

DETERMINISME DE LA MORTALITE ESTIVALE
DE L'HUITRE CREUSE, *Crassostrea gigas*,
EN CONDITION D'ELEVAGE INTENSIF

CHIFFOLEAU Yann

IFREMER
GAP/URAPL
Polder des champs
85230 BOUIN



SOMMAIRE

	page
1. INTRODUCTION	1
2. MATÉRIELS ET MÉTHODES.	3
2.1. Le matériel biologique.	
2.1.1. L'huître creuse <i>Crassostrea gigas</i>	3
2.1.2. L'algue <i>Skeletonema costatum</i>	4
2.2. Expérimentation n°1	
2.2.1. Nature et origine du lot	4
2.2.2. Le plan factoriel	5
2.2.3. Le dispositif expérimental	5
2.3. Expérimentation n°2	
2.3.1. Nature et origine du lot.	10
2.3.2. Le plan factoriel	10
2.3.3. Le dispositif expérimental	10
2.4. Expérimentation n°3	
2.4.1. Nature et origine du lot	8
2.4.2. Le plan factoriel	8
2.4.3. Le dispositif expérimental	9
2.5. Suivi des expérimentations.	
2.5.1. Les paramètres physicochimiques	13
2.5.2. Les paramètres biotiques	13
2.5.3. Les paramètres biométriques	13
2.6. Mesures de prophylaxie.	
2.6.1. Mesures relatives aux enceintes	17
2.6.2. Mesures relatives au milieu	17
2.6.3. Mesures relatives à la manipulation des huîtres	18
3. RÉSULTATS , DISCUSSION	22
3.1. Expérimentation n°1	
3.1.1. Evolution du milieu	22
3.1.1.1. Evolution des paramètres physicochimiques	22
3.1.1.2. Evolution des paramètres biotiques	26
3.1.2. Evolution du matériel biologique	26
3.1.2.1. Evolution des paramètres biométriques	26
3.1.3. Evolution du taux de mortalité	29
3.1.4. Discussion Expérience n°1	32

3.2. Expérimentation n°2	
3.2.1. Evolution du milieu	34
3.2.1.1. Evolution des paramètres physicochimiques	34
3.2.1.2. Evolution des paramètres biotiques	35
3.2.2. Evolution du matériel biologique	38
3.2.2.1. Evolution des paramètres biométriques	38
3.2.3. Evolution du taux de mortalité	41
3.2.4. Discussion Expérience n°2	44
3.3. Expérimentation n°3	
3.3.1. Evolution du milieu	47
3.3.1.1. Les paramètres physicochimiques	47
3.3.2. Evolution des paramètres biotiques.	48
3.3.3. Evolution du matériel biologique	48
3.3.3.1. Evolution des paramètres biométriques	48
3.3.3.2. Evolution du taux de mortalité	51
3.3.4. Discussion Expérience n°3	54
3.4. Discussion générale	55
4. CONCLUSION	57
5. BIBLIOGRAPHIE	58
6. ANNEXES	

RÉSUMÉ

Les techniques de prégrossissement et de grossissement intensif d'huître creuses *Crassostrea gigas* ont été mises au point avec comme objectif l'obtention d'une croissance maximale. Cependant, parallèlement à de forts taux de croissance on enregistre d'importantes mortalités estivales avec une augmentation marquée ces deux dernières années.

Notre étude porte sur l'influence de trois paramètres d'élevage intensif sur la croissance et la mortalité estivale de *Crassostrea gigas* :

- la température,
- la ration alimentaire,
- l'exondation.

L'objectif est de mettre en évidence et de hiérarchiser les facteurs favorables à l'apparition d'un pathogène dans un système de production intensive d'huîtres creuses, *Crassostrea gigas*. Une fois ces facteurs bien déterminés, une stratégie d'élevage pourrait être envisagée pour ramener le taux de mortalité à un niveau acceptable tout en conservant une croissance correcte.

Trois expériences ont été réalisées de mai à septembre 1995, deux sur des juvéniles et une sur des huîtres adultes. Les résultats obtenus pour les juvéniles nous permettent, tant sur le plan de la croissance que de la mortalité, de classer les trois facteurs de la façon suivante (par ordre décroissant d'importance) : température, exondation, ration alimentaire. En revanche pour les adultes l'élément déterminant, en terme de croissance, serait la ration alimentaire, suivi de la température, puis de l'exondation.

Il semble, d'après ces résultats, qu'une stratégie visant à diminuer le taux de mortalité doive s'appuyer sur un abaissement de la température d'élevage et sur une immersion en continu (sans exondation), la ration alimentaire serait à moduler en fonction de la taille des individus.

Cependant, il apparaît clairement que la mise en place d'une telle stratégie est subordonnée à l'obtention de souches d'huîtres creuses exemptes de pathogènes latents.

ABSTRACT

Intensive rearing techniques of pacific oyster, *Crassostrea gigas*, were optimized to obtain high growth rate, but during this time high summer mortalities were noted, especially for the past two years.

The aim of this study is to define the influences of three intensive rearing factors on growth rate and summer mortalities :

- temperature,
- food ration,
- intermittent immersion.

Thus we should be able to propose a new rearing strategy to maintain a good growth rate with a moderate mortality.

From may to september 1995, three experiments have been undertaken : two with seed oysters and one with adult oysters. According to the results obtained with seed, temperature seems to be the most important factor, followed by intermittent immersion and in thirdly by food ration. For adults the order is different : the most influential factor is food ration, followed by temperature and by intermittent immersion.

To reduce summer mortality, a new rearing technique should be based on a lower temperature, a constant immersion and a food ration which is to be designated according to oysters size.

But at first it's necessary to obtain strains of oyster free of latent disease.

REMERCIEMENTS

Avant toute chose, je tiens à remercier l'ensemble du personnel de la station *IFREMER* de Bouin pour le bon accueil qui m'a été réservé tout au long de ce stage, et tout particulièrement :

Jean-Pierre BAUD, chef de station et mon maître de stage, pour ses conseils avisés et pour son aide précieuse lors de la réalisation de ce travail,

Joël HAURE, responsable en écophysiologie des mollusques, pour son inégalable sens de l'humour et ses remarques pertinentes,

Max NOURRY, responsable "Nurserie", pour sa bonne humeur constante et les connaissances zootechniques qu'il m'a apporté,

Nicolas LEBAYON, responsable "Algoculture", pour m'avoir fait profiter de ses compétences techniques salutaires,

Françoise LAUNAY, secrétaire, pour avoir fait preuve d'une patience sans borne et avoir réalisé, toujours avec le sourire, la frappe de ce rapport et les innombrables corrections et retouches que nous y avons apporté ,

Dominique BAUD, de la "DEL", pour sa bonne humeur communicative,

et enfin **Emmanuelle CAMPION**, stagiaire, pour sa gentillesse et son aide au combien appréciée au cours de ce stage.

1. INTRODUCTION

L'huître creuse n'est pas une espèce endémique en France. En effet c'est à partir de 1860 que, pour faire face à une pénurie d'huître plate *Ostrea edulis*, le bassin d'Arcachon importe des huîtres creuses *Crassostrea angulata* en provenance du Portugal. En 1865, pour échapper à une tempête, un bateau, le "Morlaisien", doit se réfugier dans l'embouchure de la Gironde et y jeter sa cargaison. L'huître creuse *Crassostrea angulata* va s'y développer, gagner progressivement tout le sud-ouest et supplanter peu à peu l'huître indigène *Ostrea edulis*. En 1923 un décret interdit la culture de *Crassostrea angulata* au Nord de la Vilaine. En 1960 l'ostréiculture française produit 113 000 tonnes d'huîtres dont 85 000 tonnes d'huîtres creuses *Crassostrea angulata*. A la fin des années 60, l'apparition de la "maladie des branchies" est suivie dans les années 70 à 73 de mortalités massives qui conduisent à la disparition de *Crassostrea angulata* sur le littoral français (Héral, 1989; Grizel, 1991).

A partir de 1967, une espèce de remplacement *Crassostrea gigas*, originaire du Pacifique, est importée du Japon puis de Colombie Britannique (actuel Canada). Cette nouvelle espèce permet de relancer la production qui atteint dès 1972 un développement important. Actuellement l'ostréiculture Française produit de 130 à 140.000 tonnes d'huîtres, (essentiellement des creuses) et génère un chiffre d'affaires de 1,7 milliards de Francs. Les principaux centres de production sont, par ordre d'importance, la Normandie (32.000t/an), le bassin Marennes-Oléron (30.000t/an), la Bretagne (27.000t/an), la zone Ré-Centre Ouest (23.000t/an), le bassin d'Arcachon (13.000t/an) et la Méditerranée (12.000t/an) (Girard, 1995).

Berthomé et al (1986) et Belbeoc'h (1988) pour le bassin de Marennes-Oléron, Maurer et Borel (1990) pour le bassin d'Arcachon ont constaté qu'entre une année de faible captage et une année de captage abondant il pouvait exister un facteur de 5 à 10 en ce qui concerne la densité de naissains présents sur les collecteurs (Baud et al, 1991). Cette variabilité importante à longtermis été problématique en terme de maîtrise des stocks ostréicoles. Depuis quelques années la mise au point des techniques de production de *Crassostrea gigas* en milieu contrôlé (écloserie) permet de s'affranchir des aléas du captage naturel (Hidu 1981; Bacher, 1992). Actuellement, ces techniques de production, associées à des techniques de prégrossissement extensif ou intensif (Baud, 1988, 1990, 1991), permettent de produire 15 à 20% du naissain utilisé sur le plan national (Baud, com. pers.).

Dans la baie de Bourgneuf, le secteur de Bouin apparaît comme un site privilégié sur plusieurs points. Tout d'abord il bénéficie de l'excellente qualité d'eau de la baie tant sur le plan microbiologique que sur le plan chimique (métaux lourds, pesticides, etc...). D'autre part il présente de larges étendues de polders qui permettent d'envisager l'utilisation de structure

d'élevage alimentée en eau par gravité. Enfin, les eaux salées souterraines découvertes sur le pourtour de la baie, outre leur utilisation comme source géothermique, se sont révélées être très riches en sels nutritifs et permettent d'obtenir une culture monospécifique de *Skeletonema costatum* en grand volume et à faible coût (Baud, 1988; 1991, Robert, 1987).

De par ces atouts, le secteur de Bouin est devenu une importante zone de production de juvéniles ne comptant pas moins de 16 nurseries intensives implantées depuis 1990 et qui produisent annuellement de 150 à 200 millions de naissains par an (Baud, comme. pers.).

Par souci de rentabilité, les techniques de prégrossissement intensif de mollusques filtreurs ont été mises au point avec comme objectif l'obtention d'une croissance maximale. Cependant depuis quelques années, parallèlement à de forts taux de croissance, d'importantes mortalités estivales ont fait leur apparition avec une augmentation marquée ces deux dernières années (Baud, 1995). Des travaux récents effectués sur des lots d'huîtres moribondes, prélevées lors de mortalités brusques et importantes en écloserie et nurserie, ont mis en évidence la présence d'un pathogène de type "herpès virus" (Renault, 1994, Le Deuff, 1994). Ce pathogène a également été mis en évidence sur du naissain issu de captage naturel.

Si l'on considère les publications relatives aux mortalités estivales d'huîtres creuses des vingt dernières années, on remarque le rôle important joué par les facteurs environnementaux qui peuvent être impliqués dans l'apparition de ces mortalités soit de manière directe (Mori, 1979; Perdue, 1981; Beattie, 1982; Maurer, 1986; Meyer, 1990) soit de façon indirecte en favorisant l'expression d'un organisme pathogène (Comps, 1977; Leibovitz 1978, Sinderman, 1990; Friedman, 1991; Hine, 1992; Renault, 1994). Cependant tous les cas de mortalité estivale ne sont pas systématiquement liés à ces facteurs (Disalvo, 1978; Barber 1986; Le Deuff 1995, Dugan 1986).

Certains auteurs insistent sur l'importance d'une adéquation entre la température, la quantité de nourriture et la quantité d'oxygène dissous dans le milieu (Clauss, 1981; Baud, 1991) afin d'éviter des désordres physiologiques favorables à l'apparition de mortalités.

Cette adéquation est particulièrement menacée en été, période critique caractérisée par :

- Un cheptel fragilisé par la gamétogénèse et ne disposant que de réserves glucidiques réduites.
- De fortes températures qui induisent un métabolisme élevé et donc une demande accrue en nourriture et en oxygène.
- De faibles concentrations en oxygène dissous, liées à une température élevée et à une salinité croissante.
- Une population phytoplanctonique à un niveau très faible, les sels nutritifs ayant été quasiment épuisés par les efflorescences printanières.

Bien qu'en prégrossissement intensif l'apport de nourriture et d'oxygène ne soit pas, en principe, des facteurs limitants, Longh (1975), indique que le maintien à une forte température, s'il permet l'obtention de croissance maximale, peut aussi être à l'origine de stress entraînant de forte mortalité (in : Clauss, 1981).

Si les mortalités estivales peuvent souvent être mises en relation avec un métabolisme élevé et/ou la gamétogénèse on peut donc raisonnablement espérer réduire ces mortalités en limitant l'activité métabolique et/ou l'effort de reproduction des huîtres. On a ainsi vu la mise en place aux Etats Unis d'un programme de sélection visant à obtenir des individus plus résistants aux phénomènes de mortalités estivales (Beattie, 1982); Meyer cite l'exemple des Japonais qui, à l'approche des fortes chaleurs déplacent leurs structures flottantes d'élevage vers des zones moins riches en nourriture (Meyer, 1990).

C'est dans cet optique que s'inscrit cette étude qui porte sur l'influence des principaux paramètres d'élevage intensif sur la croissance et la mortalité de l'huître creuse *Crassostrea gigas*. L'objectif principal est la mise en évidence et la hiérarchisation des facteurs favorables à l'expression de pathogènes dans un système de production intensive d'huîtres creuses *Crassostrea gigas* (prégrossissement et grossissement.). Une fois ces paramètres connus, une stratégie d'élevage pourrait être envisagée pour réduire le taux de mortalité tout en conservant une croissance correcte.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES.

2.1. Le matériel biologique.

2.1.1. L'huître creuse *Crassostrea gigas*

L'huître creuse du Pacifique, *Crassostrea gigas* est un mollusque bivalve filibranche de la famille des ostréidés. C'est un mollusque filtreur c'est à dire qu'elle se nourrit essentiellement de particules en suspension dans l'eau de mer. Ces dernières sont filtrées et retenues par les branchies. Elles sont ensuite enrobées de mucus et orientées vers les palpes labiaux par des batteries de cils, elles sont alors ingérées et partiellement digérées dans l'estomac. Le reliquat transite par l'intestin et est évacué sous forme de fèces. Lorsque les particules sont trop abondantes ou trop grosses, elles sont rejetées par les branchies et les palpes labiaux sous forme de pseudofèces (Héral, 1989). Pastoureaud (1993) a même parlé de "sélectivité" de l'ingestion particulière chez *Crassostrea gigas*, qui pourrait trier les particules pour ingérer préférentiellement du matériel vivant par rapport à du matériel détritique.

Crassostrea gigas est une espèce eurytherme (-1 à 30°C) et euryhaline (5 à 40g.l⁻¹), cette robustesse associée à une croissance plus rapide que celle de bon nombre d'autres bivalves lui vaut d'être exploitée dans de nombreux pays au climat tempéré ou même subtropical. On estime que sur le million de tonnes produit chaque année dans le monde, un peu moins des deux tiers sont le fait de *Crassostrea gigas*.

2.1.2. L'algue *Skeletonema costatum*

La microalgue *Skeletonema costatum* est une algue unicellulaire qui appartient à la classe des diatomophycées (ou diatomées), à l'ordre des centrales, ou sous-ordre des *Coscinodiscineae* et à la famille des *Thalassiosiraceae* (Ricard, 1987). Cette diatomée se présente sous la forme de cellules coloniales cylindriques, distantes les unes des autres, reliées par des tubules externes et disposées longitudinalement de façon à former une chaîne droite.

Les eaux salées souterraines de la baie de Bourgneuf, et tout particulièrement celles du secteur de Bouin, se sont révélées être de très bon milieu de culture pour *Skeletonema costatum* ce qui a permis dès 1983 la production de cette micro algue en grand volume et à faible coût (Baud, 1988, 1991; Robert, 1987). Etant donné sa facilité de culture et son coût de production, *Skeletonema costatum* s'est imposée dans toutes les nurseries du secteur comme algue fourrage unique. La station IFREMER de Bouin quant à elle en produit 100 m³ par jour avec des concentrations cellulaires variant de 700 000 à 1,5 millions de cellules par millilitre (Nourry, com.pers.).

2.2. Expérimentation n°1

2.2.1. Nature et origine du lot

Les huîtres utilisées pour l'expérimentation n°1 sont des juvéniles de taille "T4" ce qui signifie qu'elles sont retenues sur un tamis à mailles carrées de 4 mm de côté mais qu'elles passent au travers d'un tamis à mailles carrées de 6mm de côté. Ces juvéniles sont toutes issues d'un même lot fournit par l'écloserie de Ronces les Bains (IFREMER). On notera qu'aucune mortalité significative n'est apparue sur ce lot avant le début de l'expérimentation.

2.2.2. Le plan factoriel

Dans cette expérience trois paramètres d'élevage seront testés : la quantité de nourriture, la température et l'exondation (ou "assec").

Pour chacun de ces paramètres nous avons choisi deux niveaux:

- *Nourriture* :

Les jeunes recevront soit la quantité de phytoplancton optimale en nurserie (N_{4x}): 216 millions de cellules par jour et par individu soit une quantité quatre fois moindre (N_{1x}) : 54 millions de cellules par jour et par individu.

- *Température* :

Nous utiliserons soit de l'eau de mer à température normale (T_{nor}) soit de l'eau de mer refroidie (T_{ech}) au moyen d'un échangeur thermique utilisant de l'eau de forage (13,5°C) comme fluide caloporteur.

- *Exondation* :

Les différents lots seront soit immergés en continu (E_{\emptyset}), soit mis à sec pendant deux heures deux fois par jour, de 9h 30 à 11h 30 et de 15h à 17h (E_1).

Tableau 1 :Tableau récapitulatif des options d'élevage

	Nourriture	Température	Exondation
Option 1	216.10 ⁶ cellules/jour/individu (N_{4x})	normale (T_{nor})	non (E_{\emptyset})
Option 2	54.10 ⁶ cellules/jour/individu (N_{1x})	échangée (T_{ech})	oui (E_1)

Chaque combinaison sera appliquée à 2 lots de 4 000 huîtres. L'un de ces deux lots sera qualifié de "réplicat", de telle sorte que les huit combinaisons précitées seront testées sur deux séries de huit lots d'huîtres juvéniles. Ces répliquats nous permettront de vérifier l'absence d'un effet "enceinte" trop important.

2.2.3. Le dispositif expérimental

a) Les enceintes (photo 1)

Les 16 lots seront isolés dans des enceintes expérimentales, alimentées selon le principe du flux continu ascendant utilisé habituellement en nurserie (schéma 2).

Ces enceintes présentent un volume utile de 99 l et ont été équipées de manière à recevoir un tube tamis de 20 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur. Le fond de ces tubes

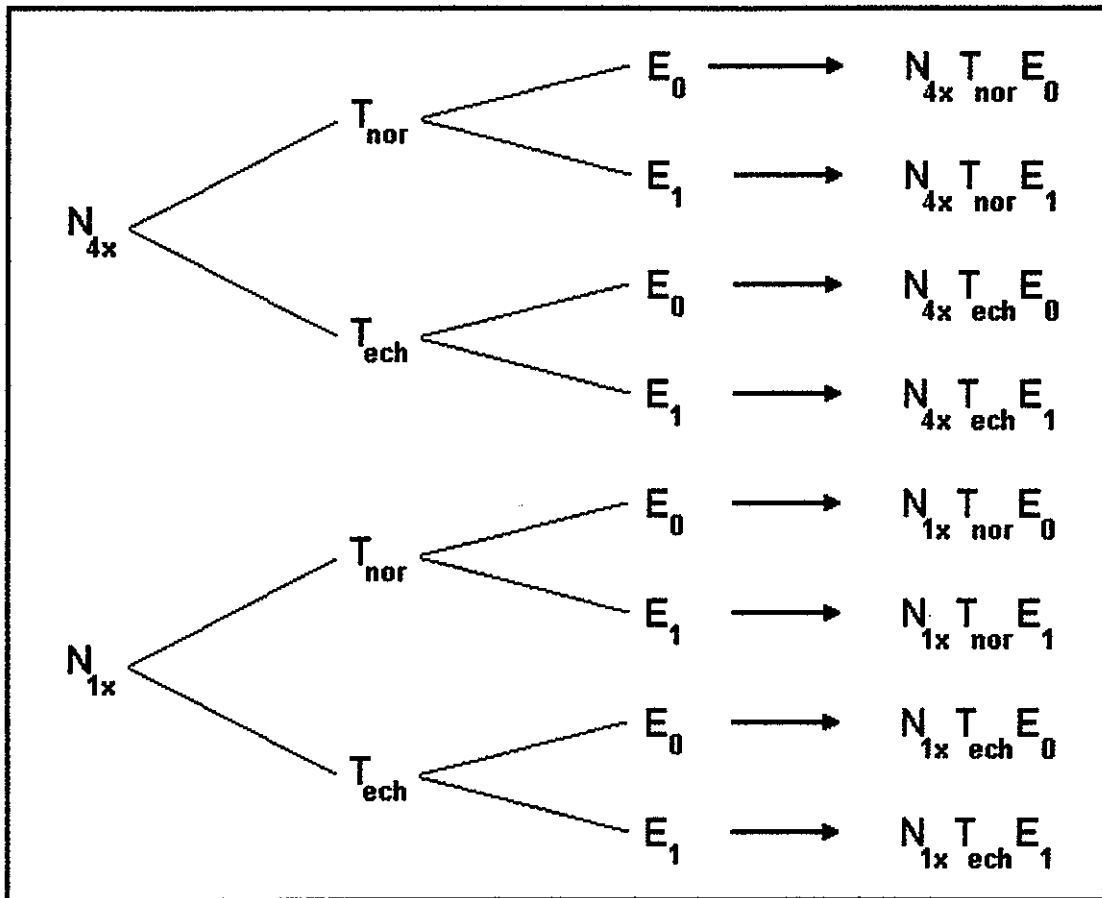


Schéma. n°1 : La combinaison des trois paramètres à deux options donne un plan d'expérience avec huit (2^3) modalités d'élevage différentes (N= nourriture, E=exondation, T=température).

