

J. Haure, O. Durin, H. Palvadeau, M. Papin, M. Nourry, C. Pénisson et J.L. Y. Martin

Arrêté du Conseil Régional de la Région Pays de Loire n° 00-5033-0
Contrat Ifremer/SRC Ré-Centre Ouest n° 00/5 210 557 /YF

Juillet 2003

L'amélioration de la qualité des huîtres à échelle professionnelle : intégration de l'eau salée souterraine traitée comme milieu d'élevage.



©Ifremer/JL. Martin

L'amélioration de la qualité des huîtres à échelle professionnelle : intégration de l'eau salée souterraine traitée comme milieu d'élevage.

J. Haure, O. Durin, H. Palvadeau, M. Papin, M. Nourry, C. Penisson et J.L.Y. Martin

Laboratoire Conchylicole des Pays de la Loire, IFREMER, Polder des champs, 85230 Bouin.

Numéro d'identification du rapport : DRV/RA/LCPL/RST/03/03-01		date de publication 07/07/03
Diffusion : libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> interdite <input type="checkbox"/>		nombre de pages 31
Validé par :		bibliographie (Oui / Non)
Version du document :		illustration(s) (Oui / Non)
		langue du rapport français
Titre et sous-titre du rapport :		
L'amélioration de la qualité des huîtres à échelle professionnelle : intégration de l'eau salée souterraine traitée comme milieu d'élevage.		
Titre traduit :		
Auteur(s) principal(aux) : nom, prénom Haure J., Durin O., Palvadeau H., Papin M., Nourry M., Pénisson C., Martin J.L. Y.		Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER/DRV/RA/LCPL Bouin
Collaborateur(s) : nom, prénom		Organisme / Direction / Service, laboratoire
Travaux universitaires :		
diplôme :		discipline :
établissement de soutenance :		année de soutenance :
Titre du contrat de recherche :		n° de contrat IFREMER
Amélioration de la qualité des huîtres par utilisation de l'eau salée souterraine traitée. (Arrêté n° 00-5033-0)		
Organisme commanditaire : nom développé, sigle, adresse Région Pays de Loire (Smidap) 1 bd de la Loire, 44067 Nantes Cedex 02		
SRC Ré-Centre Ouest Place de l'Eglise, 85230 Bouin		
Organisme(s) réalisateur(s) : nom(s) développé(s), sigle(s), adresse(s) Institut Français pour la Recherche et l'Exploitation de la Mer LCPL Polder des Champs, 85230 Bouin		
Responsable scientifique : J.L. Martin		
Cadre de la recherche :		
Programme : E220/F130		Convention :
Projet :		Autres (préciser) :
Campagne océanographique : (nom de campagne, année, nom du navire)		

Résumé :

Les travaux menés au LCPL depuis plusieurs années sur l'engraissement contrôlé de l'huître creuse *Crassostrea gigas* ont permis, à l'échelle expérimentale de définir les différents paramètres d'élevage :

- Température : 14°C
- ration alimentaire : $2 \cdot 10^9$ cell/ind/j de la diatomée *Skeletonema costatum*
- indice AFNOR initial sans incidence
- débit d'eau : 3 l/ind/h
- eau de mer ou eau salée souterraine

Dans ces conditions et après 30 jours d'engraissement, le poids total des huîtres a progressé de 10%, le poids sec de 230%, l'indice AFNOR de 80% et la concentration en glycogène de 450%.

Le travail réalisé ici a pour but de transposer de l'échelle expérimentale à une échelle significative pour les professionnels, la technique d'engraissement contrôlé en utilisant l'eau salée souterraine pour la production de phytoplancton d'une part et comme vecteur de régulation thermique d'autre part.

En effet, un des intérêts de l'utilisation de l'eau salée souterraine réside dans sa température constante de 14°C permettant un engraissement des huîtres en toute saison sans risque de déclenchement de la gamétogenèse. Afin de vérifier cette possibilité, l'étude a été réalisée au cours de deux saisons : printemps et automne.

Pour l'essai automnal, trois bassins de 8 m² ont été utilisés, alimentés respectivement en eau de mer naturelle, eau de mer régulé en température par échange thermique avec de l'eau salée souterraine et eau salée souterraine traitée. Dans chaque bassin, 330 kg d'huîtres ont été disposées en 7 ruches de 4 clayettes.

Pour l'essai printanier, seuls deux bassins ont été utilisés, alimentés en eau de mer thermorégulée à deux débits différents : 0.6l/h et 3 l/h.

L'étude a été conduite pour chaque saison sur une période de 35 jours.

En automne 2000, l'indice de qualité de chair de 8.2 initialement, a atteint 12.5 en eau salée souterraine, 13.8 en eau de mer thermorégulée et 14.2 en eau de mer naturelle. Le poids de chair sèche passe de 0.9 g initialement à respectivement 2.32g, 2.39g et 2.37g.

Les dosages de Pb, Cd, Hg, Mn et As ne montrent pas d'évolution entre le début et la fin de l'élevage, par contre le Fe augmente sensiblement dans les huîtres sur eau salée souterraine traitée.

En fin d'élevage, une période de stockage de 4 semaines des huîtres sans nourriture, n'a pas montré de perte de qualité.

Au printemps 2001, un deuxième essai sera conduit pour vérifier les résultats obtenus à l'automne 2000, confirmer le choix du milieu d'élevage et proposer les éléments permettant d'approcher les coûts de production.

Mots-clés :

Crassostrea gigas, affinage, qualité, élevage contrôlé

Keywords :**Commentaire :**

sommaire

1.	Introduction.....	3
2.	Rappels des études précédentes	4
3.	Matériels et méthodes	6
3.1.	Production de phytoplancton	6
3.2.	Conditions expérimentales	6
3.2.1.	Conditions automnales	6
3.2.2.	Conditions printanières	8
3.3.	Contrôle des paramètres	8
3.3.1.	Contrôle du milieu	8
3.3.2.	Contrôle des animaux	9
4.	Résultats	11
4.1.	Evolution des paramètres physico-chimiques	11
4.1.1.	Température	11
4.1.2.	Salinité	13
4.1.3.	Matières particulaires	14
4.1.4.	Chlorophylle	16
4.2.	Suivi de la croissance	19
4.2.1.	Biométrie	19
4.2.2.	Biochimie.....	23
4.2.3.	Mortalités.....	24
4.2.4.	Dosage des métaux	24
5.	Discussion	26



1. Introduction

L'activité ostréicole française produit aujourd'hui près de 160 000 tonnes par an d'huîtres creuses *Crassostrea gigas*. Ces quantités sont écoulées sur le marché sous différentes appellations qui donnent une information sur la provenance du produit mais aussi sur leur parcours culturel, leur conférant une certaine qualité à la fin de leur cycle d'élevage.

Ces différents critères de classement ont été repris et récemment référencés par l'accord interprofessionnel de la conchyliculture publié dans le journal officiel n°34 (2000). Ce bulletin renseigne sur la dénomination et classification des huîtres creuses et des impératifs d'élevage qui leur sont liés. Ainsi, les huîtres peuvent être réparties en plusieurs classes selon la qualité de chair définie par un indice de remplissage. Il est alors possible d'identifier les huîtres « fines » dont l'indice se trouve entre 6,5 et 10,5 exclu, et les « spéciales » d'une valeur supérieure ou égale à 10,5. Les huîtres dont l'indice est inférieur à 6,5 ne porte aucune mention particulière. Il peut s'ajouter à cette dénomination une information supplémentaire concernant le site d'affinage, et l'huître peut être alors, « fine » ou « spéciale » de claire si elle provient d'une telle structure. Dans ce cas, les techniques culturelles concernant la durée et la densité d'élevage doivent être rigoureusement respectées en suivant un cahier de charges très précis.

Selon les sources des Affaires Maritimes (1989), 60 000 tonnes de la production annuelle d'huîtres creuses *C. gigas* seraient commercialisées sous la dénomination « huître fine de claire » ou « huître spéciale de claire » et provenant des seuls 1400 ha de claires de Charente Maritime.

Ces claires représentent des écosystèmes propices au développement naturel d'une flore variée et spécifique et ont été de nombreuses fois étudiées (Rince, 1978 ; Maestrini et Robert, 1981 ; Robert, 1983). Toutefois, la période d'affinage des huîtres qui se déroule, communément en automne, est marquée par une pauvreté de la ressource trophique plus ou moins importante, selon les conditions climatiques (Soletchnik *et al.*, 1995). De plus, la qualité initiale des lots et les densités d'élevage ont un impact significatif, en fin d'affinage, sur l'état des réserves de l'huître (Blachier *et al.*, 1998). En d'autres termes, le séjour des huîtres en claire peut conduire, paradoxalement, à l'amaigrissement de l'ensemble des individus si la nourriture ne s'y développe pas suffisamment (Blachier *et al.*, 1998 ; Le Moine *et al.*, 1998). Des études de fertilisation de claire ont été entreprises pour optimiser l'affinage des huîtres (Le Moine *et al.*, 1998) ou faciliter leur verdissement par la microalgue *Haslea ostrearia*



(Turpin et Robert, 1998), mais les résultats, tout en étant améliorés, restent encore beaucoup trop aléatoires au regard des moyens employés.

