

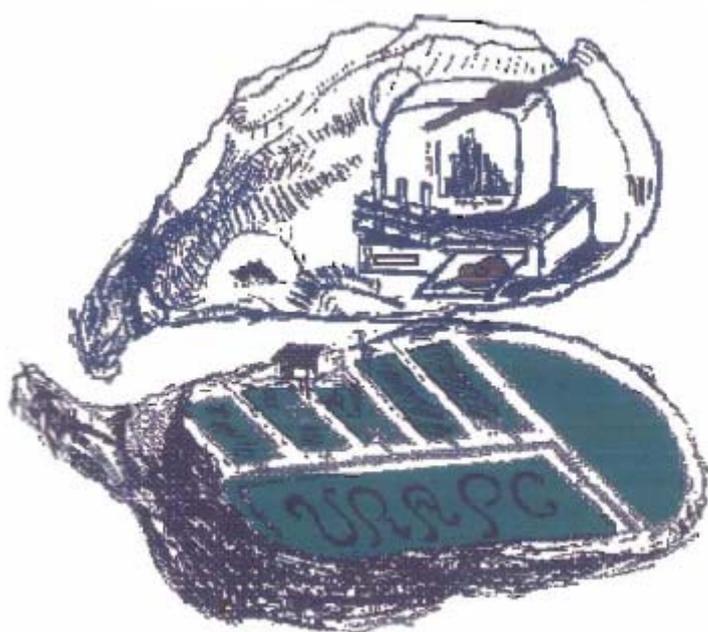
Découvrez un ensemble de documents, scientifiques ou techniques,
dans la base Archimer : <http://www.ifremer.fr/docelec/>

ifremer

Direction des Ressources Vivantes de l'IFREMER

RIDRV-96-05-RA/La Tremblade

Physiologie de la maturation et de la ponte chez l'huître creuse *Crassostrea gigas*



Patrick Soletchnik, Philippe Geaion, Daniel
Razet, Philippe Gouletquer

E300
1417
P

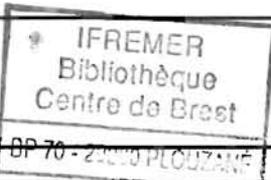
RX

Cant

INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER

Adresse : IFREMER/URAPC
B.P. 133
17390 LA TREMBLADE

DIRECTION DES RESSOURCES VIVANTES
DEPARTEMENT RESSOURCES AQUACOLES
LABORATOIRE GAP/URAPC

AUTEUR (S) : P. SOLETSCHNIK, P. GEAIRON, D. RAZET et P. GOULLETQUER		CODE : 96-05 RIDRV/LA TREMBLADE
EXCLU DU PRÊT		Date : Mai 1996 Tirage en nombre : 50
TITRE : PHYSIOLOGIE DE LA MATURATION ET DE LA PONTE CHEZ L'HUITRE CREUSE <i>CRASSOSTREA GIGAS</i>		Nb pages : 32 Nb figures : 39 Nb photos :
CONTRAT(intitulé)		DIFFUSION : libre ✕ restreinte confidentielle

RESUME : L'écophysiologie de *Crassostrea gigas* a fait l'objet d'une étude à partir d'un conditionnement différé et contrôlé par le facteur température. Cinq lots et deux classes d'âge ont été testés au niveau de 6 stades de maturité. Le potentiel de croissance des stades 5 et 6 (préponde) est proche de zéro alors qu'il présente des valeurs positives à des stades de maturité plus précoces et post-ponte. Par ailleurs, les jeunes huîtres (1 an) présentent un bilan énergétique négatif (- 110 J/h) inférieur à celui des huîtres adultes (- 14 J/h), démontrant ainsi une sensibilité accrue aux conditions stressantes.

La comparaison des résultats expérimentaux avec les modèles écophysiologiques développés sur *C. gigas*, hors période de reproduction, permettent d'en préciser les paramètres lors de la maturation sexuelle. Ainsi, le coefficient d'allométrie pour la fonction de respiration se transforme de 0,8 à 0,682. La demande en oxygène liée à la prise de poids en période de maturation sexuelle est proportionnellement plus faible que celle liée à la croissance des individus. Pour la filtration, on note que l'écart par rapport au modèle existant est d'autant plus important que le stade de maturité est avancé et que le poids de chair augmente. Par conséquent, le gain de poids résultant des gamètes n'est pas compensé par une activité de filtration proportionnelle. Les différences observées sont particulièrement notées aux températures proches de 21°C.

ABSTRACT : The physiological ecology of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* was studied using a conditioning delayed by temperature. Experiments were carried out on five batches and 2 year-classes classified into 6 maturation stages. The scope for growth concerning the stages N°5 and 6 was nearly zero while positive for early stages as well as for the post-spawning stage. Moreover, the 1 year-old oysters showed a significant lowered scope for growth (-110 J/h) compared to adult oysters (-14 J/h), therefore demonstrating the increased sensitivity of young oysters to stressful environmental conditions.

By comparing the experimental results with the current models, developed on immature oysters, facilitates the model parameters specifications during gametogenesis. For example, the respiration allometric coefficient shifted from 0.8 to 0.682. The increased demand for oxygen, correlated to gonadal weight increase was proportionally lower than a somatic growth. With regards to filtration rates, the differences between observed and predicted estimates were increased with meat weight increase and correlated with advanced gonadal stage. Therefore, the weight increase resulting from gametic production was not balanced by a proportionally increased filtration rate. The most significant differences were noted at temperature around 21°C.

Mots-clés : *Crassostrea gigas*, mortalité, écophysiologie, modèle.
Key-Words : *Crassostrea gigas*, mortality, ecophysiology, modelling.

IFREMER-Bibliothèque de BREST



OBR32501



IFREMER IFREMER - Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer

56156

Sommaire

	Pages
INTRODUCTION	1
1. MATERIELS ET METHODES	2
1.1. Le conditionnement des huîtres	2
1.1.1. <u>Le matériel biologique</u>	2
1.1.2. <u>L'aliment</u>	4
1.2. Les descripteurs de biométrie et de maturité sexuelle	4
1.3. Les mesures physiologiques	5
1.3.1. <u>L'infrastructure expérimentale</u>	5
1.3.2. <u>Les huîtres</u>	6
1.3.3. <u>Méthodes</u>	6
1.3.4. <u>Les analyses</u>	7
1.3.5. <u>Le calcul des fonctions physiologiques</u>	7
1.3.6. <u>Les traitements statistiques</u>	8
2. RESULTATS	8
2.1. Relation entre les descripteurs "lots" et "stades"	8
2.2. Changement dans la constitution biochimique et le poids des huîtres au cours de la maturation	8
2.3. Caractérisation des lots d'huîtres	9
2.4. Physiologie de la reproduction	10
2.4.1. <u>Comparaison selon le sexe des huîtres</u>	10
2.4.2. <u>Comparaison selon les stades de maturité sexuelle des huîtres</u>	11
2.4.3. <u>Comparaison selon l'âge de deux populations d'huîtres (1,5 et 2,5 ans)</u>	15
2.5. Allométrie et maturation	17
3. DISCUSSION	19
CONCLUSION	23
REFERENCES	24
ANNEXES	

Dans le bassin de Marennes–Oléron, "haut lieu" de l'ostréiculture française, l'huître creuse *Crassostrea gigas* connaît des épisodes de mortalités estivales (Bodoy *et al.*, 1990), rencontrés également dans d'autres bassins ostréicoles (Maurer *et al.*, 1986).

Les principales causes invoquées sont :

- Une évolution du "pool" génétique de *C. gigas* dans le bassin de Marennes–Oléron, liée à une pratique sélective de l'élevage.
- Une surabondance en terme de biomasse, peut-être associée à une dérive des pratiques ostréicoles durant la dernière décennie.
- Une détérioration progressive de l'environnement du bassin ; détérioration de l'écosystème, aux causes variées...

Une conjonction des causes évoquées ci-dessus peut être responsable de la fragilisation d'un stock d'huîtres à telle ou telle période ou en tel ou tel site.

Les mortalités printanières se manifestent en période de maturation des huîtres. Les facteurs suspectés en absence de cause pathogène bien identifiée sont les conditions de température et l'état physiologique des huîtres en cours de maturation.

Un objectif essentiel de cette expérimentation est d'analyser si l'état ou la réponse physiologique de l'huître est significativement marqué par son stade de maturation.

Des observations faites dans le milieu naturel ont montré que les mortalités estivales affectaient souvent les jeunes huîtres au cours des deux premières années. *Crassostrea gigas* peut atteindre l'âge de première maturité sexuelle en 12–18 mois sous nos latitudes et parfois en moins d'un an (Dinamani, 1987). L'effort de reproduction augmente avec l'âge, et l'allocation d'énergie vers la croissance ou la maturation connaît une grande variabilité durant la première année. Ainsi, afin de confirmer ou d'infirmer ces résultats, les performances physiologiques d'huîtres de 18 mois seront comparées à celles d'huîtres de 2,5 ans.

Les études menées en gestion de l'écosystème conchylicole depuis de nombreuses années (Deslous–Paoli *et al.*, 1987 ; Deslous–Paoli *et al.*, 1992 ; Héral *et al.*, 1983) ont conduit à développer un modèle biologique de croissance de l'huître creuse *Crassostrea gigas*, principale espèce élevée dans le bassin de Marennes–Oléron (Bacher, 1989 ; Raillard, 1991 ; Bougrier *et al.*, 1995).

Ce modèle est élaboré à partir de mesures expérimentales sur des huîtres adultes, en dehors de la période de maturation et de ponte. Les modèles de respiration et de filtration développés jusqu'à présent concernent exclusivement les huîtres en période de repos sexuel (Bougrier *et al.*, 1995). Le modèle biologique de croissance de *Crassostrea gigas* s'appuie sur ces deux modèles.

Un des objectifs de cette étude est donc de compléter le modèle biologique en intégrant des données acquises en période de gamétogénèse et ponte.

Peu d'études traitent du coût énergétique de la reproduction et encore moins de la relation entre les stades de maturation et les réponses physiologiques. Quelques travaux concernent la comparaison de triploïdes et de diploïdes de *C. gigas* en période de reproduction (Davis, 1988 ; Shpigel *et al.*, 1992).

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Le conditionnement des huîtres

1.1.1. Le matériel biologique

Deux populations d'huîtres sont utilisées au cours de cette expérimentation. Une première population de 300 individus de 2,5 ans et 1,1 g de poids sec en début avril, est issue d'un test zootechnique d'affinage conduit en claires ostréicoles entre octobre 1994 et janvier 1995 (lots 1, 2, 3 et 5). Un deuxième lot est constitué de 100 huîtres de "18 mois" (lot 4) de 0,9 g en début mai, en provenance du bassin de Marennes-Oléron.

L'induction et le contrôle de la maturation sont réalisés grâce au facteur température en déplaçant progressivement des huîtres issues d'une population homogène d'un raceway de stockage en condition "froide" vers des raceways de maturation en condition chaude (fig. 1). La figure 2 présente les différents régimes de température permettant ainsi de définir 5 lots d'huîtres (descripteur "LOT"). Le lot 1 est caractérisé par un conditionnement de longue durée à température de 20-23°C, c'est-à-dire proche de 22°C, idéale pour le conditionnement de *C. gigas* en écloserie (Lubet, 1991). Le lot 5 est maintenu en permanence à la température du milieu naturel (13-22°C). Le lot 4 a été acclimaté sur une période plus courte. Il provient d'un lot de 30 huîtres de 1,5 ans. Les huîtres des lots 1, 2, 3 et 5 proviennent d'une même population d'origine de 2,5 ans.

Le conditionnement subit par les lots 3 et 5, est relativement proche puisque la température s'élève de 13-16 °C à 22 °C en conditions naturelles de maturation (fig. 2, lot 5). Pour le lot 3, la température passe brutalement de 13 à 21°C lors du changement de raceway. Pour le lot 5, la température passe en une dizaine de jours, de 12°C à 21°C.

