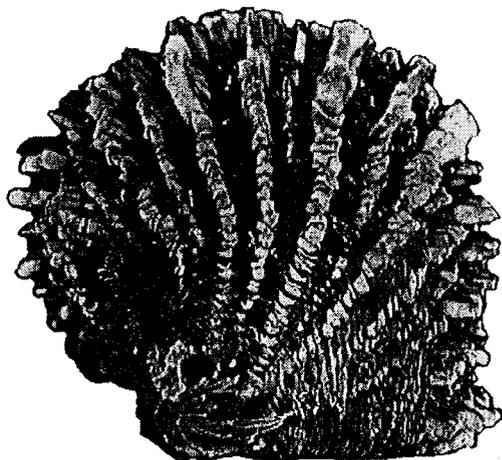


PROGRAMME GÉNÉRAL DE RECHERCHE SUR LA NACRE



ACTION DE RECHERCHE
N°8
ECOPHYSIOLOGIE

RAPPORT FINAL

Etude de la respiration et de la filtration de l'huître perlière *Pinctada margaritifera*

S. Robert ⁽¹⁾, A. Bennett ⁽¹⁾, F. Bernard ⁽¹⁾, J. Blanchot ⁽³⁾,
S. Bougrier ⁽⁴⁾, D. Buestel ⁽¹⁾, X. Caisey ⁽¹⁾, J.C. Cochard ⁽¹⁾, J.M. Dormoy ⁽¹⁾,
P. Geairon ⁽⁴⁾, G. Jonquières ⁽¹⁾, A. Pellan ⁽⁴⁾, S. Pouvreau ⁽¹⁾, J. Prou ⁽³⁾,
G. Remoissenet ⁽⁴⁾, V. Stiger ⁽¹⁾, H. Teissier ⁽¹⁾, J. Tiapari ⁽¹⁾.

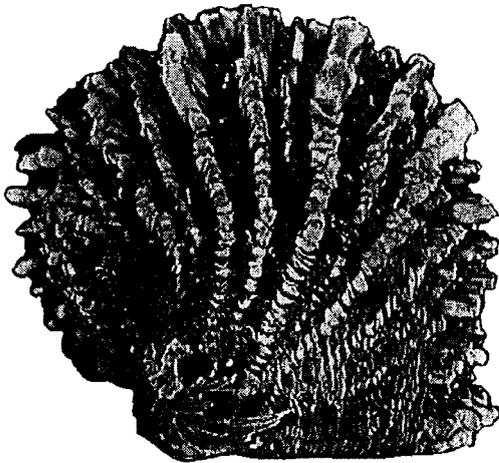
⁽¹⁾ Centre IFREMER-COP de Vairao, ⁽²⁾ Centre ORSTOM de Nouméa ,
⁽³⁾ Centre IFREMER de La Tremblade, ⁽⁴⁾ EVAAM.



Novembre 1995

Fonds Documentaire ORSTOM
Cote: A* 15708 Ex: 1

PROGRAMME GÉNÉRAL DE RECHERCHE SUR LA NACRE



ACTION DE RECHERCHE
N°8
ECOPHYSIOLOGIE

RAPPORT FINAL

**Etude de la respiration et de la filtration
de l'huître perlière *Pinctada margaritifera***

**S. Robert ⁽¹⁾, A. Bennett ⁽¹⁾, F. Bernard ⁽¹⁾, J. Blanchot ⁽³⁾,
S. Bougrier ⁽⁴⁾, D. Buestel ⁽¹⁾, X. Caisey ⁽¹⁾, J.C. Cochard ⁽¹⁾, J.M. Dormoy ⁽¹⁾,
P. Geairon ⁽⁴⁾, G. Jonquières ⁽¹⁾, A. Pellan ⁽⁴⁾, S. Pouvreau ⁽¹⁾, J. Prou ⁽³⁾,
G. Remoissenet ⁽⁴⁾, V. Stiger ⁽¹⁾, H. Teissier ⁽¹⁾, J. Tiapari ⁽¹⁾.**

⁽¹⁾ Centre IFREMER-COP de Vairao, ⁽²⁾ Centre ORSTOM de Nouméa ,
⁽³⁾ Centre IFREMER de La Tremblade, ⁽⁴⁾ EVAAM.

Novembre 1995



RESUME

L' action de recherche n°8 du PGRN : «Ecophysiologie de l'huître perlière *Pinctada margaritifera*. Etude de la respiration et de la filtration» aborde successivement l'activité valvaire, la respiration, la filtration chez l'huître perlière.

Le suivi de l'activité valvaire montre un rythme nyctéméral d'ouverture : les valves sont plus ouvertes la nuit. Les mouvements valvaires sont plus nombreux et plus amples durant la journée.

Un travail méthodologique important a été réalisé pour la mise au point du matériel de mesure de la respiration et de la filtration utilisable aussi bien au laboratoire que in situ à Takapoto.

Les mesures au laboratoire ont permis de définir chez des huîtres de 13 cm les niveaux d'activité respiratoire de routine (0.91 mg h⁻¹ g⁻¹), de base (0.61 mg h⁻¹ g⁻¹) et le niveau actif (1.2 mg h⁻¹ g⁻¹) à une température de 29°C. Les mesures de filtration ont montré une baisse de l'activité, liée à la concentration en algues du régime alimentaire. Les expérimentations au laboratoire se sont révélées difficiles du fait du conditionnement des huîtres. Ainsi l'établissement des relations liant le poids sec à la respiration et à la filtration au laboratoire ont été perturbées par les phénomènes de maturation et de ponte.

Une relation d'allométrie respiration - poids sec de chair a été établie *in situ* dans l'atoll de Takapoto, pour une température de 27°C : $Y=0.88.W^{0.67}$.. Elle traduit un métabolisme élevé.

La filtration *in situ* a été abordée de deux façons : mesure indirecte par fluorimétrie et mesure directe par la collecte des biodépôts. La relation filtration poids sec obtenue à partir de la fluorimétrie est de la forme $Y= 8,03.W^{0.96}$. L'approche biodépôts a donné une relation du type : $Y=33,5 W^{0.28}$.

La puissance de filtration de l'huître perlière dans le milieu naturel apparaît donc très forte. Ce phénomène peut expliquer le paradoxe des bonnes croissances de *Pinctada margaritifera* dans des milieux fortement oligotrophes.

Les études actuelles ne montrent pas de rythmicité des activités physiologiques à corréler au rythme de l'activité valvaire.



SOMMAIRE

<u>PREAMBULE</u>	5
<u>INTRODUCTION GENERALE</u>	7
<u>PREMIERE PARTIE : RYTHMES D'ACTIVITE VALVAIRE DE L'HUITRE PERLIERE</u>	9
1. INTRODUCTION	9
2. EXPERIMENTATION AU COP DANS LE LAGON DE VAIRAO	11
3. EXPERIMENTATION A TAKAPOTO	13
4. CONCLUSION	15
<u>DEUXIEME PARTIE : ETUDE DE LA RESPIRATION</u>	17
INTRODUCTION	17
ETUDE DE LA RESPIRATION AU LABORATOIRE	19
1. ETUDE PRELIMINAIRE	19
2. NIVEAUX DE CONSOMMATION	21
3. NIVEAUX DE CONSOMMATION : EXPERIENCE COMPLEMENTAIRE	36
4. MODELISATION DE LA CONSOMMATION D'OXYGENE EN FONCTION DU POIDS SEC	36
ETUDE DE LA RESPIRATION <i>IN SITU</i>, A TAKAPOTO	43
1. MODELISATION DE LA CONSOMMATION D'OXYGENE EN FONCTION DU POIDS SEC	43
2. MATERIELS ET METHODES	43
3. RESULTATS ET DISCUSSION	45
CONCLUSION	51
<u>TROISIEME PARTIE : ETUDE DE LA FILTRATION</u>	55
MODALITES DE LA FILTRATION CHEZ <i>PINCTADA MARGARITIFERA</i>	57
ETUDE DE LA FILTRATION AU LABORATOIRE	59
1. ETUDE PRELIMINAIRE	59
2. ADAPTATION DU TAUX DE FILTRATION	61
3. ETABLISSEMENT DE LA RELATION FILTRATION - POIDS SEC EN MILIEU CONTROLE	63
ETUDE DE LA FILTRATION <i>IN SITU</i>	67
1. ETUDE DE LA FILTRATION A PARTIR DE LA COLLECTE DES BIODEPOTS.	67
1. ETUDE DE LA FILTRATION A PARTIR DE LA RETENTION DES MICRO-ALGUES DU MILIEU NATUREL	79
2. ETABLISSEMENT DE LA RELATION FILTRATION - POIDS SEC EN MILIEU NATUREL	81
3. CONCLUSION GENERALE SUR LA FILTRATION	84
<u>CONCLUSION GENERALE</u>	87
<u>TABLE DES FIGURES</u>	93
<u>TABLE DES TABLEAUX</u>	95



PREAMBULE

Ce document constitue le rapport final correspondant à la convention n° 8 passée avec l'EVAAM dans le cadre du programme général de recherche sur la nacre.

Ce travail a été réalisé par l'unité huître perlière du COP en collaboration avec l'unité de recherche en écophysiologie du laboratoire IFREMER de la TREMBLADE et l'EVAAM qui a mis à disposition ses moyens logistiques et le personnel de l'antenne de Takapoto.

Un très grand retard a été pris sur le reste du programme du fait de la signature tardive de cette convention de recherche (mars 1994). La plupart du matériel nécessaire a seulement été disponible mi-1994.

Il était prévu au départ d'équiper le PGRN d'un compteur de particules, outil de base des recherches en écophysiologie des bivalves. Cet équipement n'a pas pu être obtenu. Aussi les travaux prévus ont été modifiés pour s'adapter à cette situation. L'étude des rythmes d'activité, non prévue initialement, a été rajouté à ce travail.

Ces travaux sont réalisés en Polynésie Française dans le cadre du Programme Général de Recherche sur l'Huître perlière. Contrat de plan 1989-1993 pour la recherche et les transferts de technologie entre l'état et le gouvernement territorial avec la participation financière du ministère des DOM-TOM, du ministère de la recherche et de la technologie, du fonds européen (VIème -), et du gouvernement de Polynésie Française.



INTRODUCTION GENERALE

Les premiers travaux du PGRN ont montré l'importance de la notion de charge admissible dans les lagons (Fougerouse et al, 1994; Buestel et Pouvreau, 1994). Pour approcher cette notion, deux méthodes ont été préconisées. L'une, empirique, suppose la mise en place d'un réseau de suivi biologique de l'huître perlière dans les principaux sites de perliculture. L'autre, analytique, vise à décrire en détail le fonctionnement de l'écosystème conchylicole dans un atoll. Elle implique la description et la quantification des grandes fonctions physiologiques de l'huître perlière.

Le Figure 1 (page suivante) décrit les différentes étapes qui, à partir de la prise de nourriture dans le milieu, conduisent à la production de matière par la nacre (chair, gamètes, coquille, perle). L'objectif des recherches est de quantifier les échanges en terme d'énergie pour établir un bilan énergétique formalisé par l'équation suivante (CRISP 1971) :

$$C = R+F+U+P$$

- C = énergie consommée,
- R = énergie dépensée pour le métabolisme (respiration),
- F = énergie rejetée sous forme de pseudofécès (F') et de fèces (F''),
- U = énergie excrétée sous forme d'urine,
- P = gain brut en énergie. Energie utilisée pour la production de matériel organique (croissance, reproduction).

La modélisation de ce système doit permettre de prédire la croissance des huîtres en fonction des conditions du milieu. Une fois ce but atteint, il sera possible de connaître les besoins nutritifs des populations d'huîtres en élevage et de les comparer avec la production des atolls. L'objectif final est de situer le niveau de stock optimal à ne pas dépasser pour sécuriser la perliculture.

La quantification des fonctions de filtration et de respiration, conditionnant respectivement la prise de nourriture et les dépenses métaboliques, est essentielle pour l'établissement du bilan énergétique. La respiration et la filtration ont été étudiées au laboratoire et *in situ* à Takapoto, site atelier du **Programme Général de Recherche sur la Nacre**. Ce rapport présente les méthodes d'études et les résultats obtenus dans le cadre de l'opération de recherche n°8 du PGRN : « **Ecophysiologie de l'huître perlière *Pinctada margaritifera*. Etude de la respiration et de la filtration.** »

Cette approche *écophysiologique* est complétée par une caractérisation du régime alimentaire de l'huître perlière, objet de l'action de recherche Nutrition du PGRN.

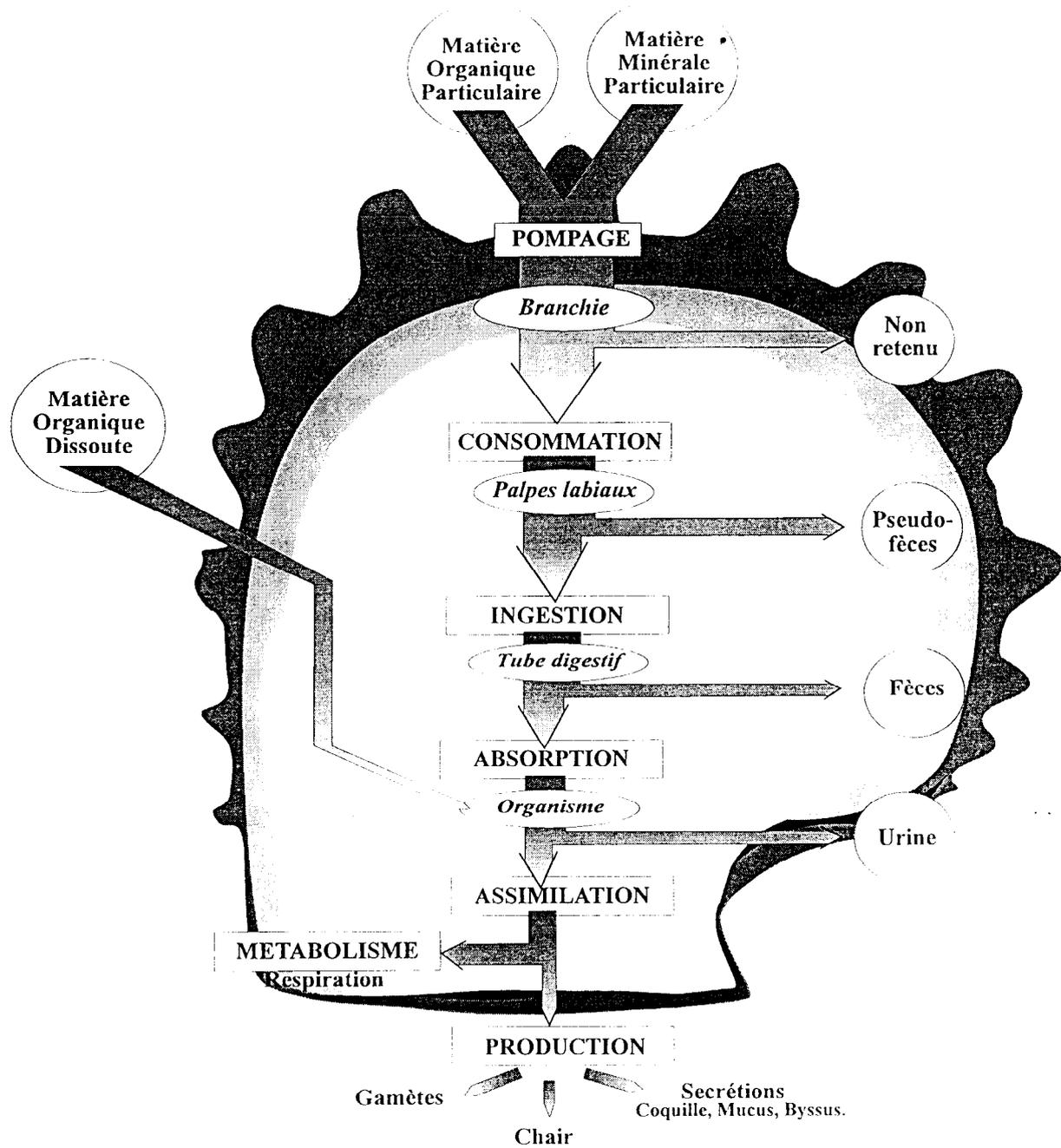


Figure 1. Comportement nutritionnel de l'huître perlière *Pinctada margaritifera*.



PREMIERE PARTIE :
**RYTHMES D'ACTIVITE VALVAIRE DE
L'HUITRE PERLIERE**

1. INTRODUCTION

Il n'existe que très peu de données certaines sur l'existence de rythmes d'activité *in situ* des bivalves. Les bilans énergétiques sont en général calculés à partir de données physiologiques ponctuelles en considérant que l'activité est identique et continue.

Le département DITI de l'IFREMER (S. PENNEC) a mis au point un appareil permettant de mesurer en continu l'ouverture des valves des coquillages. L'objectif est d'utiliser ce capteur comme un détecteur de pollution : les moules ferment leurs valves lorsqu'elles se trouvent en eau polluée. Il permet également d'étudier le comportement et les rythmes d'activité éventuels. La moule *Mytilus edulis*, étudiée en détail par A. FLOCH (1994), présente en temps normal des périodes d'alternance ouverture - fermeture avec différents types de mouvements qui reflètent l'activité physiologique (filtration, respiration, excrétion, ponte). De plus il existe un rythme nyctéméral, de l'ouverture maximale durant la nuit et réduite le jour.

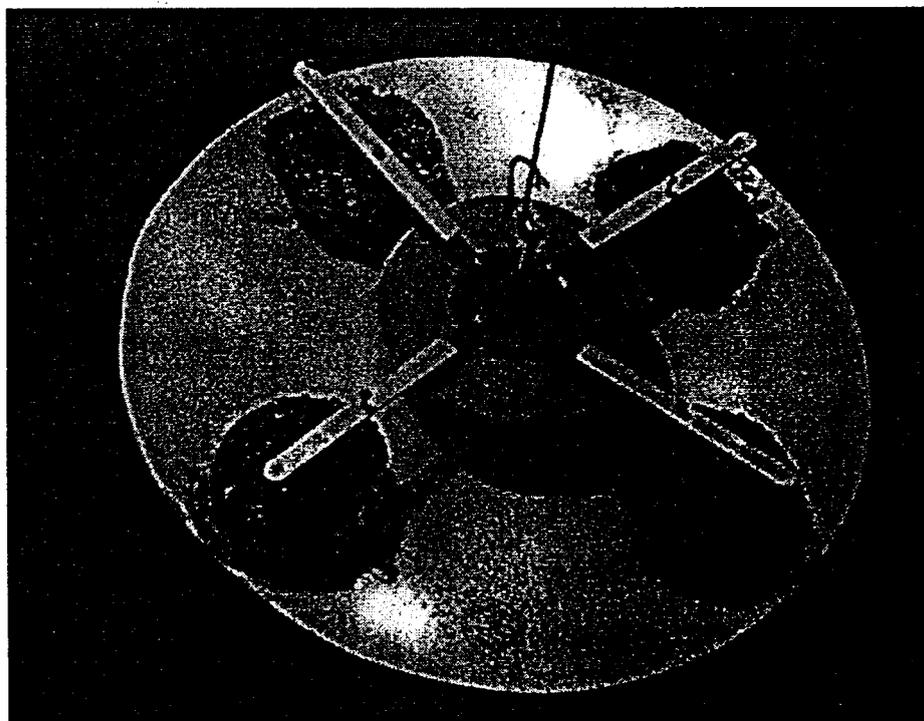


Photo 1. Vue du valvomètre en période d'enregistrement.
Les huîtres sont cimentées sur une plaque de PVC.

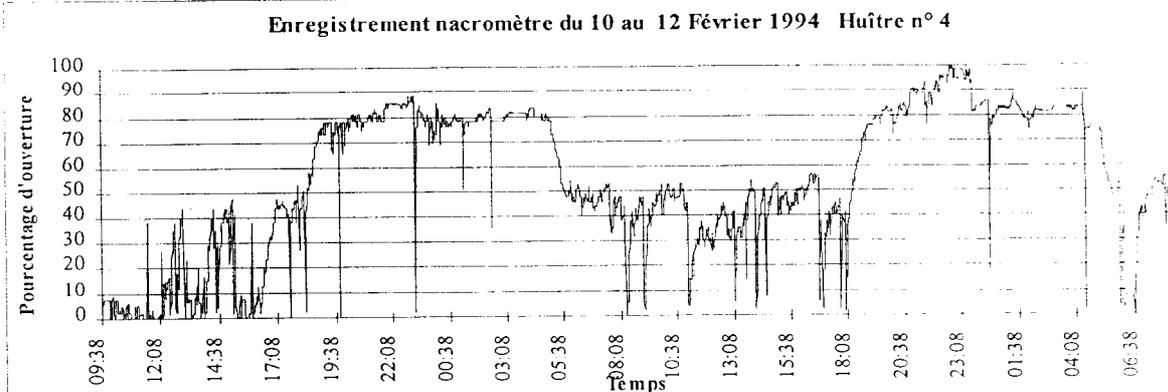
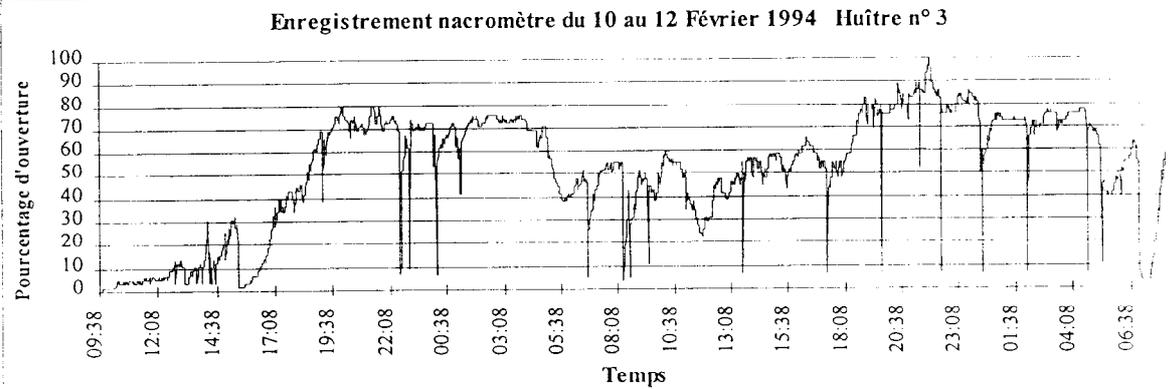
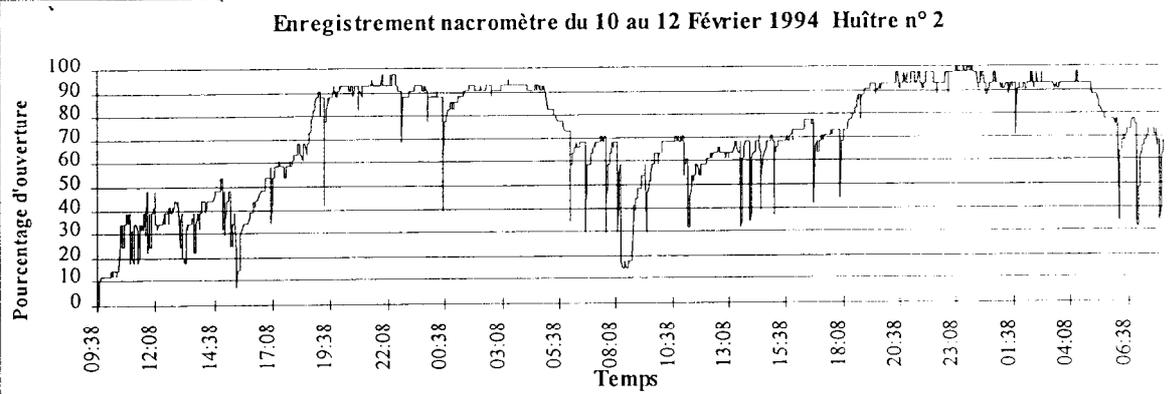
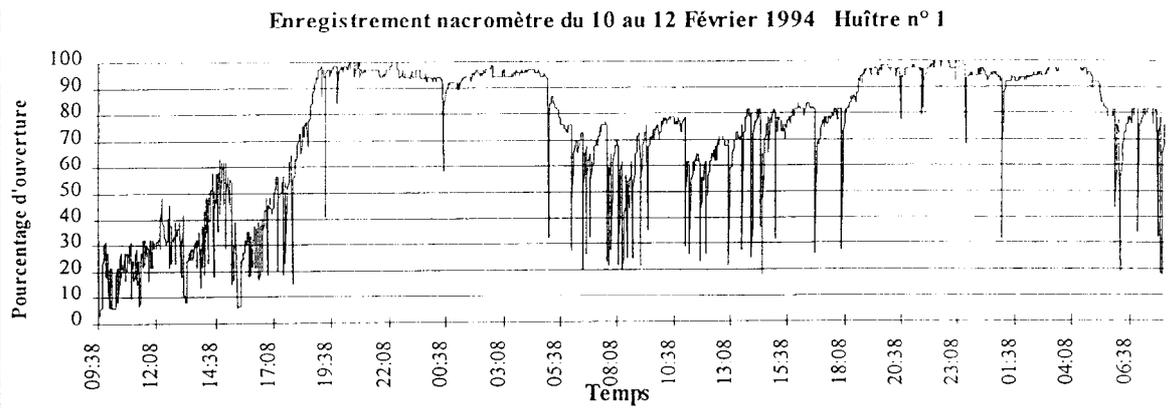


Figure 2. Premiers essais du valvomètre.



Le prototype du "valvomètre" utilisé a été conçu par S. PENNEC du département technologie de l'IFREMER-BREST. La mise au point qui a permis sa transformation pour l'étude de *Pinctada margaritifera* a été réalisée lors de la mission de S. PENNEC en février 1994 au COP avec la collaboration de H. FLOCH (Photo 1).

Le principe consiste à coller les huîtres sur une plaque PVC (Photo 2). Le pointeau soulevé par le mouvement de la valve entraîne un aimant situé à l'extrémité de la tige. Un capteur sensible à la variation du champ magnétique est incorporé dans la plaque PVC sous l'aimant. Il transmet une impulsion proportionnelle à l'ouverture de la valve de l'huître à une centrale d'acquisition située dans une boîte étanche. La période d'acquisition est réglable.

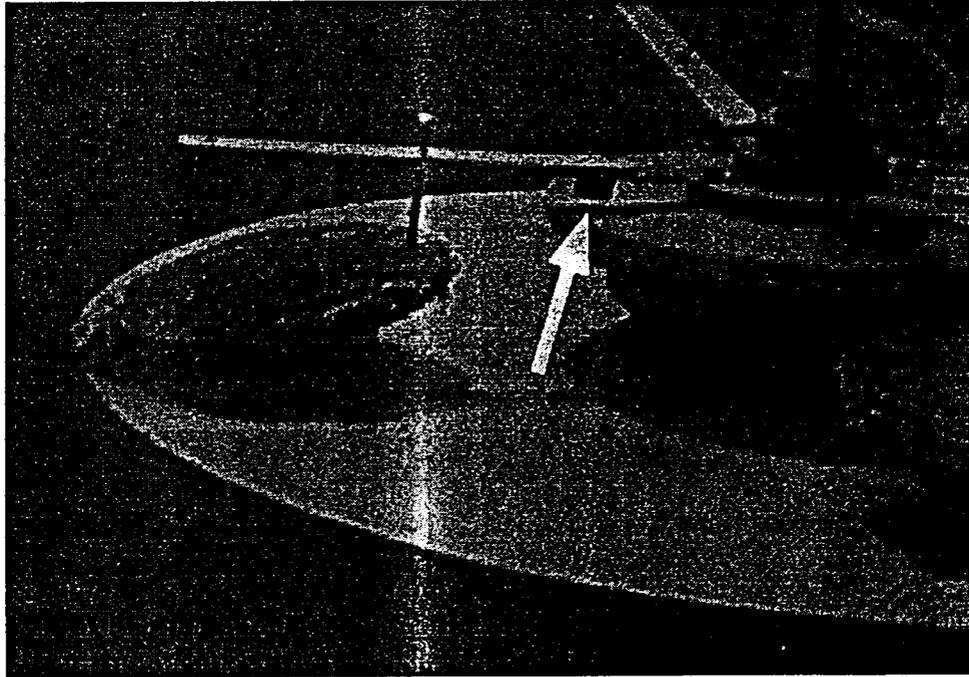


Photo 2. Vue rapprochée : le déplacement l'aimant solidaire du pointeau au dessus du capteur inclus dans le PVC induit la création d'un courant enregistré par une centrale d'acquisition.

2. EXPERIMENTATION AU COP DANS LE LAGON DE VAIRAO

Le valvomètre est installé sous le ponton des cages à poissons de l'IFREMER-COP du 10 au 12 février 1994. Il supporte quatre huîtres de taille comprise entre 120 et 140 mm. Le pas d'acquisition des données est de une minute.

Les données brutes exprimées en volt ont été transformées en pourcentage d'ouverture (Figure 2). Les résultats obtenus sont très comparables à ceux décrits sur *Mytilus edulis* par A. FLOCH. Il existe un rythme d'ouverture. L'ouverture est maximale la nuit et réduite le jour. Les augmentations et diminutions de l'ouverture coïncident avec le coucher et le lever du soleil. Le jour, l'activité valvaire est beaucoup plus importante que la nuit, avec des mouvements amples et nombreux. L'ouverture très réduite la première journée est à relier au stress de la manipulation.

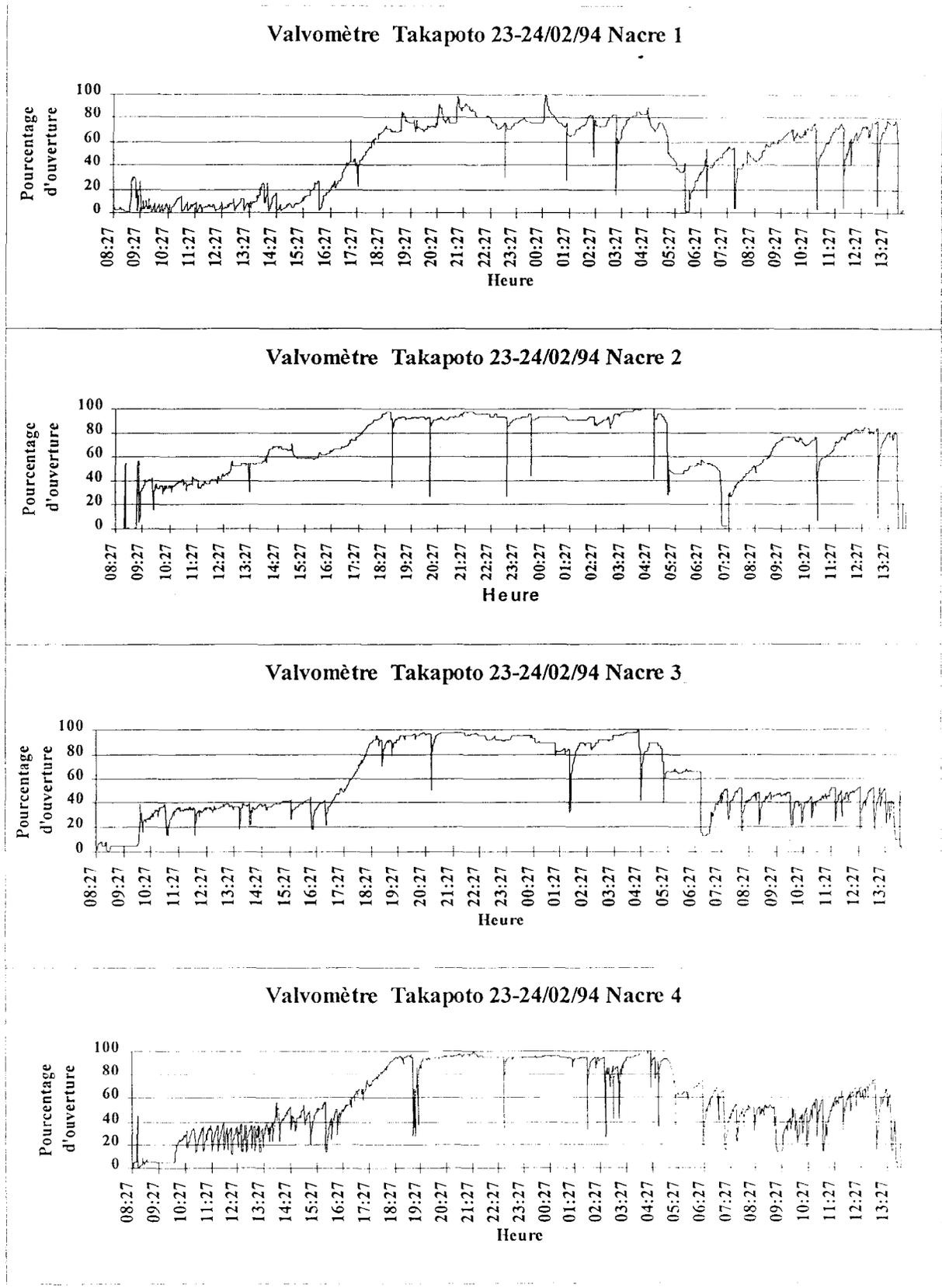


Figure 3. Valvomètre : enregistrements à Takapoto du 23 au 24 février 1994.



3. EXPERIMENTATION A TAKAPOTO

3.1. Essai du 23/02/94

Un premier essai *in situ* avec quatre nacres a été effectué du 23/02 à 8h40 au 24/02 à 14h. Les tailles des nacres 1, 2, 3 et 4 sont respectivement de 140, 134, 130 et 130 mm. Le pas de mesure est de une minute. L'appareil a été immergé sur un fond de 10 m, à une profondeur de 5 m. Les résultats des enregistrements exprimés en pourcentage sont donnés Figure 3.

Le cycle d'ouverture des valves est comparable à celui enregistré au COP. Ce cycle est particulièrement bien visible au niveau de la nacre n° 3. Durant la journée, le niveau d'ouverture est globalement réduit par rapport à l'ouverture maximale enregistrée pendant la nuit. L'activité diurne est plus perturbée, avec des fermetures brutales et des réouvertures assez fréquentes. Les activités diurnes sont différentes selon les individus : la nacre 1, stressée la première journée n'est presque pas ouverte ; la nacre 2 a l'activité la plus régulière ; la nacre 3 est moyennement perturbée et la nacre 4 est très perturbée avec une ouverture également réduite.