Des études antérieures ont montré qu'il était possible d'améliorer le niveau trophique des structures de grossissement par l'apport d'amidon de poudre de maïs ou de substances riches en glucides (Turgeon et Haven, 1978 ; Ingle *et al.*, 1981 ; Nell et Wisely, 1984) sans pouvoir, toutefois, égaler l'ajout de phytoplancton vivant. Cependant, la production de microalgues en grande quantité représente un coût trop important pour une utilisation à grande échelle (Walne, 1976 ; De Pauw, 1984).

Pour fortifier la constance et l'homogénéité de la qualité de l'huître d'une année sur l'autre, une technique d'affinage contrôlée avec un apport de phytoplancton (*Skeletonema costatum*) a été mise au point au LCPL (Laboratoire Conchylicole des Pays de la Loire) de l'Ifremer. La production, à moindre coût, d'algues phytoplanctoniques repose sur la présence d'une eau salée souterraine riche en sels nutritifs permettant la culture en grands volumes (80 m³) de microalgues fourrages pour les bivalves marins (Baud, 1991). Différentes études ont été entreprises pour optimiser la technique d'affinage intensif et ayant pour objectifs de définir le support d'élevage le mieux adapté (Baud *et al.*, 1995), la température la plus appropriée (Baud *et al.*, 1998) ainsi que la qualité et le renouvellement en eau à adopter (Baud *et al.*, 2002). La qualité même de la chair des huîtres produite selon ce procédé a pu être définie, comparée et qualifiée selon des critères sensoriels tels que l'odeur, l'aspect, la saveur et la texture en bouche (Cardinal *et al.*, 1995).

De plus, des travaux ont été menés sur les acides gras de la chair des huîtres ainsi affinées, pour déceler les arômes dont ils sont les précurseurs et pouvant être attribués directement à la nature de l'algue fourrage (Piveteau, 1999 ; Pennarum, 2002). Les résultats ont montré que certaines microalgues, telles que *Skeletonema costatum* ou *T-Isochrysis*, laissaient aux tissus d'huîtres une signature aromatique qui leur était propre (Pennarum *et al.*, 2003).

Enfin, les bases de données zootechniques qui ont été recueillies durant les trois années d'optimisation de cet élevage ont permis de construire un modèle mathématique de l'affinage intensif de l'huître creuse *C. gigas* pour en définir le déterminisme (Méléder *et al.*, 2001).

Pour finaliser ces travaux, une étude devait être entreprise pour vérifier la faisabilité, à une échelle professionnelle, de l'affinage intensif de l'huître creuse en mettant à profit les enseignements des réalisations passées.

2. Rappels des études précédentes



Les études précédentes d'optimisation de l'affinage contrôlé ont été réalisées, pour la plupart dans des unités expérimentales de 600 litres sur une durée de 35 jours. La ration alimentaire étaient fixée à $2 \cdot 10^9$ cellules de *Skeletonema costatum* par jour et par individu. Le niveau trophique a été adapté à *Crassostrea gigas* à partir des besoins physiologiques de la palourde japonaise *Ruditapes philippinarum* (Baud et Bacher, 1990) et de l'huître plate *Ostrea edulis* (Haure *et al.*, 1996) nourries avec *S. costatum*.

L'influence de différents paramètres a été étudiée :

- influence du support d'élevage (Baud *et al.*, 1995) :

Trois méthodes d'élevage ont été testées parmi celles pouvant être utilisées par la profession : un élevage à même le sol, en poches surélevées, et en clayettes surélevées. Les clayettes ont présenté des résultats significativement meilleurs aux autres formes d'élevage en offrant, de plus, la possibilité d'être superposables.

- influence de la température (Baud *et al.*, 1998) :

Les températures de 6, 10, 14, et 18 °C ont été testées. Il est apparu que la température de 14 °C était optimale et qu'en dessous la cinétique d'engraissement était plus lente. A 18 °C, l'huître allouait préférentiellement son énergie à la reproduction au dépend de la formation de sucres de réserve.

- influence de la qualité d'eau et du renouvellement du milieu (Baud *et al.*, 2002) :

Les apports d'eau enrichis en phytoplancton de 0,6 ; 1 et 3 l/h/individu ont été testés et comparés avec de l'eau de mer naturelle et de l'eau de forage préalablement traitée et adaptée aux exigences des huîtres (Haure *et al.*, 2003) au moyen d'un pilote d'une capacité de 30 m³ (Baud *et al.*, 2000).

Après 35 jours d'expérimentation, aucune différence significative de la qualité d'affinage n'a pu être notée entre les débits étudiés ni même les qualités d'eau utilisées.

Cette étude s'est appuyée sur les résultats des travaux précédents, ainsi :

- les clayettes ont été choisies comme support d'élevage,
- le maintien de la température à 14°C a été respecté au mieux au regard de la taille des bassins et de la saison d'affinage,
- la comparaison qualité et quantité d'eau de renouvellement a été conservée pour valider les résultats précédents à une échelle plus proche de la réalité professionnelle.



3. Matériels et méthodes

L'étude s'est réalisée à deux périodes de l'année susceptibles de fournir, au moyen de la technique utilisée, des produits correspondants à l'appellation « huître spéciale ». Ce facteur a été introduit de manière à informer les professionnels de la plage saisonnière pendant laquelle ils pouvaient pratiquer cet élevage. En fonction des impératifs de marché où les principales ventes se situent entre décembre et mai, il a été choisi une période d'affinage en octobre pour les fêtes de fin d'année et l'autre en avril.

3.1. Production de phytoplancton

La diatomée *Skeletonema costatum* a été produite dans quatre bassins bétonnés d'un volume de 100 m³, en utilisant l'eau de forage brute comme milieu nutritif. Des repiquages successifs et journaliers à partir d'une culture en phase exponentielle de croissance ont permis d'atteindre en quatre jours un concentré de diatomées de 10⁶ cellules /ml en moyenne. La distribution du phytoplancton était assurée par injection au niveau de la canalisation d'amenée d'eau en amont des bondons d'entrée de chaque bassin (fig. 1).

3.2. Conditions expérimentales

L'étude s'est réalisée dans un premier temps à l'automne puis au printemps de l'année suivante avec de nouvelles huîtres.

3.2.1. Conditions automnales

Matériel biologique

Les huîtres de 2 ans, originaires de la baie de Bourgneuf, provenaient de l'entreprise de M. Musereau, ostréiculteur du port du Brochet, et ont été calibrées de sorte que le lot soit homogène. Le poids moyen était de 67,6 ± 4,70 g (n=30).

Structure d'élevage

Structure d'élevage

1 tonne d'huîtres a été répartie à part égale dans 3 bassins de 8 m x 2 m et 0,5 m de lame d'eau. Chaque bassin enrichi en phytoplancton correspondait à des caractéristiques différentes (fig. 1) :

- 1 bassin alimenté en eau salée souterraine traitée à 14 °C (**EST**),
- 1 bassin alimenté en eau de mer à la température de 14 °C au moyen d'un échangeur thermique pour récupérer les thermies de l'eau souterraine (**EME**),
- 1 bassin alimenté en eau de mer sans régulation de la température (**EM**).

Dans chaque bassin, 4200 huîtres ont été distribuées en 7 empilements de 4 clayettes superposées, comprenant chacune 150 huîtres (fig. 1).

Les flux d'eau enrichie en phytoplancton ont été ajustés afin d'obtenir les conditions optimales d'affinage ($2 \cdot 10^9$ cellules de phytoplancton / j / individu et 3 l / h / individu d'eau de mer ou eau de forage traitée).

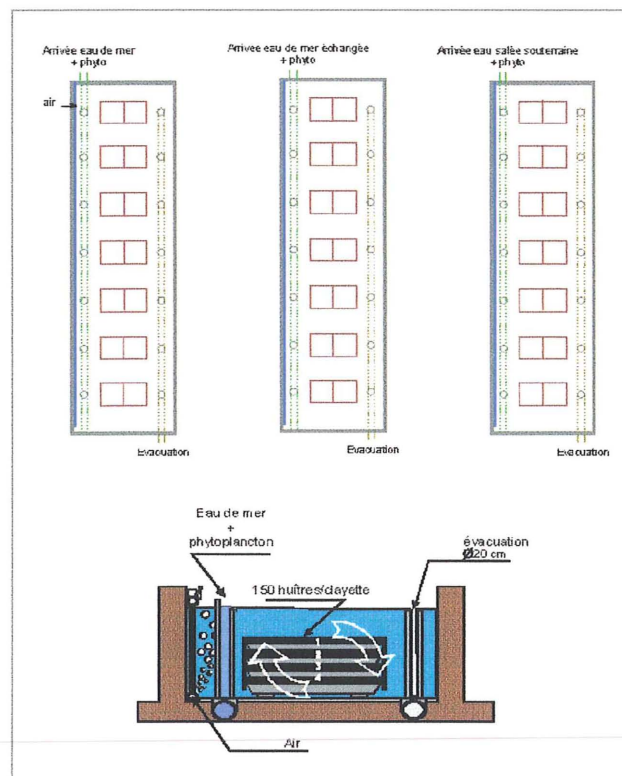


Figure 1 : Caractéristiques et agencement des bassins d'affinage.

de forage traitée sans apport de nourriture. L'objectif de ce transfert était de pouvoir juger de la durabilité des acquis dus à l'affinage afin que les professionnels puissent gérer au mieux la rotation de leur élevage pour délester leur outil de production en fonction de la demande du marché.

