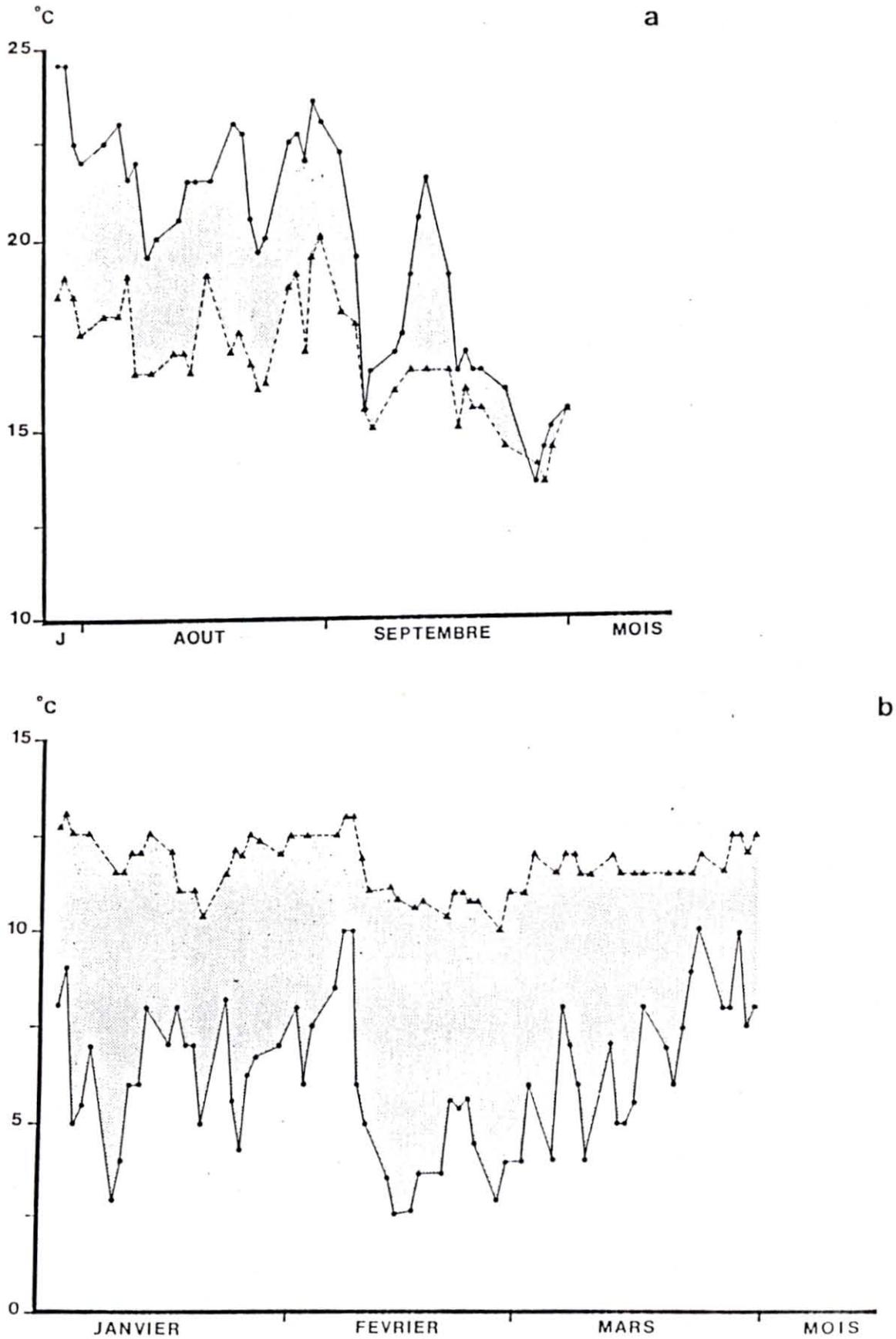


Figure 5 : Evolution de la température avec ou sans utilisation de l'échangeur thermique, a) en été, b) en hiver. (▲--▲) eau échangée, (●—●) eau naturelle.

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.

A cette saison, les fluctuations thermiques journalières de l'eau naturelle sont brutales en eau naturelle et peuvent faire varier la température au cours d'une période de prégrossissement de 14 à 25°C (fig. 5a). Durant l'hiver, l'amplitude de température oscille entre 2 et 10°C (fig. 5b).

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 le regroupement des résultats des différentes expériences dans le cadre d'un hiver-type et d'un été-type (fig. 6).

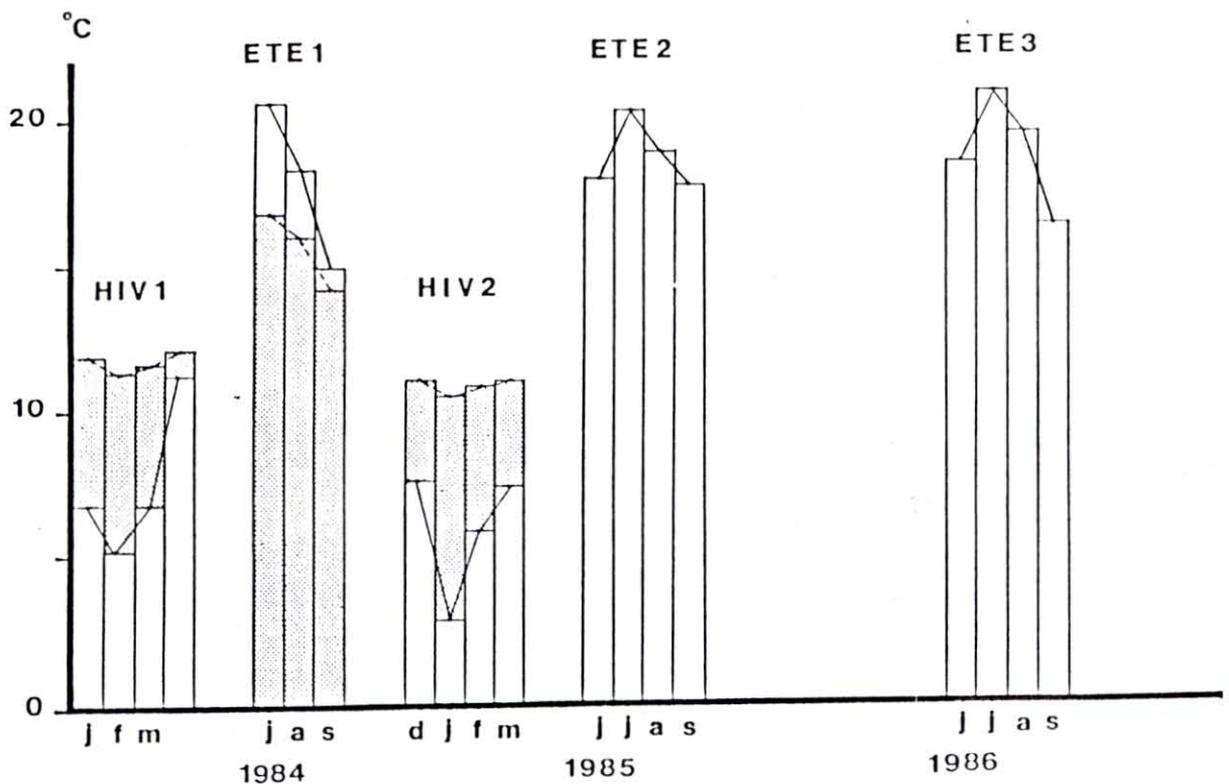


Figure 6 : Evolutions comparées de la température pendant les différentes saisons estivales et hivernales de prégrossissement ; eau naturelle ; eau échangée. (l'échangeur n'a pas été utilisé pendant l'été 2 et l'été 3).

3.1.2. Le phytoplancton

Au cours des différents prégrossissements expérimentaux, les productions intensives de Skeletonema costatum produites à chaque saison en eau de forage sont diluées dans l'eau de mer alimentant la nourricerie pour reproduire différents enrichissements du milieu d'élevage par saison (tableau 6).

Tableau 6 : 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 de 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 palourde 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 7) plus ou moins fortes et nombreuses.

Tableau 7 : 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 8).

Chaque numéro désignant un histogramme correspond à des conditions d'expérience définies au chapitre 11.5 et précisées dans le tableau 9.

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 8 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 pour-

centages de variance expliqués par les axes sont donnés dans un tableau. Il est possible, lors de chaque analyse, d'introduire comme variables illustratives où supplémentaires, les différents paramètres croisés dans le lot d'expériences considérées (NAT, ECH, DB₁, DB₃, C₀, C₁, etc...). Si leurs qualités de représentation (CO₂) 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 (C₀, C₁, C₂ ou C₄).

Ière analyse : Qualité d'eau (EN, ECH) x débit phyto injecté (C₀, C₂) x débit EM (DB₁, DB₃) ; ETEI

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. 7a).

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 10a). 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 (CO₂ respectif de 0.15 et 0.18). Tout au plus peut-on dire que l'eau naturelle favorise les classes extrêmes.

Cette analyse montre l'intérêt d'un débit élevé (3 m³ 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'accomodent des variations de

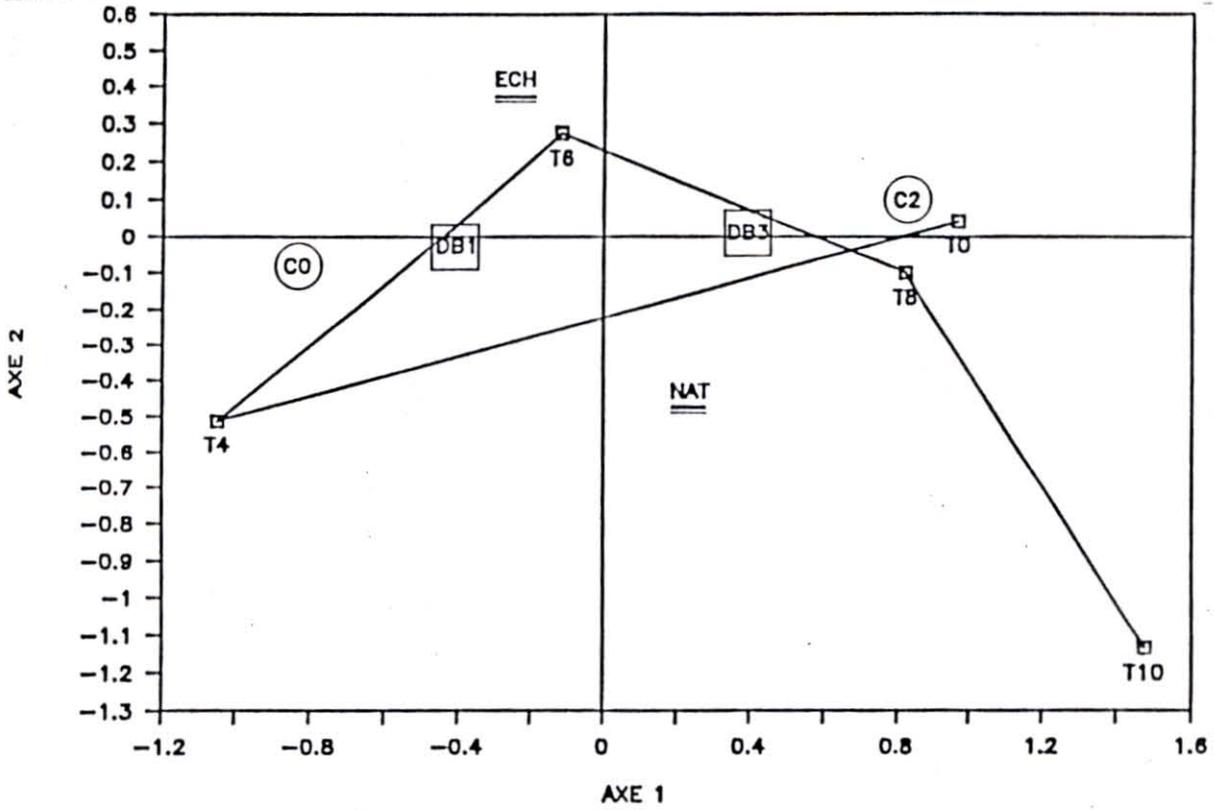


Figure 7a : Analyses factorielles de correspondance de la croissance de Ruditapes philippinarum en été. Les paramètres contrôlés sont projetés en variables supplémentaires : concentration x débit x température.