A partir de 18h, l'ouverture de toutes les nacres augmente, avec un taux maximum atteint vers 20h. Elles restent grandes ouvertes tout au long de la nuit avec quelques fermetures brutales beaucoup moins fréquentes que le jour. Une réduction rapide de l'ouverture a lieu vers 6 h du matin pour revenir au rythme diurne, réduit par rapport au rythme de la nuit. Le changement est plus progressif à l'aube (environ 2h) qu'au crépuscule (15 min).

3.2. Essai du 24/02/94

Un deuxième essai a été fait sur le même site et dans les mêmes conditions du 24/02 à 14h30 au 26/02 à 08h avec des nacres de taille plus réduite : respectivement 120, 112, 114 et 118 mm pour les nacres 1, 2, 3 et 4. La Figure 4 montre le même type de résultats avec des nacres ouvertes au maximum et peu perturbées la nuit. En revanche l'ouverture est moindre et les perturbations plus fortes le jour. Il y a parfois un certain synchronisme dans les fermetures, mais ce n'est pas systématique.

3.3. Essai du 21/07/94

L'enregistrement a été fait sur quatre jours avec un pas d'acquisition des mesures de six minutes sur le même site que précédemment. Trois huîtres de hauteur respective 142, 124 et 95 mm ont été étudiées (Figure 6). Les pourcentages d'ouverture étant calculés à partir des valeurs en volt.

Pour convertir les pourcentages en écartement des valves (en mm), les résultats doivent être reportés à la courbe d'étalonnage volt-déplacement du pointeau (Figure 5).

L'huître 1 a une ouverture maximum (100%) la nuit correspondant à un voltage de 1,85 V impliquant un déplacement du pointeau de 25 mm. L'activité de jour (80%) correspond à un voltage de 1,75 V, soit un déplacement du pointeau de 19 mm. Il est difficile de calculer l'ouverture exacte des valves correspondant au déplacement du pointeau : elle dépend de la courbure de la valve et de la distance du pointeau au bord de celle ci. En première approche, elle est supérieure de quelques millimètres à la mesure correspondant au déplacement du pointeau. L'huître 1, la plus grosse, est très largement ouverte (plus de 25 mm) avec un écart de 6 mm entre le jour et la nuit.

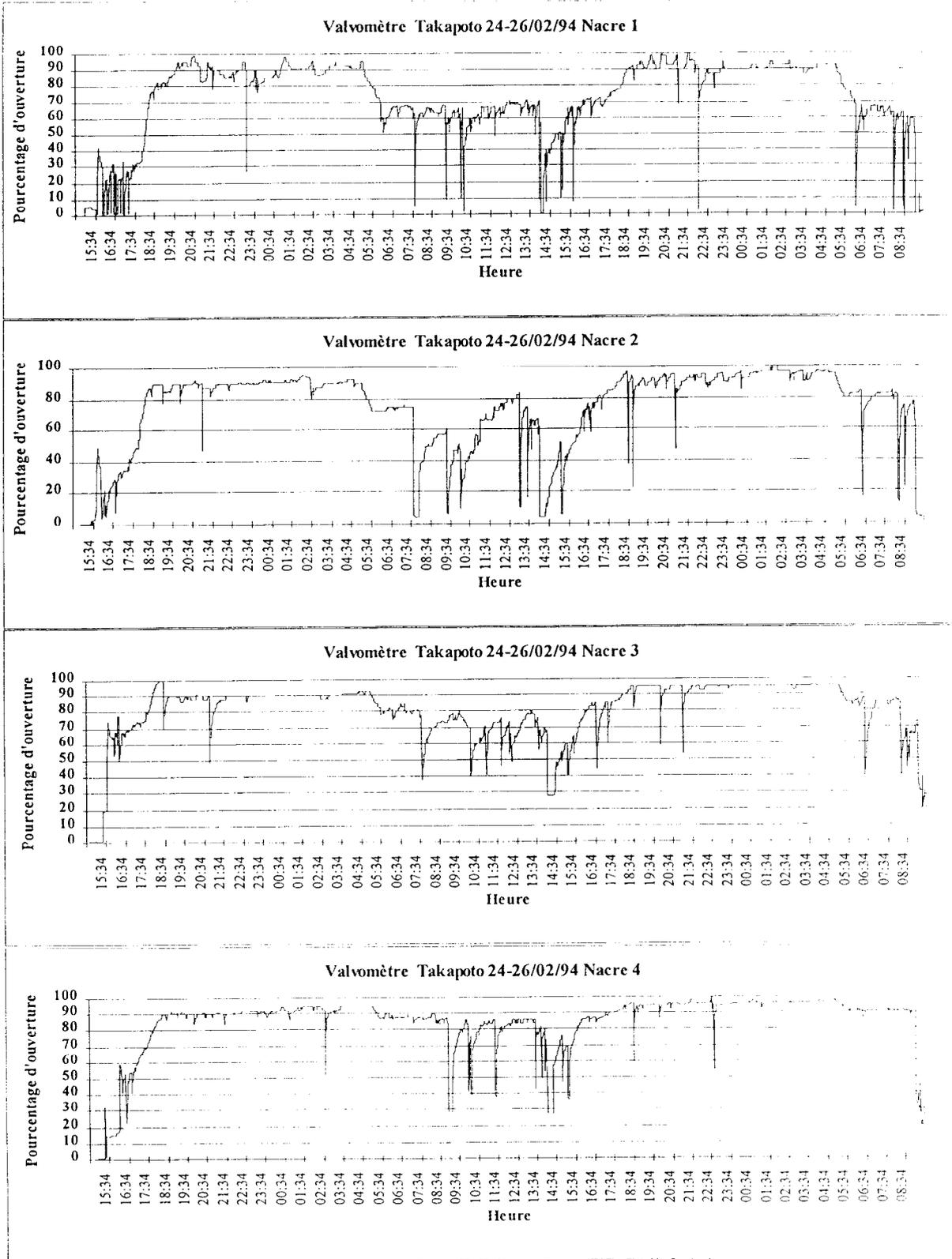


Figure 4. Valvomètre : enregistrements à Takapoto du 24 au 26 février 1994

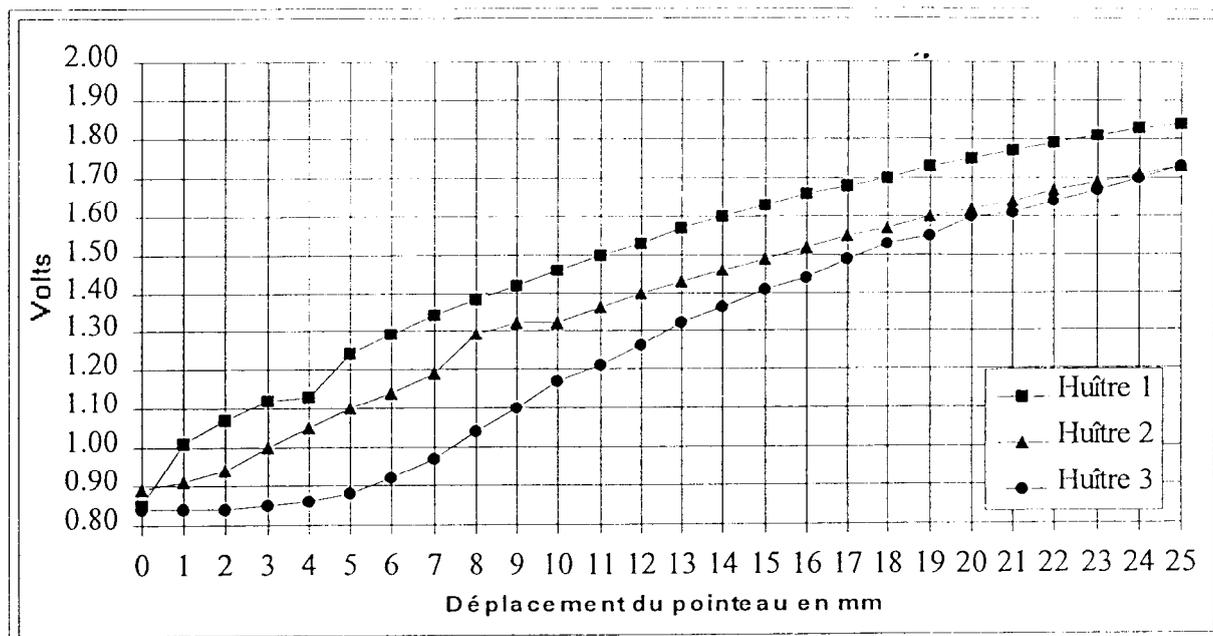


Figure 5. Etalonnage du valvomètre pour les enregistrements à Takapoto du 21 au 25 juillet 1994 (Figure 6)

L'huître 2 a un minimum d'ouverture à 1,5 V (15 mm) et un maximum à 1,6 V (19 mm). L'écart jour - nuit est de 4 mm.

L'huître 3 a un minimum d'ouverture à 1,2 V (11 mm) et un maximum à 1,3 V (13 mm). L'écart jour - nuit est de 2 mm.

Les ouvertures et les écarts jour - nuit sont proportionnels à la taille. Les huîtres sont perturbées en début d'expérimentation : l'ouverture maximum est légèrement réduite les deux premiers jours chez les huîtres 1 et 3.

4. CONCLUSION

Bien que les huîtres soient constamment ouvertes, il existe des différences de comportement très nettes entre le jour et la nuit. Le niveau d'ouverture est réduit le jour, et les mouvements valvaires sont plus amples et plus nombreux que la nuit.

Une hypothèse basée sur des observations en plongée peut être avancée pour expliquer cette ouverture maximum la nuit. En effet, durant le jour, le manteau est relativement rétracté par rapport à sa position de nuit où il se trouve largement étalé jusqu'aux extrémités des barbes de croissance. L'ouverture maximum la nuit permettrait cet étalement maximum du manteau en relation avec une activité de sécrétion du bord de la coquille. Si le rythme d'ouverture semble parfaitement corrélé à la lumière, les huîtres soumises à un fort éclairage durant la nuit y sont totalement insensibles, et restent grandes ouvertes. L'intensité lumineuse ne joue donc pas directement. Il est possible que l'étalement du manteau le jour expose les huîtres à des prédateurs diurnes. Ceci entraînerait un niveau réduit d'ouverture et la rétraction du manteau. Il reste à savoir si à ce comportement variable le jour et la nuit peut être associé à une activité physiologique différente, en particulier pour les fonctions de filtration et de respiration

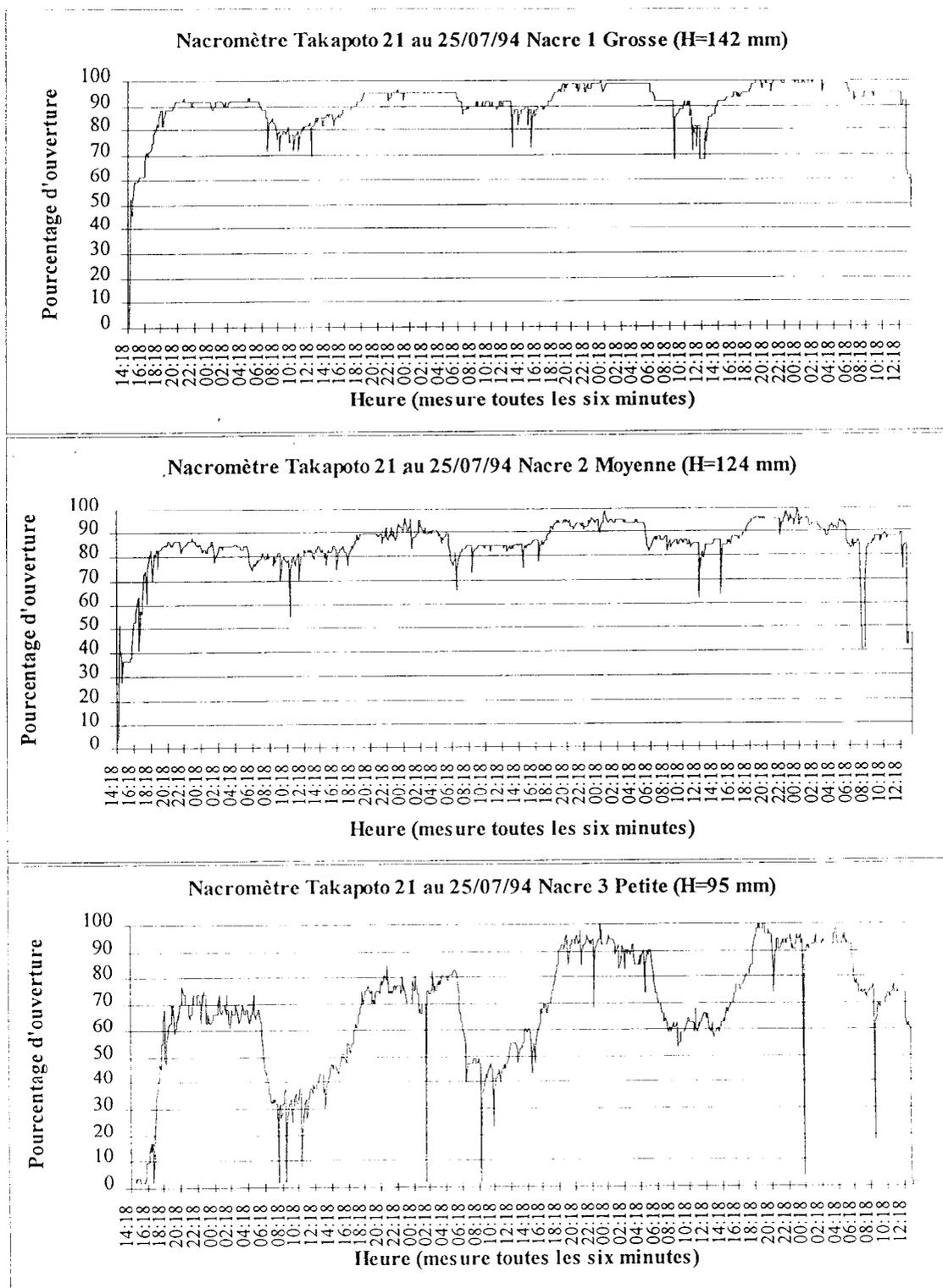


Figure 6. Valvomètre : enregistrements à Takapoto du 21 au 25 juillet 1994



DEUXIEME PARTIE :
ETUDE DE LA RESPIRATION

INTRODUCTION

L'oxygène est utilisé par tous les organismes vivants pour fournir l'énergie chimique indispensable aux réactions du métabolisme. La consommation d'oxygène dissous dans l'eau de mer au cours de la respiration reflète donc l'intensité de ce métabolisme. Une relation a été établie précisément : un milligramme d'oxygène consommé équivaut à une dépense énergétique de 13,6 joules (BAYNE ET NEWEL, 1983). Cette information est utilisée dans le calcul du bilan énergétique. La connaissance précise de la consommation d'oxygène par les huîtres perlières est donc une étape préalable indispensable pour établir le bilan énergétique au niveau individuel, puis au niveau d'une population. La démarche utilisée ici a été de travailler au laboratoire avant d'aborder les mesures *in situ* plus difficiles à mettre en oeuvre.



ETUDE DE LA RESPIRATION AU LABORATOIRE

1. ETUDE PRELIMINAIRE

Au cours de cette première approche, les protocoles utilisés pour l'étude de la respiration de l'huître sont décrits. Les premiers résultats obtenus au cours d'une expérience réalisée au COP en 1992 sont présentés.

1.1. Matériels et méthodes

1.1.1. Mesure de la consommation d'oxygène

De nombreux systèmes expérimentaux de mesure de la consommation d'oxygène ont été mis au point par les équipes travaillant sur la physiologie des mollusques (BLANCHARD 1989). Nous avons retenu la mesure de la respiration en circuit fermé. Elle consiste à mesurer la décroissance de la concentration en oxygène dans une enceinte fermée contenant une huître perlière en activité.

L'enceinte est une sphère d'altuglass transparent de 14,5 cm de diamètre composée de 2 demi-sphères. L'étanchéité entre les deux parties est assurée par un joint torique. La demi-sphère supérieure est percée d'un trou qui permet l'introduction de la sonde de mesure.

Un bain thermostaté est utilisé pour réaliser les mesures de respiration à une température identique à celle des bacs de stabulation des huîtres perlières.

La mesure de la concentration en oxygène est effectuée par un analyseur d'oxygène Orbisphère avec agitateur incorporé. L'enregistrement graphique des données est réalisé sur un enregistreur papier à 4 canaux.

Les huîtres sont conditionnées en bacs thermorégulés alimentés en eau de mer et en algues. Pour éviter les chocs de température et un éventuel stress dû à l'émersion, elles sont transférées des bacs vers les enceintes dans un cristalliseur rempli d'eau de mer à la même température que les bacs. Les enceintes sont purgées des bulles d'air qui pourraient fausser les données. La sonde de l'oxymètre est introduite dans l'enceinte, l'oxymètre et l'agitateur incorporé mis en route.

La mesure de la consommation d'oxygène commence après le "décrochage" qui correspond à l'ouverture des valves. Dès que le tracé est linéaire, la consommation est calculée à partir de la pente obtenue. Pour cela 20 à 30 min d'informations exploitables sont nécessaires.

Le calcul de la consommation tient compte de la consommation d'oxygène propre à la sonde, du volume d'eau dans l'enceinte et du poids de chair sèche de l'animal.

Le poids sec des huîtres est obtenu de la manière suivante : après avoir été séparée de la coquille, la chair est congelée puis lyophilisée pendant 36 heures. Elle est ensuite pesée à 0,1 g près.



Parmi les contraintes de mesure, il est important de **tenir compte de la disponibilité en oxygène**. Si la concentration diminue trop, l'animal régule sa consommation et la mesure ne reflète pas la réalité. Il faut donc éviter de descendre en dessous de 30% du taux de saturation (BLANCHARD., 1989).

Les résultats de consommation d'oxygène sont exprimés en mg ou ml d'O₂ par heure par animal (1 mg d'O₂ = 0,7 ml d'O₂). Pour des besoins de comparaison interspécifique, ils peuvent aussi être rapportés au poids sec de l'animal.

Calcul de la consommation horaire par individu :

Soit VO₂, la consommation horaire d'un individu :

$$V_{O_2 \text{ huître}} = 60 \cdot \frac{A - B}{t_1 - t_0} \cdot [Vol_{\text{eau}} - Vol_{\text{huître}}] - V_{O_2 \text{ sonde}}$$

$$\text{Avec } V_{O_2 \text{ sonde}} = 60 \cdot \frac{A' - B'}{t'_1 - t'_0} \cdot Vol_{\text{eau}}$$

VO ₂	en mg d'O ₂ / h
A	concentration en oxygène au temps t0 en mg/l
B	concentration au temps t1 en mg/l
QO ₂	consommation horaire en ml O ₂ /h/g rapportée à une masse de chair sèche
Vol _{eau}	volume de l'enceinte de mesure en l
Vol _{huîtres}	volume de l'huître en l

Dans l'expression du bilan énergétique, la consommation d'oxygène s'exprime en calorie ou en joule (BAYNE, 1976) :

1 ml d'oxygène consommé = 20,08 joules = 4,80 calories

1 mg d'oxygène consommé = 14,06 joules = 3,36 calories

1 mole d'oxygène consommé = 450 kJ

1.1.2. Protocole d'élevage

Deux lots de dix huîtres perlières, provenant de l'atoll de Takapoto, ont été conditionnées différemment pendant trois semaines.

Un lot a été stocké en bac et nourri sur algues *Isochrysis aff. galbana*. (100 000 cel/ml), l'autre a été laissé sur filière, dans le lagon de Vairao, à une profondeur de 10 mètres. La température d'élevage était identique et voisine de 27 °C.

La mesure de la consommation d'oxygène a été réalisée sur huit huîtres provenant du lagon et neuf huîtres stabulées en bac.

1.2. Résultats et discussion

Les résultats sont présentés sous forme d'histogramme, chaque barre représentant la quantité d'oxygène consommée par une huître exprimée en mg par heure (Figure 7).

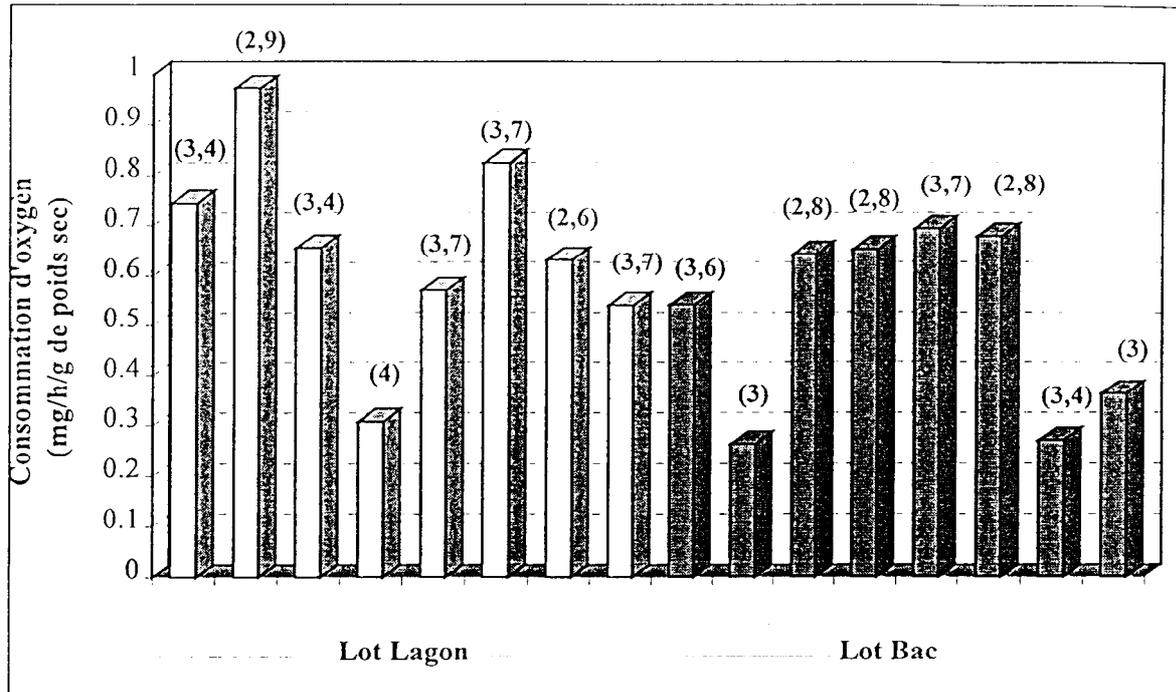


Figure 7 Comparaison des mesures de consommation d'oxygène (mg/h/g de poids sec) entre les huîtres conditionnées en bac et en lagon. Les poids secs figurent entre parenthèses.

Cet histogramme montre une variabilité importante des données. Les réponses varient de 0.95 à 0.3 mg/h/g pour le lagon et de 0.7 à 0.25 mg/h/g pour le traitement en bac. Les moyennes calculées pour chaque lot, sont **0,66 mg/h/g (± 0.16)** pour le lagon (n=8) et **0,52 mg/h/g (± 0.13)** pour le lot en bac (n=9).

Un test non paramétrique de Kruskal et Wallis montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les consommations d'oxygène en lagon et en bac (p=0,21 au seuil de 5%).

Ce travail préliminaire a permis de situer les niveaux de consommation d'oxygène en lagon et au laboratoire, sans qu'aucune différence significative ne puisse être notée.

Ces données ont servi pour la suite de référence pour le calcul du nombre de nacres nécessaires au laboratoire pour observer des différences significatives.

2. NIVEAUX DE CONSOMMATION

La fonction Respiration a été abordée par l'étude des niveaux métaboliques tels que définis chez la moule *Mytilus edulis* par THOMPSON & BAYNE (1972). Ces auteurs ont mis en évidence trois niveaux métaboliques de respiration distincts :

- Le "Standard Metabolic Rate" (SMR) : le **taux métabolique de base** est mesuré sur des animaux à jeun.
- Le "Routine Metabolic Rate" (RMR) : le **taux métabolique** de routine correspond au niveau moyen de métabolisme mesuré chez des animaux nourris.
- Le "Active Metabolic Rate" (AMR) : le **taux métabolique actif** est mesuré, après une période de jeune, immédiatement après la prise de nourriture.



2.1. Matériels et méthodes

2.1.1. Matériel biologique et conditionnement

Les nacres utilisées proviennent d'un captage réalisé dans le lagon de l'atoll de Takaroa (archipel des Tuamotu). La pose des collecteurs a été effectuée en août 1990. Le naissain récolté en décembre 1991 a été élevé sur filière.

Un lot de 180 nacres (de 2 ans et demi environ) a été prélevé le 9 mars 1993 et acheminé jusqu'à Tahiti par avion. Ces huîtres ont été sélectionnées selon leur taille pour obtenir un groupe homogène d'environ 13 cm de hauteur.

Les expériences se sont déroulées dans une salle équipée de six bacs en résine polyester d'une capacité de 330 l. L'eau de mer pompée dans le lagon de Vairao est renouvelée une fois par jour par un débit régulier de 240 ml/min. La température de l'eau est régulée à 29°C, à un degré près, à l'aide de résistances chauffantes (300 watts) et de thermostats (biothermes). Deux diffuseurs d'air assurent l'oxygénation et l'homogénéisation du milieu. Un filtre biologique actif constitué de sable corallien grossier contenu dans un tube en PVC, permet d'éliminer les produits azotés (ammoniaque et nitrites) présents dans l'eau d'élevage. Un bac annexe constitue le réservoir d'algues. Il alimente en continu les bacs d'élevage.

Les nacres ont été réparties aléatoirement à raison de quinze individus par bac. Elles ont été suspendues par un crochet à cinq cordes d'élevage supportant chacune trois individus.

Pour minimiser l'influence du stress dû au transfert et accoutumer les nacres aux conditions de l'expérience, elles ont été acclimatées dans des bacs pendant vingt-six jours.

Les essais de maintien en bac, réalisés au COP dans le cadre d'étude de la nutrition de la nacre du PGRN, ont montré que les huîtres perlières consommaient et assimilaient bien les algues cultivées en laboratoire. Des huîtres ont pu être gardées trois semaines dans de bonnes conditions avec un régime à base d'*Isochrysis* aff. *galbana* distribuée de manière à assurer une concentration permanente de 100 000 cellules/ml.

Par ailleurs, certains auteurs ont constaté que les bivalves se nourrissaient mieux d'un mélange de plusieurs espèces de micro-algues (EPIFANIO, 1981 ; WEBB & CHU, 1981 ; SHUMWAY *ET AL.*, 1985; O' CONNOR & DIEMAR, 1992). EPIFANIO (1979) a démontré que les régimes alimentaires constitués de plusieurs espèces d'algues permettaient d'améliorer la croissance. Cet auteur attribue le gain de croissance à un meilleur équilibre dans l'alimentation (équilibre en terme de protéines, glucides, lipides ou oligo-éléments).

Les espèces utilisées en éclosérie sont sélectionnées suivant deux critères : leur valeur alimentaire et leur facilité de culture (LE BORGNE, 1989). D'autres critères peuvent contribuer à ce choix tels la taille des cellules, leur digestibilité, l'absence de toxicité.

En fonction de ces indications, un mélange approximativement équivalent de deux algues a été utilisé :

- un phytoflagellé de la classe des *Haptophyceae* : *Isochrysis* aff. *galbana* (clone T.Iso) dont la taille est de 8 à 10 µm,
- une diatomée de la classe des *Bacillariophyceae* : *Chaetoceros calcitrans* (Paulsen) dont la taille est de 9 à 10 µm.

La quantité d'algues de culture à apporter a été ajustée chaque jour de manière à maintenir dans les bacs d'élevage une concentration de 50 000 cellules/ml, concentration estimée optimale pour éviter la formation de pseudo-fèces.



2.1.2. Protocole expérimental

Il s'agit de comparer la consommation d'oxygène d'huîtres soumise à trois traitements : à jeun, nourries, à jeun puis réalimentées. **Des mesures de consommation d'oxygène ont été réalisées sur un lot témoin après l'acclimatation.**

• Echantillonnage et composition des lots

BAYNE (1973) a constaté que chez *Mytilus edulis*, le niveau métabolique de base correspondait à 50% du métabolisme de routine. En l'absence de données sur des organismes plus proches de *Pinctada margaritifera*, une différence du même ordre a été envisagée, a priori, chez la nacre. La dimension des lots expérimentaux a été calculée en se référant aux données préliminaires (*vide supra*). La valeur moyenne de consommation d'oxygène trouvée était de 0,8 mg/h/g de poids sec avec un écart type de 0,4. Dans ces conditions, un calcul statistique montre que douze individus sont nécessaires pour mettre en évidence une diminution significative de consommation de 0,4 mg. h.⁻¹ g.⁻¹ de poids sec avec un risque α de 0,05 et un risque β de 0,1.

Pour couvrir les risques de mortalité pendant l'expérience, 3 individus ont été ajoutés pour constituer des lots de 15 animaux.

Les huîtres ont été numérotées et réparties aléatoirement en différents lots à l'aide d'une table de nombres aléatoires.

- Lot 1 : lot acclimaté et maintenu nourri (15 nacles).
- Lot 2 : lot acclimaté et maintenu nourri (15 nacles).
- Lot 3 : lot acclimaté puis maintenu à jeun (15 nacles).
- Lot 4 : lot acclimaté puis maintenu à jeun (15 nacles).
- Lot 5 : lot acclimaté, maintenu à jeun puis réalimenté (15 nacles).
- Lot 6 : lot acclimaté, maintenu à jeun puis réalimenté (15 nacles).
- Lot 7 : témoin de début d'acclimatation (12 nacles).
- Lot 8 : témoin de fin d'acclimatation (12 nacles).

• Calendrier de l'expérimentation

- 09 Avril 1993** réception des nacles.
- 12 Avril 1993** dissection du lot témoin n°1.
début de l'acclimatation.
- 05 Avril 1993** fin de l'acclimatation.
mise à jeun des lots 3, 4, 5 et 6.
- 06 Avril 1993** mesure de la consommation d'oxygène du lot témoin n°2.
- 19 Avril 1993** début du suivi de la consommation d'oxygène des six premiers lots de nacles, par gramme de poids frais.
- 26 Avril 1993** deuxième semaine de suivi.
- 03 Avril 1993** troisième semaine de suivi. Stabilisation des consommations d'oxygène des lots 3, 4, 5 et 6.
- 06 Avril 1993** détermination des niveaux de base et de routine
- 11 Avril 1993** détermination du niveau actif. Test préliminaire sur quatre nacles à jeun.
- du 19 au 23 Avril 1993**
détermination du niveau actif des nacles des lots 5 et 6.
La dissection des nacles a eu lieu à la fin des expérimentations.



2.1.3. Biométrie

Au début (Témoin) et à la fin de l'expérimentation, les huîtres ont été sacrifiées. La chair et le muscle ont été disséqués, congelés et lyophilisés individuellement. Le temps nécessaire pour l'obtention d'un poids sec stable est de 72 heures. Après dissection des animaux les paramètres suivants ont été mesurés :

- la hauteur externe (mesure dorso-ventrale), à la règle en épousant la courbure des valves,
- le poids frais : le byssus, les muscles (adducteur et rétracteur...) et la masse viscérale de l'animal ont été pesés séparément,
- l'indice gonadique macroscopique (THIELLEY, 1993), dont la description est rappelée ci dessous:
 - stade 1: gonade peu développée, plate, non colorée
 - stade 2: début de développement avec coloration
 - stade 3: développement intermédiaire avec coloration et volume plus important
 - stade 4: gonade pleine, gonflée et bien colorée
- le poids sec après congélation et lyophilisation de la chair : c'est la somme du poids sec de la masse viscéral et du muscle.

2.1.4. Evaluation de la consommation d'oxygène

La description des trois niveaux métaboliques est basée sur les changements de ration alimentaire. Trois traitements ont donc été utilisés :

1. huîtres continuellement nourries,
2. huîtres mises à jeun,
3. huîtres nourries après six semaines de jeûne.

La respiration est évaluée par la diminution de l'oxygène absorbé dans un volume clos.

Pendant les mesures de respiration nous nous sommes attachés à ne jamais descendre au dessous du seuil de 30% du taux d'oxygène initial.

La durée des mesures jugée favorable a été limitée à une heure.

Les résultats sont exprimés en mg d'O₂/h/g.

2.1.4.1. Dispositif de mesure de l'oxygène

Un système en circuit fermé, mis au point au COP, est utilisé pour la mesure de la consommation d'oxygène. L'enceinte de mesure, composée de deux demi-sphères en matière plastique transparente, est munie d'un dispositif permettant de suspendre la nacre et de chasser les bulles d'air présentes en début d'expérience.

Une pompe (RENA C40) permet la circulation d'eau dans la sphère. Une sonde à oxygène, reliée à un oxymètre (Ysi 5739), mesure en permanence la concentration d'oxygène. Elle comprend une cathode en or et une électrode en argent séparées du milieu extérieur par une membrane perméable à l'oxygène. Au contact de la cathode, l'oxygène est ionisé en OH⁻ par le courant électrique passant entre les deux électrodes. Cette ionisation provoque la dissolution de l'électrode d'argent sous forme d'ions Ag⁺. La sonde consomme donc une certaine quantité d'oxygène qu'il importe de déterminer quotidiennement avant chaque série



de mesure. C'est la dérive de la sonde. L'étalonnage, à l'air, des sondes a été réalisée chaque jour selon les consignes définies par le fabriquant.

Le boîtier de mesure est raccordé à un enregistreur traceur permettant de visualiser l'évolution de la concentration d'oxygène dissous.

L'enceinte de mesure est immergée dans un bain-marie d'eau de mer thermorégulée à 29°C. Trois enceintes similaires peuvent être utilisées simultanément. Pour la détermination des consommations d'oxygène, le volume d'eau disponible a été déterminé avec précision pour chaque enceinte, en tenant compte de la présence de la nacre.