3.2.2. Conditions printanières

Matériel biologique

Les huîtres de 2 ans provenaient de l'entreprise de M. Corcaud, ostréiculteur à Bouin (baie de Bourgneuf). Le poids moyen des huîtres après calibrage était de $88,5 \pm 2,1$ g.

Structure d'élevage

L'étude s'est réalisée dans les mêmes bassins que ceux de l'expérimentation de l'automne précédent (fig. 1). La biomasse d'huîtres et la ration alimentaire par bassin étaient par ailleurs identiques, seuls les débits d'eau de mer ont différés. La température de l'eau de mer a été maintenue autour de 14 °C au moyen d'un échangeur thermique couplé à une circulation d'eau de forage.

- 1 bassin alimenté en eau de mer autour de 14 °C avec un renouvellement de **3 l / h /individu** et noté **D-3**,
- 1 bassin alimenté en eau de mer autour de 14 °C avec un renouvellement de **0,6 l / h /individu** et noté **D-0,6**.

3.3. Contrôle des paramètres

L'effort et la fréquence des prélèvements ont été équivalents lors des deux périodes étudiées.

3.3.1. Contrôle du milieu

Température

Les variations thermiques ont été mesurées au dixième de degré Celsius par des sondes enregistreuses dont la fréquence de mesure a été fixée à 30 minutes.

Salinité

Elle a été mesurée journallement avec un salinomètre WTW.



Matières particulaires

Les matières particulaires sont composées d'une fraction minérale et organique d'une taille inférieure à 200 µm. Elles ont été recueillies sur un filtre Whatman GFC d'une porosité de 0,45 µm et pesées après passage à l'étuve à 60 °C pendant 24 h. La crémation à 450 °C pendant 1 h a permis d'estimer par différence de pesée la part de l'organique (MOP) et du minéral (MIP). Les matières particulaires sont dosées 2 fois par semaine.

Chlorophylle

La richesse de l'eau en phytoplancton a été mesurée par le dosage de la chlorophylle *a* (µg / l). Les dosages ont été réalisés selon la méthode de Lorenzen (1967), et mesurés par un fluorimètre IC 6800. Les prélèvements ont été réalisés 2 fois par semaine.

3.3.2. Contrôle des animaux

Biométrie

Une fois par semaine, 30 huîtres ont été prélevées par bassin pour être individuellement mesurées. Les principaux descripteurs biométriques étaient :

- le poids total, mesuré à 0,01 g,
- le poids de coquille, mesuré à 0,01 g,
- le poids frais de chair, mesuré à 0,01 g,
- le poids sec de chair lyophilisée, mesuré à 0,01 g.

Ces paramètres biométriques ont permis de calculer un indice de remplissage (I) issu de l'accord interprofessionnel (2000), qui s'écrit :

$$I = (m_0 / m_1) * 100$$

où, m_1 est le poids total de l'huître (g) et m_2 celui du poids frais de chair (g).

l'appréciation de cet indice (I), permet de classer les huîtres en différentes appellations :

- appellation « huître fine » : $6 < I < 10,5$
- appellation « huître spéciale » : $10,5 \leq I$



Biochimie

Les analyses biochimiques des huîtres ont été exécutées chaque semaine, à partir de la chair lyophilisée et finement broyée de 3 pools de 10 huîtres. Les lipides et les sucres ont été dosés selon les méthodes suivantes :

- les lipides ont été extraits et purifiés selon la méthode de Bligh et Dyer (1959) au chloroforme et au méthanol puis dosés comme indiqué par Marsh et Weinstein (1966).
- Les sucres ont été extraits à l'acide trichloroacétique et dosés en suivant les recommandations de Dubois *et al.* (1956).

Mortalités

Lors de chaque prélèvement hebdomadaire, les huîtres mortes ont été dénombrées dans chaque bassin sur une ruche de clayettes dédiée à l'estimation de ce paramètre.

Stockage

Une fois affinées, les huîtres ont été stockées dans leur milieu d'origine en eau de mer ou eau salée souterraine traitée durant 5 semaines. Les suivis du milieu et des animaux ont été alors maintenus suivant une fréquence identique de prélèvements. Toutefois, ce volet de l'étude n'a été réalisé qu'une seule fois pendant la phase automnale.

Dosage des métaux dans la chair des huîtres

L'objectif de l'affinage est d'améliorer la qualité de la chair des mollusques avant la vente directe aux consommateurs. Dans ce contexte, il était important d'analyser les concentrations des principaux métaux préjudiciables à la santé humaine.

Le laboratoire agréé de Valence a réalisé le dosage du plomb, du cadmium, du mercure, du fer, du manganèse et de l'arsenic, au début et à la fin de l'affinage, sur la chair des huîtres. Les résultats ont été exprimés en mg/kg de matière sèche de chair d'huîtres prélevées dans les bassins EM et EST.



4. Résultats

4.1. Evolution des paramètres physico-chimiques

4.1.1. Température

Les températures relevées dans les trois bassins, au cours des 43 jours d'affinage d'automne, ont montré de plus faibles variations de l'eau de forage (EST) et de l'eau de mer échangée (EME) par rapport à l'eau de mer naturelle (EM) (fig. 2). Les moyennes ont été respectivement de $14,2 \pm 0,1$ °C, $12,6 \pm 0,2$ °C et $11,4 \pm 0,6$ °C (tab. 1).

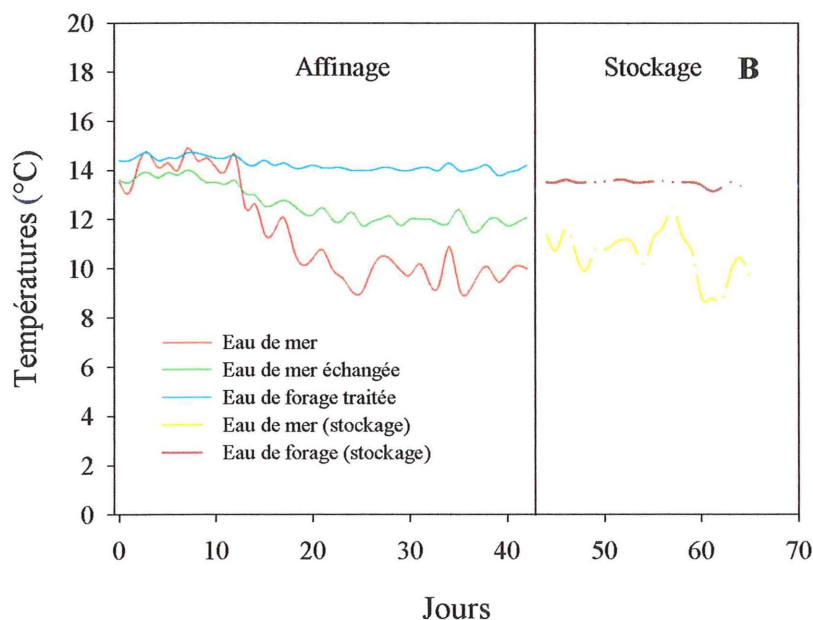


Figure 2 : Evolution des températures automnales dans les bassins d'affinage et de stockage.

Par ailleurs, une analyse de variance, effectuée sur la température, a distinctement différencié les bassins en trois groupes homogènes ($p < 0,001$ et $n = 43$).

L'évolution des températures durant la phase de stockage n'a pas présenté de dissemblance par rapport à la période d'affinage et a conservé le différentiel thermique entre l'eau de forage traitée et l'eau de mer non échangée (tab. 1).

Tableau 1 : Températures (°C) enregistrées en automne dans chaque bassin.

Qualité d'eau	n	Température moyenne	Température maxi	Température mini
Eau de forage traitée				
Affinage	43	14,2 ± 0,1	14,7	13,8
Stockage	21	13,5 ± 0,1	13,6	13,0
Eau de mer non échangée				
Affinage	43	11,4 ± 0,6	14,9	9,0
Stockage	21	10,6 ± 0,4	12,5	8,7
Eau de mer échangée				
	43	12,6 ± 0,2	13,9	11,4

Les températures relevées durant le printemps et maintenues à peu près constantes autour de 14 °C ont présenté peu de différence entre les deux débits testés. Ainsi les moyennes de températures étaient de $12,64 \pm 0,03$ °C pour le bassin dont le débit était le plus élevé (D-3) et $12,48 \pm 0,04$ °C pour l'autre. Cependant, il a été constaté une variabilité de la température plus importante, sur la durée de l'expérimentation, dans le bassin dont le renouvellement était le plus faible (D-0,6) (fig. 3).