Tableau 10a : Pourcentages expliqués par les axes principaux, qualité de la représentation (CO₂) 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.

Variables du tableau	70,1 %		23,0 %		Variables supplémentaires		
	AXE 1		AXE 2			AXE 1	AXE 2
	CO ₂	CTR	CO ₂	CTR		CO ₂	CO ₂
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	CO	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

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 (C_1, C_2, C_4) x débit EM, (DB_1, DB_3) ;
ETE 1

Cette analyse (fig. 7b) réalisée à une densité fixée, de 25 000 individus et en eau échangée permet d'affiner la connaissance de l'impact de l'apport de 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 (T_{10}) et le débit de phytoplancton injecté le plus important (C_4). La proximité de la classe mortalité ($CO_2 = 0.73$) avec T_{10} (tableau 10b) 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 (DB_3) 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.

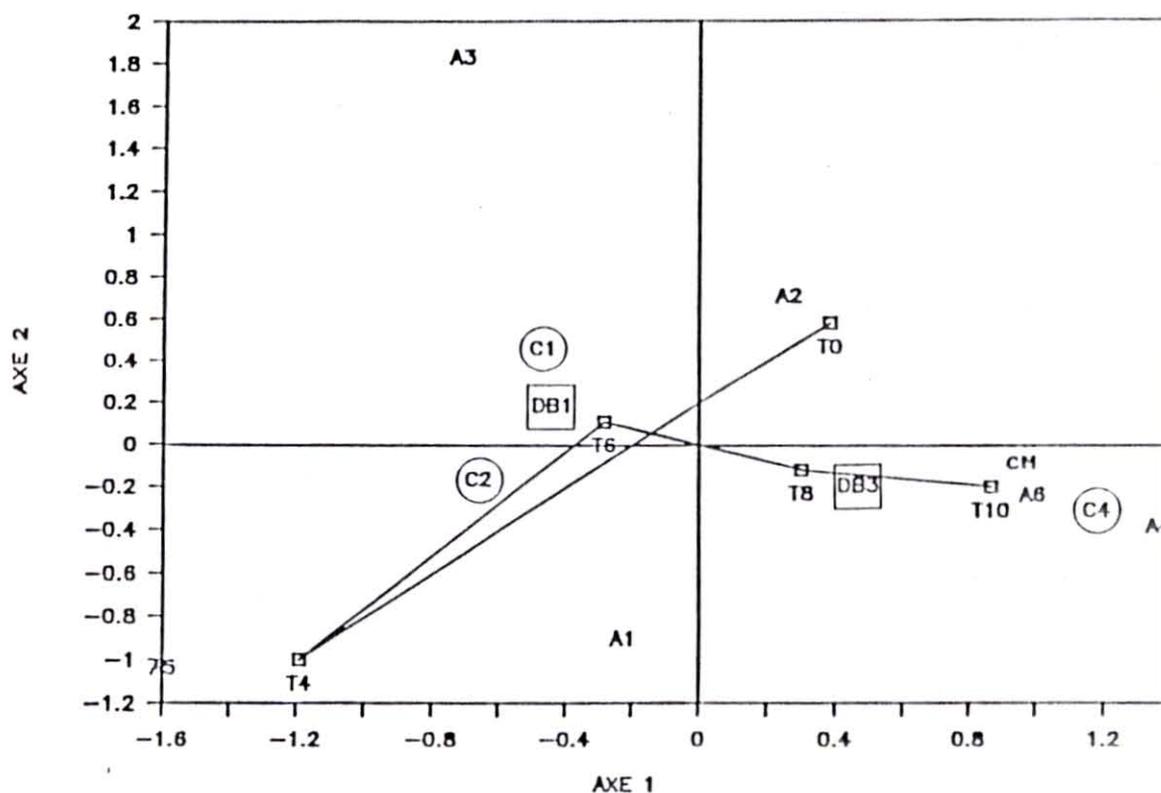


Figure 7b : Analyses factorielles de correspondance de la croissance de Ruditapes philippinarum en été. Les paramètres contrôlés sont projetés en variables supplémentaires : concentration x débit : la variable A = concentration/débit est projetée en variable supplémentaire.

Tableau 10b : Pourcentages expliqués par les axes principaux, qualité de la représentation (CO₂) 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		71,9 %		24,0 %			
Axes variables du tableau		AXE 1		AXE 2		Axes variables supplémentaires	
		CO ₂	CTR	CO ₂	CTR		
T0		0,280	4,0	0,641	27,3	DB1	0,197
T4		0,577	22,2	0,405	46,7	DB3	0,215
T6		0,870	26,6	0,126	11,5	C1	0,113
T8		0,823	22,0	0,130	10,4	C2	0,222
T10		0,872	25,3	0,046	4,0	C4	0,675
						A1	0,010
						A2	0,014
						A3	0,104
						A4	0,357
						A5	0,518
						A6	0,196

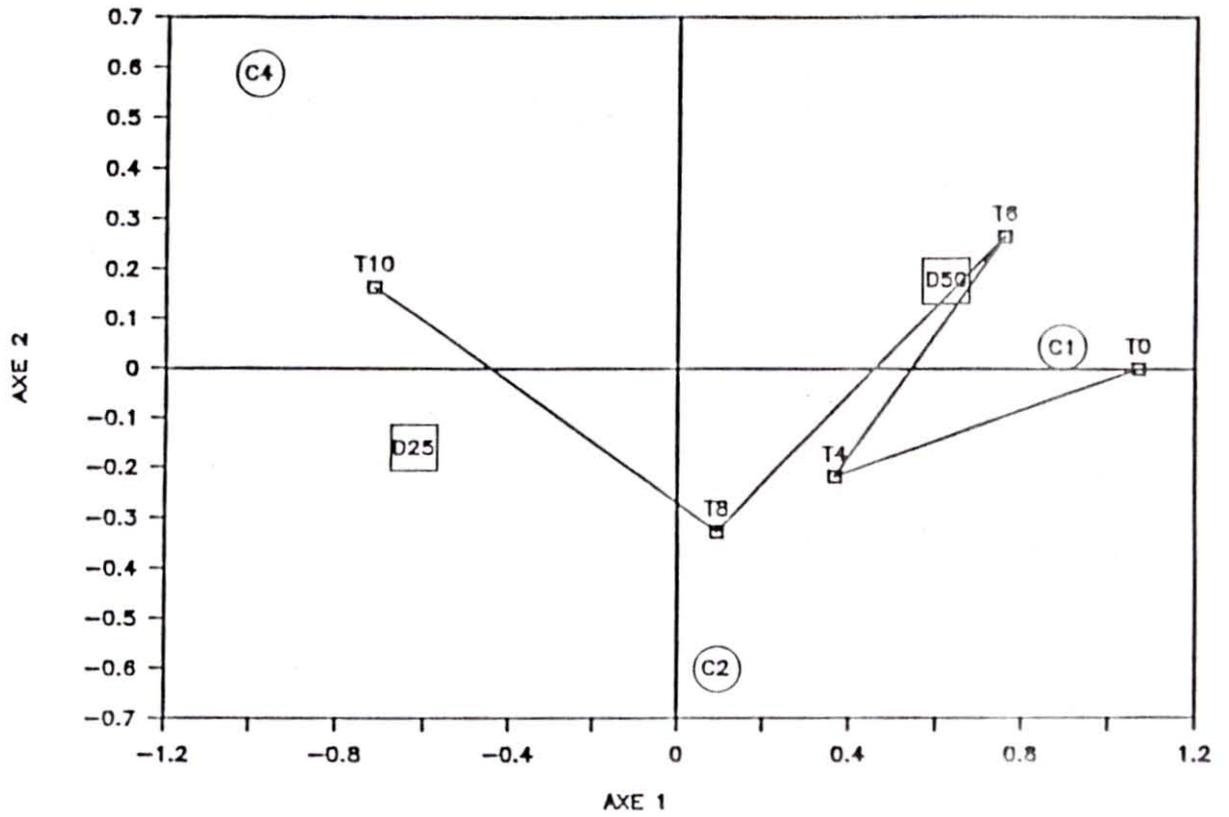


Figure 7c : Analyses factorielles de correspondance de la croissance de *Ruditapes philippinarum* en été. Les paramètres contrôlés sont projetés en variables supplémentaires : concentration x densité.

Tableau 10c : Pourcentages expliqués par les axes principaux, qualité de la représentation (CO_2) 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.

Variances expliquées par les axes principaux		81,5 %		16,9 %			
Axes variables du tableau		AXE 1		AXE 2		Axes variables supplémentaires	
		CO_2	CTR	CO_2	CTR		CO_2
CM		0,001	0,0	0,698	53,8	D25	0,448
T0		0,469	0,2	0,000	0,0	D50	0,338
T4		0,350	1,1	0,124	1,9	C1	0,443
T6		0,889	45,4	0,111	27,4	C2	0,004
T8		0,073	0,9	0,921	57,4	C4	0,432
T10		0,950	52,4	0,050	13,3		

3ème analyse : Débit phyto injecté (C_1, C_2, C_4) x densité (25000, 50000)
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. 7c, tableau 10c).

Ces actions sont nettement visibles et il apparait 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 C_4 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 = C_2 et densité de 25 000, l'impact de la modalité d'injection de Skeletonema costatum sur la croissance finale a été étudié (fig. 8). 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 ($t = 3,65, P = 0,001$).

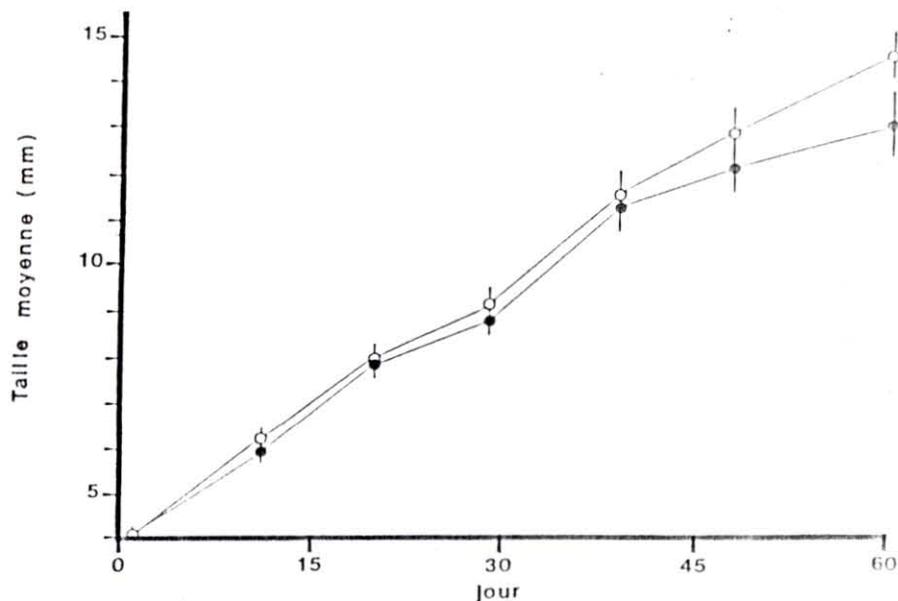


Figure 8 : Evolutions comparées de la croissance de Ruditapes philippinarum élevée avec apport de Skeletonema costatum en alimentation continue (●—●) et en alimentation discontinue (○—○).

Ce résultat biologique favorable à une alimentation discontinue des palourdes se répercutera 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. 9).

