



SODIM

Société de développement de l'industrie maricole inc.

*Croissance du pétoncle géant, *Placopecten magellanicus*, aux Îles-de-la-Madeleine*

Rapport final

Dossier n° 710.69

Rapport commandité par la SODIM

1^{er} mai 2004 – 30 septembre 2005

Projet CROPIM
**Croissance du pétoncle géant, Placopecten
magellanicus, aux Iles-de-la-Madeleine (Québec, Canada)**

Rapport final – Projet n° 710.69
UNB / SODIM / MITACS / STMIM - MU

**Aline Gangnery¹, Marie-Claude Miousse², Myriam A, Barbeau³,
Guglielmo Tita², Madeleine Nadeau⁴**

1^{er} Mai 2004 – 30 Septembre 2005

¹ *Ifremer, Laboratoire Environnement Ressources de Normandie (LERN),
Port-En-Bessin, France*

² *Entente MAPAQ – UQUAR, Iles-de-la-Madeleine, QC, Canada*

³ *University of New Brunswick (UNB) - Fredericton, Department of Biology,
NB, Canada*

⁴ *Station Technologique Maricole des Iles-de-la-Madeleine (STMIM),
MAPAQ, QC, Canada*

1 Introduction

Le présent rapport a pour objectif de réaliser une synthèse des travaux réalisés dans le cadre d'un contrat liant l'Université du Nouveau-Brunswick à Fredericton (UNB-F), la Société de Développement de l'Industrie Maricole du Québec (SODIM), le Réseau Canadien de Centres d'Excellences pour les Sciences Mathématiques (MITACS) et l'entente entre le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) et l'Université du Québec à Rimouski (UQUAR). Ce contrat a débuté le 1er mai 2004 et a pour objectif l'étude de la croissance du pétoncle géant, *Placopecten magellanicus*, ainsi que des conditions environnementales régnant sur le fond de la Chaîne de la Passe aux Iles-de-la-Madeleine (projet CROPIM).

Le succès des activités d'ensemencement de pétoncles aux Îles-de-la-Madeleine peut être optimisé par une meilleure compréhension de certaines variables clés. Depuis 2003, un projet est en cours dont l'objectif est de développer un modèle de dynamique des populations de pétoncles géants ensemencés aux Iles-de-la-Madeleine. Cet outil doit permettre de simuler l'évolution temporelle de la structure démographique des populations de pétoncles et de prédire le taux de retour à la fin d'un cycle d'élevage (*i.e.* abondances et biomasses potentiellement récupérables). Le taux de retour permet ainsi de juger de la réussite des ensemencements. Il est déterminé par le taux de survie et le taux de croissance des pétoncles. Le manque d'informations sur la croissance du pétoncle aux Iles-de-la-Madeleine a conduit à mettre en place le projet CROPIM destiné à :

- 1) comprendre la relation entre la croissance des pétoncles et leur environnement dans le contexte des ensemencements réalisés aux Iles-de-la-Madeleine,
- 2) obtenir un jeu de données nécessaire à la calibration ou la validation d'un modèle de croissance du pétoncle basé sur l'écophysiologie,
- 3) coupler le modèle de croissance au modèle des ensemencements (*i.e.* modèle général incluant les 3 principaux facteurs déterminant la réussite des ensemencements : prédation, dispersion et croissance) dans le but de prédire le plus précisément possible la biomasse de pétoncles présente sur le fond au bout d'un cycle d'élevage.

Ce rapport est articulé en trois parties. La première concerne un rappel du protocole expérimental choisi ainsi qu'un déroulement de sa mise en place. La seconde présente les résultats tandis que la troisième partie discute des résultats obtenus ainsi que des difficultés auxquelles nous avons été confrontés.

Le présent travail est le fruit d'une collaboration entre A. Gangnery (UNB-F, post-doctorante sur le projet de modélisation entre le 17 novembre 2003 et le 27 août 2004, actuellement en poste permanent en France et en charge du projet CROPIM dans le cadre d'une collaboration franco-canadienne), M-C. Miousse (entente MAPAQ – UQUAR, en charge de l'organisation et de l'exécution de l'ensemble des opérations d'échantillonnage, d'analyse des échantillons, de gestion et de pré-traitement des données), M. A. Barbeau (UNB-F), B. A. MacDonald (UNB-SJ), M. Nadeau (MAPAQ) et G. Tita (entente MAPAQ-UQUAR).

2.1.2 Structures d'élevage

L'installation et le suivi de pétoncles directement sur le fond n'étaient pas envisageables en raison des risques de pertes par prédation et dispersion. Un système de cages suspendues à des filières a été utilisé. Les cages sont des lanternes carrées (40 x 40 x 16,5 cm) présentant un vide de maille de 15 mm et lestées de 4 poids d'environ 225 g pour les maintenir en position horizontale (Figure 3). Les filières, semblables à celles utilisées pour les élevages mytilicoles, ont également été lestées (plusieurs poids répartis tout au long de la filière pour une masse totale d'environ 1,5 t). Elles ont été disposées de façon à ce que les cages soient situées à environ 1 m du fond (Figure 4).

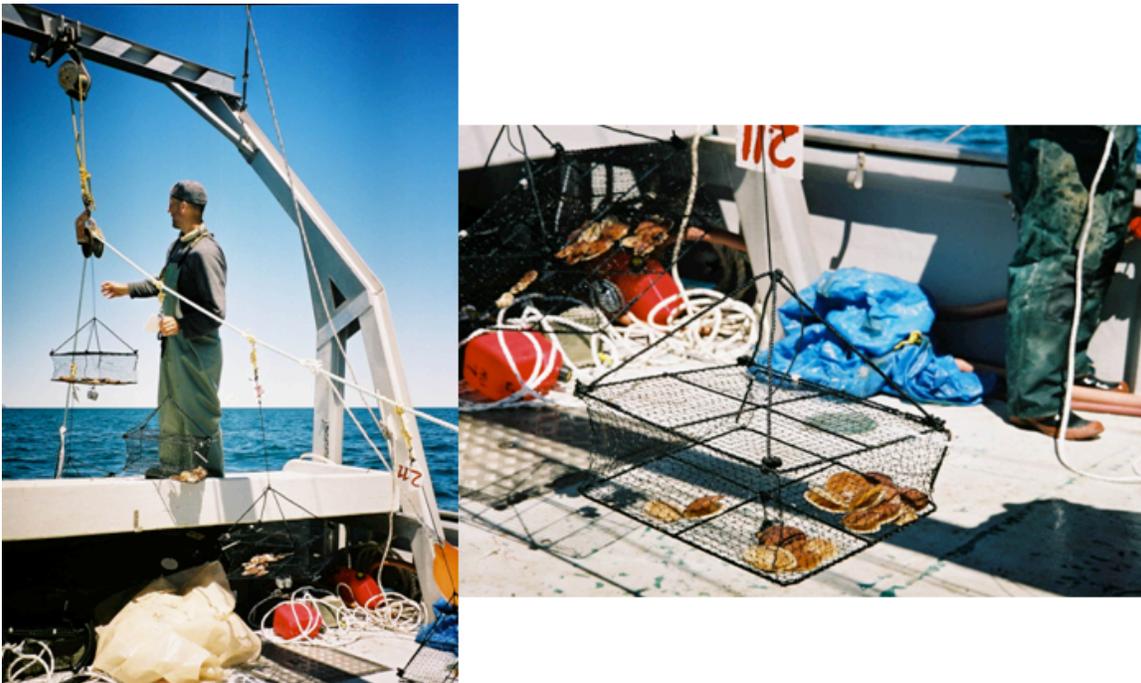


Figure 3 : Cages utilisées pour l'expérimentation.