Exemple : N_{4x} T_{ech} E₁ = Nourriture élevée, température abaissée par échangeur et exondation forcée de deux fois deux heures par jour.



Photo. 1 : type d'enceintes utilisées pour les juvéniles.

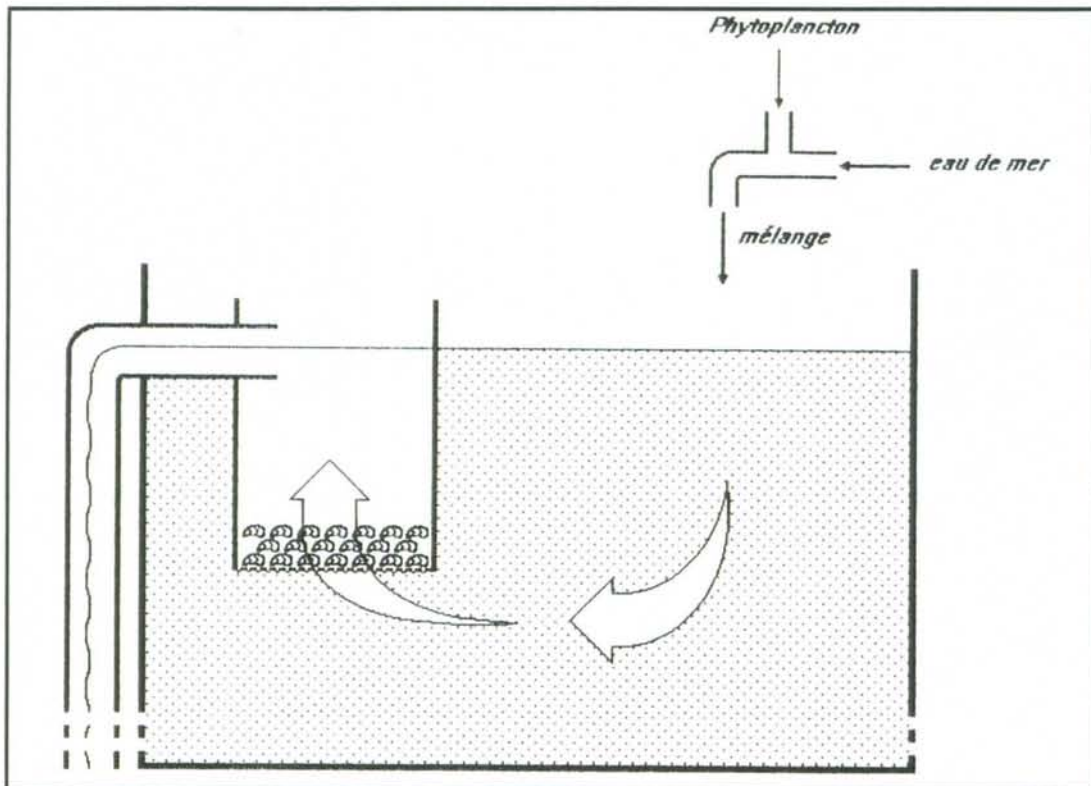


Schéma 2 : principe de la nurricerie à flux continu ascendant : le mélange eau de mer/phytoplancton n'est évacué qu'après passage par le tube-tamis contenant les juvéniles.

destinés à supporter les juvéniles est pourvu d'un tamis en nylon de mailles carrées de 1 mm de côté.

b) L'alimentation en phytoplancton.

Les débits de phytoplancton ont été calculé sur la base d'une culture présentant une concentration moyenne de 1,25 millions de cellules par millilitre. Le tableau 2 présente les résultats obtenus pour 4 000 juvéniles

Tableau 2 : Débits utilisés pour l'alimentation en phytoplancton

	Quantité de nourriture (cellules/jour/indiv)	Débit par enceinte (l / h)
N 4x	216 000 000	28,8
N 1x	54 000 000	7,2

Le phytoplancton, est pompé dans le canal d'alimentation de la nurserie (photo 2) et déversé dans le bac se trouvant au centre du dispositif expérimental. Le phytoplancton, maintenu en suspension par une pompe immergée EHEIM, est repris et distribué aux différentes enceintes par trois pompes doseuses (photo 3).

L'eau de forage, milieu de culture de *Skeletonema costatum*, présente l'inconvénient de former un dépôt d'hydroxyde de fer qui se dépose sur les parois du bac, des tuyaux d'alimentation et dans les pompes doseuses. Ce dépôt étant susceptible d'altérer les débits, il convient pour y remédier d'effectuer chaque semaine un nettoyage avec une solution d'acide chlorhydrique dilué.

c) L'alimentation en eau.

Conformément aux travaux réalisés à la station IFREMER de Bouin (Baud, 1988, 1991), le débit du mélange eau de mer/phytoplancton a été fixé à 500 l/h/enceinte (tableau 3), soit un taux de renouvellement de 500% par heure. L'eau de mer à température normale est pompée dans le puisard d'alimentation de la nourricerie. L'eau de mer refroidie pompée au même endroit, passe par un échangeur thermique utilisant l'eau de forage comme source de frigories (Photo 4).

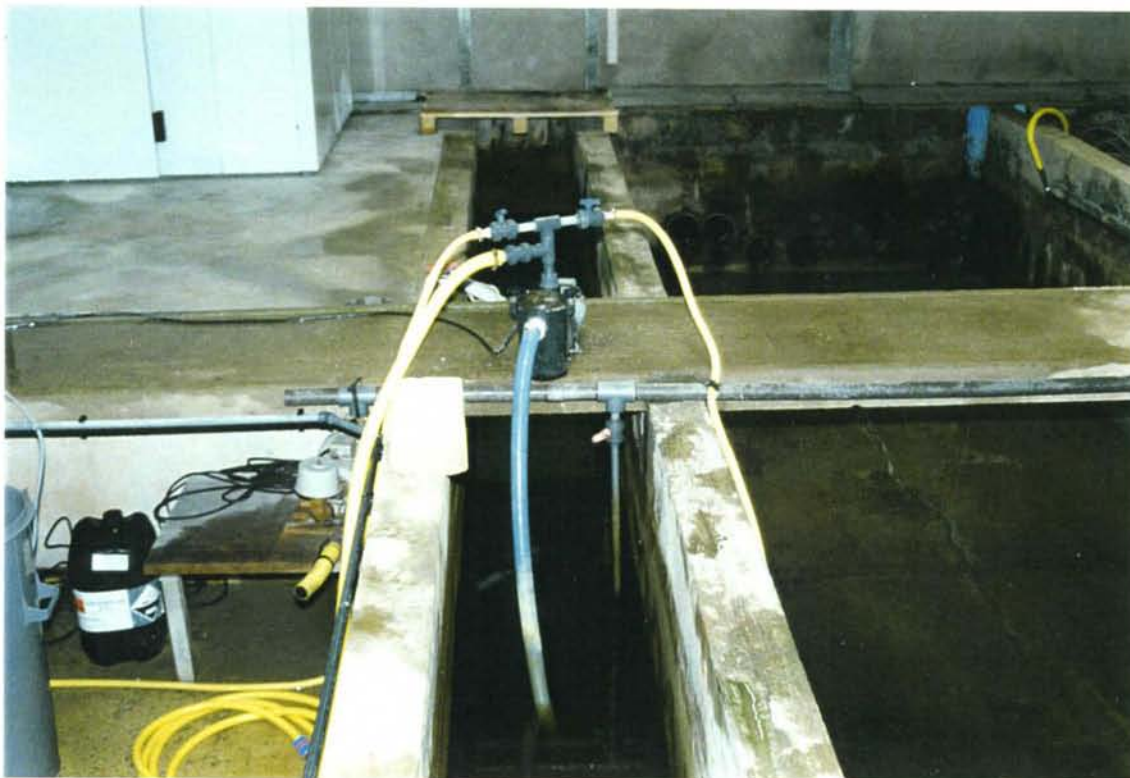


Photo. 2 : Canal d'alimentation en phytoplancton.

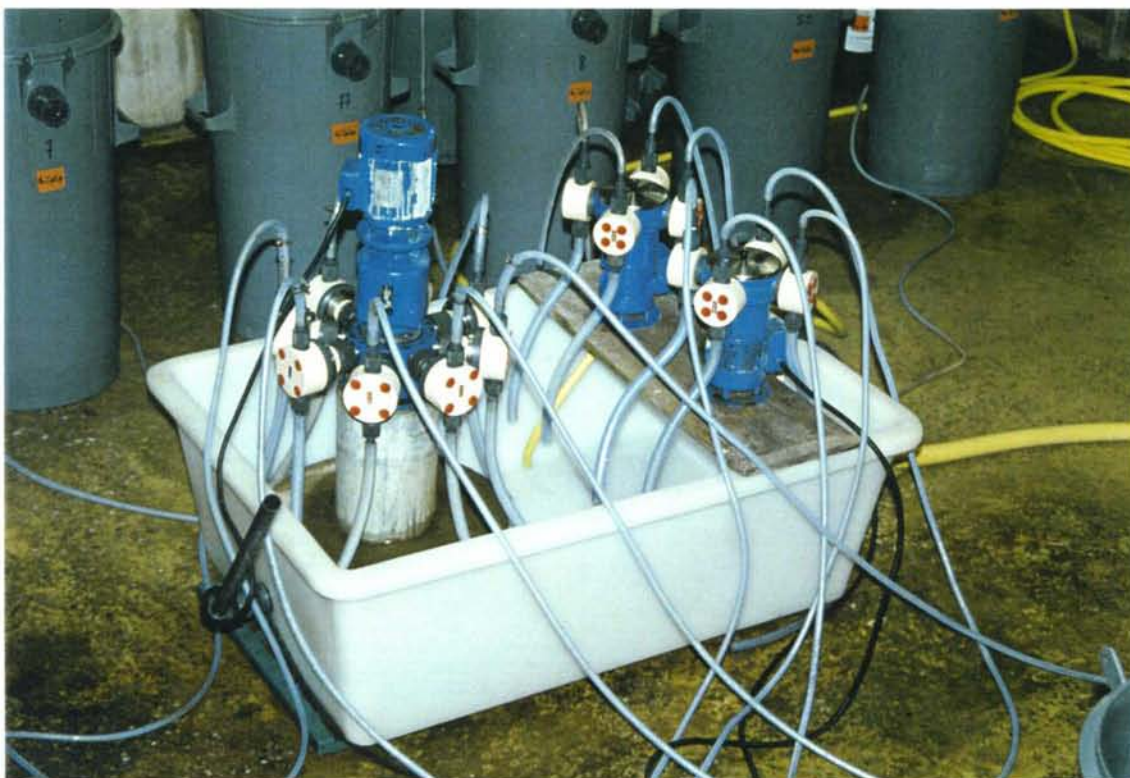


Photo. 3 : Les pompes doseuses et le bac d'alimentation en phytoplancton.

Tableau 3 : Récapitulatif des débits utilisés pour le mélange eau de mer /phytoplancton

	Débit de phytoplancton (l/h)	Débit eau de mer (l/h)	Débit du mélange (l/h)
N _{4x}	28,8	471,2	500
N _{1x}	7,2	492,8	500

d) La disposition des lots (schéma 3; photo 5).

Nous disposerons de deux rampes d'alimentation en eau de mer permettant chacune d'alimenter huit enceintes. Le choix de la rampe recevant l'eau à température normale et de celle recevant l'eau "échangée" a été effectué de façon aléatoire.

Le long de ces deux rampes, la répartition de lots a été assurée par tirage au sort.

2.3. Expérimentation n°2**2.3.1. Nature et origine du lot.**

Les huîtres utilisées pour cette deuxième expérience sont des juvéniles de taille "T4" toutes issues d'un unique et même lot fournit par une éclosérie installée dans les polders de Bouin.

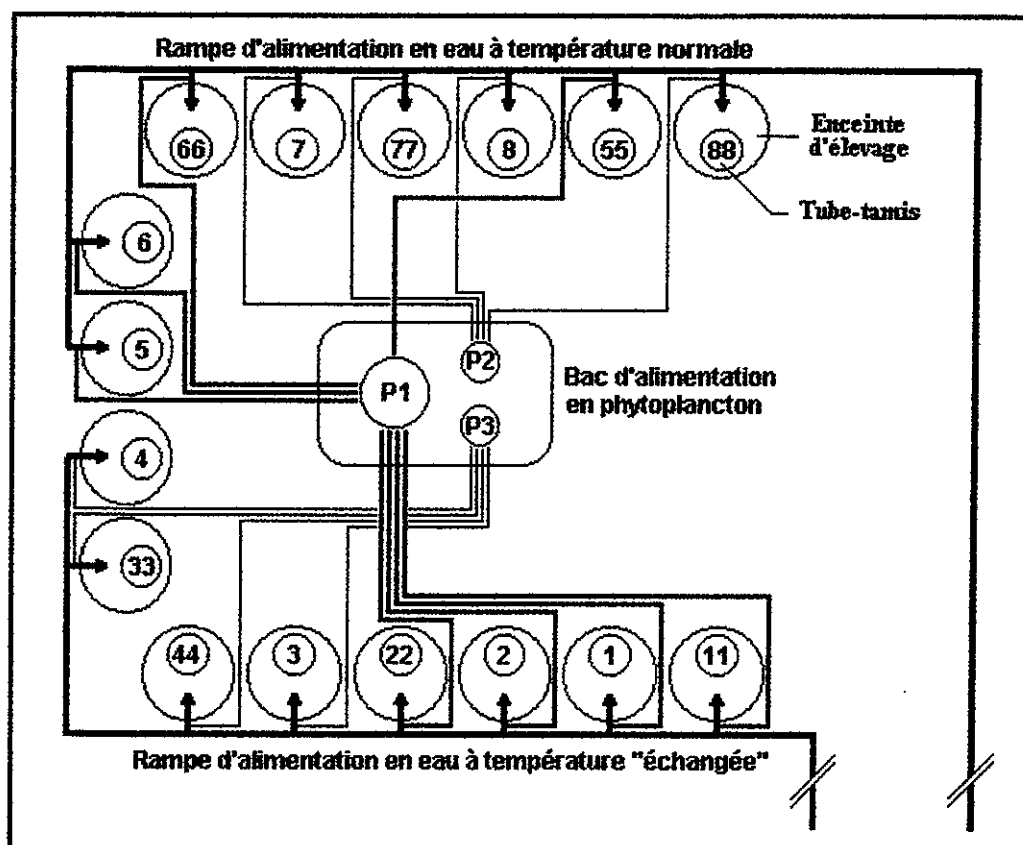
On notera que ce lot était suspect quand à la présence de pathogène puisque des mortalités importantes étaient intervenues sur ce lot dans le mois précédent l'expérimentation (Campion, com. pers.).

2.3.2 Le plan factoriel

Pour cette expérience, les paramètres et les options choisis sont identiques à ceux de l'expérimentation n°1. Par contre, les huit combinaisons ne seront testées que sur huit lots de 4 000 huîtres (sans réplicat).

2.3.3. Le dispositif expérimental

Le dispositif utilisé est identique à celui de l'expérience précédente à cela près que nous n'utiliserons que huit enceintes.



numéro	combinaison	numéro	combinaison
1 et 11	$N_{4x}TechE1$	5 et 55	$N_{4x}TnorE1$
2 et 22	$N_{4x}TechE0$	6 et 66	$N_{4x}TnorE0$
3 et 33	$N_{1x}TechE1$	7 et 77	$N_{1x}TnorE0$
4 et 44	$N_{1x}TechE0$	8 et 88	$N_{1x}TnorE1$

Schéma. n°3 : Représentation schématique de l'expérience 1, les codes utilisés pour les différentes combinaisons de facteurs sont présentés dans le tableau ci-dessus. P1 est la pompe doseuse utilisée pour les forts débits de phytoplancton (N_{4x}), P2 et P3 sont celles utilisées pour les faibles débits (N_{1x}).

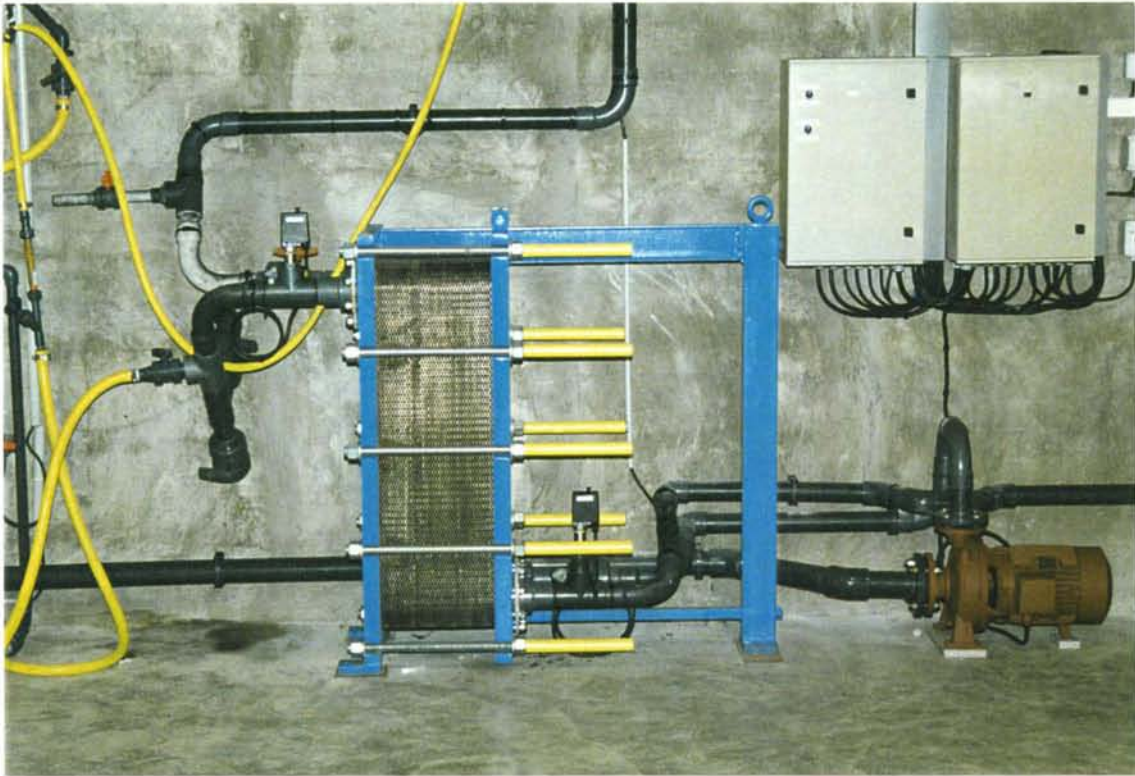


Photo. 4 : L'échangeur thermique utilisé pour obtenir une eau refroidie.



Photo. 5 : Vue d'ensemble de l'expérience 1.

2.4. Expérimentation n°3

2.4.1. Nature et origine du lot

Les huîtres utilisées sont des huîtres adultes de 2 ans, d'un poids compris entre 45 et 50g ($47,4g \pm 1,7$ au risque 5%, $n = 240$). Elles sont issues de la baie de Bourgneuf et ont été fournies par un ostréiculteur du polder de Bouin. On notera que le contexte était particulier en baie de Bourgneuf puisque des mortalités estivales importantes étaient apparues au niveau des huîtres cultivées sur les parcs (Baud, 1995).

2.4.2. Le plan factoriel

Pour cette expérience, si les paramètres testés sont les mêmes que dans les expérimentations effectuées sur les juvéniles (nourriture, température, exondation), on notera certaines différences en ce qui concerne l'alimentation en phytoplancton. Nous utiliserons :

soit une quantité de nourriture considérée comme optimale en grossissement intensif :

- 5 milliards de cellules par jour et par individu (Haure, com. pers.),

soit une quantité quatre fois inférieure :

- 1,25 milliards de cellules par jour et par individu.

Chacune des 8 combinaisons des différents facteurs est appliquée à un lot de 30 huîtres.

2.4.3 Le dispositif expérimental

a) Les enceintes (Photo 6 et 7).