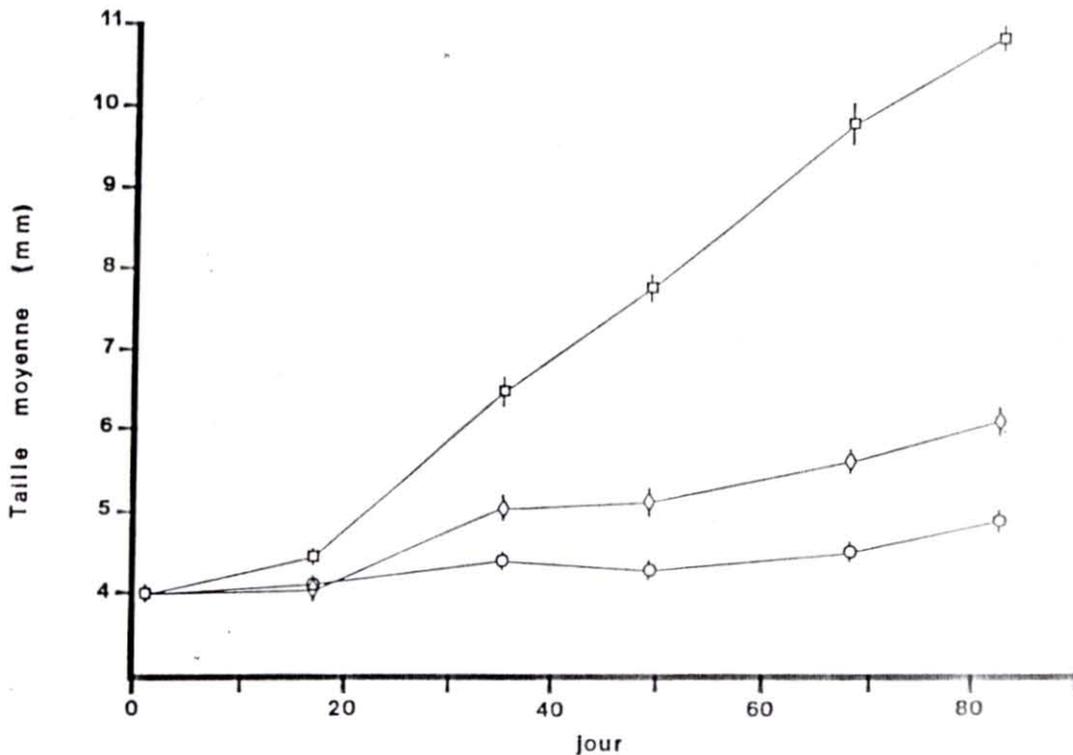


Figure 9 : Croissance comparée de *Ruditapes philippinarum* en prégrossissement hivernal aux conditions expérimentales suivantes : (o—o) DBI, Co, NAT ; (◇—◇) DBI, Co, ECH ; (□—□) DBI, C2, ECH.

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. 10 ; tableau 11) ; 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.

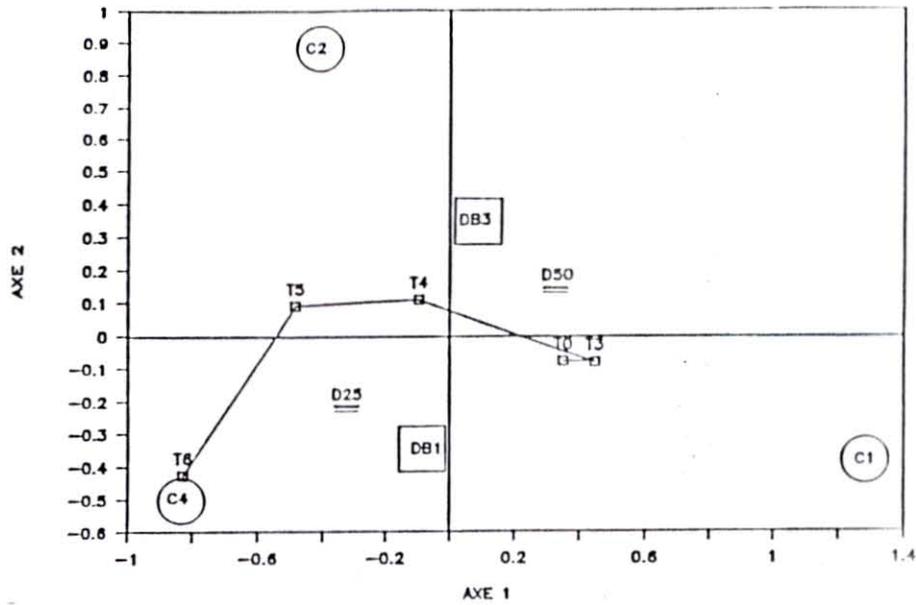


Figure 10 : Analyse factorielle de correspondance de la croissance de Ruditapes philippinarum en hiver. Les paramètres contrôlés sont projetés en variables supplémentaires (concentration x débit x densité).

Tableau 11 : Pourcentages expliqués par les axes principaux, qualité de la représentation (CO_2) 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.

Variables du tableau	89,5 %		8,9 %		Variables supplémentaires		
	AXE 1		AXE 2			AXE 1	AXE 2
	CO_2	CTR	CO_2	CTR		CO_2	CO_2
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	0,309
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	0,103	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 $1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ est significativement plus favorable à la croissance. Cependant l'intérêt économique incite à retenir dans ce cas le débit de $1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ par rapport à $3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

AUTRES SAISONS

Si les conditions de prégrossissement 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 11. 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.

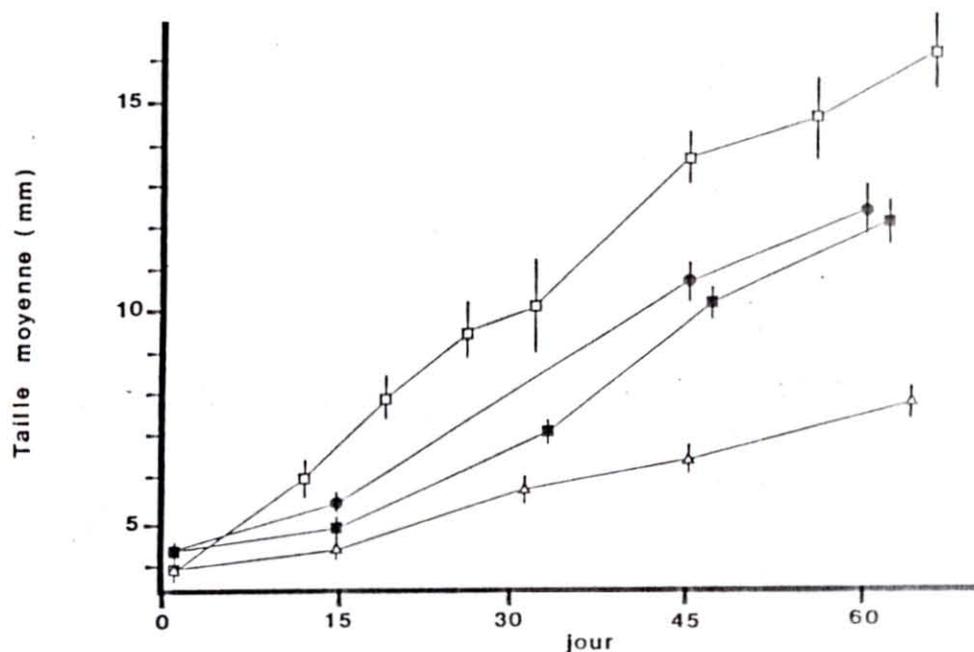


Figure 11 : Evolution comparée de la croissance de *Ruditapes philippinarum* prégrossie à différentes saisons. 1°) en intensif ; (□—□) été (C₂, D₂₅, DB₃), et (○—○) en hiver (C₂, D₂₅, DB₃) ; 2°) en extensif, (●—●) au printemps (D₂₅, DB₃) et (■—■) en automne (D₂₅, DB₃).

3.2.2. 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 12) sont plus nombreuses et pour certaines plus fortes que celles des palourdes, exprimant ainsi un rendement de croissance supérieur chez C. gigas par rapport à R. philippinarum.

Tableau 12 : Longueur moyenne et poids moyen de Crassostrea gigas par classe de taille après tamisage. Entre parenthèse 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 résultats de croissance en fin de prégrossissement sont regroupés sous forme d'histogrammes dans le tableau 13.

Les conditions d'expériences, étant similaires à celles de la palourde (tableau 14), le protocole d'analyse de la croissance pour l'huître a été reproduit de façon identique à celui de la palourde.

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

EIE :

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. 13a, tableau 15a). On retrouve l'influence du débit de phytoplancton et de la densité en élevage (fig.

13b, tableau 15b). Le débit d'eau de mer influe secondairement (fig. 13c, tableau 15c), 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. ($t = 5,11$. $P = 0,000001$).

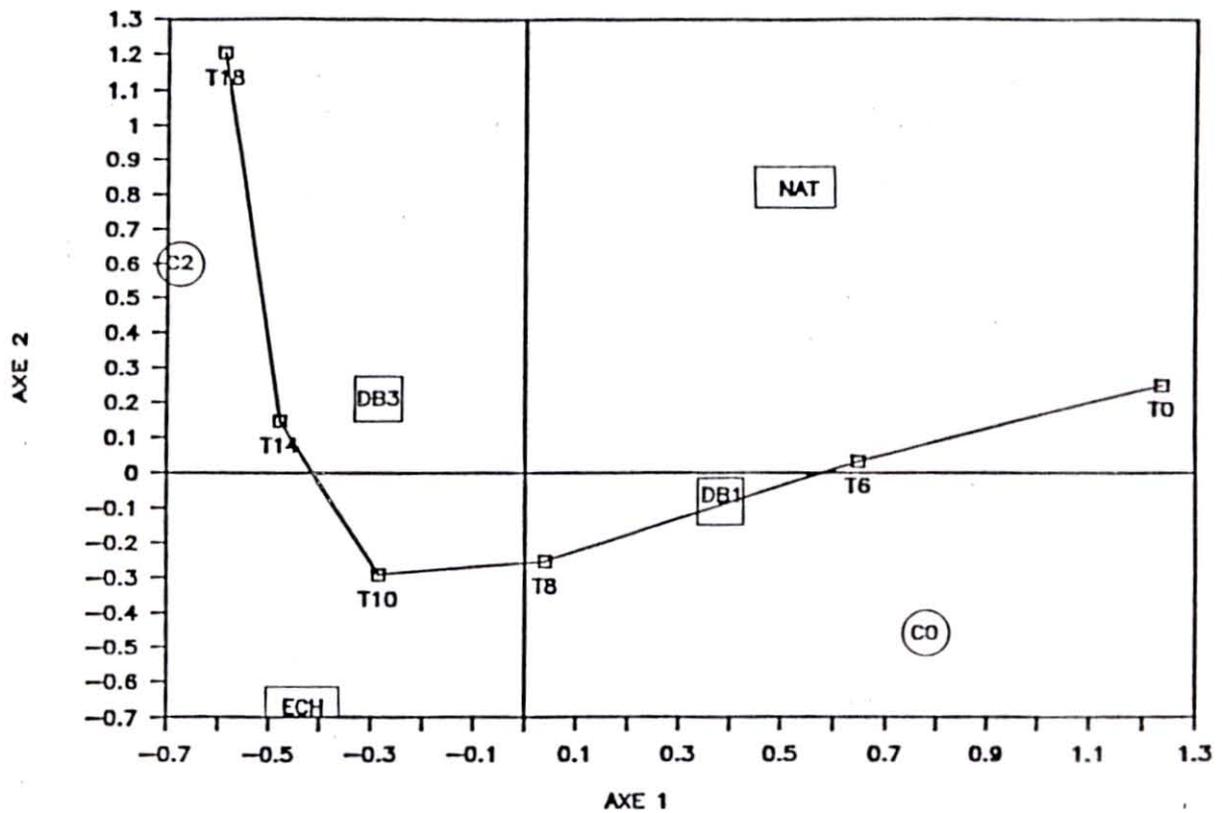


Figure 13a : Analyses factorielles de correspondance de la croissance de Crassostrea gigas en été. Les paramètres contrôlés sont projetés en variables supplémentaires : concentration x débit x température.