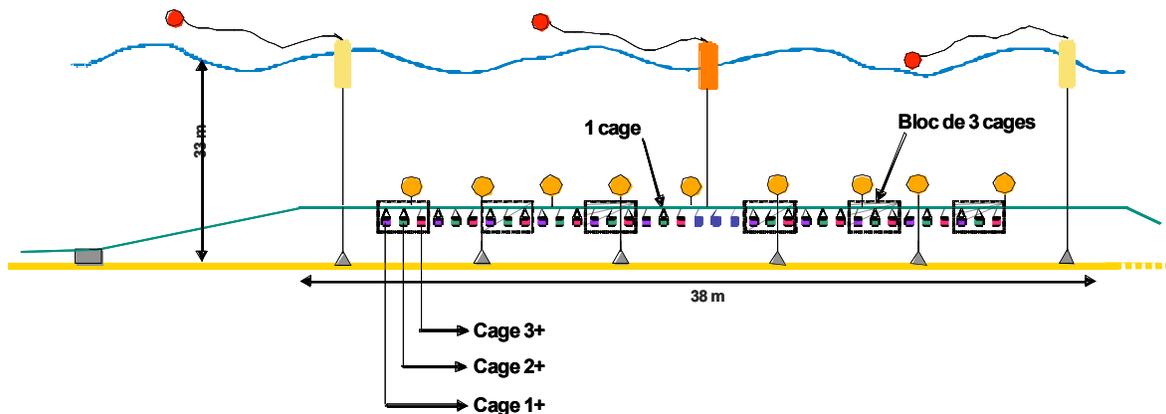


Figure 4 : Schéma d'une filière supportant les cages. Chaque cage contient des pétoncles d'une seule classe d'âge.

Les pétoncles sont répartis dans les cages à raison de 50 individus par cage pour la classe d'âge 1+, 30 individus pour la classe 2+ et 15 individus pour la classe 3+. Ces densités ont été fixées de façon à ce que la croissance des pétoncles ne soit pas affectée par des processus de densité-dépendance. Compte tenu des effectifs de pétoncles pouvant être contenus par cage, du nombre de cages pouvant être supportées par les filières et des effectifs nécessaires aux mesures, trois filières ont été mises en place. Chaque filière comporte 33 cages à raison de 11 cages par classe d'âge. Sur les filières, les cages sont arrangées par groupe de 3 de façon à ce que les 3 classes d'âge se suivent (Figure 4).

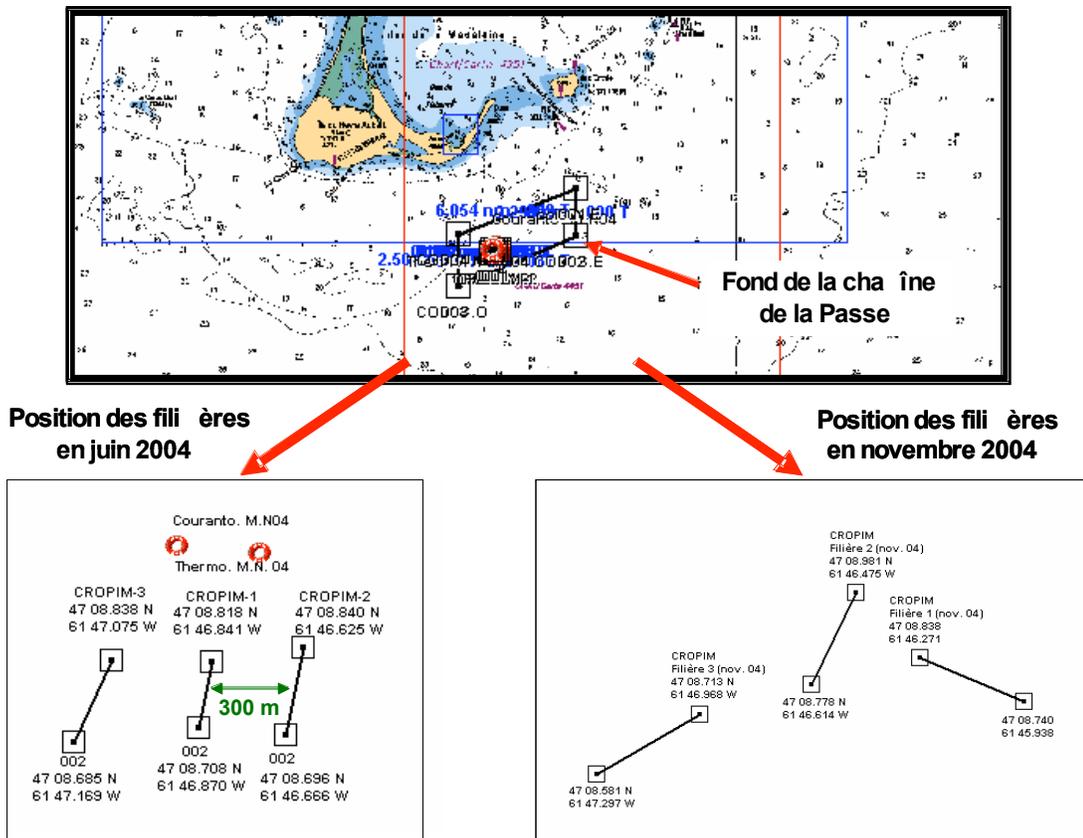


Figure 5 : Positionnement géographique des filières au début de l'expérimentation (juin 2004) et après le repositionnement (novembre 2004).

L'expérimentation a débuté en juin 2004. Les pétoncles ont été relevés de la lagune de Grande Entrée le 17 juin 2004. Ils ont été triés, nettoyés puis transférés aussi rapidement que possible dans les installations de la STMIM. Les pétoncles ont alors été répartis dans les cages en fin de journée et stockés dans des bassins pour la nuit. Le 18 juin, les cages ont été transférées sur le bateau de la STMIM puis acheminées sur le site d'étude. Les filières supportant les cages ont été mises en place dans le courant de la journée. Le positionnement des filières en juin 2004 est présenté sur la Figure 5. Cependant, les échantillonnages réalisés au début du mois d'octobre ont permis d'observer que les filières s'étaient déplacées occasionnant un emmêlement. En novembre, une sortie a été conduite pour démêler et repositionner les filières. La cause exacte du déplacement des filières n'est pas connue mais plusieurs hypothèses peuvent être avancées telles qu'un fort hydrodynamisme

lié à des tempêtes ou un relevage des filières par un bateau de pêche présent dans cette zone.

2.1.3 Pas d'échantillonnage

L'expérience est prévue pour s'étendre sur une période de 15 mois, entre juin 2004 et octobre 2005. Les échantillonnages sont répartis sur deux phases : juin à novembre 2004 (1^{ière} phase) et avril à octobre 2005 (2^{ième} phase). Aucun échantillonnage n'est réalisée en période hivernale en raison des contraintes climatiques. Le pas d'échantillonnage est fixé à 1 mois pour chacune des phases conduisant à un totale de 11 dates d'échantillonnage (Figure 6). A chaque date, un bloc de 3 cages est prélevé aléatoirement sur chacune des 3 filières. Les prélèvements sont réalisés en plongée, cette technique visant à minimiser le stress des pétoncles que pourrait occasionner une remontée des filières à la surface. De plus, l'absence de bio salissures en mer ouverte permet de laisser les filières sur le fond pendant toute la durée de l'expérience.

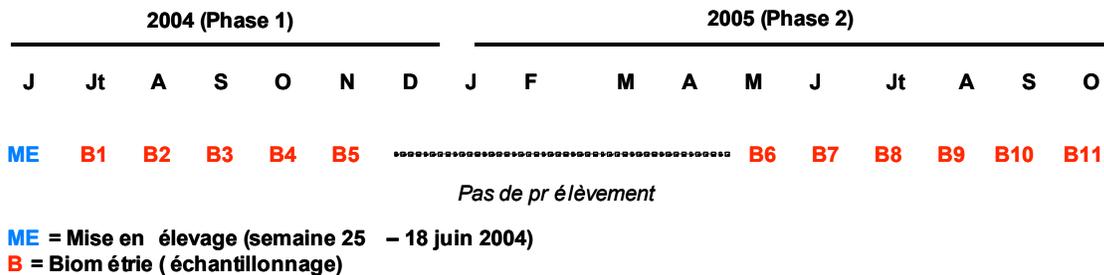


Figure 6 : Calendrier des prélèvements de croissance.

2.1.4 Variables mesurées

Les effectifs maximums vivants récoltés à chaque échantillonnage s'élèvent à 150 individus pour la classe 1+ (50 indiv/cage x 3 cages), 90 pour la classe 2+ (30 indiv/cage x 3 cages) et 45 pour la classe 3+ (15 indiv/cage x 3 cages).