Les huit lots sont isolés dans des bacs rectangulaires ($L = 50$ cm, $l = 33$ cm, $h = 43$ cm). Ces enceintes d'un volume utile de 67 litres sont équipées d'une structure tubulaire en PVC permettant de les alimenter par le fond. Un système de bullage, intégré à cette structure permet, outre un apport d'oxygène, l'établissement d'un léger courant qui permet d'homogénéiser le mélange eau de mer/phytoplancton présent dans les bacs. Chaque enceinte reçoit trois clayettes empilées contenant trente huîtres numérotées réparties de la façon suivante :

- niveau haut, n° 1 à 10,
- niveau médian, n° 11 à 20,
- niveau bas, n° 21 à 30.

b) L'alimentation en phytoplancton

Les débits de phytoplancton ont été calculés sur la base d'une culture phytoplanctonique présentant une concentration cellulaire de 1,25 millions de cellules par millilitre (tableau 4).

Tableau 4 : Débits utilisés pour l'alimentation en phytoplancton

	Quantité de nourriture (cellules/ jour / individu)	Débit par enceinte (en l / h)
N _{4x}	5 milliards	4,96
N _{1x}	1,25 milliards	1,26

La distribution est assurée par le même système que celui utilisé pour les juvéniles.

c) L'alimentation en eau

L'alimentation en eau à température normale ou non est réalisée de la même façon que pour les juvéniles. Le débit du mélange eau de mer/phytoplancton est fixé à 5 l par heure et par individu, débit considéré comme optimal pour le grossissement intensif des adultes (Haure, com. pers.).

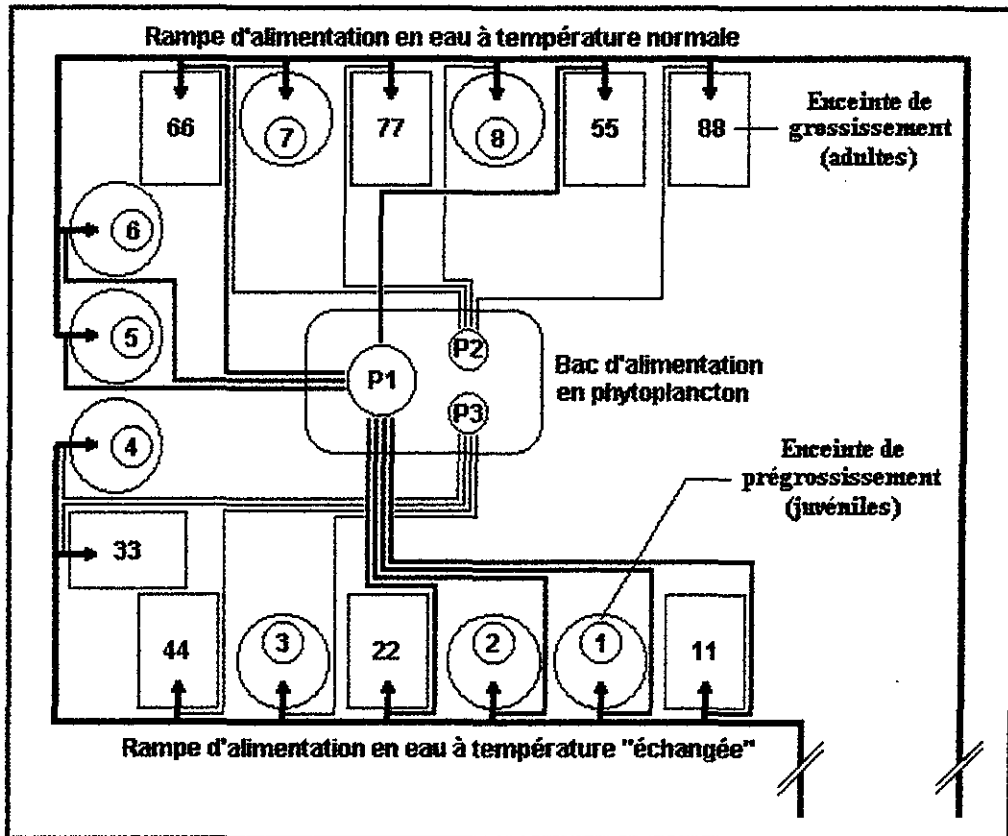
Contenant 30 huîtres, chaque enceinte recevra donc 150 litres de mélange par heure (tableau 5), soit un renouvellement horaire de 224%.

Tableau 5 : Récapitulatif des débits utilisés pour le mélange eau de mer/phytoplancton

	Phytoplancton (l/h)	Eau de mer (l/h)	Mélange (l/h)
N _{4x}	4,96	145,04	150
N _{1x}	1,26	148,74	150

d) La disposition des lots

La troisième expérience ayant lieu en même temps que la deuxième. Les huit lots seront placés dans l'emplacement resté libre, réservé aux réplicats lors de la première expérimentation. Le schéma 4 présente le dispositif expérimental tel qu'il a été utilisé lors des expérimentations 2 et 3.



numéro	combinaison	numéro	combinaison
1 et 11	$N_{4x}TechE1$	5 et 55	$N_{4x}TnorE1$
2 et 22	$N_{4x}TechE0$	6 et 66	$N_{4x}TnorE0$
3 et 33	$N_{1x}TechE1$	7 et 77	$N_{1x}TnorE0$
4 et 44	$N_{1x}TechE0$	8 et 88	$N_{1x}TnorE1$

Schéma. n°4 : Représentation schématique des expériences 2 et 3, les cercles numérotés de 1 à 8 représentent les enceintes utilisées pour les juvéniles et les rectangles celles utilisées pour les adultes. Les codes utilisés pour les différentes combinaisons de facteurs sont présentés dans le tableau ci-dessus. P1 est la pompe doseuse utilisée pour les forts débits de phytoplancton (N_{4x}), P2 et P3 sont celles utilisées pour les faibles débits (N_{1x}).



Photo. 6 (à gauche) : Type d'enceinte utilisé pour les adultes.

Photo. 7 (à droite) : Clayettes empilées sur trois niveaux pour recevoir les huîtres adultes.



2.5. Suivi des expérimentations.

2.5.1 Les paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques sont mesurés quotidiennement et à heure fixe (entre 9h et 9h30).

a) L'oxygène

La teneur en oxygène dissous et le pourcentage de saturation est mesuré à l'aide d'un oxymètre YSI modèle 58, à l'entrée et à la sortie de chaque tube tamis pour les juvéniles et en deux points de l'enceinte pour les adultes.

b) La turbidité

La turbidité de l'eau de mer fournie au système expérimental est mesurée à l'aide d'un turbidimètre HACH (modèle 2100A), sensible entre 0,1 et 1 000 NTU (unité néphélométrique de turbidité) avec une précision de 5 à 10%.

c) La salinité

Elle est mesurée sur l'eau de mer arrivant dans le dispositif à l'aide d'un conductimètre salinomètre WTW modèle LF 196 précis au 10ème de g/l.

d) La température

Deux thermomètres mini-maxi, précis au degré, permettent de relever les variations au niveau de l'eau à température normale et de l'eau refroidie par l'échangeur thermique. Pour chacune des deux qualités d'eau la sonde est immergée sur le bord et à mi-hauteur d'une des enceintes expérimentales.

2.5.2. Les paramètres biotiques

La quantité d'énergie présente dans le milieu d'élevage et disponible pour les mollusques est évaluée à partir des teneurs en lipides, protéines et glucides du matériel particulaire en suspension.

Le but de ce suivi étant de quantifier la prise de nourriture, les prélèvements sont réalisés à l'entrée et à la sortie de quatre enceintes, correspondant aux quatre combinaisons possibles entre la température et la quantité de nourriture. Pour des raisons techniques, les

prélèvements ayant lieu entre 10h et 10h30, ceux-ci sont réalisés sur les lots qui ne subissent pas d'exondation.

Au préalable, les enceintes et les huîtres sont lavées abondamment afin d'éliminer les fécès et les pseudofécès, source d'erreur lors des analyses.

Les prélèvements sont effectués 15 à 20 minutes après la remise en eau pour permettre aux huîtres de reprendre leur activité.

Les échantillons sont préfiltrés sur un tamis à mailles de 100µm puis filtrés sur filtre Whatman GFC (porosité 0,45 µm). C'est le matériel particulaire retenu sur ce filtre qui est analysé. Les protéines sont dosées selon la méthode de Lowry et *al* (1951), les glucides suivant la méthode de Dubois et *al* (1956) et les lipides, extraits au chloroforme, sont dosés suivant le protocole de Marsh et Weinstein (1966).

Les résultats sont exprimés en mg/l d'équivalent d'albumine de boeuf pour les protéines, de glucose pour les glucides et d'acide tripalmitique pour les lipides.

A partir de ces résultats on peut calculer l'énergie particulaire en joule par litre selon l'équation de Brody (1945):

$$E (j/l) = 23,65 \times \text{Protéines (mg/l)} + 17,6 \times \text{Glucides (mg/l)} + 39,56 \times \text{Lipides (mg/l)}$$

Ces prélèvements sont réalisés de façon hebdomadaire dans l'expérience n°1 et de façon plus ponctuelle pendant les deux expérimentations suivantes, cela en raison d'un calendrier plus chargé.

2.5.3. Les paramètres biométriques

Les paramètres biotiques sont suivis de façon bimensuelle et sont différents pour les juvéniles et les adultes.

a) Les juvéniles

- Poids moyens calculés et taux de croissance

Deux fois par mois, chaque lot est tamisé de façon à obtenir la répartition de la population sur 6 classes de taille : "T4", "T6", "T8", "T10", "T12" et "T14 et plus". Pour chaque classe de taille, 3 échantillons d'environ 100 huîtres sont pris au hasard, pesés et dénombrés. A partir du poids moyen et du pourcentage représenté par chaque individu par classe de taille on peut obtenir le poids moyen calculé de la population :

$$P_{mc} = \sum_{n=1}^6 (P_{m(n)} \times r(n))$$

P_{mc} : poids moyen calculé de la population.

$P_{m(n)}$: poids moyen de la classe de taille "n".

$r(n)$: pourcentage de la population représenté par la classe de taille "n".

et le taux de croissance journalier (G1), adapté de la formule du G30 de Spencer et Gough (1978) :

$$G1 = \frac{1}{t - t_0} \times \ln \frac{W_t}{W_0}$$

W_0 = Poids initial (en g)

W_t = poids des juvéniles à l'instant t (en g)

$t - t_0$ = Durée séparant deux mesures (en jours)

- Taux de mortalité

Les mortalités estivales intervenant dans les écloséries et nurseries de bivalves sont généralement brusques et présentent une évolution rapide, nous avons donc opté pour une stratégie de veille quotidienne et de suivis ponctuels.

Les juvéniles sont examinés quotidiennement de façon à détecter précocement le moindre signe de mortalité (juvéniles ouvertes avec ou sans chair). Dès l'apparition de mortalité dans un ou plusieurs lots, tous les lots font l'objet d'une estimation. Pour chacun on prélève au hasard trois échantillons, d'environ 100 huîtres, dans lesquels on dénombre les mortes et les survivantes. Parallèlement à ces estimations des huîtres moribondes seront prélevées, fixées dans le liquide de Carson et transmises au Laboratoire de Pathologie de La Tremblade (IFREMER) en vue d'un diagnostic quant à la présence d'un pathogène.

b) Les adultes

- Longueur, poids total et taux de croissance

Deux fois par mois tous les lots sont lavés et égouttés, après quoi chaque huître fait l'objet d'une mesure de longueur et d'une pesée individuelle. Ces données nous permettent de calculer la longueur moyenne et le poids moyen d'un même lot. Le taux est calculé à partir du poids individuel selon la formule du G30 de Spencer et Gough (1978) :

$$G_{30} = \frac{30}{t - t_0} \times \ln \frac{W_t}{W_0}$$

W_0 = Poids initial (en g).

W_t = Poids des huîtres à l'instant t (en g).

$t - t_0$ = durée séparant deux mesures (en jour)

Le taux de croissance moyen est calculé pour chaque lot.

- Poids vivant, poids de coquille, poids de chair sèche et Indice de condition.

Le poids vivant individuel est obtenu après lavage et égouttage. Le poids de chair sèche est obtenu après lyophilisation (48h) et stockage dans un dessiccateur (24h) . Le poids de coquille est mesuré après plusieurs jours de séchage à l'air ambiant.

L'indice de condition de Lawrence et Scott (1982), qui permet de qualifier l'état de remplissage de l'huître , est calculé suivant la formule suivante :

$$I.C. = \frac{\text{Poids de chair sèche (g)}}{\text{Poids total (g) - Poids de coquille (g)}} \times 1000$$

Ces opérations sont réalisées en début d'expérience sur 30 huîtres issues du lot initial et en fin d'expérience pour chaque lot d'adulte.

2.6. Mesures de prophylaxie.

Dans le cadre de nos expériences, l'objectif n'est pas d'empêcher l'apparition de pathologies, comme c'est le cas en général (Stewart, 1989), mais d'éviter toute contamination d'un lot à l'autre. Pour ce faire nous avons dû prendre un certain nombre de mesure.

2.6.1. Mesures relatives aux enceintes

Afin d'éviter les projections d'eau vers d'autres enceintes ou vers le bac d'alimentation en phytoplancton , la sortie des enceintes destinées aux juvéniles est équipée d'un coude et d'un tube de PVC vertical descendant jusqu'à quelques centimètres du sol.

2.6.2. Mesures relatives au milieu

Afin de limiter les risques de contamination, il a été décidé que tout ce qui est susceptible d'entrer en contact avec le milieu d'élevage et de passer d'un lot à l'autre doit être désinfecté entre chaque utilisation.

Cette mesure concerne essentiellement les mains et la sonde de l'oxymètre qui entre chaque lot, doivent être immergés dans une solution diluée d'eau de javel puis rincés à l'eau de mer.

2.6.3. Mesures relatives à la manipulation des huîtres

Tamisage des juvéniles

Lors de cette opération, entre chaque lot, tous les ustensiles utilisés (tamis, bacs, etc,...) sont désinfectés au moyen d'une solution diluée d'acide peracétique et de peroxyde (nom commercial : Basoxy 2000) puis rincés à l'eau douce.

Mesure et comptage

Lors de ces opérations, entre chaque lot, tout ce qui est susceptible d'entrer en contact avec les huîtres est passé à l'eau de javel (les mains, les récipients servant aux pesées, le plan de travail etc...).

3. RÉSULTATS , DISCUSSION

3.1. Expérimentation n°1

Cette expérience réalisée sur des huîtres juvéniles a débuté le 15 mai et s'est achevée le 17 juillet soit 65 jours d'expérimentation.

3.1.1. Evolution du milieu

3.1.1.1. Evolution des paramètres physico-chimiques

La température (fig. 1)

En ce qui concerne l'eau à température normale on peut distinguer trois périodes :

- du 15 mai au 24 mai on passe de valeurs moyennes d'environ 13,5°C à des valeurs proches de 18°C,
- du 24 mai au 15 juin, on note une relative stabilité avec des températures oscillant autour de 18°C,
- du 15 juin au 17 juillet, où la température s'élève progressivement jusqu'à des valeurs de 22 à 23°C avec deux pics à 27°C le 30 juin et le 10 juillet.

Sur l'ensemble de l'expérience on note une température moyenne de $19,3^{\circ}\text{C} \pm 0,7$ (au risque 5% pour $n = 63$) avec des amplitudes journalières de 1 à 7°C pour une moyenne de 4°C.

En ce qui concerne l'eau refroidie si l'on considère les trois périodes définies plus haut, on note des variations beaucoup plus discrètes avec :

- un passage progressif de 13°C à 14-15°C,
- une période de stabilité autour de 14 à 15°C,
- une augmentation progressive jusqu'à des températures de 15 à 17°C.

On note un certain nombre de pics de températures qui correspondent à des dysfonctionnements de l'échangeur thermique, notamment le 24 juin, 21°C et le 29 juin, 24°C.

Sur l'ensemble de l'expérimentation on note une température moyenne de $15,1^{\circ}\text{C} \pm 0,3$ (au risque 5% pour $n = 63$) avec une amplitude journalière de 1 à 3°C pour une moyenne de 2°C (excepté lors des défaillances de l'échangeur).

La salinité (fig. 2)

Du 15 mai au 17 juillet, la salinité augmente progressivement pour passer de 32.4 g.l^{-1} à des valeurs comprises entre 34 et $35. \text{ g.l}^{-1}$ avec des pics à $35,6 \text{ g.l}^{-1}$ les 9 et 17 juillet. Sur la durée de l'expérimentation on obtient une salinité moyenne de $34.2 \text{ g.l}^{-1} \pm 0,2$ (au risque 5% pour $n=49$).

La turbidité (fig. 2)

Du début de l'expérimentation au 27 juin, on enregistre des fluctuations importantes avec des valeurs allant de 5,5 à 17 NTU (Unités Néphélométriques de Turbidité). Après cette date, et jusqu'à la fin de l'expérience, la turbidité se stabilise à un niveau plus bas avec des valeurs oscillant de 4,2 à 5,8. Sur la totalité de la période on note une turbidité moyenne de $9,1 \text{ NTU} \pm 1,3$ (au risque 5% pour $n=35$).

L'oxygène (fig. 2)

Globalement l'eau fournie au dispositif expérimental est correctement oxygénée puisque son pourcentage de saturation est compris entre 80 et 100%. Seules exceptions : le 19 mai (77,4 à 83%), le 24 mai (76,6 à 79,3%), le 12 juillet (73,1% à 87,7%) et le 17 juillet (72,8 à 86,2%). Sur toute la durée de l'expérience on enregistre un taux de saturation moyen de $86,5\% \pm 0,8\%$ (au risque 5% pour $n = 208$) pour l'eau refroidie par l'échangeur thermique et un taux moyen de $91\% \pm 0,6\%$ (au risque 5% pour $n = 247$) pour l'eau à température normale.

En ce qui concerne l'eau à température normale à partir du 15 juin on note une augmentation de la consommation d'oxygène. En effet si on compare les entrées et les sorties des différentes enceintes, on passe d'un différentiel moyen de 2,1 points pour la période du 10 mai au 15 juin, à une différence moyenne de 10,2 points pour la période du 15 juin au 17 juillet, soit une augmentation de 485%.

Sur cette dernière période le taux de saturation moyen à la sortie des enceintes est de $71,9\% \pm 1,6\%$ (au risque 5% pour $n = 119$), on notera que sur les 119 valeurs relevées 51 sont inférieures à 80% (de 52 à 79,7%) dont 24 pour les deux lots (original et réplikat) soumis aux conditions normales de nurserie (216 millions de cellules/jour/individu, eau de mer à température normale et immersion en continu).

En ce qui concerne l'eau refroidie, on ne relève pas de différence notable entre les deux périodes au niveau de la consommation d'oxygène (puisque s'un différentiel de 1,2 points pour la première période on passe à 1,3 pour la deuxième).

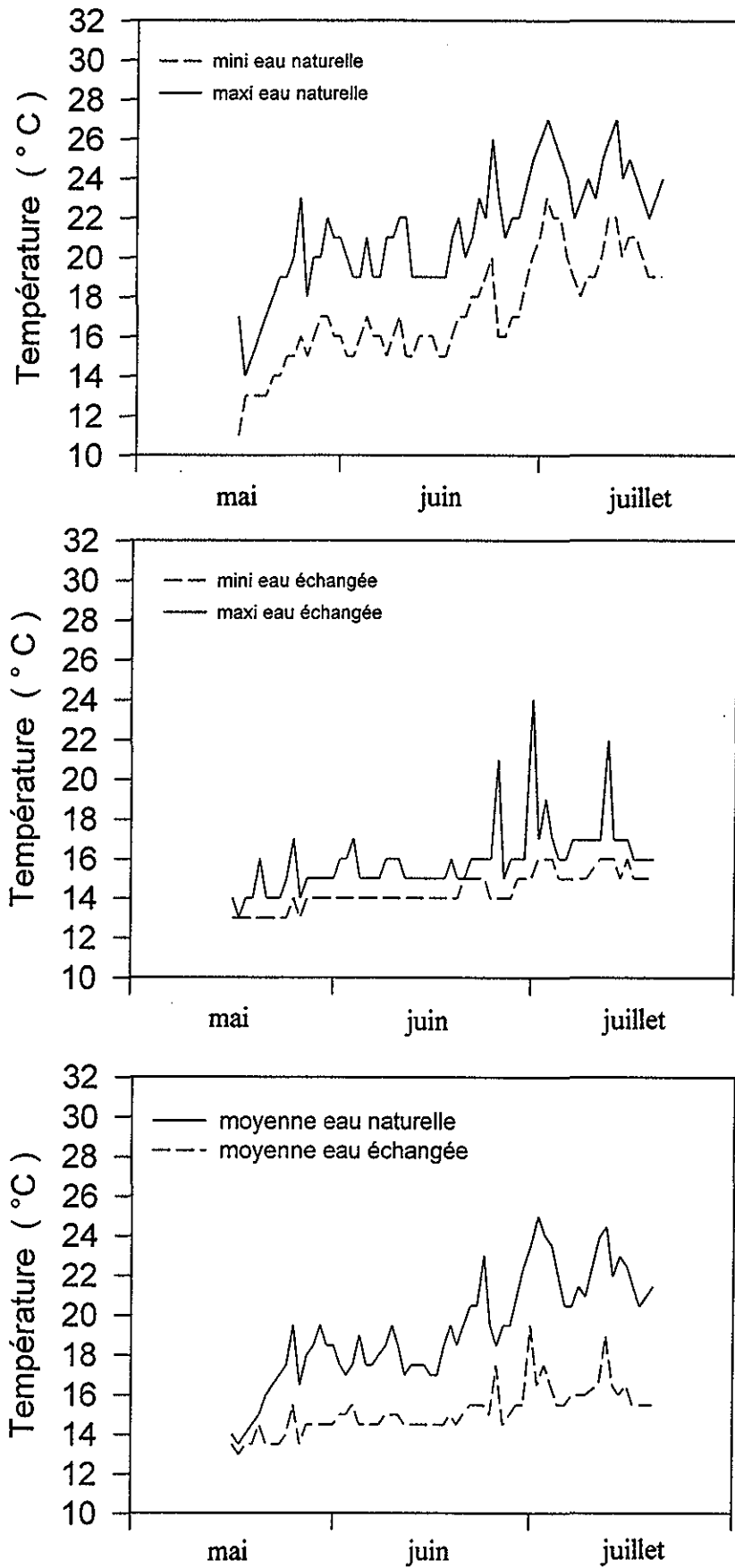


Figure 1 : Evolution de la température au cours de l'expérience 1.