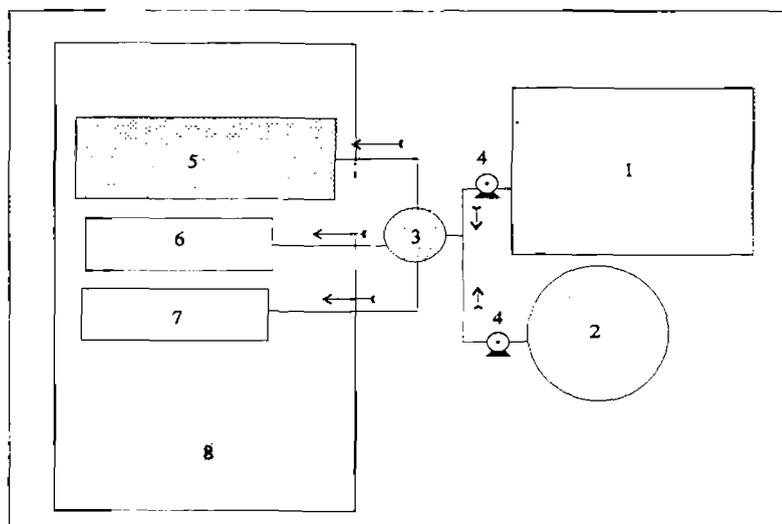
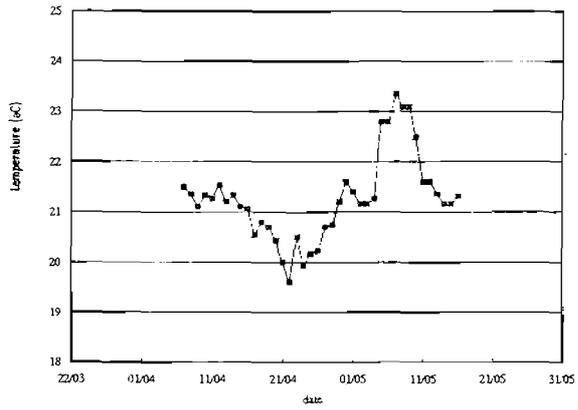
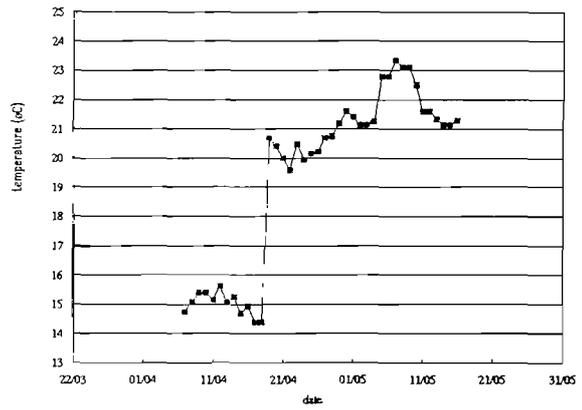


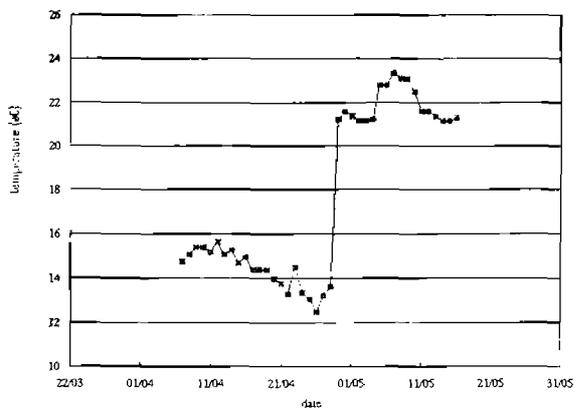
Figure 1 : Infrastructures de conditionnement de l'huître *Crassostrea gigas*. Bassin de 300 m³ (1) et de 10 m³ (2) de production d'algues phytoplanktoniques ; (3) bac de reprise et d'homogénéisation de l'aliment ; (4) pompes ; (5) bassin de stockage des huîtres à température naturelle ; (6,7) bassins de conditionnement en eau de mer réchauffée ; (8) laboratoire.



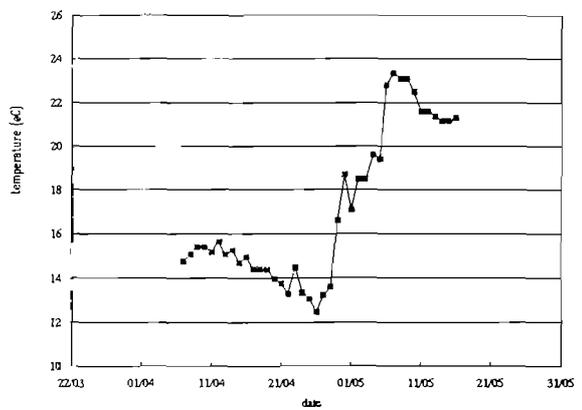
Lot 1



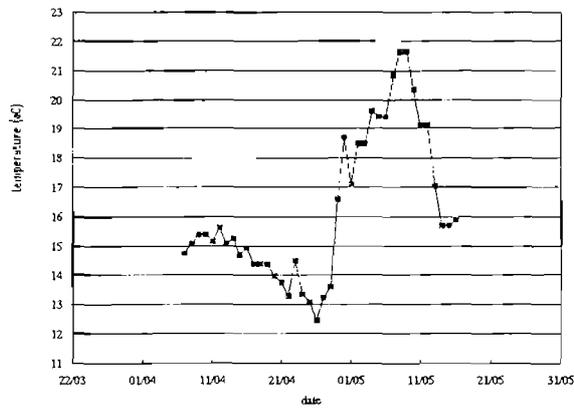
Lot 2



Lot 3



Lot 4



Lot 5

Figure 2 : Conditionnement par la température des différents lots d'huîtres (1 à 5).

Aux dates du 9 et 12 mai 1995, des inductions de pontes sont effectuées sur des huîtres du lot 1 et 2 par chocs thermiques de 7 °C (21 à 28 °C) créant ainsi un groupe de "post-ponte".

Sur la base de ces différents régimes de température et de durée du conditionnement jusqu'aux mesures physiologiques, le descripteur degré-jour est calculé (DEG) (Bayne *et al.*, 1975 ; Mann, 1979).

1.1.2. L'aliment

L'aliment est produit dans des structures de bassin en extérieur de 300 m³ pour les blooms naturels de *Skeletonema costatum*, et en bassin de 10 m³ pour les cultures de *Tetraselmis suecica* et *Skeletonema costatum* (fig. 1). L'ensemble est ensuite homogénéisé dans un bac de reprise qui alimente directement les 'raceways' de conditionnement des huîtres.

Au cours de la période de conditionnement, le profil alimentaire est enregistré en continu à partir d'un fluorimètre à flux continu (fig. 3). La concentration de chlorophylle *a* et de phéopigments est de 45–65 µg.l⁻¹ au cours des mesures physiologiques des 10–11 et 15–16 mai. Ces quantités de phytoplancton sont nettement supérieures à celles que l'on peut trouver dans le milieu naturel au cours des blooms printaniers (Soletchnik *et al.*, 1991).

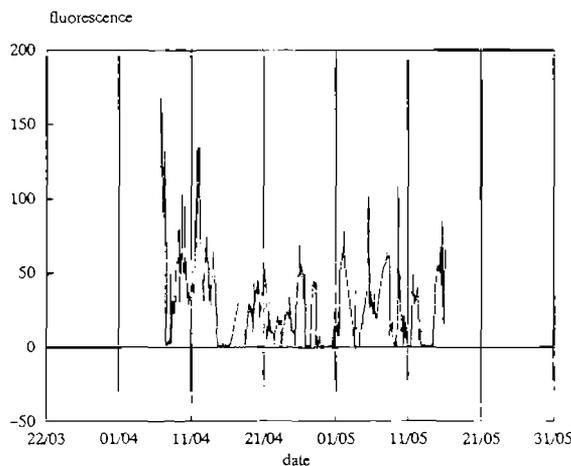


Figure 3 : Signal de fluorescence. Fluctuation quantitative de l'apport alimentaire durant la période de conditionnement des huîtres.

1.2. *Les descripteurs de biométrie et de maturité sexuelle*

A l'issue des mesures physiologiques réalisées les 11–12 et 15–16 mai, les stades de maturation sexuelle sont déterminés sur la base d'observations macroscopiques et microscopiques à partir de critères issus des échelles de maturation de Marteil (1976) et Le Dantec (1968) (tableau 1). Les critères macroscopiques concernent le recouvrement de la masse hépatopancréatique par la gonade et l'émission de produits génitaux à partir d'une pression sur la gonade. Les critères microscopiques permettent de définir le sexe et précisent la mobilité des cellules sexuelles mâles, la taille et forme des ovocytes. La somme des observations macroscopiques et microscopiques pour mâles et femelles définit une échelle

relative de maturité sexuelle comprise entre 2 et 6. Le stade 7 regroupe les huîtres qui ont pondu.

Tableau 1 : Détermination des stades de maturité sexuelle chez *Crassostrea gigas*.

Observations macroscopiques	
Emission de produits génitaux par pression légère	1
Emission de produits génitaux par forte pression	2
Pas d'émission de gamètes	3
Observations microscopiques	
<i>mâle</i>	
Pas de mobilité des SPZ	1
Mobilité partielle des SPZ	2
Forte mobilité des SPZ	3
<i>femelle</i>	
Ovocytes en vitellogenèse; cellules en tissus	1
Ovocytes en vitellogenèse; cellules dissociées	2
Présence d'ovocytes piriformes	3
Stades de maturité sexuelle	2-6

Les mesures sont faites sur la longueur, la largeur, l'épaisseur, le poids total, le poids de la coquille, le poids de chair fraîche (PFR), le poids sec (PSC). Le rapport : $(1 - \text{PSC}/\text{PFR})$ permet de définir la teneur en eau des huîtres qui est un descripteur dépendant du stade de maturité sexuelle de l'huître (Deslous-Paoli et Héral, 1988).

Les analyses biochimiques sont celles décrites par Deslous-Paoli et Héral (1988) pour le dosage des protéines, lipides, glucides et glycogène. Le pourcentage de cendres est déterminé après crémation de chair sèche à 450°C pendant 24h dans un four à moufle.

1.3. Les mesures physiologiques

1.3.1. L'infrastructure expérimentale

Consommation, ingestion et absorption

Les mesures de physiologie sont réalisées les 12, 13, 15 et 16 mai en salle d'écophysiologie. L'infrastructure expérimentale mise en place permet d'effectuer les mesures des principales fonctions physiologiques sur les mollusques filtreurs, et a été adaptée à *Crassostrea gigas* (fig. 4). Les cellules de mesures sont décrites en détail par Barillé *et al.* (1993). L'aliment utilisé durant les mesures, est placé dans un bac cylindro-conique de 2 m³ (1). L'eau pompée est reprise dans un bac d'homogénéisation de 5 litres (2) et redistribuée dans les cellules de mesure (3) à travers un débitmètre (4). L'eau traverse ensuite les cellules et est récoltée dans un bac (5) en sortie de cellule (Soletchnik *et al.*, sous presse). Dix sept cellules sont occupées par des huîtres vivantes, et 3 cellules avec une coquille vide servent de témoin d'entrée pour l'eau. Les mesures sont effectuées sur une période de 2 heures environ en décalant la période de collecte de fèces d'un intervalle de temps équivalent au temps de transit intestinal de l'aliment (Soletchnik *et al.*, sous presse) (annexe 1). Les prélèvements de fèces et de pseudofèces sont réalisés selon la méthode décrite par Razet *et al.*, (1990).

Respiration

Une fois les mesures associées à l'alimentation effectuées, les huîtres sont placées dans des incubateurs de 0,5 à 1 litre recouverts d'un film d'huile de paraffine afin d'éviter tout échange d'oxygène avec l'air. Toutes les 10 mn environ, un prélèvement est effectué pour permettre une mesure d'oxygène. La mesure est effectuée grâce à une sonde oxymétrique WTW équipée d'un agitateur magnétique.