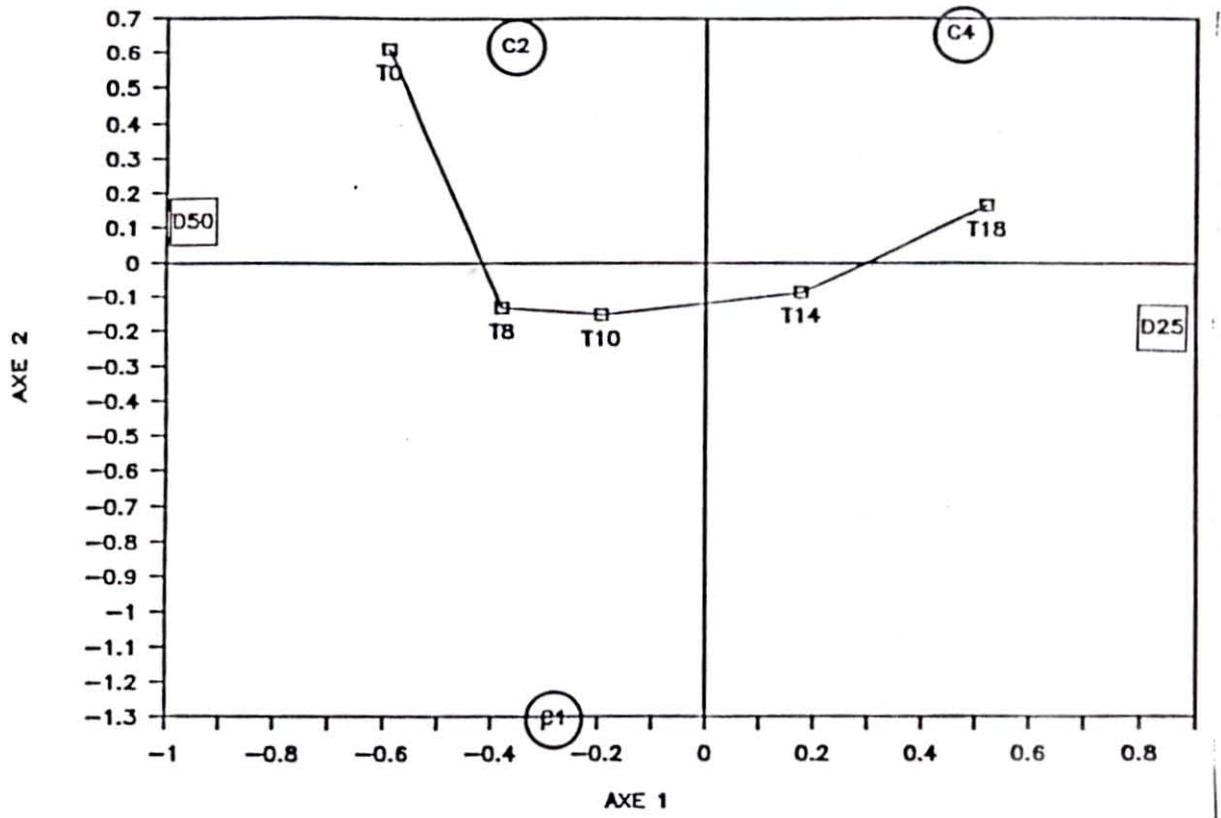


Figure 13b : Analyses factorielles de correspondance de la croissance de Crassostrea gigas en été. Les paramètres contrôlés sont projetés en variables supplémentaires : concentration x densité.

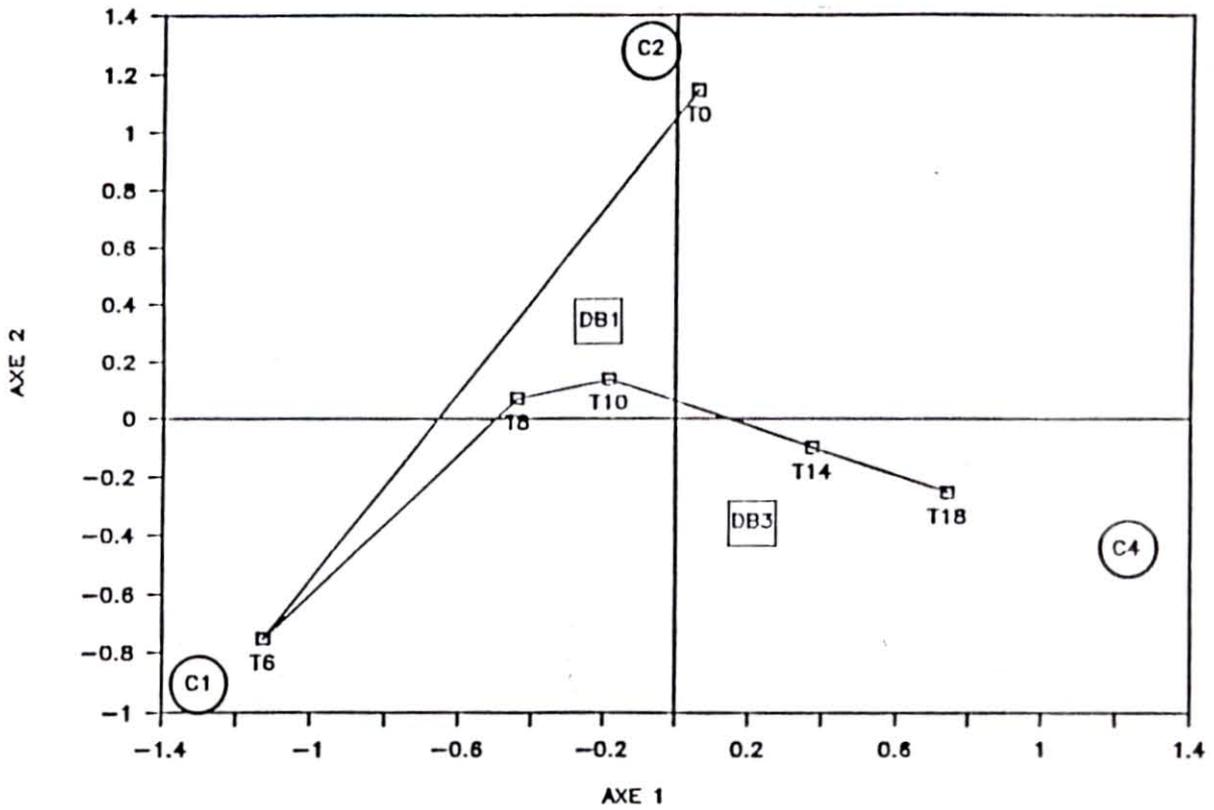


Figure 13c : Analyses factorielles de correspondance de la croissance de Crassostrea gigas en été. Les paramètres contrôlés sont projetés en variables supplémentaires : concentration x débit.

Tableau 15a : Pourcentages expliqués par les axes principaux, qualité de la représentation (CO₂) 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.

variances expliquées par les axes principaux		59,4 %		26,7 %			
variables du tableau	Axes		AXE 1		AXE 2		variables supplémentaires
	CO ₂	CTR	CO ₂	CTR	AXE 1	AXE 2	
T0	0,863	50,4	0,035	4,6	CO	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

Tableau 15b : Pourcentages expliqués par les axes principaux, qualité de la représentation (CO_2) 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 %			
variables du tableau	Axes		AXE 1		AXE 2		variables supplémentaires
	CO_2	CTR	CO_2	CTR	CO_2	CO_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

Tableau 15c : Pourcentages expliqués par les axes principaux, qualité de la représentation (CO₂) 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.

variances expliquées par les axes principaux		70,9 %		27,4 %			
variables du tableau	Axes		AXE 1		AXE 2		variables supplémentaires
	CO ₂	CTR	CO ₂	CTR	AXE 1	AXE 2	
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 14 et le tableau 16 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.

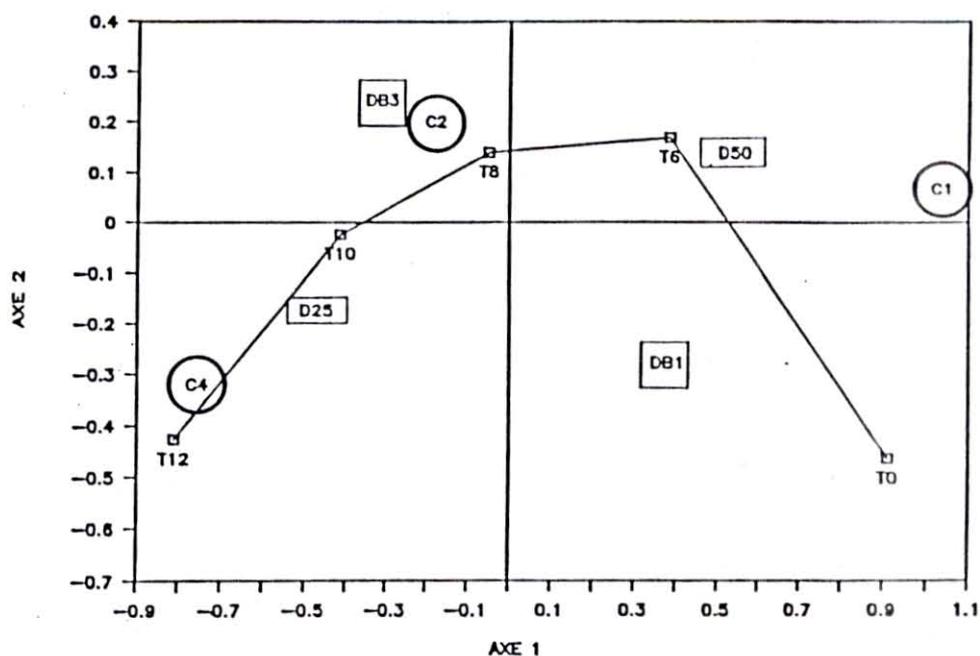


Figure 14 : Analyse factorielle de correspondance de la croissance de Crassostrea gigas en hiver. Les paramètres contrôlés sont projetés en variables supplémentaires (concentration x débit x densité).

Tableau 16 : Pourcentages expliqués par les axes principaux, qualité de la représentation (CO_2) 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.

variances expliquées par les axes principaux		79,9 %		16,0 %			
variables du tableau	Axes		AXE 1		AXE 2		variables supplémentaires
	CO_2	CTR	CO_2	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. Performances de croissance (fig. 15)

Comparées aux résultats obtenus par de nombreux auteurs (Mann et Ryther, 1977 ; Askew, 1978 ; Leborgne et al., 1978 ; Malouf et Breese, 1978 ; O'Brien, 1979 ; Spencer et Hepper, 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.

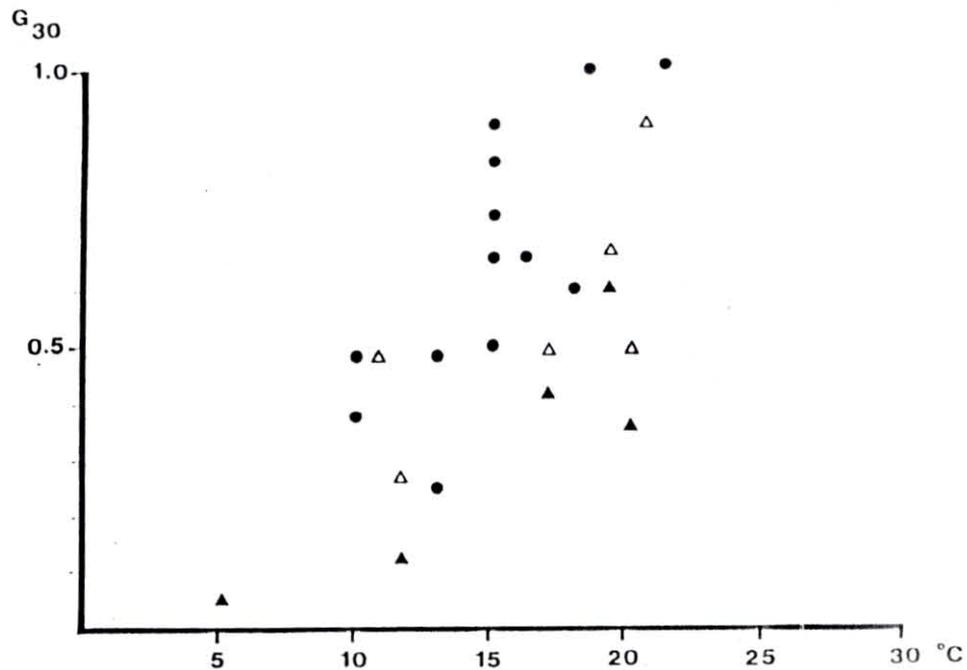


Figure 15 : Performance de croissance (G_{30}) en longueur de coquille de Crassostrea gigas en fonction de la température : (●) G_{30} de la littérature (Claus, 1981), (▲) G_{30} des expériences (C_0 , D_{25} , DB_3) sans apport de phytoplancton, (Δ) G_{30} des expériences (C_2 , D_{25} , DB_3) avec apport de phytoplancton.

La valeur maximale, observée à 20°C, du G_{30} 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 philipinarum.

3.3. Analyse économique des différentes stratégies de prégrossissement en nourricerie

En matière de recherches zootechniques avant de pouvoir transférer de nouvelles techniques ou stratégies d'élevage, il est nécessaire d'analyser sous un angle économique, les résultats biologiques obtenus. En effet, l'approche économique permet d'évaluer les conséquences financières des résultats biologiques et donne les informations complémentaires nécessaires à la prise de décisions, ceci afin de choisir une stratégie d'élevage.