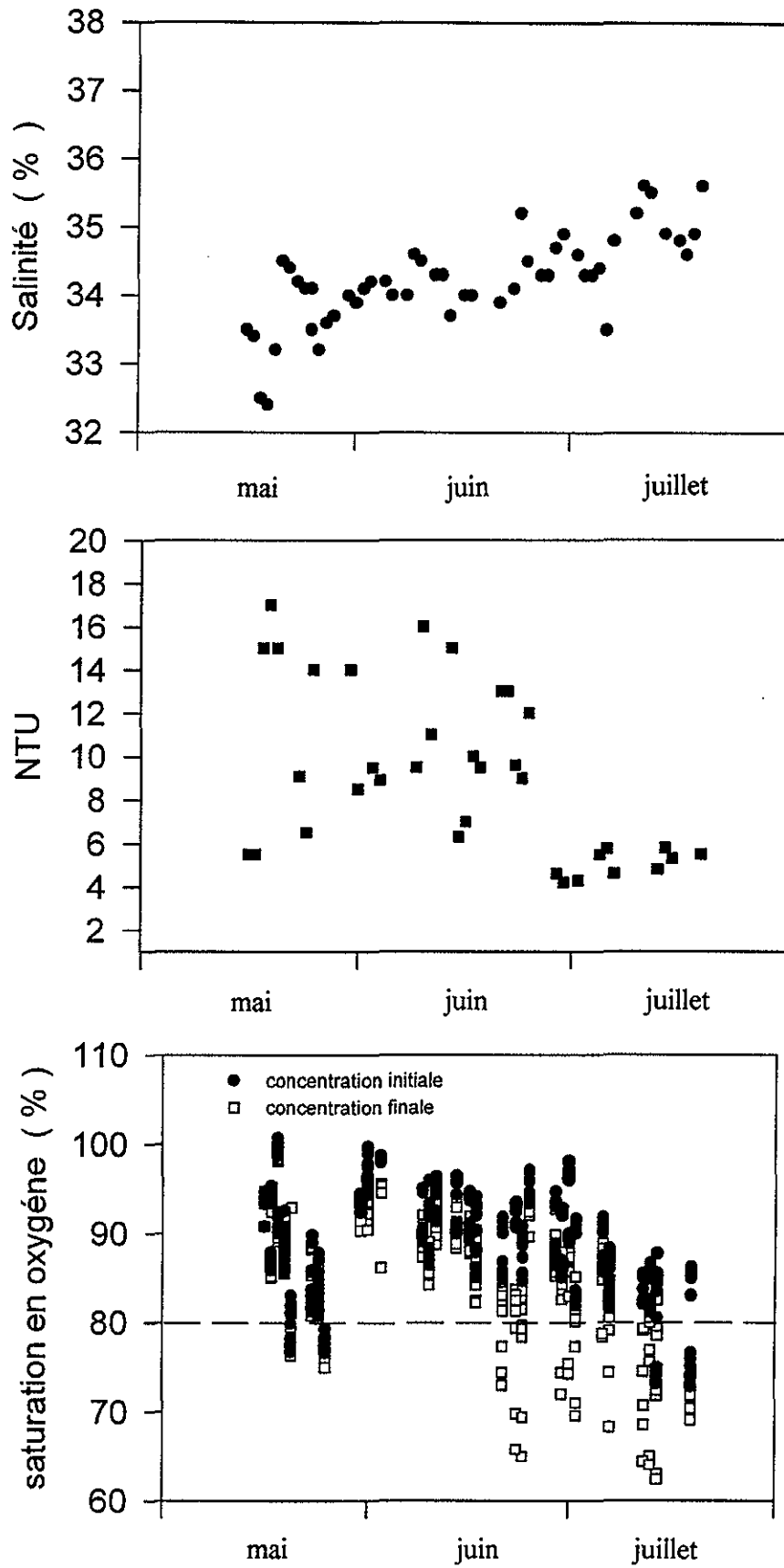


Figure 2 : Evolution de la salinité, de la turbidité et du taux de saturation en oxygène au cours de l'expérience 1.

3.1.1.2. Evolution des paramètres biotiques

L'énergie disponible

La quantité moyenne d'énergie disponible pour la ration la plus élevée est de 104,1 joules/litre \pm 17,66 (au risque 5% pour $n = 17$) et de 60,4 joules/litre \pm 10,46 (au risque 5%, $n = 17$) pour la ration quatre fois moindre. Les deux quantités de nourriture utilisées ne sont donc pas reliées par un facteur quatre comme prévu initialement mais par un facteur proche de 2 ($1,97 \pm 0,21$, au risque 5% pour $n = 16$) cela pourrait s'expliquer par un apport de nourriture due à l'eau de mer non filtrée que nous utilisons. On peut d'après ces résultats évaluer à 41,09 joules/litre la quantité moyenne d'énergie qui serait apportée par l'eau de mer au cours de l'expérience, soit l'équivalent de deux fois la ration N_{1x} .

La prise alimentaire des juvéniles

Les données recueillies sur la prise alimentaire des juvéniles sont trop imprécises pour permettre une réelle interprétation. Cependant, il semble que se dessine une tendance selon laquelle la consommation des juvéniles élevées à température normale serait supérieure à celle des lots élevés en eau refroidie (tableau 6).

Tableau 6 : Prise alimentaire moyenne apparente des juvéniles.

	Température "échangée"		Température normale	
	N_{4x}	N_x	N_{4x}	N_x
Prise (en j/l)*	3,89 \pm 6,18	7,25 \pm 7,46	16,02 \pm 10,69	9,58 \pm 6,36
Prise (en %)*	2,53% \pm 3,66	9,18% \pm 8,29	18,70% \pm 13,77	24,42% \pm 14,02
Mini	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Maxi	14,71%	31,36%	50,53%	53,84%

* les intervalles de confiance sont donnés au risque 5% pour $n = 8$

3.1.2 Evolution du matériel biologique

3.1.2.1. Evolution des paramètres biométriques

Le poids moyen calculé (fig.3)

Les plus fortes croissances ont été obtenues avec les deux lots (original et réplikat) soumis aux conditions rencontrés habituellement en nurserie intensive pour l'huître creuse *Crassostrea gigas* :

- $216 \cdot 10^6$ millions de cellules phytoplanctoniques/individu/jour. (N_{4x}),
- température normale (T_{nor}),
- immersion en continu (E_{\emptyset}).

En fin d'expérience, le 17 juillet, l'original et le réplicat présentent respectivement un poids moyen calculé de $3,70g \pm 0,64$ (au risque 5% pour $n = 5$) et de $3,39g \pm 0,29$ (au risque 5% pour $n = 5$).

Les plus faibles croissances sont celles avec la combinaison suivante :

- $216 \cdot 10^6$ millions de cellules phytoplanctoniques/individu/jour, (N_{4x}),
- température échangée (T_{ech}),
- 4 heures d'exondation quotidienne (E_1).

Les poids moyens obtenus en fin d'expérience sont, respectivement pour l'original et le réplicat, de $0,39g \pm 0,03$ et de $0,33g \pm 0,05$ (au risque 5%, $n = 9$).

On a donc entre les plus fortes croissances et les plus faibles un rapport de 9 à 11.

L'évolution des poids moyens calculée sur toute la durée de l'expérience est traitée par analyse de variance en fonction de la quantité de nourriture, de la température de l'eau et du mode d'immersion. L'analyse n'a pas permis de mettre en évidence de différences significatives (au risque 5%) du poids moyen en fonction de la quantité de nourriture ($F = 3,07$; $P = 0,0837$); par contre elle a mis en évidence (avec le test de Newman et Keuls) :

- L'influence prépondérante de la température ($F = 1739,89$; $P = 0,0000$) avec pour les lots élevés à température normale des poids moyens supérieurs à ceux des lots élevés en eau refroidie.
- Un effet "exondation" ($F = 448,47$; $P = 0,0000$) avec pour les lots soumis quotidiennement à 4 heures d'exondation des poids moyens inférieurs à ceux des lots soumis à l'immersion en continue.
- Une interaction température/exondation ($F = 184,88$; $P = 0,0000$), les poids moyens les plus élevés étant obtenus avec la combinaison "température normale sans mise à sec" et les plus faibles avec la combinaison "eau refroidie et exondation de 4 heures".
- Une interaction nourriture/exondation ($F = 53,26$; $P = 0,0000$) avec, pour les lots ne subissant pas d'assec, un poids moyen supérieur avec la ration la plus forte alors que pour les lots subissant l'exondation c'est la ration quatre fois moindre qui donne les poids les plus élevés.
- Une interaction nourriture/température ($F = 43,04$; $P = 0,0000$) avec sur la température normale un poids moyen élevé pour les lots recevant la ration considérée comme optimale en nurserie. Par contre pour les lots élevés en eau refroidie c'est la ration quatre fois inférieure qui donne les poids moyens les plus forts.

Une analyse de variance effectuée pour chaque date permet de nuancer les résultats obtenus plus haut sur l'ensemble de l'expérience, notamment en ce qui concerne l'influence de la quantité de nourriture.

En effet, l'analyse de variance effectuée sur les poids moyens du 22 mai montre que le facteur nourriture était responsable de différences significatives ($F = 100,89$; $P = 0,0000$) et qu'il avait un impact plus important que le facteur exondation ($F = 46,33$; $P = 0,0002$), le facteur primordial étant la température ($F = 272,93$; $P = 0,0000$).

Dès le 8 juin, le facteur nourriture ($F = 77,60$; $P = 0,0000$) devient le troisième par ordre d'importance et le 17 juillet il cesse d'être significatif ($F = 1,98$; $P = 0,1950$) au risque 5%. Le test de Newman et Keuls effectué au risque 5% pour chaque date montre que jusqu'au 17 juillet, la plus faible quantité de nourriture donne des poids moyens plus importants que la quantité la plus élevée. Le 17 juillet par contre la tendance s'inverse pour les lots élevés en eau à température normale et sans assec, c'est alors la quantité de nourriture la plus élevée qui donne les poids moyens les plus forts.

Le taux de croissance journalier

La figure 3 présente l'évolution des taux de croissance journaliers des juvéniles en fonction des trois facteurs étudiés, le tableau 7 présente le taux de croissance moyen obtenu pour chaque combinaison sur l'ensemble de l'expérience.

Tableau 7 : Taux de croissance journalier (G1) moyen pour chaque combinaison (les intervalles de confiance sont donnés au risque 5% $n = 2$) et pour chaque option du facteur température (intervalle de confiance au risque 5% pour $n = 8$).

	N 4x E \emptyset	N 4x E $_1$	N 1x E \emptyset	N 1x E $_1$	Moyenne par régime thermique
Température normale (T $_{nor}$)	0,069 \pm 0,002	0,058 \pm 0,005	0,063 \pm 0,000	0,059 \pm 0,001	0,062 \pm 0,003
Température échangée (T $_{ech}$)	0,042 \pm 0,003	0,035 \pm 0,002	0,049 \pm 0,003	0,043 \pm 0,000	0,042 \pm 0,002

En ce qui concerne les juvéniles élevés en eau refroidie, on constate au cours de l'expérience une diminution progressive du taux de croissance journalier. Ainsi, d'une valeur moyenne de 0,064 \pm 0,003 (au risque 5% et pour $n = 8$) le 22 mai, on arrive à une moyenne de 0,028 \pm 0,002 (au risque 5% et pour $n = 8$) en fin d'expérience, le 17 juillet.

Pour ce qui est des lots placés en eau à température normale, on note tout d'abord une augmentation du taux de croissance journalier puisque d'une valeur moyenne de 0,073 \pm 0,003 (au risque 5% et pour $n = 8$) le 22 mai, on atteint le 8 juin une moyenne de 0,083 \pm 0,007 (au

risque 5% et pour $n = 8$). Suite à cette augmentation on enregistre une décline progressive jusqu'à une valeur moyenne de $0,048 \pm 0,005$ (au risque 5% et pour $n = 8$) le 17 juillet.

Tableau 8 : Evolution des taux de croissances journaliers moyen (G1) pour les lots élevés en eau à température normale et ceux élevés en eau refroidie (intervalles de confiance donnés au risque 5% et pour $n = 8$).

	22/05/1995	08/06/1995	122/06/1995	17/07/1995
Température normale (T_{nor})	$0,073 \pm 0,003$	$0,083 \pm 0,007$	$0,051 \pm 0,005$	$0,048 \pm 0,005$
Température échangée (T_{ech})	$0,064 \pm 0,003$	$0,051 \pm 0,006$	$0,037 \pm 0,005$	$0,028 \pm 0,002$

Les taux de croissance journaliers sont traités date par date par analyse de variance en fonction des facteurs nourriture, température et exondation.

Comme dans le cas des poids moyens, l'analyse effectuée pour le 22 mai montre que la nourriture intervient significativement sur les taux de croissance ($F = 79,53$; $P = 0,0000$) et qu'elle se situe par ordre d'importance entre la température ($F = 161,06$; $p = 0,0000$) et l'exondation ($F = 47,06$; $P = 0,0002$). Le 08 juin, le facteur nourriture passe en troisième position et dès le 22 juin il cesse d'être significatif.

Comme précédemment pour les poids moyens, le test de Newman et Keuls nous permet de lier cette non significativité à une inversion de tendance en ce qui concerne l'influence de la ration de nourriture. En effet globalement, sur toute la durée de l'expérience, c'est la ration la plus faible qui donne les taux de croissance journaliers les plus élevés. Cependant, le 22 juin on enregistre une inversion de tendance pour les lots élevés à température normale et ne subissant pas d'assec, le 17 juillet, on note cette inversion pour tous les lots élevés à température normale.

Le test de Newman et Keuls (au seuil 5%) fait également apparaître qu'en ce qui concerne les facteurs température et exondation, la température normale et l'absence d'exondation sont les deux options les plus favorables à l'obtention d'un taux de croissance élevé.

3.1.3. Evolution du taux de mortalité

Aucune mortalité n'a été mise en évidence au cours de cette première expérimentation.

Une estimation a cependant été effectuée à partir des données recueillies à l'occasion des suivis biométriques.

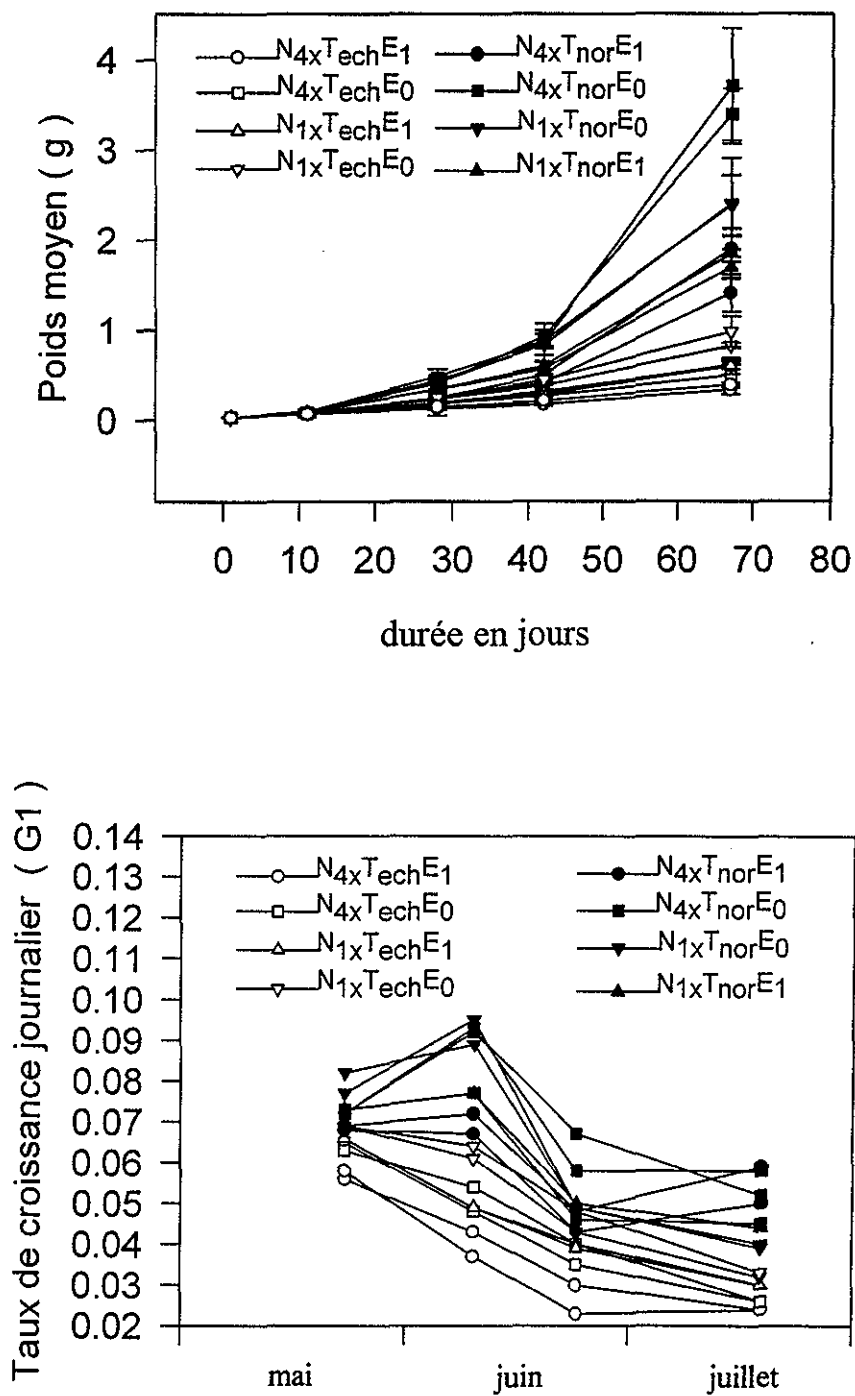


Figure 3 : Evolution du poids moyen calculé et du taux de croissance journalier au cours de l'expérience 1.

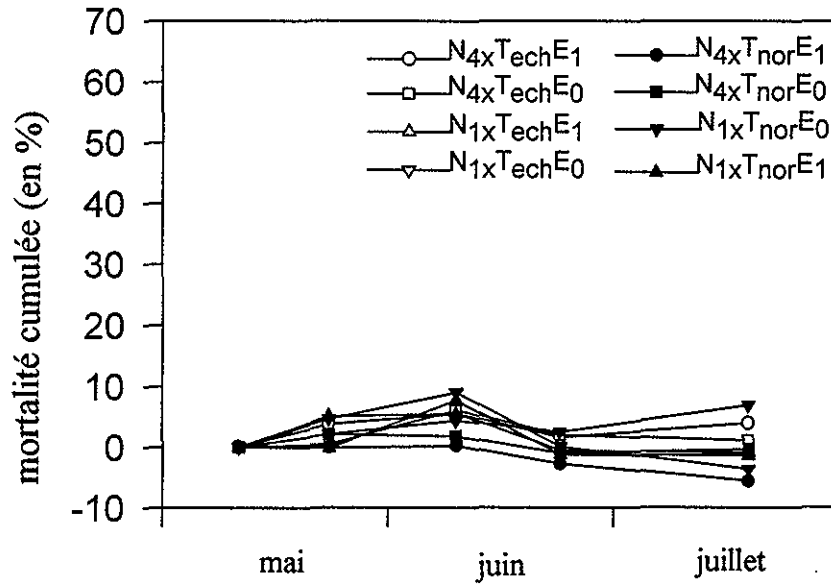


Figure 4 : Evolution du taux de mortalité cumulé pour chaque combinaison de facteurs au cours de l'expérience 1.

Les résultats obtenus manquent de précision, les valeurs oscillent autour de 0% et sont parfois négatives, par exemple, le 22 mai le lot soumis aux conditions habituelles de nurseries intensive (filtration de nourriture, sans exondation et à température normale) présente un taux de mortalité de 2,13%, puis 2,58% le 08 juin, 0,21% le 22 juin et 1,28% le 17 juillet. Pour obtenir une estimation, nous avons effectué la moyenne des mortalités calculée pour chaque combinaison de facteur (tableau 9; fig. 4).