2.1.4.2. Mesure des niveaux métaboliques

• *Niveau de base et de routine*

Un suivi de la consommation d'oxygène a débuté quinze jours après la mise à jeun des nacres. Il a été effectué durant trois semaines. Chaque semaine, 36 nacres choisies de façon aléatoire (six par bac) ont été traitées.

La consommation d'oxygène des animaux à jeun (pour la détermination du niveau de base) et des animaux continuellement nourris (pour la détermination du taux de routine) a été mesurée tout au long de ce suivi. Les consommations d'oxygène exprimées en mg d'O₂/h ont été rapportées au gramme de poids frais (coquille et masse viscérale), les mesures de poids secs n'étant pas réalisable. Les valeurs de consommation obtenues pour les deux niveaux (routine et base) ont été comparées par un test de Student. On a considéré avoir atteint le niveau de base à la stabilisation du niveau respiratoire moyen des nacres à jeun (le 3 mai 1993)

• *Mesure du niveau actif*

Chez la moule *Mytilus edulis*, après deux à trois heures d'enrichissement du milieu en particules alimentaires, une augmentation de la consommation d'oxygène est observée, jusqu'à une valeur maximale (BAYNE, 1973).

Un test préliminaire a permis de déterminer le temps de latence entre le niveau de base et le niveau maximal d'activité (**pic actif**). Deux nacres à jeun ont donc été alimentés (100 000 cellules/ml) directement dans le bain-marie. Une mesure de l'intensité lumineuse (25 lux) a démontré que les échanges gazeux dûs aux algues pouvaient être négligés. Les huîtres ont été placées dans les enceintes de mesure aménagées en circuit ouvert. Pour chaque mesure le circuit a été fermé. La durée de la mesure a été déterminée en tenant compte de données sur la filtration de l'huître perlière : estimée à 10 litres par heure pour un animal de 3 à 4 g (*vide infra* Troisième Partie). Les enceintes de mesure possédant une capacité de deux litres environ, la totalité de l'eau de mer est filtrée par la nacre en moins de 15 minutes. Les mesures n'ont pas excédé cette durée. Après ce temps, le circuit a été à nouveau ouvert pour renouveler l'eau et les algues. Les mesures ont été effectuées toutes les heures (5 heures après avoir ajouté les algues dans le bac tampon) pendant 24 heures afin de décrire l'évolution de la concentration d'oxygène et de déterminer le temps de latence entre le niveau de base et l'obtention du niveau maximal d'activité.

Deux lots expérimentaux ont ensuite été traités de la même façon. A jeun depuis six semaines, les huîtres ont été alimentées à l'aide du mélange d'algues à raison de 100 000 cellules/ml, ajouté directement dans les bacs d'élevage. La mesure de la consommation d'oxygène a été effectuée après un temps de latence de 9 heures.



2.1.5. Tests statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel "Statgraphics". Des comparaisons de moyennes ont été faites au moyen d'une analyse de variance à un facteur, ainsi qu'un test de comparaison multiple Least Square Difference.

Au préalable l'homogénéité des variances et la normalité des données ont été vérifiées à l'aide d'un test de Bartlett.

2.2. Résultats

2.2.1. Biométrie

2.2.1.1. Etude du lot d'origine

Une mesure du poids frais et de la hauteur externe (mesure dorso-ventrale) a été réalisée sur l'ensemble des individus de la population. Le Tableau 1 résume ces données.

Tableau 1. Mesures du poids frais et de la hauteur externe des nacres.

	Effectif	Moyenne	Ecart-type
Poids frais	180	294	25
Hauteur externe	180	123	5

2.2.1.2. Etude des lots témoins

- lot témoin n°1

Dès réception des nacres, un lot de 12 individus choisis aléatoirement a été disséqué afin de déterminer différents paramètres présentés dans le Tableau 2.

Tableau 2 Sexe, indice gonadique et poids sec des nacres du lot témoin n°1.

N° Nacre	Sexe	Indice de gonad	Poids sec en g.
91	mâle	2	4,6
92	femelle	3	4,3
93	mâle	1	3,5
94	femelle	1	4,4
95	mâle	1	5,2
96	mâle	1	3,9
97	mâle	2	4,8
98	mâle	2	4,3
99	mâle	2	5,4
100	mâle	2	5,8
101	mâle	1	4,2

La moyenne des poids secs est de 4,5 g avec un écart-type de 0,67 g.

- lot témoin n°2

En fin d'acclimatation, un deuxième lot témoin a été disséqué. Il permet de comparer l'état physiologique des animaux au cours de l'acclimatation. Les résultats sont présentés dans le Tableau 3.



Tableau 3. Sexe, indice gonadique et poids sec des individus du lot témoin n°2.

N° Nacre	Sexe	Indice de gonade	Poids sec en g.
103	mâle	1	3,7
105	mâle	2	5,0
106	mâle	1	4,3
107	mâle	1	4,7
108	mâle	1	4,1
109	mâle	1	2,7
110	mâle	1	3,7
111	femelle	1	3,4
112	mâle	1	4,3
113	mâle	1	2,9
114	mâle	1	3,9

La moyenne des poids secs est de 3,88 g avec un écart-type de 0,74 g.

La présence de trois huîtres "malades" a été notée. Ce terme est utilisé par les perliculteurs pour qualifier les huîtres qui présentent des anomalies internes de la coquille telles l'absence de sécrétion nacrée (la nacre étant remplacée par de la conchyoline).

2.2.1.3. Etude des individus expérimentaux

• *Anatomie générale*

Les huîtres qui n'ont pas été nourries ne présentaient pas de "barbes de croissance" alors que ces dernières existaient chez les huîtres continuellement alimentées. Un grand nombre d'huîtres présentes dans le lot "nourries" a présenté les mêmes anomalies internes de la coquille que les huîtres du lot témoin n°2. Par ailleurs, tous les individus présentaient des indices de gonade minimaux (égaux à 1). Les individus ont donc perdu leurs produits génitaux au cours de l'expérimentation. Le volume de la masse viscérale des animaux à jeun est apparu beaucoup plus important que celui des animaux nourris.

• *Poids secs*

La valeur moyenne des poids secs obtenus est présentée pour chaque traitement dans le Tableau 4.

Tableau 4. Poids sec moyen (écart-type) des nacres en fonction du traitement. Données exprimées en grammes.

Traitement	Nombre d'individus	Poids sec total	Poids sec du muscle	Poids sec de chair
HP nourries	22	3,61 (0,90)	1,64 (0,48)	1,97 (0,44)
HP à jeun	54	2,96 (0,76)	1,23 (0,38)	1,73 (0,44)

Un test de Bartlett a été réalisé et a montré une homogénéité des variances ($P = 0,349$). Une analyse de variance a été menée afin de comparer les poids secs de nacres nourries et nacres mises à jeun.



Tableau 5. Récapitulatif de l'analyse de variance sur les poids secs en fonction du traitement (nourries et à jeun).

Source de variation	S.C.E	D.D.L	F observé	Probabilité P
Traitement	6,582	1	10,294	0,002
résiduelle	47,320	74		

La comparaison des poids secs des huîtres nourries et des huîtres à jeun (Tableau 4) montre une différence significative en faveur des huîtres nourries (Tableau 5) avec une probabilité $P=0,002$. Une analyse de variance a été menée afin de mettre en évidence une éventuelle différence entre les poids secs de muscle et de chair suivant le traitement nourri et à jeun. Une différence significative existe pour le muscle (elle est de 0,31 avec un écart-type de 0,277), la différence n'est pas significative pour le poids sec de chair (la différence est de 0,16 avec un écart-type de 0,3). D'autre part il a été constaté une diminution du poids du muscle chez les huîtres mises à jeun ($p=0,0291$) alors que le poids de chair restait relativement stable.

•Evolution des poids secs en fonction du traitement

Pour pouvoir comparer les résultats de fin d'expérience avec le témoin initial, il a fallu éliminer les individus des lots témoins qui présentaient des indices de gonades supérieurs à 1, des pontes ayant été constatées au tout début de l'expérience. Sept valeurs de poids sec ont ainsi été écartées (Tableau 2 et Tableau 3). Le poids sec corrigé des deux lots témoins est donc de 3,92 g avec un écart-type de 0,63 g. Le temps de l'expérimentation étant court, la décroissance du poids a été estimée linéaire.

Tableau 6. Poids sec moyen des huîtres perlières (HP) en fonction du traitement. L'écart-type est mentionné entre parenthèses.

Traitement	Nombre d'individus	Poids sec total
HP nourries	22	3,61 (0,9)
HP à jeun	54	2,96 (0,76)
HP témoin	15	3,92 (0,63)

La Figure 8 illustre les données du Tableau 6.

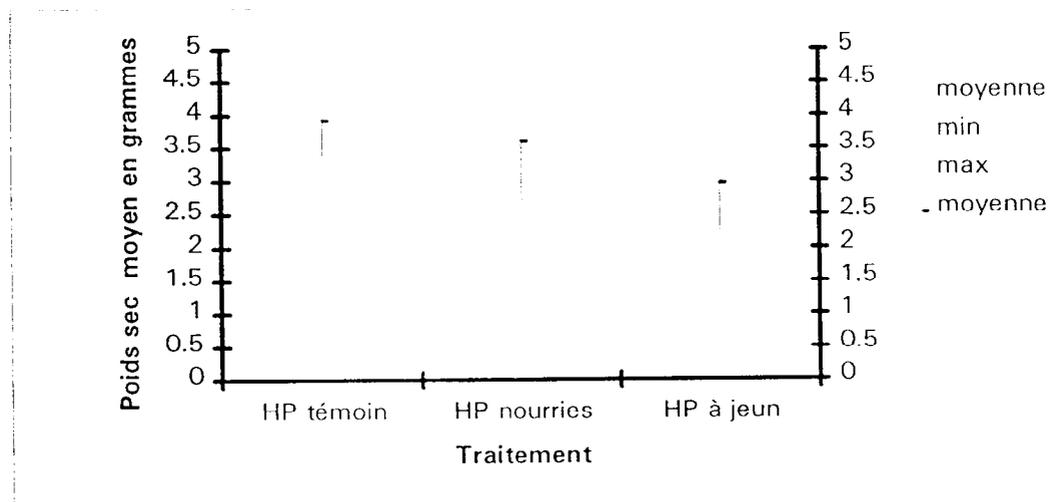


Figure 8. Représentation graphique des poids secs en fonction du traitement.



•Mortalité

Au cours de l'élevage, des mortalités ont été observées (Figure 9).

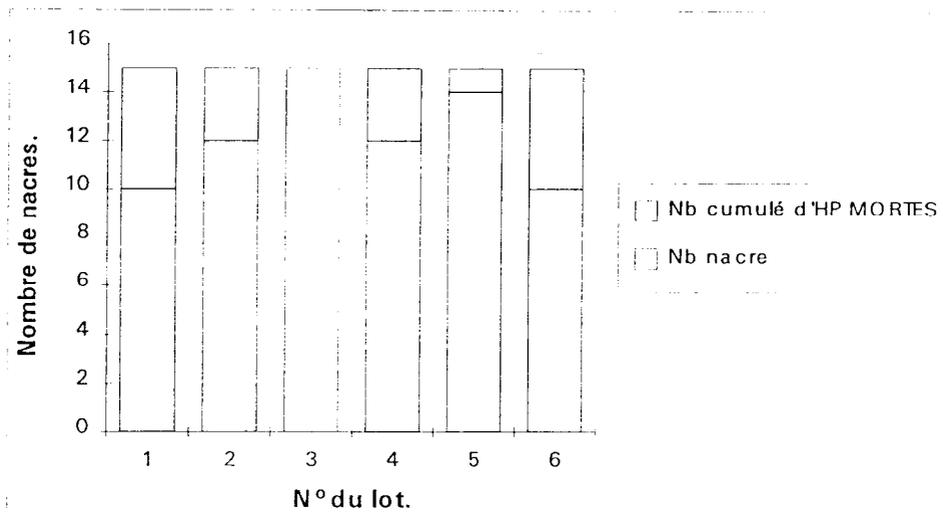


Figure 9. **Mortalités observées au cours de l'élevage en bassin s'élevant à 18,8% du nombre total d'animaux en élevage.**

D'après les résultats obtenus, la mortalité n'est pas négligeable. Elle est apparue très tôt dans l'élevage (trois jours après la réception des naces). Il y a tout de même une différence de mortalité entre les deux traitements puisqu'elle a touché :

- 26,6% des animaux nourris;
- 15 % des animaux à jeun.

Un test du χ^2 n'a pas permis de mettre en évidence une différence significative entre les résultats de mortalité ($\chi^2 = 1,78$ et le degré de liberté égal à 1) avec un risque α inférieur à 10%. Des mortalités similaires (12%) ont été notées dans le lot de naces élevées dans le lagon de Vairao. Il ne semble donc pas que les conditions d'élevage soient mises en cause.

2.2.2. Evaluation des niveaux métaboliques

2.2.2.1. Suivi de la consommation d'oxygène au cours de l'expérience.

Les mesures de respiration ont été effectuées durant trois semaines, quinze jours après la mise à jeun de quatre lots d'animaux. Les résultats de ce suivi (Tableau 7 et Figure 10) ont été exprimés en fonction du poids frais de l'animal, seule donnée disponible à ce niveau de l'expérience.



Tableau 7. Comparaison statistique des moyennes consommation d'oxygène en mg d'O₂ /h/g de poids frais total (avec coquille).

Nombre de semaine	Huîtres nourries			Huîtres à jeun		
	Effectif	Consommation d'O ₂	Ecart type	Effectif	Consommation d'O ₂	Ecart type
0	12	13,43 .10 ⁻³	3,03 .10 ⁻³			
2	12	12,58 .10 ⁻³	2,77 .10 ⁻³	23	6,93 .10 ⁻³	1,9 .10 ⁻³
3	12	12,43 .10 ⁻³	2,74 .10 ⁻³	24	7,04 .10 ⁻³	2,4 .10 ⁻³
4	13	10,49 .10 ⁻³	3,05 .10 ⁻³	21	6,04 .10 ⁻³	1,75 .10 ⁻³
		NS			NS	

L'analyse statistique à l'intérieur des deux groupes d'animaux nourris et à jeun ne montre pas de variation significative de l'activité respiratoire au cours du temps. La consommation des huîtres perlières nourries est de 10,49.10⁻³ mg d'O₂/h/g. de poids frais. Celle des huîtres à jeun est égale à 6,04.10⁻³ mg d' O₂/h/g de poids frais. Par contre, une différence existe entre les deux traitements. Les huîtres ont atteint le niveau métabolique de base deux semaines après la mise à jeun. Ce niveau de base représente une diminution de l'activité respiratoire de 42 % par rapport au niveau de routine (données en g de poids frais de la troisième semaine de suivi).

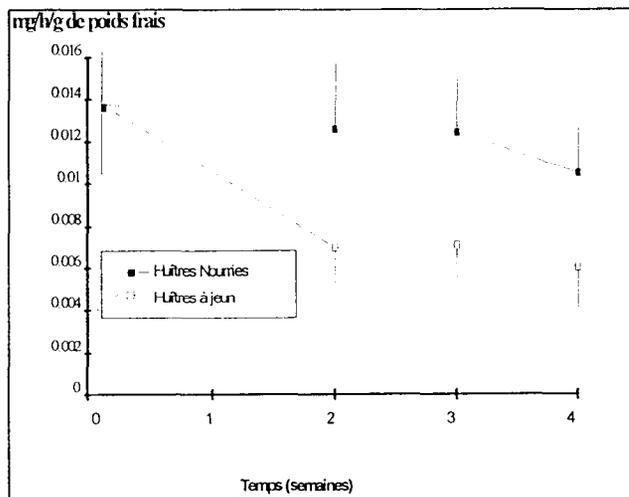


Figure 10. Suivi de la consommation d'oxygène par mg/h/g de poids frais

Chaque point représente la moyenne des mesures et la barre verticale, l'intervalle de confiance à 95%. La période avant le temps 0 correspond à l'acclimatation, et le point 0 (temps 0) à la mise à jeun des nacrés des lots 3 à 6.

2.2.2.2. Niveau de routine

La Figure 11 montre la distribution de la population étudiée pour la détermination du niveau de routine.

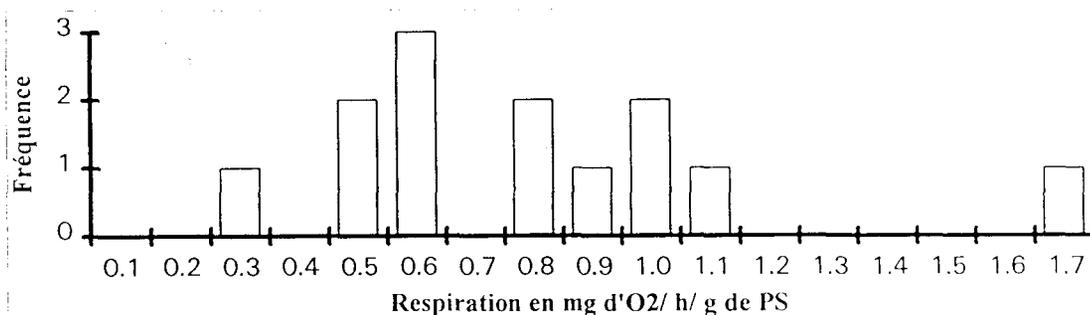


Figure 11. Distribution des mesures de consommation d'oxygène effectuées sur le lot nourri.



La moyenne des consommations est de 0,91 mg d'O₂/h/g de poids sec ($\sigma = 0,4$ et $n = 13$). Cette valeur représente le niveau de consommation de routine des huîtres perlières.

2.2.2.3. Niveau de base

La Figure 12 illustre la distribution des mesures de consommation d'oxygène effectuées sur le lot de nacres à jeun.

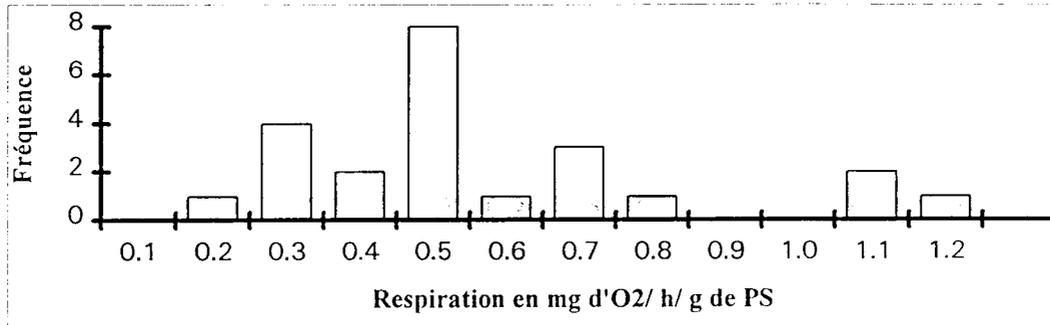


Figure 12. Distribution des mesures de consommation d'oxygène, effectuées sur le lot à jeun.

La moyenne des consommations est de 0,61 mg d'O₂/h/g de poids sec ($\sigma = 0,28$ et $n = 23$). Cette valeur représente le niveau de consommation de base des huîtres perlières dans les conditions de notre expérience.

2.2.2.4. Pic actif

• Test préliminaire

La Figure 13 présente l'évolution de la respiration de la nacre.

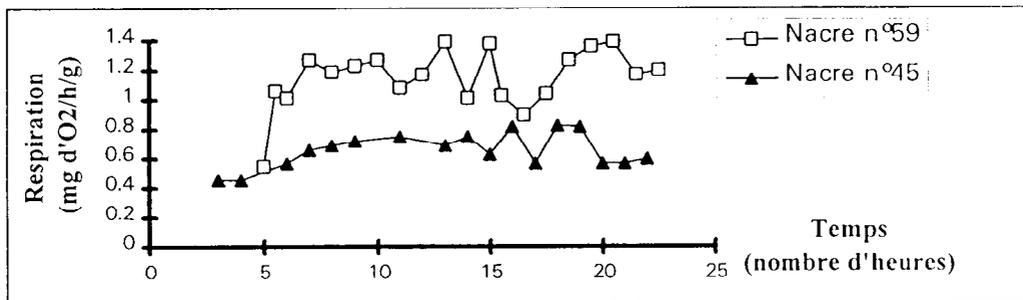


Figure 13. Représentation graphique de la consommation d'oxygène de deux nacres exprimée en mg d'O₂/h/g de poids sec.

Les nacres semblent atteindre un seuil maximal de respiration 7 à 9 heures après la réalimentation. En outre, ce test préliminaire nous a donné de nombreuses informations quant au comportement de l'animal lors de la réalimentation. L'enrichissement du milieu en particules alimentaires (100 000 cellules/ml pour obtenir une activité maximale de filtration) génère une production de pseudofèces peu de temps après la réalimentation. L'animal filtre toutes les particules présentes, et pour éliminer ce surplus de nourriture, doit sécréter du mucus, enrober les particules alimentaires non assimilées et les rejeter. Cette action nécessite de l'énergie, et peut induire une augmentation de la consommation d'oxygène chez l'huître étudiée.

• Approche de l'évaluation du niveau métabolique actif



Certaines valeurs paraissant aberrantes (les huîtres n'ayant probablement pas atteint leur niveau métabolique maximal), la respiration supposée active des individus a été comparée avec celle déjà mesurée auparavant sur les mêmes individus alors qu'ils étaient à jeun. Certaines différences étant négatives ou très petites, on en a déduit que ces animaux n'avaient pas atteint leur niveau maximal d'activité et ces valeurs ont été écartées du calcul du taux actif. Le pic actif a donc été déterminé à partir de 22 valeurs de consommation d'oxygène, six valeurs ayant été écartées. La Figure 14 représente l'histogramme des valeurs de consommation active obtenues, permettant d'avoir une idée sur la distribution de la population étudiée.

Le taux métabolique actif a été estimé à 1,20 mg d'O₂/h/g de poids sec ($\sigma = 0,36$ et $n = 22$).

Il existe une forte variabilité entre différentes valeurs obtenues.

2.2.2.5. Récapitulatif de différents niveaux métaboliques

Le Tableau 8 résume les différentes valeurs moyennes obtenues pour chaque niveau.

Tableau 8. Récapitulatif des valeurs moyennes des trois niveaux métaboliques mis en évidence.

NIVEAU METABOLIQUE	Moyenne de respiration en mg d'O ₂ / h/g de PS.	Ecart-type	Nombre d'individus
NIVEAU DE BASE	0,61	0,28	23
NIVEAU DE ROUTINE	0,91	0,41	13
NIVEAU ACTIF	1,20	0,36	22

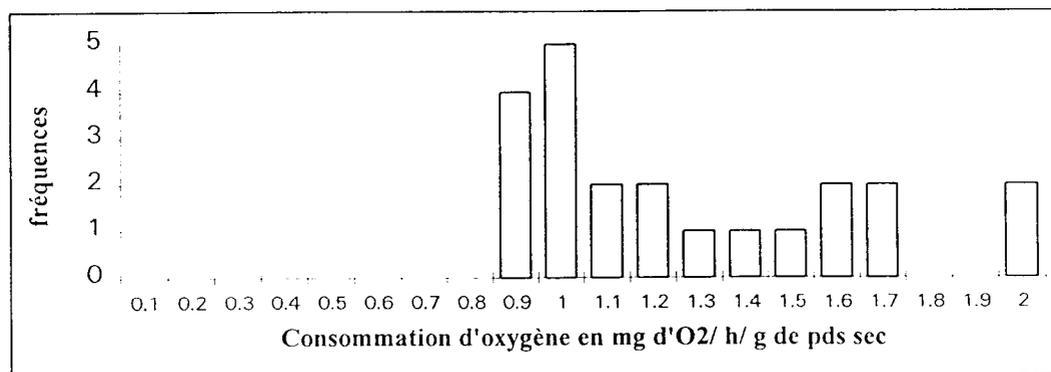


Figure 14. Histogramme des mesures du pic actif.

Un test de Bartlett a été mené afin de mettre en évidence l'homogénéité des variances ($P = 0,2448$). Une analyse de variance a ensuite mis en évidence une différence significative entre les trois niveaux. Les résultats sont présentés dans le Tableau 9.

Tableau 9. Récapitulatif de l'analyse de variance des trois niveaux métaboliques en fonction du traitement.

Source de variation	S.C.E	D.D.L	F observé	Probabilité P
Traitement	3.9487487	2	16.915	0.0000
Intra-groupe	6.7699824	58		



Il existe bien une différence significative. Un test de comparaison multiple L. S. D. a permis de démontrer que les trois niveaux métaboliques sont tous bien différents.

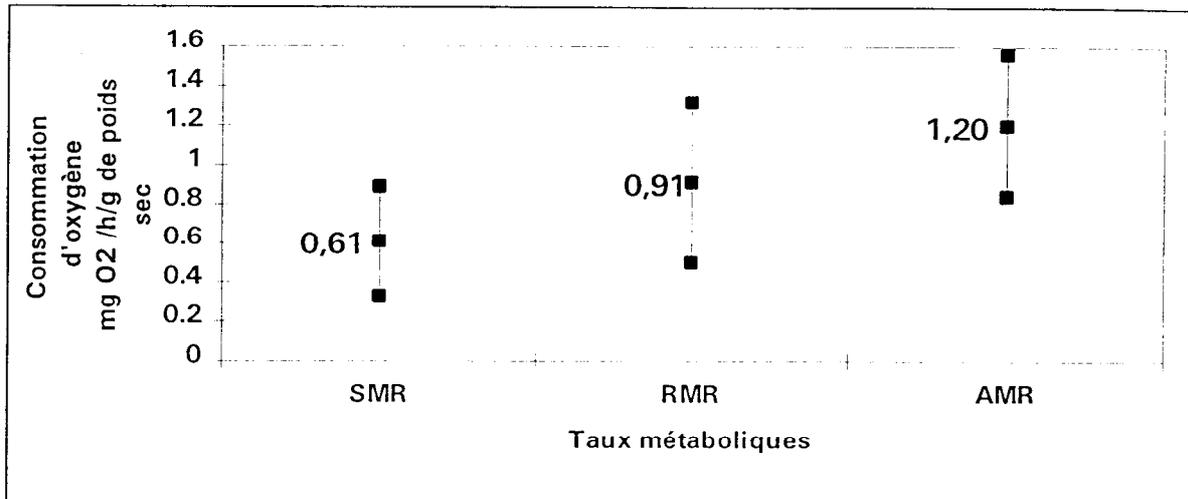


Figure 15. Niveau de respiration de l'huître perlière en fonction de son état physiologique.

2.3. Discussion

2.3.1. Etat physiologique des animaux

On observe une évolution de l'indice gonadique au cours de l'expérimentation. Peu élevé dans l'ensemble à la réception des animaux (témoin n°1), il se réduit à 1 dès l'observation du témoin n°2, à l'exception d'une nacre et reste dans cet état d'indice gonadique 1 jusqu'à la fin des mesures. Ces constatations permettent de penser qu'aucune influence relative à la maturation des animaux n'a perturbé nos mesures.

Durant les périodes de jeûne, les besoins en énergie doivent être couverts par les réserves endogènes. Le manque de nourriture dans le milieu a eu pour conséquence l'amaigrissement des animaux dont le poids sec est passé en moyenne de 3,61 à 2,96 g soit une diminution de 24,5% en six semaines. La très faible activité respiratoire constatée chez certains animaux au moment de la mesure du pic actif semble indiquer un affaiblissement très prononcé, proche du niveau léthal.

Dans les milieux tempérés, les animaux développent des stratégies basées sur les variations physico-chimiques et trophiques du milieu (HERAL *et al.*, 1984). Ils accumulent des réserves sous forme de glycogène ou de lipides lors des périodes favorables. En milieu lagunaire, la stabilité temporelle des caractéristiques physico-chimiques et les fortes températures rencontrées impliquent des stratégies adaptatives différentes des bivalves. Une étude de la croissance des nacres en élevage effectuée à Takapoto (BUESTEL, 1992) a montré que la croissance était quasiment linéaire sans effet saisonnier marqué. La nourriture étant disponible continuellement, l'huître perlière n'a pas de tissus de réserve. Les tissus ne contiennent pratiquement pas de glycogène contrairement à ceux de la plupart des bivalves des zones tempérées.

Suite au stress occasionné par le manque de nourriture dans son milieu environnant, l'animal semble réagir en se gorgeant d'eau. Cette augmentation d'eau dans les tissus a déjà été remarquée chez la palourde *Paphia laterisulca* subissant douze jours de jeûne (DHARMARAJ *et al.*, 1987).



Il a été constaté une diminution du poids du muscle chez les animaux à jeun ($p=0,0291$) alors que le poids de chair restait relativement stable. Il semble donc qu'une protéolyse musculaire permette à l'animal de subvenir à ses besoins vitaux. Il a été démontré que la perte de protéines de certaines parties du corps (GABBOTT & BAYNE, 1973) coïncidait avec une augmentation de l'excrétion d'ammoniaque (BAYNE, 1973).

Du fait de l'augmentation de la concentration cellulaire par les produits de dégradation, la cellule, qui doit réguler son milieu intérieur, échange des solutés et de l'eau en s'adaptant aux variations de la pression osmotique (BURTON, 1983), un flux d'eau entrant est donc créé. Cette turgescence, qui provoque un gonflement de la poche perlière, faciliterait l'introduction du nucleus et rendrait greffable un nombre plus important d'huîtres. Il suffirait donc de mettre les huîtres à jeun avant cette opération. Cette hypothèse est à rapprocher de certaines pratiques effectuées avant greffe : mise en panier à forte densité des huîtres, remontée des cordes à trois mètres de la surface deux mois avant la greffe. Des expérimentations de conditionnement d'huîtres en sur-densité seraient à réaliser avant la greffe pour vérifier cet effet.

2.3.2. Consommation d'oxygène

Trois niveaux métaboliques différents ont été mis en évidence, basés sur des changements de ration alimentaire. Les résultats obtenus confirment la diminution de la consommation d'oxygène durant un stress alimentaire décrite par différents auteurs (WIDDOWS & BAYNE, 1971 ; THOMPSON & BAYNE, 1972 ; BAYNE, 1973). La connaissance des niveaux respiratoires de base, de routine et actif peut être utilisée comme indice de référence de l'état physiologique d'une espèce.

Cependant il convient de vérifier l'influence du stress provoqué par les manipulations qui paraît non négligeable (transvasement, mise en place de l'huître dans l'enceinte de mesure...). L'estimation de ces niveaux est donc soumise à vérification *a posteriori*.

2.3.2.1. Niveau métabolique de base

En l'absence de nourriture, l'animal diminue son activité respiratoire jusqu'à un seuil minimal, appelé niveau de base ou niveau basal. Cet animal est considéré comme étant en état de stress défini comme suit par BAYNE (1973) : mesure d'un état physiologique constant induit par un changement environnemental et rendant les animaux plus vulnérables à d'autres changements.

Ce niveau de base a été atteint quinze jours après l'arrêt de l'alimentation. Ce laps de temps est beaucoup plus court que chez la moule *Mytilus edulis*. Pour nos animaux en expérience qui ont une taille moyenne de 13 cm et un poids sec moyen de 3,88 g en fin de période d'acclimatation, ce niveau se situe en moyenne à **0,6 mg** d'oxygène par heure et par gramme de poids sec avec un écart-type de 0,3. Chez *Mytilus edulis*, il est de 0,2 mg d'oxygène par heure et par gramme de poids sec.

2.3.2.2. Niveau métabolique de routine

Le niveau respiratoire de routine est établi spontanément par un animal lorsque la ration dépasse les besoins nécessaires au maintien de ses fonctions vitales. C'est la consommation moyenne enregistrée chez un animal se trouvant dans des conditions normales d'élevage.

Ce niveau a été estimé en moyenne à **0,9 mg** d'oxygène par heure et par gramme de poids sec (chez la moule *Mytilus edulis*, il est de 0,4 mg d'oxygène par heure et par gramme de poids sec). Ce taux correspond à une augmentation de 33% du taux de base. Il correspond à



l'énergie nécessaire au coût de l'activité alimentaire (énergie utilisée pour la ventilation et la filtration) et au coût physiologique (prise de nourriture, ingestion, digestion, croissance éventuelle et reproduction). Dans l'expérience, aucune croissance, ni activité de reproduction n'a été notée. La différence de consommation mesurée ne correspond donc qu'aux fonctions alimentaires.

2.3.2.3. Niveau métabolique actif

Quand un animal conditionné pour le métabolisme de base est nourri, il augmente son taux de filtration jusqu'à une valeur maximale coïncidant avec une augmentation de la consommation d'oxygène (pic actif). Pendant le test préliminaire, les nacres semblent atteindre leur niveau maximal de respiration 7 à 9 heures après leur réalimentation. Par la suite, dans tous les cas, l'activité respiratoire est devenue instable (après 12 heures). Les mesures effectuées pour l'évaluation du niveau respiratoire actif ont donc été faites 9 heures après le nourrissage.

Le niveau moyen de ce pic actif a été estimé à **1,2 mg** d'oxygène par heure et par gramme de poids sec, soit une augmentation de 51% du taux respiratoire de base et de 24% du taux de routine. Chez la moule *Mytilus edulis*, le niveau actif se situe à 0,6 mg d'oxygène par heure et par gramme de poids sec. Les écarts entre les différents niveaux métaboliques sont identiques chez la nacre (0,3 mg d'oxygène), ce qui a été déjà mentionné chez la moule (BAYNE, 1973) où les trois niveaux métaboliques étaient chacun séparés de 0,2 mg d'oxygène.

L'augmentation est rapide, deux à trois heures après l'apport en particules alimentaires (Figure 13). Si la ration est maintenue à un haut niveau, la consommation d'oxygène se maintient à la valeur du pic actif observé durant le temps étudié. BAYNE (1973) décrivait un pic actif alors que l'on obtient un plateau qui se maintient au moins 24 heures après la réalimentation.

Lorsque ce niveau maximal est atteint, la respiration présente des variations irrégulières. Il se pourrait donc que l'animal, affaibli par la longue période de jeûne, soit incapable de réguler sa respiration à une valeur stable. BAYNE (1973) a démontré un retour au niveau de routine en quatre à cinq jours chez la moule *Mytilus edulis*. Ce retour au niveau de routine n'a pas été mesuré dans le cadre de notre expérience, suite à un dysfonctionnement des sondes à oxygène (l'humidité de l'air a perturbé les mesures pendant 15 jours).