La rentabilité de la nourricerie peut être évaluée en fonction des espèces et des choix annuels d'utilisation. Ainsi, l'optimisation du prégrossissement passe par un compromis entre l'optimisation des rendements de croissance des bivalves et les coûts d'obtention de ceux-ci.

L'objectif de cette étude est de proposer quelques critères de choix entre les différentes stratégies de prégrossissement, pour l'aquaculture de mollusques filtreurs. Dans ce contexte, diverses hypothèses sont examinées, qui constituent autant de solutions possibles de production en prégrossissement :

Tableau 17 : Stratégies de prégrossissement par saison au cours d'une année.  prégrossissement intensif,  prégrossissement extensif.

Stratégies de prégrossissement \ Saisons	Saisons			
	Printemps	Été	Automne	Hiver
2				
1				
3				
4				
5				
6				

- (1) : Elevage intensif en été
- (2) : Elevage intensif en hiver
- (3) : Elevage ~~extensif~~ pendant le printemps et l'automne
intensif

Etant donné le caractère saisonnier de ces diverses productions, une solution mixte regroupant deux des solutions précédentes est également examinée :

- (4) : Elevage ~~extensif~~ pendant le printemps, l'été et l'automne et intensif pendant l'été ?

Enfin, deux autres solutions peuvent être proposées, elles cherchent à utiliser au maximum les installations, afin d'améliorer la rentabilité. Pour cela on réalisera un élevage intensif au cours du printemps et de l'automne.

(5) : Elevage intensif pendant le printemps, l'été et l'automne

(6) : Elevage intensif en toutes saisons (hiver, printemps, été, automne)

Cette étude économique est développée à partir des installations nécessaires à la production saisonnière d'un million d'animaux (palourdes ou huîtres), représentative d'une unité artisanale. Les paramètres zootecniques d'élevage, retenus d'après les résultats biologiques pour cette analyse économique comparée, sont regroupés par saison dans le tableau 18. Seuls les calculs pour le prégressissement estival et hivernal (1 et 2) seront détaillés dans le texte.

Tableau 18 : Conditions d'élevage retenues en hiver et en été pour Ruditapes philippinarum et Crassostrea gigas en prégressissement intensif. () : conditions d'élevage retenues pour le prégressissement extensif printanier et automnal (d'après St Félix, Baud et Hommebon, 1984).

Espèces	Saisons	qualité d'eau	densité	débit eau de mer	Débit <u>Skeletonema costatum</u>	Fréquence d'injection
<u>R. philippinarum</u> <u>C. gigas</u>	Hiver	Eau échangée (≈ 10°C)	25 000/tube tamis 12,7 ind/cm ²	1 m ³ /h/tube tamis 0,67 ml/min/ind	150 l/h/tube tamis conc = 0,5.10 ⁶ g/ml	discontinue 14h/24h
	Eté	Eau naturelle (≈ 20°C)	25 000/tube tamis 12,7 ind/cm ²	3 m ³ /h/tube tamis 2 ml/min/ind	150 l/h/tube tamis conc = 1.10 ⁶ g/ml	discontinue 14h/24h
	Printemps * Automne	Eau naturelle	25 000/tube tamis 12,7 ind/cm ²	3 m ³ /h/tube tamis		

Au préalable, différentes hypothèses de travail doivent être posées :

- Les immobilisations nécessaires à la réalisation de la nourricerie font l'objet d'amortissements réalisés selon le mode linéaire.

- Les durées d'amortissement ont été choisies en fonction des durées de vie espérées et du risque d'obsolescence de certains matériels.

- Certains cycles de production nécessitent un apport de phytoplancton. Les installations nécessaires à la production de ce phytoplancton sont affectées dans ce cas à l'usage exclusif de la nourricerie. Cette dernière est réputée acquérir le phytoplancton au coût de revient.

- Les différentes productions saisonnières (huîtres ou palourdes) sont considérées comme vendues en totalité à l'extérieur de l'entreprise, sans contrainte de marché et avec des prix d'achat et de vente du naissain basés sur des chiffres moyens pratiqués par diverses nourriceries françaises au cours de l'année 1988. Enfin, les calculs sont effectués pour une nourricerie isolée de tout environnement sur le plan économique, alors qu'en réalité, il faut comprendre qu'elle s'insérerait dans une entreprise de production.

1. CYCLE ESTIVAL DE PRODUCTION INTENSIVE

1.1. Caractéristiques

- 1 cycle de production : Eté
- Durée du cycle : 60 jours
- Temps d'utilisation de la structure : 60 jours
- Production annuelle : 1 million d'animaux
- Nécessité d'apport de phytoplancton. Création d'une installation de production de phytoplancton en amont.

1.2. Objectifs

- Palourdes

Taille initiale : 4 mm ou T2

Taille finale : 16 mm ou T8

Taux de mortalité : 8 %

- Huîtres

Taille initiale : 5 mm ou T3
 Taille finale : 25 mm ou T14
 Taux de mortalité : 15 %

- Structures nécessaires :

Structure de production du phytoplancton (voir 1.3.2.)
 Structure nourricerie (voir 1.4.1.)

1.3. Structure de production du phytoplancton

1.3.1. Objectifs

Volume de phytoplancton injecté en 60 jours : 5040 m³

1.3.2. Structure nécessaire

INVESTISSEMENT	COUT (EN F)	DUREE D'AMORTISSEMENT (EN ANNEES)	AMORTISSEMENT ANNUEL
1 forage eau salée	15 000	10	1 500
1 pompe 10 m ³ /h de distribution	1 700	3	567
1 pompe E.F. 25 m ³ /h	3 110	5	622
1 soufflante	6 000	5	1 200
Racs béton pour phyto 700 m ²	100 000	10	10 000
TOTAL	125 810		13 889

1.3.3. Charges inhérentes production du phytoplancton

- Pompe 10 m ³ /h distribution		144,00
- Pompe E.F. 25 m ³ /h		130,00
- Soufflante		929,00
- Main d'oeuvre	45,00 x 60 h	2 700,00

		3 903,00

1.3.4. Coût de revient après amortissement

- Charges de production	3 903,00	
- Amortissements d'exploitation	13 889,00	
	<hr/>	
	17 792,00	
	17 792,00	
- Prix de revient du m ³ de phytoplancton		= 3,35 F
	5 040,00	

1.4. Nourricerie

1.4.1. Structure

INVESTISSEMENT	COUT (EN F)	DUREE D'AMORTISSEMENT (EN ANNEES)	AMORTISSEMENT ANNUEL
Maçonnerie	30 000	10	3 000
80 fonds de bacs	9 000	5	1 800
Bacs PVC 0 50 mm	4 000	5	800
Petit matériel	3 000	2	1 500
1 pompe E.M. 120 m ³ /h	13 150	5	2 702
TOTAL	<hr/> 59 510		<hr/> 9 802

1.4.2. Charges inhérentes à la production de bivalves

- Achat de naissain
 - * Palourdes : 0,06 x 1 000 000 = 60 000,00
 - * Huîtres : 0,045 x 1 000 000 = 45 000,00
- Consommation de phytoplancton
 - = 17 992,00

- Autres charges de production
 - * Pompe E.M. 120 m³/h = 2 291,00
 - * Nettoyage des installations :
 - 45,00 x 60 h = 2 700,00
 - * Tamisage : 45,00 x 60 h = 2 700,00

1.4.3. Recettes

- Chiffres d'affaires

- * Vente de palourdes.
 - Effectif vendable : 1 000 000 x (100 - 8) % = 920 000,00
 - Valeur : 0,15 x 920 000 = 138 000,00
- * Vente d'huîtres
 - Effectif vendable : 1 000 000 x (100 - 15) % = 850 000,00
 - Valeur : 0,12 x 850 000 = 102 000,00

1.4.4. Comptes d'exploitation

Tableau 19 : Compte d'exploitation du prégrossissement estival intensif de R. philippinarum.

ETE			à l'unité vendue	%
PALOURDES				
Ventes	138 000			
* PRODUCTION		138 000	0,150	100,00
Achat de naissain	60 000			
Phytoplancton	17 792			
* CCOUT D'ACHAT		77 792	0,085	56,37
* MARGE BRUTE		60 208	0,065	43,63
Charges salariales	5 400			
Autres frais de production	2 291			
* FRAIS DIRECTS DE PRODUCTION		7 691	0,008	5,57
* MARGE SUR FRAIS DIRECTS		52 517	0,057	38,06
Amortissements d'exploitation	9 802			
* FRAIS INDIRECTS		9 802	0,011	7,10
* RESULTATS		42 715	0,046	30,95

PALOURDES		
ETE		
* Investissements		
- Atelier de phytoplancton		125 810
- Nourricerie		59 510
	TOTAL	<u>185 320</u>
- Temps d'utilisation (en jours)		60
* Ventes		
- Montant		138 000
- A l'unité vendue		0,150
* Charges		
- Coût d'achat		77 792
- Frais directs de production		7 691
- Frais indirects		9 802
	TOTAL	<u>95 285</u>
* Résultat		
- Montant global		42 715
- A l'unité vendue		0,046
- % du prix de vente		30,95
* Ratio		
- Investissements/résultat		4,338
* Effectif		
- Acheté		1 000 000
- Vendu		920 000
- % mortalité		8
* Effectif à vendre pour un résultat nul		
- Nombre		635 234
- % mortalité		36,48
* Prix de vente minimum pour un résultat nul		0,104

Tableau 20 : Compte d'exploitation du prégrossissement estival intensif de Crassostrea gigas.

ETE			à l'unité vendue	%
HUITRES				
Ventes	102 000			
* PRODUCTION		102 000	0,120	100,00
Achat de naissain	45 000			
Phytoplancton	17 792			
* COÛT D'ACHAT		62 792	0,074	61,56
* MARGE BRUTE		39 208	0,046	38,44
Charges salariales	5 400			
Autres frais de production	2 291			
* FRAIS DIRECTS DE PRODUCTION		7 691	0,009	7,54
* MARGE SUR FRAIS DIRECTS		31 517	0,037	30,90
Amortissements d'exploitation	9 802			
* FRAIS INDIRECTS		9 802	0,012	9,61
* RESULTATS		21 715	0,026	21,29

HUITRES		
ETE		
* Investissements		
- Atelier de phytoplancton		125 810
- Nourricerie		59 510
	TOTAL	185 320
- Temps d'utilisation (en jours)		60
* Ventes		
- Montant		102 000
- A l'unité vendue		0,120
* Charges		
- Coût d'achat		62 792
- Frais directs de production		7 691
- Frais indirects		9 802
	TOTAL	80 285
* Résultat		
- Montant global		27 715
- A l'unité vendue		0,026
- % du prix de vente		21,29
* Ratio		
- Investissements/résultat		8,534
* Effectif		
- Acheté		1 000 000
- Vendu		850 000
- % mortalité		15
* Effectif à vendre pour un résultat nul		
- Nombre		673 542
- % mortalité		32,65
* Prix de vente minimum pour un résultat nul		0,095

Le prégrossissement estival intensif est économiquement réalisable puisqu'il dégage un bénéfice après amortissement et avant impôt de 30,95 % pour les palourdes et 21,29 % pour les huîtres. Le calcul théorique du taux de mortalité et du prix de vente minimum pour un résultat nul indique une plus grande marge technique d'erreur et une meilleure rentabilité, en matière de prégrossissement, pour la palourde par rapport à l'huître creuse. Ce résultat économique est à l'inverse des résultats biologiques, puisque le meilleur rendement en taux de croissance est obtenu par Crassostrea gigas. Ceci s'explique par un prix de vente sensiblement plus faible et une mortalité estimée en élevage, plus importante pour l'huître prégrossie.

Les charges inhérentes à la production peuvent être scindées en trois parties :

- Les coûts d'achat, comprenant l'achat du naissain à une écloserie extérieure et le prix de revient de la production phytoplanctonique.
- Les frais directs de production incluant les charges salariales et les frais de fonctionnement.
- Les frais indirects, composés essentiellement des frais d'amortissements de l'exploitation.