Tableau 9 : Mortalité moyenne \bar{Z} calculée pour chaque combinaison

	N _{4x} E ₀	N _{4x} E ₁	N _x E ₀	N _{1x} E ₁
Température normale (T _{nor})	0,59% ± 1,3%	-1,50% ± 1,61	3,92% ± 1,79	1,26% ± 2,84
Température échangée (T _{ech})	2,37 % ± 2,50	3,67 ± 1,42	2,49 ± 3,57	2,24 ± 2,30

(n.b. :les intervalles de confiance sont donnés au risque 5% pour n = 8).

Les taux de mortalité moyens oscillent entre 0% (-1,5% ± 1,6) et 3,67% ± 1,62, ce qui reste acceptable dans un système de type nurserie intensive (Baud com.pers.).

3.1.4. Discussion

Les résultats de cette première expérience font ressortir un certain nombre de points intéressants.

Tout d'abord l'échangeur thermique se révèle être un outil particulièrement performant puisqu'il permet d'obtenir :

- un abaissement de la température moyenne de 4,2°C (15,1°C contre 19,3°C),
- une réduction de l'amplitude journalière moyenne de 50% (2°C contre 4°C).

On bénéficie donc d'un milieu très stable d'un point de vue thermique avec sans doute une réduction non négligeable du stress des juvéniles.

Cependant les dysfonctionnements de l'échangeur peuvent engendrer des chocs thermiques brusques, du fait du taux de renouvellement d'environ 500% par heure, et de forte amplitude (jusqu'à 9°C).

Sur le plan de l'oxygène si les 80% de saturation utilisées empiriquement par les professionnels, sont respectés en entrée, on note à partir du 15 juin une forte consommation d'oxygène (multipliée par 5 pour les lots à température normale) avec à la sortie des enceintes des saturations pouvant descendre jusqu'à 52%. Cette forte consommation semble liée à une augmentation de biomasse et surtout à l'augmentation de température enregistrée sur cette période. En effet, on sait qu'une forte température induit un métabolisme élevé qui se traduit

par une demande accrue en oxygène et nourriture. Ce type de phénomène est problématique en élevage intensif car même avec une eau bien oxygénée en entrée et un transit rapide (500 l/heure), il suppose la création d'un gradient de concentration en oxygène au niveau de la population. Ainsi si les couches inférieures bénéficient d'une eau bien oxygénée, les couches supérieures peuvent souffrir d'un stress dû au manque d'oxygène

Les résultats obtenus en terme de flux énergétique semble mettre en évidence des apports importants dus à l'eau de mer utilisée, résultat confirmé par des analyses effectuées au cours de l'été 1995 dans le polder de Bouin (Campion, com.pers.). cependant dans notre cas les valeurs obtenues sont trop imprécises et il serait préférable à l'avenir d'opter pour des techniques moins lourdes à mettre en oeuvre (fluorimétrie, spectrométrie), qui pourrait permettre une meilleure estimation des flux trophiques des relevés plus fréquents et même des suivis en continu sur des périodes données.

Sur le plan de la croissance, les résultats obtenus ont permis la mise en évidence de l'importance de la température ($F = 1739,89$; $P = 0,0000$) avec en 65 jours un rapport variant de 2,7 à 6,5 entre le poids moyen des lots élevés à température normale et de ceux élevés en eau "échangée".

L'exondation joue un rôle non négligeable ($F = 448,47$; $P = 0,0000$) puisque entre les lots exondés et non exondés, on enregistre un rapport de 1,4 à 2,5.

Les résultats obtenus pour la nourriture sont assez surprenant puisqu'une analyse de variance globale permet de la classer comme facteur sans influence significative, au risque 5%, ($F = 3,047$; $P = 0,0837$). Il semble en fait d'après l'analyse effectuée date par date que l'influence de la quantité de nourriture soit une donnée relativement complexe, variable en fonction de la taille des juvéniles.

Globalement les taux de croissance enregistrés sont dépendant de la température, décroissant en fonction de la taille et s'inscrivent dans les intervalles donnés par différents auteurs (Claus, 1981; Baud, 1991; Campion, com.pers.,1995).

Ces observations nous ont permis de hiérarchiser les trois facteurs en fonction de leur incidence respective :

Température > Exondation > Nourriture

Les mortalités relevées au cours de l'expérience fluctuent entre 0 et 3%, sans relation apparente avec les facteurs étudiés, et se situe bien en dessous des 7% considérés comme acceptable en nurserie intensive (Baud, 1991).

3.2. Expérimentation n°2

Cette expérience réalisée sur les huîtres juvéniles a débuté le 25 juillet et s'est achevée le 13 septembre 1995, soit 51 jours d'expérimentation.

3.2.1. Evolution du milieu

3.2.1.1. Evolution des paramètres physico-chimiques

La température (fig. 5)

En ce qui concerne l'eau à température normale, on distingue trois périodes :

- du 27 juillet au 6 août; on passe d'une valeur moyenne de 21,5°C le 27 juillet à une moyenne de 26,0°C le 2 août pour redescendre jusqu'à 22°C le 6 août,
- du 6 au 27 août, on note une relative stabilité avec des valeurs oscillant entre 20,5°C et 24,0°C,
- du 27 août au 13 septembre, la température baisse progressivement pour atteindre 18°C en fin d'expérience, avec un minimum de 16,5°C le 5 septembre.

Sur la durée de l'expérience on enregistre une température moyenne de 21,1°C \pm 0,07 (au risque 5% et pour n = 47) avec une amplitude allant de 1 à 7°C.

En ce qui concerne l'eau refroidie, si on considère les trois périodes définies plus haut et si on écarte les incidents dûs au dysfonctionnement ponctuel de l'échangeur, on note que les variations de température sont beaucoup plus discrètes. Ainsi la température moyenne augmente progressivement pour passer de 15,5°C le 27 juillet à 17,5°C le 31 juillet. On enregistre ensuite une décroissance progressive jusqu'à la fin de l'expérience avec une moyenne de 14,3°C le 13 septembre.

Sur la durée de l'expérience on note sept défaillances ponctuelles de l'échangeur qui se traduisent par des pics de température et de fortes amplitudes thermiques, de 15 à 25°C les 4 et 12 août, de 15 à 23°C le 21 août, de 15 à 25°C le 23 août, de 14 à 19°C le 02 septembre, de 14 à 18°C le 11 septembre et de 15 à 19°C le 2 septembre.

On note également un dysfonctionnement étalé sur quatre jours avec un arrêt ponctuel le 28 septembre, température de 15 à 17°C, un arrêt plus conséquent le 29 août avec une température de 14 à 19°C et une panne totale du 30 septembre au 31 septembre inclus avec respectivement des températures de 14 à 21°C et de 17 à 21°C.

Sur l'ensemble de l'expérience, défaillances de l'échangeur comprises, la température moyenne de l'eau échangée est de 16,3°C \pm 0,4 (au risque 5% pour n = 47) avec des températures moyennes oscillant entre 14 et 20,5°C. L'amplitude thermique est de 0 à 3°C en temps normal mais peut monter jusqu'à 11°C lors des défaillance de l'échangeur.

La salinité (fig. 6)

Du 25 juillet au 13 septembre, la salinité oscille entre 34,9 et 36,8 g.l-1 avec une valeur moyenne de $35,9 \text{ g.l-1} \pm 0,5$ (au risque 5% pour $n = 37$).

La turbidité (fig. 6)

Sur la durée de l'expérimentation, la turbidité oscille entre 2,5 et 7,8 NTU, avec une valeur moyenne de $4,1 \text{ NTU} \pm ,5$ (au risque 5% pour $n = 29$).

L'oxygène (fig. 6)

Sur l'ensemble de l'expérience, l'eau fournie au système expérimental est correctement oxygénée puisque son pourcentage de saturation est compris entre 80 et 100%.

Quelques exceptions ont cependant été enregistrées: le 27 juillet, 78,4 à 92,8%; le 31 juillet, 77 à 86,8%; le 01 août, 73,4 à 78,7%; le 03 août, 63 à 84,6%; le 04 août, 76 à 80,6%.

Sur l'ensemble de l'expérience on enregistre un taux de saturation moyen de $88,0\% \pm 1,4$ (au risque 5%, $n = 84$) pour l'eau à température normale et de $85,0\% \pm 1,2$ (au risque 5%, $n = 79$) pour l'eau refroidie.

Sur le plan de la consommation, en ce qui concerne l'eau à température normale, si on considère les trois périodes définies pour la température on observe :

- du 25 juillet au 6 août, un différentiel de 3,1 points entre l'entrée et la sortie,
- du 6 au 27 août, un différentiel de 1,5 points,
- du 27 août au 13 septembre, une différence de 0,9 points.

En ce qui concerne l'eau refroidie, sur les trois périodes on note respectivement des différences de 1,7; 1,0 et 0,8 points.

*3.2.1.2. Evolution des paramètres biotiques***L'énergie disponible**

La quantité moyenne est de 70,31 joules/litre $\pm 24,79$ (au risque 5% pour $n = 6$) d'énergie disponible pour la ration la plus élevée (N_{4x}) et de 30,38 joules/litre $\pm 8,03$ (au risque 5% pour $n = 6$) pour la ration quatre fois moindre (N_{1x}). Les deux rations sont donc reliées par un facteur de 2,3 et non de 4 comme nous l'avions escompté. Cette dérive (peut être) est dûe à un apport supplémentaire dû à l'eau de mer non filtrée que nous utilisons pour l'expérience. D'après les quantités moyennes d'énergie pour les deux rations on peut évaluer l'apport de l'eau de mer à environ 17,08 joules/litre.

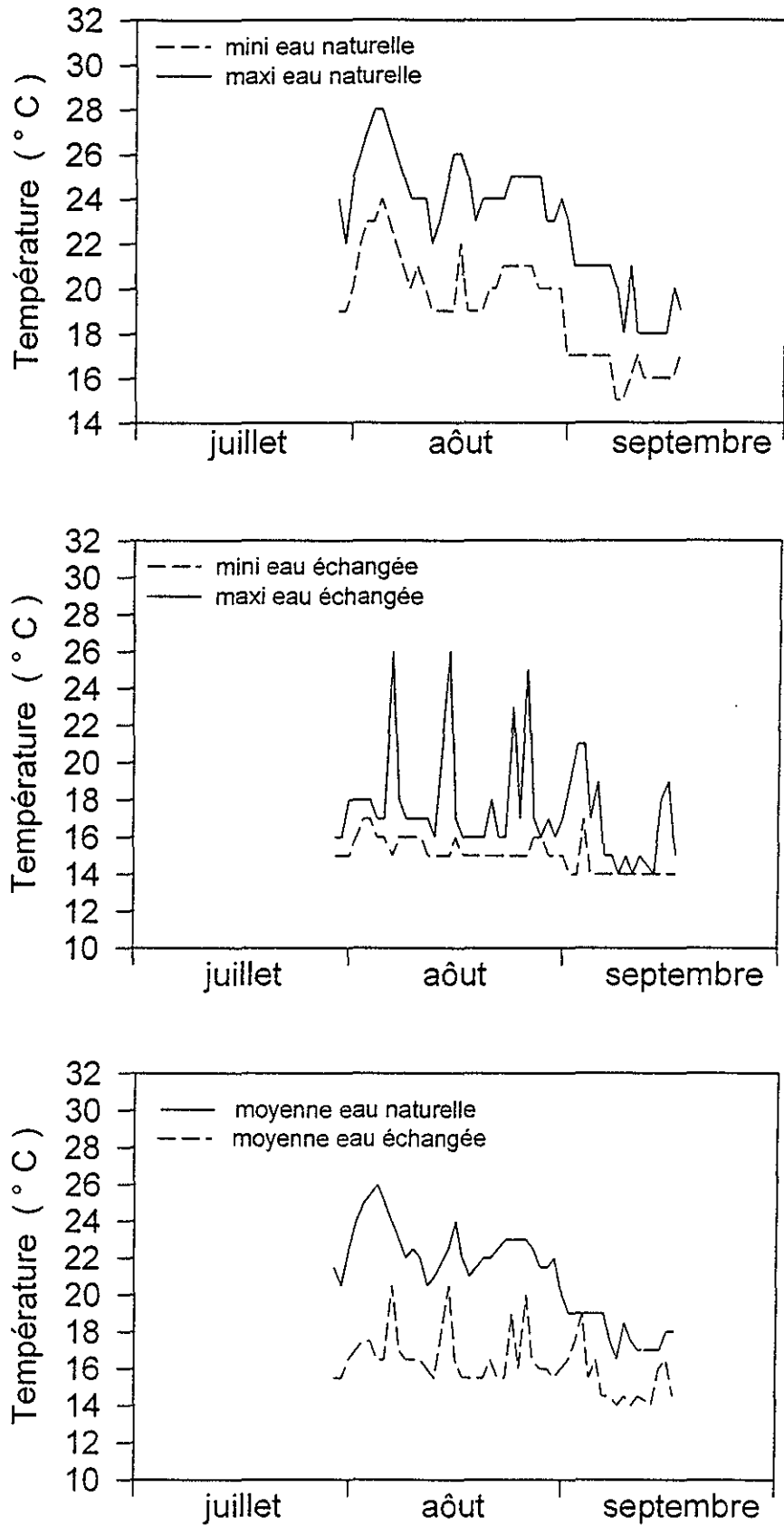


Figure 5 : Evolution de la température au cours de l'expérience 2.

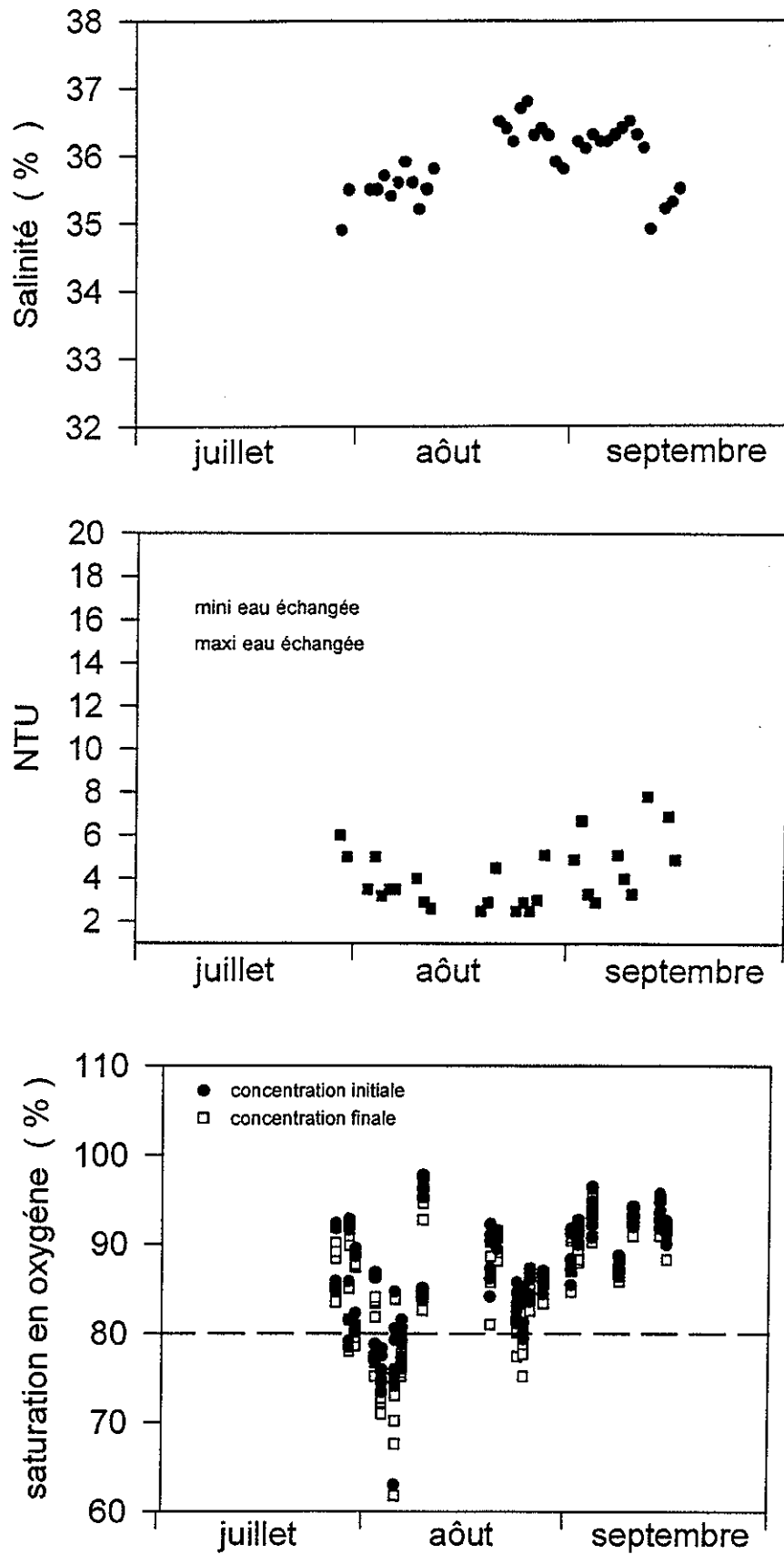


Figure 6 : Evolution de la salinité, de la turbidité et du taux de saturation en oxygène au cours de l'expérience 2.

La prise alimentaire des juvéniles

La prise alimentaire des juvéniles, exprimé en pourcentage par rapport à l'énergie disponible, a été calculé pour les quatre combinaisons (tableau 10).

Tableau 10 : Prise alimentaire moyenne apparente des juvéniles

	Température "échangée"		Température normale	
	N 4x	N 1	N 4x	N 1x
Prise (en j/l)	6,8 ± 8,3	11,7 ± 13,6	0,00%	1,7 ± 2,2
Prise (en %)*	11,09% ± 13,96	11,28% ± 7,92	0,00%	6,88 ± 8,10
Mini	0,00%	5,91%	0,00%	0,00%
Maxi	24,39%	19,19%	0,00%	14,29%

* Les intervalles de confiance sont donnés au risque 5% pour n = 3

Les données obtenues sont trop imprécises pour permettre une réelle interprétation de la prise alimentaire. On peut cependant noter une tendance selon laquelle la consommation est plus importante chez les lots élevés à température "échangée" que chez ceux élevés à température normale. Cette tendance trouve sans doute son explication dans les fortes mortalités apparues très précocement à température normale.

On notera également que la prise moyenne de 0,00%, pour la combinaison "N_{4x} T_{nor}", n'indique pas forcément une absence de prise mais plutôt une prise non décelable du fait du manque de sensibilité de la méthode.

3.2.2. Evolution du matériel biologique

3.2.2.1. Evolution des paramètres biométriques

Le poids moyen calculé (fig.7)

Après 51 jours d'expérience, le poids moyen le plus élevé, 1,04g ± 0,22 (au risque 5% pour n = 13) est obtenu avec le lot soumis aux conditions suivantes :

- 54 millions de cellules phytoplanctoniques par jour et par individu (N_{1x}),
- eau à température normale (T_{nor}),
- immersion constante (E₀).

Le lot soumis aux conditions habituelles de nurserie intensive

- (216 millions de cellules par jour et par individu (N_{4x}),

- eau à température normale (T_{nor}),
- immersion en continu (E_0),

se situe à cette date en deuxième position avec un poids moyen de $0,95g \pm 0,24$ (au risque 5% pour $n = 15$).

Le poids moyen le plus faible, $0,28g \pm 0,09$ (au risque 5%, $n = 10$), est obtenu avec la combinaison suivante :

- 216.10^6 cellules phytoplanctoniques par jour et par individu (N_{4x}),
- température basse (T_{ech}),
- 4 heures d'exondation quotidienne (E_1),

On a donc entre la plus forte croissance et la plus faible un rapport proche de 4.

Tableau 11: Poids moyens calculés pour chaque combinaison après 51 jours d'expérience.

	Sans exondation (E_0)		Avec exondation (E_1)	
	N_{4x}	N_{1x}	N_{4x}	N_{1x}
Température normale (T_{nor})	$0,9480 \pm 0,2372$ ($n = 15$)	$1,004 \pm 0,2191$ ($n = 13$)	$0,7013 \pm 0,1112$ ($n = 12$)	$0,7103 \pm 0,0822$ ($n = 12$)
Température "échangée" (T_{ech})	$0,4193 \pm 0,1064$ ($n = 13$)	$0,5147 \pm 0,0817$ ($n = 14$)	$0,2839 \pm 0,0886$ ($n = 10$)	$0,3720 \pm 0,0797$ ($n = 10$)

(n.b. :les intervalles de confiance sont donnés au risque 5%).

Le taux de croissance journalier (fig.7)

On observe une diminution du taux de croissance instantané (G_1) au cours du temps, les taux plus faibles sont obtenus pour les lots élevés à température basse ce qui va dans le sens des observations selon lesquelles le taux de croissance évoluerait de façon inversement proportionnelle à la taille des huîtres et de façon proportionnelle à la température (Claus, 1981).

Tableau 12 : Taux de croissance journalier (G_1) moyen pour chaque combinaison et moyenne globale pour chaque régime thermique .