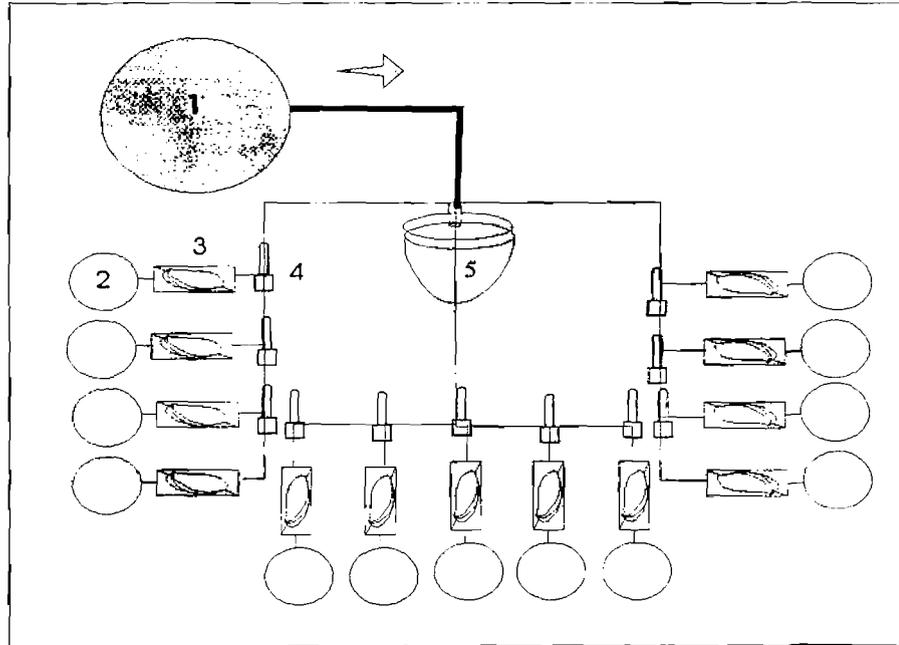


Figure 4 : Infrastructure de mesures physiologiques de l'huître *Crassostrea gigas*. (1): Bac d'homogénéisation de l'aliment ; (2). Bac de collecte de l'eau en sortie des cellules de mesures physiologiques ; (3) Cellules de mesures physiologiques avec huître vivante ou contrôle sur coquille vide ; (4) débitmètre en entrée des cellules de mesures physiologiques ; (5) Réacteur de distribution de l'eau de mer dans les cellules de mesures.

1.3.2. Les huîtres

Au terme de l'acclimatation, les différents lots d'huîtres sont utilisés pour effectuer les mesures physiologiques.

1.3.3 Méthodes

Sept cycles de mesure sont réalisés en 4 jours. Cent vingt huîtres issues des lots conditionnés à des températures différentes et donc à divers stades de maturité sexuelle, vont être étudiées.

La qualité alimentaire de l'eau utilisée au cours des mesures est la même que celle utilisée au cours du conditionnement des huîtres, afin de satisfaire aux conditions d'acclimatation. La base alimentaire des huîtres est constituée des deux espèces d'algues *Tetraselmis suecica* et *Skeletonema costatum* dont la concentration dans l'eau est stabilisée durant toute la période de mesures physiologiques.

La mesure de débits est calculée à posteriori par le rapport du volume d'eau entièrement collecté en sortie de cellule (VOL) sur la période de mesure.

Les pseudofécès (pf) sont collectés simultanément avec l'effluent des cellules de mesures. Les fèces (f) sont collectés après une même période de 2h30 de production, décalée du temps de transit digestif des algues utilisées (45 minutes dans le cas de ces mesures).

Cette méthodologie permet d'intégrer l'ensemble des mesures durant toute la période de calcul des fonctions physiologiques.

1.3.4. Les analyses

Les méthodes d'analyses de la matière particulaire totale, organique et minérale déterminées d'après la méthode de la perte au feu, de la chlorophylle a et des phéopigments, sont communes à l'eau et aux biodépôts (Razet *et al.*, 1990). Les résultats sont exprimés en concentration pour l'eau, et en production pour les biodépôts. La méthodologie d'analyse est détaillée par Razet *et al.* (1990).

1.3.5 Le calcul des fonctions physiologiques

La fonction de filtration F_E ($l\ h^{-1}$) est calculée selon la formule suivante :

$$F_E = (E_e - E_s)/E_e \times d \quad (1)$$

La fonction de consommation (C_E) ($mg\ h^{-1}\cdot ind^{-1}$) est la suivante :

$$C_E = (E_e - E_s) \times d \quad (2)$$

E_e et E_s représentent respectivement les concentrations en entrée (e) et en sortie (s) de l'élément (E) pris en compte. "E" peut être la matière particulaire totale (mpt), la matière organique particulaire (mop), la chlorophylle a, (chl.a) ou la phéophytine (phéo.).

L'ingestion I_E ($mg\cdot h^{-1}\cdot ind^{-1}$) et l'absorption A_E ($mg\cdot h^{-1}\cdot ind^{-1}$) sont calculées par :

$$I_E = C_E - pf_E \quad (3)$$

et,

$$A_E = I_E - f_E \quad (4)$$

Le potentiel de croissance (P) est estimé selon la formule suivante ($J\cdot h^{-1}\cdot g^{-1}$) (Lucas, 1982)

$$P = A - R \quad (5)$$

R représente la consommation d'oxygène convertie en Joules. h^{-1} par le coefficient de conversion énergétique de 0,45 Joules/ μ moles d'O₂.

Au cours de cette étude, l'aliment est constitué à plus de 90 % de matériel phytoplanctonique vivant. Le coefficient énergétique pris en compte, de 20 J. mg^{-1} , est intermédiaire entre le coefficient de 23,5 J. mg^{-1} (Bayne *et al.*, 1985), et de 3,6 J. mg^{-1} (Héral *et al.*, 1980). Le matériel phytoplanctonique est converti en équivalent carbone (C) par le coefficient 50, intermédiaire entre celui de Strickland (1960) et d'Ahlgren (1983) puis en

équivalent organique (MOP), par le coefficient 2,14 (Widdows *et al.*, 1979). La conversion énergétique d'un gramme de chair sèche est de 23 Joules/mg.

1.3.6. *Les traitements statistiques*

Les traitements sont effectués à l'aide du logiciel "Statgraphics". Les matrices de corrélation de Spearman et Kendall sont utilisées pour traiter les descripteurs paramétriques. Les analyses de variance et de covariance comparent les descripteurs et les performances physiologiques des huîtres à différents stades de maturation, âge ou sexe. Une régression non linéaire permet de préciser la relation d'allométrie de la fonction respiration au cours de la maturation.

2. RÉSULTATS

2.1. *Relation entre les descripteurs "lots" et "stades"*

En terme d'effectifs, le tableau 2 présente la dispersion des lots d'huîtres conditionnés, en stade de maturité sexuelle. Les lots 1 et 2 sont les deux seuls lots ayant été induits à pondre. Ils montrent un fort pourcentage de stade 7 (stade de post-ponde). Les lots 1, 3 et 5 présentent une forte dispersion des stades de maturité sexuelle. Le lot 4, de 1,5 ans, est homogène, en stades de maturation sexuelle avancée (stades 5 et 6).

Tableau 2 : Distribution des huîtres des différents lots conditionnés (lot 1 – lot 5) selon les stades de maturité sexuelle (2-7).

stades	2	3	4	5	6	7	total
Lot 1	3	6	6	8		18	41
Lot 2				1	2	12	15
Lot 3	2	2	5	8	11		28
Lot 4			3	8	7		18
Lot 5	2	4	4	3	3		16
total	7	12	18	28	23	30	118

Par ailleurs, le lot 3 est composé à 70 % d'huîtres aux stades de maturité sexuelle 5 et 6, alors que pour les autres lots, ce pourcentage est compris entre 20 et 40 %.

2.2. *Changement dans la constitution biochimique et le poids des huîtres au cours de la maturation*

Les figures 5 à 10 présentent des résultats d'analyse de la variance sur la population d'huîtres de 2,5 ans. Les différences entre les dates sont significatives au seuil de 1 ‰ dans tous les cas.

La prise de poids totale en moins d'1 mois de conditionnement est d'environ 8 g (fig. 5). Elle correspond à une prise effective de poids frais de 5 g (fig. 6), liée au développement des produits génitaux durant la phase de conditionnement des huîtres. Ce résultat est précisé par la caractéristique AFNOR (fig. 7), déjà supérieure à la valeur de 9 en avril (dénomination

"spéciale"). Cette valeur traduit la bonne qualité du lot d'origine. L'indice AFNOR atteint par ailleurs une valeur de 16–17 en période de maturation avancée .

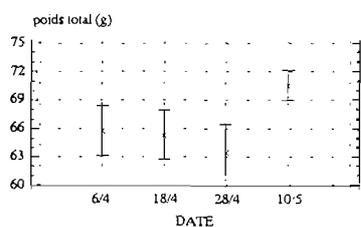


Figure 5 : Evolution du poids total des huîtres de 2,5 ans.

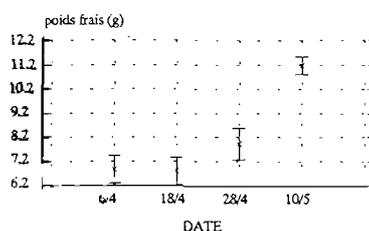


Figure 6 : Evolution du poids frais des huîtres de 2,5 ans.

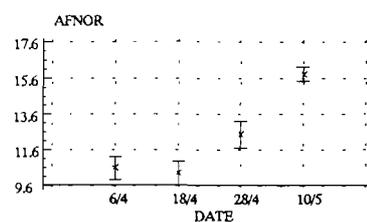


Figure 7 : Evolution de la norme AFNOR des huîtres de 2,5 ans.

La teneur en protéines, de 29–30 % passe à 27–28 % au cours de la maturation (fig. 8). Le transfert des réserves glucidiques en lipides au stade ultime de la gamétogénèse est perceptible sur les figures 9 et 10 pour 2–3 % de chaque composant biochimique.

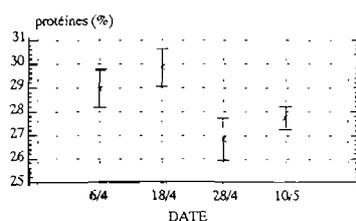


Figure 8 : Evolution de la teneur en protéines.

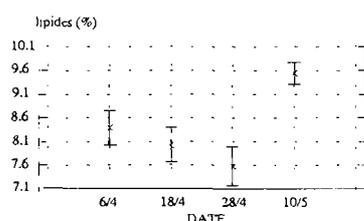


Figure 9 : Evolution de la teneur en lipides.

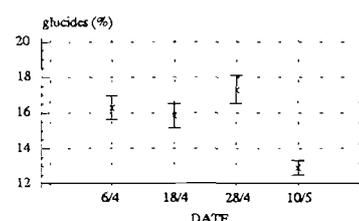


Figure 10 : Evolution de la teneur en glucides.

2.3. Caractérisation des lots d'huîtres

Dans notre expérimentation, le poids moyen des huîtres de 2,5 ans, passe de 1,57 g à 2,1–3,1 g en 35 jours, pour un conditionnement de 650 à 850 "degrés-jours" (tableau 3) et le lot de 1,5 ans, de 1,28 g à 1,57 g en 18 jours. Dans ces conditions, le gain de poids journalier (GPJ) est de 17–44 et 26 mg/jour respectivement pour les deux populations d'huîtres. Calculés en équivalents énergétiques les résultats de production ainsi obtenus sont de (16–43) et 25 Joules/h respectivement pour les huîtres de 2,5 et 1,5 ans (coefficient énergétique de 23 Joules/mg de chair sèche).

Il est intéressant de constater que le lot 5 présente un gain de poids journalier significativement élevé (43 mg/j). La vitesse de maturation des produits génitaux de ce lot, semble s'être considérablement accélérée à partir de la mise en élevage à température "haute". Ce lot a subi le choc thermique d'acclimatation de 9°C, le plus tardif dans la saison (28 avr.).

Tableau 3 : Caractérisation des lots issus du conditionnement des huîtres. (*) : a : lot d'huîtres de 2,5 ans ; b : lot d'huîtres de 1,5 ans.

Lot	1	2	3	4	5
origine du lot(*)	a	a	a	b	a
conditionnement (DEG).	850,7	776,8	709,3	687,2	650,7
poids total initial (g)	65,8 (2,5)	65,8 (2,5)	65,8 (2,5)	38,8 (3,2)	65,8 (2,5)
poids total final (g)	73,5 (2,2)	71,0 (4,3)	66,5 (3,0)	39,04 (4,0)	70,1 (3,0)
poids sec initial (g)	1,57 (0,18)	1,57 (0,18)	1,57 (0,18)	1,28 (0,08)	1,57 (0,08)
poids sec final (g)	2,81 (0,15)	2,54 (0,25)	2,13 (0,18)	1,57 (0,24)	3,07 (0,23)
intervalle de temps (jours)	34	39	34	11	34
GPJ (mg/jour)	36,5	24,9	16,5	26,4	44,1
Induction de ponte	+	+	-	-	-

2.4. Physiologie de la reproduction

2.4.1 Comparaison selon le sexe des huîtres

Les résultats de biométrie et les réponses physiologiques sont comparés entre les mâles et les femelles (tableau 4). Seules, parmi de nombreux descripteurs pris en compte dans l'analyse, la composition biochimique et la teneur en cendres de la chair des huîtres présentent des différences significatives entre mâles et femelles (tableau 4). Les lipides et les glucides sont de 3 à 3,5 % supérieurs chez les femelles par rapport aux mâles. La teneur en protides, de 27–28% n'est pas significativement différente entre les deux sexes.