La hauteur de coquille (HCOQ, mm) et la masse totale individuelle (MTOT, g) ont été mesurées sur l'ensemble des individus vivants présents pour chaque classe d'âge.

Le reste des mesures a été réalisé sur un sous-échantillon de 45 individus pour les classes 1+ et 2+ et sur l'ensemble des 45 individus pour la classe 3+ quand c'était possible (*i.e.* suffisamment d'individus encore en vie). Ces mesures comprennent :

- la masse totale de chair fraîche obtenue après séparation de la coquille et égouttage (MFCH, g),
- les masses de chair fraîche de la gonade (MFGO, g), du muscle adducteur (MFMU, g) et du reste du soma (MFSO, g) obtenues après dissection,
- la masse de chair sèche de la coquille obtenue après séchage à température ambiante pendant environ 72 heures (MSCOQ, g),
- les masses de chair sèche de la gonade (MSGO, g), du muscle adducteur (MSMU, g) et du reste du soma (MSSO, g) obtenues après séchage à l'étuve pendant 72 heures,
- les masses de cendre de la gonade (MCGO, g), du muscle adducteur (MCMU, g) et du reste du soma (MCSO, g) obtenus après calcination pendant 12 heures à 500 °C.

La mortalité naturelle attendue était estimée aux alentours de 10 %.an⁻¹ (MacDonald et Thompson 1986). La mortalité par prédation devait être évitée grâce à la protection des

pétoncles par les cages. Nous verrons dans les résultats que nous avons été confrontés à d'importants problèmes de mortalité des animaux qui ont conduit à réduction drastique des effectifs mesurés.

2.2 Paramètres environnementaux

2.2.1 Variables mesurées et plan d'expérience

Pendant la durée de l'expérience, les paramètres environnementaux sont mesurés tous les 15 jours.

La température a été enregistrée à l'aide d'une sonde placée en continu sur le site de la Chaîne de la Passe et à proximité des filières (voir le symbole rouge sur la Figure 5).

De façon à estimer la ressource trophique potentiellement disponible pour les pétoncles, les concentrations en seston (matière totale en suspension, MES, matière organique particulaire, MOP et matière inorganique, MIP, mg.l^{-1}) et en chlorophylle *a* (chl_a , $\mu\text{g.l}^{-1}$) sont déterminées, de même que la répartition en classes de taille des cellules phytoplanctoniques. Pour cela, des prélèvements d'eau sont réalisés en triplicat au niveau des cages et pour chacune des filières. Un volume d'environ 5 l d'eau est prélevé à l'aide d'une bouteille Niskin. Ce volume est ensuite filtré sur un tamis de porosité égale à 400 μm puis sous échantillonné à raison de 2 l pour le seston, 500 ml pour la chlorophylle *a* et 250 ml pour l'étude de la distribution en taille des cellules phytoplanctoniques. Environ 5 ml d'une solution de lugol sont ajoutés à ce dernier échantillon de façon à fixer les cellules phytoplanctoniques. Les échantillons sont conservés dans des glaciaires à l'abri de la lumière, puis ramenés au laboratoire.

Pour la concentration en chlorophylle *a*, les échantillons sont filtrés sur des filtres en fibres de verre de type Whatman GF/F (porosité moyenne de 0,7 μm) puis congelés à -80°C avant analyse. La chlorophylle *a* et les phéopigments sont extraits dans une solution d'acétone à 99,5 % pendant 24 h et sont analysés à l'aide d'un fluorimètre. Les échantillons destinés à l'étude de la distribution en taille du phytoplancton ont été analysés à l'Université du Nouveau-Brunswick à Saint-John à l'aide d'un Multisizer. Pour chaque échantillon (*i.e.* 9 par date = 3 filières x 3 réplicats), 2 sous-échantillons ont été prélevés pour les analyses au Multisizer, permettant ainsi d'estimer la variabilité de la distribution liée à l'appareil de mesure. Pour chaque date, un total de 18 échantillons a donc été analysé.

Pour le seston, les échantillons sont filtrés sur des filtres pré-calcinés (2 h à 450 - 500 $^\circ\text{C}$) en fibres de verre de type Whatman GF/C (porosité moyenne de 1,2 μm). Les filtres sont rincés au formiate d'ammonium puis congelés à -80°C avant analyse. Les filtres sont séchés à l'étuve (48 h à 65 $^\circ\text{C}$) et pesés pour obtenir la matière totale en suspension. Ils sont ensuite calcinés (4 h à 450 $^\circ\text{C}$) puis pesés à nouveau afin d'obtenir la MIP. La MOP s'obtient par différence entre la matière totale et la MIP.

2.3 Analyse des données

Les concentrations en chlorophylle *a*, MIP et MOP ont été analysées statistiquement au moyen d'une analyse de variance (ANOVA) pour déterminer l'effet du temps (facteur fixe, 12 dates d'échantillonnage) et l'effet de la filière (facteur aléatoire, 3 modalités).

Les données de croissance des pétoncles ont été analysées en utilisant plusieurs méthodes. Elles ont d'abord été analysées statistiquement au moyen d'une ANOVA afin de déterminer l'effet de deux facteurs fixes, soit le temps (6 dates d'échantillonnage) et la classe d'âge (3 modalités).

Pour l'ensemble des ANOVA, les hypothèses d'homogénéité des variances et de normalité des résidus ont été vérifiées. Dans les cas où l'hypothèse d'homoscédasticité n'était pas respectée, les données ont été transformées.

Dans un second temps, un modèle de von Bertalanffy, incorporant une oscillation saisonnière de la croissance, a été ajusté sur les données mesurées en hauteur de coquille selon l'équation suivante :

$$HCOQ = HCOQ_{\infty} \cdot \left[1 - e^{(-K \cdot (t - t_0) - \alpha \cdot \cos(\omega \cdot (t - \bar{a})))} \right]$$

Dans cette équation, HCOQ est la hauteur de coquille (mm), $HCOQ_{\infty}$ est la hauteur de coquille asymptotique (ou maximum théorique), *t* correspond à l'âge des pétoncles en jours, *K* est le taux de croissance avec lequel la hauteur asymptotique est atteinte ($\text{mm} \cdot \text{j}^{-1}$), α est l'amplitude de l'oscillation, γ est le déplacement de phase qui permet de localiser le ralentissement annuel de la croissance ($\omega = 2\pi/365$ quand *t* est exprimé en jours), t_0 est un paramètre d'ajustement sans signification biologique.

Enfin, la modélisation empirique a été utilisée pour relier la croissance aux paramètres environnementaux. Différentes formes d'équation ont été testées dans lesquelles le taux de croissance en hauteur de coquille est une fonction de la température de l'eau et/ou de la nourriture (concentration en chlorophylle *a* ou matière organique particulaire) et/ou une fonction allométrique de la hauteur de coquille. Les modèles présentés sont ceux pour lesquels les meilleurs ajustements ont été obtenus. Les paramètres de ces modèles ont été estimés en utilisant un algorithme d'optimisation basé sur la méthode du simplexe.

3 Résultats

3.1 Variables environnementales

3.1.1 Température de l'eau

La sonde positionnée sur le site en juin 2004 a été relevée en novembre 2004. La comparaison des données enregistrées avec des données mesurées ponctuellement en 2004 et des données issues d'enregistrements en continu réalisés au cours des années précédentes a montré un problème d'enregistrement dès la mise à l'eau de la sonde en 2004 avec

notamment une importante surestimation des températures pendant les mois de juin et juillet (Figure 7). Ces mauvais enregistrements sont probablement dus à un mauvais étalonnage de la sonde. Le cycle saisonnier des températures mesurées sur le site de la Chaîne de la passe montre un maximum moyen de 12,5 °C obtenu au début du mois de septembre. Début juin, la température est de l'ordre de 3 °C et elle décroît rapidement en octobre et novembre. Les valeurs ponctuelles mesurées en 2004 montrent globalement une année similaire aux années précédentes.

