



SODIM

Société de développement de l'industrie maricole inc.

*Impact du calage des lignes pour le contrôle de
la fixation secondaire de moules*

Cahier d'information

Dossier n° 710.25

Rapport commandité par la SODIM

DIRECTION DE L'INNOVATION ET DES TECHNOLOGIES

IMPACT DU CALAGE DES LIGNES POUR LE CONTRÔLE DE LA FIXATION SECONDAIRE DE MOULES



Par :

François Bourque
Bruno Myrand

CAHIER D'INFORMATION N^o 150

Agriculture, Pêcheries
et Alimentation

Québec 

Direction de l'innovation et des technologies

Ce rapport est une production de la Direction de l'innovation et des technologies. Jusqu'à 1996, cette direction était connue sous l'appellation de Direction de la recherche scientifique et technique.

Des exemplaires de ce rapport peuvent être obtenus à l'adresse suivante :

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation
Bureau d'édition - DIT
96, montée de Sandy Beach, bureau 205
Gaspé (Québec) G4X 2V6

Votre demande doit être accompagnée d'un chèque fait à l'ordre du ministre des Finances

Coût unitaire : 10\$

ISBN : 2-550-44675-5
Dépôt légal - Bibliothèque nationale du Québec, 2005
Dépôt légal - Bibliothèque et Archives Canada, 2005

On doit citer cette publication comme suit :

BOURQUE, F. et B. MYRAND (2005). *Impact du calage des lignes pour le contrôle de la fixation secondaire de moules*, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, 37 p. (Cahier d'information n° 150).

AVERTISSEMENT

Toute personne qui utilise une méthode ou une technique indiquée dans ce document reconnaît que le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation n'encourt aucune responsabilité relative à l'utilisation qu'il en fait. Le Ministère ne peut être reconnu responsable des conséquences pouvant résulter de cette utilisation.

L'utilisation de l'information contenue dans ce rapport doit faire l'objet d'une autorisation explicite de ses auteurs.

TABLE DES MATIÈRES

	<u>PAGE</u>
LISTE DES TABLEAUX.....	iii
LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES PHOTOS	vi
RÉSUMÉ – MOTS CLÉS.....	vii
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 MÉTHODOLOGIE.....	3
2.1 Volet – Calage des boudins	3
2.1.1 Fabrication et mise à l'eau des structures	3
2.1.2 Transfert et calage des boudins.....	3
2.1.3 Récolte et échantillonnage.....	3
2.1.4 Analyses	4
2.1.5 Évaluation de l'impact sur le rendement commercial.....	4
2.2 Volet – Taille refuge	5
2.2.1 Choix de la taille des moules et des crabes expérimentaux	5
2.2.2 Protocole expérimental de base	6
2.2.3 Expérience no 1 : Potentiel de prédation des crabes à court terme (15 heures)	6
2.2.4 Expérience no 2 : Prédation sur une période de plusieurs jours (11 jours).....	7
3.0 RÉSULTATS	9
3.1 Volet – Calage des boudins	9
3.1.1 Lagune de Havre-aux-Maisons.....	9
3.1.1.1 Évolution du nombre de prédateurs	9
3.1.1.2 Diminution de la fixation secondaire	9
3.1.1.3 Impact sur le rendement.....	9
3.1.1.4 Impact sur la croissance	10
3.1.1.5 Impact sur le rendement en chair	11
3.1.1.6 Impact sur la qualité	11
3.1.2 Lagune de Grande-Entrée	11
3.1.2.1 Évolution du nombre de prédateurs	11
3.1.2.2 Diminution de la fixation secondaire.....	11
3.1.2.3 Impact sur le rendement.....	12

TABLE DES MATIÈRES (suite)