	$N_{4x} E_0$	$N_{4x} E_1$	$N_{1x} E_0$	$N_{1x} E_1$	Moyenne*
Température normale	0,046	0,040	0,048	0,041	$0,044 \pm 0,004$
Température "échangée"	0,030	0,023	0,034	0,028	$0,029 \pm 0,005$

* : les intervalles de confiance sont donnés au risque 5% pour $n = 4$.

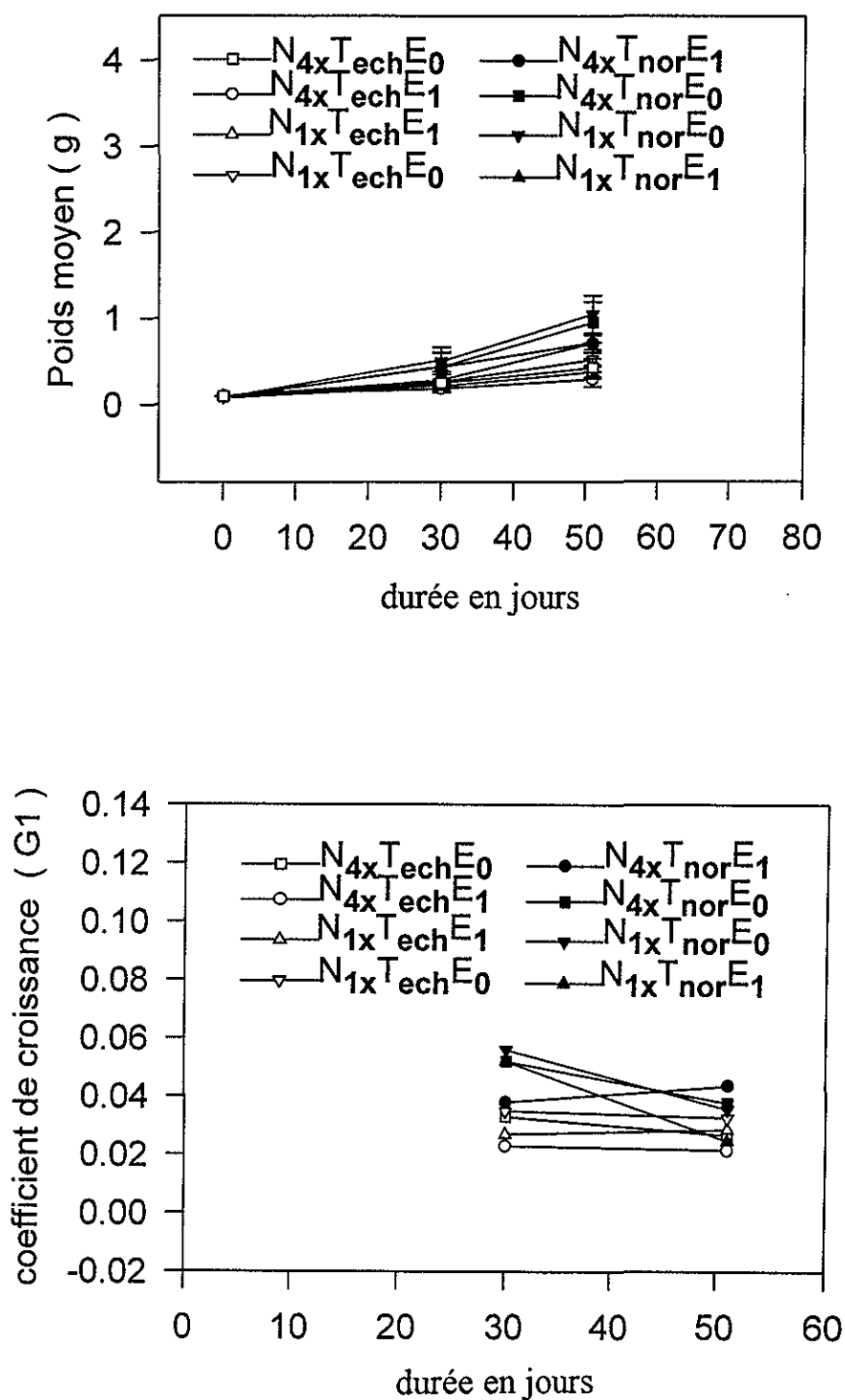


Figure 7 : Evolution du poids moyen calculé et du taux de croissance journalier au cours de l'expérience 2.

3.2.3. Evolution du taux de mortalité (fig.8)

En ce qui concerne les lots élevés à température normale, d'importantes mortalités sont apparues dès le 31 juillet soit 6 jours après le début de l'expérience. On enregistre alors des taux de mortalités allant de $13,56\% \pm 1,07$ à $56,96\% \pm 11,36$ (au risque 5% pour $n = 3$).

On notera qu'à cette date les lots les plus touchés sont ceux soumis à l'exondation avec des taux de $45,44\% \pm 4,44$ et de $56,96\% \pm 11,36$ contre des taux de $13,56\% \pm 1,07$ et de $21,00\% \pm 1,72$ (au risque 5% pour $n = 3$) pour les lots non exondés.

Dès le 7 août, ce retard des lots non exondés semble comblé puisque les mortalités oscillent alors entre $53,96\% \pm 2,34$ et $68,26\% \pm 8,16$ (au risque 5% pour $n = 3$).

A partir du 17 août, le lot soumis aux conditions habituelles de nurserie intensive semble se stabiliser à une valeur proche de 60% de mortalité. Pour les trois autres lots on observe une augmentation progressive et un resserrement de leur taux de mortalité puisque le 17 août, les valeurs oscillent entre $57,81\% \pm 2,59$ et $72,96\% \pm 4,71$. On enregistre en fin d'expérience, le 12 septembre, des valeurs allant de $76,07\% \pm 20,25$ à $78,29\% \pm 15,13$ (au risque 5% pour $n = 3$).

L'observation des taux de mortalité ponctuelle semble indiquer que les mortalités apparaissent de manière plus brutale chez les lots soumis à l'exondation. En effet le premier pic de mortalité est atteint dès le 30 juillet pour ces derniers alors qu'il n'intervient que le 7 août pour les lots non exondés.

En ce qui concerne les lots élevés en eau refroidie, des mortalités apparaissent dès le 31 juillet avec des taux inférieurs à 2%. Ces mortalités vont évoluer progressivement jusqu'au 17 août pour atteindre des valeurs allant de $27,58\% \pm 3,59$ à $56,30\% \pm 7,93$ (au risque 5% pour $n = 3$).

A cette date on note une différence très nette entre les lots exondés, avec des taux de $48,56\% \pm 3,99$ à $56,30\% \pm 7,93$ et les lots non exondés avec un taux de $27,58\% \pm 3,59$ à $28,64\% \pm 6,62$.

On enregistre ensuite une période sans mortalité apparente jusqu'au 30 août date à laquelle le taux de mortalité augmente de nouveau pour atteindre des valeurs de $54,93\% \pm 2,51$ à $70,03\% \pm 2,93$ (au risque 5% pour $n = 3$) en fin d'expérience. On observe à l'occasion de cette dernière vague de mortalité non seulement une réduction de l'écart entre lots exondés et non exondés, mais aussi une réduction de l'écart entre les lots élevés à température normale et ceux élevés en eau refroidie.

Le calcul des taux de mortalités ponctuelles à fait ressortir deux pics de mortalité (fig. 8).

Le premier pic atteint son maximum le 17 août avec des mortalités plus importantes sur les lots soumis à l'assec que sur les lots en immersion continue on enregistre respectivement des mortalités ponctuelles de $48,54\% \pm 3,99$ et de $56,30\% \pm 7,93$ contre des taux de $27,58\% \pm 3,59$ et $28,64\% \pm 6,62$ (au risque 5% pour $n = 3$).

Un deuxième pic de mortalité est mis en évidence le 12 septembre. Le lot recevant la ration phytoplanctonique la plus élevée et subissant l'exondation semble être le moins touché avec un taux de mortalité ponctuelle de $20,95\%$ contre des taux allant de $35,43\%$ à $36,87\%$ pour les trois autres lots. On note que ce lot était le plus touché lors de la première vague de mortalité.

Les données concernant les mortalités cumulées des différents lots tant à température normale qu'à température échangée, ont été traitées pour chaque date par analyse de variance en fonction des trois facteurs étudiés : la nourriture, la température et l'exondation. L'analyse a mis en évidence les points suivant :

- l'importance prédominante de la température ($F = 420,74$; $P = 0,0003$) avec globalement des mortalités plus fortes à température élevée, même si il semble que l'écart tend à se combler en fin d'expérience.

- l'importance non négligeable de l'exondation ($F = 89,33$; $P = 0,0014$) avec des mortalités plus fortes pour les lots exondés, mais nous avons vu plus haut que cette différence tendait à se réduire au cours du temps.

- la nourriture semble être un facteur beaucoup moins influent puisque l'analyse n'a pas permis de déceler de différence significative (au risque 5%) entre les lots recevant la ration N et ceux recevant la ration N_{1X} ($F = 1,25$; $P = 0,3279$).

Au cours de l'expérimentation, seul cinq prélèvements ont pu être réalisés. En effet il semble que lors des périodes de mortalité, le passage de l'état d'huître vivante à l'état d'huître morte se fasse de façon très rapide, il n'a donc pas toujours été possible de collecter des huîtres moribondes.

Pour chaque prélèvement, l'analyse histologique, exécutée par le laboratoire de pathologie de La Tremblade (IFREMER), a mis en évidence, pour certaines des huîtres prélevées, la présence d'anomalies nucléaires laissant suspecter une infection due à un virus de type herpès (Renault et *al* com.pers.).

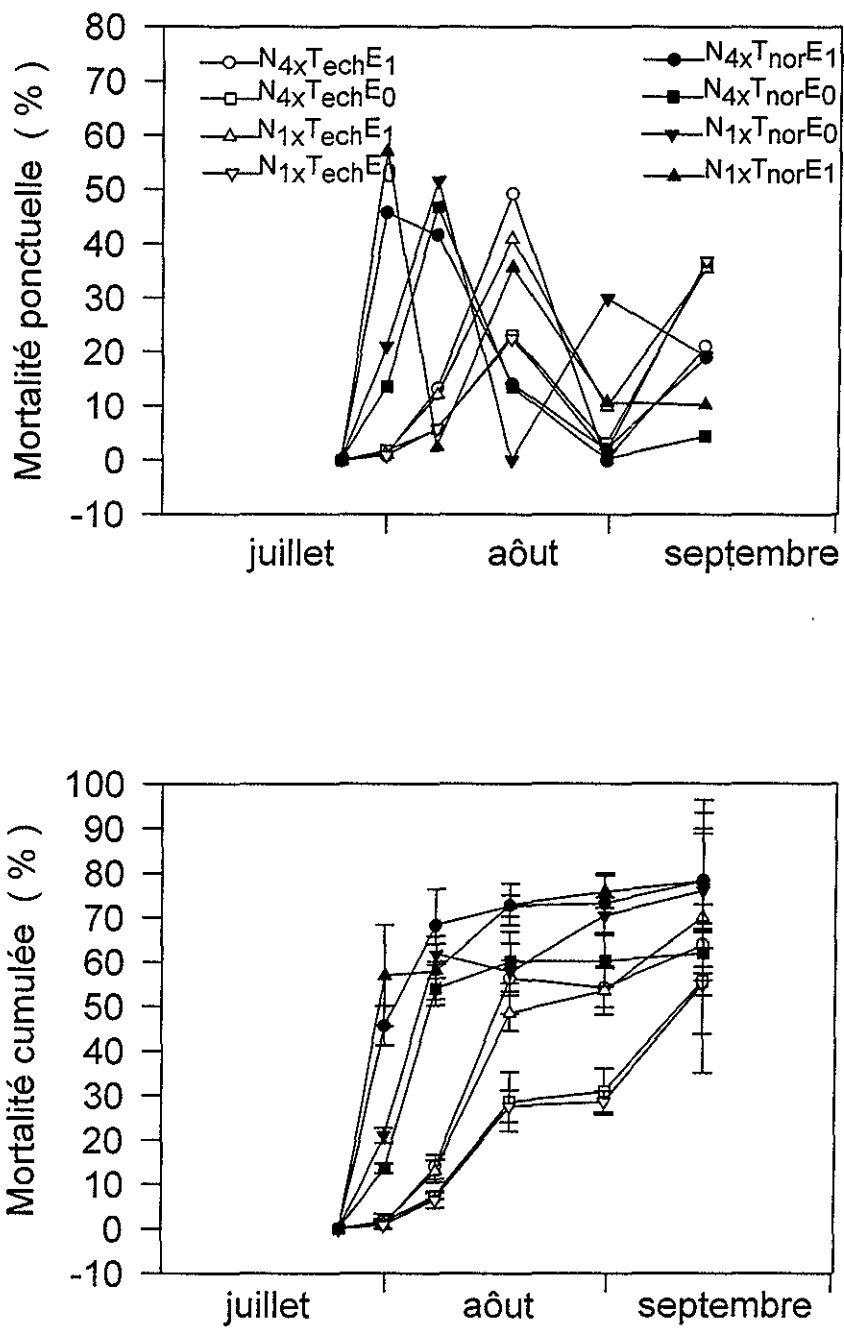


Figure 8 : Evolution du taux de mortalité ponctuelle et du taux de mortalité cumulée pour chaque combinaison de facteur au cours de l'expérience 2.

Tableau 13 : Résultats des analyses histologiques effectuées par le laboratoire de pathologie de La Tremblade.

Combinaison	Date de prélèvement	Résultats de l'analyse histologique
N _{4x} T _{nor} E ₁	01/08/1995	Sur 17 individus analysés, 4 présentent des anomalies nucléaires laissant suspecter une infection due à un virus de type herpès et l'analyse s'est révélée impossible pour 7 individus.
N _{4x} T _{nor} E _Ø	01/08/1995	Sur 11 individus analysés, 4 présentent des anomalies nucléaires laissant suspecter une infection due à un virus de type herpès et l'analyse s'est révélée impossible pour 4 individus.
N _{1x} T _{nor} E _Ø	01/08/1995	Sur 18 individus analysés, 6 présentent des anomalies nucléaires laissant suspecter une infection due à un virus de type herpès et l'analyse s'est révélée impossible pour 7 individus.
N _{1x} T _{nor} E ₁	01/08/1995	Sur 18 individus analysés, 4 présentent des anomalies nucléaires laissant suspecter une infection due à un virus de type herpès et l'analyse s'est révélée impossible pour 8 individus.
N _{4x} T _{ech} E _Ø	17/08/1995	Sur 16 individus analysés, 10 présentent des anomalies nucléaires laissant suspecter une infection due à un virus de type herpès et l'analyse s'est révélée impossible pour 1 individu.

3.2.4. Discussion Expérience 2

L'expérience fait ressortir certains points importants.

Tout d'abord, l'un des objectifs qui était de comparer l'influence de deux régimes thermiques différents, a été faussé par les dysfonctionnements répétés de l'échangeur. Ainsi si en fonctionnement normal le système présente des performances comparables à celles observées lors de la première expérience :

- Température moyenne abaissée de 3,8°C,
- Amplitude moyenne diminuée de 50%,

les pannes fréquentes ont occasionné des chocs thermiques brusques (renouvellement d'environ 500% par heure) et de fortes amplitudes (jusqu'à 11°C).

L'eau utilisée pour l'expérience est correctement oxygénée puisque son taux de saturation est supérieure à 80%. Pour les lots à température normale, on note une

consommation d'oxygène importante en début d'expérience qui semble pouvoir être lié à la forte augmentation de température à cette période (de 20,5 à 26°C en 6 jours).

En terme de flux énergétique les valeurs obtenues semblent indiquer une participation non négligeable de l'eau de mer comme source énergétique mais demeurent trop imprécises pour être réellement exploitable.

Les résultats obtenus au niveau des croissances permettent de confirmer le classement effectué dans l'expérience précédente en ce qui concerne l'influence des trois facteurs sur la croissance des juvéniles. Les poids moyens obtenus en 51 jours s'échelonnent entre 0,28g et 1,04g par individu ce qui correspond bien aux intervalles obtenus dans la première expérience:

- 0,17g à 0,93g par individu le 43ème jour,
- 0,33g à 3,70g par individu le 68ème jour.

On notera que contrairement à la première expérience, la quantité de nourriture a conservé une action constante tout au long de l'expérience avec des croissances maximales pour la ration la plus faible. Cela s'explique peut être par le fait que l'expérience étant plus courte, les juvéniles n'ont pas atteints un poids suffisant pour que la ration la plus forte devienne la ration optimale.

Les premiers signes de mortalité apparaissent dès le 6ème jour d'expérience avec des cinétiques différentes selon les modalités d'élevage.

Ainsi pour les lots à température normale, on note une évolution très rapide en début d'expérience pour atteindre en 17 jours une phase de plateau avec des taux de mortalité compris entre 58 et 73%.

En ce qui concerne l'eau refroidie, l'interprétation des résultats est rendue malaisée par la fréquence des pannes de l'échangeur thermique qui pourraient être responsable à elles seules des fortes mortalités enregistrées au cours de l'expérience. Néanmoins, même si les mortalités finales tendent à se rapprocher de celles obtenues à température normale (55 à 70% contre 62 à 78%, le 12 septembre), il semble que les températures basses aient au moins permis de ralentir le processus.

L'exondation semble être un facteur de stress important et accélère nettement l'évolution des mortalités quel que soit le régime thermique, cependant elle ne semble pas augmenter le taux de mortalité finale.

L'étude histologique effectuée sur de juvéniles "moribondes" a révélée que 40 à 66% d'entre elles présentaient des anomalies nucléaires laissant suspecter une infection due à un virus de type herpès (Renault, 1994; Le Deuff, 1994). Les 34 à 60% d'huîtres apparemment indemnes posent un problème quant à la cause première des mortalités les hypothèses suivantes peuvent être avancées :

- Les mortalités dues à l'herpès apparaîtraient en premier lieu, consécutivement à un stress et favoriseraient l'apparition d'un foyer infectieux (bactérien ou fongique) responsable de mortalités surnuméraires.

- Toutes les huîtres moribondes seraient atteintes par le virus de type herpès mais les anomalies nucléaires n'apparaîtraient que pour les stades infectieux les plus avancés et ne seraient donc pas visibles sur toutes les juvéniles examinées.

On connaît encore peu de chose sur ce virus de type herpès notamment en ce qui concerne son mode de transmission. L'hypothèse privilégiée actuellement serait celle d'une transmission horizontale (de proche en proche) faible ou minoritaire par rapport à la transmission verticale (d'ascendants à descendants). Ainsi des géniteurs contaminés donneraient une descendance contaminée, éventuellement porteuse saine jusqu'à ce qu'un stress permette au virus de s'exprimer. Si une telle hypothèse était vérifiée, on pourrait alors supposer que le lot utilisé pour la deuxième expérience était porteur du virus et que les différentes conditions d'élevage ont permis de provoquer son expression. De même les conditions d'expérience étant les mêmes, l'absence de mortalité dans la première expérience peut laisser supposer que l'on était en présence d'un lot indemne.

Le laboratoire de pathologie de La Tremblade travaille actuellement sur la mise au point de techniques de détection plus fiables et plus rapides basée sur l'utilisation d'anticorps spécifiques et de sonde génique. Ces techniques devraient, à l'avenir, permettre d'obtenir des résultats plus précis, de mieux comprendre ces phénomènes et le cas échéant de sélectionner des géniteurs sains.

3.3. Expérimentation n°3

Cette expérience réalisée sur des huîtres adultes en parallèle de l'expérimentation n°2 a débutée le 25 juillet et s'est achevée le 8 septembre 1995, soit 46 jours d'expérimentation.

3.3.1. Evolution du milieu

3.3.1.1. Les paramètres physico-chimiques

La température

Cette expérience a été réalisée en parallèle à l'expérience n°2, de ce fait les huîtres adultes ont subies les mêmes variations de température.

Cette dernière expérience étant plus courte que la précédente (de 5 jours), la température moyenne calculée pour chaque régime thermique est légèrement différente. Pour l'eau à température normale la moyenne est de $21,5^{\circ}\text{C} \pm 0,7$ (au risque 5%; $n = 43$) avec des températures oscillant de $16,5$ à 26°C et une amplitude moyenne est de $4,0^{\circ}\text{C}$. Pour l'eau échangée, on obtient, pannes de l'échangeur comprises, une moyenne de $16,4^{\circ}\text{C} \pm 0,5$ (au risque 5%; $n = 43$) avec des valeurs oscillant de 14 à $20,5^{\circ}\text{C}$ et une amplitude moyenne de 2°C en temps normal et jusqu'à 11°C lors des dysfonctionnements de l'échangeur.

La salinité

Pendant l'expérience, la salinité oscille entre $34,9$ et $36,8 \text{ g.l}^{-1}$ avec une valeur moyenne de $36,0 \text{ g.l}^{-1} \pm 0,2$ (au risque 5%, $n = 34$).

La turbidité

Au cours de l'expérience, la turbidité oscille entre $2,5$ et $7,8 \text{ NTU}$, avec une valeur moyenne de $4,0 \text{ NTU} \pm 0,5$ (au risque 5% pour $n = 27$).