Tableau 4 : Biométrie et résultats de physiologie des mâles et femelles de *Crassostrea gigas*. () : intervalle de confiance sur la moyenne.

variable	siguif./sex.	Sexe	
		mâle	femelle
poids total (g)	NS	68,0 (3,1)	64,2 (2,8)
poids sec (g)	NS	2,46 (0,16)	2,54 (0,13)
1- (poids sec/frais) (%)	NS	77,8 (0,6)	76,2 (0,6)
AFNOR	*	15,5 (0,5)	16,5 (0,4)
Imai-Sakai	NS	38,4 (1,3)	36,2 (1,1)
protides (%)	NS	28,34 (0,89)	27,15 (0,81)
lipides (%)	***	7,85 (0,32)	10,80 (0,29)
glucides (%)	***	11,96 (0,66)	14,70 (0,80)
glycogène (%)	***	11,46 (0,65)	14,95 (0,68)
PLG (%)	***	48,16 (1,00)	52,66 (0,90)
cendres (%)	**	10,0 (0,25)	9,2 (0,25)
respiration (mg O ₂ /h)	NS	1,99 (0,013)	1,88 (0,12)
filt-mpt (l/h)	NS	2,43 (0,44)	2,52 (0,40)
filt-mop (l/h)	NS	2,18 (0,21)	2,05 (0,019)
cons-mop (mg/h)	NS	17,9 (2,4)	8,9 (2,0)
ing-mop (mg/h)	NS	9,4 (2,2)	8,9 (2,0)
abs-mop (mg/h)	NS	4,2 (2,2)	3,5 (2,0)
pot-croi-mop (l/h)	NS	58 (44)	64 (22)
filt-chla (l/h)	NS	2,86 (0,25)	2,79 (0,26)
cons-chla (µg/h)	NS	155 (16)	149 (14)
ing-chla (µg/h)	NS	44 (14)	60 (13)
filt-phéo (l/h)	NS	4,69 (0,38)	4,46 (0,34)
cons-phéo (µg/h)	NS	90 (10)	71 (8)
ing-phéo (µg/h)	NS	50 (5)	46 (5)

2.4.2 Comparaison selon les stades de maturité sexuelle des huîtres

Les analyses de variance sont effectuées sur les fonctions physiologiques mesurées, selon les indices de maturité sexuelle ("stade") (tableau 5). L'effet de la covariable "poids sec" est systématiquement testé. Son effet est significatif uniquement sur la fonction de respiration. Ce résultat montre comment l'évolution pondérale du compartiment gonadique conduit à une modification du métabolisme de base de l'huître. Les fonctions de filtration ou issues du calcul de la filtration sont indépendantes de la prise de poids des huîtres durant la période de maturation (Soletchnik *et al.*, sous presse).

Une différence significative apparaît au seuil de 5 % pour la teneur en eau et en cendres, le taux de lipides et de glucides. Aucune différence n'apparaît pour les autres constituants biochimiques.

La teneur en eau est de 79 % pour les huîtres en repos sexuel, et de 76–77 % pour les huîtres en cours de maturation (fig. 11).

Parmi les indices de qualité, l'indice AFNOR est autour de 16. Le stade 2, hors maturation sexuelle à un indice autour de 13 (fig. 12).

La teneur en cendres est de 9–10 % au cours de la maturation, sans différence significative entre les stades, exception faite des huîtres du stade 2 (fig. 13). Le pourcentage de lipides dans la chair de l'huître, autour de 8–9 % aux stades 2–3, passe à 9–11 % aux stades 4–6, pour revenir ensuite à 8–9 % au stade 7 de post-ponte (fig. 14). Le stade 7 de post-ponte, avec 14 % de glucides, se distingue des autres stades de maturité sexuelle, avec 10–13 % de glucides (fig. 15).

En terme de consommation (fig. 16–18), des différences de réponses existent selon l'élément considéré (mop, phéo ou chla). Une décroissance de la consommation du stade 3 au stade 6, est marquée pour "mop" et "phéo". Tout élément (mop, chla ou phéo) confondu, la consommation des huîtres au stade 2 demeure supérieure à celle des huîtres en cours de maturation sexuelle (stade 3, 4, 5 et 6).

En terme d'ingestion (fig. 19–21), la tendance observée sur les résultats de consommation, se confirme pour la "mop". Pour les phéophytines, la différence est significative au seuil de 1 ‰ entre le stade 2 et les autres stades de maturité. L'ingestion de chlorophylle a est plus faible pour le stade 3 comparé au stade 2 et aux stades de maturation plus avancée.

Tableau 5 : Biométrie et résultats de physiologie des différents stades de maturité sexuelle (MS) de *Crassostrea gigas*. () : intervalle de confiance sur la moyenne.

Variable	Seuil de signif.	niveau de signif.	Stade de maturité sexuelle ("STADE")						
			2	3	4	5	6	7	
Stades de MS									
poids total (g)	NS	0,907	71,6 (8,3)	72,0 (6,3)	68,9 (5,0)	69,2 (4,2)	69,2 (4,6)	72,5 (4,0)	
poids sec (g)	NS	0,144	1,98 (0,45)	2,87 (0,34)	2,81 (0,27)	2,73 (0,22)	2,36 (0,24)	2,61 (0,21)	
1-(poids sec/frais) (%)	*	0,019	78,9 (1,1)	76,1 (0,8)	76,2 (0,6)	76,0 (0,6)	77,1 (0,5)	76,9 (0,5)	
AFNOR	*	0,012	12,69 (1,4)	16,3 (1,1)	16,5 (0,9)	16,6 (0,6)	15,2 (0,8)	15,5 (0,6)	
Imai-Sakai	NS	0,222	36,8 (3,4)	36,6 (2,6)	36,9 (2,1)	40,3 (1,8)	35,4 (1,8)	35,4 (1,6)	
protides (%)	NS	0,435	28,0 (2,5)	28,7 (1,8)	27,7 (1,4)	29,4 (1,2)	27,0 (1,3)	26,9 (1,3)	
lipides (%)	*	0,015	8,7 (1,1)	8,5 (0,9)	10,9 (0,6)	10,4 (0,5)	10,0 (0,6)	8,9 (0,5)	
glucides (%)	*	0,021	11,4 (1,9)	11,8 (1,5)	12,2 (1,1)	12,7 (0,9)	11,7 (1,0)	14,7 (1,0)	
glycogène (%)	NS	0,052	11,2 (1,2)	11,4 (1,8)	11,9 (1,4)	12,7 (1,1)	11,3 (1,2)	14,7 (1,0)	
PLG (%)	NS	0,283	48,2 (2,9)	48,9 (2,2)	50,8 (1,8)	48,6 (1,4)	50,5 (1,6)	50,6 (1,4)	
cendres (%)	*	0,021	11,1 (0,9)	9,4 (0,6)	8,8 (0,4)	9,2 (0,5)	10,3 (0,5)	9,8 (0,4)	
respiration (mg O ₂ /h)	NS	0,168	1,80 (0,33)	1,98 (0,26)	1,67 (0,21)	1,88 (0,17)	1,97 (0,19)	2,21 (0,16)	
filt-mpt (l/h)	NS	0,051	2,62 (1,2)	2,97 (0,9)	3,81 (0,8)	1,65 (0,6)	1,99 (0,7)	3,40 (0,6)	
filt-mop (l/h)	NS	0,093	1,85 (0,6)	2,67 (0,4)	2,58 (0,3)	1,80 (0,3)	1,84 (0,3)	2,40 (0,3)	
cons-mop (mg/h)	*	0,030	16,4 (6,5)	25,0 (5,1)	25,3 (3,0)	14,1 (3,4)	12,0 (3,6)	21,7 (3,2)	
ing-mop (mg/h)	*	0,048	8,72 (5,8)	14,6 (2,6)	15,6 (3,6)	6,38 (3,0)	4,89 (3,2)	12,64 (2,9)	
abs-mop (mg/h)	NS	0,056	4,21 (6,1)	9,6 (4,5)	10,1 (3,6)	1,25 (2,9)	-0,25 (3,2)	7,12 (2,9)	
pot-croi-mop (J/h)	NS	0,066	59 (120)	164 (91)	178 (72)	0 (60)	-31 (65)	113 (58)	
filt-chla (l/h)	NS	0,187	3,69 (0,8)	2,04 (0,6)	3,04 (0,5)	2,58 (0,4)	3,21 (0,4)	2,87 (0,4)	
cons-chla (µg/h)	NS	0,420	206 (45)	125 (31)	166 (26)	146 (21)	166 (22)	154 (20)	
ing-chla (µg/h)	**	0,006	109 (43)	-13 (30)	32 (24)	73 (20)	82 (22)	51 (18)	
filt-phéo (l/h)	NS	0,376	4,99 (1,0)	3,99 (0,8)	3,90 (0,6)	3,95 (0,3)	5,10 (0,6)	4,47 (0,5)	
cons-phéo (µg/h)	*	0,020	140 (26)	105 (18)	94 (14)	75 (12)	68 (13)	79 (11)	
ing-phéo (µg/h)	***	0,000	115 (18)	53 (12)	53 (11)	42 (8)	44 (9)	48 (8)	

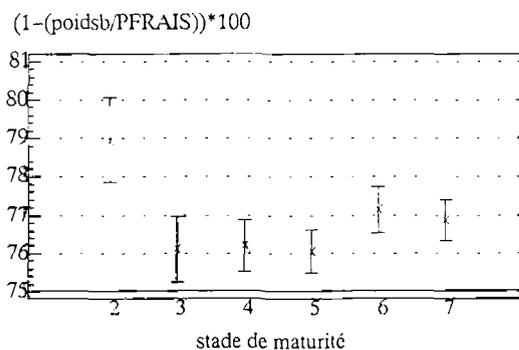


Figure 11 : Teneur en eau, moyennes et intervalles de confiance.

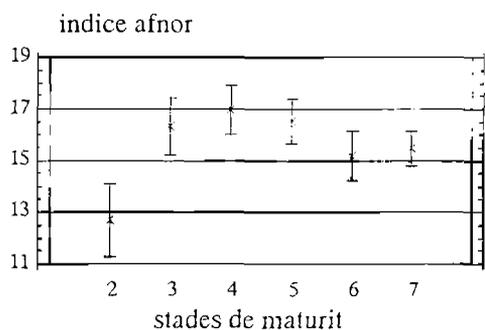


Figure 12 : Norme AFNOR, moyennes et intervalles de confiance.

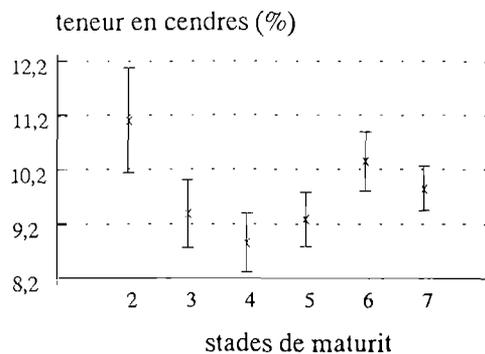


Figure 13 : Teneur en cendres de la chair; moyennes et intervalles de confiance.

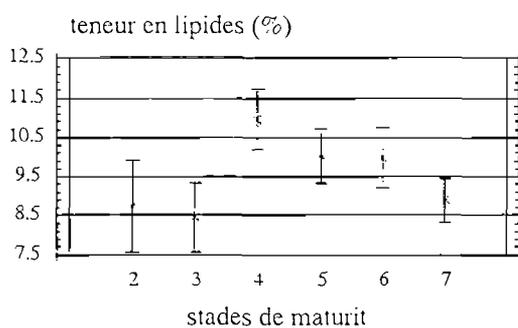


Figure 14 : Teneur en lipides de la chair, moyennes et intervalles de confiance.