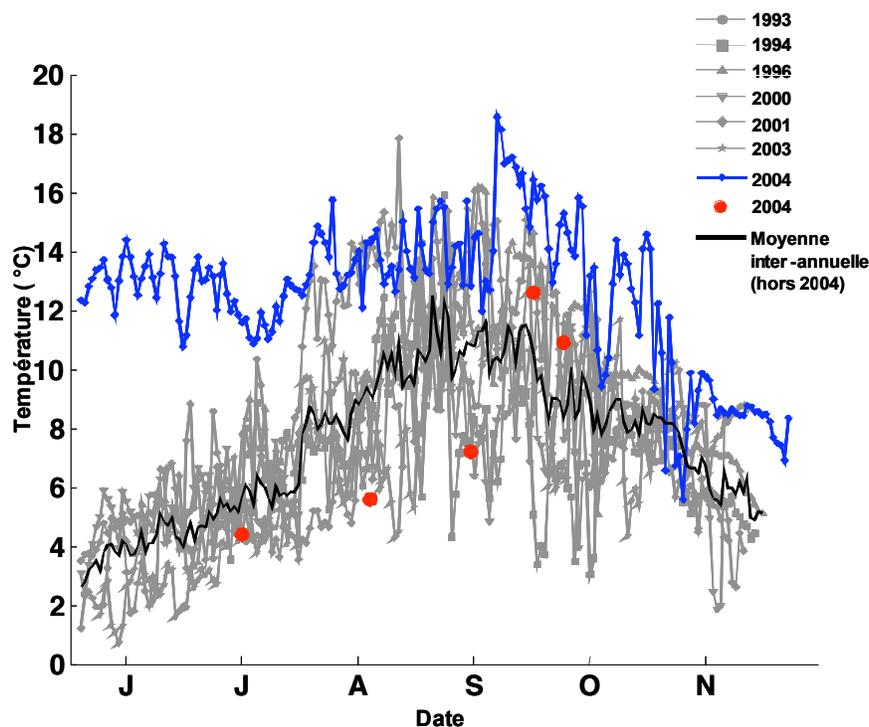


Figure 7 : Température mesurée sur le site de la Chaîne de la Passe. Les valeurs mesurées entre 1993 et 2003 sont représentées en gris avec leur moyenne inter-annuelle en noir. Les valeurs enregistrées en 2004 sont représentées en bleu. Les cercles rouges correspondent aux valeurs ponctuelles mesurées en 2004.

3.1.2 Chlorophylle *a*

Les concentrations en chlorophylle *a* varient significativement selon la date mais ne varient pas de façon significative entre les différentes filières (Tableau 1). Globalement, les concentrations sont très faibles avec une moyenne de l'ordre de 0,85 µg.l⁻¹ sur la période considérée. Le maximum est obtenu fin octobre avec une concentration de l'ordre de 1,4 µg.l⁻¹ pour la filière 3. La concentration minimale est mesurée fin novembre avec environ 0,5 µg.l⁻¹ pour les trois filières.

3.1.3 Matières en suspension

Les concentrations en matière particulaire varient selon la date et la filière (Tableau 1). Cependant, ces concentrations varient plus entre les dates que les filières. De plus, comme pour la chlorophylle *a*, les concentrations en matière particulaire sont faibles. De juin à octobre 2004, les concentrations en MIP et MOP sont restées stables de l'ordre de 0,5 mg.l⁻¹ pour la MIP et 0,7 mg.l⁻¹ pour la MOP, conduisant à un contenu organique du seston

souvent supérieur à 50 %. A partir du mois de novembre, les concentrations en MIP et MOP augmentent avec des valeurs jusqu'à 4 mg.l⁻¹ pour la MIP et 1,5 mg.l⁻¹ pour la MOP conduisant à un contenu organique en faveur de la matière minérale (70 %).

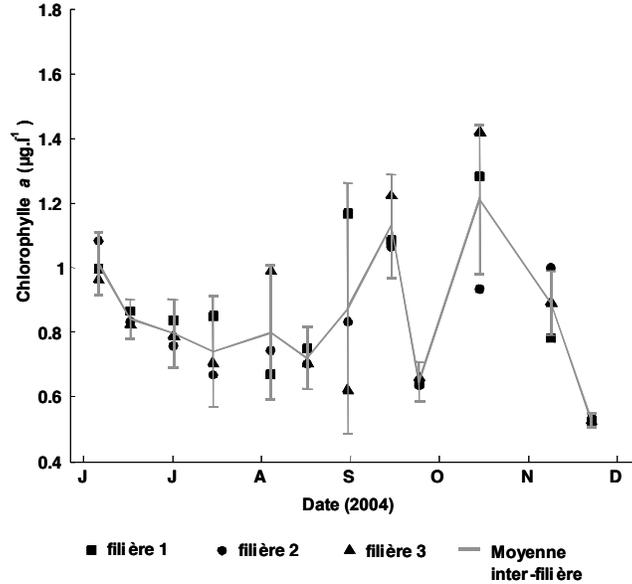


Figure 8 : Concentrations en chlorophylle *a* mesurées sur le site de la chaîne de la Passe en 2004. En gris est représentée la moyenne inter-filière assortie de son écart-type.

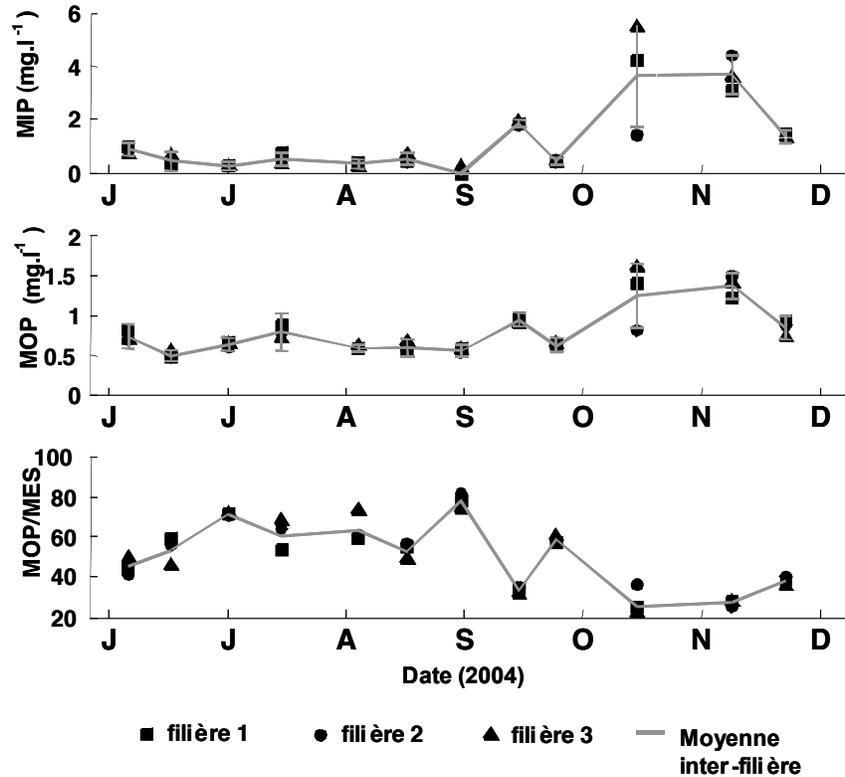


Figure 9 : Concentrations en seston (MIP et MOP) et ratio MOP/MES mesurées sur le site de la chaîne de la Passe en 2004. En gris est représentée la moyenne inter-filière assortie de son écart-type.

Tableau 1 : Résultats des ANOVA pour les variables environnementales entre juin et décembre 2004.