L'oxygène

Sur l'ensemble de l'expérience, l'eau d'élevage était correctement oxygénée puisque son pourcentage de saturation est compris entre 80 et 100% . On note cependant quatre exceptions :

- le 31 juillet avec des valeurs de 79% à $85,7\%$,
- le 1 août de 76% à $81,9\%$,

- le 3 août de 77% à 97,4%,
- le 4 août de 76,99% à 83,5%.

Pour l'eau à température normale, le taux de saturation moyen en oxygène est de 87,7% \pm 1,2 (au risque 5% ; n = 144), avec un minimum de 75,9% et un maximum de 97,4%. Pour l'eau refroidie, le taux moyen est de 86,5% \pm 1,1 (au risque 5% ; n = 132), avec un minimum de 74,4% et un maximum de 96,1%.

3.3.2. Evolution des paramètres biotiques.

L'énergie disponible

Les quantités moyennes d'énergie disponible sont de 55,26 joules/litre \pm 11,28 pour la ration optimale et de 34,00 joules/litre \pm 7,70 (au risque 5% ; n = 4) soit un ratio effectif de 1,63, ce qui semble indiquer une participation importante de l'eau de mer dans l'apport énergétique.

La prise alimentaire moyenne des huîtres (tableau 14) n'est présentée qu'à titre indicatif en raison de son manque de précision et ne permet pas une réelle interprétation.

Tableau 14 : Prise alimentaire moyenne des huîtres adultes, exprimée en joules/litre et en % de l'énergie disponible (les intervalles de confiance sont donnés au risque 5% pour n = 2).

	N _{4x} T _{tech} E _Ø	N _{1x} T _{tech} E _Ø	N _{4x} T _{nor} E _Ø	N _{1x} T _{nor} E _Ø
Prise en joules/litre	11,39 \pm 6,10	11,66 \pm 6,19	16,18 \pm 24,48	4,41 \pm 8,64
Prise en pourcentage	20,86%	30,08%	28,95%	15,09%
Prise minimale	16,63%	19,55%	8,65%	0,00%
Prise maximale	24,39%	43,52%	41,49%	25,79%

3.3.3. Evolution du matériel biologique

3.3.3.1 Evolution des paramètres biométriques

Le poids total moyen (figure 9)

On note que les lots recevant la ration optimale de phytoplancton se démarquent très nettement de ceux recevant une ration quatre fois moindre. En effet, pour un poids moyen initial oscillant entre 47,0g \pm 1,8 et 47,9g \pm 1,8 (au risque 5% ; n = 30) on atteint le 6

septembre un poids moyen oscillant entre $53,8\text{g} \pm 3,0$ et $56,4 \pm 3,1$ pour les huîtres recevant la ration optimale et un poids moyen oscillant entre $48,4\text{g} \pm 1,8$ et $50,4\text{g} \pm 2,1$ pour celles recevant une ration quatre fois moindre.

Le taux de croissance (figure 9)

On note des taux de croissance plus importants pour les lots recevant la quantité de nourriture optimale, avec sur l'ensemble de l'expérience un taux de croissance moyen de $0,097 \pm 0,011$ (au risque 5% ; $n = 4$) contre un taux moyen de $0,027 \pm 0,010$ (au risque 5% ; $n = 4$) pour les lots recevant une ration quatre fois moindre (tableau 15).

Tableau 15 : Taux de croissance (G30) moyen calculé pour chaque période et pour toute la durée de l'expérience en fonction de la quantité de nourriture.

	du 25/07 au 09/08	du 09/08 au 22/08	du 22/08 au 06/09	Sur l'ensemble de l'expérience
Ration N_{4x}	$0,066 \pm 0,012$ ($n = 116$)	$0,153 \pm 0,017$ ($n = 115$)	$0,089 \pm 0,016$ ($n = 114$)	$0,097 \pm 0,011$ ($n = 4$)
Ration N_{1x}	$-0,001 \pm 0,012$ ($n = 115$)	$0,063 \pm 0,012$ ($n = 115$)	$0,028 \pm 0,09$ ($n = 115$)	$0,027 \pm 0,010$ ($n = 4$)

Le poids de coquille (figure 10)

Le poids de coquille moyen atteint en fin d'expérience est calculé pour chaque lot et comparé avec celui obtenu le 24 juillet pour le lot initial (tableau 16).

Tableau 16 : Poids moyen de coquille obtenu après 45 jours d'expérience pour chaque combinaison de facteur.

	$N_{4x} E_0$	$N_{4x} E_1$	$N_{1x} E_0$	$N_{1x} E_1$
Température "échangée"	$33,25\text{g} \pm 2,04$ ($n = 26$)	$33,19\text{g} \pm 2,66$ ($n = 29$)	$30,13\text{g} \pm 2,00$ ($n = 30$)	$29,25\text{g} \pm 1,52$ ($n = 30$)
Température normale	$32,56 \pm 2,42$ ($n = 29$)	$34,25 \pm 2,10$ ($n = 30$)	$29,17 \pm 2,32$ ($n = 29$)	$29,01 \pm 2,16$ ($n = 26$)

Les intervalles de confiance sont donnés au risque 5%

Le poids de coquille moyen obtenu le 24 juillet pour le lot initial est de $27,37\text{g} \pm 1,73$ (au risque 5% ; $n = 30$).

L'augmentation du poids de coquille est assez faible quel que soit les lots, on note néanmoins un gain légèrement supérieur pour les lots ayant reçu la quantité optimale de nourriture.

On obtient en 46 jours d'élevage, une augmentation du poids de coquille de 19 à 25% avec la ration optimale, et de 6 à 10% avec la ration quatre fois moindre.

Le poids de chair sèche (figure 10)

Le poids moyen de chair sèche est calculé pour chaque lot le 8 septembre et comparé au poids moyen obtenu pour le lot initial le 24 juillet (tableau 17).

Tableau 17: Poids moyen de chair sèche obtenu après 45 jours d'expérience pour chaque combinaison.

	N _{4x} E ₀	N _{4x} E ₁	N _{1x} E ₀	N _{1x} E ₁
Température "échangée"	3,33g ± 0,46 (n = 26)	3,11g ± 0,41 (n = 29)	1,52g ± 0,28 (n = 30)	1,43g ± 0,20 (n = 30)
Température normale	2,49 ± 0,20 (n = 29)	2,47 ± 0,28 (n = 30)	0,94 ± 0,18 (n = 29)	0,83 ± 0,15 (n = 26)

Les intervalles de confiance sont donnés au risque 5%

Le poids de chair moyen obtenu le 24 juillet pour le lot initial est de 1,25g ± 0,28 (au risque 5% ; n = 30).

Comme dans le cas du poids moyen de coquille, il semble que les poids moyens de chair sèche les plus élevés soient obtenus avec la ration optimale de nourriture. Dans ce cas, on enregistre, en 46 jours un gain allant de 98 à 166%. Cependant le facteur température semble avoir une importance non négligeable, on enregistre en effet des poids moyens supérieurs pour les lots élevés en eau refroidie et cela avec les deux rations de nourriture.

On note, pour les deux lots élevés à température normale avec l'apport phytoplanctonique le plus faible, une diminution du poids de chair sèche de 25 à 34%.

Les résultats obtenus en eau "échangée" avec cette même quantité de nourriture font état d'une légère augmentation du poids de chair sèche avec un gain de 14 à 22%.

L'indice de condition (figure 10)

L'indice de condition de Lawrence et Scott a été calculé pour chaque lot le 8 septembre et comparé avec celui obtenu le 24 juillet pour le lot initial (tableau 18)

Tableau 18 : Indice de condition de Lawrence et Scott (1982) calculé pour chaque combinaison après 45 jours d'expérience.

	N _{4x} E _Ø	N _{4x} E ₁	N _{1x} E _Ø	N _{1x} E ₁
Température "échangée"	152,05g ± 16,10 (n = 26)	144,65g ± 14,95 (n = 29)	75,58g ± 14,60 (n = 30)	71,01g ± 8,79 (n = 30)
Température normale	117,28 ± 8,24 (n = 29)	110,10 ± 9,12 (n = 30)	47,29 ± 8,19 (n = 29)	43,02 ± 7,50 (n = 26)

Les intervalles de confiance sont donnés au risque 5%

L'indice de condition obtenu le 24 juillet pour le lot initial est de 66,77g ± 14,79 (au risque 5% ; n = 30).

On observe ici les mêmes tendances que pour le poids de chair sèche:

- l'influence prépondérante de la nourriture avec pour la ration optimale (N_{4x}) des gains de 65 à 128% en 46 jours,
- un effet non négligeable de la température avec des indices globalement plus fort pour les lots à de faibles températures.

On note également, pour les deux lots élevés à température normale avec la ration phytoplanctonique la plus faible, une baisse de 29 à 36% de l'indice de condition.

Pour les lots élevés en eau refroidie avec la même quantité de nourriture, les valeurs obtenues sont très proches à celle du lot initial et représentent un gain de 6 à 13%.

3.3.3.2. Evolution du taux de mortalité

Le taux de mortalité observé au cours de cette expérience oscille entre 0 et 13,3% sans qu'il soit possible d'établir un rapport avec les facteurs étudiés (tableau 19). Au cours de l'expérience, sur les 240 huîtres adultes utilisées on totalise 11 mortes dont 9 dans les quinze premiers jours.

Tableau 19 : Taux de mortalité des différents lots en fin d'expérience.

	N _{4x} E _Ø	N _{4x} E ₁	N _{1x} E ₁	N _{1x} E _Ø
Température "échangée"	13,33%	3,33%	0,00%	0,00%
Température normale	3,33%	0,00%	13,33%	3,33%

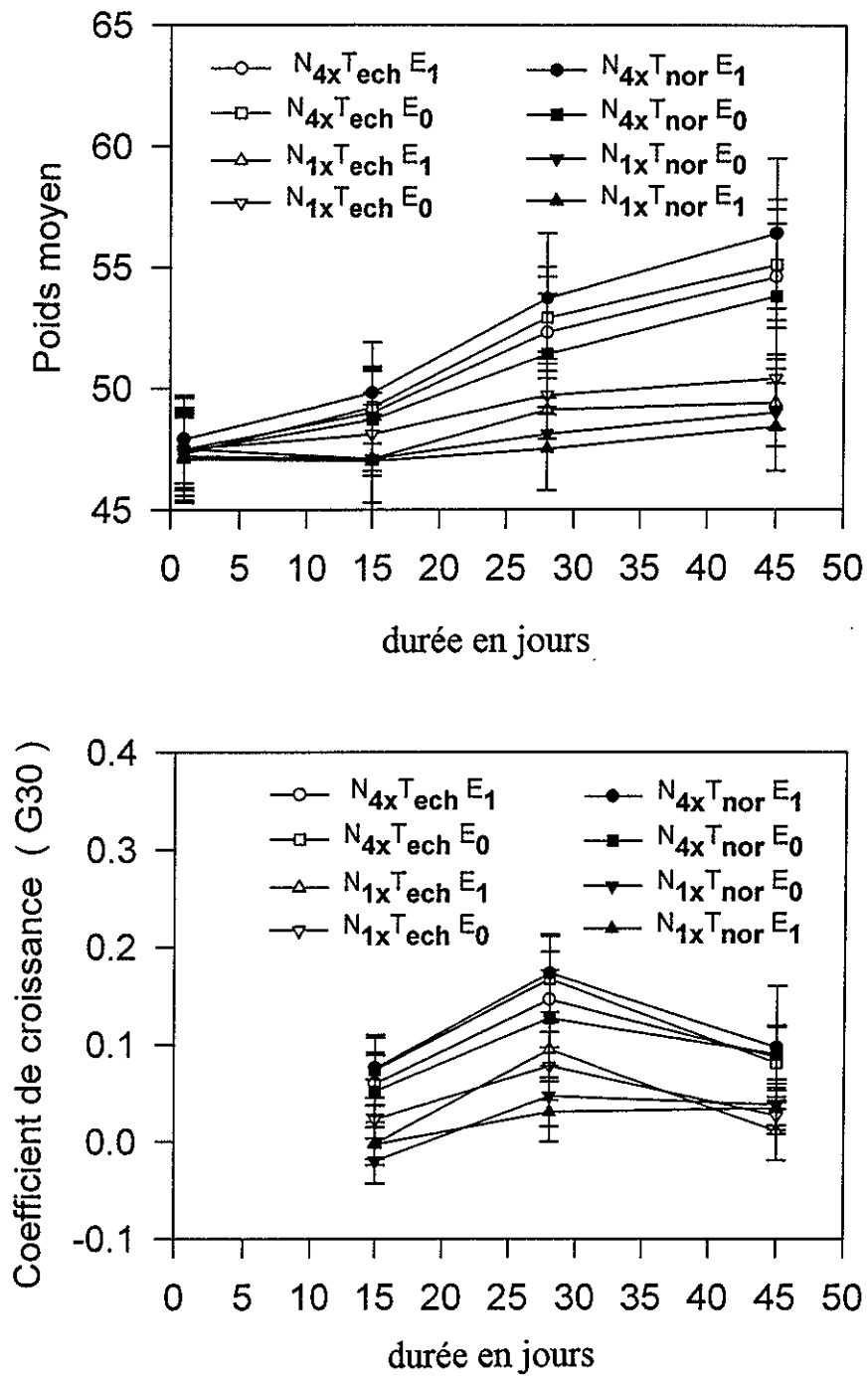


Figure 9 : Evolution du poids moyen et du taux de croissance mensuel au cours de l'expérience 3.

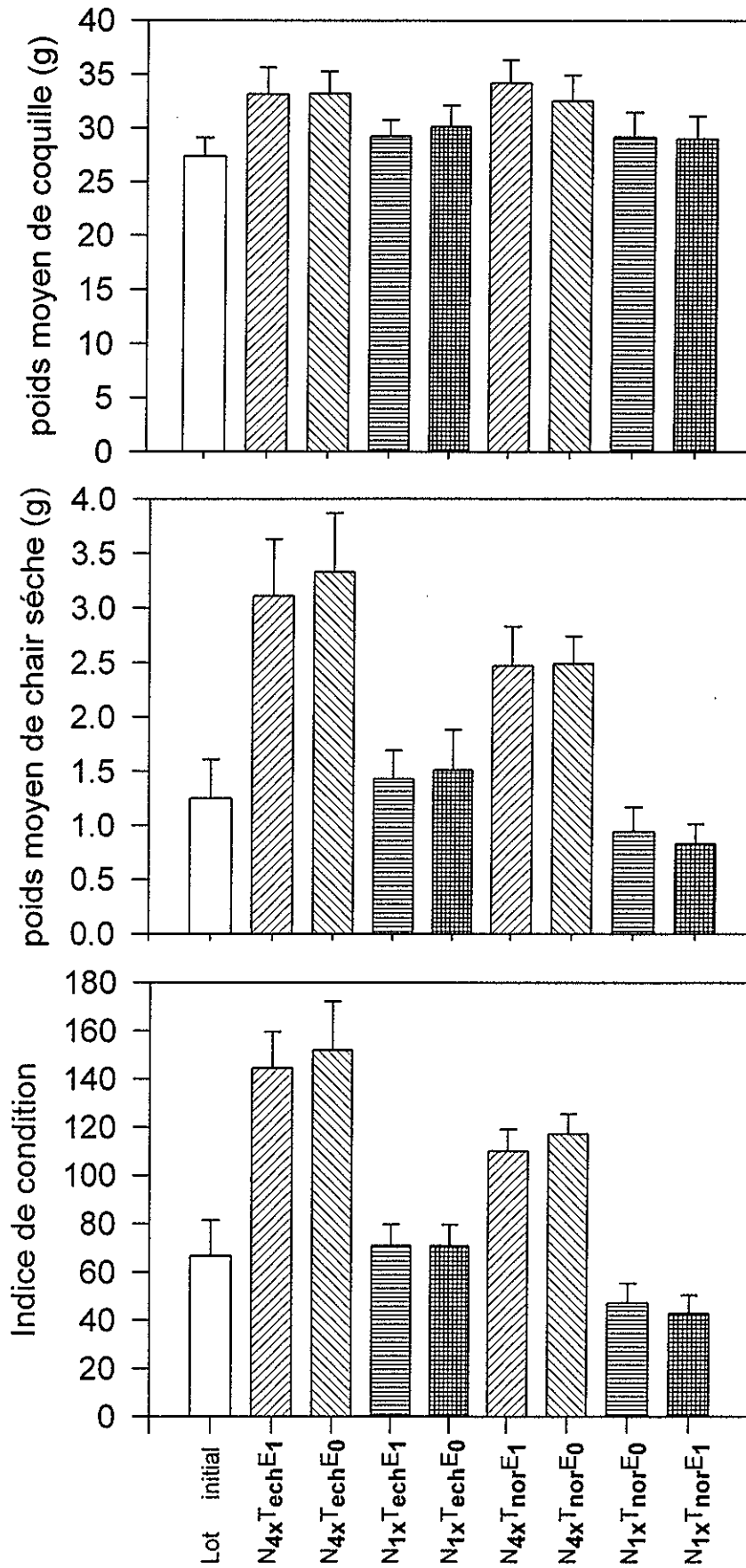


Figure 10 : Poids moyen de coquille, poids moyen de chair sèche et indice de condition de Lawrence et Scott (1982).

3.3.4. Discussion Expérience 3

Cette expérience a permis de faire ressortir un certain nombre de points.

Comme pour la deuxième expérience, la comparaison des deux régimes de température est compromise par les chocs thermiques répétés engendrés par les pannes de l'échangeur. On notera cependant que les chocs sont sensiblement moins brusques en raison d'un taux de renouvellement plus faible (environ 200% par heure au lieu de 500%).

Contrairement aux observations réalisées sur les juvéniles il semble que pour les adultes le facteur prépondérant soit la quantité de nourriture. Les croissances maximales sont obtenues pour la ration la plus forte (N_{4x}), la température et l'exondation ne semblent intervenir que de façon secondaire.

Les poids de coquilles semblent relativement stables avec un léger avantage pour les lots recevant la ration la plus forte (N_{4x}).

Le poids de chair sèche présente quant à lui des différences marquées dues principalement à la quantité de nourriture. On peut émettre l'hypothèse selon laquelle ces derniers auraient émis leurs gamètes pour les lots élevés à température normale alors qu'un processus de regression de la masse gonadique serait intervenu pour les lots élevés en eau refroidie. De ce fait, les lots élevés à température normale auraient acquis un retard important en terme de poids de chair sèche et ne l'aurait pas rattrapé à la fin de l'expérience.

Les taux de croissance obtenus sont très bas comparés à ceux des juvéniles ce qui va dans le sens des observations rapporté par de nombreux auteurs (Claus, 1981; Baud, 1991; Campion, com.pers.).

Les mortalités restent faibles (0 à 13%) et ne semblent pas être en rapport avec les facteurs étudiés. La majorité de ces mortalités (9 cas sur 11) ayant eu lieu dans les 15 premiers jours de l'expérience. Dans ce cas, on peut avancer l'hypothèse d'une adaptation délicate par rapport au milieu d'élevage.

3.4. Discussion générale

L'absence de mortalité dans l'expérience 1 nous permet d'évaluer l'impact de chaque facteur sur la croissance sans nous soucier d'interférences éventuelles dues à une mortalité sélective (Meyer, 1990). Les résultats obtenus nous ont permis de mettre en évidence les combinaisons les plus favorables à l'obtention de fortes croissances mais aussi et surtout celles permettant de les limiter au maximum.

Le facteur température semble être le facteur le plus important des trois, suivi par l'exondation puis par la quantité de nourriture qui semble avoir un effet variable en fonction de la taille des juvéniles.

Les croissances obtenues pour l'expérience 2 semblent s'accorder avec la première expérience et il semble donc que les options à envisager pour ralentir la croissance soit une température "échangée", l'exondation et une ration alimentaire à moduler en fonction de la taille des huîtres.

Les observations réalisées sur les adultes montrent, par rapport aux juvéniles une réaction radicalement différente vis à vis des facteurs étudiés.

Globalement ces différences de comportement peuvent s'expliquer par une certaine réorientation du métabolisme des individus en fonction de leur âge. Ainsi, si pour les juvéniles celui-ci semble dirigé principalement vers la croissance il en est autrement pour les adultes où une part importante de l'énergie disponible est investie dans la gamétogénèse, phénomène dont la manifestation la plus visible est la diminution considérable des réserves de glycogène au profit des tissus gonadiques.

Notre étude devrait permettre d'évaluer l'impact des facteurs étudiés sur la croissance et la mortalité de *Crassostrea gigas* pour mettre au point une stratégie d'élevage permettant de concilier un taux de mortalité acceptable avec une croissance correcte.

En ce qui concerne les juvéniles, les résultats obtenus montrent que face au pathogène auquel nous avons été confronté (un virus de type herpès), le fait de ralentir la croissance n'implique pas une réduction du taux de mortalité finale.

Le seul effet "positif" enregistré est obtenu avec l'eau refroidie et consiste en un ralentissement de l'évolution des mortalités sans diminution notable du taux final.

Si on retient l'hypothèse selon laquelle le lot initial de la première expérience était exempt de virus alors que celui de la deuxième expérience était porteur sain, il semble qu'une stratégie visant à obtenir un compromis acceptable entre croissance et mortalité soit difficilement envisageable dans le cas d'une population porteuse du virus.