	<u>PAGE</u>
3.1.2.4 Impact sur la croissance.....	12
3.1.2.5 Impact sur le rendement en chair.....	13
3.1.2.6 Impact sur la qualité	13
3.2 Volet – Taille refuge	13
3.2.1 Potentiel de prédation des crabes à court terme (15 heures).....	13
3.2.2 Potentiel de prédation des crabes à long terme (11 jours)	15
4.0 DISCUSSION.....	17
5.0 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	19
6.0 REMERCIEMENTS	21
7.0 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	23

LISTE DES TABLEAUX

	<u>PAGE</u>
Tableau 1 : Proportion du nombre de moules de différentes classes de taille consommées par les crabes en comparaison de leur proportion dans l'ensemble de la ration offerte. Moules offertes pendant une période de 15 heures	25
Tableau 2 : Proportion du volume de moules de différentes classes de taille consommées par les crabes en comparaison de leur proportion dans l'ensemble de la ration offerte. Moules offertes pendant une période de 15 heures	25
Tableau 3 : Proportion du nombre de moules de différentes classes de taille consommées par les crabes en comparaison de leur proportion dans l'ensemble de la ration offerte. Moules offertes pendant une période de 11 jours.....	26
Tableau 4 : Proportion du volume de moules de différentes classes de taille consommées par les crabes en comparaison de leur proportion dans l'ensemble de la ration offerte. Moules offertes pendant une période de 11 jours	26

LISTE DES FIGURES

	<u>PAGE</u>
Figure 1 : Évolution du nombre de prédateurs (moyenne \pm é.-t. m.) à Havre-aux-Maisons	27
Figure 2 : Évolution du degré de fixation secondaire (moyenne \pm é.-t. m.) à Havre-aux-Maisons.....	27
Figure 3 : Évolution du poids des moules 1 ⁺ (moyenne \pm é.-t. m.) à Havre-aux-Maisons	28
Figure 4 : Évolution du nombre de prédateurs (moyenne \pm é.-t. m.) à Grande-Entrée	28
Figure 5 : Évolution du degré de fixation secondaire (moyenne \pm é.-t. m.) à Grande-Entrée	29
Figure 6 : Évolution du poids des moules 1 ⁺ (moyenne \pm é.-t. m.) à Grande-Entrée	29
Figure 7 : Consommation moyenne (\pm é.-t. m.) de moules de différentes classes de taille offerte individuellement (sans choix) à deux groupes de crabes pendant des périodes de 15 heures chacune.....	30
Figure 8 : Consommation totale de moules de différentes classes de taille offerte toutes ensemble (avec choix) mais sous forme individuelle à deux groupes de crabes pendant une période de 15 heures	30
Figure 9 : Consommation totale de moules de différentes classes de taille offerte toutes ensemble (avec choix) et en grappes à deux groupes de crabes pendant une période de 15 heures.....	31

LISTE DES FIGURES (suite)

	<u>PAGE</u>
Figure 10 : Évolution de la consommation cumulée moyenne des moules des différentes classes de taille au cours d'une période de 11 jours. a) crabes moyens (70-89 mm) et b) gros crabes (100-119 mm).....	32
Figure 11 : Consommation totale des moules des différentes classes de taille au cours d'une période de 11 jours par les deux groupes de crabes. a) moules présentées ensemble sous forme individuelle et b) moules présentées en grappe	33
Figure 12 : Consommation totale des moules des différentes classes de taille au cours d'une période de 11 jours en fonction du mode de présentation des moules. Tous les crabes, moyens et gros, ont été regroupés	34

LISTE DES PHOTOS

	<u>PAGE</u>
Photo 1 : Structure utilisée pour évaluer l'impact du calage des boudins.....	35
Photo 2 : Échantillonnage de boudins en plongée.....	35
Photo 3 : Disposition des unités expérimentales pour la taille refuge.....	36
Photo 4 : Exemple d'un gros et d'un moyen crabe et aperçu des cinq classes de taille de moules.....	36
Photo 5 : Boudin calé à Havre-aux-Maisons à la première semaine	37
Photo 6 : Boudin calé à Grande-Entrée à la deuxième semaine	37