Variable dépendante	Source de la variation	Somme des carrés des écarts	ddl	Variance estimée	F-ratio	P
Chlorophylle a	Date	61,087	11	5,553	8,02	0,00002
	Filière	0,891	2	0,446	1	0,3724
	Date x Filière	15,239	22	0,693	1,56	0,0833
	Erreur	31,585	71	0,445		
MES	Date	223,267	11	20,297	11,27	<0,0001
	Filière	2,101	2	1,05	8,24	0,00063
	Date x Filière	39,607	22	1,8	14,12	<0,0001
	Erreur	8,543	67	0,128		
MIP	Date	151,642	11	13,786	11,02	<0,0001
	Filière	1,373	2	0,687	9,21	0,00029
	Date x Filière	27,512	22	1,251	16,78	<0,0001
	Erreur	4,994	67	0,075		
MOP	Date	7,245	11	0,659	11,95	<0,0001
	Filière	0,085	2	0,043	2,3	0,10846
	Date x Filière	1,212	22	0,055	2,98	0,00032
	Erreur	1,24	67	0,019		

3.1.4 Distribution en taille des cellules phytoplanctoniques

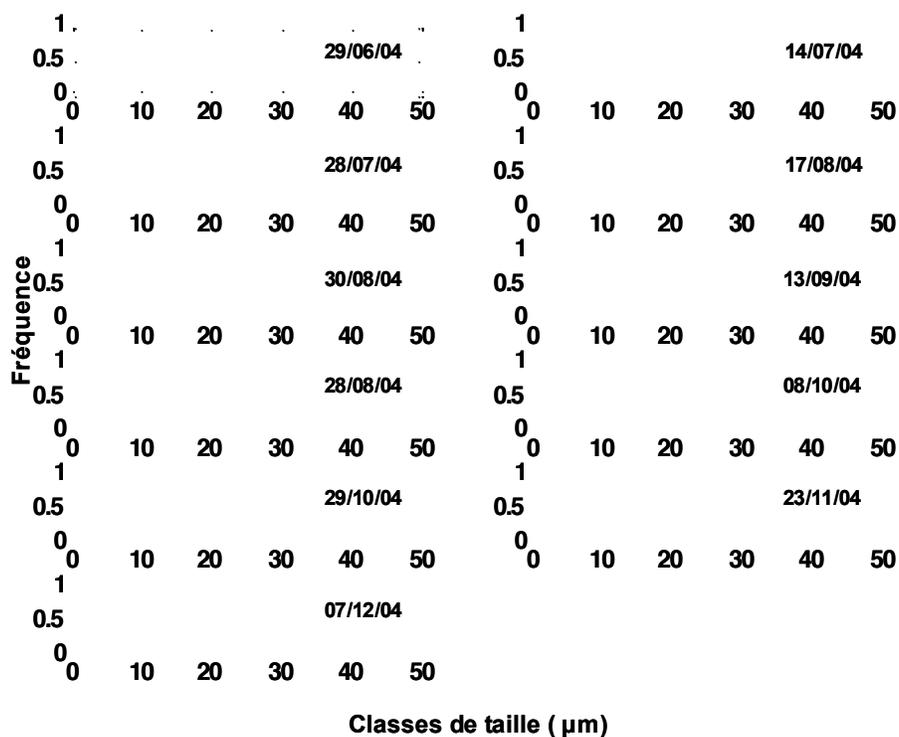


Figure 10 : Evolution temporelle des distributions en taille des particules phytoplanctoniques.

L'évolution temporelle de la composition en taille est présentée en utilisant à chaque date la distribution obtenue pour le premier réplikat mesuré au Multisizer et le premier réplikat de la filière n°1. Les particules sont de petite taille, inférieure à 10 µm avec un pic autour de 3,5 µm. Cette composition est globalement constante dans le temps, excepté les 29/10/04 et 23/11/04 où des particules de taille supérieure à 10 µm sont rencontrées. Ces deux dates correspondent également à de plus fortes concentrations en MOP (Figure 9). La ratio MOP/MES reste faible en raison de fortes concentrations en MIP.

3.2 Survie des pétoncles

Le pourcentage de mortalité varie entre 7 et 17 % en juillet 2004, soit 1 mois après la mise en élevage des pétoncles, pour atteindre près de 70 % en octobre et novembre 2004 (Figure 11). Le pourcentage de pétoncles disparus varie fortement suivant les cages mais il est d'autant plus important à partir du mois de septembre et ce pour l'ensemble des 3 classes d'âge. Les valeurs, globalement plus importantes pour les pétoncles âgés de 1 an, atteignent jusqu'à 37 %.

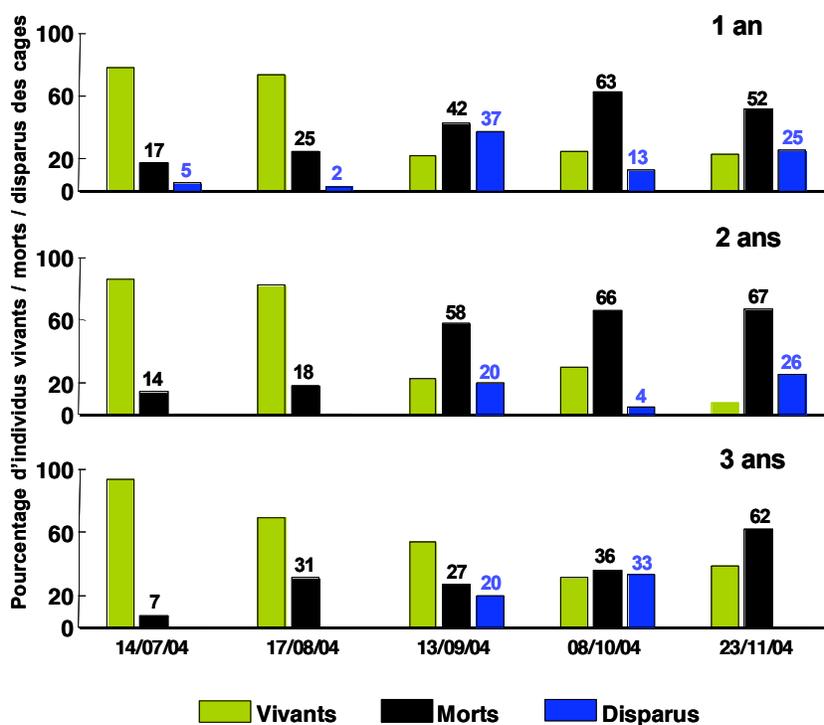


Figure 11 : Pourcentages de pétoncles vivants, morts et disparus dans les cages au cours de l'expérience (les valeurs de pourcentage sont notés au-dessus de chaque barre).

Les pourcentages de mortalité ne reposant pas sur les suivis des mêmes cages lors de chaque échantillonnage, ils ne permettent pas de déterminer la date exacte des mortalités. Cependant, les pétoncles morts retrouvés dans chacune des cages ont été mesurés, ce qui permet de connaître approximativement la période où a eu lieu la mortalité. Pour l'ensemble des classes d'âge, l'évolution de la distribution en taille des pétoncles morts

indique que la mortalité concerne essentiellement la période juste postérieure à la mise en élevage (Figure 12).