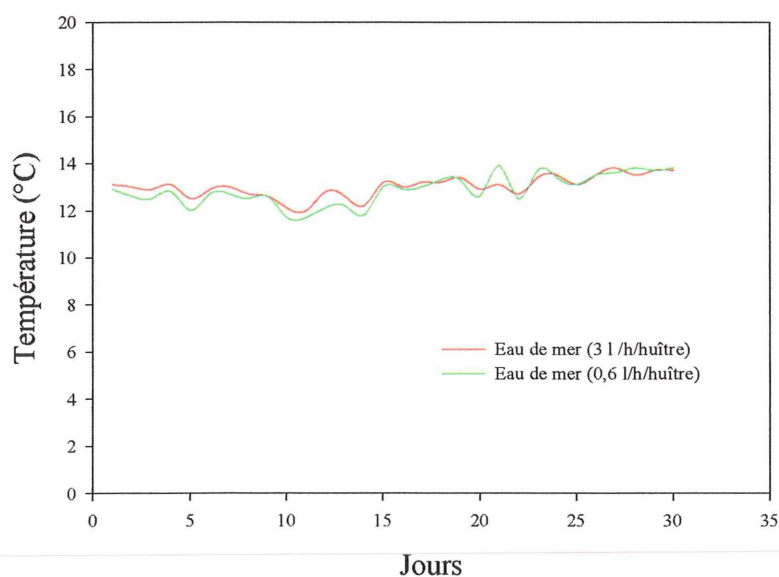


Figure 3 : Evolution des températures printanières dans les bassins d'affinage et de stockage.

4.1.2. Salinité

Au cours de la période automnale, les mesures ont fait apparaître des évolutions différentes de la salinité en fonction du milieu d'affinage (fig. 4). Les salinités ont été identiques pour EME et EM avec des moyennes respectives de $28,7 \pm 1,0 \text{ ‰}$ et $28,6 \pm 1,0 \text{ ‰}$. Les valeurs ont chuté très nettement à partir du jour 15 ($33,1 \text{ ‰}$) jusqu'à 22 ‰ où elles ont atteint leur minima, 9 jours plus tard.

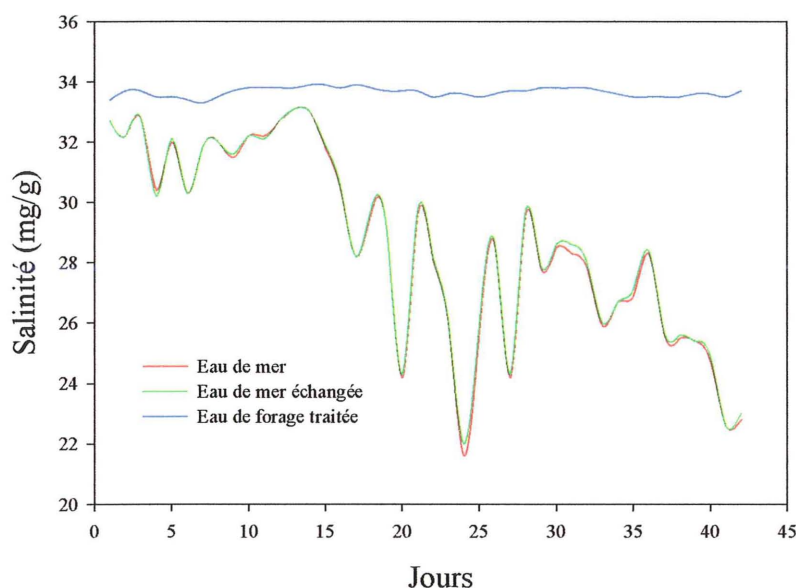


Figure 4 : Evolution automnale de la salinité dans les différents bassins d'affinage.

L'eau de forage traitée (EST), en revanche a subi très peu de variation avec une moyenne de $33,7 \pm 0,1 \text{ ‰}$.

L'étude réalisée au printemps suivant, n'a pas montré de différences significatives de la salinité entre les deux bassins. Ces résultats ont mis en évidence l'absence d'influence du débit sur la salinité. Il est apparu, au cours de l'étude des fluctuations importantes de ce paramètre puisque les données ont varié entre $24,6$ et $32,0 \text{ ‰}$ en 30 jours.

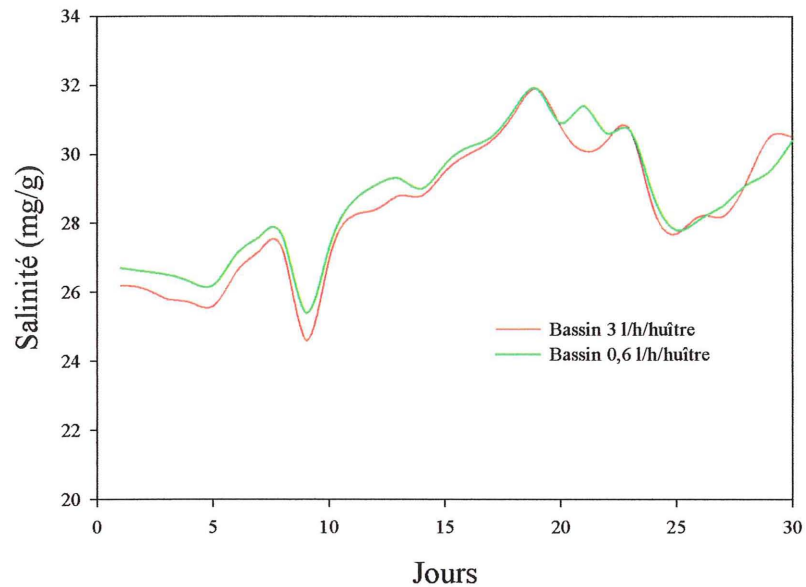


Figure 5 : Evolution printanière de la salinité dans les différents bassins d'affinage.

4.1.3. Matières particulaires

Les données de matières particulaires totales (mpt), recueillies durant l'automne 2000, ont permis de distinguer nettement les milieux d'élevage (fig. 6A). EST, EME et EM n'ont pu être statistiquement différenciées, avec respectivement les moyennes de $59,8 \pm 16,3$ mg/l, $55,0 \pm 17,1$ mg/l et $45,5 \pm 17,3$ mg/l. L'eau de forage traitée (EST) a représenté, en revanche, un milieu beaucoup plus stable et moins turbide avec une moyenne de $4,7 \pm 0,7$ mg/l de mpt.

Des remarques identiques ont pu être faites concernant la matière organique particulaire (mop). Dans l'eau de forage traitée la mop provient uniquement de l'apport en *Skeletonema costatum* et la moyenne a été de $2,3 \pm 0,4$ mg/l, alors qu'est venu s'ajouter un apport exogène dans les milieux d'eau de mer échangée et naturelle avec respectivement les valeurs moyennes de $10,3 \pm 3,0$ mg/l et $11,2 \pm 2,2$ mg/l. De plus, il n'a pas été constaté de différence de prise de nourriture, calculée sur les différences de la mop entre l'entrée et la sortie des bassins. Les moyennes calculées ont été respectivement de $25,1 \pm 7,2\%$, $29,9 \pm 5,6\%$ et $28,0 \pm 9,6\%$ pour EST, EME et EM.

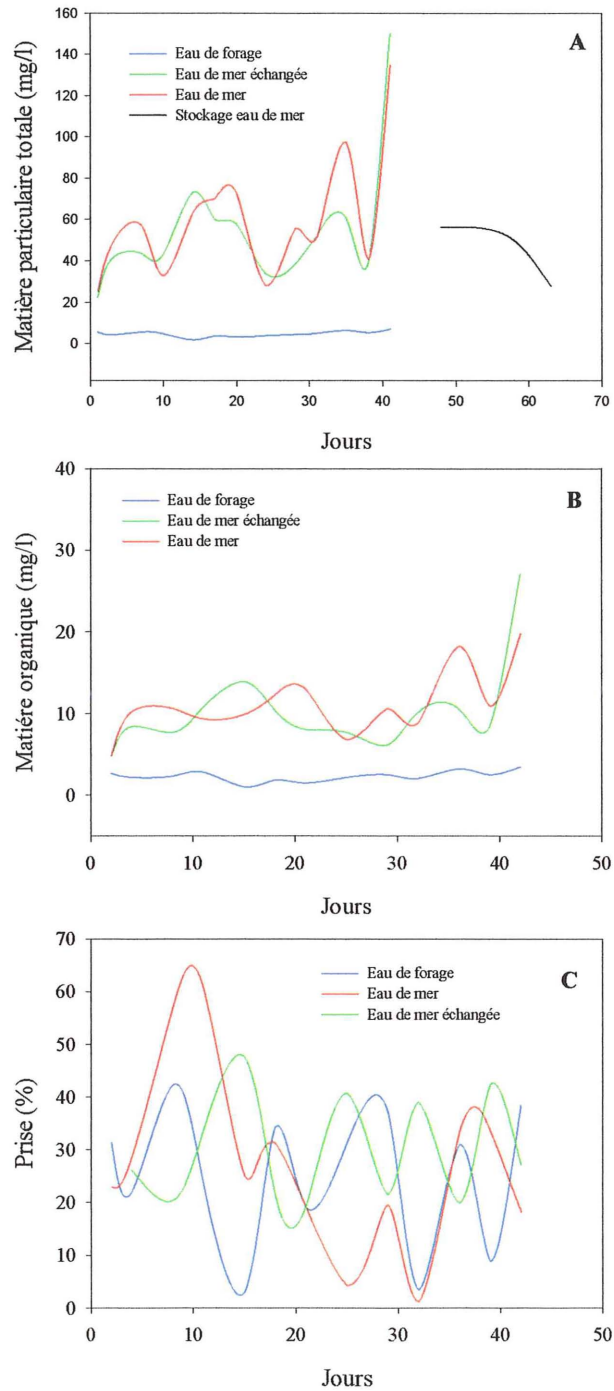


Figure 6 : A, évolution de la matière particulaire totale à l'automne 2000,
B, évolution de la matière organique,
C, évolution de la prise de matière organique (entrée-sortie).