2.4. Conclusion

Cette étude présente les résultats expérimentaux obtenus au laboratoire lors de l'évaluation des trois niveaux respiratoires de l'huître perlière *Pinctada margaritifera*, déterminés en fonction de l'alimentation des animaux. Ils démontrent une diminution de la consommation d'oxygène lors d'une période de jeûne et une activation de la consommation quand l'animal est réalimenté. Cette influence de l'alimentation sur le métabolisme respiratoire de l'huître perlière est en conformité avec les résultats obtenus chez la moule *Mytilus edulis* par différents auteurs (WIDDOWS & BAYNE, 1971; THOMPSON & BAYNE, 1972; BAYNE, 1973).

Les résultats permettent d'estimer la quantité d'oxygène nécessaire, à 29°C, au métabolisme de routine de l'huître : 0,91 mg de poids sec pour des huîtres de poids sec moyen de 3,88 g.



La consommation minimale dite de base qui correspond au maintien des fonctions vitales essentielles est de 0,6 mg d'O₂/h/g de poids sec pour des huîtres de poids sec moyen 2,96 g.

Il serait également intéressant de tester les effets de différents traitements que subissent les nacres au cours de l'élevage (exondation, nettoyage, perçage et greffe) sur la respiration afin d'estimer leur impact sur la physiologie de l'animal.

3. NIVEAUX DE CONSOMMATION : EXPERIENCE COMPLEMENTAIRE

Cette partie présente des résultats complémentaires obtenus lors d'une expérimentation sur la nutrition des huîtres (PGRN : Action de Recherche n° 19 : Nutrition).

Lors de cette expérience, les huîtres ont été soumises à trois régimes :

- Régime algue (100 000 cellules/l),
- Régime A jeûn ;
- Régime Lagon de Vairao.

Les poids secs des nacres soumises à chacun de ces régimes sont respectivement de 2,4 g, 1,4 g et 2,3 g.

Les différents niveaux de respiration obtenus pour chacun des régimes alimentaires appliqués sont représentés Figure 16.

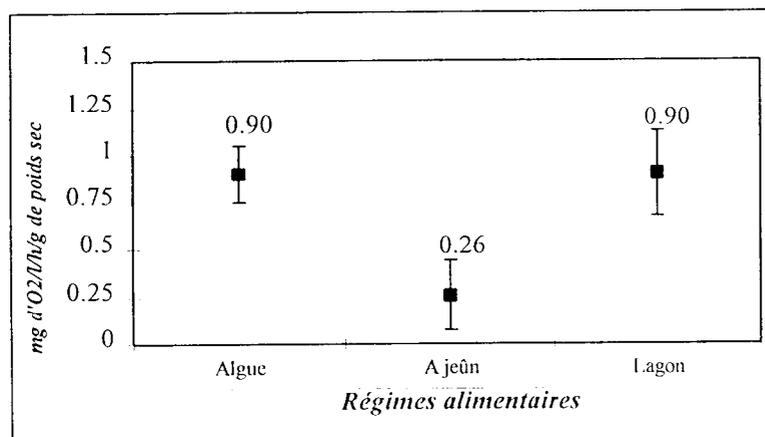


Figure 16. Consommation d'oxygène en fonction du régime calculée à partir de la dérive (sonde + nacre). (moyenne et intervalle de confiance à 95 %)

des animaux.

On retrouve les mêmes types de résultats que lors de la première expérience. Les niveaux de respiration des huîtres nourries aussi bien en lagon que sur régime algue en bac sont équivalents (0,90 mg d'O₂/h/g de poids sec). Ils correspondent au niveau de routine précédemment défini. Le niveau de base (huîtres à jeun) de 0,26 mg d'O₂/h/g de poids sec est inférieur à celui trouvé lors de la première expérience. Cette différence peut s'expliquer par la taille moindre



4. MODELISATION DE LA CONSOMMATION D'OXYGENE EN FONCTION DU POIDS SEC

L'objectif de ce travail est d'établir, sur des huîtres perlières conditionnées en bac d'élevage, une relation d'allométrie liant la consommation d'oxygène au poids sec.

4.1. Matériels et Méthodes

4.1.1. Huîtres perlières

Elles proviennent de l'atoll de Takapoto et ont été choisies comme représentatives d'un stock exploité dans une ferme perlière. Elles sont restées quatre mois en stabulation dans le lagon de Vairao (d'octobre 1994 à février 1995).

Un lot de soixante nacres de tailles différentes (entre 96 mm et 155 mm de hauteur extérieur) a été divisé en quatre classes de 15 huîtres, identifiés en petites, moyennes, grosses, très grosses.

Quinze chapelets de quatre individus (un par classe) ont été répartis de façon aléatoire dans cinq bacs, à raison 3 chapelets par bac.

4.1.2. Conditionnement

Les huîtres sont stockées à une température de 29°C ($\pm 0.5^\circ\text{C}$), dans cinq bacs thermostatés d'un volume de 330 litres. Elles sont alimentées en algues *Isochrysis aff. galbana* à partir d'un bac tampon de 1000 litres. Les algues sont apportées en quantité suffisante pour permettre un environnement des nacres en stabulation d'environ 60 000 cellules/ml. L'eau de mer est filtrée à 1 μm . Son taux de renouvellement est de 33 % par heure. Un mélange silt eau est distribué en continu sous la forme d'un goutte à goutte, à raison de 3 g de silt par jour.

La période d'acclimatation nécessaire avant la réalisation des mesures a duré deux semaines : du 8 au 22 février 1995.

4.1.3. Consommation d'oxygène

Les consommations d'oxygène ont été évaluées selon le principe décrit page 43. Les enceintes de mesures étaient disposées dans un bac thermostaté à 29°C. Les données de respiration retenues pour calculer la relation d'allométrie tiennent compte d'une dérive de sonde calculée en présence de la nacre.

4.1.4. Traitement des données

4.1.4.1. Relation taille poids des huîtres étudiées

Les données taille-poids en fin d'expérience ont été comparées à l'intervalle de confiance établi à Takapoto sur des huîtres d'élevage par BUESTEL et POUVREAU (1994).

4.1.4.2. Présentation du modèle d'allométric

Les différentes études liant le niveau métabolique au poids pour les mammifères et les oiseaux ont montré que le métabolisme est proportionnel à une puissance constante du poids. Le modèle a été étendu à la plupart des invertébrés y compris les mollusques et leurs larves.

La formulation mathématique de la relation liant une fonction physiologique Y au poids W d'un animal est du type :



$$Y = aW^b$$

Avec

- Y niveau métabolique : consommation d'oxygène (mg O₂/h) ou (ml O₂/ h),
- W poids sec de la chair d'huître,
- b coefficient d'allométrie représentant la proportion de variation de l'activité en fonction du poids. Lorsque b=1, il y a isométrie et les deux grandeurs varient dans les mêmes proportions. Lorsque b est différent de 1, il y a allométrie majorante (b>1) ou minorante (b<1); les deux grandeurs ne varient pas dans les mêmes proportions,
- a constante de proportionnalité, influencée par de nombreux facteurs dont la température et le niveau d'activité.

La consommation d'oxygène est généralement exprimée en mg d'oxygène par animal d'un poids donné. Une autre approche est souvent proposée pour des comparaisons inter spécifiques (BAYNE & NEWELL, 1983) entre mollusques de différentes tailles et entre individus de chaque espèce. Elle fait référence au niveau métabolique rapporté au gramme de poids sec. L'équation devient : $Y' = Y/W = aW^{b-1}$ avec Y' la consommation d'oxygène en milligramme d'oxygène par heure par gramme de poids sec de l'individu considéré.

Les traitements statistiques ont été effectués sur la première équation. L'estimation des paramètres a et b se fait à partir d'une régression linéaire simple sur les transformées logarithmiques de W et Y. Une analyse de variance est réalisée conjointement pour apprécier la validité globale du modèle.

4.1.4.3. Analyse discriminante

Une analyse discriminante a été utilisée pour différencier deux comportements respiratoires apparemment distincts.

Cette analyse construit une nouvelle variable (combinaison linéaire des variables quantitatives utilisées) qui permet de discriminer au mieux (en maximisant la variance entre les groupes et en minimisant la variance au sein des groupes) des sous-populations défini *a priori*. Cela permet donc de tester la réalité des différences entre ces groupes.

4.2. Résultats

4.2.1. Relation taille poids des huîtres étudiées:

La Figure 17 représente la relation taille-poids du lot de nacres comparée au modèle établi par BUESTEL et POUVREAU (1994) à Takapoto (allométrie poids - hauteur extérieure)

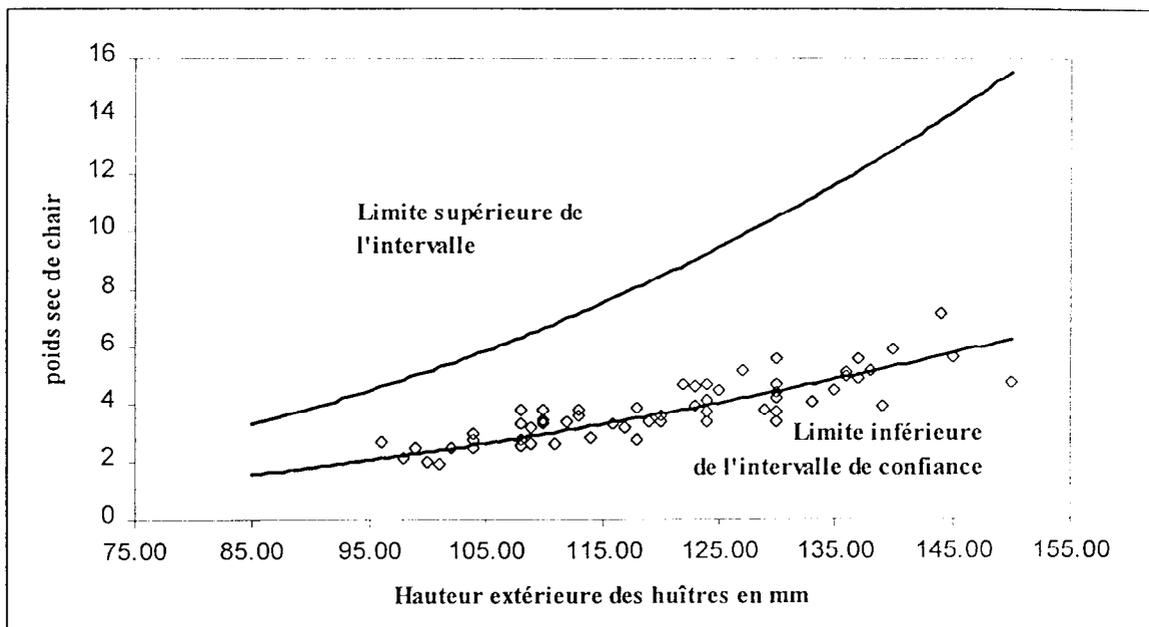


Figure 17. Relation Taille-Poids du lot d'huîtres perlières et intervalle de confiance des valeurs prédites, définies par BUESTEL et POUVREAU (1994).

4.2.2. Présentation du modèle:

Le Tableau 10 présente les résultats de l'ajustement du modèle allométrique:

Tableau 10. Résultats statistiques de la régression $Y = a W^b$ (Y : consommation d'oxygène, W : poids sec de la nacre) et tableau d'analyse de la variance.

Paramètres	Estimation	Erreur Standard	Intervalle de confiance	P
n = 53				
Log a	-1,11199	0,2911	± 0,5706	0,0004
a	0,3289		+ 0,2530 - 0,143	
b	1,5265	0,2263	± 0,4435	0,0000
Source de variation due au modèle	8,8206			0,0000
Source de variation due à l'ajustement	9,8853			
R2 en %	47,15			

Les coefficients a (déduit de Log (a)) et b sont validés tous les deux avec une probabilité $P < 0.05$ (Les hypothèses testées sont en fait $\text{Log } a = 0$ et $b = 0$, par conséquent $P < 0.05$ entraîne le rejet de cette hypothèse et donc l'acceptation de l'estimation).

Le modèle proposé explique 47,15% de la variabilité et s'exprime par l'équation suivante :

$$Y = 0,33 \cdot W^{1,52}$$

La Figure 18 représente la relation d'allométrie respiration - poids sec obtenue en conditions contrôlées à 29°C, encadrée de l'intervalle de confiance de la moyenne et de l'intervalle de prédiction.

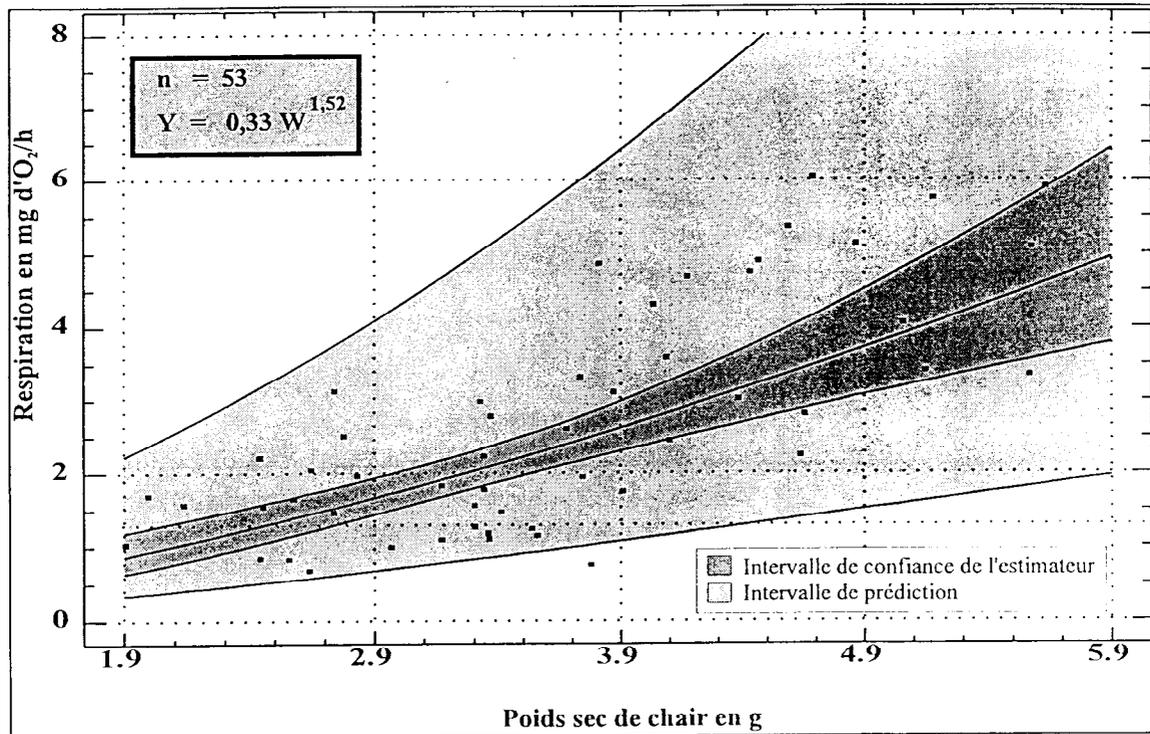


Figure 18. Allométrie Respiration - Poids sec chez *Pinctada margaritifera*.
Mesures en condition contrôlées (IFREMER COP, Février 1995) à 29°C.

4.2.3. Analyse discriminante

Le coefficient d'allométrie (supérieur à 1) amène à s'interroger sur la présence de deux groupes d'individus aux comportements respiratoires différents. Or au moins deux émissions de sperme ont pu être observées pendant les mesures (les animaux ayant un poids respectivement de 4,5 g et 5,1 g) et d'autres animaux fluants ont été signalés dans deux bacs de stabulation. De plus BUESTEL et POUVREAU (1994) ont mis en évidence une première période de ponte à partir de 3 g à 3,5 g, même si tous les individus ne mûrent pas simultanément (Thielley, 1993).

Nous avons donc retenu l'hypothèse de deux groupes de nacres : le premier groupe correspond aux individus de moins de 3,5 g, le second à ceux de plus de 3,5 g (cette limite correspond à une taille d'environ 11,2 cm), l'analyse discriminante permettant ensuite de vérifier si ces deux sous populations sont distinctes ou forment une seule population homogène (du point de vue du couple de variables poids sec - respiration)

Le Tableau 11 présente les principaux résultats de l'analyse

**Tableau 11. Résultats statistiques de l'analyse discriminante**

Fonction discriminante	Valeur Propre	Inertie	Corrélation Canonique	χ^2	ddl	proba
1	1,9815	100 %	0,8152	54,6218	2	0,0000

	Classification prédite		Total
	Groupe 1	Groupe 2	
Groupe 1 (individus de moins de 3,5 g)	26 (100 %)	0 (0 %)	26
Groupe 2 (individus de plus de 3,5 g)	2 (7,4 %)	25 (92,6 %)	27

Avec un niveau de probabilité de 0,0000 l'hypothèse de deux sous populations aux comportements respiratoires différents est acceptée. La totalité des individus de moins de 3,5 g font partie du premier groupe, alors que deux individus du second groupe se rattachent en fait au premier (leurs projections sur l'axe discriminant les situent dans le même type de comportement que les nacres de moins de 3,5 g).

Le premier groupe rassemblerait des individus non matures, alors que la plupart des nacres du second groupe auraient subi les conséquences physiologiques de leur maturation sexuelle. L'ajustement allométrique réalisé précédemment souffre donc de l'existence de ces deux sous-populations.

4.3. Discussion

La relation allométrique établie au laboratoire n'est pas conforme aux résultats obtenus classiquement pour ce genre de relation. En effet le facteur b doit être inférieur à 1 pour indiquer la proportionnalité d'une activité de respiration plus marquée chez les petits individus que chez les grands. Le résultat inverse, avec un coefficient d'allométrie b de 1,52, conduit à s'interroger sur la condition physiologique des nacres utilisées : amaigrissement, maturation et ponte.

Contrairement aux huîtres étudiées dans le milieu naturel à Takapoto (Figure 22), les nacres utilisées au laboratoire se répartissent autour de la limite inférieure de l'intervalle de confiance des valeurs prédites par le modèle d'allométrie Poids - Hauteur extérieure établi en 1994 par BUESTEL et POUVREAU (Figure 17). Ces huîtres présentent donc un amaigrissement marqué. Il est donc possible que ces animaux aient un niveau de respiration sous-estimé du fait de leur amaigrissement.

Par ailleurs, l'analyse discriminante met en évidence deux comportements respiratoires différents, dont un correspond à un groupe d'individus ayant pondu. Il est communément cité dans la littérature qu'indépendamment de la température, l'augmentation de la consommation d'oxygène est reliée à la gamétogenèse VAHL (1978) sur *Chlamys islandica* BOROMTHANARAT (1986), BAYNE, WIDDOWS et NEWEL (1977) sur *Mitilus edulis*. Chez *C. islandica* cette augmentation atteint trois fois la valeur obtenue en hiver. Si nous n'avons pour l'instant aucune donnée comparative sur *Pinctada margaritifera*, la proximité d'une maturation, marquée par l'émission de sperme et la sous estimation du poids de ces individus concourent à une surestimation des valeurs de respiration des animaux matures.

Sur les petits animaux non matures, une sous-estimation du niveau respiratoire serait due à leur mauvaise condition physiologique. Sur les gros individus, les problèmes liés à la maturation et aux pontes observées conduiraient au contraire à une surestimation des



consommations d'oxygène. Ces deux phénomènes conjugués expliqueraient la forme anormale de la relation allométrique.

4.4. Conclusion

Il s'agit là de la première série de mesures - allométrie respiration poids sec de l'huître réalisée dans des conditions expérimentales contrôlées à 29°C. Le coefficient d'allométrie b , supérieur à 1, est anormal.

Cette expérience montre la difficulté de travailler sur cette espèce. La stabulation prolongée dans le lagon de Vairao a affaibli les animaux. Malgré cette mauvaise condition physiologique, l'énergie disponible lors de l'acclimatation dans les bacs chez les plus gros individus a été canalisée vers la maturation. Le stress induit par les manipulations, en provoquant des pontes dans les bacs aurait perturbé considérablement nos observations.

Ceci souligne l'importance des phénomènes de maturation chez cette espèce qui a une activité sexuelle continue. Un effort important devra être consenti pour cerner la part de cette dépense dans les bilans énergétiques.



ETUDE DE LA RESPIRATION *IN SITU*, A TAKAPOTO

1. MODELISATION DE LA CONSOMMATION D'OXYGENE EN FONCTION DU POIDS SEC

Cette étude a pour objectif de d'établir la relation liant la consommation d'oxygène au poids sec des huîtres perlières.

L'acquisition des données nécessaires à l'estimation de cette fonction a été effectuée *in situ* dans le lagon de Takapoto au cours du mois de juillet 1994. Au cours de cette période la température moyenne est de 27 °C (hiver austral).

Suite aux observations sur le rythme nyctéméral d'ouverture des huîtres perlières observé *in situ*, les consommations d'oxygène sont mesurées de jour comme de nuit.

2. MATERIELS ET METHODES

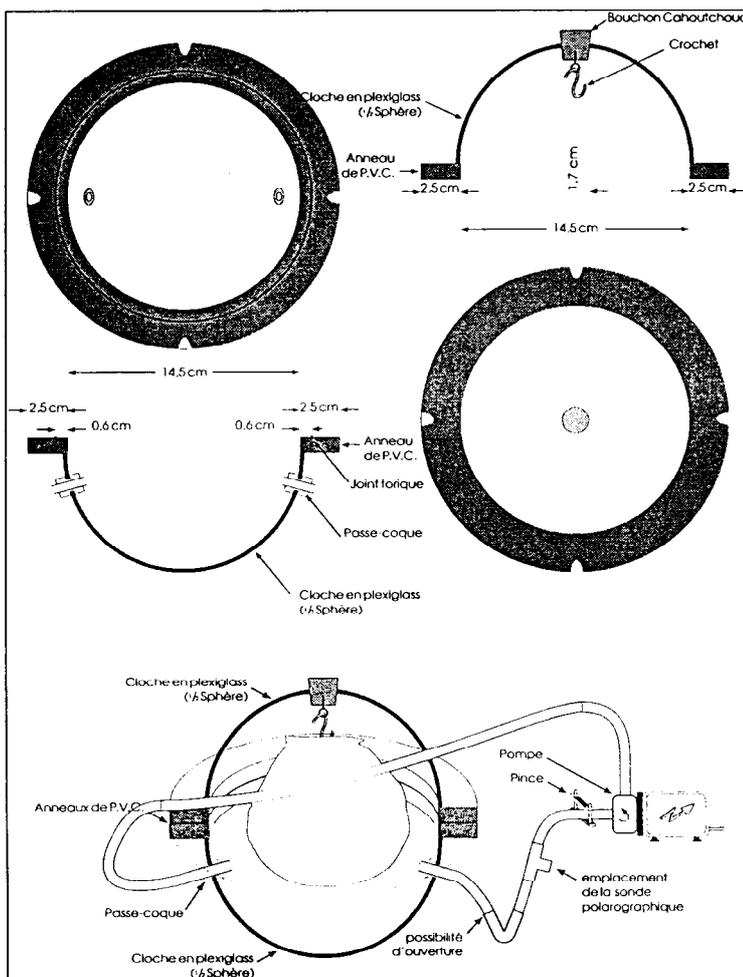


Figure 19. Schéma des sphères utilisées pour la mesure de la consommation d'oxygène chez *Pinctada margaritifera* (IFREMER).

2.1. Huîtres perlières

Un lot d'huîtres perlières originaires du lagon de Takapoto a été sélectionné dans une gamme de taille variant entre 7,9 et 14,9 cm pour un âge allant de 1 à 5 ans. Cet échantillon est considéré comme représentatif des élevages.

Après brossage, les huîtres ont été réparties en 8 chapelets de 4 individus de tailles différentes. Les nacres ont été classées en fonction de leur taille en 4 groupes : A (7,9 à 9,1 cm), B (9,8 à 11,2 cm), C (11,2 à 13,4 cm), D (13,6 à 14,9 cm). Chaque chapelet numéroté de 1 à 8 comporte une nacre de chaque groupe. Les mesures sont réalisées *in situ* simultanément sur les huîtres d'un même chapelet de jour ou de nuit.

2.2. Matériel de mesure

La sélection et la mise au point d'un matériel adapté aux mesures *in situ* a été nécessaire. L'enceinte de mesure est décrite sur la Figure 19.



Elle est composée de deux demi-sphères, en altuglass transparent, fermées hermétiquement. L'eau pompée par une pompe d'aquarium immergeable circule au travers de la partie médiane de la sphère. Un raccord (T en PVC) est disposé dans le circuit sphère-pompe et permet la mise en place d'une sonde polarographique. Les sphères sont toutes maintenues immergées à 5 mètres de la surface par un système de poids et de flotteurs (Photo 3).

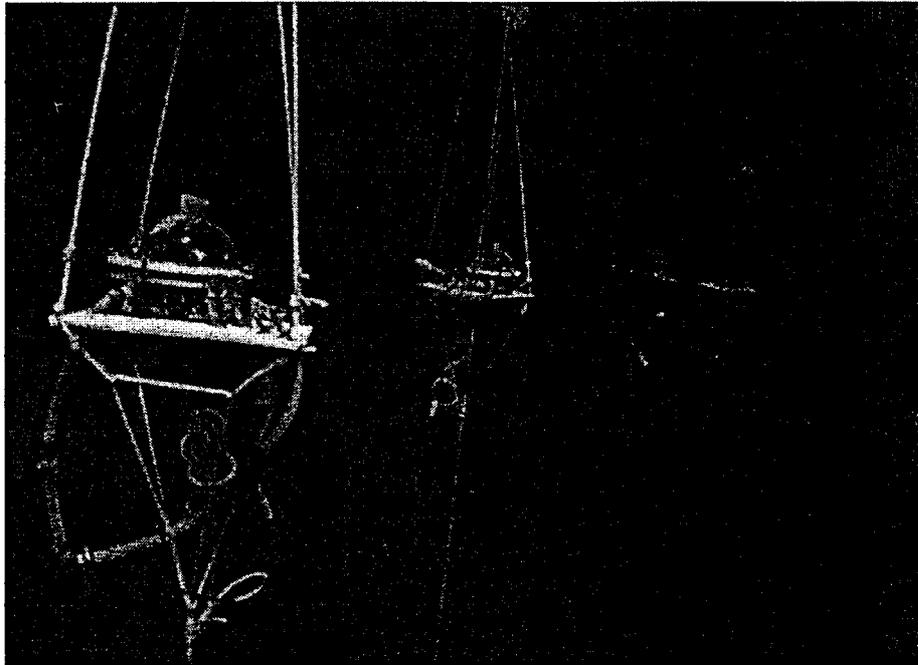


Photo 3. Présentation in situ des sphères de mesures de consommation d'oxygène en fonctionnement.

Deux types de sphères, de volume respectif de 2 et 8 litres environ, sont utilisées pour tenir compte des tailles différentes d'huîtres.

Les appareils de mesures sont étudiés pour permettre une utilisation mixte, terrain (*in situ*) et laboratoire (Photo 4).

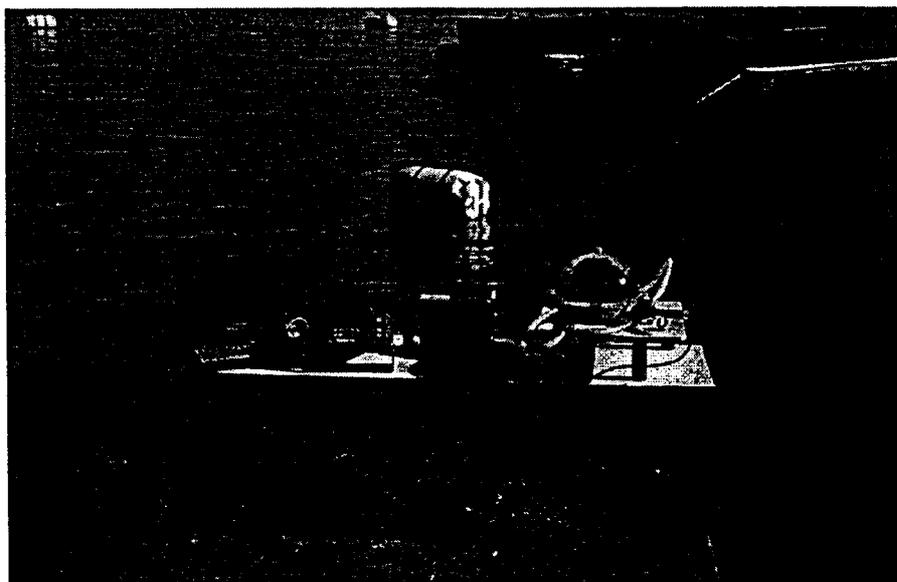


Photo 4. Ensemble des appareils impliqués dans la mesure de la consommation d'O₂.



La sonde polarographique de cet appareil est étalonnée chaque jour et la membrane remplacée régulièrement pour obtenir des mesures fiables.

Chaque appareil est relié à la centrale d'acquisition de données (FLUKE). Un logiciel d'acquisition de données (LABTECH NOTEBOOK) permet de piloter la centrale et de suivre en temps réel l'évolution de la concentration en oxygène sur l'écran d'un micro-ordinateur portable. Une fois acquises, les données sont enregistrées et converties au format Excel 5.0. pour les traitements ultérieurs.

2.3. Méthode d'analyses des données

2.3.1. Consommation d'oxygène

Le calcul de la consommation de l'huître s'effectue classiquement suivant la formule :

$$V_{O_2 \text{ huître}} = 60 \cdot \frac{(A - B)}{t_1 - t_0} \cdot [Vol_{\text{eau}} - Vol_{\text{huître}}] - V_{O_2 \text{ sonde}}$$

$$\text{Avec } V_{O_2 \text{ sonde}} = 60 \cdot \frac{(A' - B')}{t'_1 - t'_0} \cdot Vol_{\text{eau}}$$

$VO_2 \text{ sonde}$	consommation horaire de la sonde en mg d'O ₂ /h
t'_0 et t'_1	début et fin de la mesure de dérive de sonde (les huîtres ne sont pas encore introduites dans les enceintes)
$VO_2 \text{ huître}$	consommation horaire de l'huître en mg d'O ₂ /h
Vol_{eau}	volume d'eau dans l'enceinte
$Vol_{\text{huître}}$	volume de la nacre
t_0 et t_1	début et fin de la mesure de consommation des huîtres.
A et A'	concentrations en oxygène en mg/l au temps t_0 et t'_0 (en minute)
B et B'	concentrations en mg/l au temps t_1 et t'_1

2.3.2. Allométrie respiration - poids sec de chair

Le modèle utilisé est présenté page 37 (Présentation du modèle d'allométrie)

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Dérives de sondes : reformulation du calcul de la respiration

Pour établir une consommation d'oxygène réelle en circuit fermé, il est habituel de définir, pour la journée, la valeur de la dérive liée à une sonde de mesure. Cette évaluation, obtenue dans une sphère vide et dans des conditions de circulation d'eau identiques aux périodes de mesure, est déduite des consommations mesurées lors de la respiration de l'huître.

La manipulation *in situ* introduit des différences. En effet, l'observation de la Figure 20 montre une différence entre les dérives de sondes selon qu'elles sont appréciées avec la sonde seule, ou en **phase pré-respiratoire** (présence d'une nacre fermée dans l'enceinte). Les mesures de consommation d'oxygène présentées ont été réalisées sur trois huîtres différentes.

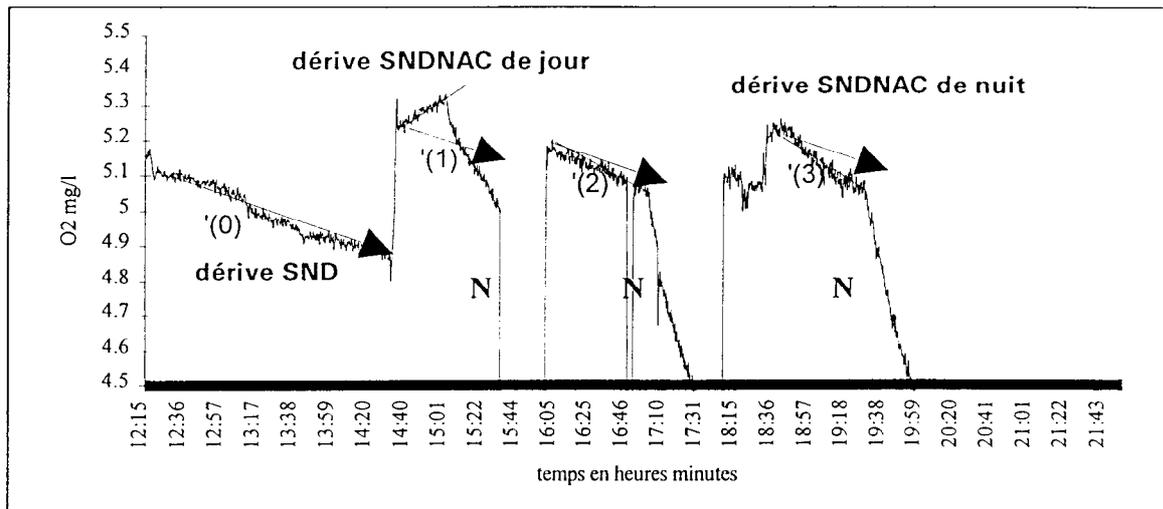


Figure 20. Représentation des dérives de sonde selon que l'on considère la dérive de sonde seule ou la dérive de sonde en présence d'une huître (pré-respiration) de jour ou de nuit. Les flèches indiquent la pente de la dérive de sonde seule.

Dans la phase pré-respiratoire, on peut avoir différentes situations. Durant le jour on observe soit une consommation d' O_2 (2) en plus de celle de la sonde seule (0), soit une production d' O_2 (1). Pendant la nuit, seule une consommation d' O_2 (3) est mesurée.

Ces différents artéfacts sont dus au fait que les organismes piégés dans le volume d'eau des sphères et les épibiontes présents dans les nombreux interstices des coquilles interfèrent de façon complexe. Le jour il y a respiration et éventuellement photosynthèse, la nuit il y a seulement la respiration.