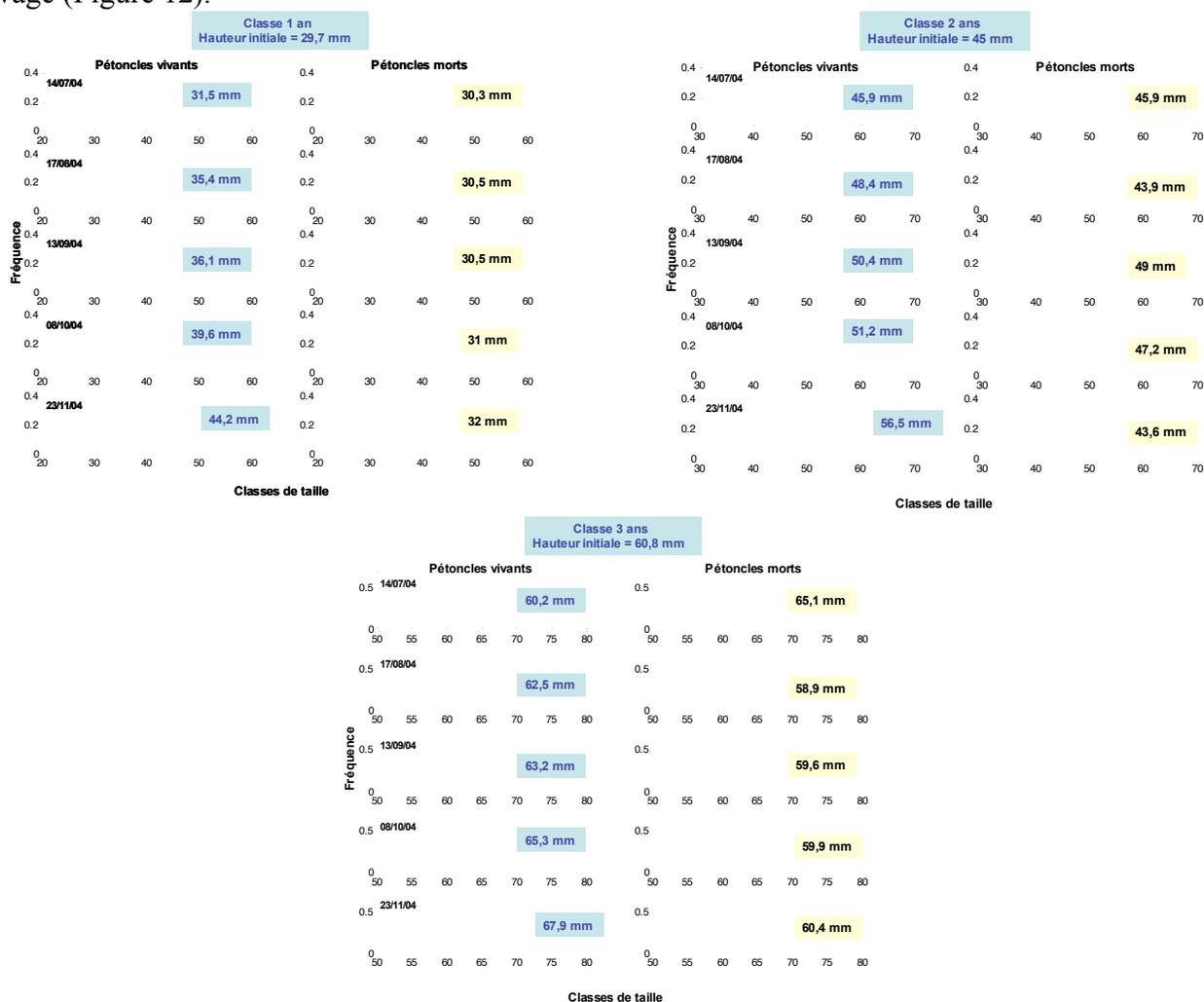


Figure 12 : Evolution des distributions en taille (hauteur de coquille, mm) des pétoncles vivants et morts, pour l'ensemble des trois classes d'âge.

3.3 Croissance des pétoncles

Les pétoncles ont présenté une croissance quasi-linéaire en hauteur de coquille et en chair totale tout au long de la période considérée (Figure 13 a, b). Cependant, le profil de croissance à travers le temps est significativement différent suivant les classes d'âge (Tableau 2, interaction date x âge, $P < 0,0001$). La vitesse de croissance en hauteur de coquille est maximale pour les individus âgés de 1 an ($2,8 \text{ mm.mois}^{-1}$ en moyenne), minimale pour les individus âgés de 3 ans ($1,37 \text{ mm.mois}^{-1}$) et intermédiaire pour les individus âgés de 2 ans ($2,2 \text{ mm.mois}^{-1}$).

Inversement, la vitesse de croissance en masse totale est maximale pour les individus âgés de 3 ans ($2,52 \text{ mm.mois}^{-1}$), minimale pour ceux âgés de 1 an ($1,37 \text{ mm.mois}^{-1}$) et intermédiaire pour les pétoncles de la classe 2 ($2,21 \text{ mm.mois}^{-1}$).

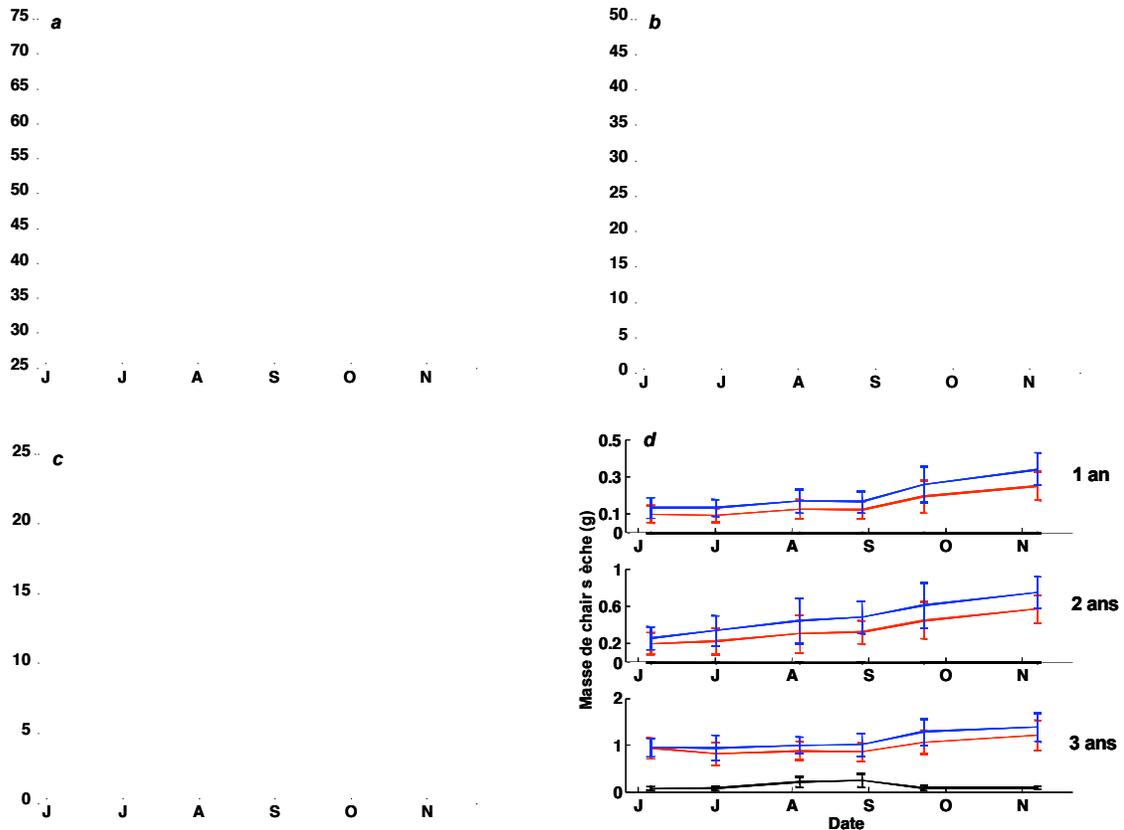


Figure 13 : Croissance en hauteur de coquille (*a*), masse totale (*b*), masse de chair fraîche (*c*) et masses de gonade, muscle adducteur et reste du soma (*d*) pour chacune des classes d'âge. Sur les figures *a*, *b* et *c*, la classe d'âge 1 est représentée en bleu, la classe 2 en noir et la classe 3 en rouge. Sur la figure *d*, la gonade est représentée en noir, le muscle adducteur en rouge et le reste du soma en bleu. Les barres d'erreur correspondent à l'écart-type.

La masse de chair fraîche présente un profil de croissance significativement différent suivant les classes d'âge avec une vitesse de croissance plus élevée pour les classes d'âge les plus grandes (Tableau 2, interaction date x âge, $P < 0,0001$). La croissance est quasi-linéaire sur l'ensemble de la période, excepté une forte augmentation entre les échantillonnages de septembre et octobre 2004 (Figure 13 c). La vitesse de croissance moyenne s'élève à 0,61, 1,21 et 1,47 $\text{g}\cdot\text{mois}^{-1}$ pour les classes d'âge 1, 2 et 3, respectivement. Cependant, cette vitesse s'élève à 1,57, 2,45 et 4,96 $\text{g}\cdot\text{mois}^{-1}$ pour les trois classes d'âge entre les échantillonnages de septembre et octobre 2004.

Les masses des différents organes obtenus après dissection montrent une évolution similaire de la masse du muscle adducteur et de celle du reste du soma au cours de la période étudiée (Figure 13 d). Le profil de croissance diffère significativement selon les classes d'âge (Tableau 2, interaction date x âge, $P < 0,0001$). Cependant, quelle que soit la classe d'âge, le muscle adducteur représente environ 40 % de la masse de chair sèche totale d'un pétoncle. Les résultats montrent l'absence de gonade chez les individus âgés d'1 et 2 ans. Seuls les pétoncles âgés de 3 ans possèdent une gonade dont la masse augmente régulièrement jusqu'à la mi-septembre, qui correspond à la période de gamétogenèse. La

diminution de masse de gonade entre les mois de septembre et octobre 2004 met en évidence l'existence d'une émission de gamètes au cours de cette période. Après mi-octobre, la masse de gonade reste stable indiquant une période de repos sexuel. L'effort de reproduction peut être estimé à environ 0,19 g de masse sèche.