Les moyennes relevées de la mpt ont été inférieures au printemps puisqu'elles étaient de $44,6 \pm 5,5$ mg/l pour le bassin de 3 l/h/individu et de $44,7 \pm 7,2$ mg/l pour celui de 0,6 l/h/individu (fig. 7A). La mop en revanche a présenté des valeurs plus faibles puisque les moyennes ont été respectivement de $8,8 \pm 1,0$ mg/l, et $11,5 \pm 1,9$ mg/l (fig. 7B).

Les variabilités de matières particulaires de nature organique ou inorganique étaient directement liées aux fluctuations naturelles du milieu naturel.

Les prises de nourriture organique par les huîtres dans le bassin D-3 ont été de $40,5 \pm 10,9$ % et de $57,2 \pm 7,8$ % pour l'autre (fig. 7C). Ces résultats étaient significativement différents et ont montré que le pouvoir de rétention de la nourriture augmentait avec la diminution du débit de renouvellement. A partir du cinquième jour, D-0,6 s'est caractérisé par des rétentions supérieures à 60 % alors que celles de D-3 n'ont jamais été au delà de 50 %.

4.1.4. Chlorophylle

Directement liée à l'apport de phytoplancton, les teneurs en chlorophylle des trois bassins d'études ont été identiques pendant la période automnale. Les moyennes calculées ont été de $20,4 \pm 4,6$ µg/l pour EST, $20,5 \pm 4,5$ µg/l pour EM et $20,8 \pm 5,9$ µg/l pour EME. La figure 8 montre que les valeurs ont évolué, de façon identique, dans les trois bassins, entre 5 et 35 µg/l de chlorophylle *a*. La période de stockage qui a suivi a mis en évidence la pauvreté du milieu naturel à cette époque de l'année puisque la moyenne a été de $3,0 \pm 4,0$ µg/l de chlorophylle *a*.

Au printemps 2001, les concentrations chlorophylliennes ont été, significativement différentes, entre les deux bassins d'étude (fig. 9). La moyenne de chlorophylle relevée dans le bassin D-3 a été de $24,5 \pm 5,0$ µg/l et est équivalente aux concentrations de l'automne précédent. En revanche, la quantité moyenne de chlorophylle dans D-0,6 a été de $75,7 \pm 10,3$ µg/l pour conserver une ration alimentaire journalière identique au bassin précédent et en tenant compte du facteur de dilution.



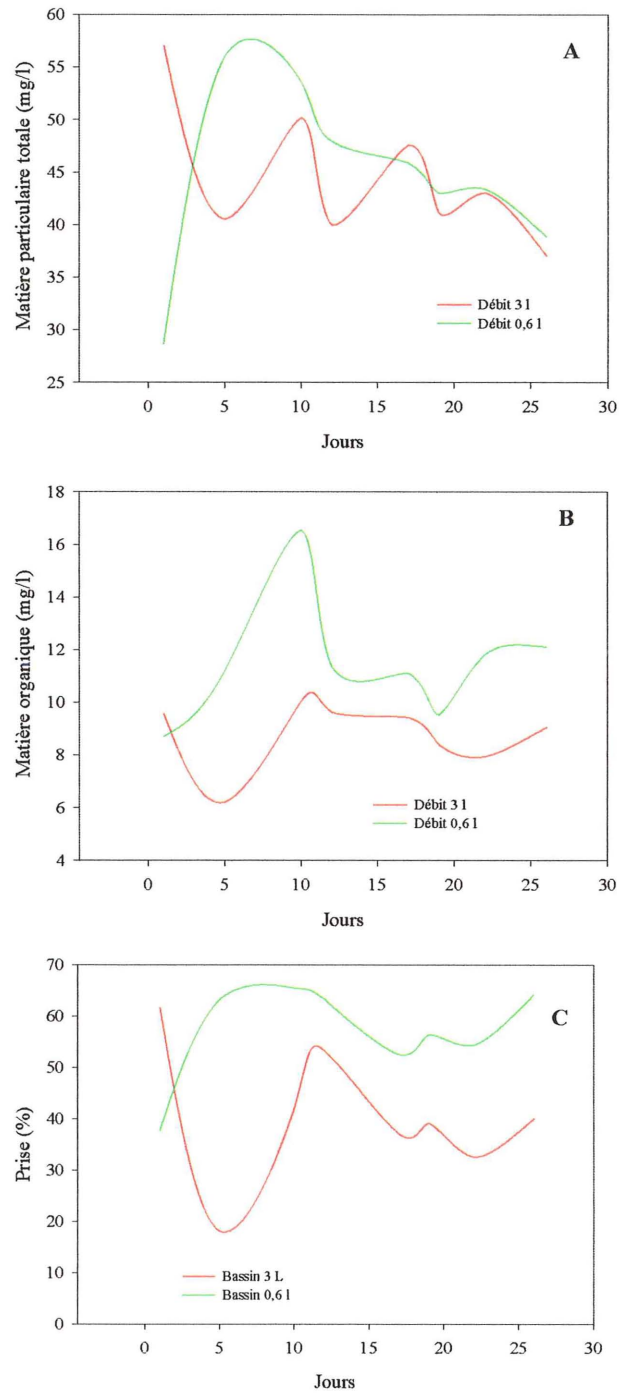


Figure 7 : A, évolution de la matière totale au printemps 2001,
 B, évolution de la matière organique,
 C, évolution de la prise de matière organique (entrée-sortie).

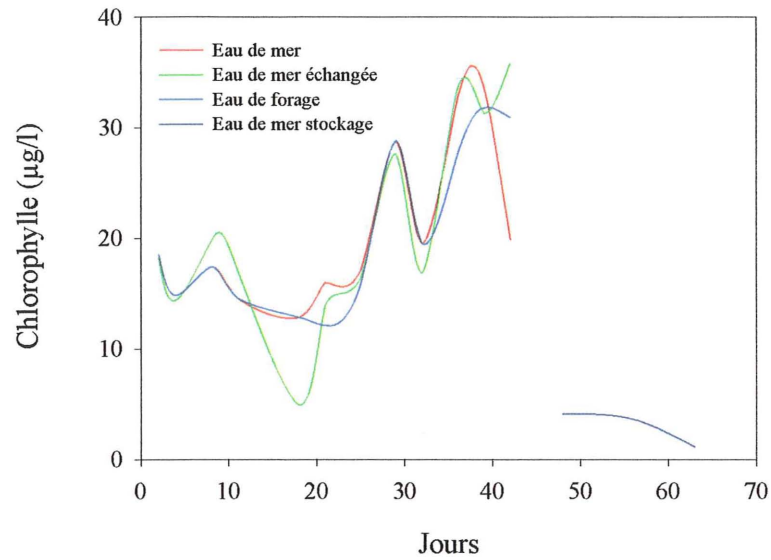


Figure 8 : Evolution de la chlorophylle dans les bassins en automne 2000.

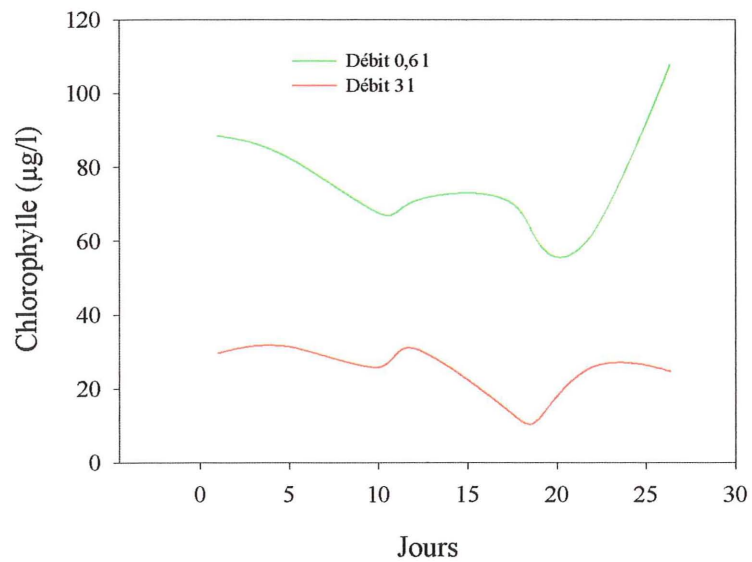


Figure 9 : Evolution de la chlorophylle dans les bassins au printemps 2001.

4.2. Suivi de la croissance

4.2.1. Biométrie

L'évolution quantitative de la croissance des animaux a été suivie par les mesures de poids total et poids de chair sèche, alors que l'information qualitative a pu être appréciée, en premier examen, par l'indice de remplissage (fig. 10 et 11).

En automne 2000, l'évolution des principaux paramètres biométriques a été similaire dans les trois bassins d'élevage (fig. 10) et une analyse statistique sur les résultats finaux n'a pas permis de différencier les pratiques culturales (tab. 2).