Néanmoins dans le cas d'une population saine il est possible qu'une stratégie visant à freiner la croissance en période estivale permette de rendre cette population moins sensible aux organismes pathogènes, à condition que les moyens employés n'agissent pas comme des

facteurs de stress supplémentaires. A ce titre, il semble que l'exondation soit à proscrire, en effet l'évolution des mortalités dans l'expérience 2 la désigne comme un facteur de stress important. Cette ration alimentaire doit être suffisante pour couvrir les besoins énergétique des huîtres mais doit rester inférieur au seuil de production des pseudofécès afin d'éviter toute dépense d'énergie superflue. Une telle stratégie s'appuierait donc principalement sur un abaissement de la température et, à un degré moindre, sur une quantité de nourriture à moduler en fonction de la taille des individus.

En ce qui concerne le grossissement d'adulte en condition intensive, nous ne disposons pas de données précises sur l'impact de nos trois facteurs sur le taux de mortalité. Néanmoins les croissances obtenues laissent supposer qu'une température basse pourrait permettre de limiter la phase de gamétogénèse, période pendant laquelle les individus adultes sont semblent-il particulièrement vulnérables (Perdue, 1981; Beatie, 1992; Meyer, 1990).

Il apparaît donc que, dans le cas des adultes, une stratégie visant à ralentir la croissance pour obtenir un compromis croissance/mortalité acceptable devrait s'appuyer sur une température basse et une quantité de nourriture comprise entre les deux rations testées.

L'exondation étant un facteur de stress important chez les juvéniles, il serait peut être prudent de l'écartier également pour les adultes.

Néanmoins, la mise au point de telles stratégies nécessite la réalisation d'études complémentaires. En effet, si pour chaque facteur le choix d'options extrêmes nous a permis de faire ressortir leurs influences respectives, il convient dès lors d'affiner notre recherche dans les voies qui semblent intéressantes. Ainsi, en raison des dysfonctionnements répétés de l'échangeur thermique, une série d'expériences complémentaires sera effectuée afin de dissocier et préciser l'influence respective de températures basses et de chocs thermiques violents. Une attention toute particulière sera également portée sur le suivi des flux trophiques, le choix de méthodes moins lourdes comme la fluorimétrie ou la spectrophotométrie en continu devrait permettre l'obtention de données plus précises.

4. CONCLUSION

L'objet de cette étude était d'évaluer l'impact de trois facteurs d'élevage intensif sur la croissance et la mortalité d'huîtres creuses juvéniles et adultes afin de proposer une nouvelle stratégie d'élevage visant à obtenir, le meilleur compromis possible entre croissance et mortalité.

Les résultats obtenus permettent de proposer une première esquisse de ce que devrait être cette stratégie. Il semble qu'elle devrait s'appuyer sur un abaissement de la température en période estivale, une immersion en continu, une quantité de nourriture à moduler en fonction de la taille des individus

La mise au point d'une telle stratégie nécessite une série d'expériences complémentaires visant à :

- préciser le rôle joué respectivement par des températures basses et des chocs thermiques violents (semblables à ceux proposés par les dysfonctionnements de l'échangeur),
- obtenir des données plus précises sur les flux trophiques par l'utilisation de méthodes moins lourdes (fluorimétrie, spectrométrie).

L'expérience 2 a permis de mettre en évidence qu'une telle stratégie n'est pas envisageable dans le cas d'une population porteuse d'un agent pathogène latent, dans notre cas un virus de type herpès déjà incriminé dans des mortalités massives en éclosion, en nurserie et sur le littoral Français (Renault, 1994; Le Deuff, 1994; Nourry, 1994; Baud, 1995). Il apparaît donc comme une condition préalable et nécessaire d'obtenir des lots exempts de ce pathogène. On signalera à ce titre les travaux du laboratoire de pathologie de La Tremblade (IFREMER) qui portent sur la mise au point de tests de détection précis et rapides qui permettraient à terme d'effectuer un dépistage des porteurs sains de ce virus et donc de sélectionner des pontes et des géniteurs non contaminés.

5 - BIBLIOGRAPHIE

Bacher C. et J.P. Baud, (1992). Intensive rearing of juvenile oysters *Crassostrea gigas* in an upwelling system : optimisation of the biological production and economical aspect. Aquatic Living Ressource, n°5 : 89 - 98.

Barber B. J., S. E Ford and H. H. Haskin, (1986). Relationship among condition index, glycogen level, reproductive effort, and intensity of msx (*haplosporidium nelsoni*) infection in oyster, *Crassostrea virginica*. National Shellfisheries Association, annual meeting, 22-26 juin, abstracts : p. 109.

Baud J. P., (1988). Mise au point d'une stratégie de prégrossissement intensif en nourricerie de naissains de palourdes (*Ruditapes philippinarum*) et d'huîtres (*Crassostrea gigas*) dans la région de la baie de Bourgneuf. IFREMER DRV 88.031-RA/Bouin, 83 p.

Baud J. P., (1991). Utilisation des eaux salées souterraines en baie de Bourgneuf pour le prégrossissement intensif de mollusques filtreurs en nourricerie. mémoire présenté le 20 décembre 1991 pour obtenir le diplôme de recherche universitaire de l'Université des Sciences de Nantes, 65 p.

Baud J. P., (1995). Bilan de la mortalité des huîtres creuses en baie de Bourgneuf, Ostréalinea (lettre de l'Association Vendée Atlantique) n°29, 4p.

Baud J. P. et C. Joly J.P., (1991). Adaptation de la technique du télécapage de l'huître creuse (*Crassostrea gigas*) aux conditions d'élevage de la baie de Bourgneuf. IFREMER RIDRV-91-20-RA/Bouin, 38 p.

Baud J. P., C. Jolly and A. Bodoy, (1991). Improvement of remote setting of the pacific oyster (*Crassostrea gigas*) on french plastic pipes. communication orale, symposium CIEM de La Rochelle du 26 septembre au 4 octobre 1991.

Baud J.P., (1990). Prégrossissement intensif en marais de mollusques filtreurs. Aquarevue n° 29 : 38 - 43.

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

Beattie J. H. and J. Perdue, (1982). Progress in the development of resistance against summer mortality through selective breeding of pacific oysters. NSA West Coast Section Meeting, abstracts : p. 109.

Claus C., N de Pauw and E Jasper, (1981). Trends in a nursery rearing of bivalve molluscs. European Mariculture Society, special publication n°7 : 1 - 33.

Comps M. et J. R. Bonami, (1977). Pathologie des invertébrés. - infection virale associée a des mortalités chez l'huître *Crassostrea gigas* thunberg. Compte rendu de l'académie des sciences de Paris, tome 285, n° 11 : 1139 - 1140.

Disalvo L. H., J Blecka. and R Zebal, (1978). *Vibrio anguillarum* and larval mortality in a california coastal shellfish hatchery. Applied and Environmental Microbiology, vol. 35, n° 1 : 219 - 221.

Dungan C. F. and R.A.Elston, (1986). Destruction of bivalve mollusc hinge ligament by cytophaga-like bacteria : association with mortality in hatchery-reared juvenile pacific oysters, *Crassostrea gigas*. National Shellfisheries Association, annual meeting, 22-26 juin, abstracts : p. 115.

Friedman C. S., J. H Beattie, R. A Elston and R.P. Hedrick, (1991). Investigation of the relationship between the presence of a gram-positive bacterial infection and summer mortality of the pacific oyster, *Crassostrea gigas* thunberg. Aquaculture, 94 : 1 - 15.

Girard S., (1995). Les marchés ostréicoles : evolution de l'offre et de la demande. FIOM. 14 et 15 septembre. communication orale aux Journées de l'AGLIA (Talmont Saint Hilaire).

Grizel H.and M. Heral, (1991). Introduction into france of the japanese oyster (*Crassostrea gigas*). J. Cons. Int. Explor. Mer, 47 : 399 - 403.

Héral M., (1989). L'ostréiculture française traditionnelle, Aquaculture, vol. 1, deuxième édition, Gilbert Barnabé (coordonnateur) : 348 - 388.

Hidu H., S. R Chapman and D.Dean, (1981). Oyster mariculture in subboreal (Maine, United States of America) waters : cultchless setting and nursery culture of european and american oysters. Journal of Shellfish Research, vol. 1, n° 1 : 57 - 67.

Hine P. M., B.Wesney and B.E. Hay, (1992). Herpesviruses associated with mortalities among hatchery-reared larval pacific oysters *Crassostrea gigas*. Diseases of aquatic organisms, vol. 12 : 135 - 142.

Le Deuff R. M., J.L. Nicolas, T.Renault and N. Cochenec, (1994). Experimental transmission of a herpes-like virus to axenic larvae of pacific oyster, *crassostrea gigas*. Bull. Eur. Ass. Fish Pathol., n° 14 (2) : 69 - 72.

Leibovitz L.,R. Elston, V.P.Lipovsky and J. Donaldson, (1978). A new disease of larval pacific oysters (*Crassostrea gigas*), Proceeding of the ninth annual meeting of the World Mariculture Society, Atlanta, Georgia, January 3 - 6 : 603 - 615.

Maurer D., M. Comps et E. His, (1986). Caractéristiques des mortalités estivales de l'huître *Crassostrea gigas* dans le bassin d'arcachon. Haliotis n°15 : 309 - 317.

Meyers T. R., S. Short and W. Eaton, (1990). Summer Mortalities and Incidental Parasitisms of Cultured Pacific Oysters in Alaska. Journal of Aquatic Animal Health n°2 : 172 - 176.

Mori K., (1979). Effect of artificial eutrophication on the metabolism of the japanese oyster *Crassostrea gigas*. Marine Biology, n° 53 : 361 - 369.

Pastoureaud A., (1993). Selectivité de l'ingestion du matériel particulaire. CREMA l'Houmeau, Rapport d'activité 1990-93, action de recherche n°8 : 68 - 71.

Perdue J. A., J.H. Beattie and K.K. Chew, (1981). Some relationships between gametogenic cycle and summer mortality phenomenon in the pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in Washington state. Journal of shellfish research, vol. 1, n°1, 9 - 16.

Renault T., N. Cochenec, R.M. Le Deuff and B. Chollet, (1994). Herpes-like virus infecting japanese oyster (*Crassostrea gigas*) spat. Bull. Eur. Ass. Fish Pathol. n° 14 (2) : 64 - 66.

Renault T., R.M. Le Deuff, N. Cochenec and P. Maffart, (1994). Herpesvirus associated with mortalities among Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, in France - comparative study. Revue Med. Vet., 145, 10 : 735 - 742.

Ricard M., (1987), Atlas du phytoplancton marin, vol. 2, 297 p.

Robert J. M., (1987). Valorisation des sites aquacoles existants ou potentiels de la région des pays de la loire, par utilisation des eaux souterraines pour la production d'algues unicellulaires destinées a l'alimentation de différentes espèces de mollusques au cours de leur cycle d'élevage. Rapport Convention Région Des Pays de Loire et Université de Nantes, 49 P.

Sinderman C. J., (1990). Principal diseases of marine fish and shellfish, vol. 2, second edition, 516 p.

Stewart J. E., (1989). Approaches to problems of disease in aquaculture. ICES, EMEM, paper n° 37, 9 p.

6 - ANNEXES

ANNEXE 1

LA STATION IFREMER DE BOUIN

LOCALISATION

A la fois station expérimentale et laboratoire côtier, la station IFREMER de Bouin, créée en 1976, est implantée dans le "polder des champs" à proximité directe de la baie de Bourgneuf.

PERSONNELS :

Service "Ressources Aquicoles"

Programmes écosystème, conchylicole, génétique quantitative et qualité des bivalves :

J. P. BAUD
J. HAURE
M. NOURRY
N. LE BAYON

Programme valorisation des microalgues :

N. LE BAYON

Service "Direction de l'Environnement et de l'Aménagement du Littoral"

D. BAUD

Secrétariat

F. LAUNAY

ACTIONS DE RECHERCHES

Compréhension de l'écosystème conchylicole de la baie de Bourgneuf

- Etude des variations saisonnières de la colonne d'eau sur le plan physicochimique et nutritionnel vis à vis des mollusques filtreurs.
- Suivi annuel de la croissance, de la mortalité et de la qualité d'engraissement des huîtres sur cinq secteurs de production (REMORA).
- Expertises et avis scientifiques auprès des professionnels et des administrations maritimes.

Diversification de la conchyliculture et valorisation des marais

- Diversification des espèces produites : huître plate (*Ostrea edulis*).
- Diversification des techniques : prégrossissement, demi-élevage et grossissement intensif, affinage contrôlé des coquillages en bassins.

Génétique mollusques

Les compétences acquises sur l'élevage contrôlé des coquillages et la présence de bassin expérimentaux ont été mis à profit depuis peu pour contrôler les performances de croissance de souches de coquillages issues de plans de sélection en génétique quantitative. L'objectif étant d'améliorer la qualité et la résistance aux maladies des huîtres et autres coquillages d'intérêt commercial.

Valorisation du phytoplancton

La maîtrise de la production en grand volume (200 m³/jour) de *Skeletonema costatum* sur une eau salée souterraine à généré un axe de recherche "Valorisation" de cette matière première qui est conduit par le département "Biochimie et molécules marines". D'autre espèce sont ou seront testées sur cette eau souterraine en vue d'une amélioration du régime nutritionnel des coquillages et/ou d'une valorisation par l'industrie pharmaceutique, cosmétique et biochimique.

Qualité des bivalves d'intérêt commercial

Sur le secteur des Pays de la Loire une étude pluriannuelle est réalisée sur différents secteurs de production pour l'huître creuse et la moule. Afin de définir à moyen terme des critères de qualité "objectifs" pour la profession et les différents acteurs des circuits de commercialisation.

Parallèlement des études sur le potentiel régional d'amélioration de la qualité des huîtres sont menées en marais et en bassin intensif.

ANNEXE 2

MANIP. n° 1 : calendrier des évènements.

Date	évènements
10/05/1995	tamissage et préparation des lots
11/05/1995	
12/05/1995	
13/05/1995	
14/05/1995	
15/05/1995	
16/05/1995	
17/05/1995	Eau non échangée : microbullage
18/05/1995	idem + LPG
19/05/1995	arrêt échangeur dans la nuit du 18 au 19
20/05/1995	
21/05/1995	LPG
22/05/1995	Tamissage. Eau échangée : arrêt circulation pour changer la pompe eau de mer.
23/05/1995	
24/05/1995	
25/05/1995	
26/05/1995	
27/05/1995	
28/05/1995	
29/05/1995	
30/05/1995	
31/05/1995	arrêt échangeur dans la nuit, vidange du puisard d'arrivée eau de mer : arrêt des deux pompes pour environ 1 heure
01/06/1995	arrêt échangeur dans la nuit
02/06/1995	LPG
03/06/1995	
04/06/1995	
05/06/1995	
06/06/1995	
07/06/1995	
08/06/1995	Tamissage
09/06/1995	
10/06/1995	
11/06/1995	

12/06/1995 LPG
13/06/1995
14/06/1995 Phyto : pour remédier a une mauvaise répartition et a la sédimentation, installation d'une pompe pour homogénéiser
15/06/1995
16/06/1995 LPG
17/06/1995
18/06/1995
19/06/1995
20/06/1995 LPG + arrêt volontaire de l'échangeur pour passage à l'acide : toute la matinée
21/06/1995
22/06/1995 Tamisage et dédoublement des lots
23/06/1995
24/06/1995 arrêt eau de forage au niveau de l'échangeur
25/06/1995
26/06/1995 coupure d'électricité de minuit à 15 heures, mise à sec à 8h30 : 6h30 d'assec
27/06/1995
28/06/1995
29/06/1995 LPG + arrêt eau de forage au niveau de l'échangeur
30/06/1995
01/07/1995
02/07/1995
03/07/1995
04/07/1995 travaux électriques : assec de tous les lots de 9h30 à environ 12h00
05/07/1995
06/07/1995
07/07/1995 LPG
08/07/1995 arrêt eau de forage au niveau échangeur
09/07/1995
10/07/1995
11/07/1995
12/07/1995 LPG : ponte après lavage pour le lot 6
13/07/1995 LPG : tentative LPG sur 6 et 66 mais de nouveau une ponte après lavage
14/07/1995
15/07/1995
16/07/1995
17/07/1995 fin manip. n° 1

MANIP. n° 2 : calendrier des évènements.

Date	évènements
24/07/1995	tamissage et mise en route manip. juvéniles
25/07/1995	Mise à l'eau Adultes
26/07/1995	
27/07/1995	mortalité adultes : lot 11 = n°14, lot 77 = n°5
28/07/1995	début mortalité chez les juvéniles
29/07/1995	
30/07/1995	
31/07/1995	comptage mortalité juvéniles + mortalité adultes : lot 22 = n°8, lot 88 = n°13 et 6
01/08/1995	mortalité adultes : lot 88 = n° 2
02/08/1995	comptage mortalité juvéniles
03/08/1995	
04/08/1995	arrêt échangeur
05/08/1995	microbullage sur l'eau non échangée
06/08/1995	
07/08/1995	LPG juvéniles + comptage mortalité juvéniles + mortalité adultes : lot 66 = n° 12, lot 88 = n°21
08/08/1995	tamissage
09/08/1995	mesure Adultes + mortalité adultes = lot 22 n°18
10/08/1995	
11/08/1995	
12/08/1995	
13/08/1995	
14/08/1995	
15/08/1995	
16/08/1995	
17/08/1995	mini maxi : en commun avec celui du 16 car non remis à "0" la veille + comptage mortalité juvéniles
18/08/1995	arrêt forage au niveau de l'échangeur
19/08/1995	
20/08/1995	
21/08/1995	LPG Adultes + arrêt échangeur : oxygène un peu bas
22/08/1995	LPG juvéniles + mesures adultes
23/08/1995	tamissage + arrêt forage au niveau échangeur + phyto contaminé par des péridiniens
24/08/1995	tamissage + Phyto = 100% Péridiniens
25/08/1995	pas de distribution de phyto en raison contamination

26/08/1995
27/08/1995
28/08/1995 arrêt échangeur
29/08/1995 panne échangeur + mortalité juvéniles en cours
30/08/1995 idem + comptage mortalité juvéniles
31/08/1995 idem + LPG juvéniles
01/09/1995 échangeur opérationnel vers 13h + LPG Adultes
02/09/1995
03/09/1995
04/09/1995
05/09/1995
06/09/1995 fin manip. Adultes
07/09/1995 coupure électriques fréquentes : tempête
08/09/1995
09/09/1995 fin manip: Adultes
10/09/1995
11/09/1995 arrêt échangeur dans l'après midi
12/09/1995 comptage mortalité juvéniles
13/09/1995 arrêt manip. juvéniles

ANNEXE 3

Description du groupe des virus du type "herpès"

Extrait de :
The biology of ANIMAL VIRUS
Volume 1

MOLECULAR AND CELLULAR BIOLOGY

auteur : Frank FENNER

page : 16 et 17

HERPESVIRUS (D/2 : 54-92/7 : S/S : V/0)

The name "Herpesvirus" was first proposed (Andrewes, 1954) for a group of five deoxyriboviruses - herpes simplex, pseudorabies, virus III, B virus, and varicella - and was later extended to include a number of other viruses which had been provisionally classified as belonging to a new group. "Nitavirus" (Nuclear Inclusion Type A). The latter name has now been abandoned (Andrewes, 1964). The herpesviruses are uniquely characterized by their nucleic acid, but they are most readily recognized by their morphology. Their icosahedral capsid with 162 capsomers is assembled in the nucleus and is then enclosed within an envelope which is acquired as the virus matures at either the nuclear or the cytoplasmic membrane.

Electron microscopic examination by negative staining of many previously unclassified viruses showed that several of them had an icosahedral capsid enclosed within a membranous envelope similar to the prototype of the group, herpes simplex virus. When further examined such viruses have also been found to be deoxyriboviruses which multiply in the nucleus, and they have been included in the herpesvirus group. The morphology and size of the capsid seems to be similar in all the herpesviruses, but the amount of DNA varies considerably, the recorded extremes being 92 million daltons for equine abortion virus and 54 million daltons for infectious bovine rhinotracheitis virus. Table 5 shows some of the viruses now regarded as members of this group; a more complete list is given by Andrewes (1964). Serological cross-reactions have been described between several members of the herpesvirus group (see Table 5); it remains to be discovered whether there are group or subgroup antigens. Immunodiffusion tests offer the best prospect for further elucidation of serological relationships within the group (Watson *et al*, 1967).

Different herpesviruses cause a wide variety of types of infectious diseases, which may be localized or many be generalized with a rash; A feature of several herpesvirus infections is prolonged latency associated with one or more episodes of recurrent clinical disease.

Table 5

HERPESVIRUS GROUP*

VIRUS	COMMENT
Herpes simplex	} Serologically related by cross-neutralization tests
B. virus	
Pseudorabies	} Serologically related by gel-diffusion tests
Infections bovine rhinotracheitis	
Equine abortion (equine herpes type 1)	} The diseases of varicella and zoster are different manifestations of infection by one virus
Varicella-Zoster	
Infections laryngotracheitis	Probaly other related viruses in birds
Cytomegaloviruses	Several related viruses, each highly host specific

* Characteristics : enveloped deoxyriboviruses (double-stranded DNA, 54-92 million daltons within an icosahedral capsid of 162 capsomers; multiply in nucleus, mature by budding at nuclear or cytoplasmic membrane.