Les consommations de sonde avec la nacre fermée (pré-respiration) sont différentes le jour et la nuit comme le montre l'analyse suivante (44 mesures) :

Tableau 12. Comparaison des dérives de sonde (pré-respiration) obtenues le jour et de nuit sur les mêmes nacres

Source de variation	Somme des carrés	DDL	Carré moyen	F- ratio	Probabilité
Entre groupe	0,2731838	1	0,2731838	11,807	0,0013
Inter groupe	0,9717573	42	0,0231371		
Totale	1,2449412	43			

L'analyse de variance (Tableau 12) montre qu'il existe une différence significative entre les dérives de sondes (pré-respiration) obtenues le jour et celles réalisées la nuit. ($P=0,0013$). On obtient ainsi une moyenne de jour de **0,038 mg d' O_2 /h ($\pm 0,064$)** et une moyenne de nuit de **0,195 mg d' O_2 /h ($\pm 0,063$)**. Cette différence met en évidence l'influence de la photosynthèse le jour avec une production de O_2 qui compense dans une certaine mesure la consommation de la sonde et la respiration des organismes.

La Figure 21 présente les différentes étapes de la mesure de la consommation d'oxygène *in situ*.

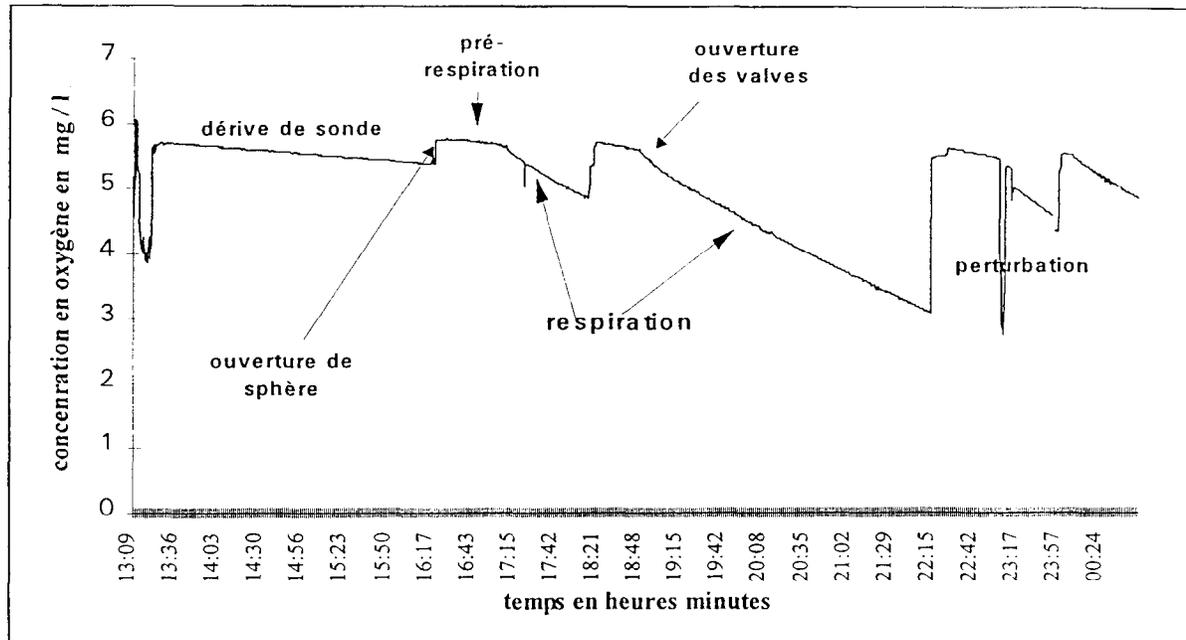


Figure 21. Exemple d'évolution de la concentration en oxygène dans une sphère de mesure

1. **Dérive de la sonde (sonde seule)** : Elle correspond à la consommation d'oxygène nécessaire à la réaction chimique qui permet la mesure de l'oxygène dissous. Elle est propre à une sonde et se mesure dans une enceinte vide.
2. **Ouverture de sphère** : le décrochement observé sur l'enregistrement caractérise l'ouverture de la sphère et l'introduction d'une nouvelle nacre.
3. **Pré-respiration** : il s'agit d'une période pendant laquelle l'huître étudiée est à l'intérieur de l'enceinte, mais n'a pas encore commencé à respirer.
4. **Respiration** : On peut distinguer deux phases dans la respiration de la nacre:
 - la première très courte est caractérisée par une augmentation brutale de la pente qui correspond à l'ouverture des valves et au début de la respiration.
 - la deuxième correspond à la stabilisation de la pente, **c'est cette portion qui est prise en compte pour le calcul de la respiration.**
5. **Inter-périodes** : Il s'agit de perturbations diverses dont il n'est pas tenu compte.

Par conséquent la formule de consommation d'O₂ des huîtres devient :

$$V_{O_2 \text{ huître}} = 60 \cdot \frac{(A - B)}{t_1 - t_0} \cdot [Vol_{eau} - Vol_{huître}] - V_{O_2 \text{ sonde + nacre}}$$

$$\text{Avec } V_{O_2 \text{ sonde + nacre}} = 60 \cdot \frac{(A' - B')}{t'_1 - t'_0} \cdot [Vol_{eau} - Vol_{huître}]$$

Les consommations liées à ces dérives (pré-respiration) sont calculées et déduites du calcul de la consommation des huîtres. Les calculs de respiration qui suivent sont basés sur cette formule.



3.2. Relation taille - poids des huîtres utilisées

Les valeurs de poids sec de chair du lot d'huîtres perlières retenues pour l'expérimentation correspondent à l'intervalle de confiance du modèle défini par BUESTEL ET POUVREAU (1994). Les individus retenus sont bien représentatifs du site de Takapoto.

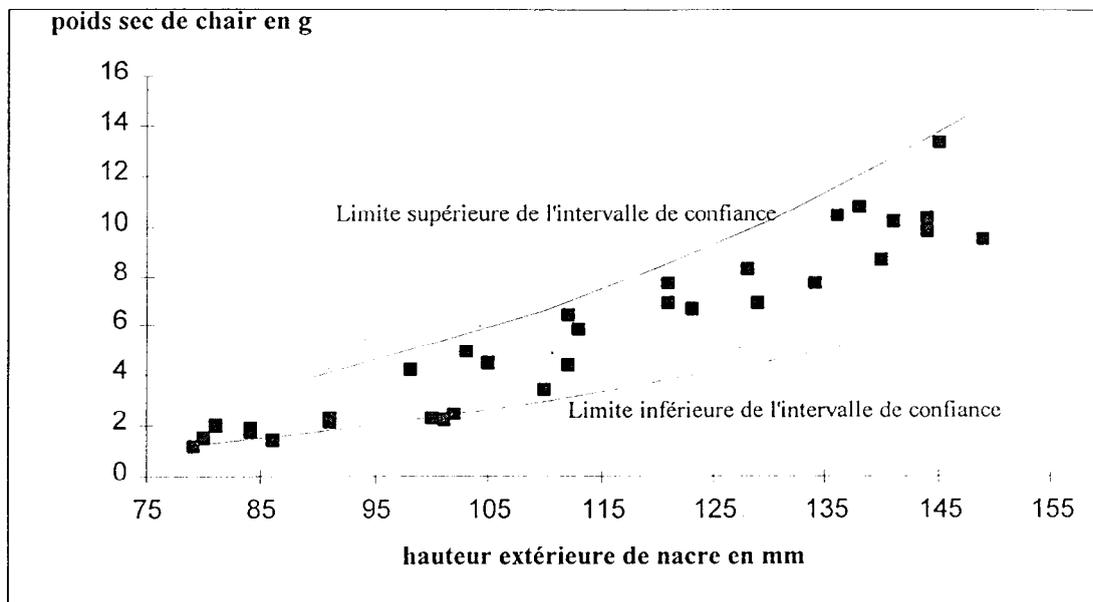


Figure 22. Vérification de l'ajustement du nuage de points (poids sec de chair en fonction de la hauteur de nacre) dans les limites de l'intervalle de confiance des valeurs prédites définies par BUESTEL et POUVREAU (1994).

3.3. Relation d'allométrie

3.3.1. Analyse des différences entre consommation diurne et consommation nocturne

Avant de proposer un modèle de jour et un modèle de nuit, ou un un modèle général, il convient de tester si les consommations d'oxygène mesurées le jour et la nuit pour un même individu sont statistiquement différentes.

Nous avons testé si la moyenne des différences de consommation observée pour chaque individu ($Y_{J-N} = \text{consommation jour} - \text{consommation nuit}$) est significativement différente de zéro (Tableau 13).

Tableau 13. Estimation des différences entre les consommations d'oxygène mesurées le jour et la nuit sur les mêmes nacres.

Estimation	Variance	Erreur standard	Degré de liberté	Valeur de T	Niveau de probabilité
0,353229	2,96206	1,72106	22	0.98429	0,3357

Le niveau de probabilité est supérieur à 0,05, l'hypothèse nulle (la moyenne des différences est nulle) doit être acceptée. Par conséquent il n'y a pas de différence entre les niveaux de consommation mesurés le jour et les niveaux observés la nuit, et seul un modèle global est présenté.



3.3.2. Estimation du modèle général

L'ajustement de la courbe allométrique est réalisée uniquement sur les individus pour lesquels on dispose à la fois de mesures le jour et la nuit. En effet, il n'est pas possible de travailler sur toutes les observations, car alors tous les individus n'auraient pas le même poids dans l'analyse. Puisqu'aucune différence significative entre les niveaux de respiration diurne et nocturne n'a pu être mise en évidence, le modèle repose sur les moyenne des valeurs Jour et Nuit observées sur chaque individu (Tableau 14).

Tableau 14. Régression $Y = aW^b$ (Y : moyenne des consommations d'oxygène mesurées le jour et la nuit, W : poids sec de la nacre) et tableau d'analyse de la variance.

Paramètres	Estimation	Erreur Standard	Intervalle de confiance	P
n = 23				
Log a	-0,1350	0,1665	± 0,3263	0,4267.
a	0,8737		+ 0,3371 - 0,2432	
b	0,6719	0,0967	± 0,1895	0,0000
Source de variation due au modèle	6,1910			0,0000
Source de variation due à l'ajustement	2,6907			
R2 en %	69,71			

Le modèle établi est donc :

$$Y = 0,87 W^{0,67}$$

Y : consommation d'oxygène en mg.h⁻¹

W : poids sec de l'huître en g

Ce modèle explique 69,71 % de la variabilité des 23 couples de mesures de consommation jour-nuit. Le coefficients b trouvé concorde avec ceux de la littérature (BAYNE & NEWEL, 1983, donnent une valeur moyenne de $0,73 \pm 0,13$ pour les suspensivores et dépositivores).

La Figure 23 représente la relation d'allométrie respiration - poids sec obtenue en milieu naturel à 27°C, encadrée de l'intervalle de confiance de la moyenne et de son intervalle de prédiction.

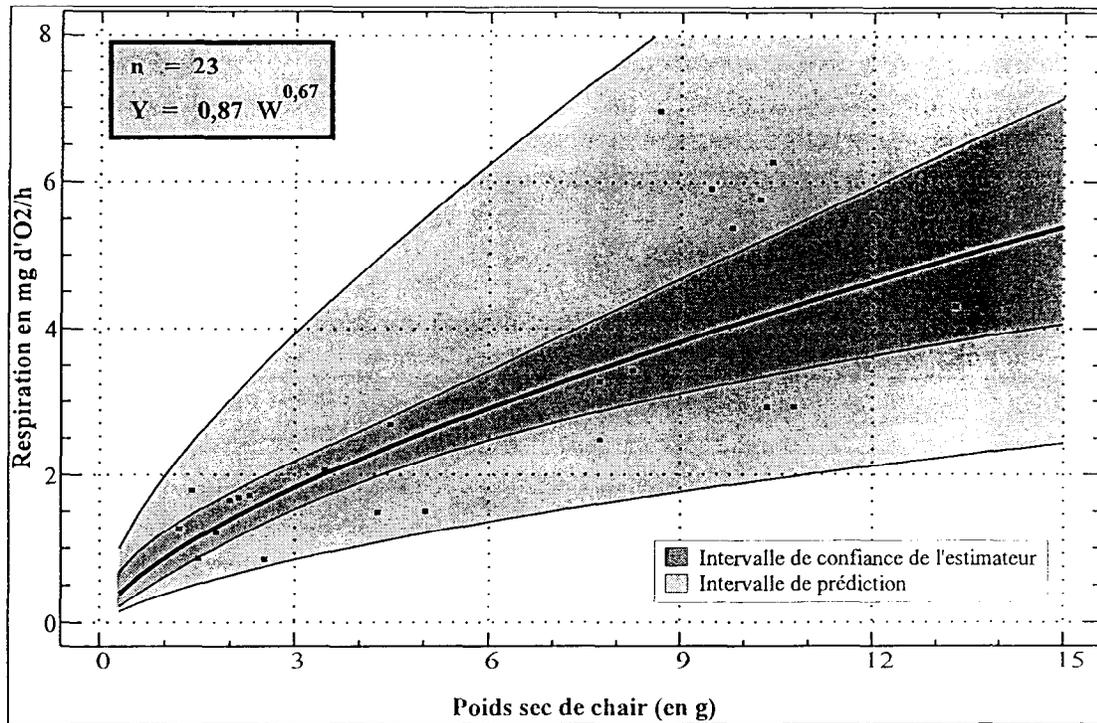


Figure 23. Allométrie respiration - poids sec chez *Pinctada margaritifera*.
Mesures *in situ* (Takapoto, Avril 1994) à 27°C



CONCLUSION

Les différents résultats des expériences présentées au cours de ce chapitre sont regroupés sur la Figure 24. Le modèle obtenu au laboratoire n'est pas exploitable.

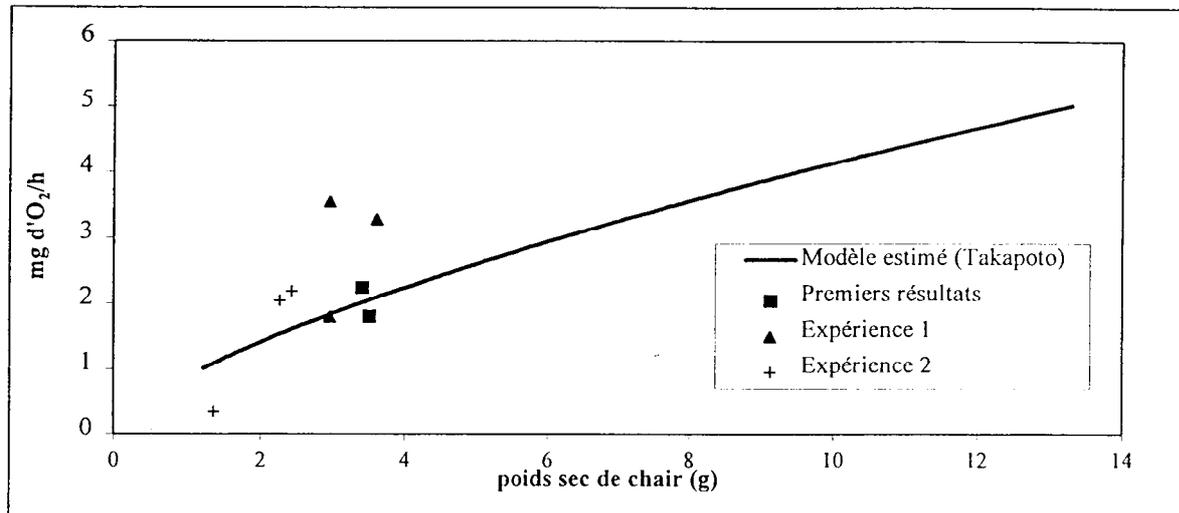


Figure 24. Comparaison des résultats des différentes études de l'allométrie Respiration (en mg d'O₂/h) - Poids sec (en g) chez *Pinctada margaritifera*

Quatre expériences sont comparées. Trois ont été réalisées en milieu contrôlé au laboratoire, et une en milieu naturel dans le lagon de Takapoto.

L'objet de ces expérimentations est rappelé brièvement ainsi que la température à laquelle elles ont été réalisées.

Au laboratoire

1. La première approche (premier résultats) correspond à la comparaison des respirations d'huîtres perlières stabulées dans le lagon avec celles ayant un régime alimentaire contrôlé en algue. La température est de 27°C.
2. Les niveaux de consommation de l'expérience 1 : Evaluation des trois niveaux métaboliques de routine, de base et actif. La température est de 29°C.
3. Les niveaux de consommation de l'expérience 2 : Evaluation des niveaux de consommation en fonction de régimes alimentaires différents: algues, à jeun, lagon de Vairao. La température est de 30°C.

In situ

4. La consommation d'oxygène est mesurée en fonction du poids de l'huître (établissement de la relation d'allométrie) à une température de 27°C.

En comparant les données au modèle d'allométrie respiration - poids sec obtenu *in situ*, certaines données se rapprochent de ce modèle de référence. Elles ont été obtenues dans des conditions expérimentales différentes sur des huîtres alimentées par des algues ou en stabulation dans le lagon. Ces valeurs correspondent à un **taux de routine**. Malgré une différence de température, 27°C au lieu de 29°C, ces valeurs sont peu éloignées du modèle.



D'autres données s'écartent du modèle. Dans un premier cas, il s'agit de consommation d'oxygène liées à des conditions d'alimentation défavorables : elles représentent un **niveau de base**.

Dans un deuxième cas, il s'agit de l'évaluation (à 30°C) des trois niveaux métaboliques routine, base et pic actif. Il est difficile de trouver une explication pour ces écarts. Il est possible que, comme pour les expériences « allométrie » en laboratoire, les mesures aient été perturbées par les conditions d'élevage.

L'acquisition de données comparatives en laboratoire reste importante pour identifier les facteurs perturbant la respiration. Les animaux semblent parfois très sensibles aux conditions d'élevage.

Nous avons représenté à titre d'exemple sur la Figure 25 trois espèces autres que *Pinctada margaritifera*. Il s'agit de *Crassostrea virginica* ($Y=0,372.W^{0.710}$) à 20°C selon DAME (1972) d'*Ostrea edulis* ($Y=0,962.W^{0.753}$) à 15°C selon RODHOUSE (1978) et de *Crassostrea gigas* ($Y=[-0,432 + 0,613 \times 1,042^{\text{température}} . W^{0,8}]$) à 20°C selon BOUGRIER, (1995). Pour rapprocher les périodes d'acquisition de données, nous avons volontairement choisi des relations allométriques établies à des températures proches de l'optimum de croissance des espèces présentées.

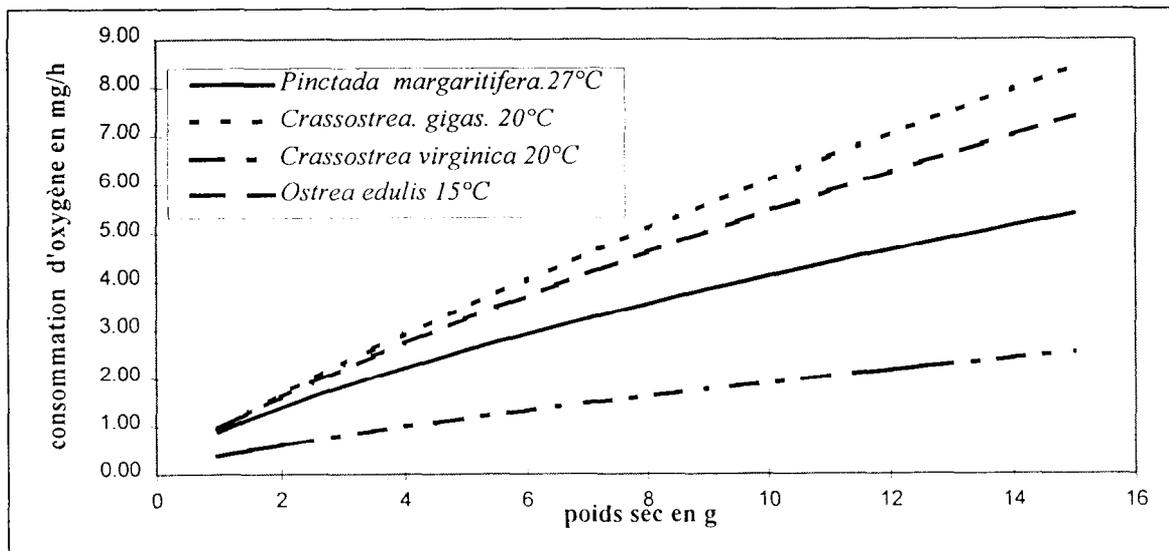


Figure 25. Représentation de quatre relations allométriques respiration - poids sec sur trois espèces de bivalve (*Crassostrea virginica*, *Ostrea edulis*, *Crassostrea gigas*) différents de *Pinctada margaritifera*.

D'après ces modèles, la consommation de *Pinctada margaritifera* reste dans la norme observée chez les bivalves. L'extraction de l'oxygène (calculé à partir d'un taux de filtration dans notre comparaison) est moins bonne pour la nacre que pour l'huître *C. gigas*. Les données de BOUGRIER (1995) permette de calculer un rendement d'extraction de 3% (huître de 3g, filtration de 8 l/h, oxygène disponible dans l'eau 7,4 mg/l à 20°C et à 34‰) pour *P. margaritifera* le rendement est de l'ordre de 0,9% (huître de de 3g, filtration 38 l/h d'après le modèle allométrique basé sur les biodépôts, oxygène disponible dans l'eau 6.3 mg/l à 27°C et à 40‰). Cependant cette valeur est proche des 1% cité par BLANCHARD (1989) pour une majorité de mollusques bivalves.

Dans leur analyse des données de la littérature, BAYNE & NEWELL (1983) situent le coefficient d'allométrie b proche d'une valeur de 0,7 pour l'ensemble des suspensivores. Le



résultat trouvé au cours de l'étude *in situ* (0,67) concorde tout à fait avec cette estimation. La valeur du coefficient de proportionnalité a obtenue ici (0,87) est supérieure aux valeurs moyennes citées pour les suspensivores (environ 0,5). Ce coefficient est très variable pour une même espèce. Il est dépendant de la température et de l'état physiologique des animaux observés. Pour *Crassostrea virginica*, il varie de 0,171 à 0,453 entre 10°C et 30°C, DAME (1972).



TROISIEME PARTIE :

ETUDE DE LA FILTRATION

Comme la plupart des mollusques bivalves, l'huître perlière *Pinctada margaritifera* est un suspensivore : elle consomme les particules en suspension dans l'eau qu'elle filtre au travers de ses branchies. L'étude de la filtration est donc indispensable pour déterminer la part d'énergie que l'animal puise dans le milieu sous forme de matière organique particulaire. On définit la filtration comme *le volume d'eau entièrement débarrassé de ses particules en suspension par unité de temps*. Ce taux est différent du taux de pompage qui est le volume total d'eau qui traverse les branchies. Comme pour la respiration, l'étude de la filtration a été abordée au laboratoire et *in situ* au moyen de différentes techniques.



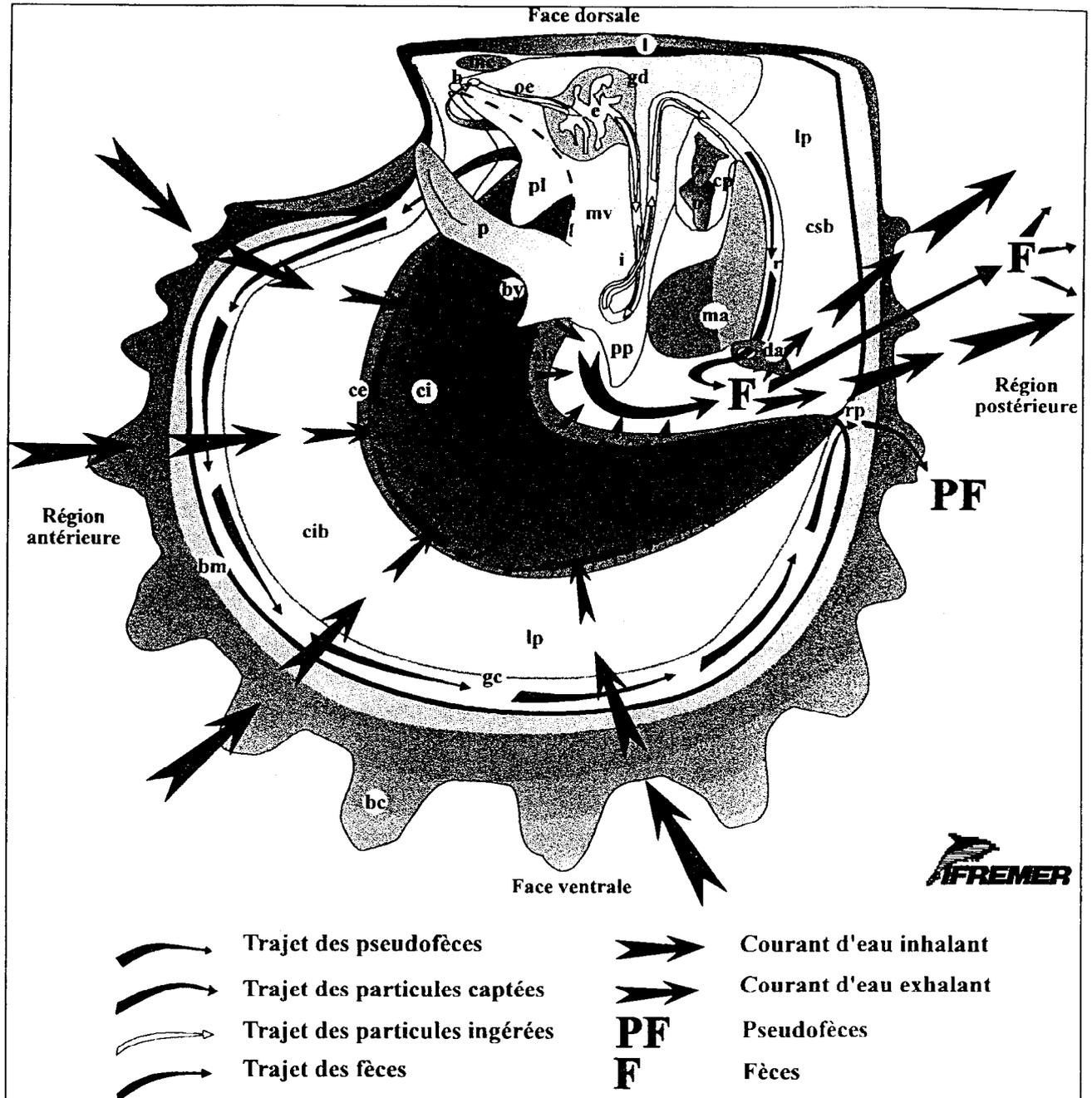
MODALITES DE LA FILTRATION CHEZ *PINCTADA* *MARGARITIFERA*

Les observations et mesures ont permis une description précise des modalités de la nutrition. L'huître perlière est un bivalve suspensivore (Figure 26). Elle capte les particules en suspension dans l'eau qui l'entoure. Pour cela elle est équipée d'un véritable système de pompage et de filtration de l'eau constitué par les branchies.

En forme de croissant, les branchies sont constituées de nombreux filaments accolés, équipés de cils vibratiles. L'ensemble forme un maillage très fin agissant comme un filtre qui retient les petites particules. Les bords dorsaux des branchies sont fixés au manteau par des systèmes des cils de type velcro. Les extrémités postérieures des branchies sont également fixées au niveau du repli palléal. Ces différentes fixations des branchies divisent la cavité palléale en deux parties distinctes : la cavité supra branchiale et la cavité infra branchiale. La communication de l'eau ne peut se faire entre ces deux cavités qu'en traversant le maillage branchial.

C'est le battement synchrone des innombrables cils vibratiles des filaments branchiaux qui provoque un courant d'eau capable de traverser les branchies. L'eau pénètre dans la cavité infra branchiale par le côté antéro-ventral de la coquille : c'est le courant inhalant. Elle traverse les branchies vers la cavité supra branchiale où elle est canalisée au niveau d'un pseudosiphon ellipsoïde (non soudé) formé par le rapprochement des bords du manteau dans la partie dorso-postérieure de la coquille. Les particules trop petites pour être retenues par les branchies sont évacuées dans ce courant d'eau exhalant. Les particules suffisamment grosses sont retenues par le maillage formé à la surface des filaments, engluées dans du mucus et conduites vers la bouche au niveau de gouttières ciliées situées sur les bords dorsaux et ventraux des branchies.

Avant l'ingestion, il se produit un tri au niveau des palpes labiaux qui enrichit le bol alimentaire en matière organique. En effet, malgré la faible quantité de seston contenue dans l'eau du lagon (en moyenne 0.5 mg/l), il y a quand même une production de pseudofèces composées de particules rejetées riches en matière minérale non utilisable. Ces pseudofèces engluées dans du mucus sont conduites tout au long de gouttières ciliées situées au bord du manteau jusqu'au repli palléal ou elles sont rejetées vers l'extérieur. Une description de ces gouttières palléales est également faite par HERDMAN, (1904) pour l'espèce *Pinctada fucata*. Après l'ingestion et la digestion, les fèces sont rejetées au niveau du diverticule anal. Elles sont entraînées dans le courant d'eau résultant de l'activité de filtration des huîtres.



Légende (la partie gauche de l'animal a été enlevée)

ab : axe branchial ; b : bouche ; bc : barbe de croissance ; bm : bords du manteau ; by : byssus ; ce : cténié externe (droite) ; ci : cténié interne (droite) ; cib : chambre infrabranchiale ; ca : cavité péricardique ; csb : chambre suprabranchiale ; da : diverticule anal ; e : estomac ; gc : gouttière ciliée ; gd : glande digestive ; i : intestin ; l : ligament ; lp : lobe palléal (droit) ; ma : muscle adducteur ; me : muscle éleveur antérieur du pied ; mv : masse viscérale ; o : oreillette ; oe : oesophage ; p : pied ; pl : palpes labiaux (droits) ; pp : poche perlière ; rp : repli palléal ; v : ventricule.

Figure 26. Modalités de la nutrition de l'huître perlière *Pinctada margaritifera*



ETUDE DE LA FILTRATION AU LABORATOIRE

1. ETUDE PRELIMINAIRE

1.1. Matériels et méthodes

1.1.1. Protocole d'élevage

Ces mesures de filtration sont appliquées à des huîtres soumises à deux conditions d'élevage différentes :

- En bacs et nourries avec l'algue *Isochrysis aff. galbana* (100 000 cellules/ml);
- En lagon, sur filière à 10 mètres de profondeur.

Ce protocole est détaillé dans le rapport Nutrition du PGRN (JONQUIERES *ET AL.*, 1995).

1.1.2. Mesure de la filtration

Le dispositif consiste à mesurer une diminution de la concentration en phytoplancton d'une suspension lors de son passage dans une enceinte contenant une huître en activité.

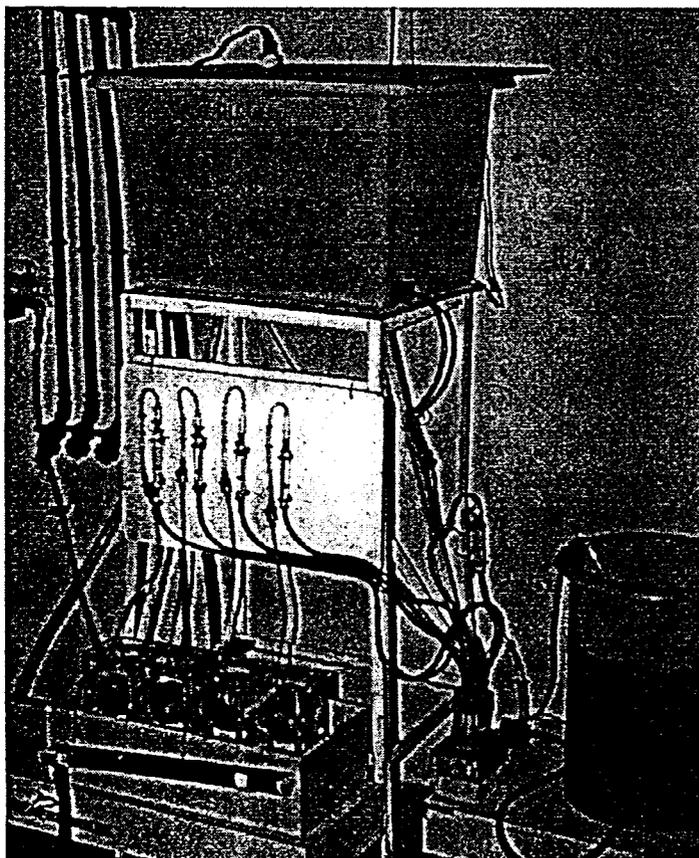


Photo 5. Dispositif de mesure de la filtration.

La Photo 5 représente le dispositif de mesure de la filtration. Les enceintes sont de forme cubique, elles sont en altuglass transparent. La mesure se fait en circuit ouvert et une surverse permet de prélever les échantillons d'eau. La cuve de stockage de deux cents litres d'eau de mer est disposée à environ deux mètres du sol. Elle est maintenue à niveau constant grâce à une surverse pour permettre un débit régulier dans les enceintes par gravité. L'eau qui alimente la cuve est filtrée à 1 μ m. La température est maintenue constante par un thermostat. La cuve de stockage de la suspension d'algue peut contenir jusqu'à cent litres. La suspension de phytoplancton est injectée par une pompe dans la canalisation qui alimente les enceintes. Un agitateur magnétique assure l'homogénéisation grâce à un barreau aimanté placé dans la chambre d'homogénéisation. Quatre



débitmètres mesurent en permanence le débit d'eau de mer qui traverse les enceintes. Un débitmètre supplémentaire permet de régler le débit de la suspension d'algue.

Les concentrations en algues sont estimées par le fluorimètre qui mesure la fluorescence naturelle de la chlorophylle. Celle-ci est proportionnelle à la concentration en phytoplancton pour une algue donnée (dans la gamme de concentration utilisée).