Tableau 2 : Analyse de variance des paramètres biométriques en fin d'affinage à l'automne.

Paramètres	Moyenne (g)	Ecart-type	Proba. (5%)
Poids total	EST : 77,7	11,5	0,38 (N.S)
	EME : 81,3	12,9	
	EM : 81,4	9,9	
Poids de chair sèche	EST : 2,3	0,5	0,86 (N.S)
	EME : 2,4	0,5	
	EM : 2,4	0,6	
Indice de remplissage	EST : 12,8	1,7	0,12 (N.S)
	EME : 13,5	2,3	
	EM : 14,1	2,8	

N.S : non significatif au risque de 5%.

En revanche, des différences significatives sont apparues, à l'issue des divers traitements, entre les valeurs du début et de la fin des expérimentations. Ainsi, le poids total des huîtres initial et commun aux trois conditions étudiées, était de $67,6 \pm 4,2$ g et respectivement de $77,7 \pm 4,2$ g, $81,3 \pm 4,7$ g et $81,4 \pm 3,6$ g pour EST, EME et EM en fin d'étude.



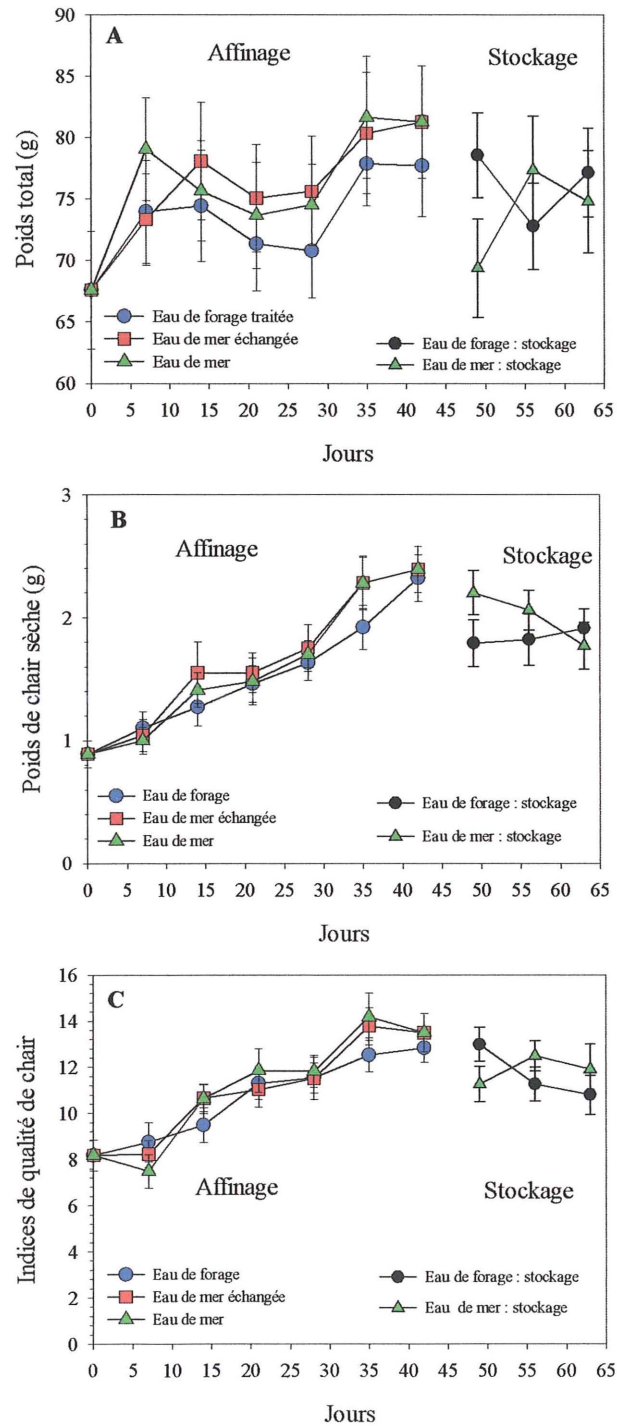


Figure 10 : Evolution des caractéristiques biométriques en automne 2000.

Selon le bassin considéré, le facteur de croissance sur le poids total a été peu important et était de 1,15 à 1,20 selon les cas étudiés.

A contrario, il a été mesuré des facteurs de croissance de l'ordre de 2,6 sur l'évolution du poids sec du début à la fin de l'étude et ces performances ont été à l'origine de l'accroissement de l'indice de remplissage des huîtres en élevage dans les trois bassins d'étude. Il apparaît ainsi, que cet indice de qualité est très sensible puisque dans les 20 premiers jours il a atteint la valeur de 10,5, conférant aux animaux l'appréciation maximale de « huîtres spéciales ». Cet indice n'a d'ailleurs cessé d'augmenter puisque à la fin de l'étude il se répartissait entre $12,8 \pm 0,6$ pour EST et $14,1 \pm 1,0$ pour EM, et n'était que de $8,2 \pm 0,7$ au début de l'expérimentation.

La phase de stockage d'une durée de 20 jours n'a pas entraîné une diminution de l'indice de remplissage en deçà de 10,5 puisque les valeurs mesurées étaient alors de $11,2 \pm 0,5$ pour l'eau de forage traitée et $12,0 \pm 0,7$ pour l'eau de mer.

Au printemps suivant, l'évolution des poids totaux (fig. 11) n'a pas montré de différenciation entre les deux bassins d'étude (tab. 3). Pourtant, les valeurs pondérales de chair sèche et les indices de qualité ont montré significativement de meilleures performances dans le bassin D-3. Le poids total a augmenté d'un facteur 1,1. Le poids sec de 1,7 pour D-0,6 et 1,9 pour D-3 et respectivement de 1,16 et 1,27 en indice de qualité.

Tableau 3 : Analyse de variance des paramètres biométriques en fin d'affinage au printemps.

Paramètres	Moyenne (g)	Ecart-type	Proba. (5%)
Poids total	D-0,6 : 96,1	7,2	0,27 (N.S)
	D-3 : 97,9	8,9	
Poids de chair sèche	D-0,6 : 3,5	0,6	<0,001 (H.S)
	D-3 : 4,0	0,8	
Indice de remplissage	D-0,6 : 15,3	2,2	0,004 (S)
	D-3 : 16,7	2,5	



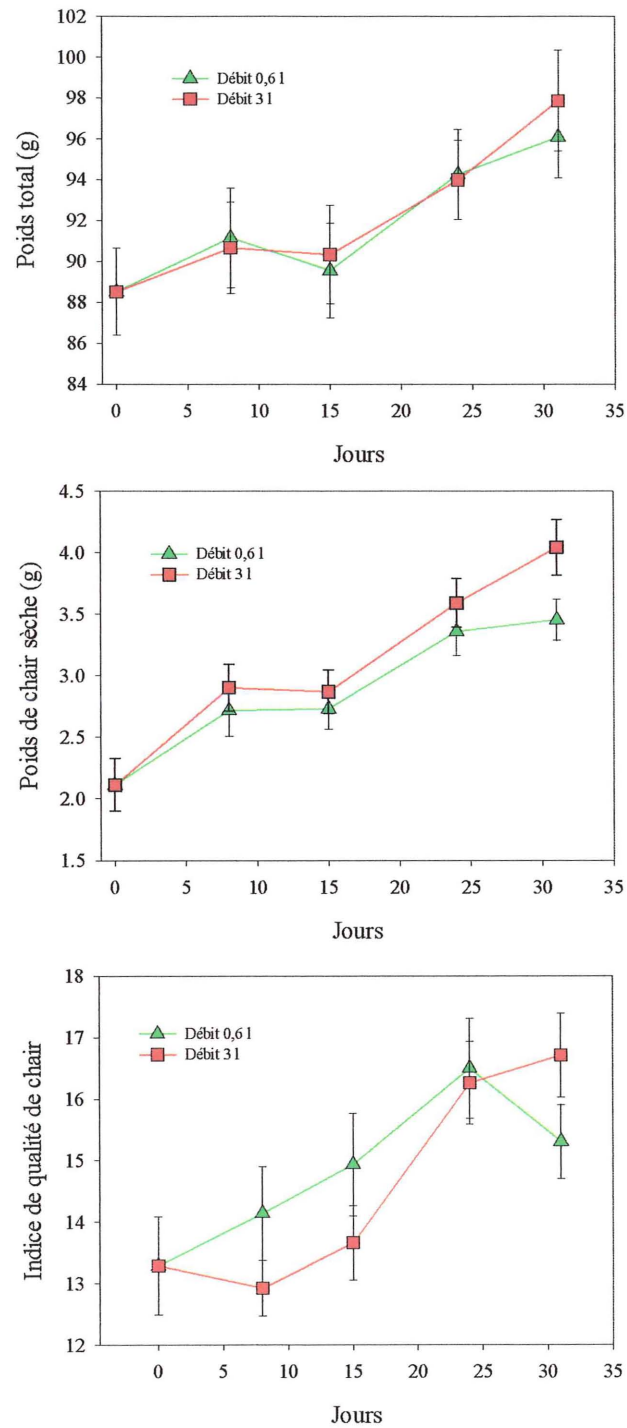


Figure 11 : Evolution des caractéristiques biométriques au printemps 2002.