Ces différents frais représentent, dans le compte d'exploitation, des pourcentages équivalents par poste pour les deux espèces étudiées. Ils se décomposent globalement en 59 % de coût d'achats, répartis en 44 % d'achat de naissain et 15 % de production phytoplanctonique, en 13 % de frais directs de production et 8 % de frais indirects. Cette répartition des frais par nature met clairement en évidence la prédominance du poste achat de naissain pour le prégrossissement estival en nurserie.

2. CYCLE HIVERNAL DE PRODUCTION INTENSIVE

2.1. Caractéristiques

- 1 cycle de production : Hiver
- Durée du cycle : 90 jours
- Temps d'utilisation de la structure : 90 jours
- Production annuelle : 1 million d'animaux

- Nécessité d'apport de phytoplancton. Création d'une installation de production de phytoplancton en amont.
- Les conditions climatiques obligent à utiliser l'eau de forage en partie, pour élever la température d'élevage.

Le choix suivant a été fait :

- Utilisation du forage d'eau salée à raison de :
 - * 50 % pour la production phytoplanctonique
 - * 50 % pour la fourniture de calories

2.2. Objectifs de production

- Palourdes

Taille initiale : 4 mm ou T2
Taille finale : 10 mm ou T5
Taux de mortalité : 4,5 %

- Huîtres

Taille initiale : 5 mm ou T3
Taille finale : 14 mm ou T8
Taux de mortalité : 12 %

- Structures nécessaires

- Structure de production du phytoplancton (voir 2.3.2)
- Structure nourricerie (voir 2.4.1)

2.3. Structure de production du phytoplancton

2.3.1. Objectifs

Volume de phytoplancton injecté en 90 jours 7 560 m³

2.3.2. Structure nécessaire

INVESTISSEMENT	COÛT (EN F)	DURÉE D'AMORTISSEMENT (EN ANNEES)	AMORTISSEMENT ANNUEL
1 forage eau salée ($\frac{1}{2}$)	7 500	10	750
1 pompe 10 m ³ /h de distribution	1 700	3	567
1 pompe E.F. 25 m ³	3 110	5	622
1 soufflante	6 000	5	1 200
Bacs béton 1 200 m ² pour phyto	170 000	10	17 000
TOTAL	188 310		20 139

2.3.3. Charges inhérentes à la production du phytoplancton

- Pompe 10 m ³ distribution	217,00
- Pompe E.F. 25 m ³	195,00
- Soufflante	1 393,20
- Main d'oeuvre 45,00 x 67,50 h	3 037,50

	4 842,70

2.3.4. Coût de revient après amortissement

- Charges de production	4 842,70
- Amortissements d'exploitation	20 139,00

	24 981,70

24 981,70

Prix de revient du m³ de phytoplancton = 3,304

7 560

2.4. Nourricerie

2.4.1. Structure

INVESTISSEMENT	COUT	DUREE D'AMORTISSEMENT	AMORTISSEMENT ANNUEL
Maçonnerie	30 000	10	3 000
80 fonds de bacs	9 000	5	1 800
Bacs PVC Ø 50 cm	4 000	5	800
Petit matériel	3 000	2	1 500
1 pompe E.M. 40 m ³ /h	3 600	5	720
1 pompe E.F. 40 m ³ /h	3 600	5	720
1 forage eau salée (½)	7 500	10	750
1 échangeur 40 m ³ /h	50 000	6	8 333
TOTAL	110 700		17 623

2.4.2. Charges de production

- Achat de naissain :

* Palourdes : $0,06 \times 1\,000\,000 = 60\,000,00$

* Huîtres : $0,045 \times 1\,000\,000 = 45\,000,00$

- Consommation de phytoplancton 24 981,70

- Autres frais de production

* Pompe E.M. 40 m³/h = 2 786,40

* Pompe E.F. 40 m³/h = 2 786,40

* Nettoyage des installations :

45,00 × 6,75 = 3 037,50

* Tamisage 45,00 × 6,75 = 3 037,50

2.4.3. Recettes

- Chiffres d'affaires

* Palourdes

Production vendable : $1\,000\,000 \times (100 - 4,5) \% = 955\,000,00$

valeur : $0,11 \times 995\,000 = 109\,450,00$

Tableau 21 : Compte d'exploitation du prégrossissement hivernal intensif de Ruditapes philippinarum.

HIVER		A l'unité vendue	%
PALOURDES			
Ventes	105 050,00		
* PRODUCTION		105 050,00	0,110
Achat de naissain	60 000,00		
Phytoplancton	24 981,70		
* COUT D'ACHAT		84 981,70	0,089
* MARGE BRUTE		20 068,30	0,021
Charges salariales	6 075,00		
Autres frais de production	5 572,80		
* FRAIS DIRECTS DE PRODUCTION		11 647,80	0,012
* MARGE SUR FRAIS DIRECTS		8 420,50	0,009
Amortissements d'exploitation	17 623,00		
* FRAIS INDIRECTS		17 623,00	0,018
* RESULTAT		- 9 202,50	- 0,010
			- 8,76

PALOURDES		
HIVER		
* Investissements		
- Atelier de phytoplancton		188 310
- Nourricerie		110 700
	TOTAL	299 010
- Temps d'utilisation (en jours)		90
* Ventes		
- Montant		105 050
- A l'unité vendue		0,110
* Charges		
- Coût d'achat		84 981,70
- Frais directs de production		11 647,80
- Frais indirects		17 623,00
	TOTAL	114 252,50
* Résultat		
- Montant global		- 9 202,50
- A l'unité vendue		-0,010
- % du prix de vente		-8,76
* Ratio		
- Investissements/résultat		non calculé
* Effectif		
- Acheté		1 000 000
- Vendu		955 000
- % mortalité		4,5
* Effectif à vendre pour un résultat nul		
- Nombre		non calculé
- % mortalité		
* Prix de vente minimum pour un résultat nul		0,120

Tableau 22 : Compte d'exploitation du prégrossissement hivernal intensif de Crassostrea gigas.

HIVER		A l'unité vendue	%
HUITRES			
Ventes	74 800,00		
* PRODUCTION		74 800,00	0,085
Achat de naissain	45 000,00		
Phytoplancton	24 981,70		
* COUT D'ACHAT		69 981,70	0,080
* MARGE BRUTE		4 818,30	0,005
Charges salariales	6 075,00		
Autres frais de production	5 572,80		
* FRAIS DIRECTS DE PRODUCTION		11 647,80	0,013
* MARGE SUR FRAIS DIRECTS		- 6 829,50	- 0,008
Amortissements d'exploitation	17 623,00		
* FRAIS INDIRECTS		17 623,00	0,020
* RESULTAT		- 24 452,50	- 0,028

HUITRES		
HIVER		
* Investissements		
- Atelier de phytoplancton		188 310
- Nourricerie		110 700
	TOTAL	299 010
- Temps d'utilisation (en jours)		90
* Ventes		
- Montant		74 800
- A l'unité vendue		0,085
* Charges		
- Coût d'achat		69 981,70
- Frais directs de production		11 647,80
- Frais indirects		17 623,00
	TOTAL	99 252,50
* Résultat		
- Montant global		-24 452,50
- A l'unité vendue		-0,028
- % du prix de vente		-32,69
* Ratio		
- Investissements/résultat		non calculé
* Effectif		
- Acheté		1 000 000
- Vendu		850 000
- % mortalité		12
* Effectif à vendre pour un résultat nul		
- Nombre		non calculé
- % mortalité		
* Prix de vente minimum pour un résultat nul		0,113

* Huîtres

Production vendable : $1\ 000\ 000 \times (100 - 12) \% = 880\ 000,00$

Valeur : $0,085 \times 880\ 000 = 74\ 800$

2.4.4. Comptes d'exploitation

L'étude économique du prégrossissement hivernal, identique au protocole appliqué au prégrossissement estival intensif, est réalisée en tenant compte des contraintes d'exploitation de cette saison et des résultats biologiques obtenus pour C. gigas et R. philippinarum. Elle fait ressortir les points suivants :

Le compte d'exploitation se solde par une rentabilité économique négative pour le prégrossissement hivernal sur les deux espèces étudiées.

Ce déficit est dû à une augmentation importante des différents postes (coût d'achat, frais directs de production et frais indirects) notamment pour les frais de production du phytoplancton (29 %) et les frais d'amortissements d'exploitation (20 %). Il s'explique, malgré des taux de mortalité sensiblement plus faibles qu'en été pour les deux espèces, par le fait que le taux de croissance des bivalves et du phytoplancton est très inférieur en hiver. La production de calories (échangeur) et le surdimensionnement des installations (bacs de phytoplancton) pénalisent la rentabilité de l'exploitation à cette saison, qui ne peut produire, avec des températures de l'eau de mer échangée relativement basse (10°C), des tailles de naissain similaires à la saison estivale. Malgré l'obtention de tailles suffisantes en fin d'hiver pour un semis dans de bonnes conditions au printemps, le bilan comptable fait apparaître une impossibilité sur le plan économique à préconiser uniquement une stratégie de prégrossissement hivernal, au cours d'une année d'exploitation.

Le caractère saisonnier du prégrossissement hivernal décalé et la lourdeur des investissements nécessaires à l'obtention biologique d'une taille des jeunes bivalves propre au semis, incitent donc à utiliser l'outil nourricerie sur plusieurs saisons de l'année, si l'option intensive est choisie. Les investissements seront d'autant mieux rentabilisés que la production en bivalves prégrossis sera importante et continue dans le temps. A cet effet, différentes stratégies de prégross-

Tableau 23 : Calculs des différents bénéfices en fonction des différentes stratégies possibles de prégrossissement pour les deux espèces.

Espèces stratégies	PALOURDE (<i>R. philippinarum</i>)						HUITRE (<i>C. gigas</i>)					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Taux de profit exprimés en %	30,95	- 8,76	35,39	38,20	38,48	33,68	21,29	- 32,69	33,01	32,25	32,78	26,37
Bénéfice annuel (F)	42 715	- 9 202	93 816	145 933	192 658	203 989	21 715	- 24 452	59 416	90 933	120 958	117 039
Bénéfice unitaire (F)	0,0464	- 0,0096	0,0499	0,0521	0,0519	0,0437	0,0255	- 0,0278	0,0330	0,0343	0,0344	0,0266
Ratio	4,338	-	0,630	1,270	0,960	1,514	8,534	-	0,996	2,038	1,532	2,639

sissement décrites au début de ce chapitre sont comparées en terme de compte d'exploitation et de volume de production annuel.

Il en résulte que, dans toutes les stratégies étudiées, le prégrossissement d'huître est nettement moins rémunérateur que pour la palourde (fig. 16 et fig. 17). Pour les deux espèces, les coûts d'achats du naissain demeurent le poste de charges le plus important.

L'achat de naissain représente à lui seul, entre 45 et 50 % des charges d'exploitation, alors que les frais de fonctionnement et d'investissement ne totalisent respectivement que 5 à 10 % et 2 à 10 % des charges pour l'ensemble des hypothèses étudiées.

Les différents calculs de bénéfice par pourcentage, par volume annuel, unité de naissain produit et par temps de retour de l'investissement sont regroupés pour les juvéniles d'huître et de palourde dans le tableau 22.

Ces résultats permettent de hiérarchiser entre elles les stratégies d'élevage, (tableau 24) et de dégager les observations suivantes pour les deux espèces :

Tableau 24 : Classement par ordre croissant des différentes stratégies de prégrossissement par nature de bénéfice pour Ruditapes philippinarum et Crassostrea gigas.

Espèces	PALOURDE (<u>R. philippinarum</u>)						HUITRE (<u>C. gigas</u>)					
	1ère	2ème	3ème	4ème	5ème	6ème	1ère	2ème	3ème	4ème	5ème	6ème
Taux de profit	3	5	4	6	1	2	3	5	4	6	1	2
Bénéfice annuel	6	5	4	3	1	2	5	6	4	3	1	2
Bénéfice unitaire	4	5	3	1	6	2	5	4	3	6	1	2
Ratio	3	5	4	6	1	2	3	5	4	6	1	2

- Le prégrossissement hivernal seul (2) est fortement déconseillé
- Le prégrossissement estival seul (1) reste, malgré les fortes croissances de bivalves, peu rentable du fait d'un investissement important pour un faible volume annuel de naissain produit.

PALOURDE.