L'estimation de la filtration consiste à mesurer la baisse de la concentration en phytoplancton due à la consommation des huîtres dans chaque enceinte. L'objectif final étant de connaître la quantité de matériel ingéré, la production de pseudo fèces doit être évitée en ajustant la concentration d'algues. La comparaison entre les concentrations en phytoplancton mesurées simultanément à la sortie des enceintes contenant les huîtres perlières et à la sortie du témoin permet de calculer la filtration suivant la relation :

$$F = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \cdot d$$

- F** Filtration l/h ou en l/h/g
C₁ niveau de fluorescence correspondant à la concentration en algues de l'enceinte témoin
C₂ niveau de fluorescence correspondant à la concentration en algues de l'enceinte avec huître.
d débit enceinte huître l/h

Quatre enceintes alimentées par une suspension de phytoplancton sont placées dans un bain marie thermostaté. Les débits dans les enceintes sont connus en permanence. La concentration en phytoplancton peut être ajustée si nécessaire en modifiant le débit de la pompe qui injecte la suspension dans le réseau de distribution. Pour éviter la formation de pseudofèces nous ne dépasserons pas la concentration de 100 000 cellules/ml.

Trois huîtres sont placées respectivement dans trois enceintes. Une enceinte contenant une coquille vide sert de témoin.

Les mesures commencent quelques minutes après l'ouverture des valves de l'huître : un échantillon est prélevé simultanément à la sortie de l'enceinte contenant l'huître et à la sortie de l'enceinte de référence. La différence de concentration entre l'arrivée et la sortie des enceintes ne doit pas excéder 30% pour ne pas influencer la filtration (WINTER, 1976). On considère le résultat satisfaisant lorsque deux mesures consécutives donnent des filtrations équivalentes. Les huîtres sont ensuite sacrifiées, lyophilisées et pesées.

1.2. Résultats et discussion

On compare la filtration des huîtres après trois semaines de séjour sur filière dans le lagon et celle des huîtres conservées en bac (Figure 27)

Seules huit huîtres sur dix du lot "lagon" et sept huîtres sur dix du lot nourri sur algue se sont ouvertes et ont permis des mesures.

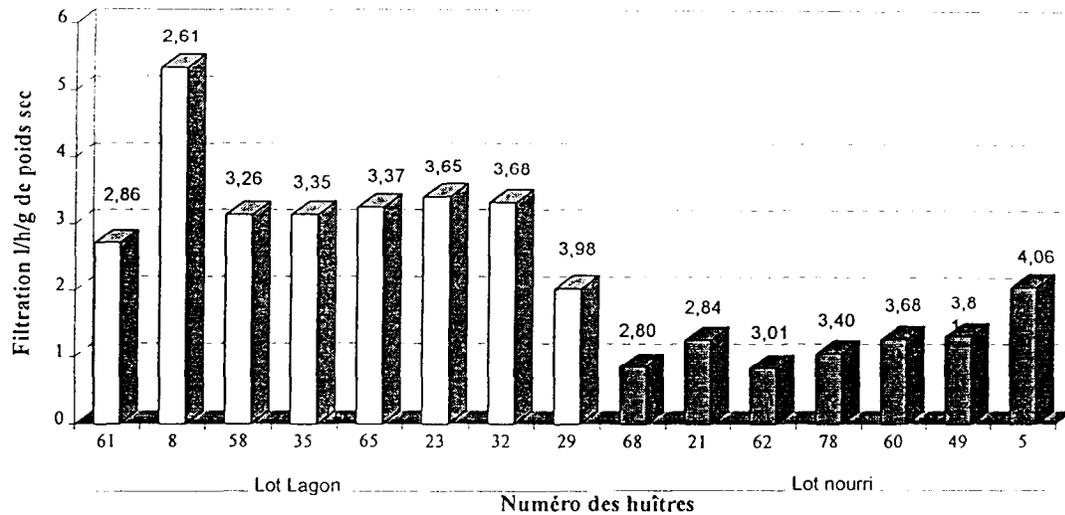


Figure 27. Comparaison des mesures de filtration sur les lots conditionnés en bac et en lagon.

Les deux séries de valeurs sont bien distinctes. La filtration des huîtres du lagon (3,28 l/h/g) est en moyenne trois fois plus importante que celle des huîtres du bac (1,23 l/h/g).

Cette différence s'explique par l'abondance de nourriture dans les bacs. Les huîtres ont adapté leur filtration à la quantité de nourriture disponible alors que celle du lagon doivent filtrer de grandes quantités d'eau de mer pour subvenir à leurs besoins alimentaires.

1.3. Conclusion

Cette première expérience a permis d'aborder les techniques de mesure de la filtration au laboratoire. Elle a mis en évidence une adaptation durable de la filtration à la concentration en particules nutritives. Cette adaptation est déjà acquise après trois semaines d'acclimatation en bacs. Il serait intéressant de déterminer le temps minimum nécessaire pour parvenir à cette adaptation.

2. ADAPTATION DU TAUX DE FILTRATION

2.1. Matériels et méthodes

Ce protocole est détaillé dans le rapport sur la nutrition (action de recherche n°19 du PGRN). Il est sommairement décrit ci-dessous.

On dispose de neuf bacs cylindroconiques d'une capacité de 330 l. La température de l'eau est maintenue constante à 30°C. Des diffuseurs d'air assurent l'oxygénation du milieu. L'alimentation en algue des bacs d'élevage se fait en continu à partir d'une réserve de 1000 l. Chaque bac contient trois chapelets de cinq individus. L'influence d'un régime "algue" (eau du lagon de Vairao filtrée à 3µm et enrichie en *Isochrysis aff. galbana*) est étudiée. Au départ, la concentration en algue est fixée à 100.000 cellules/ml afin d'éviter la production de pseudofèces. Le débit d'entrée d'eau dans le bac étant gardé constant à 100 l/h, on a prévu de maintenir la concentration en algues aussi constante que possible autour des nacres dans le bac. Pour cela, le débit d'arrivée de la suspension d'algues a été réglé pour que moins de 30%



des algues soient consommées. La concentration d'algues a ensuite été ajustée en fonction du comportement de filtration des nacres. Un lot sur filière dans le lagon de Vairao sert de référence.

2.2. Résultats

Dès le premier jour, la consommation d'algues par les nacres étant de 100 %, l'apport d'algues est modifié et la concentration passe à 200.000 cellules/ml avec un taux de renouvellement d'eau doublé. Des pseudofèces apparaissent ensuite dans les bacs, nécessitant un nouvel ajustement réalisé au sixième jour où la concentration apportée est diminuée de moitié.

Les huîtres du régime "lagon" présentent une filtration relativement constante pendant toute la durée de l'expérimentation. Elle fluctue autour de 17,6 l/h (7,7 l/h/g).

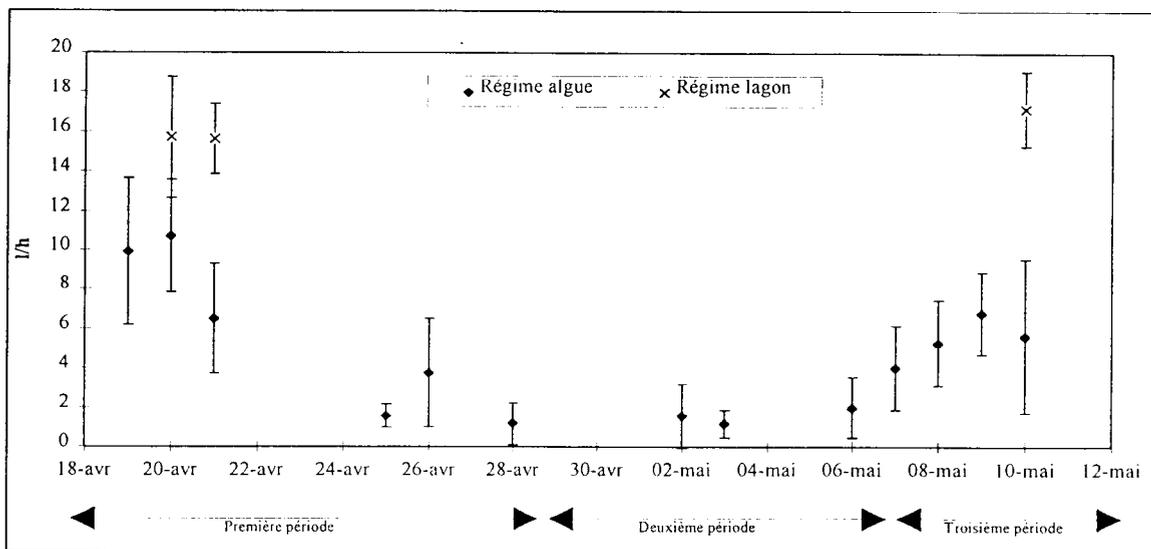


Figure 28. Suivi du taux de filtration pendant l'expérimentation - régime Algue - Moyenne et intervalle de confiance à 95 %

Trois périodes apparaissent dans l'évolution des taux de filtration du régime "algue" :

- du 19 au 26 avril 1994, le taux de filtration diminue globalement: elle passe de 9,9 l/h (4,12 l/h/g) à 1,17 l/h (0,5 l/h/g),
- du 27 avril 05 mai 1994, le taux se stabilise à un bas niveau,
- du 06 au 10 mai 1994, le taux croît globalement jusqu'à atteindre 5,6 l/h (2,3 l/h/g).

2.3. Discussion

L'évolution de la filtration des huîtres en bacs est à corrélérer à la quantité de nourriture apportée. Du 18 au 26 avril, la concentration en *Isochrysis* est de 200.000 cell./ml, valeur nettement supérieure à celle du phytoplancton dans le lagon (quelques milliers de cellules). L'animal diminue son taux de pompage pour éviter une surcharge alimentaire et atteindre l'optimum d'ingestion. L'adaptation à la nouvelle concentration en nourriture se fait en dix jours environ. A partir du 26 avril, la concentration en algue passe à 100.000 cell./ml. La filtration reste au même niveau malgré la diminution de la concentration en nourriture. Il faut encore une dizaine de jours pour obtenir l'adaptation à la nouvelle concentration. L'huître a



augmenté sa filtration pour atteindre l'optimum d'ingestion. Les animaux du milieu naturel compensent par un taux de filtration plus élevé que les animaux nourris l'oligotrophie relative du lagon.

Cette expérience avait pour but de déterminer le temps d'adaptation à une régime riche en phytoplancton qui est d'environ dix jours. Elle a aussi révélé des différences significatives entre les valeurs du taux de filtration obtenues respectivement sur des huîtres conditionnées en laboratoire et en lagon..

3. ETABLISSEMENT DE LA RELATION FILTRATION - POIDS SEC EN MILIEU CONTROLE

L'étude de cette relation filtration - poids sec à été réalisée au laboratoire simultanément à la relation respiration - poids sec et sur le même lot de nacres.

3.1. Matériels et méthodes

3.1.1. *Protocole expérimental*

La répartition des huîtres et leur conditionnement sont décrits au paragraphe 4.1, page 37. Le dispositif de mesure et le mode de calcul de la filtration sont décrits au paragraphe 1.1.2 de ce chapitre (page 59).

3.1.2. *Le traitement des données*

3.1.2.1. Etude de la relation taille poids

Les données taille-poids en fin d'expérience ont été comparées à l'intervalle de confiance établi à Takapoto sur des huîtres d'élevage par BUESTEL et POUVREAU (1994).

3.1.2.2. Présentation du modèle d'allométrie

Pour une huître, la mesure retenue pour le calcul de la filtration est la valeur la plus forte obtenue sur une série de trois mesures stables.

Comme pour la respiration, de nombreuses études montrent que le taux de filtration est proportionnel à une puissance constante du poids du corps. Cette relation est décrite par l'équation d'allométrie

$$Y = a W^b$$

Y taux de filtration en litres par heure

W poids sec de la chair d'huître,

b coefficient d'allométrie représentant la proportion de variation de l'activité en fonction du poids. Lorsque $b=1$, il y a isométrie et les deux grandeurs varient dans les mêmes proportions. Lorsque b est différent de 1, il y a allométrie majorante ($b>1$) ou minorante ($b<1$); les deux grandeurs ne varient pas dans les mêmes proportions,

a constante de proportionnalité, influencée par de nombreux facteurs dont la température et le niveau d'activité.

3.1.2.3. Analyse discriminante

L'analyse présentée au paragraphe 4.1.4.3 page 38 est reprise ici pour étudier la présence de deux comportements distincts de filtration.



3.2. Résultats

3.2.1. Présentation du modèle

Le tableau 15 présente les résultats de l'ajustement du modèle allométrique:

Tableau 15. Résultats statistiques de la régression $Y = a W^b$ (Y : filtration, W : poids sec de la nacre) et tableau d'analyse de la variance.

Paramètres	Estimation	Erreur Standard	Intervalle de confiance	P
n = 55				
Log a	0,8707	0,2472	± 0,4844	0,0128
a	2,3179		+ 1,4447 - 0,5074	
b	1,4068	0,1862	± 0,3650	0,0000
Source de variation due au modèle	8,3462			0,0000
Source de variation due à l'ajustement	7,7460			
R2 en %	51,86			

Les coefficients: a et b sont validés tous les deux avec une probabilité $P < 0.05$ (Les hypothèses testées sont en fait $\text{Log } a = 0$ et $b = 0$, par conséquent $P < 0.05$ entraîne le rejet de cette hypothèse et donc l'acceptation de l'estimation).

Le modèle proposé ci-après explique 51,86 % de la variabilité :

$$Y = 2,3.W^{1,4}$$

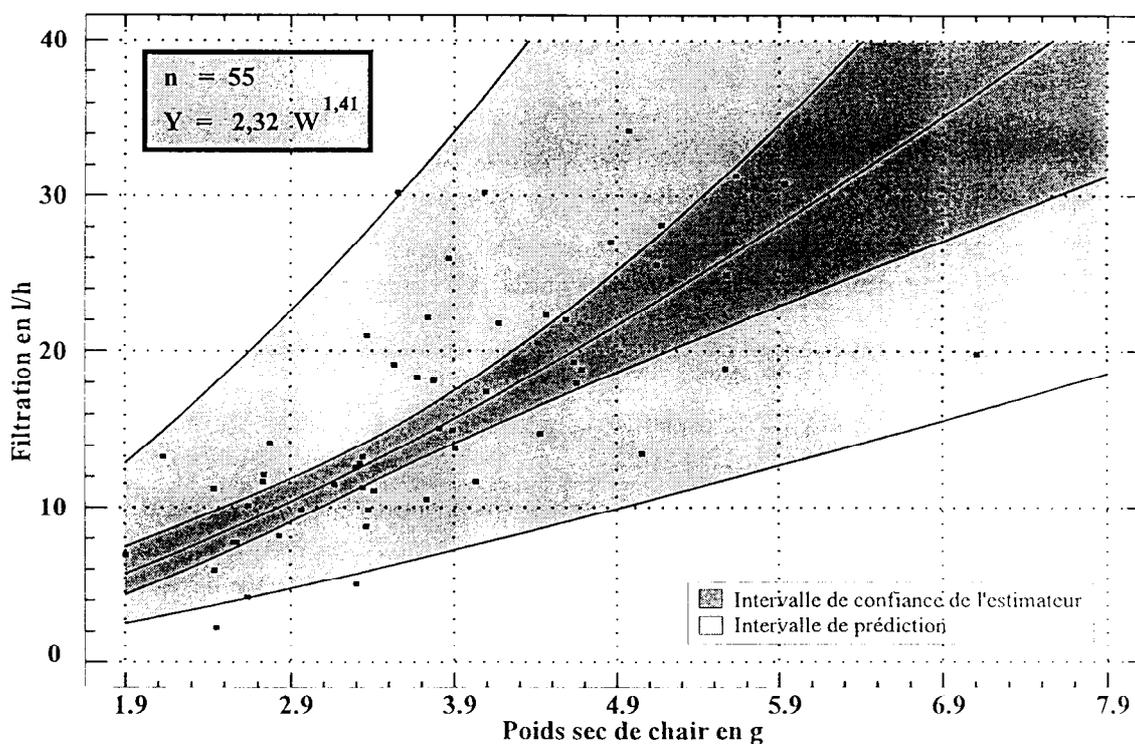


Figure 29. Allométric Filtration - Poids sec chez *Pinctada margaritifera*
Mesures en condition contrôlées à 29°C (IFREMER COP, Février 1995).



La Figure 29 représente la relation d'allométrie filtration - poids sec obtenue en laboratoire et à 29°C, encadrée de l'intervalle de confiance de la moyenne et de son intervalle de prédiction.

3.2.2. Analyse discriminante

Tableau 16. Résultats statistiques de l'analyse discriminante

Fonction discriminante	Valeur Propre	Inertie	Corrélation Canonique	χ^2	ddl	proba
1	1,8838	100 %	0,8082	55,0729	2	0,0000

	Classification prédite		Total
	Groupe 1	Groupe 2	
Groupe 1 (individus de moins de 3,5 g)	23	1	24
Groupe 2 (individus de plus de 3,5 g)	2	29	31

L'hypothèse de deux sous populations au comportement de filtration différent (basée sur l'observation d'individus matures) est acceptée. L'ajustement allométrique réalisé précédemment souffre donc, comme pour les expériences de respiration au laboratoire, de l'existence de ces deux sous-populations, expliquant, pour partie au moins que l'ajustement de l'allométrie ne soit pas conforme aux lois biologiques.

3.3. Discussion

Comme pour la respiration, la valeur élevée du coefficient b, supérieure à 1, n'est pas caractéristique des relations d'allométrie habituellement déterminées chez les bivalves. Nous avons noté des pontes dans les bacs au cours de l'expérience, et l'analyse discriminante a montré qu'il y a deux sous-populations. La maturation des nacres de plus de 3,5 g a pu avoir deux conséquences : la perte de poids et une plus faible filtration pour quelques huîtres après la ponte. DESLOUS-PAOLI ET AL. 1987, ont noté de fortes variations de la filtration chez *Crassostrea gigas* et *Mytilus edulis* en relation avec la maturation sexuelle. En l'absence de références, cette variation de la filtration en fonction de l'état sexuel reste une hypothèse chez *P. margaritifera*. L'état physiologique médiocre constaté à l'examen de la relation taille poids (Figure 17 page 39) a pu aussi influencer les résultats.

3.4. Conclusion

Ces premiers résultats ne sont pas conformes aux résultats attendus. L'établissement de courbes d'allométrie filtration - poids sec en laboratoire pose deux problèmes essentiels liés d'une part au conditionnement des animaux et d'autre part à leur stade de maturation sexuelle. On a pu voir que l'huître perlière soumise à des concentrations en algues plus importantes que celles du milieu naturel où elle vit régulait sa filtration en la diminuant. On observe bien ici une filtration relativement faible par rapport à la référence lagon de l'expérience adaptation du taux de filtration. C'est la forme de la courbe qui ne correspond pas à un comportement normal, comme si les petits individus ne filtraient pas assez alors que les gros filtraient trop. Il est possible que les concentrations en algues utilisées agissent différemment sur les petits et gros individus. Il serait souhaitable de le vérifier en travaillant en laboratoire à des concentrations plus proches de celles du milieu naturel.



Le problème relatif au stade de maturation pourrait être résolu en faisant pondre (choc thermique) puis jeuner les huîtres pendant un temps limité quelques jours avant le conditionnement. Ces manipulations sont couramment utilisées pour le conditionnement de maturation des bivalves en écloserie (G. JONQUIERES, données COP non publiées). Le but recherché est de provoquer la ponte des animaux matures et la régression des animaux en cours de maturation pour disposer d'un lot homogène en "repos sexuel" en début d'expérience. Des mesures effectuées à différents stade de la maturation pourront aussi montrer l'impact de la reproduction sur la filtration.



ETUDE DE LA FILTRATION *IN SITU*

1. ETUDE DE LA FILTRATION A PARTIR DE LA COLLECTE DES BIODEPOTS.

L'objectif est de mesurer le taux de filtration des huîtres et de le relier au poids sec des huîtres en élevage. Une méthode de calcul des taux de filtration *in situ* a été mise au point à partir de la récupération quantitative des biodépôts. C'est l'observation fine du comportement de filtration de l'huître perlière qui a permis la mise au point de cette méthode (paragraphe Modalités de la filtration chez *Pinctada margaritifera*, page 57).

1.1. Matériels et méthodes

1.1.1. Principe de la récupération des biodépôts et du calcul de la filtration

Lorsque les huîtres sont collées à plat sur une plaque, les pseudofèces rejetées forment un tas gélatineux et compact. Ce tas est très bien délimité à un endroit précis sous le point de rejet correspondant au repli palléal. Les fèces restent également sur la plaque, dispersées en éventail, les plus lourdes étant les plus proches des nacres. (Photo 6).

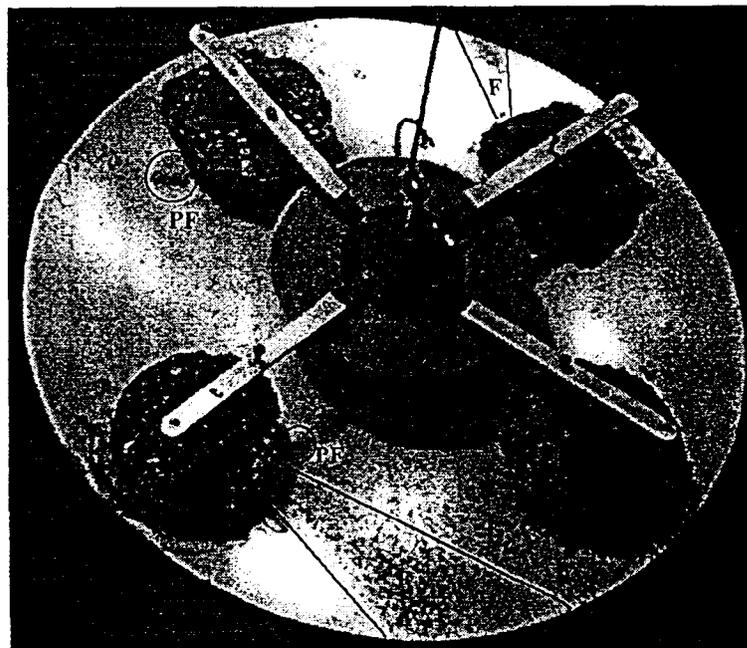


Photo 6. Vue du valvomètre et schématisation montrant l'emplacement des pseudo-fèces (PF) au niveau du repli palléal, et le cône d'éjection des fèces (F) dans l'axe du pseudo-siphon.

Profitant de ces observations, un système de récupération de ces biodépôts a été conçu pour être utilisé en même temps que le valvomètre (Photo 7). Les pseudofèces sont récupérées dans des récipients placés sous l'huître au niveau du repli palléal. Les fèces sont



récupérées dans des tuyaux PVC de 90 mm de diamètre placés au plus près de l'huître dans l'axe du courant d'eau sortant du siphon. Ils se déposent par gravité dans les tuyaux ouverts aux deux extrémités (la quasi absence de courant rend possible cette récupération).

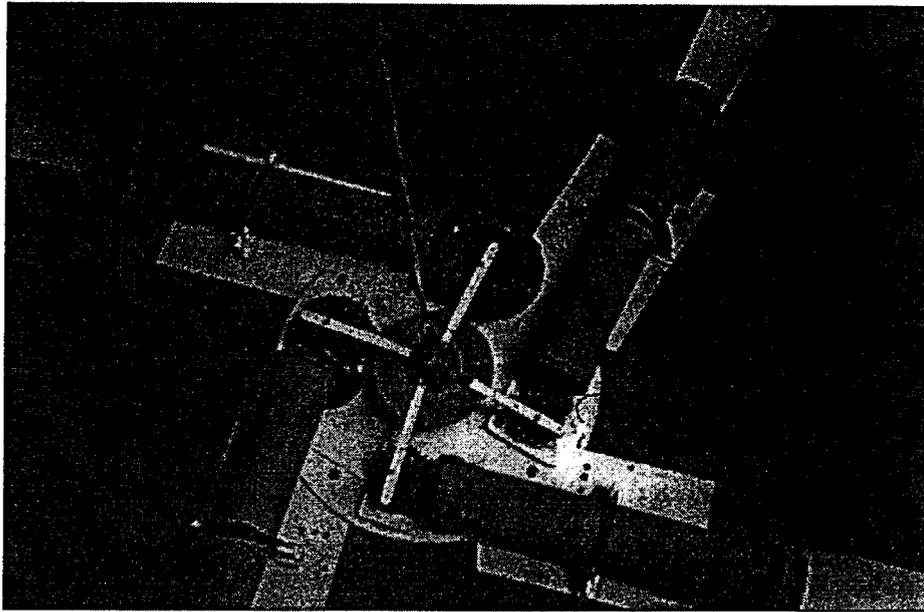


Photo 7. Vue du système de récupération des fèces (tuyaux) et pseudofèces (récipients) couplé à la mesure de l'ouverture des valves.

Après un laps de temps déterminé (12 ou 24h), les tubes sont fermés et les biodépôts sont récoltés par filtration sur filtres GFC. Les poids secs sont obtenus après passage à l'étuve à 70° C pendant 4h et le pourcentage de matière organique après passage au four à 480° C pendant 8h.

La détermination du taux de filtration se calcule en divisant la quantité de matière minérale contenue dans le total des biodépôts (pseudofèces + fèces) par la concentration en matière minérale dans l'eau durant la période considérée. Cette dernière est déterminée par filtration sur filtres GFC de 5,6 litres d'eau toute les deux ou trois heures. La filtration en litres par heure s'obtient par le calcul suivant :

$$\text{FILTRATION en litres par heure} = ((P-s+F)/c)/(t-t')$$

où :

- P** la quantité de matière minérale contenue dans les pseudofèces en mg,
- s** un facteur de correction égal à la quantité de matière minérale en mg déposée naturellement dans un récipient de même diamètre que celui utilisé pour la récolte des pseudofèces dans le temps *t*,
- F** la quantité de matière minérale contenue dans les fèces en mg,
- c** la concentration moyenne de matière minérale dans l'eau en mg/l pendant le temps *t*,
- t** le temps en heure entre la pose et le retrait des tubes collecteurs de biodépôts,
- t'** le temps d'inactivité des huîtres repéré sur les courbes du valvomètre.



1.1.2. Calendrier des mesures

En complément des mesures avec valvomètre, des prélèvements complémentaires ont été effectués également avec une installation sans valvomètre.

- Suivis avec valvomètre simultané (Tableau 17)

On dispose de quatre séries de prélèvements de biodépôts sur périodes de 12h faites en juillet 1994 (le 19 et le 21 juillet). Quatre huîtres de différentes tailles sont laissées en activité pendant 12h de jour et 12h de nuit. Les tuyaux de récupération de biodépôts sont posés à 09h, prélevés et replacés à 21h et relevés à 09h le lendemain. Les huîtres sont placées la veille vers 16h pour disposer d'un temps d'acclimatation. En complément, une autre série de mesure sur quatre individus a été faite dans les mêmes conditions (23/07) mais sur une durée de 24 h, de 09 h à 09h le lendemain.

- Suivis sans valvomètre (Tableau 18)

On dispose de deux séries de prélèvements sur 12h et d'une autre série sur 24h effectuées les 21 et 23/07 dans les mêmes conditions que précédemment. Pour l'activité des huîtres, on a tenu compte des résultats moyens obtenus avec valvomètre : diminution de l'activité de une heure.

- Détermination du seston minéral de l'eau du lagon

La filtration de l'eau pour la détermination du seston minéral commence à 06h30 le matin de la pose des tuyaux, jusqu'à 10h30 le lendemain, à raison de deux ou trois prélèvements de 5,6 litres toutes les deux ou trois heures.

Le temps de transit intestinal est évalué à environ 3 heures (JONQUIERES *ET AL.*, 1995). Les données du seston minéral considérées pour la conversion des fèces en litres s'échelonnent de 06h30 à 18h30 pour la journée et de 18h30 à 6h30 pour la nuit. Les pseudofèces sont éliminées sans décalage dans le temps; cependant les données seston varient très peu, les valeurs utilisées pour les fèces l'ont été également pour les pseudofèces.

1.2. Résultats et discussion

1.2.1. Seston minéral

La Figure 31 donne les résultats des trois suivis jour-nuit correspondant à l'expérimentation de collecte des biodépôts. Les concentrations des deux premiers jours sont de l'ordre de 0.70 et 0.80 mg/l, plus élevées que la moyenne globale observée à Takapoto (0,5 mg/l). Cette concentration un peu plus forte résulte du mauvais temps enregistré durant cette période. Il y a remise en suspension d'une partie du minéral habituellement déposé au bord du lagon et des pinacles. Le temps s'étant calmé, la concentration les 23 et 24/07 a diminué pour s'établir à environ 0.4 mg/l. Ces résultats correspondent aux résultats moyens trouvés à Takapoto (BUESTEL & POUVREAU, 1994).

1.2.2. Taux de filtration

Le Tableau 17 et le Tableau 18 (pages 71 et 73) donnent tous les éléments aboutissant au calcul des taux de filtration donnés en litre par heure et en litre par heure par gramme de poids sec. Les figures 31, 32 et 33 représentent les courbes d'activité des huîtres. Elles montrent que la pose des tuyaux perturbe les huîtres qui restent fermées et inactives pendant



une heure environ et quelquefois 2 heures (graphique 2 de la figure 32). La Figure 30 résume les résultats.

Valvomètre suivi N° 1		Poids sec des nacres en g	Activité estimée en h	Pseudo fèces minérales	Pseudo min corrigées	Fèces minérales s	Total Biodépôts minéraux	Filtratio n litres	Filtration ** l/h	Filtratio n l/h/g
Nacres du chapelet N°1 par ordre de taille (de 1 à 7)		1.51	11h	239	196	175	371	515	46.8	31.0
Pose Valvomètre lundi 18/07 à 16h30	JOUR	10.35	11h	424	381	257	638	886	80.6	7.8
Repose tubes collecteurs le mardi 19 à 09h	Durée collecte : 12h									
Prélèvement biodépôts mardi 19 à 21h	Concentration moyenne seston minéral en mg/l entre 6h30 et 18h le 19/07 :									
Repose Tubes collecteurs mardi 19 à 21h30	Témoin seston pour les pseudo fèces : 43 mg (témoin jour du 21/07)	0.72								
Relevé des tubes mercredi 20 à 09h		43								
	BILAN FILTRATION	1.51	10h	101	66	230	296	417	41.7	27.6
	NUIT	2.53	09h40	133	98	249	347	489	50.6	20.0
	Durée collecte : 11h30	7.74	09h40	96	61	269	330	465	48.1	6.2
	Concentration moyenne seston minéral en mg/l entre 18h30 et 6h30 les 19 et 20/07 :	0.71								
	Témoin seston pour les pseudo fèces : 35 mg (témoin nuit du 21/07)	35								
Valvomètre suivi N° 2										
Nacres du chapelet N°3	BILAN FILTRATION	2.0	11h30	129	86	273	359	443	38.5	19.3
Pose Valvomètre mercredi 20 à 17h	JOUR	2.3	10h	113	70	319	389	480	48.0	20.9
Pose tubes collecteurs le jeudi 21 à 09h	Durée collecte : 12h	6.9	11h	277	234	362	596	736	66.9	9.7
Prélèvement biodépôts jeudi 21 à 21h	Concentration moyenne seston en mg/l entre 06h30 et 18h30 le 21/07 :	0.81								
	Témoin seston en mg (entre 10h30 et 21h le 21/07) :	43								
Repose tubes collecteurs jeudi 21 à 21h45										
Relevé le vendredi 22 à 09h										
Repose témoin à 21h45 le jeudi 21	BILAN FILTRATION	2.0	11h	87	52	228	280	329	29.9	15.0
Relevé témoin le vendredi 22 à 09h	NUIT	2.3	10h	81	46	226	272	320	32.0	13.9
	Durée collecte : 11h15	6.9	11h	161	126	245	371	436	39.7	5.8
	Concentration moyenne seston en mg/l entre 18h30 et 6h30 les 21/07 et 22/07 :	0.85								
	Témoin (de 21h45 à 09h les 21 et 22/07) :	35								
Valvomètre suivi N° 3										
Nacres du chapelet N°6	BILAN FILTRATION	1.2	23h	76	36	234	270	730	31.7	26.4
Pose Valvomètre le 22 à 17h	JOUR + NUIT	5	23h30	35	0	336	336	908	38.6	7.7
Pose tubes collecteurs le 23 à 09h10	Durée collecte : 24h	5.85	23h	47	7	674	681	1841	80.0	13.7
Relevé et prélèvements le 24 à 09h15	Concentration moyenne seston en mg/l entre 18h30 et 6h30 les 23/07 et 24/07 :	0.37								
	Témoin estimé en mg	40								

* La quantité de pseudofèces est corrigée pour tenir compte de la sédimentation naturelle mesurée (témoin)

** L'observation des courbes d'activité permet de tenir compte des périodes d'inactivité pendant lesquelles les huîtres sont fermées

Tableau 17. Données obtenues lors de la collecte des biodépôts et du suivi de l'activité des nacres.

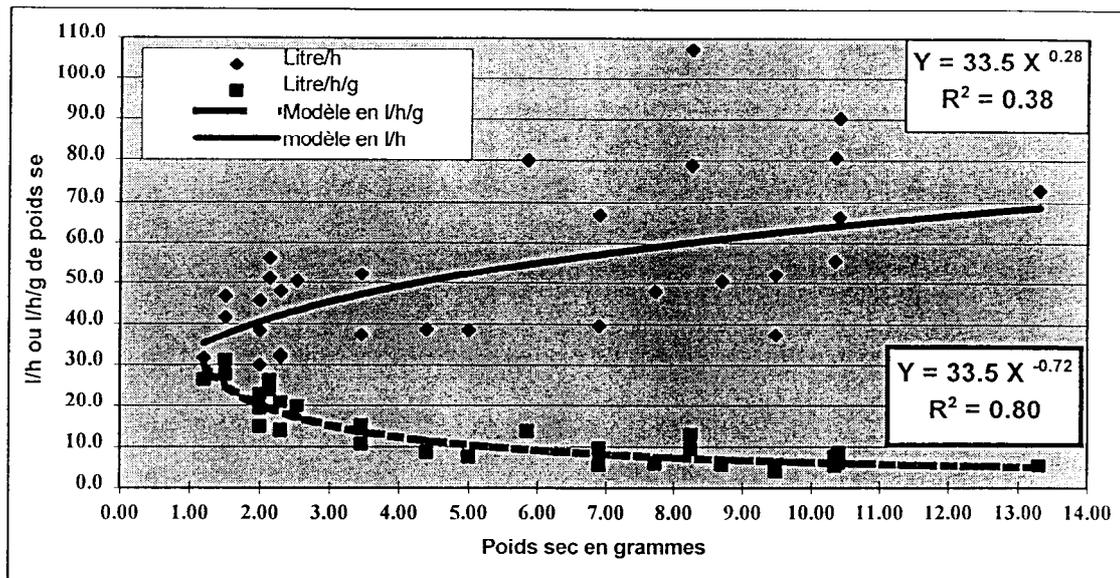


Figure 30. Relation Taux de Filtration - Poids Sec à partir de la collecte des biodépôts *in situ*

Les équations correspondant à nos données sont :

- Filtration en l/h en fonction du poids sec des huîtres en gramme :

$$F = 33,5 W^{0,28} \text{ (38\% de variabilité expliquée.)}$$

- Filtration en l/h par gramme de poids sec :

$$F = 33,5 W^{-0,72} \text{ (80\% de variabilité expliquée.)}$$

La méthode décrite ici de collecte des biodépôts *in situ* est originale ; elle n'est utilisable que dans des sites où les courants sont très réduits, ce qui en limite fortement l'utilisation. Elle a l'avantage par rapport aux mesures ponctuelles d'intégrer la filtration sur plusieurs heures. Cependant elle comporte beaucoup d'imprécisions : corrections dépendant de l'activité réelle des huîtres, sédimentation naturelle, précision de l'estimation de la teneur en seston. On suppose aussi que le taux de rétention des particules minérales est de 100 %. En définitive cette méthode donne plutôt un taux de pompage qui correspond à l'ensemble de l'eau qui traverse la cavité palléale.