Tableau 2 : Résultats des ANOVA pour les mesures biométriques de pétoncles des 3 classes d'âge entre juin et décembre 2004.

Variable dépendante	Source de la variation	Somme des carrés des écarts	ddl	Variance estimée	F-ratio	P
HCOQ	Date	6029,04	5	1205,81	55,98	<0,0001
	Age	68076,29	2	34038,14	1580,18	<0,0001
	Date x Age	670,22	10	67,02	3,11	0,0007
	Erreur	12515,16	581	21,54		
MTOT	Date	5242,61	5	1048,52	46,54	<0,0001
	Age	68171,01	2	34085,51	1512,82	<0,0001
	Date x Age	453,25	10	45,33	2,01	0,0301
	Erreur	13090,56	581	22,53		
MSCOQ	Date	950,57	5	190,12	50,76	<0,0001
	Age	11322,24	2	5661,12	1511,43	<0,0001
	Date x Age	78,66	10	7,87	2,10	0,02275
	Erreur	2176,16	581	3,75		
MFCH	Date	1527,94	5	305,59	70,51	<0,0001
	Age	12346,68	2	6173,34	1424,49	<0,0001
	Date x Age	248,12	10	24,81	5,73	<0,0001
	Erreur	2452,89	566	4,33		
MFMU	Date	96,93	5	19,39	36,28	<0,0001
	Age	1234,01	2	617,00	1154,76	<0,0001
	Date x Age	17,82	10	1,78	3,34	0,00031
	Erreur	310,44	581	0,53		
MFGO	Date	6,67	5	1,334	25,31	<0,0001
	Erreur	8,80	167	0,053		
MFSO	Date	533,51	5	106,7	96,15	<0,0001
	Age	2689,23	2	1344,62	1211,69	<0,0001
	Date x Age	83,17	10	8,32	7,49	<0,0001
	Erreur	644,74	581	1,11		
MSMU	Date	3,78	5	0,756	30,13	<0,0001
	Age	59,74	2	29,869	1189,98	<0,0001
	Date x Age	1,01	10	0,101	4,01	0,00002
	Erreur	14,58	581	0,025		
MSGO	Date	7,52	5	1,504	23,39	<0,0001
	Erreur	10,74	167	0,064		
MSSO	Date	7,15	5	1,431	48,42	<0,0001
	Age	71,16	2	35,582	1204,17	<0,0001
	Date x Age	1,35	10	0,135	4,58	<0,0001
	Erreur	17,17	581	0,02955		

3.4 Modélisation de la croissance

3.4.1 Modèle de von Bertalanffy

L'ajustement du modèle de von Bertalanffy est représenté sur la Figure 14. La croissance observée est correctement reproduite. La hauteur de coquille asymptotique est estimée 157,7 mm tandis que le taux de croissance pour atteindre cette hauteur est estimé à 3,46 mm.j⁻¹ (Tableau 3).

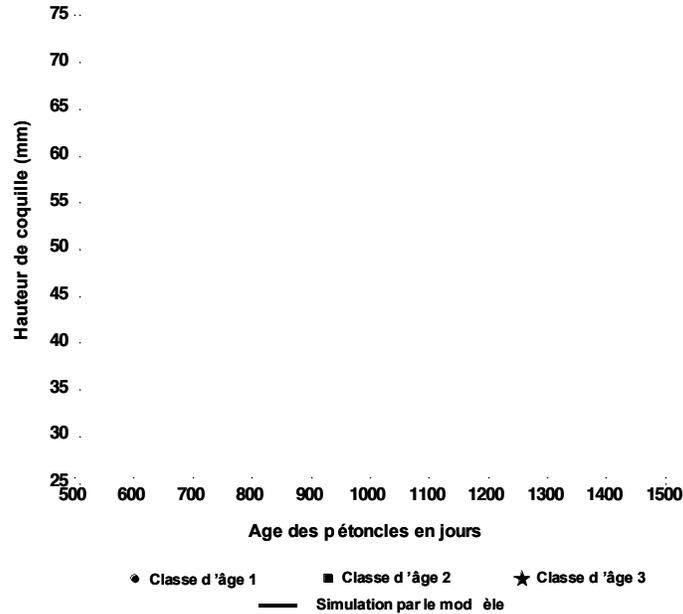


Figure 14 : Ajustement d'un modèle de von Bertalanffy avec modulation saisonnière sur les données de hauteur de coquille mesurées pour les trois classe d'âge de pétoncles.

Tableau 3 : Valeurs et erreur standard des paramètres de l'équation de von Bertalanffy.

Paramètre	Valeur estimée	Erreur standard
HCOQ _∞ (mm)	157,7	46,22
K (mm.j ⁻¹)	3,46.10 ⁻⁴	0,00015
α (-)	-2,84.10 ⁻²	0,0133
γ (-)	186	12,61
t ₀ (j)	-168,2	75,75

3.4.2 Modèle fonction des paramètres environnementaux

L'équation qui a fourni les meilleurs ajustements et qui a donc été retenue est de la forme :

$$G = a \cdot T^b \cdot Y^c = dY/dt$$

où G représente le taux de croissance en hauteur de coquille (mm.j^{-1}) ou en masse (g.j^{-1}), T représente la température et Y représente la hauteur de coquille, la masse totale (coquille + chair) ou la masse de chair sèche.