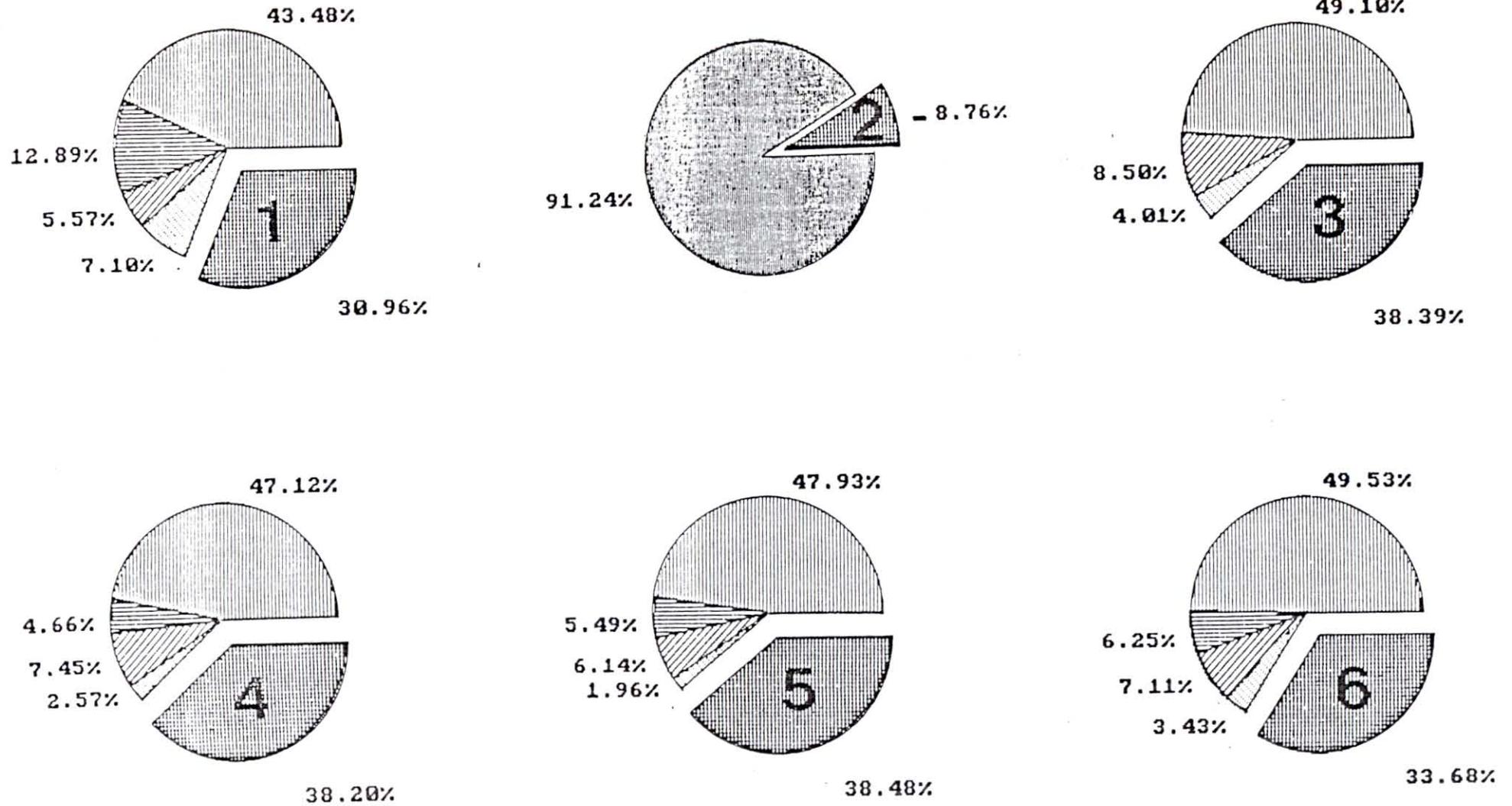


Figure 16 : Structure des principaux postes de dépenses et recettes en fonction des stratégies d'élevage (1, 2, 3, 4, 5, 6) pour le prégrossissement de la palourde Ruditapes philippinarum.

Achat de naissain,
 dépense phytoplancton,
 frais directs de production (charges salariales et autres),
 frais d'amortissements d'exploitation,
 bénéfice.

HUITRE CREUSE.

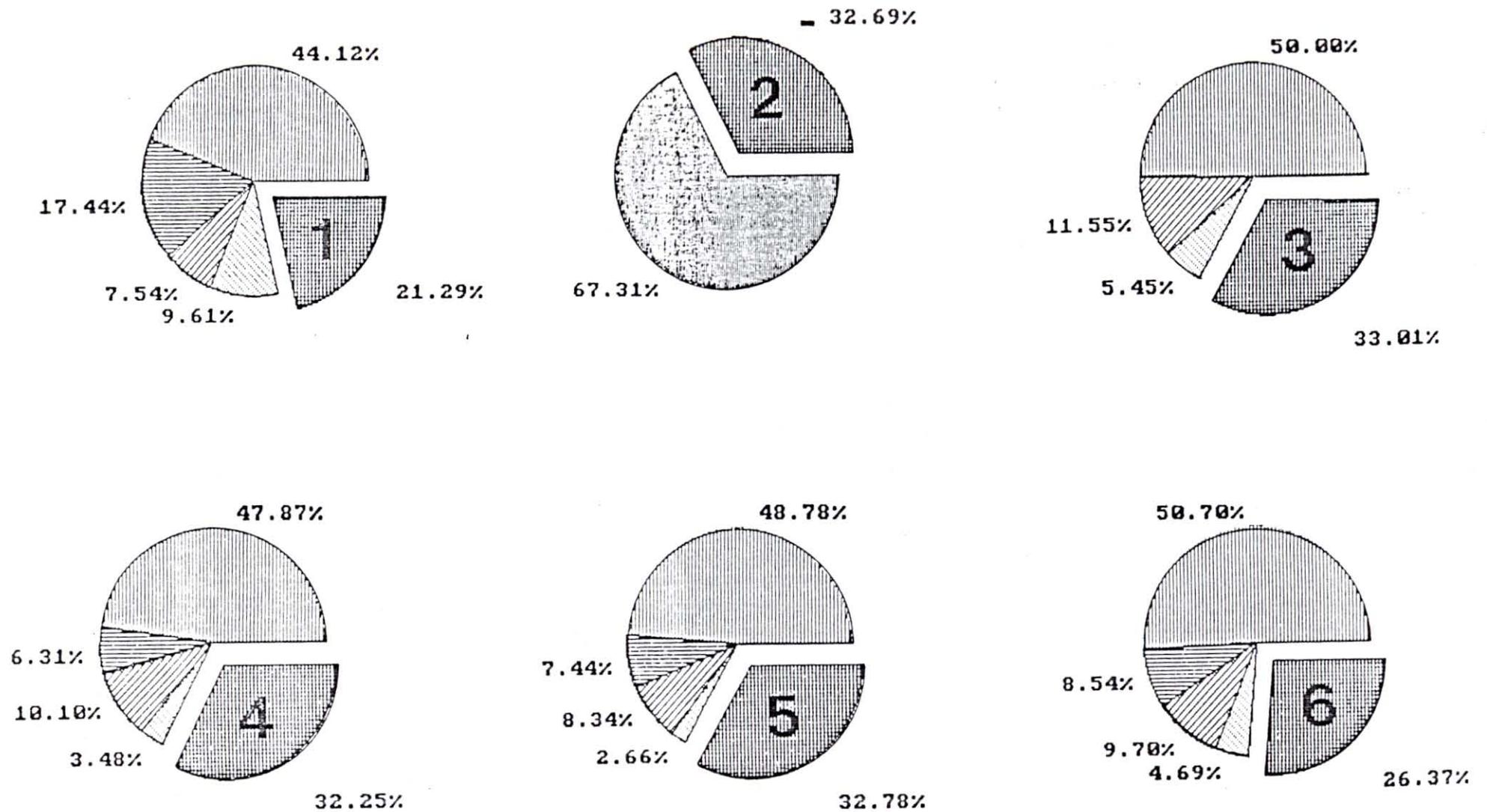


Figure 17 : Structure des principaux postes de dépenses et recettes en fonction des stratégies d'élevage (1, 2, 3, 4, 5, 6) pour le pré-grossissement de l'huître *Crassostrea gigas*.

achat de naissain,
 dépense phytoplancton,
 frais directs de production (charges salariales et autres),
 frais d'amortissements d'exploitation,
 bénéfice.

- Le prégrossissement printemps-automne en élevage extensif (3) apporte des bénéfices variables selon le type de calcul. Il semble être une solution intéressante pour un rapide retour des investissements, mais d'un rendement faible pour l'acquisition d'un fort volume de bénéfice annuel.

Les stratégies reposant sur plusieurs saisons de prégrossissement apparaissent comme des options à meilleurs rendements bénéficiaires, avec dans l'ordre croissant :

- Le prégrossissement toutes saisons en élevage intensif (6) qui favorise, à l'inverse de l'option (3), le bénéfice annuel au détriment du bénéfice par unité de naissain produit, suivi de l'option (4).
- Le prégrossissement printemps, été, automne, en élevage intensif (5) qui offre le meilleur compromis en fonction des divers calculs de bénéfice.

Pour clore cette brève étude économique, il est intéressant d'analyser la production de phytoplancton (Skeletonema costatum) en termes de prix de revient à l'unité de volume (m^3) en fonction des saisons (tableau 25). Cette approche permettra de mieux cerner, indépendamment de la fourniture directe de "fourrage" pour la nourricerie, la potentialité de valorisation de cette ressource pour l'aquaculture, mais aussi peut être à terme pour l'industrie agroalimentaire. La qualité nutritionnelle de l'algue (lipides, protides, glucides) produite à différentes saisons n'est pas prise en compte dans ce calcul et fera l'objet d'études ultérieures. On considère donc la production de Skeletonema costatum constante en qualité au cours des saisons.

Tableau 25 : Prix de revient du mètre cube de phytoplancton produit en fonction de différentes stratégies de prégrossissement.

	ETE (1)	HIVER (2)	PRINTEMPS ETE-AUTOMNE (5)	TOUTES SAISON (6)
Investissement (en Francs)	125 810	188 310	125 810	188 310
Temps d'utilisation (en jours)	60	90	240	270
Volume produit (en m ³)	5 040	7 560	20 160	27 720
Charges de production (F)	3 903	4 842,70	13 587	17 754,70
Amortissement d'exploitation (F)	13 889	20 139	13 889	20 139
Prix de revient global (F)	17 792	24 981,70	24 476	37 893,70
Prix de revient du m ³ (en Francs)	3,53	3,30	1,36	1,37

Le phytoplancton produit sur plusieurs saisons au cours d'une année avec 1,36 F.m⁻³ revient 60 % moins cher qu'en saison hivernale ou estivale (3,40 F.m⁻³). Les charges d'amortissements pour cette production sont d'environ 79 % pour les options hivernale et estivale, et diminuent pour atteindre un seuil d'environ 52 % sur plusieurs saisons.

IV. DISCUSSION

L'analyse des différents résultats de croissance et de mortalité de Ruditapes philippinarum et de Crassostrea gigas en fonction des paramètres d'élevage permet de dégager une stratégie de prégrossissement intensif, commune aux deux espèces de mollusques filtreurs pour la saison estivale et hivernale (tableau 17).

4.1. Actions de la température

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

Selon Claus et al. (1981) l'effet de la température est corrélé positivement avec la croissance. 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. 18). Cet avantage biologique doit être tempéré au niveau économique par une forte demande des aquaculteurs pour la palourde japonaise prégrossie et par un prix 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'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 nécessaire. Il limite d'ailleurs sensiblement la croissance des coquillages lorsqu'il est employé à cette saisons.

Cependant, l'augmentation de température sans apport de nourriture est néfaste pour la croissance et la survie des mollusques filtreurs.