4.2.2. Biochimie

Les évolutions des paramètres biochimiques qui sont, en terme de qualité, les plus pertinentes à suivre sont celles des lipides (transfert d'énergie vers la gamétogenèse) et du glycogène (énergie de réserve) (fig. 12 et fig. 13).

A l'automne 2000, les lipides ont peu augmenté tout au long de l'étude avec, au plus élevé, un coefficient de 1,6 comparé au glycogène dont la teneur s'est amplifiée, au maximum, d'un facteur de 3,3.

Il n'a pas été constaté de différence significative de ces deux composants biochimiques entre les bassins étudiés en fin d'affinage. De plus, la période de stockage n'a pas entraîné de modification remarquable de la teneur de ces deux éléments.

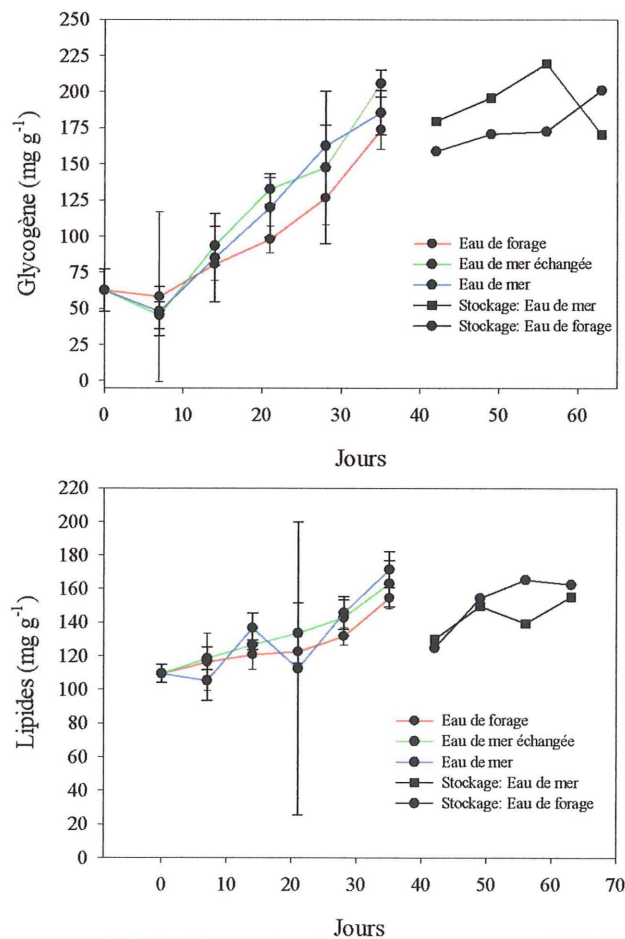


Figure 12 : Evolution des paramètres biochimiques à l'automne 2000.

Au printemps 2001, les concentrations de lipides dans la chair des mollusques n'ont pas évolué durant la période d'affinage et les valeurs se sont stabilisées autour de 150 mg/g (fig. 13). En contrepartie, et à l'instar de l'automne 2000, les teneurs en glycogène ont présenté une nette augmentation sans que les deux bassins d'étude puissent être significativement différenciés. Le facteur d'accroissement en glycogène a été nettement supérieur à celui de l'automne précédent, puisqu'il a atteint des valeurs de 5,4 (fig. 13).

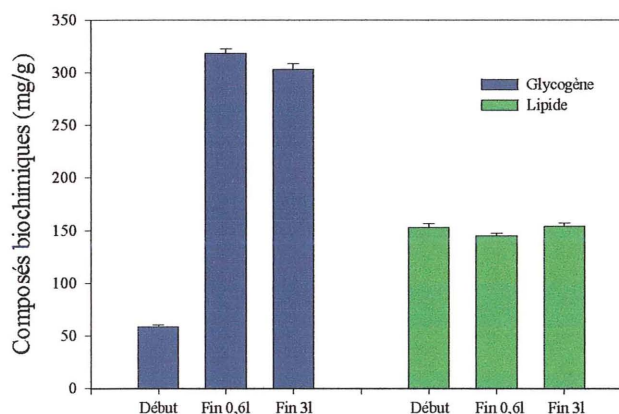


Figure 13 : Evolution des paramètres biochimiques au printemps 2001.

4.2.3. Mortalités

Les mortalités d'huîtres affinées à l'automne ou au printemps ont été très faibles et n'ont pas été, en cumulées, supérieures à 2 %.

4.2.4. Dosage des métaux

Les valeurs obtenues après le dosage des métaux sur la chair des huîtres avant et après affinage dans les bassins EM et EF ont été résumées dans le tableau 4.

Pour la plupart des éléments métalliques, les teneurs semblent soit stationner aux valeurs d'origine, comme le manganèse et l'arsenic, soit diminuer, comme le plomb, le mercure et le cadmium. Seules les

Tableau 4 : Dosage des métaux dans la chair des huîtres avant et après affinage.

	Etat initial	Etat final	
		Eau de mer	Eau de forage
Plomb	0,50 ± 0,00	0,47 ± 0,07	0,30 ± 0,00
Cadmium	1,40 ± 0,11	0,90 ± 0,00	0,73 ± 0,07
Mercure	0,13 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,06 ± 0,01
Fer	148,67 ± 17,02	183,00 ± 4,01	450,33 ± 39,69
Manganèse	30,83 ± 3,60	24,00 ± 1,48	31,73 ± 2,83
Arsenic	11,93 ± 0,07	12,20 ± 0,49	10,97 ± 1,48

5. Discussion

La ration alimentaire journalière adoptée dans cette étude, a été fixée conformément aux travaux antérieurs réalisés sur l'affinage intensif de l'huître creuse *Crassostrea gigas* et a semblé être en adéquation avec les besoins de l'animal. La disponibilité quotidienne de $2 \cdot 10^9$ de cellules de *Skeletonema costatum* par huître est proche des besoins journaliers de 2 à $4 \cdot 10^9$ de cellules d'algues définis pour l'huître *Crassostrea virginica* par Matthiessen et Toner (1966) et par Tenore et Dunstan (1973). Cependant, une étude réalisée récemment au LCPL a montré qu'une ration de $1 \cdot 10^9$ de cellules de *Skeletonema costatum* serait sans doute mieux adaptée à la croissance somatique de *C. gigas* et diminuerait la part de l'énergie orientée vers la gamétogenèse.

Les essais qui ont été réalisés sur eau de mer, ont présenté une variabilité importante des paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau et tout particulièrement au niveau de la salinité et de la turbidité. Pourtant, cela ne semble pas avoir affecté l'engraissement des huîtres élevées en eau de mer en comparaison avec l'eau de forage traitée. Il est vrai que les quantités de sestons n'ont que très rarement dépassé les 100 mg/l, seuil au dessus duquel, les fonctions physiologiques de l'animal peuvent être perturbées (Haure *et al.*, 1996). Les stress physiologiques liés à la chute brutale de la salinité, ont été, chez les bivalves marins, décrits dans la littérature scientifique (Hutchinson et Hawkins, 1992). Ils découlent, la plupart du temps d'une dépense énergétique, qui se traduit par l'augmentation de l'excrétion azotée et de la respiration, et qui peut conduire l'animal à une situation de détresse physiologique si le niveau trophique est insuffisant. Or, il n'a pas été constaté, dans notre étude, l'apparition de cette phase critique, qui se serait traduite par des mortalités ou par l'infléchissement de la courbe d'engraissement. Ceci est très certainement attribuable à l'important niveau trophique qui a été maintenu tout au long des expérimentations et qui a permis à l'animal de conserver une balance énergétique positive. Il s'ensuit de cette partie de la discussion que l'utilisation de l'eau salée souterraine comme milieu d'élevage et qui représentait dans cette étude le milieu stable de référence, n'est pas indispensable à la réussite d'un tel projet. D'autant plus qu'il est extrêmement coûteux de financer un système de filtration biologique pouvant satisfaire les exigences hydriques d'une telle entreprise (Baud *et al.*, 2000). Au vu des résultats, le seul intérêt qui pourrait justifier l'utilisation de l'eau salée souterraine serait sa stabilité thermique autour de 14 °C, température au dessus de laquelle l'énergie serait préférentiellement dirigée vers un accroissement de la gonade et réduirait à néant l'objectif qualitatif de l'affinage (Baud *et al.*, 1998). Or, il s'avère que les périodes d'affinage correspondant au mieux aux demandes du



marché se situent en fin d'année et au printemps et qu'alors, les températures de l'eau de mer n'atteignent, que très rarement, des valeurs supérieures à 14 °C (Haure et Baud, 1995). L'atout thermique de l'eau de forage pourrait être, en revanche, très utile pour rehausser la température de l'eau de mer lorsque celle-ci descendrait au dessous de 10 °C afin de maintenir l'activité métabolique de l'animal. Dans ce cas un échangeur thermique couplé avec l'eau de forage et l'eau de mer pourrait faire face à ces moments critiques. L'idéal, bien sur, serait de pouvoir travailler toute l'année de manière à amortir, au mieux, l'outil de production sans tenir compte des variations saisonnières de la température. Ceci est aujourd'hui possible en travaillant avec du matériel biologique triploïde issu d'un croisement entre des géniteurs tétraploïdes et diploïdes. La fourniture d'un tel produit est de plus en plus accessible auprès des écloséries, et la difficulté est de pouvoir trouver et pérenniser un débouché commercial.