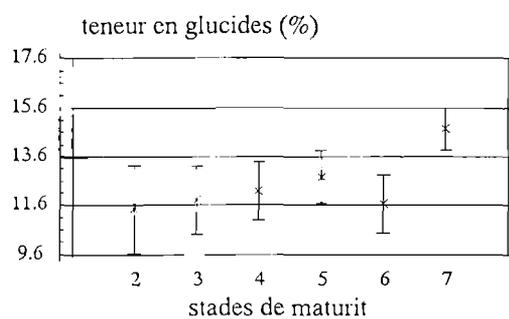


Figure 15 : Teneur en glucides de la chair ; moyennes et intervalles de confiance.

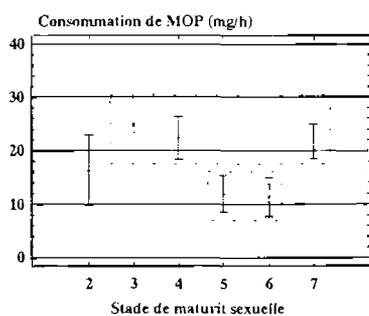


Figure 16 : Consommation de MOP; moyennes et intervalles de confiance.

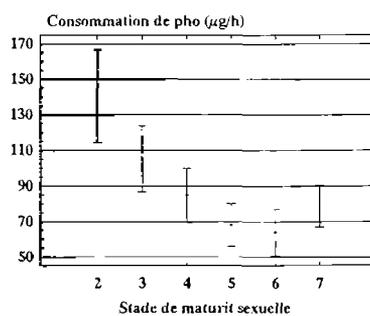


Figure 17 : Consommation de phophytine; moyennes et intervalles de confiance.

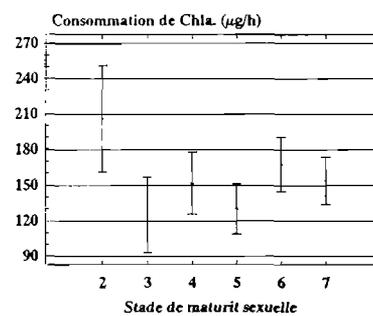


Figure 18 : Consommation de chlorophylle a; moyennes et intervalles de confiance.

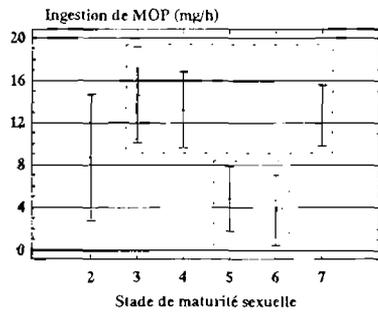


Figure 19 : Ingestion de MOP; moyennes et intervalles de confiance.

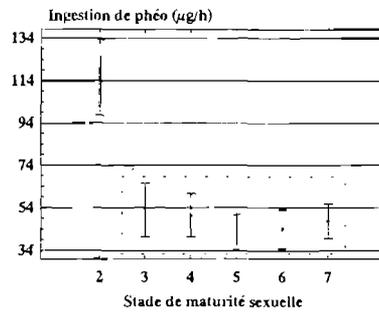


Figure 20 : Ingestion de phéophytine; moyennes et intervalles de confiance.

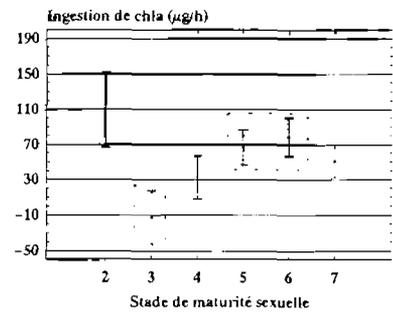


Figure 21 : Ingestion de chlorophylle a ; moyennes et intervalles de confiance.

Les huîtres au cours de la maturation, ne présentent pas de différences notables de respiration, dans les conditions de cette expérimentation (fig. 22).

Le calcul de l'absorption de la matière organique (fig. 23) est proche de 0 pour les stades 5-6 de maturation sexuelle avancée, et reste positif pour les autres stades. Le potentiel de croissance (fig. 24), issu du bilan énergétique, confirme ce résultat. Il est voisin de 0 pour les stades 5-6, et est compris entre 70 et 250 joules/h pour les stades 3-4 et 7 de maturité sexuelle.

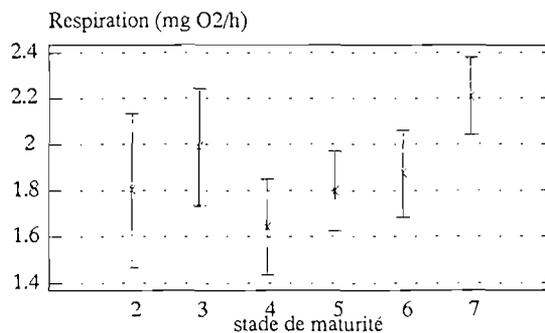


Figure 22 : Respiration ; moyennes et intervalles de confiance

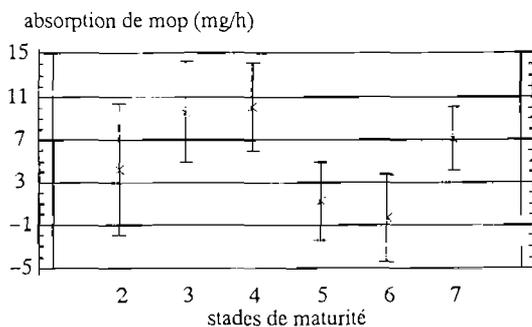


Figure 23 Absorption de MOP ; moyennes et intervalles de confiance.

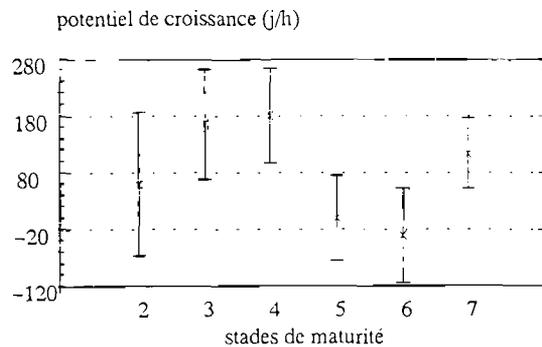


Figure 24 : Potentiel de croissance ; moyennes et intervalles de confiance.

2.4.3. Comparaison selon l'âge de deux populations d'huîtres (1,5 et 2,5 ans)

Sur les 15 huîtres testées, 13 se trouvent à un stade 5 ou 6 de maturité sexuelle. Ces huîtres, malgré la faiblesse relative des effectifs, sont comparées sur le plan des performances physiologiques avec des adultes de 2,5 ans au même stade de maturité sexuelle (tableau 6).

L'effet de la covariable poids sec est systématiquement testé sur l'ensemble des descripteurs et des fonctions physiologiques. L'effet de cette covariance est significatif uniquement sur la composition en carbohydrates de la chair des deux populations, et sur la fonction de respiration (tableau 6).

Des différences importantes existent entre les poids, de 40 g à 70 g en poids total (fig. 25) avec 1,5 g de poids sec contre 2,5 g, respectivement pour les lots de 1,5 et 2,5 ans (fig. 26). La teneur en sucres est de 16,3 % pour les huîtres de 1,5 ans, contre 12,3 % pour les autres (fig. 27). Sur les fonctions de filtration (fig. 28 à 30), une seule différence apparaît en filtration de phéopigments. Le bilan de matière organique laisse apparaître une différence significative au seuil de 5 % pour les fonctions de consommation (fig. 31), d'ingestion (fig. 32) et d'absorption (fig. 33). Les valeurs de potentiel de croissance de ces huîtres au stade 5-6, sont négatives pour les deux populations (fig. 34). La population de 1,5 ans présente un potentiel de croissance significativement plus faible, de -110 J/h contre -14 J/h pour une population d'huître plus âgée.

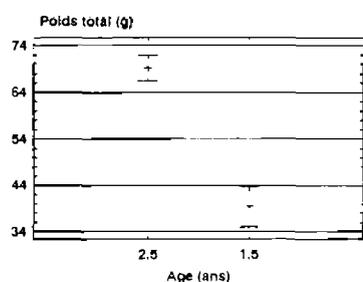


Figure 25 : Poids total. Moyennes et intervalles de confiance.

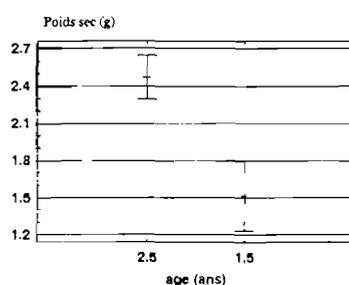


Figure 26 : Poids sec. Moyennes et intervalles de confiance.

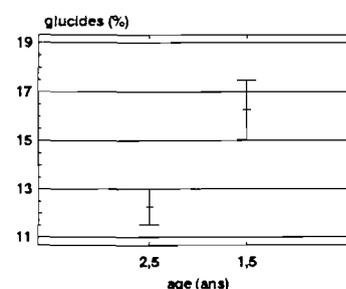


Figure 27 : Teneur en glucides de la chair ; Moyennes et intervalles de confiance

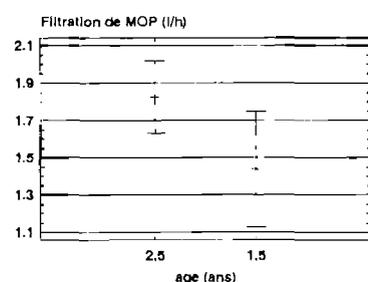


Figure 28 : Filtration de MOP; Moyennes et intervalles de confiance.

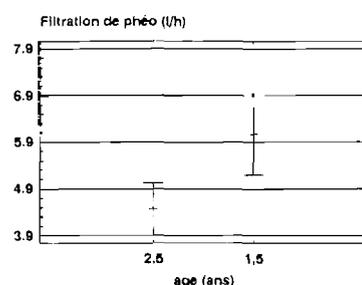


Figure 29 : Filtration de phéopigments ; Moyennes et intervalles de confiance.

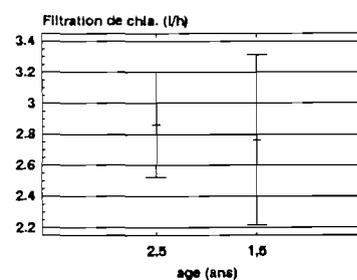


Figure 30 : Filtration de chlorophylle a ; Moyennes et intervalles de confiance.

Tableau 6 : Biométrie et réponses physiologiques de 2 lots d'huîtres de 2,5 et 1,5 ans. Moyennes (sans effet de la covariable) et Intervalle de confiance sur la moyenne ().

Variable	Seuil de signif. de variable	Seuil de signif. de la covar. : poids sec	2,5 ans	1,5 ans
poids total (g)	***		69,1 (2,8)	39,4 (1,3)
poids sec (g)	***		3,37 (0,18)	1,51 (0,26)
AFNOR	NS		15,9 (0,6)	16,8 (1,0)
Imai-Sakai	NS	NS	38,8 (1,6)	36,4 (2,5)
protides (%)	NS	NS	28,4 (1,0)	26,4 (1,7)
lipides (%)	NS	NS	10,0 (0,5)	8,9 (0,8)
glucides (%)	***	**	12,3 (0,7)	16,3 (1,2)
glycogène (%)	***	**	12,1 (0,8)	16,5 (1,3)
PLG (%)	NS	**	50,6 (1,3)	51,5 (2,0)
respiration (mg O ₂ /h)	NS	***	1,92 (0,13)	1,61 (0,20)
filt-mpt (l/h)	*	NS	1,80 (0,37)	0,80 (0,59)
filt-mop (l/h)	NS	NS	1,82 (0,19)	1,44 (0,31)
cons-mop (mg/h)	*	NS	13,2 (1,7)	8,0 (2,9)
ing-mop (mg/h)	*	NS	5,72 (1,6)	0,74 (2,6)
abs-mop (mg/h)	*	NS	0,58 (1,6)	-4,34 (2,6)
pot-croi-mop (J/h)	*	NS	-13,9 (32)	-109,5 (52)
filt-chla (l/h)	NS	NS	2,86 (0,34)	2,76 (0,55)
cons-chla (µg/h)	NS	NS	155,1 (18)	127,5 (26)
ing-chla (µg/h)	NS	NS	77,4 (14)	57,5 (25)
filt-phéo (l/h)	*	NS	4,47 (0,5)	6,07 (0,8)
cons-phéo (µg/h)	NS	NS	72,4 (10,7)	49,8 (19)
ing-phéo (µg/h)	NS	NS	43,2 (6,9)	43,1 (11)

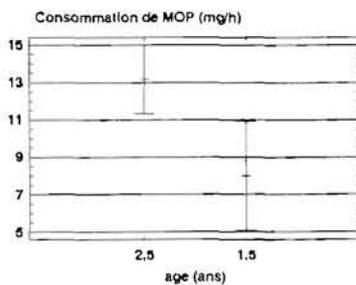


Figure 31 : Consommation de MOP ; moyennes et intervalles de confiance.