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

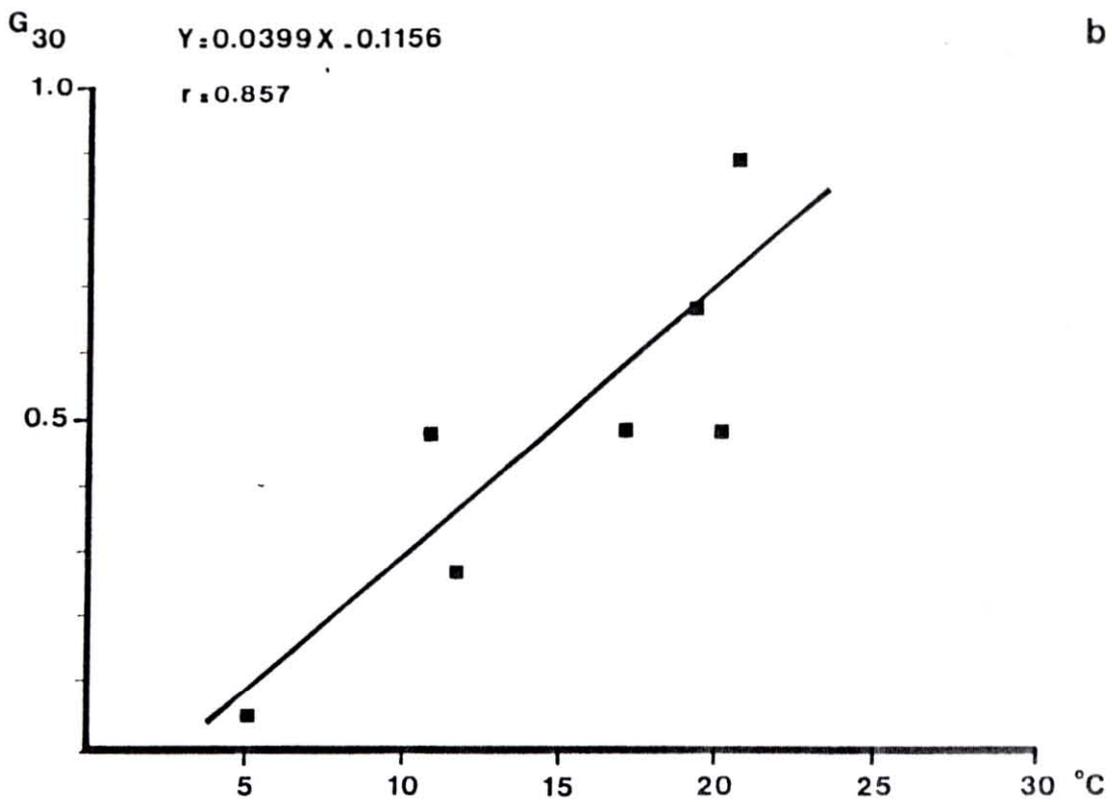
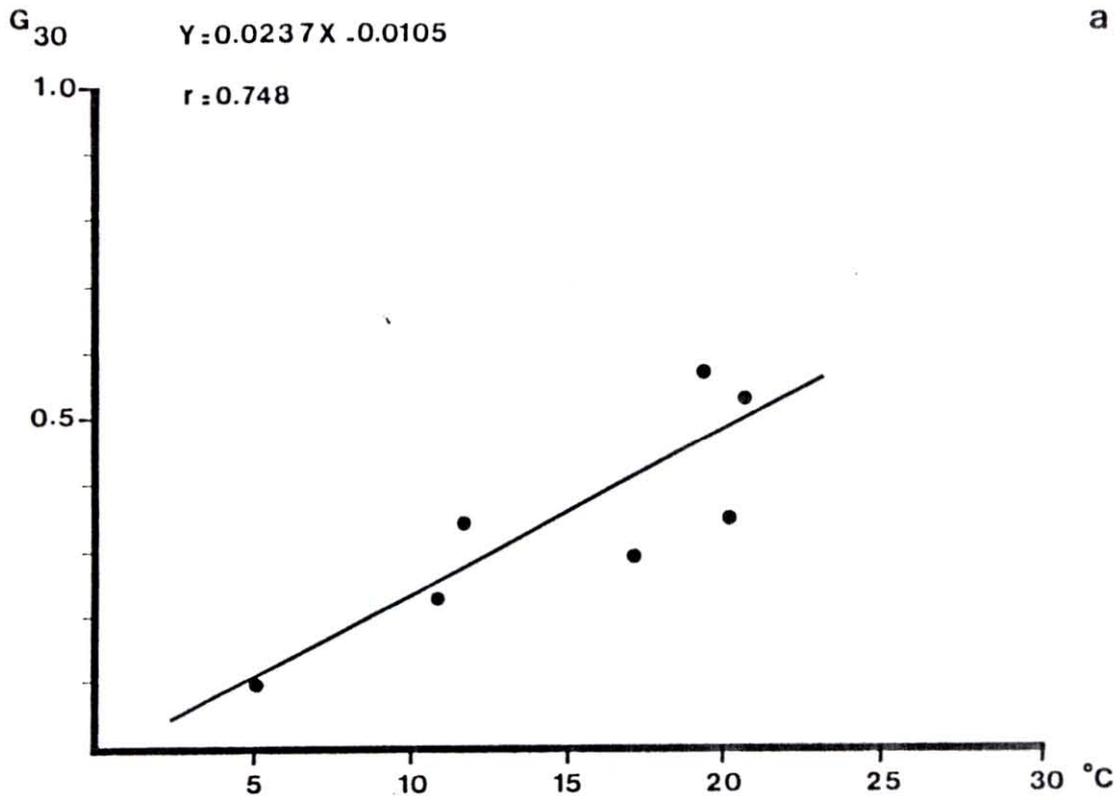


Figure 18 : Corrélation entre la température et la croissance (exprimée en G₃₀) pour : a) Ruditapes philippinarum et b) Crassostrea gigas.

et en présence de fortes teneurs de 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 en continu et en extérieur de grands volumes de S. costatum n'a pu être réalisée de façon tout à fait satisfaisante. La technique en discontinu 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, 1970) et notamment pour Mercenaria mercenaria ainsi que pour R. philippinarum (Laing et al., 1987). Ceci corrobore les bons résultats de croissance enregistrés pour les vénéruidés avec cette espèce de diatomée (fig. 12).

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 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 x 10⁹ C algales x animales⁻¹ x jour⁻¹. La concentration instantanée reste toutefois inférieure à celle préconisée par Tenore et Dunstan en 1973 pour S. costatum.

Cette différence 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 en séquentiel.

La distribution de la nourriture en courant ascendant apparaît comme une technologie très adaptée à 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).

Les différentes analyses factorielles montrent clairement que le débit est secondaire mais qu'il 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.

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. 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 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).

L'établissement d'un régime nutritionnel optimal avec un apport en discontinu nécessite de connaître les concentrations maximales et minimales utiles à l'espèce, pour établir la ration quotidienne à injecteur 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.

4.5. Aspects économiques

Si sur le plan biologique, les taux de croissance enregistrés pour R. philippinarum et C. gigas sont les plus élevés en prégrossissement estival, l'analyse économique montre qu'une telle nourricerie pilote de production d'un million de naissain se situe à la limite de la rentabilité. Elle devient d'ailleurs non rentable en prégrossissement hivernal. Toutefois, l'intégration de ces protocoles zootechniques saisonniers dans une stratégie sur plusieurs saisons de prégrossissement intensif valorise la nourricerie sur deux plans :

- sur le plan biologique, elle permet d'envisager une fourniture de naissains toute l'année sans rupture de croissance et sans occasionner de stress majeur sur le cheptel pendant les périodes critiques.

- sur le plan économique, elle rentabilise au mieux les investissements et le fonctionnement par un niveau de production élevé dégageant des bénéfices annuels importants.

La période de prégrossissement intensif "printemps, été, automne" (5) se présente comme l'option stratégique optimale.

La solution (6) "prégrossissement intensif toutes saisons" pourra être choisie si une plus value importante en grossissement ou en prix de vent peut être réalisée à partir du naissain prégrossi en hiver.

Les prégrossissements décalés dans le temps ne sont réalisables qu'avec l'eau salée souterraine qui permet d'envisager sous nos latitudes

la production en grands volumes de cultures monospécifiques de phytoplancton à des coûts non prohibitifs.

Le coût de production de S. costatum pour la solution n° 5 revient à moins de 7 % des charges du compte d'exploitation. De Pauw estimait en 1981 que le prix de revient du phytoplancton ne devrait 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 de Isochrysis galbana établissait le prix de revient exprimé en kilogramme de poids sec entre 720 F et 1 200 F (dollar à 6 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 prohibitifs 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'Ostende.

Pour comparer la production de S. costatum en eau de forage, aux valeurs ci-dessus, un calcul similaire a été effectué. Avec 78,19 g/m³ de poids sec moyen, la production annuelle sur neuf mois de S. costatum revient à 17,4 F le Kg de poids sec, soit un coût 55 fois moins élevé que les productions monospécifiques précédemment décrites et 8 fois moins élevé que les estimation de De Pauw. Le prix de revient pourrait d'ailleurs encore être diminué en recherchant un matériau moins onéreux que le béton pour fabriquer les bacs de culture nécessaires à la production de cette diatomée.

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 et économique 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, et ceci avec des coûts peu élevés ($1,36 \text{ F/m}^3$) 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 26.

Tableau 26 : 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 <u>S. costatum</u>	Fréquence d'injection
<u>R. philippinarum</u>	Hiver	Eau échangée ($\approx 10^\circ\text{C}$)	25 000/tube tamis	1 m ³ /h/tube tamis	150 l/h/tube tamis	discontinue 14h/24h
<u>C. gigas</u>	Eté	Eau naturelle ($\approx 20^\circ\text{C}$)	25 000/tube tamis	3 m ³ /h/tube tamis	150 l/h/tube tamis	discontinue 14 h/24 h

L'approche économique des différentes stratégies de prégrossissement met en évidence la nécessité d'utiliser la nourricerie durant plusieurs saisons au cours d'une année. Elle démontre également que des prégrossissements réalisés au printemps, en été et en automne (5) ou en toutes saisons (6) sont les plus rémunérateurs sur la plan comptable.

Les résultats 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 ormis les techniques de prégrossissement intensif, l'utilisation des eaux salées souterraines ouvre des voies nouvelles de recherche dans des domaines très variés :

- production de calorie pour l'aquaculture,
- production de phytoplancton pour sa valorisation industrielle,
- intensification de toutes les phases d'élevage de bivalves.

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

- Askew C.G., 1978. A generalized growth and mortality model for assessing the economics of bivalve culture. Aquaculture 14 : 91-104.
- 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. 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Dréno J.P., 1979. Essai de prégrossissement de naissain de palourdes en claires à huîtres. Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches Marit. 202 : 1-11.

- 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 Virginia institute of marine science, Gloucester Point, Virginia, 104 p.
- Enright C.T., Newkirk G.F., Graigs 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., 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.
- 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. Natn. Pêche, Tunisie 3 (2) : 99-106.
- 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.
- 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.
- 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.
- Héral M., 1986. Evolution et état du cheptel ostréicole dans le bassin de Marennes-Oléron : intérêt d'une régulation. Rapport interne IFREMER, Laboratoire Ecosystèmes Conchyliques DRV-86-06-AQ/TREMB, 35 p.
- Ignatiade 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.

- 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.
- 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 Jones E., 1983. Large scale turbidostat culture of marine microalgae. Aquacult. Engng., 2 : 203-212.
- 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.
- 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.
- Loosanoff V.L. and Davis H.C., 1963. Rearing of bivalve molluscs. Adv. mar. Biol., 1 : 1-138.
- Lucas A., 1976. A new type of nursery for rearing bivalve postlarvae. Construction, equipment and preliminary results. p. 257-269. In : Proc. 10th Europ. Symp. Marine Biol. vol. 1. Persoone G. and E. Jaspers (Eds) universa press, Wetteren, Belgium, 620 p.
- 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. Pêche maritime n° mai 1981, 2 p.

- Mann R. and Ryther J.H., 1977. Growth of six species of bivalve molluscs in a waste recycling-aquaculture II : 231-245.
- Manzi J.J., Hadley N.H., Battey C., Haggerty R., Hamilton R. and Carter M., 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 Maddox M.B., 1986. Seed clam, Mercenaria mercenaria, culture in an experimental scale upflow nursery system. Aquaculture, 54 : 301-311.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Ricker W.E., 1968. Methods for assessment of fish production in fresh waters. IBP Handbock n° 3 Blackwell Scientific Publications, Oxford, 348 p.
- Rince Y., 1978. Intervention des diatomées dans l'écologie des claires ostréicoles de la baie de Bourgneuf. Thèse Doct. Spécialité, Univ. Nantes, 203 p.
- Rince 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.
- 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., 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.
- Saint-Felix 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.
- 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.

- Tenore K.R. and Dunstan W.M., 1973. Comparison 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.
- 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.
- 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.