La méthode est cependant robuste : les biodépôts récoltés ont obligatoirement transité par l'huître. Un taux de rétention inférieur entraînerait une sous estimation de la filtration déjà très élevée. La valeur des taux de filtration dépend beaucoup de l'estimation de la teneur en seston minéral de l'eau. Les variations relativement limitées de cette teneur au cours des périodes de mesure de 24 h et les concordances entre les réplicats laissent penser que notre estimation est valide. Une acquisition en continu de ces données serait souhaitable. On doit aussi tabler sur le fait qu'il n'y a pas de production de matière minérale dans la colonne d'eau qui induirait une surestimation du taux de pompage, ce qui reste à vérifier.

Ces résultats donnent des taux de pompage très forts qui se démarquent nettement de ceux de la littérature. Les données (Tableau 17 et Tableau 18) montrent une différence significative ($p = 0,0000$) entre le jour et la nuit. Contrairement à ce que laisse penser le rythme d'ouverture des valves, la filtration est plus importante le jour.



		Poids sec des nacres en g	Pseudo fèces minérales	Pseudo min corrigées *	Fèces minérales	Total Biodépôts minéraux	Filtratio n litres	Filtratio n ** Litres/h	Filtratio n Litres/h/ g
Biodépôts suivi N° 1									
	BILAN FILTRATION	2.14	241	195	250	445	618	56.2	26.2
Pose mercredi 20 à 17h30	JOUR	3.46	241	195	218	413	574	52.2	15.1
Pose tubes collecteurs le jeudi 21 à 09h15	Durée collecte 12h15	8.25	454	408	442	850	1180	107.3	13.0
Prélèvement biodépôts jeudi 21 à 21h30	Activité estimée des nacres 11h	9.48	170	124	287	412	572	52.0	5.5
Repose Tubes collecteurs jeudi 21 à 21h45	Concentration moyenne seston minéral en mg/l entre 6h30 et 18h le 19/07 :					0.72			
Relevé le vendredi 22 à 09h30	Concentration en minéral en mg dans le témoins :					46.00			
Pose témoin sédimentation jeudi 21 à 10h30	BILAN FILTRATION	2.14	186	151	240	391	551	50.1	23.4
Relevé témoin à 21h30	NUIT	3.46	161	126	158	284	400	36.4	10.5
Repose témoin à 21h45	Durée collecte 11h45	8.25	264	229	376	605	852	77.5	9.4
Relevé témoin le 22 à 09h	Activité estimée des nacres 11h	9.48	122	87	200	287	404	36.7	3.9
	Concentration moyenne seston minéral en mg/l entre 18h30 et 6h30 les 20/21/07 :					0.71			
	Concentration en minéral en mg dans le témoins :					35			
Biodépôts suivi N° 2									
	BILAN FILTRATION	2.0	88	48	341	389	1051	45.7	22.9
Pose vendredi 22 à 17h30	JOUR + NUIT	2.3	75	35	241	276	746	32.4	14.1
Pose tubes collecteurs le samedi 23 à 09h20	Durée collecte 24h	4.4	96	56	274	330	892	38.8	8.8
Relevé et prélèvements le dimanche 24 à 09h35	Activité estimée des nacres 23h	8.7	122	82	348	430	1162	50.5	5.8
	Concentration moyenne seston minéral en mg/l entre 06h30 le 23 et 6h30 le 24/07 :					0.37			
	Concentration estimée en minéral en mg dans le témoins :					40			

* La quantité de pseudofèces est corrigée pour tenir compte de la sédimentation naturelle.

** Activité diminuée en moyenne de 1 h.

Tableau 18. Collecte des biodépôts in situ effectués sans suivi simultané de l'activité valvaire.



Si ces résultats se confirment, les questions soulevées par l'insuffisance apparente de la nourriture particulaire (BUESTEL & POUVREAU, 1994) sont à reprendre. En effet, avec une telle puissance de filtration les bilans nutritifs peuvent être très vraisemblablement équilibrés uniquement avec le matériel particulaire filtré sur filtre GFC de taille supérieure à 1.3 μm .

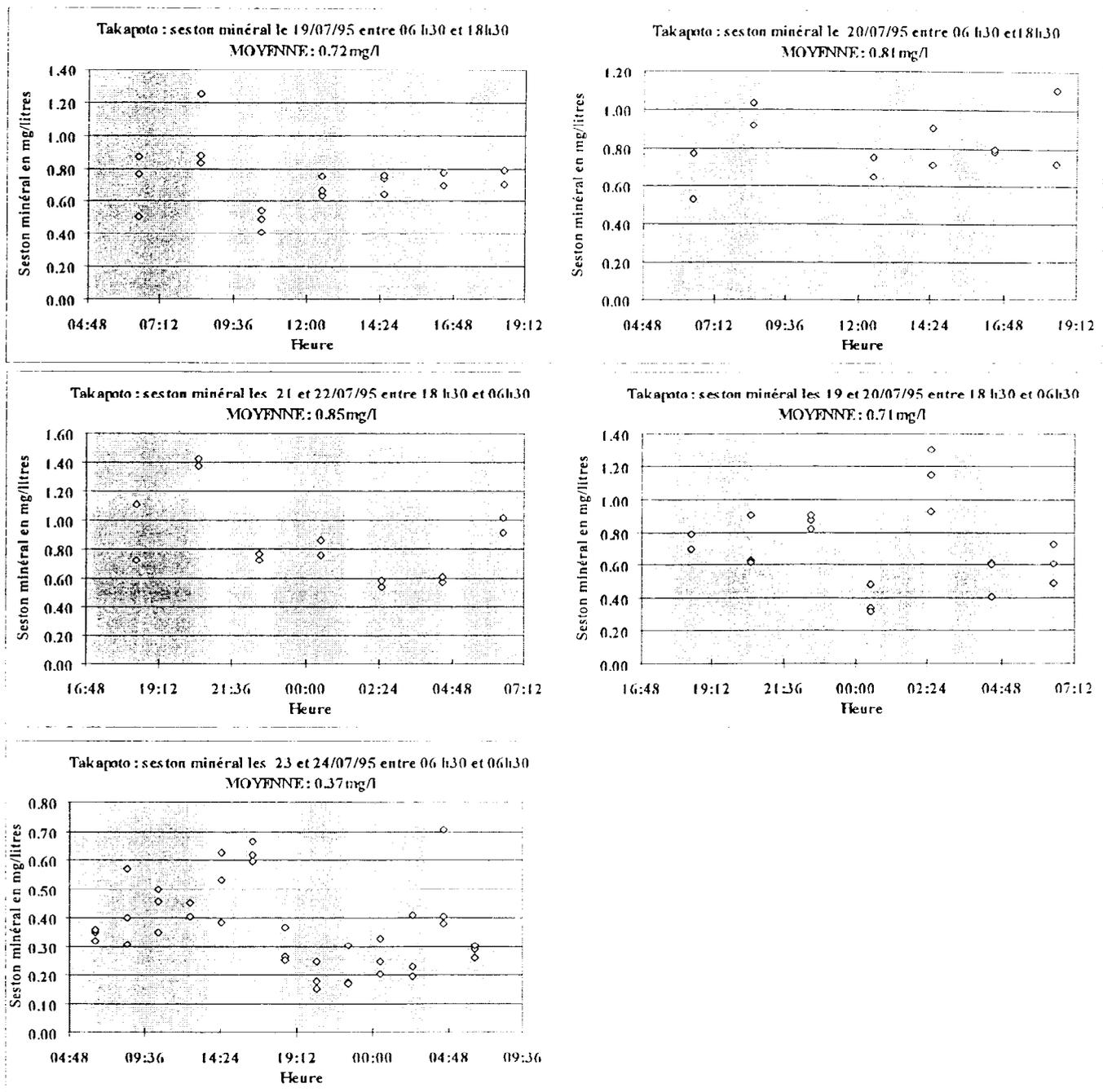


Figure 31. Seston minéral à Takapoto durant les récoltes de biodépôts.

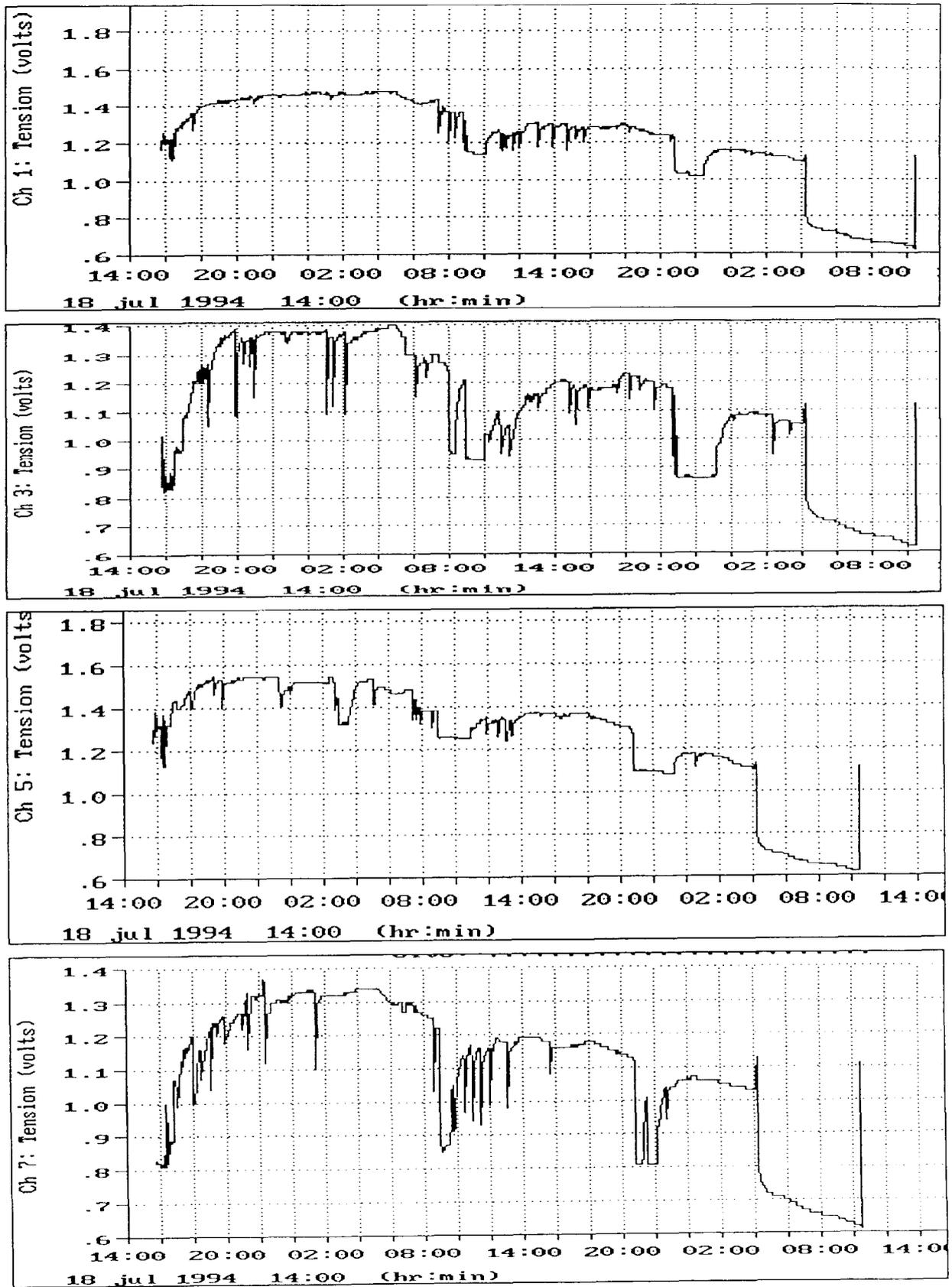


Figure 32. Activité des huîtres correspondant au suivi valvomètre N°1. Le tracé de fin d'expérience est anormal et correspond au arrêt des piles.

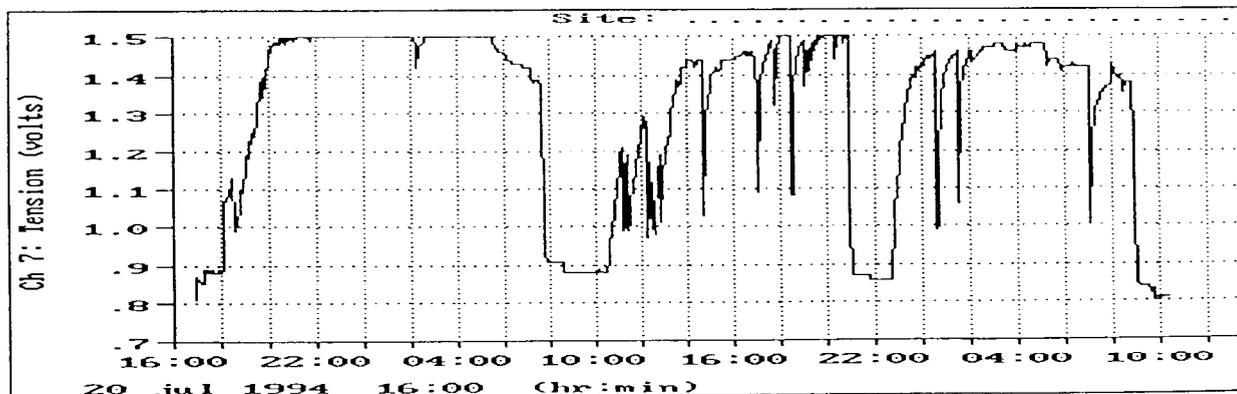
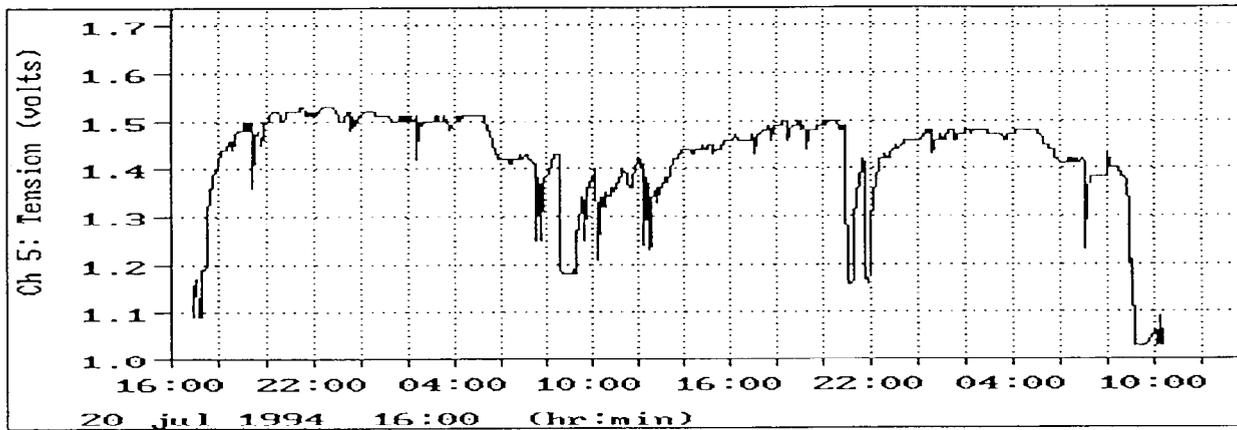
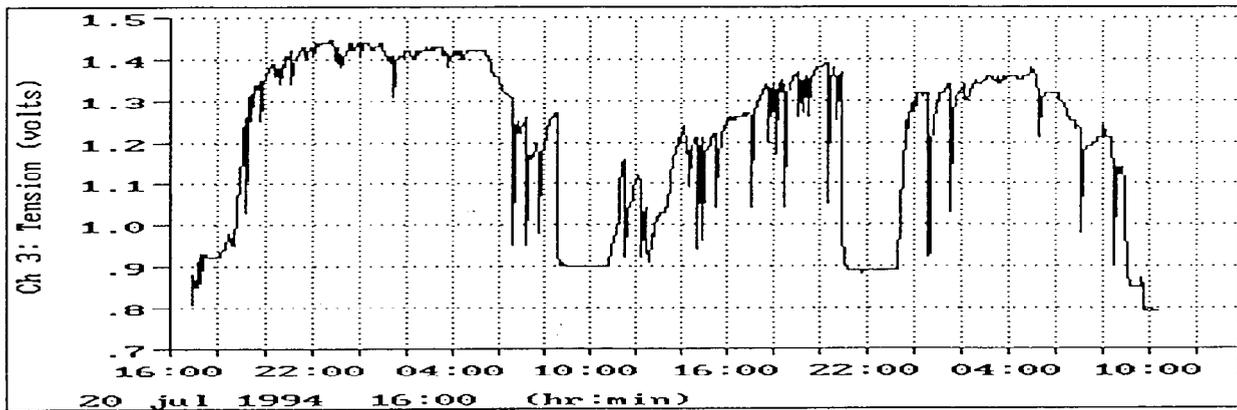
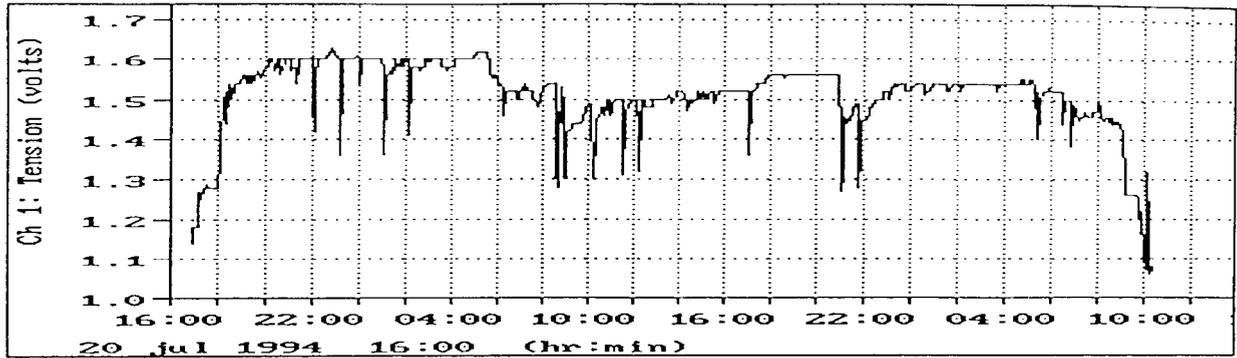


Figure 33. Activité des huîtres correspondant au suivi valvomètre N°2

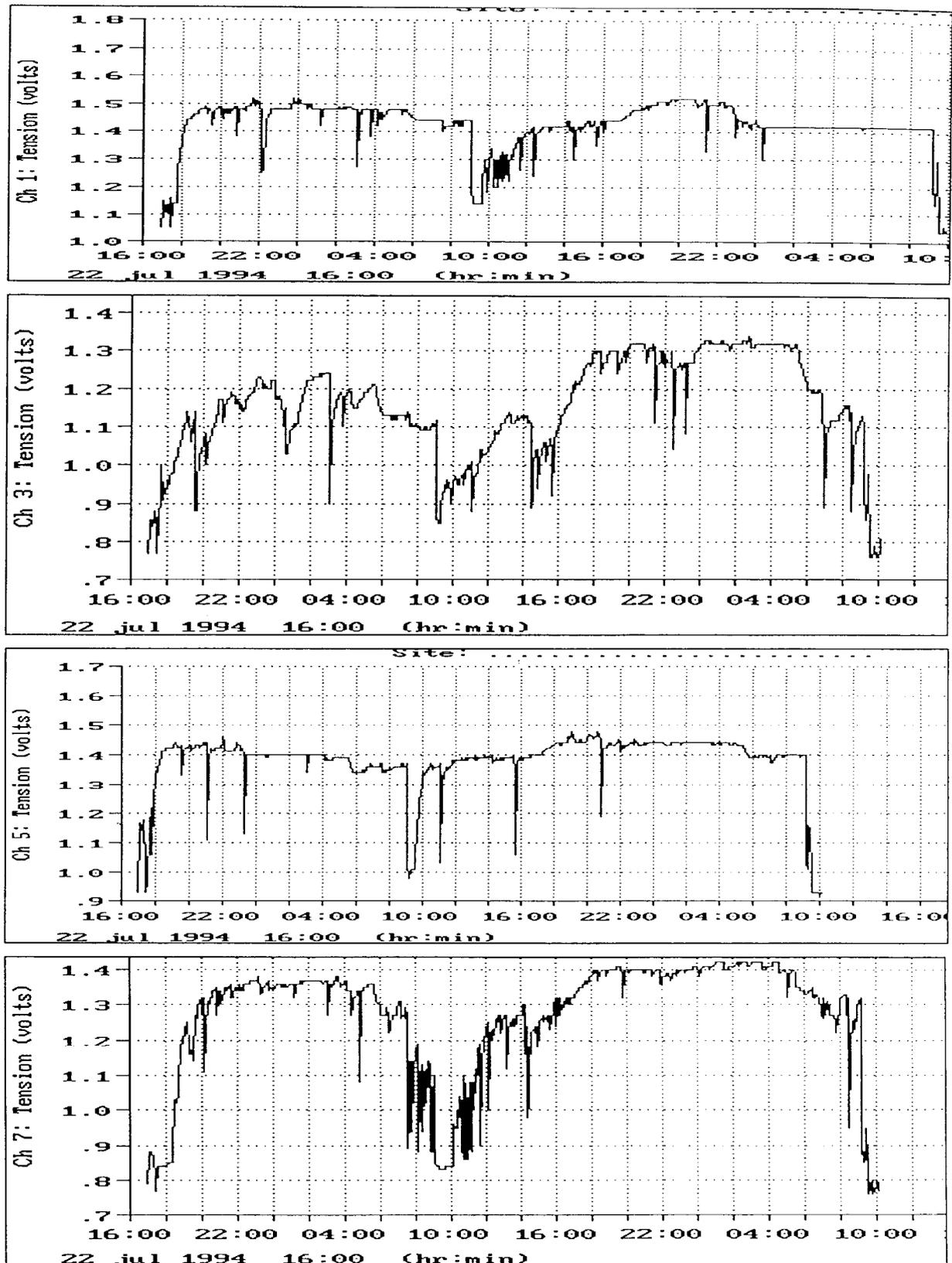


Figure 34. Activité des huîtres correspondant au suivi valvomètre N°3



2. ETUDE DE LA FILTRATION A PARTIR DE LA RETENTION DES MICRO-ALGUES DU MILIEU NATUREL

L'utilisation d'un cytomètre de flux a permis d'étudier la consommation par les nacres des micro-algues du milieu naturel. Il s'agit de la première mesure directe de la filtration réalisée *in situ* dans le lagon de Takapoto, sur les huîtres perlières.

2.1. Matériels et méthodes

Les enceintes de mesure fonctionnent en circuit ouvert. Trois enceintes sont immergées à 5 mètres de profondeur dans le lagon de Takapoto. Deux d'entre elles contiennent une huître, la troisième une coquille vide sert de référence. Les tuyaux d'aspiration sont réunis pour que la qualité de l'eau pompée soit identique pour les trois enceintes. Les débits sont similaires et réglés à 820 ml/min (± 20). Les prélèvements d'eau pour le comptage des particules au cytomètre de flux sont effectués simultanément à la sortie des enceintes. Le calcul de la filtration s'effectue sur le même principe que pour les mesures au laboratoire : il est basé sur la diminution de la concentration des algues du milieu naturel.

2.2. Résultats et discussion

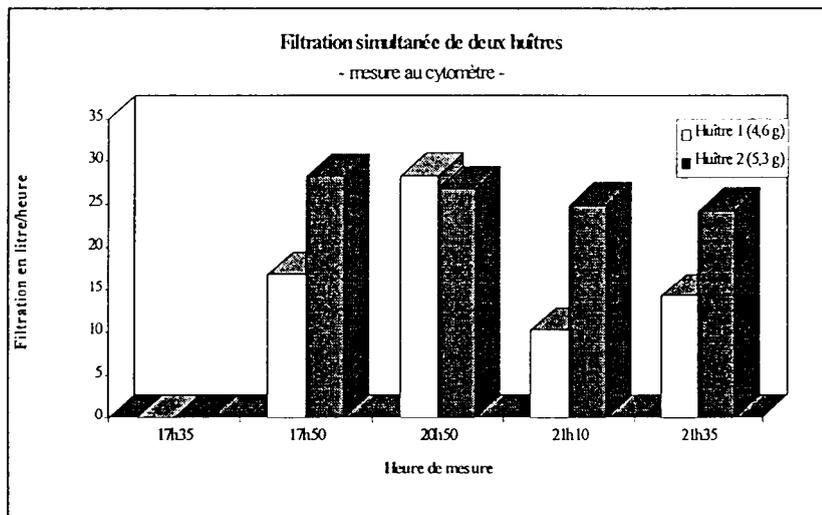


Figure 35. Mise en évidence du début de la filtration à partir des mesures sur deux huîtres.

évidence l'influence de la lumière du jour sur la diminution de la filtration. La période charnière de la levée du jour a été retenue. Les mesures sont arrêtées à 6h30 lorsque la luminosité devient importante. Le soleil se lève vers 4h30 en novembre à Takapoto. On ne constate pas de diminution notable de la filtration. L'arrêt momentané de l'activité d'une huître à 6h10 est un phénomène passager.

Une première expérimentation, Figure 35, met en évidence le début de la filtration dès la tombée de la nuit, vers 18 heures en novembre aux Tuamotu alors que les mesures (non représentées ici) effectuées de 14h35 jusqu'à 17h35 montrent une filtration nulle. On observe une filtration à partir de 17h50.

Un 2ème essai (Figure 36) a eu pour objet de mettre en

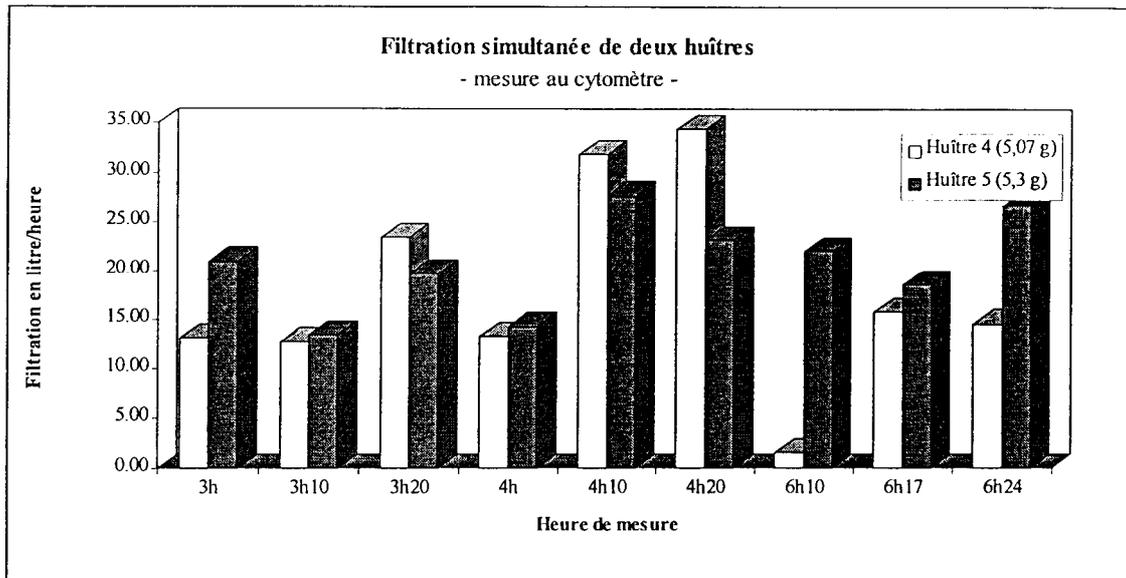


Figure 36. Suivi nocturne de la filtration sur deux huîtres.

Au cours d'un 3ème essai, un suivi sur une seule huître montre une filtration constante pendant 6 heures (Figure 37). Elle est comprise entre 21 et 28 litres par heure, ce qui donne un maximum de 6 litres/heure/gramme de poids sec.

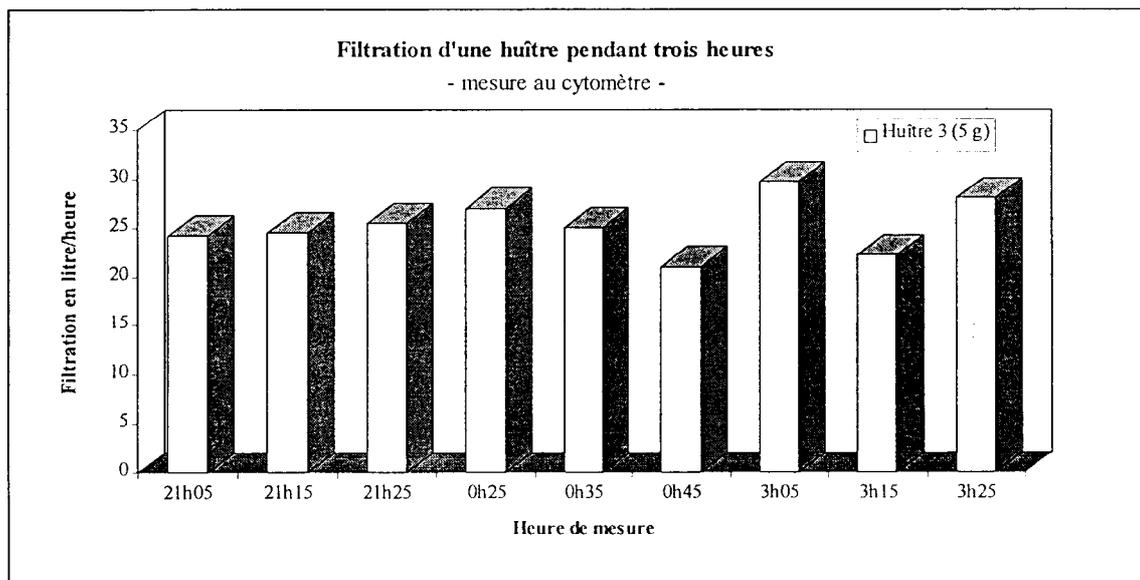


Figure 37. Suivi pendant 3 heures du taux de filtration d'une huître.

Cette valeur pourrait être sous-estimée. En effet une grande quantité de larves de crustacés (zoés) et des copépodes a été observée essentiellement dans l'enceinte de référence la nuit. Ces animaux consommant du phytoplancton ont pu faire baisser la concentration en algues dans cette enceinte: ce qui aurait pour conséquence la sous-évaluation des mesures.

2.3. Conclusion

L'absence de consommation de phytoplancton dans la journée apparaît, à la lumière des autres résultats obtenus ultérieurement, comme un artéfact. Il est possible qu'un comportement anormal de l'huître (fermée) soit à l'origine de l'absence de filtration lors de la première série de mesures. Les filtrations mesurées pendant la nuit donnent de fortes valeurs atteignant jusqu'à 30 l/h pour des animaux de 110 à 120 mm d'un poids sec de 4.6 et 5.3 g.



3. ETABLISSEMENT DE LA RELATION FILTRATION - POIDS SEC EN MILIEU NATUREL

L'objectif de cette étude est d'établir une relation d'allométrie filtration - poids sec sur un lot d'huîtres perlières dans leur milieu naturel. Pour déterminer s'il existe une correspondance entre l'observation des rythmes valvaires et les taux de filtration nocturne et diurne, des mesures de filtration ont été réalisées de jour et de nuit sur chaque nacre.

3.1. Matériels et méthodes

3.1.1. Protocole expérimental

Les mesures de filtration ont porté sur un lot de 40 huîtres perlières de tailles variées, d'une hauteur extérieure comprise entre 90 et 150 mm. En l'absence d'appareil adapté au comptage des particules *in situ* nous avons utilisé comme traceur l'algue *Isochrysis aff. galbana* cultivée. L'obligation d'utiliser un tel traceur vient du fait que le fluorimètre dont nous disposons n'est pas assez sensible pour la mesure du phytoplancton naturel. La méthode déjà utilisée au laboratoire a été adaptée au terrain et un fluorimètre a été employé pour les mesures. Deux bacs de 200 litres, successivement complétés en eau de mer et en algues de culture (*Isochrysis aff. galbana*) alimentent quatre enceintes. Elles sont immergées à 5 mètres de profondeur et sont alimentées par la suspension d'algues. Trois enceintes contiennent des huîtres, la quatrième fait office de témoin. Elle contient une coquille vide. Un minimum de trois mesures de la filtration est fait à 15 mn d'intervalle après constatation que les huîtres sont bien ouvertes. Le calcul de la filtration est identique à celui utilisé pour les mesures en laboratoire.

3.1.2. Traitement des données

Des différentes mesures de filtration effectuées, la valeur retenue pour calculer la relation d'allométrie est la plus forte. On considère en effet qu'elle correspond à un état de moindre stress. Les différences respectives entre les valeurs jour et nuit sont analysées afin de déterminer s'il existe un ou deux modèles d'allométrie.