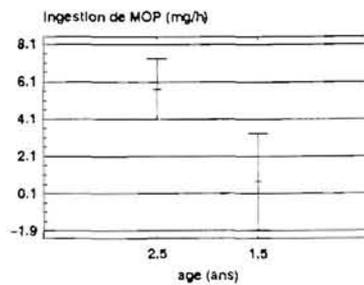


Figure 32 : Ingestion de MOP ; moyennes et intervalles de confiance.

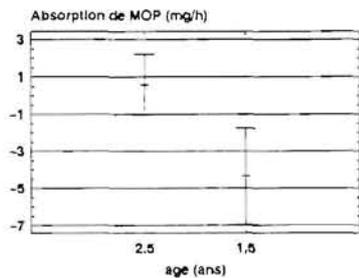


Figure 33 : Absorption de MOP ; moyennes et intervalles de confiance.

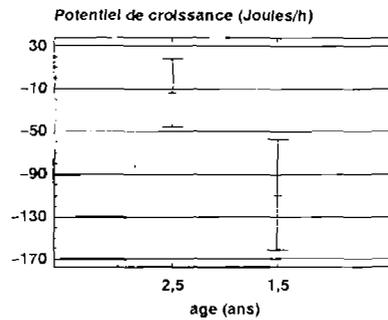


Figure 34 : Potentiel de croissance ; moyennes et intervalles de confiance.

2.5. Allométrie et maturation

Sur la base de la comparaison avec les modèles de filtration et de respiration du modèle biologique de *Crassostrea gigas* (Bougrier *et al.*, 1995), les résultats de cette étude sont associés à ceux obtenus au cours d'une expérimentation réalisée en 1993 à partir de 3 lots huîtres à différents stades de maturité sexuelle et comprenant un lot d'huîtres immatures (J), un lot d'huîtres au stade 3-4 (R) et un lot d'huîtres au stade 5-6 (A) (fig. 35-36) (Soletchnik *et al.*, sous presse). Les huîtres de la première expérimentation ont un poids moyen de 0,6 ; 0,9 et 1,9 g respectivement pour les huîtres des lots J, R et A, et celles de cette étude ont un poids moyen de 2,5 g. Dans le cadre des deux expérimentations, les mesures de filtration et de respiration ont été effectuées à 21 °C.

Les figures 35 et 36 présentent respectivement les résultats de filtration et de respiration, comparés avec les modèles définis par Bougrier *et al.* (1995) sur des huîtres immatures. Ces deux modèles sont fonction de la température du milieu, et du poids de l'huître.

Les mesures de filtration des huîtres du lot J ne diffèrent pas significativement du modèle (fig. 35). Pour les huîtres en cours de maturation (R et A), l'écart avec le modèle Bougrier *et al.* (1995), est d'autant plus important que le stade de maturité est avancé, et que le poids de chair augmente. L'allure de la courbe tend vers l'horizontalité signifiant que la prise de poids liée au développement des produits génitaux, n'entraîne pas de modification notable de la fonction de filtration chez *Crassostrea gigas*.

A l'inverse, les résultats expérimentaux de respiration évoluent dans le sens du modèle, mais avec un ajustement différent (fig. 36). Ce résultat montre que la prise de poids liée au développement des produits génitaux induit un coût respiratoire supplémentaire conséquent qui peut mettre l'huître en "difficulté physiologique" au moment des stades ultimes de la maturation (stades 5-6).

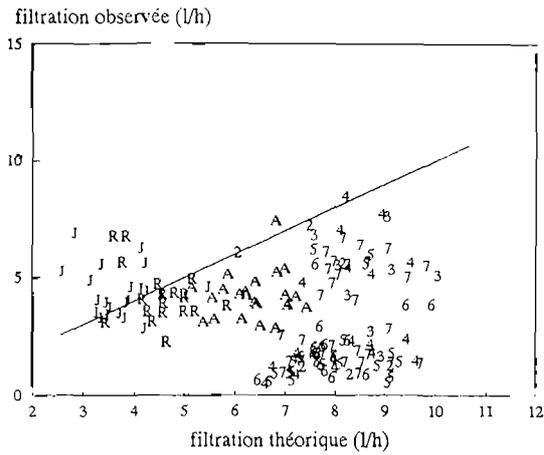


Figure: 35 : Comparaison entre le modèle de filtration de *C. gigas* hors période de maturité sexuelle (filtration théorique) et les données observées en période de maturation sexuelle.

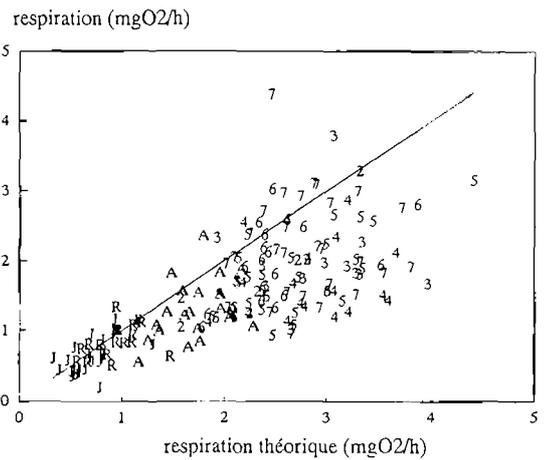


Figure: 36 : Comparaison entre le modèle de respiration de *C. gigas* hors période de maturité sexuelle (respiration théorique) et les données observées en période de maturation sexuelle.

A la température de 21 °C, le modèle de respiration le mieux ajusté aux données expérimentales, est un modèle de type multiplicatif. L'équation du modèle est la suivante :

$$\text{Respiration} = 0,94 \times \text{PDS}^{0,682}$$

avec: $R^2 = 0,63$ (fig. 37).

Ainsi, le coefficient d'allométrie de respiration, de 0,8 pour les huîtres hors maturité sexuelle (Bougrier *et al.*, 1995), est à 0,682 en période de maturation sexuelle. La demande en oxygène liée à la prise de poids en période de maturation sexuelle, est proportionnellement plus faible que celle liée à la croissance des individus.

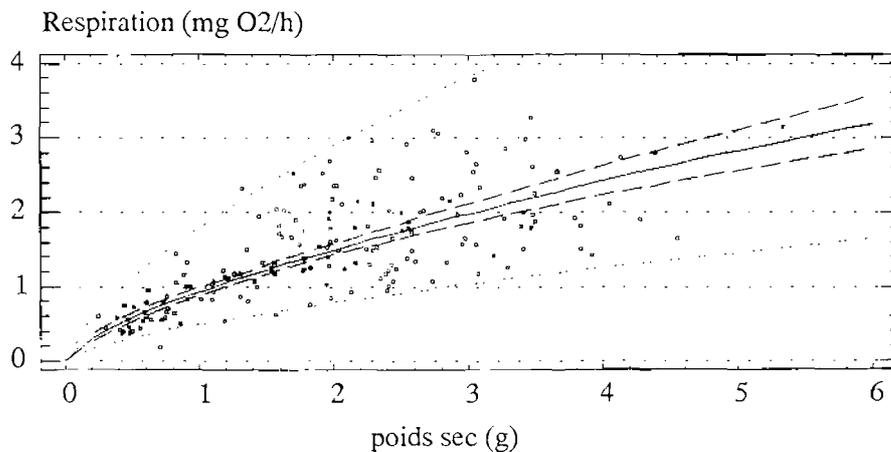


Figure 37 : Modèle de respiration de l'huître creuse *C. gigas* en période durant la maturation sexuelle à 21°C.

La figure 38 compare les deux modèles, entre une population en période de maturation (Y2), et une population hors période de maturation (Y1).

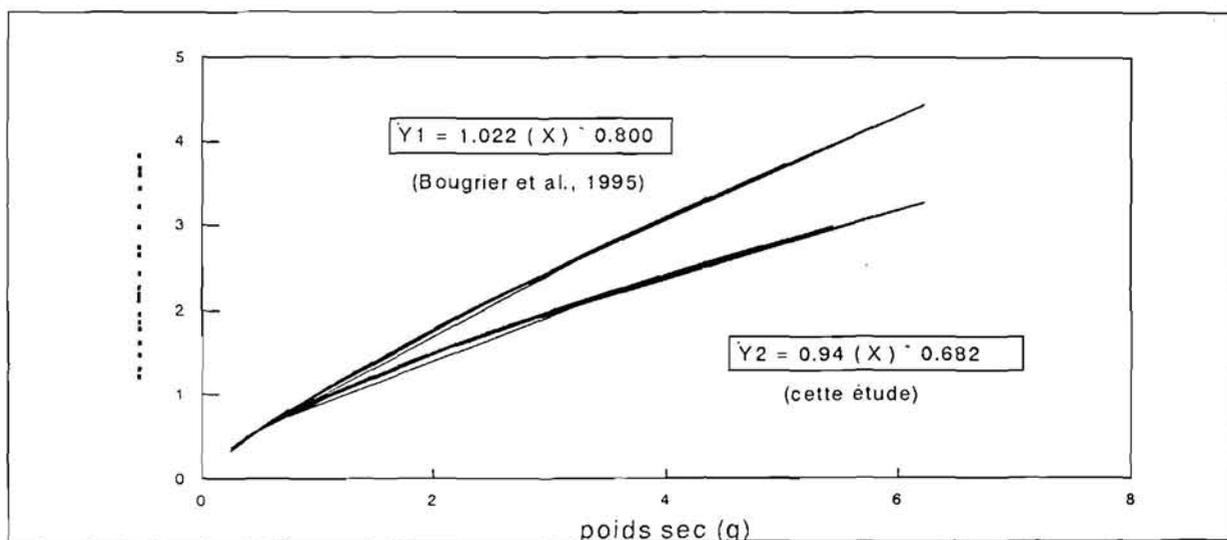


Figure 38 : Comparaison des modèles de respiration de l'huître creuse *C. gigas* en période de repos sexuel (Y1) et en période de maturation sexuelle (Y2), à 21°C.

3. DISCUSSION

Schéma conceptuel de la reproduction

La figure 39 présente le schéma conceptuel de la maturation avec l'implication temporelle des facteurs édaphiques importants. La reprise de l'activité gonadique (déclenchement de la vitellogénèse) est sous la dépendance du complexe neuro-endocrinien. Elle est mise en place lors de l'automne et l'hiver précédant en fonction des conditions environnementales et de l'état des réserves propres à l'huître (Héral *et al.*, 1986 ; Lubet, 1980). Ainsi, même si aucune activité gonadique n'est apparente en automne-hiver, sous des conditions favorables, le cycle de reproduction de *Crassostrea gigas* est continu (pas de vrai stade de repos sexuel).

La vitellogénèse s'effectue au printemps, indépendamment de la richesse du milieu (Robinson, 1992). La vitesse de maturation des produits génitaux est sous la dépendance de la température (Mok, 1973 ; Mann, 1979 ; Lubet, 1980). La fécondité, la qualité des produits sexuels émis et des larves produites, sont fonction de la richesse trophique printanière (Muranaka et Lannan, 1984). L'absence de blooms phytoplanctoniques dans le bassin de Marennes-Oléron en 1981 est corrélé à un faible recrutement de juvéniles de *C. gigas* (Héral, 1989).

L'émission de produits génitaux est également sous la dépendance de la température, qui doit atteindre 18°C pour *Crassostrea gigas* (Berg, 1969 ; Bernard, 1974 ; Mann, 1979).