En conclusion, cette étude a montré que les techniques biologiques de l'affinage sont parfaitement bien optimisées et que le produit obtenu est très spécifique de l'apport de l'algue *Skeletonema costatum* (Piveteau, 1999 ; Pennarum, 2002). De plus les essais de stockage ont montré qu'il était possible de conserver la qualité de la chair des huîtres affinées pendant au moins 30 jours sans apport de nourriture. Ce résultat est important pour le professionnel qui bénéficiera d'une plus grande souplesse pour la gestion de son stock en fonction de la demande du marché.

En complément de ces travaux et pour finaliser les études qui ont été réalisées sur l'affinage intensif, il devient indispensable d'engager une analyse économique de cette filière et de réaliser une étude de marché pour pouvoir apprécier le réel potentiel de l'affinage intensif de l'huître creuse *Crassostrea gigas*.



Références bibliographiques

Affaires maritimes, 1989. Monographie conchylicole et aquacole, quartier de Marennes Oléron, 45 p.

Baud, J.P., Bacher, C., 1990. Use of ground saline water for intensive rearing of *Ruditapes philippinarum* juveniles in a nursery system. *Aquaculture Amsterdam*, **88**, 157-178.

Baud, J.P., 1991. Utilisation des eaux salées souterraines en Baie de Bourgneuf pour le prégrossissement intensif de mollusques filtreurs en nourricerie. Mémoire de Diplôme de Recherche Universitaire, Nantes, 65p.

Baud, J.P., Brisset, E., Cardinal, M., 1995. Affinage contrôlé en bassin de l'huître creuse *Crassostrea gigas*. Ifremer/RIDRV 95-17 RA/Bouin /VP/Nantes, 35p.

Baud, J.P., Mornet, C., Palvadeau, H., Haure, J., 1998. Influence de la température sur l'affinage contrôlé de l'huître creuse *Crassostrea gigas*. DRV /RA/RST/98-11, 23p.

Baud, J.P., Palvadeau, H., Nourry, M., Penisson, C., Haure, J., 2000. Traitement de l'eau salée souterraine pour un meilleur contrôle des élevages de coquillage. Contrat : Ifremer/Région Pays de la Loire/Conseil général de Vendée, 24 p.

Baud, J.P., Palvadeau, H., Nourry, M., 2002. Influence du taux de renouvellement et de la qualité de l'eau sur l'affinage contrôlé de *Crassostrea gigas*. Contrat IFREMER/Région des Pays de la Loire : SMIDAP, 15p.

Blachier, P., Cartron, B., Guilbaud, Y., Huet, T., Machefaux, L., Oudot, G., Prenveille, C., Zanette Y., 1998. Affinage de l'huître creuse (*Crassostrea gigas*) en marais maritimes : bilan de 4 années d'expérimentation au CREEA. In Acte Coll. Marais Maritimes et Aquaculture, Rochefort, 79-88.

Bligh, J.G., Dyer, W.F., 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.*, **37** : 911-917.

Cardinal, M., Cornet, J., Baud J.P., 1995. Use of sensory profile for evaluation of organoleptic properties of oysters : methodology and example with a new fattening technique using underground saltwater. In International Conference Aquaculture Europe ' 95, 9-12, August 1995, Trondheim - Norway : 391-392.



Dubois, F., Gilles, X.A., Hamilton, P.A., Rebecs, P.A., Smith, F., 1956. Colorimetric method for determinal of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, **28** (3) : 310-356.

Haure, J., Baud, J.P., 1995. Approche de la capacité trophique dans un bassin ostréicole (baie de Bourgneuf). RIDRV-95-16/RA-Bouin, 103 p.

Haure, J., Nourry, M., Le Bayon, N., Baud, J.P., 1996. Contrôle des performances des souches d'huîtres plates résistantes au protozoaire *Bonamia ostreae* (2^e année). RIDRV/96.06-RA/Bouin, 36 p.

Haure, J., Sauriau, P.G., Baud, J.P., 1996. Effets du vent sur la remise en suspension particulaire en baie de Bourgneuf : conséquences sur la croissance de *Crassostrea gigas*. *J. Rech. Océanogr.* **11**, 21-30.

Haure, J., Papin, M., Palvadeau, H., Nourry, M., Penisson, C., Martin, J.L.Y., 2003. Etude écophysiological de l'huître creuse *Crassostrea gigas* et de l'huître plate *Ostrea edulis* en eau salée souterraine traitée : comparaison avec l'eau de mer. Contrat : Ifremer/Région Pays de la Loire/Conseil général de Vendée, 20 p.

Hutchinson, S., Hawkins, L.E., 1992. Quantification of the physiological responses of the European flat oyster *Ostrea edulis* L. to temperature and salinity. *J. Moll. Stud.*, **58**, 215-226.

Ingle, R.M., Meyer, D.G., Landrum, M.R., 1981. Preliminary notes on a pilot plant for the feeding of adult American oysters. *Adelanto Corporation, Apalachiocola*, 137 p.

Le Moine, O., Geairon, P., Razet, D., Soletchnik, P., Faury, N., Taillade, S., Gouletquer, P., 1998. Optimisation de l'affinage en claires traditionnelles par complémentation en phytoplancton « fourrage ». *In* Acte coll. Marais Maritimes et Aquaculture, Rochefort, 116-123.

Lorenzen, C.J., 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments : spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* **12** : 343-346.

Maestrini, S.Y., Robert, J.M., 1981. Rendements d'utilisation des sels nutritifs et variations de l'état des cellules de trois diatomées des claires à huîtres de Vendée. *Oceanol. Acta*, **4** (1), 13-21.

Marsh, J.B., Weinstein, D.B., 1966. Sample charring method for determinal of lipid. *J. Lip. Res.*, **7** : 574-576.

Matthiessen, G.C., Toner, R.C., 1966. Possible methods of improving the shellfish industry of Martha's Vineyard Duke's Country, Massachusetts. The Marine Fondation Inc, 1-138.



Méléder, V., Barillé-Boyer, A.L., Baud, J.P., Barillé, L., Cognie, B., Rosa, P., 2001. Modélisation de l'affinage de l'huître creuse *Crassostrea gigas* alimentée avec la diatomée *Skeletonema costatum*. *Aquat. Living Resour.*, **14**, 1-16.

Nell, J.A., Wisely, M., 1984. Experimental feeding of Sydney rock oysters (*Crassostrea commercialis*). III. Food concentration and comparison of oyster fattening procedures. *Aquaculture*, **37** : 197-208.

Pauw de N., 1981. Use and production of microalgae as food for nursery bivalves. In EMS special publication, 7, European Mariculture Society, Bredane, Belgium, 33-69.

Pennarum, A.L., 2002. Arômes précurseurs aromatiques de l'huître creuse *Crassostrea gigas* en relation avec différents régimes alimentaires : étude d'un régime issu de microalgues et d'un régime issu de microcapsules d'acide gras. Thèse Doct., chimie-biologie, Université de Nantes, 249 p.

Pennarum, A.L., Prost, C., Haure, J., Demaimay, M., 2003. Comparison of two microalgal diets. 2. Influence on odorant composition and organoleptic qualities of raw oysters (*Crassostrea gigas*). *J. Agric. Food Chem.*, **51** : 2011-2018.

Piveteau, F., 1999. Etude des arômes de l'huître creuse *Crassostrea gigas* : conséquences d'un affinage à l'aide des microalgues *Skeletonema costatum* et *Haslea ostrearia*. Thèse Doct., chimie-biologie, Université de Nantes, 209 p.

Rince, Y., 1978. Intervention des diatomées dans l'écologie des claires ostréicoles de la baie de Bourgneuf. Thèse Doct., biologie, Université Nantes, 203 p.

Robert, J.M., 1983. Fertilité des eaux des claires ostréicoles et verdissement : Utilisation de l'azote par les diatomées dominantes. Thèse Doct., biologie, Université Nantes, 281 p.

Soletchnik, P., Razet, D., Gouletquer, P., Geairon, P., Le Moine, O., Faury, N., 1995. Analyse de la capacité trophique de l'écosystème « claires ostréicoles » dans le cadre de l'affinage de l'huître creuse *Crassostrea gigas* (bassin de Marennes Oléron). Ifremer, RI-DRV 95. 17/RA-La Tremblade, 43 p.

Tenore, K.R., Dunstan W.M., 1973. Comparaison of rates of feeding and biodeposition of the American oyster *Crassostrea virginica* Gmelin, fed with different species of phytoplankton. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **12** : 19-26.



Turgeon, K.W., Haven, D.S., 1978. Effects of cornstarch and dextrose on oysters. *Veliger*, **20**, 352-358.

Turpin, V., Robert, J.M., 1998. Fertilité potentielle des eaux des claires ostréicoles de la région de Marennes Oléron pour *Haslea ostrearia* Simonsen en période d'affinage des huîtres. In Acte du colloque Marais Maritimes et Aquaculture, Rochefort, 97-106.

Walne, P.R., 1976. Factors affecting the relation between feeding and growth in bivalves. In *Hawesting polluted waters* (Durk O. ed), 169-176.