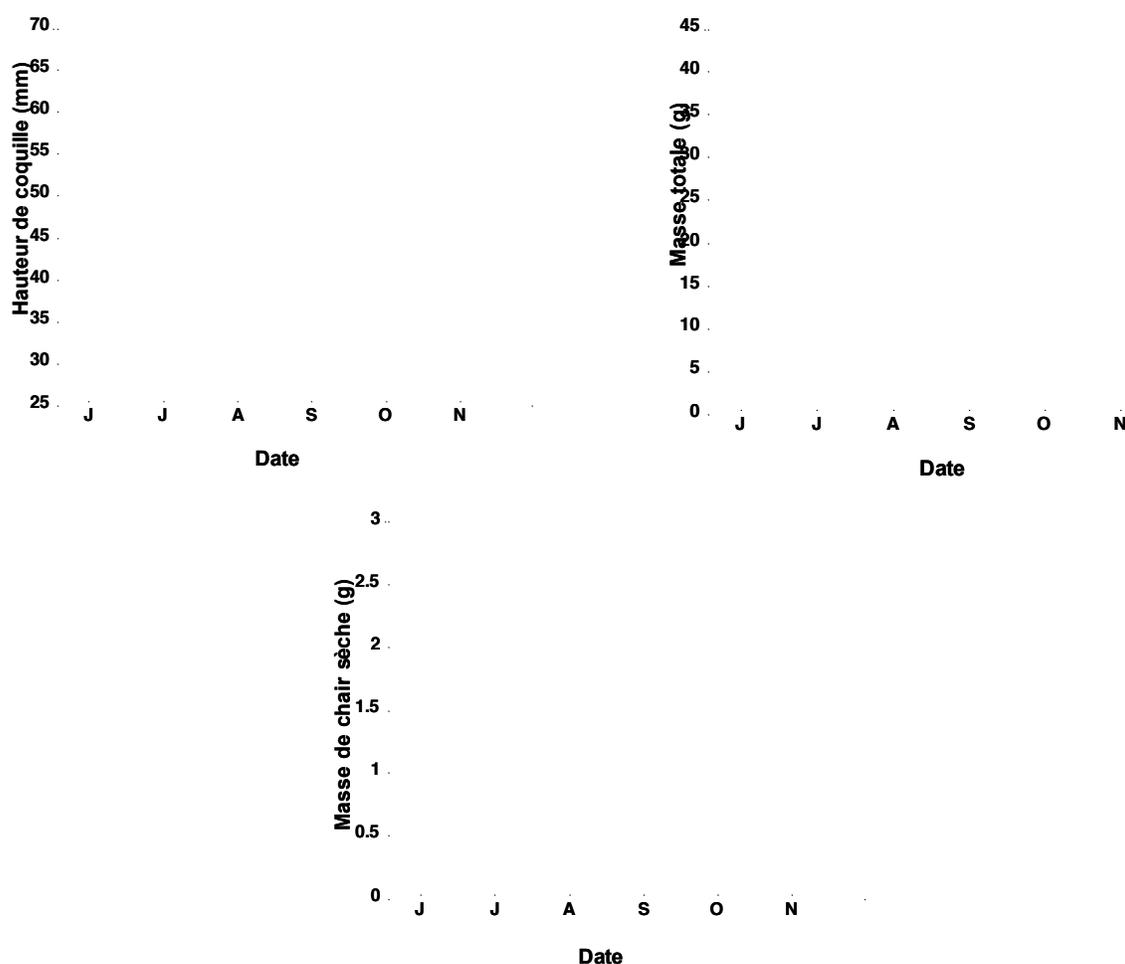


Figure 15 : Croissance individuelle moyenne simulée par un modèle fonction de la température (lignes) et observée pour chaque classe d'âge (rouge : 1 an, bleu : 2 ans, noir : 3 ans).

Les valeurs des paramètres obtenus sont présentées dans le Tableau 4. La Figure 15 montre globalement un très bon ajustement des modèles aux valeurs observées. L'ajustement est moins bon pour la masse de chair sèche, particulièrement pour les pétoncles âgés de 2 ans.

Tableau 4 : Valeurs des paramètres après optimisation et tests statistiques des modèles de croissance.

	HCOQ	MTOT	MSCH
<u>Paramètres</u>			
<i>a</i>	0,039	0,031	$3,73.10^{-5}$
<i>b</i>	2,217	-0,144	2,114
<i>c</i>	-1,097	0,4	0,398
<u>Résultats statistiques</u>			

n	18	18	18
R ²	0,99	0,99	0,97
P	<0,0001	<0,0001	<0,0001

4 Discussion

Les résultats obtenus dans le cadre du projet CROPIM concernent la mesure *in situ* de la croissance de trois classes d'âge de pétoncles ainsi que la mesure, en parallèle, des paramètres environnementaux susceptibles d'affecter cette croissance. Les données ont été relevées sur une saison de croissance, entre juin et novembre 2004. C'est la première fois qu'une telle expérimentation était mise en place sur le site des Iles-de-la-Madeleine et nous avons été confrontés à deux difficultés majeures :

- L'importante mortalité des pétoncles suite à leur installation sur site. Cette mortalité est probablement liée à la différence de température entre le site initial d'élevage des pétoncles (lagune de Grande Entrée) et le site de la Chaîne de la Passe ainsi qu'à la manipulation des pétoncles,
- La perte des cages au cours de la saison hivernale 2004/2005 en raison des conditions climatiques rencontrées sur le site de la Chaîne de la Passe.

Par ailleurs, les problèmes techniques rencontrés avec la sonde de température n'ont pas non plus permis d'enregistrer ce paramètre en continu comme cela était effectué les années précédentes.

Cependant, la combinaison des données obtenues sur les trois classe d'âge a néanmoins permis d'ajuster des modèles empiriques de croissance. Le premier modèle, basé sur une équation de type von Bertalanffy à laquelle a été ajoutée une modulation saisonnière, a permis d'estimer la hauteur de coquille asymptotique à près de 157,7 mm. Cette valeur correspond aux ajustements réalisés par MacDonald et Thompson (1985) sur différents sites de Terre-Neuve et du Nouveau-Brunswick. Selon ces auteurs, la taille asymptotique varie entre 146 et 176,5 mm suivant les sites et la profondeur à laquelle sont situés les pétoncles. L'ajustement d'un modèle à modulation saisonnière permet de bien restituer le profil saisonnier de la croissance des pétoncles avec une forte croissance pendant la période estivale et une croissance nulle pendant la période hivernale.

La modélisation empirique liant les paramètres environnementaux à la croissance a permis de montrer que la température seule permet de restituer le profil de croissance des animaux entre juin et décembre 2004. Toutefois, les ajustements sont meilleurs pour la hauteur de coquille et la masse totale tandis qu'ils sont moins bons lorsque l'on considère la masse de chair seule. La valeur des paramètres après optimisation montre une influence positive de la température sur la croissance en hauteur de coquille (2,22) ainsi qu'en masse de chair (2,12). Par contre la valeur négative du paramètre obtenue pour la masse totale montrerait une influence négative de la température (-1,14). Le coefficient d'allométrie prend une valeur positive pour la masse totale et la masse de chair (0,4 dans les deux cas) mais négative pour la hauteur de coquille (-1,1). L'utilisation de la nourriture (MOP ou chlorophylle a) à la place de la température conduit à des ajustements un peu moins bons entre les valeurs observées et les valeurs simulées par le modèle. Ces ajustements sont encore moins bons lorsqu'on utilise une équation liant la température et la nourriture. Un jeu de données plus conséquent (*i.e.* basé sur, *a minima*, un cycle annuel de croissance)

aurait été plus approprié pour réaliser cette étape de modélisation et ainsi comprendre la relation entre la croissance des pétoncles et les paramètres environnementaux. Toutefois, le caractère saisonnier de la croissance, mis en évidence par le modèle de von Bertalanffy, peut être expliquée par la température qui présente elle aussi un caractère saisonnier. Aucune saisonnalité des paramètres environnementaux (nourriture) n'a pu être mise en évidence dans le cadre de ce projet en raison de la durée de l'expérimentation.

L'un des objectifs du projet CROPIM était d'obtenir un jeu de données pour la calibration et/ou validation d'un modèle de croissance et de reproduction du pétoncle basé sur l'écophysiologie de cette espèce. Cet objectif ne pourra être parfaitement rempli dans la mesure où 1) les données de croissance ne couvrent pas un cycle annuel et 2) les données de température ne sont pas disponibles pour l'année 2004. La température représente pourtant une variable forçante du modèle d'écophysiologie et elle est donc indispensable. Au mieux, des simulations pourront être réalisées en utilisant une courbe de température basée sur les mesures réalisées ces dernières années mais les spécificités de l'année 2004 et leur éventuelle influence sur la croissance ne pourra être restituée. Concernant le modèle d'écophysiologie, celui-ci est actuellement en cours de développement. Une première mission de collaboration entre A. Gangnery et B.A. MacDonald (UNB Saint-John) s'est déroulée du 24 au 28 octobre 2005 de façon à recenser les données nécessaires à la paramétrisation du modèle de même qu'à fournir une première estimation de ces paramètres. Une fois mis en place, une perspective de ce travail sera de coupler le modèle d'écophysiologie au modèle de dynamique de populations permettant de prédire le plus possible la biomasse de pétoncles présente sur le fond suite à un réensemencement et au bout d'un cycle complet d'élevage (Gangnery et al, 2004).

5 Références bibliographiques

Gangnery, A., M. A. Barbeau and M. Nadeau (2004). Modélisation de la dynamique des populations de pétoncles géants, *Placopecten magellanicus*, ensemencés aux Iles-de-la-Madeleine (Québec, Canada). University of New Brunswick: 37 pp.

MacDonald, B. A. and R. J. Thompson (1985). Influence of temperature and food availability on the ecological energetics of the giant scallops *Placopecten magellanicus*. I. Growth rates of shell and somatic tissue, Marine Ecology Progress Series **25**: 279-294.

MacDonald, B. A. and R. J. Thompson (1986). Production, dynamics and energy partitioning in two populations of the giant scallop *Placopecten magellanicus* (Gmelin). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology **101**: 285-299.

6 Disponibilité des données du projet

L'ensemble des données relatives à ce projet (données biométriques, paramètres environnementaux) sont disponibles auprès de :

- Marie-Claude Miousse, entente MAPAQ-UQUAR,
e-mail : Marie-Claude.Miousse@partenaires.mapaq.gouv.qc.ca
- Aline Gangnery, IFREMER LER/N,

e-mail : Aline.Gangnery@ifremer.fr