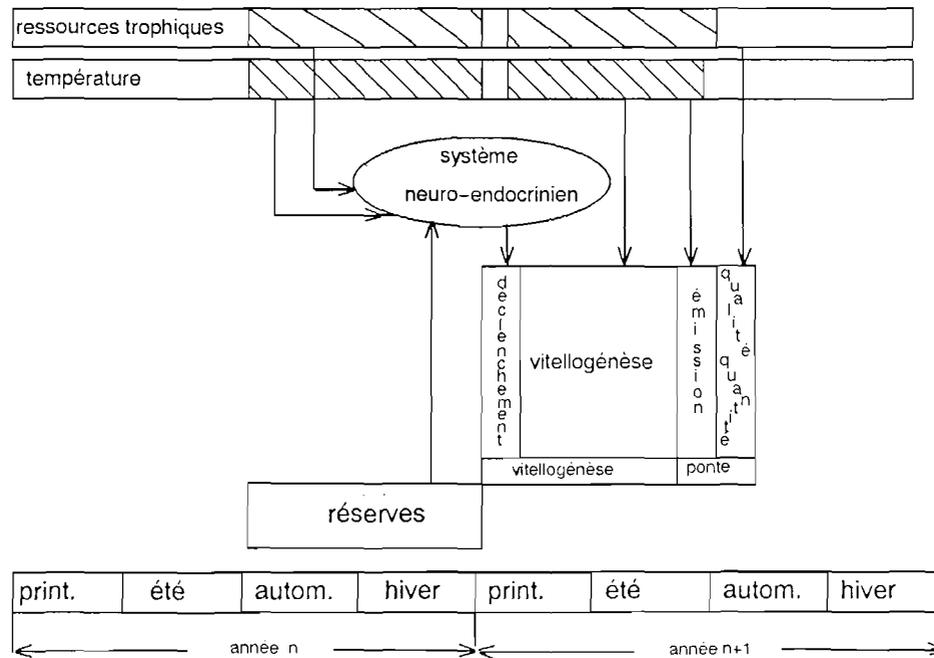


Figure 39 : Schéma conceptuel des processus liés à la maturation de *Crassostrea gigas*.

Le cycle biochimique au cours de la vitellogénèse

Les modifications biochimiques survenant au cours de la vitellogénèse des bivalves sont connues de longue date (Lubet; 1959 ; Gabott, 1976). Perdue *et al.* (1981) ont clairement mis en évidence la relation existant entre les cycles des constituants biochimiques et la gamétogénèse. Chez *Crassostrea gigas*, les changements saisonniers entre les compartiments somatiques et gonadiques ont été étudiés par de nombreux auteurs. Un pic de glucides précède d'un mois le pic de lipides au cours de la maturation (Maurer et Borel, 1986). Cette vitellogénèse commence avec le processus de glycogénolyse (Deslous-Paoli et Héral, 1980 ; Gabbot, 1975 et 1983 ; Maurer et Borel, 1986). Le cycle de gamétogénèse est décrit par Deslous-Paoli *et al.* (1982) et Deslous-Paoli et Héral (1988) dans la baie de Marennes-Oléron.

Dans nos conditions d'élevage, le pic de lipides est perceptible au cours du conditionnement. La température de 20-22°C, optimale pour accélérer la vitellogénèse permet un raccourcissement considérable de ce stade. Aucune déplétion des réserves de glycogène n'apparaît. Ces conditions biochimiques particulières sont confirmées par les valeurs de l'indice AFNOR proches de 16, et dont la valeur est élevée au moment de l'initiation de l'expérimentation (AFNOR = 10,6).

La différence significative de la teneur en lipides d'un stade de vitellogénèse avancée (4) au stade de post-ponte (7) traduit bien la perte lipidique globale survenant lors de l'émission des produits génitaux plus riches en lipides. Les femelles ont une teneur en lipides supérieure à celle des mâles (Mann, 1979 ; Deslous-Paoli *et al.*, 1982) de 10,8 % contre 7,9 % respectivement pour les femelles et les mâles dans le cas de cette expérience.

Le conditionnement des géniteurs

Grâce au contrôle de la température, les huîtres sont amenées à pondre en laboratoire en début mai, quand les pontes naturelles de l'année 1995 ont commencé en mi-août 1995 dans le bassin de Marennes-Oléron.

Les processus de vitellogénèse et la ponte sont artificiellement accélérés par des conditions d'élevage à température supérieure à celle des normales saisonnières (Price et Maurer, 1971).

Sur cette base, Bayne *et al.* (1975) ont introduit la notion de "degré-jour" pour préciser le lien existant entre la durée de la vitellogénèse et la température à laquelle elle s'effectue. Cette valeur (DJb = degré-jour "brut") est obtenue en sommant les températures durant la période de gamétogénèse et jusqu'à la ponte. Pour Muranaka et Lannan (1984), cette valeur est de l'ordre de 2390 DJb, entre 18 et 22°C, chez *Crassostrea gigas*. Pour Lubet (1991), elle est de 1900 DJb, et pour Héral *et al.*, (1986), elle est comprise entre 2200 et 2900 DJb en baie de Marennes-Oléron entre 1971 à 1984.

Dans nos conditions expérimentales, cette variable (DJb), est comprise entre 650 et 850 pour les différents lots d'huîtres. Sa mesure est incomplète, puisqu'elle est calculée sur une période partielle de la vitellogénèse. En effet, la température est déjà supérieure à 10,5 °C en avril lorsque le conditionnement est initié. Pour cette raison, seuls quelques 800-850 DJb suffiront pour atteindre le stade de ponte.

Une autre notion de degré-jour, le "degré-jour différentiel" (DJd), est proposée par Mann (1979). Il établit une relation précise sur la base d'expérimentations de conditionnement, entre 15 et 21°C :

$$D = d(t - t_0)$$

D est exprimé comme une différence entre la température mesurée (t), et la température minimale en dessous de laquelle la gamétogénèse est stoppée (t_0). Il obtient une valeur de 592 degré-jour pour arriver au terme de la maturation. La température minimale "active" permettant le déroulement de la gamétogénèse, obtenue au cours de ces expériences, est de 10,55°C. Ce mode de calcul, à priori plus élaboré, a comme inconvénient la connaissance préalable de t_0 . Une ambiguïté demeure concernant cette valeur, puisque Lubet (1991) considère qu'en situation de température décroissante, à partir de 15°C, la vitellogénèse est considérablement ralentie.

Concernant la méthode de conditionnement des géniteurs d'huîtres, Muranaka et Lannan (1984) élèvent la température de 2°C par jour. Dans nos conditions expérimentales, le lot 1 passe précocement de 14-15°C à 21°C, puis les lots 2-3, de 15°C à 21°C. alors que les lots 4-5 subissent la même élévation de température (12°C-22°C), mais étalée sur une période d'environ 2 semaines.

Les informations sur le conditionnement des huîtres et sa dépendance étroite avec la température, permettent d'envisager un conditionnement des huîtres encore plus précoce, et de travailler pendant une période où la température de l'eau de mer du bassin de stockage est inférieure à 11°C. Dans cette situation, la vitellogénèse est bloquée, et un lot conséquent d'huîtres immatures pourrait ainsi être obtenu.

Physiologie de la reproduction

Sur des huîtres en cours de maturité sexuelle, la teneur en chacun des constituants biochimiques : (protides, lipides et glucides), est supérieure pour les femelles. Le poids de cendres est supérieur pour les mâles.

Les différences de réponses physiologiques en fonction des stades sexuels sont étudiées avec précision. Peu de références bibliographiques permettent de discuter des résultats.

Au cours de cette étude, l'ingestion des huîtres des stades 5-6 de maturité sexuelle, est plus faible pour la matière organique particulaire, et plus forte pour la chlorophylle *a*. Ainsi, l'efficacité de tri d'huître en stade de pré-ponte, serait supérieure à celle des autres stades.

Le potentiel de croissance est proche de "zéro" pour les stades 5-6, alors qu'il est positif pour les stades de maturité plus précoces et pour le stade de post-ponte. Bien que la différence soit non significative au seuil de 5% ($p = 0,066$), ce résultat doit être considéré avec intérêt. Davis (1988) dans une comparaison entre triploïdes et diploïdes de *C. gigas* en période de reproduction, montre que les huîtres diploïdes sous condition "stressante" liée à la maturation peuvent présenter un bilan énergétique négatif. La comparaison est faite entre des huîtres en phase de maturation avancée (diploïdes) et des huîtres triploïdes qui mûrent faiblement (Davis, 1988 ; Shpigel *et al.*, 1992), mais dont la réponse physiologique n'est probablement pas comparable à celle de diploïdes immatures.

A ce stade de maturation (pré-ponte), la comparaison faite entre des huîtres de 2,5 et 1,5 ans, montre combien ces dernières sont encore plus sensibles aux conditions stressantes de la maturation, en présentant un bilan énergétique négatif.

Déséquilibres dans la composition biochimique - Performances physiologiques faibles - Causes probables de mortalité

Le cycle biochimique peut être utilisé comme indicateur de l'état physiologique de l'huître. Ainsi des lots d'huîtres sur lesquels est notée une forte chute de la teneur en glycogène et un développement important des gonades, sont des lots plus sensibles en terme de mortalité (Mori, 1979). La forte densité de population d'huîtres dans le bassin de Marennes-Oléron, peut induire un faible rapport glycogène sur carbohydrate (Deslous-Paoli et Héral, 1988). Dans le cas de cette étude, le rapport glycogène sur carbohydrate est supérieur à 95 %. Le déséquilibre biochimique de l'année de reproduction, et (ou) la faiblesse des réserves de l'huître durant l'hiver précédent la ponte peuvent avoir une incidence en terme de survie sur le recrutement de l'année. Ainsi, en baie de Marennes-Oléron, Deslous-Paoli *et al.* (1982) ont comparé 2 années (1979 et 1981), en notant pour l'année 1981, un important retard dans la gamétogénèse, un état de pauvreté des réserves glucidiques, ainsi que de mauvaises conditions trophiques durant le printemps. Ces conditions particulièrement défavorables, entraîneront une perte de 10 % du cheptel en hiver, et 50 % de mortalité sur le grattage des juvéniles sur collecteurs au cours de l'année suivante (Berthomé *et al.*, 1982).

Contribution au modèle biologique de *Crassostrea gigas*

Dans le cadre de cette étude, le coefficient d'allométrie développé par Bougrier *et al.* (1995) pour *Crassostrea gigas* hors période de maturation sexuelle, est précisé pour la respiration en situation de maturation. La valeur du coefficient d'allométrie passe de 0,8 à 0,682. Le coefficient d'allométrie inférieur à 1 montre que les huîtres de plus faible poids respirent relativement plus que celles d'un poids plus élevé. Ce phénomène est d'autant plus marqué que le coefficient s'éloigne de 1. L'allométrie est donc plus forte pour les huîtres en cours de maturation.

Toutefois, alors que la fonction de filtration reste inchangée au cours de la maturation sexuelle, la demande en oxygène augmente. Ce résultat pourrait être associé avec le stress physiologique et les mortalités estivales. La demande énergétique augmente lorsque l'huître passe de 1g à 3g. La consommation d'oxygène passe de 0,8 à 2,0 mg/h, correspondant en fait à une demande énergétique de plus 16 joules par heure. Cette dépense énergétique

"excédentaire" reste faible devant les différences de potentiel de croissance notées entre les différents stades sexuels. Ces différences doivent être expliquées à un autre niveau par les fonctions de tri ou d'absorption.

CONCLUSION

En accord avec les résultats observés dans le milieu naturel, une différence de réponse physiologique, appréciée par la mesure de potentiel de croissance, apparaît selon les stades de maturité sexuelle, et selon l'âge de l'huître. Les huîtres à un stade de maturité sexuelle proche de la ponte (stade de pré-ponte) sont plus "fragilisées" qu'à d'autres stades sexuels. Il en est de même pour les huîtres dont la classe d'âge est celle d'une première année de maturité sexuelle. Ainsi, dans un contexte environnemental défavorable, ces populations sont susceptibles d'être frappées en premier par des épisodes de mortalités printanières et estivales.

Cette différence de réponse physiologique se manifesterait surtout au niveau de la consommation et de l'ingestion. Cet effet se répercute, via l'absorption, sur le potentiel de croissance pour lequel on constate une différence nette entre les stades de maturation 2, 3, 4 et les stades 5, 6. Les bilans énergétiques nuls ou négatifs laissent suspecter une fragilité plus importante des huîtres aux stades de maturité sexuelle avancés.

Ces résultats demandent à être confirmés avec une population témoin d'individus immatures et avec des effectifs plus importants pour chacun des stades sexuels.

Cette étude constitue par ailleurs un apport significatif au modèle biologique développé jusqu'alors sur *C. gigas* hors de la période de maturation. La différence est clairement mise en évidence à 21°C. L'allométrie devient plus marquée en période de maturation. Le coefficient d'allométrie de respiration de 0,682 se substitue à celui de 0,8 (Bougrier *et al.*, 1995). Ce résultat précise les besoins de respiration (métabolisme de base) qui augmentent avec le développement des gonades.