La formulation mathématique de la relation d'allométrie liant la filtration (Y) et le poids sec (W) est identique à celles définies précédemment pour la respiration.

$$Y = aW^b$$

Y: le taux de filtration en litres par heure,

W: le poids sec de chair d'huître,

b est le coefficient d'allométrie.

3.2. Résultats

3.2.1. Etude de la relation taille poids

Cette relation déjà présentée page 48 vérifie que les huîtres utilisées se situent dans la norme des nacres en élevage à Takapoto.



3.2.2. Relation d'allométrie

3.2.2.1. Analyse des différences entre les filtrations diurne et nocturne

Le Tableau 19 présente les résultats

Tableau 19. Estimation des différences entre les filtrations mesurées le jour et la nuit sur les mêmes nacres.

Estimation	Variance	Erreur standard	Degré de liberté	Valeur de T	Niveau de probabilité
2,3977	109,198	10,4498	12	0.8273	0,4242

Le niveau de probabilité est supérieur à 0,05, l'hypothèse nulle (la moyenne des différences est nulle) doit être acceptée. Par conséquent il n'y a pas de différence entre les niveaux de filtration mesurés le jour et les niveaux observés la nuit.

3.2.2.2. Estimation du modèle général

Le Tableau 20 présente les résultats de l'ajustement du modèle allométrique:

Tableau 20. Résultats statistiques de la régression $Y = a W^b$ (Y : filtration, W : poids sec de la nacre) et tableau d'analyse de la variance.

Paramètres	Estimation	Erreur Standard	Intervalle de confiance	P
n = 32				
Log a	2,0832	0,2276	± 0,4460	0,0000
a	8,0204		+4,5131 - 2,8896	
b	0,9570	0,1510	± 0,2960	0,0000
Source de variation due au modèle	5,2326			0,0000
Source de variation due à l'ajustement	3,9092			
R2 en %	57,24			

Les coefficients: a et b sont validés tous les deux avec une probabilité $P < 0.05$.

Le modèle proposé explique 57 % de la variabilité.

De cette analyse il ressort l'équation suivante de l'estimateur:

$$Y = 8,03 \cdot W^{0,96}$$

La Figure 38 présente la relation d'allométrie filtration - poids sec obtenue en milieu naturel et à 29°C, encadrée de l'intervalle de confiance de la moyenne et de son interval de prédiction.

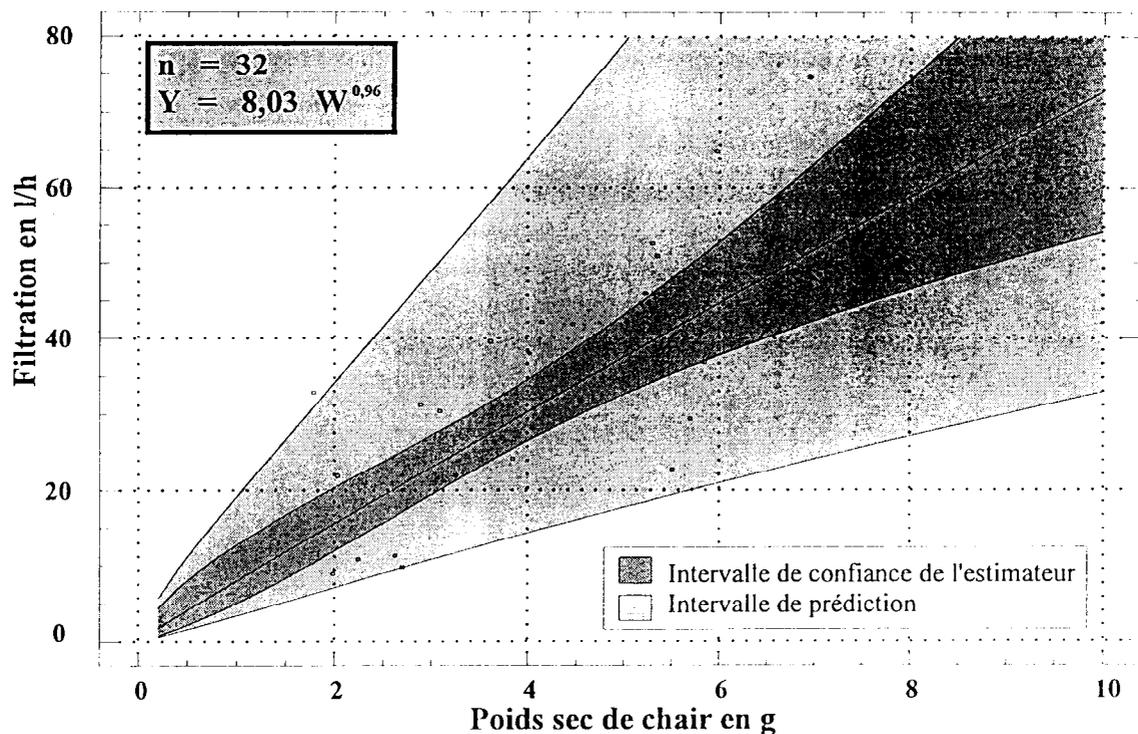


Figure 38. Allométrie Filtration - Poids sec chez *Pinctada margaritifera*. Mesures *in situ* (Takapoto - Avril 1994) à 27°C

3.3. Discussion

Le coefficient b est anormalement élevé : on trouve en fait une isométrie avec une filtration proportionnelle au poids des individus. Ces résultats ne correspondent pas avec ceux de la littérature où les coefficients cités par WINTER (1976) pour divers bivalves s'échelonnent entre 0.66 et 0.82.

Un facteur extérieur est donc à l'origine de cette éventuelle surestimation du coefficient b . La filtration des plus petits individus est relativement faible par rapport aux animaux de grande taille. Nous avons observé que les huîtres de petite taille étaient plus sensibles au stress induit par les manipulations. Leur filtration aurait donc été minorée. La filtration est influencée par divers facteurs, température, salinité, débit du courant, fortes concentrations en phytoplancton etc.. Notre système de mesure basé sur la détermination de la concentration en chlorophylle à l'aide d'un fluorimètre nécessite des concentrations en traceur (*Isochrysis*) importantes, de l'ordre de 30.000 cell./cc soit environ 1mg de matière organique, alors que les données sur le même site dans le milieu naturel sont d'environ 0.35mg. De nombreux auteurs ont montré l'influence de la concentration de la suspension de phytoplancton sur le taux de filtration. WINTER, (1973) constate une baisse de 50% de la filtration chez *Mytilus edulis* à 12°C pour des individus de 0.5g lorsque la concentration en phytoplancton (*Dunaliella salina*) passe de 20 à 40x10⁶ cell./cc ; ALI (1970) constate une baisse de la filtration chez *Hiatella arctica* pour des concentrations en *Phaeodactylum* supérieures à 3500 cellules par millilitre. Le milieu lagunaire étant relativement pauvre en matière organique, il est possible que les huîtres aient été perturbées par une trop grande densité en particules. D'autre part, les modifications ainsi induites ne seraient pas identiques chez les bivalves de petite et de grande taille (JORGENSEN 1975). Il semblerait que les plus gros animaux soient plus sensibles aux fortes concentrations en phytoplancton.



Un autre biais pourrait provenir du volume des enceintes : les petites huîtres plus confinées pourraient avoir un comportement modifié. Cette hypothèse reste à vérifier.

3.4. Conclusion

Cette première étude de l'allométrie filtration - poids sec dans le milieu naturel montre une filtration proportionnelle au poids. Les conditions physiques, température, qualité de l'eau, ont été aussi proches que possible des conditions naturelles de l'environnement de l'huître. Seule la charge en particules a changé pour des raisons techniques (mesures au fluorimètre). Il serait souhaitable, comme il était prévu au départ dans cette étude, de pouvoir disposer d'appareils de mesure mieux adaptés à ce travail (compteur de particules).



CONCLUSION SUR LA FILTRATION

La Figure 39 présente un récapitulatif des principales données acquises jusqu'à présent. Le point le plus notable est la disproportion entre les résultats obtenus avec les biodépôts et ceux obtenus avec les autres méthodes.

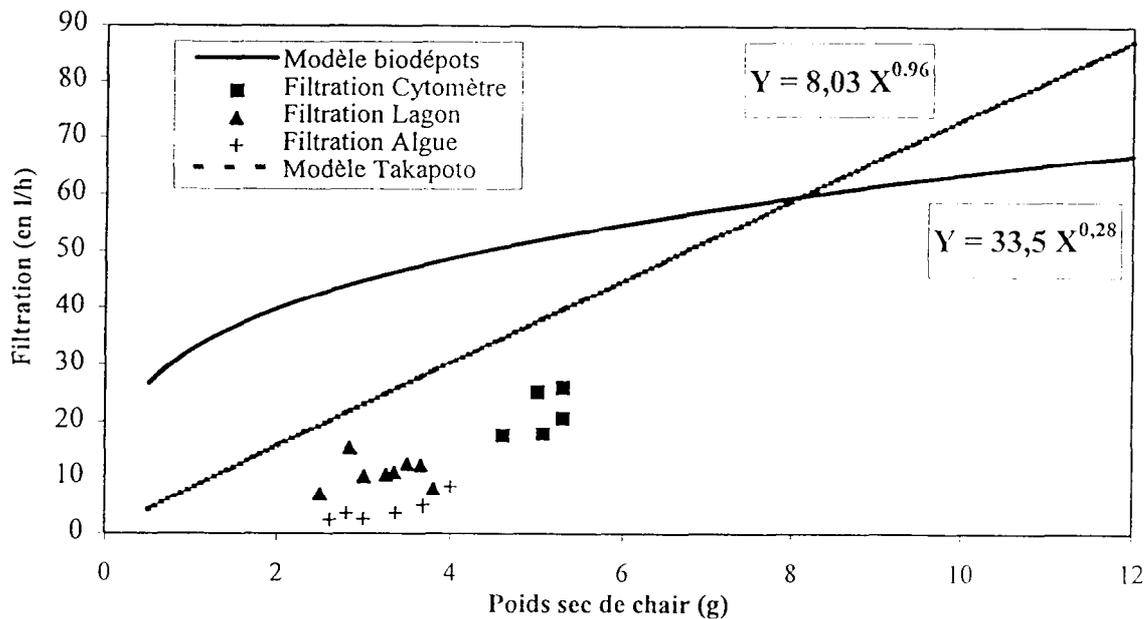


Figure 39. Allométrie filtration (en l/h) - Poids chez *Pinctada margaritifera*
Résultats des différentes expériences *in situ*

Les résultats obtenus avec la méthode des biodépôts pour les coefficients de l'équation d'allométrie ne concordent pas avec les valeurs habituelles de la littérature : environ 0.7 pour le coefficient b et entre 3 et 9 pour a (JORGENSEN, 1990) déterminées en général au laboratoire avec des méthodes et des traceurs différents. La filtration déterminée par les biodépôts chez *Pinctada margaritifera* s'avère très supérieure aux différents résultats connus chez la plupart des bivalves. D'un autre côté BAYNE et NEWELL (1983) font remarquer que les expérimentations faites avec une alimentation provenant du milieu naturel donnent des valeurs plus basses pour le coefficient b qui se situe alors autour de 0.445 ± 0.120 (BAYNE et WIDDOWS, 1978 ; HIBBERT, 1977 ; KIRBY-SMITH, 1972).

Cette tendance est largement confirmée par nos résultats qui présentent une forte allométrie minorante : la diminution de la filtration avec le poids est très accentuée. La très forte valeur pour le coefficient a implique une filtration d'environ 33 litres par heure pour des individus de un gramme de poids sec. Si on assimile ce taux de filtration à un taux de pompage (100% de rétention) cela implique un courant exhalant de 9 ml par seconde. Ce résultat est à considérer avec circonspection et nécessite une confirmation. Il y a donc un grand intérêt à refaire des expériences complémentaires. Des mesures directes du taux de pompage à la sortie du pseudosiphon s'imposent.



Les résultats obtenus par la méthode du cytomètre (mesures de nuit) restent dans des normes plus classiques. Ils posent aussi des questions relatives au travail *in situ* et sont à compléter.

Les premiers résultats obtenus en laboratoire mettent en évidence le phénomène de l'adaptation du taux de filtration à la concentration de la nourriture qui est classique chez les bivalves.

La tentative d'établissement d'une relation filtration poids sec en laboratoire a montré, comme pour l'étude de la respiration, les difficultés liées au conditionnement des animaux. En particulier, la maturation et les pontes dans les bacs perturbent les mesures. La relation obtenue $Y = 2.32W^{1.41}$ n'est pas exploitable.

La formule que nous avons obtenue *in situ* avec une suspension d'algues cultivées en laboratoire, $Y = 8,03W^{0,96}$ est plus proche des formules classiques bien que le coefficient b trouvé soit élevé.



CONCLUSION GENERALE

Comme stipulé dans le cadre de cette convention un important travail de conception d'outils de mesure des fonctions physiologiques de la nacre a été accompli. Il a permis la mise au point des techniques de mesure de la respiration et de la filtration des huîtres perlières *Pinctada margaritifera*, utilisables aussi bien au laboratoire que *in situ*. L'informatisation du traitement du signal marque un progrès notable par rapport aux techniques classiques. Un complément non prévu au départ a été apporté avec l'étude de l'activité valvaire.

Cependant la disponibilité tardive (juillet 1994) et partielle des équipements a restreint le nombre et le champ des expérimentations. Si des améliorations sont encore à réaliser, on peut considérer que ces outils et l'expérience acquise constituent une bonne base d'étude.

Les travaux ont été menés en parallèle au laboratoire et *in situ* à Takapoto. Les résultats obtenus *in situ* apparaissent en effet primordiaux pour la modélisation effective de la croissance. Cependant, l'approche laboratoire est indispensable, d'une part pour la mise au point et d'autre part pour tester l'influence de paramètres définis en milieu contrôlé.

Les études au laboratoire se sont révélées difficiles du fait de problèmes liés au conditionnement des animaux : condition physiologique, maturation et pontes. Les tentatives d'établissement des relations liant la respiration et la filtration au poids sec des huîtres ont été ainsi perturbées. Cependant des résultats intéressants ont pu être obtenus : définition des niveaux de consommation d'oxygène en fonction de la nourriture disponible, adaptation de la filtration en fonction de la concentration en microalgues cultivées.

Le travail *in situ* qui apparaissait le plus difficile à mettre en oeuvre a donné en définitive les résultats les plus satisfaisants.

La relation d'allométrie consommation d'oxygène poids sec établie à Takapoto est de la forme $Y = 0.8.W^{0.67}$. L'exposant d'allométrie de 0,67 est très proche de la valeur moyenne de 0,7 citée dans la littérature pour les bivalves. Le coefficient a de 0,8 place l'huître perlière parmi les bivalves ayant un métabolisme élevé. La valeur moyenne pour les bivalves suspensivores et déposivores se situe en effet à 0.50 ± 0.49 (BAYNE et NEWELL, 1983).

La relation d'allométrie filtration poids sec obtenue à Takapoto par la technique de fluorimétrie associée aux algues cultivées est de la forme $Y = 8,03.W^{0.96}$. La valeur du coefficient a est élevée, traduisant un fort taux de filtration. La quasi isométrie trouvée pour le coefficient b constitue une anomalie par rapport à la norme chez les bivalves. Les données de la littérature situent ce coefficient entre 0.66 et 0.82 en conditions expérimentales (WINTER 1978), et 0.44 dans le milieu naturel (BAYNE et NEWELL 1983).

Des résultats ponctuels de mesure au cytofluorimètre avec les micro-algues du milieu naturel comme traceur confirment ces fortes valeurs de filtration.

La relation d'allométrie obtenue par la technique de récupération des biodépôts à Takapoto est de la forme $Y = 33,5.W^{0.28}$. Elle donne des taux de filtration très forts, spécialement chez les jeunes individus, très différents des résultats de la littérature. Le



coefficient a de 33,5 paraît extrêmement élevé et ces premiers résultats doivent être considérés avec précautions. Une confirmation est nécessaire.

Les suivis de l'activité valvaire ont montré un rythme nyctéméral d'ouverture : les valves sont plus ouvertes la nuit que le jour. Le comportement apparaît plus perturbé le jour avec des mouvements valvaires plus amples et plus fréquents. Les mesures de respiration et de filtration de jour et de nuit ont été comparées : aucune différence statistique n'a été mise en évidence, hormis par la méthode des biodépôts qui montre une filtration plus importante le jour. L'étude des cycles de filtration, et de respiration, sur des périodes de plus de 24 heures est indispensable pour mieux comprendre les rythmes biologiques de *Pinctada margaritifera*.

Ces résultats permettent de répondre aux interrogations concernant l'équilibre du bilan énergétique de la nacre à Takapoto. Les premiers essais de bilan effectués tablaient sur la rétention du seul matériel particulaire supérieur à $1.3\mu\text{m}$ et une filtration d'environ 4l/h/g (BUESTEL et POUVREAU 1994). Ils montraient que l'équation du bilan était largement déséquilibrée dans ces conditions. Les forts taux de filtration trouvés *in situ* suffisent à rétablir ce bilan. Il s'avère donc que les huîtres perlières compensent l'oligotrophie du milieu par un fort taux de filtration. Conjugué à la disponibilité permanente de nourriture (absence de phénomène saisonnier), cette puissance de filtration expliquerait bien les fortes croissances observées.

Les études de la nutrition de la nacre décrites dans le rapport nutrition du PGRN (rétention particulaire, bactérienne et absorption du dissous) complètent ces données.

L'ensemble de ces résultats demande à être complété et affiné. Ce sera l'objet du travail proposé dans le cadre de la deuxième phase du PGRN qui devrait aboutir à l'établissement d'un modèle de croissance de l'huître perlière *Pinctada margaritifera*.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ali, R.M., 1970 The influence of suspension density and temperature on the filtration rate of *Hiatella arctica*. *Marine Biologie*, 6 : 291-302
- Bayne B.L., 1976. Marine mussels : their ecology and physiology. International Biological Program. Handbook 10, Cambridge University Press. 506 pp.
- Bayne B. L., Newell, R.C., 1983. Physiological energetics of marine molluscs, *in*: The mollusca, K. M. Wilbur and A.S.M. Saleuddin, Editors. Academic Press, Londres, : 407-515.
- Bayne B. L., Widdows J., 1978. The physiological ecology of two populations of *Mytilus edulis* L. *Oecologia* 37, 137-162.
- Bayne B. L., Widdows J., Newell R.J.E. 1977. Physiological measurements on estuarine bivalve molluscs in the field. In "Biology of benthic organisms", Ed. B.E. Keegan, P.O. Leidigh et P.J.S. Boaden, Pergamon Press , Oxford: 57 - 68.6
- Bayne E, B. L., 1973. Physiological changes in *Mytilus edulis* L. induced by temperature and nutritive stress. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 53 : 39-58.
- Blanchard M., 1989. Analyse fonctionnelle et méthodologique pour l'étude bioénergétique de mollusques. Dir. Env. Rech. Océan. Ifremer. 98 p.
- Boromthanarat S., 1986. Les bouchots à *Mytilus edulis* Linnaeus dans l'écosystème estuarien du bassin de Marennes-Oléron (France). Aspects biologiques et bioénergétiques. Doctorat de spécialité. Univ. Aix Marseille II: 150 pp.
- Bougrier S., Geairon P., Deslous-Paoli J.M., Bacher C., Jonquières G. 1995. Allometric relationships and effects of the temperature on the clearance and oxygen consumption rates of *Crassostrea gigas* (Thunberg)
- Buestel D., 1992. Programme général de recherche pluridisciplinaire sur la nacre. Action de recherche Croissance-Milieu. Rapport intermédiaire. Aquacop IFREMER Tahiti. 92 p.
- Buestel D., Pouvreau S., 1994. PGRN. Ecophysiologie de l'huître perlière. Approche des relations entre la croissance de l'huître perlière *Pinctada margaritifera* et le milieu dans le lagon de Takapoto. Rapport final. Action de recherche n°7.
- Burton R. F., 1983. Ionic regulation and water balance. *The Mollusca*. Vol.5. Physiology. Part 2.
- Crisp, D. J., 1971. Energy flow measurements in " Methods for the study of the marine benthos", Holme N.A. and Mc Intryre A.D. Eds, Blackwell Oxford : 197 - 323.
- Dame, R.F. 1972. The ecological energetics of growth, respiration and assimilation in the intertidal American Oysters, *Crassostrea virginica*. *Mar. biol.* 17, 243-250.
- Deslou-Paoli J.M., Sornin J.M., Héral, M., 1987. Variations saisonnières *in situ* de la production et de la composition des biodépôts de trois mollusques estuariens (*Mytilus edulis*, *Crassostrea gigas*, *Crepidula fornicata*). *Oceanis* 13, 4 - 5, 575 - 579.



- Dharmaraj S., Kandasami K., & Alagarwami, K., 1987.** Some aspects of physiology of Indian pearl oysters. In : Pearl Culture, Alagarwami, K., Ed., Cochin. India, Bull. Cent. Mar. Fish. Res. Inst. 39 : 21-28.
- Epiphanio C. E., 1979.** Growth in bivalve molluscs : nutritional effects of two or more species of algae in diets fed to the American oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin) and hard clam *Mercenaria mercenaria* (L.). *Aquaculture*, 18 : 1- 12.
- Epiphanio C. E., 1981.** Phytoplankton and yeast as foods for juvenile bivalves : a review of research at the University of Delaware. Pages 292-304 in G. D. Pruder, C. Langdon and D. Conklin, editors. Proceedings of the Second International Conference on Aquatic Nutrition. World Aquaculture Society Special Pub. N°2.
- Floch A., 1994.** Un capteur biologique original enregistrant les mouvements valvaires des mollusques bivalves. Thèse vétérinaire, Fac. Med. Nantes, 201 p.
- Gabbott P.A. & Bayne, B.L., 1973.** Biochemical effects of temperature and nutritive stress on *Mytilus edulis* L. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 53 : 269-286.
- Hammen, C. S., 1980.** Total energy metabolism of marine bivalve molluscs in anaerobic and aerobic states. *Comp. Biochem. Physiol.* Vol. 67a. : 617-621.
- Héral M., Deslous-Paoli J.M., Razet D., Prou J., 1984.** Essai de mise en évidence *in situ* de paramètres biotiques et abiotiques de l'eau à l'interface eau-sédiment intervenant dans la production de l'huître *Crassostrea gigas*. *Oceanis*. Vol. 10, Fasc.4.
- Herdman W. A. 1904.** Anatomy of the pearl oyster (*Margaritifera vulgaris*, Schum). Report Govt. Ceylon Pearl Oyster Fish., London, Part 2, 37-76.
- Hibbert C.J., 1977.** Energy relations of the bivalve *Mercenaria mercenaria* on an intertidal mudflat. *Mar. Biol.* 44, 77-84.
- Jonquière G., Amouroux J.M., Bennett A., Blanchot J., Bougrier S., Buestel D., Caisey X., Dufour P., Geairon P., Hautefeuille F., Pagès J., Pouvreau S., Pellan A., Robert S., Teissier H., Tiapari J., Torréton J.P, 1995.** Etude de la nutrition de l'huître perlière. Programme Général de Recherche sur la Nacre. Rapport final. Action de recherche n° 19.
- Jorgensen C. B. 1975.** Comparative physiology of suspension feeding. *Ann. Rev. Physiol.* 37, 57 - 79.
- Jorgensen C.B., 1990.** Bivalve Filter Feeding : Hydrodynamics, Bioenergetics, Physiology and Ecology. Olsen & Olsen, 140 p.
- Kirby-Smith W. W., 1972.** Growth of the bay scallop : the influence of experimental water-currents. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 8, 7-18.
- Le Borgne, Y., 1989.** La culture des micro-algues. *Aquaculture*. Vol. 1 : 182-192.
- Loosanoff, V.L. , Engle, J.B., 1947.** Effect of different concentrations of micro-organisms on the feeding of oysters (*O. virginica*). *Fish. Bull. U.S.* 51, 31-57.
- Nasr D.H., 1982.** Observations on the mortality of the pearl oyster, *Pinctada margaritifera*, in Dongonab Bay, Red sea. *Aquaculture*, 28 (1982) 271-281.
- Nasr D.H., 1984.** Feeding and growth of the pearl oyster *Pinctada margaritifera* (L.) in Dongonab Bay, Red Sea. *Hydrobiologia*, 110 : 241-245.



- Newell R.C., Bayne B.L. 1980.** Seasonal changes in the physiology, reproductive condition and carbohydrate content of the cockle *Cardium (=Cerastoderma) edule* (Bivalvia: Cardiidae). *Marine Biology* 56, 11-19.
- O' Connor W.A., Nell J.A. & Diemar J.A., 1992.** The evaluation of twelve algal species as food for juvenile Sydney rock oysters *Saccostrea commercialis* (Iredale & Roughley). *Aquaculture*, 108 : 277-283.
- Rodhouse, P.G. , 1978.** Energy transformation by the oysters *Ostrea edulis L.* in a temperate estuary. *J. Exp. Biol. Ecol.* 34, 1-22.
- Shumway S.E., Cucci T.L., Newell R.C. & Yentsch C.M., 1985.** Particle selection, ingestion and absorption in filter feeding bivalves. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Vol.1. 91 : 77-92.
- Thielley M., 1993.** Etude cytologique de la gamétogénèse, de la sex-ratio et du cycle de reproduction chez l'huître perlière *Pinctada margaritifera* (L.) var. *cumingii* (Jameson), (mollusques, bivalves). Comparaison avec le cycle de *Pinctada maculata* (Gould). Thèse d'Etat. UFP. 233 p.
- Thompson R.J. & Bayne B.L., 1972.** Active metabolism associated with feeding in the mussel *Mytilus edulis*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 9 : 111-124.
- Vahl, O., 1978.** Seasonal changes in oxygen consumption of the Iceland Scallop *Chlamys islandica* (O. F. Fuller) from 70°N. *Ophelia* 17 : 143-154.
- Webb K.L. & Chu F.E., 1981.** Phytoplankton as a food for bivalve larvae. Pages 272-291 in G. D. Pruder, C. Langdon and D. Conklin, editors. *Proceedings of the Second International Conference on Aquatic Nutrition*. World Aquaculture Society Special Pub. N°2.
- Widdows J. & Bayne B.L., 1971.** Temperature acclimation of *Mytilus edulis* with reference to its energy budget. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 51 : 827-843.
- Winter, J. E., 1976** A critical review on some aspects of filter-feeding in lamellibranchiate bivalves. *Halictis*, Vol. 7 : 85
- Winter, J. E., 1978** A review on the knowledge of suspension-feeding in lamellibranchiate bivalves, with special reference to artificial aquaculture systems. *Aquaculture*, 13 (1978) 1-33



TABLE DES FIGURES

Figure 1. Comportement nutritionnel de l'huître perlière <i>Pinctada margaritifera</i> .	8
Figure 2. Premiers essais du valvomètre.	10
Figure 3. Valvomètre : enregistrements à Takapoto du 23 au 24 février 1994.	12
Figure 4. Valvomètre : enregistrements à Takapoto du 24 au 26 février 1994	14
Figure 5. Etalonnage du valvomètre pour les enregistrements à Takapoto du 21 au 25 juillet 1994 (Figure 6)	15
Figure 6. Valvomètre : enregistrements à Takapoto du 21 au 25 juillet 1994	16
Figure 7 Comparaison des mesures de consommation d'oxygène (mg/h/g de poids sec) entre les huîtres conditionnées en bac et en lagon. Les poids secs figurent entre parenthèses.	21
Figure 8. Représentation graphique des poids secs en fonction du traitement.	28
Figure 9. Mortalités observées au cours de l'élevage en bassin s'élevant à 18,8% du nombre total d'animaux en élevage.	29
Figure 10. Suivi de la consommation d'oxygène par mg/h/g de poids frais	30
Figure 11. Distribution des mesures de consommation d'oxygène effectuées sur le lot nourri.	30
Figure 12. Distribution des mesures de consommation d'oxygène, effectuées sur le lot à jeun.	31
Figure 13. Représentation graphique de la consommation d'oxygène de deux nacres exprimée en mg d'O ₂ /h/g de poids sec.	31
Figure 14. Histogramme des mesures du pic actif.	32
Figure 15. Niveau de respiration de l'huître perlière en fonction de son état physiologique.	33
Figure 16. Consommation d'oxygène en fonction du régime calculée à partir de la dérive (sonde + nacre). (moyenne et intervalle de confiance à 95 %)	36
Figure 17. Relation Taille-Poids du lot d'huîtres perlières et intervalle de confiance des valeurs prédites, définies par BUESTEL et POUVREAU (1994).	39
Figure 18. Allométrie Respiration - Poids sec chez <i>Pinctada margaritifera</i> . Mesures en condition contrôlées (IFREMER COP, Février 1995) à 29°C.	40
Figure 19. Schéma des sphères utilisées pour la mesure de la consommation d'oxygène chez <i>Pinctada margaritifera</i> (IFREMER).	43
Figure 20. Représentation des dérives de sonde selon que l'on considère la dérive de sonde seule ou la dérive de sonde en présence d'une huître (pré-respiration) de jour ou de nuit. Les flèches indiquent la pente de la dérive de sonde seule.	46
Figure 21. Exemple d'évolution de la concentration en oxygène dans une sphère de mesure	47
Figure 22. Vérification de l'ajustement du nuage de points (poids sec de chair en fonction de la hauteur de nacre) dans les limites de l'intervalle de confiance des valeurs prédites définies par BUESTEL et POUVREAU (1994).	48
Figure 23. Allométrie respiration - poids sec chez <i>Pinctada margaritifera</i> . Mesures in situ (Takapoto, Avril 1994) à 27°C	50
Figure 24. Comparaison des résultats des différentes études de l'allométrie Respiration (en mg d'O ₂ /h) - Poids sec (en g) chez <i>Pinctada margaritifera</i>	51
Figure 25. Représentation de quatre relations allométriques respiration - poids sec sur trois espèces de bivalve (<i>Crassostrea virginica</i> , <i>Ostrea edulis</i> , <i>Crassostrea gigas</i>) différents de <i>Pinctada margaritifera</i> .	52
Figure 26. Modalités de la nutrition de l'huître perlière <i>Pinctada margaritifera</i>	58
Figure 27. Comparaison des mesures de filtration sur les lots conditionnés en bac et en lagon.	61
Figure 28. Suivi du taux de filtration pendant l'expérimentation - régime Algues - Moyenne et intervalle de confiance à 95 %	62
Figure 29. Allométrie Filtration - Poids sec chez <i>Pinctada margaritifera</i> Mesures en condition contrôlées à 29°C (IFREMER COP, Février 1995).	64
Figure 30. Relation Taux de Filtration - Poids Sec à partir de la collecte des biodépôts in situ	72
Figure 31. Seston minéral à Takapoto durant les récoltes de biodépôts.	75
Figure 32. Activité des huîtres correspondant au suivi valvomètre N°1. Le tracé de fin d'expérience est anormal et correspond au arrêt des piles.	76
Figure 33. Activité des huîtres correspondant au suivi valvomètre N°2	77
Figure 34. Activité des huîtres correspondant au suivi valvomètre N°3	78
Figure 35. Mise en évidence du début de la filtration à partir des mesures sur deux huîtres.	79
Figure 36. Suivi nocturne de la filtration sur deux huîtres.	80
Figure 37. Suivi pendant 3 heures du taux de filtration d'une huître.	80



Figure 38. Allométrie Filtration - Poids sec chez <i>Pinctada margaritifera</i> . Mesures in situ (Takapoto - Avril 1994) à 27°C	83
Figure 39. Allométrie filtration (en l/h) - Poids chez <i>Pinctada margaritifera</i> Résultats des différentes expériences in situ	85



TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1. Mesures du poids frais et de la hauteur externe des nacres. _____	26
Tableau 2 Sexe, indice gonadique et poids sec des nacres du lot témoin n°1. _____	26
Tableau 3. Sexe, indice gonadique et poids sec des individus du lot témoin n°2. _____	27
Tableau 4. Poids sec moyen (écart-type) des nacres en fonction du traitement. Données exprimées en grammes. _____	27
Tableau 5. Récapitulatif de l'analyse de variance sur les poids secs en fonction du traitement (nourries et à jeun). _____	28
Tableau 6. Poids sec moyen des huîtres perlières (HP) en fonction du traitement. L'écart-type est mentionné entre parenthèses. _____	28
Tableau 7. Comparaison statistique des moyennes consommation d'oxygène en mg d'O ₂ /h/g de poids frais total (avec coquille). _____	30
Tableau 8. Récapitulatif des valeurs moyennes des trois niveaux métaboliques mis en évidence. _____	32
Tableau 9. Récapitulatif de l'analyse de variance des trois niveaux métaboliques en fonction du traitement. _____	32
Tableau 10. Résultats statistiques de la régression $Y = a W^b$ (Y : consommation d'oxygène, W : poids sec de la nacre) et tableau d'analyse de la variance. _____	39
Tableau 11. Résultats statistiques de l'analyse discriminante _____	41
Tableau 12. Comparaison des dérives de sonde (pré-respiration) obtenues le jour et de nuit sur les mêmes nacres _____	46
Tableau 13. Estimation des différences entre les consommations d'oxygène mesurées le jour et la nuit sur les mêmes nacres. _____	48
Tableau 14. Régression $Y = aW^b$ (Y : moyenne des consommations d'oxygène mesurées le jour et la nuit, W : poids sec de la nacre) et tableau d'analyse de la variance. _____	49
Tableau 15. Résultats statistiques de la régression $Y = a W^b$ (Y : filtration, W : poids sec de la nacre) et tableau d'analyse de la variance. _____	64
Tableau 16. Résultats statistiques de l'analyse discriminante _____	65
Tableau 17. Données obtenues lors de la collecte des biodépôts et du suivi de l'activité des nacres. _____	71
Tableau 18. Collecte des biodépôts in situ effectués sans suivi simultané de l'activité valvaire. _____	73
Tableau 19. Estimation des différences entre les filtrations mesurées le jour et la nuit sur les mêmes nacres. _____	82
Tableau 20. Résultats statistiques de la régression $Y = a W^b$ (Y : filtration, W : poids sec de la nacre) et tableau d'analyse de la variance. _____	82