REFERENCES

- Ahlgren I., 1983. Comparison of methods for estimation of phytoplankton carbon. *Arch. Hydr. Biol.*, **98**: 489–508.
- Bacher C., 1989. Capacité trophique du bassin de Marennes–Oléron : couplage d'un modèle de transport particulaire et d'un modèle de croissance de l'huître *Crassostrea gigas*. *Aqua. Liv. Res.*, **2** : 199–214.
- Barillé L., J. Prou, M. Héral & Bougrier S., 1993. No influence of food quality, but ration-dependent retention efficiencies in the Japanese oyster *Crassostrea gigas*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **171**: 91–106.
- Bayne B.L., Gabott P.A. & Widdows J., 1975. Some aspects of the effect of stress in adult of the eggs and larvae of *Mytilus edulis* L. In: Effect of temperature on ectodermic animals, Wiesser (Ed.), Berlin – Springer Verlag.
- Bayne B.L., Brown D.A., Burns K., Dixon D.R., Ivanovici A., Linvingstone D R., Lowe D.M., Moore M.N., Stebbing A.R.D. & Widdows J., 1985. The effect of stress and pollution on marine animals. Praeger Publishing Compagny, pp 384.
- Berg C., 1969. Seasonal gonadal changes in adult oviparous oysters in Tomale Bay, California. *Veliger*, **12**: 27–36.
- Bernard F.R., 1974. Annual biodeposition and growth energy budget of mature Pacific oysters, *Crassostrea gigas*. *J. Fish. Res. Board. Can.*, **31**: 185–190.
- Berthomé J.P., Deslous–Paoli J.M., Héral M., Razet D. & Garnier J., 1982. Absence de captage de *Crassostrea gigas* dans le bassin de Marennes–Oléron en 1981 : causes et conséquences. *Cons. Inter. Exp. Mer*, **E** : 26.
- Bodoy A., Garnier J., Razet D., & Geairon P., 1990. Mass mortality of oysters, *Crassostrea gigas* during spring 1988 in the bay of Marennes–Oléron, related to environmental conditions. *Cons. Inter. Expl. Mer*, **C.M. 90/K 11**: 1–23.
- Bougrier S., Geairon P., Deslous–Paoli J.M., Bacher C. & Jonquieres G., 1995. Allometric relationships and effects of temperature on clearance and oxygen consumption rates of *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Aquaculture*, **134**: 143–154.
- Davis J.P., 1988. Energetic of sterile triploid oysters uncouple the reproductive and somatic effort of diploïds. *J. Shell. Res.*, **7**: p 114.
- Deslous–Paoli J.M. & Héral M., 1980. Valeur calorique de la chair de l'huître *Crassostrea gigas* Thunberg: estimation directe et biochimique. *Cons. Inter. Exp. Mer*, **C.N./K** :11.
- Deslous–Paoli J.M., Héral M., Berthomé J.P., Razet D. & Garnier J., 1982. Reproduction naturelle de *Crassostrea gigas* (Thunberg) dans le bassin de Marennes–Oléron en 1979 et 1981 : Aspects biochimiques et énergétiques. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **45** : 319–327.
- Deslous–Paoli J.M., Sornin J.M. & Héral M., 1987. Variations saisonnières *in situ* de la production et de la composition des biodépôts de trois mollusques estuariens (*Mytilus edulis*, *Crassostrea gigas*, *Crepidula fornicata*). *Haliotis*, **16** : 233–245.

- Deslous-Paoli J.M. & Héral M., 1988. Biochemical composition and energy value of *Crassostrea gigas* (Thunberg) cultured in the bay of Marennes-Oleron. *Aqua. Liv. Res.*, **1**: 239-249.
- Deslous-Paoli J.M., Lannou A.M., Geairon P., Bougrier S., Raillard O. & Héral M., 1992. Effect of feeding behaviour of *Crassostrea gigas* (bivalve molluscs) on biosedimentation of natural particulate matter. *Hydrobiologia.*, **231**: 85-91.
- Dinamini P., 1987. Gametogenetic Pattern in Populations of Pacific Oyster, *Crassostrea gigas*, in Northland, New Zealand. *Aquaculture*, **64**: 65-76.
- Gabbott P.A., 1975. Storage cycles in marine bivalve molluscs. A hypothesis concerning the relationship between glycogen metabolism and gametogenesis. *Proc.9 th. Europ. Mar. Biol. Symp.*, Barnes (Ed.), Aberdeen Univ. Press: 293-355.
- Gabbott P.A., 1976. Energy metabolism. In: Marine Mussels. Their ecology and physiology, Bayne (Ed.), Cambridge Univ. Press: 293-355.
- Gabbott P.A., 1983. Developmental and seasonal metabolic activities in marine molluscs. In: The mollusca, Wilbur & Saleuddin (Ed.), Academic press London, **2**: 165-217.
- Héral M., Razet D., Maestrini S. & Garnier J., 1980. Composition de la matière organique particulaire dans les eaux du bassin de Marennes-Oléron. Apport énergétique pour la nutrition des huîtres. *Cons. Inter. Exp. Mer C.N./L* : 44.
- Héral M., Deslous-Paoli J.M. & Sornin J.M., 1983. Transferts énergétiques entre l'huître *C. gigas* de 1 an et la nourriture potentielle disponible dans un bassin ostréicole : premières approches. *Oceanis*, **9** : 169-194.
- Héral M., Prou J. & Deslous-Paoli J M., 1986. Influence des facteurs climatiques sur la production conchylicole du bassin de Marennes-Oléron. *Haliotis*, **15** : 193-207.
- Héral M., 1989. L'ostréiculture traditionnelle. In : *Aquaculture*. Barnabé (Ed.). Lavoisier Press Paris. 348-397.
- Le Dantec J., 1968. Ecologie et reproduction de l'huître portugaise (*C. angulata*) dans le bassin d'Arcachon et la rive gauche de la Gironde. *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, **32** : 237-262.
- Lubet P., 1959. Recherche sur le cycle sexuel et l'émission de gamètes chez les Mytilidae et les Pectinidae (Moll. Bivalves). *Rev. Trav. Pêches Mar.*, **23** : 387-548.
- Lubet P., 1980. Influence des facteurs externes sur la reproduction des lamellibranches. *Océanis*, **6** : 469-489.
- Lubet P., 1991. Bases biologiques de la culture des mollusques. In: Bases biologiques et écologiques de l'aquaculture, Lavoisier (Ed.), Tech. & Doc : 500 p.
- Lucas A., 1982. La nutrition des larves de bivalves. *Oceanis*, **8** : 363-388.
- Mann R., 1979. Some biochemical and physiological aspects of growth and gametogenesis in *Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis* grown at sustained elevated temperatures. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, **59**: 95-110.
- Marteil L., 1976. La Conchyliculture française, 2ème partie. Biologie de l'huître et de la moule. *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, **40** : 149-346.

Maurer D., Comps M. & His H., 1986. Caractéristiques des mortalités estivales de l'huître *Crassostrea gigas* dans le bassin d'Arcachon. *Haliotis*, **15** : 309–317.

Maurer D. & Borel M., 1986. Croissance, engraissement et cycle sexuel de *Crassostrea gigas* dans le bassin d'Arcachon. Comparaison des huîtres âgées de 1 et 2 ans. Symp. S.F.M., Wimereux, Nov. 1985. *Haliotis*, **15** : 125–134.

Mok T.K., 1973. Studies on spawning and setting of the oyster in relation to seasonal environmental changes in Deep Bay, Hong Kong. *Fish. Bull.*, **3**: 89–101.

Mori K., 1979. Effects of artificial eutrophication on the metabolism of the Japanese oyster *Crassostrea gigas*. *Mar. Biol.* **53**: 361–369.

Muranaka M.S. & Lannan J.E., 1984. Broodstock management of *Crassostrea gigas*: environmental influences of broodstock conditioning. *Aquaculture*, **39**: 217–228.

Perdue J., Beattie J.H. & Chew K.K., 1981. Some relationship between gametogenic cycle and summer mortality phenomenon in the pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in Washington state. *J. Shell. Res.*, **1**: 9–16.

Price K. & Maurer D., 1971. Holding and spawning Delaware Bay oysters (*Crassostrea virginica*) out of season. 2 – Temperature requirement for maturation of gonads. *Proc. Natl. Shell. Assoc.*, **61**: 29–34.

Raillard O., 1991. Etude des l'interactions entre les processus physiques et biologiques intervenant dans la production de l'huître *Crassostrea gigas* (Thunberg) du bassin de Marennes–Oléron : essai de modélisation. Thèse de doctorat de l'université de Paris VI : 212 pp.

Razet D., Héral M., Prou J., Legrand J. & J M Sornin., 1990. Variation des productions saisonnières de biodépôts (féces et pseudofécès) de l'huître *Crassostrea gigas* dans un estuaire macrotidal : baie de Marennes Oléron. *Haliotis*, **10** : 143–161.

Robinson A., 1992. Dietary supplements for reproductive conditioning of *Crassostrea gigas* Kumato (Thunberg). I. Effect on gonadal development, quality of ova and larvae through metamorphosis. *J. Shell. Res.* **2**: 437–441.

Shpigel M., Barber B.J. & Mann R., 1992. Effects of elevated temperature on growth, gametogenesis, physiology, and biochemical composition in diploid and triploid Pacific oysters, *Crassostrea gigas* Thunberg. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **161**: 15–25.

Soletchnik P., Prou J., Héral M., Barille L., Razet D. & Guezennec L., 1991. Influence de la charge particulaire sur la filtration d'une population d'huître *Crassostrea gigas* dans le bassin estuarien de Marennes–Oléron (France) : analyse de deux cycles de marée. *Cons. Inter. Exp. Mer*, **F** : 53.

Soletchnik P., P. Gouletquer, N. Cochenec, T. Renault, P. Geairon and M. Héral (in press). Ecophysiological study of the Pacific oyster *C. gigas* naturally infected by a *Chlamydia*-like microorganism: infection level and diet effect on oyster physiological responses. *J. of Shell. Res.*

Strickland J.D.H., 1960. Measuring the production of marine phytoplankton. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 122: 1-172.

Widdows J., Fieth P., Worrall C.M., 1979. Relationships between seston, available food and feeding activity in the common mussel *Mytilus edulis*. *Marine Biology*, **50**: 195-207.

ANNEXES

Annexe 1. Séance de mesures physiologiques

reference cellule	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
reference huitre																					
reference filtre seston																					
reference filtre PF																					
reference filtre Feces																					
POIDS bidon + eau																					
Activité de l'huitre (1)																					
volume d'eau filtré (TPM)			T2 =					T4 =									Lot:		Huit:		
volume d'eau filtrée (chla)				production de F														Lot:		Huit:	
				production de P.F														Lot:		Huit:	
	T1 =							T3 =									Lot:		Huit:		

(1): A: active; F: fermée

DATE:

RIDRV -96

96-01	DRV/RA	RA/LA TRINITE	E.GOYARD	REMORA 93 : ANALYSE DES RESULTATS DE LA PREMIERE ANNEE DU RESEAU DE SUIVI DE LA CROISSANCE DE L'HUITRE CREUSE SUR LES COTES FRANCAISES	jan-96	Libre	60	?
96-02	DRV/RH	RH/SETE	M.TAQUET, Y.GUENNEGAN, J.BERTRAND	INVENTAIRE ET ORGANISATION DES DONNEES HALIEUTIQUES. REALISATION D'UN OUTIL DOCUMENTAIRE	jan-96	Libre	?	?
96-03	DRV/RA	RA/PORT EN BESSIN, RA/ LA TREMBLADE	M.ROPERT, P.GOULLETQUER, J.P.JOLY, P.GEAIRON, S.LEBOURHIS, E.LEGAGNEUR, F.RUELLE	DEVELOPPEMENT ET PROLIFERATION D'UNE POPULATION D'ANNELIDES TUBICOLES LANICE CONCHILEGA ASSOCIE A LA CONCHYLICULTURE EN BAIE DES VEYS (BAIE DE SEINE OCCIDENTALE)	jan-96	Libre	66	100
96-04	DRV/RH	RH/L'HOUMEAU	R.GUICHET	LE MERLU EUROPEEN (MERLUCCIUS MERLUCCIUS) - BILAN DES CONNAISSANCES BIOLOGIQUES - EVOLUTION DE L'EXPLOITATION - EVALUATIONS DES STOCKS ET MESURES DE GESTION	avr-96	Libre	50	?