RÉSUMÉ

Un projet de recherche a été mené à l'automne 2003 dans les lagunes de Havre-aux-Maisons et de Grande-Entrée (Îles-de-la-Madeleine) afin d'évaluer l'impact du calage des lignes pour le contrôle de la fixation secondaire de moules. Des boudins ont été volontairement calés au fond et des échantillons ont été prélevés après une, trois et sept semaines. Un groupe de boudins a servi de témoin (non calé). Dans les deux lagunes, le crabe commun (*Cancer irroratus*) a atteint une densité maximale sur les boudins dès la première semaine tandis que le nombre d'étoiles de mer (*Asterias sp.*) fut à son maximum à la troisième semaine. Le naissain a été éliminé en bonne partie dès la première semaine. Par la suite, la présence des prédateurs a induit une chute considérable de rendement commercial avec des pertes moyennes de 59 % à la troisième semaine à Havre-aux-Maisons et de 17 % à Grande-Entrée. Les impacts sur le rendement en chair, la croissance des moules et leur qualité ont également été mesurés. Nous avons, en parallèle, évalué la taille refuge des moules d'élevage face au crabe commun. On a offert des moules de différentes tailles (10-15, 20-25, 40-45, 50-55, 60-65 mm) à des crabes de 70-89 mm (moyens) et 100-119 mm (gros). Les classes de moules ont été offertes individuellement (sans choix) et ensemble (avec choix). En absence de choix, des moules de toutes les classes de taille ont été consommées; sauf les plus grosses (60-65 mm) qui ont été épargnées par les crabes moyens de 70-89 mm. En face d'un choix, aucun crabe ne s'est attaqué aux plus grosses moules et seuls les gros crabes (100-119 mm) ont consommé des moules de 50-55 mm. Les crabes ont montré une forte préférence pour les plus petites proies (10-15 et 20-25 mm) qui correspondent aux moules de fixation secondaire.

Mots clés : moule, prédation, calage, fixation secondaire, taille refuge

1.0 INTRODUCTION

La fixation secondaire de moules, communément appelée « second set », est un phénomène qu'on peut difficilement éviter dans un cycle complet de production de moules commerciales. En effet, la durée de ce cycle oblige les producteurs à laisser les boudins à l'eau pendant tout un été aux Îles-de-la-Madeleine et deux en Gaspésie. Les nouvelles larves de moules, présentes dans la colonne d'eau au cours de l'été, peuvent donc se fixer sur les boudins de moules qui leur fournissent d'intéressantes surfaces d'attachement. En grossissant, ces nouvelles cohortes composées souvent d'un très grand nombre d'individus vont finir par causer une compétition pour l'espace et la nourriture avec les moules de la production commerciale en plus d'imposer une surcharge en poids aux filières flottantes. Afin de contrer ces effets négatifs sur la production, certains producteurs de l'Île-du-Prince-Édouard calent volontairement leurs lignes au cours de l'automne pour une période qui varie de une à trois semaines (M. Gary Rogers, producteur, comm. pers.). Au cours de cette opération, ils font en sorte qu'une portion des boudins touche directement au fond. Ce calage permet aux prédateurs, principalement le crabe commun, de grimper sur les boudins et d'éliminer la nouvelle cohorte de moules (fixée pendant l'été) sans trop affecter les moules commerciales de 1⁺ an qui sont trop grosses pour être attaquées par les crabes. Il n'y a malheureusement pas d'informations précises sur cette procédure, ni sur les résultats obtenus là-bas. Il arrive également que les boudins soient entraînés vers le fond par une surcharge de poids (flottabilité de la ligne devenue insuffisante pour le poids à supporter) sans que le producteur ne s'en soit rendu compte. Ces boudins de moules peuvent alors passer une longue période en contact avec le fond, c.-à.-d. jusqu'à ce que l'équilibre entre la flottabilité et la charge sur la ligne flottante soit rétabli.

L'efficacité d'une méthode de contrôle par calage repose avant tout sur le type de prédateurs présents dans le plan d'eau, sur la capacité des moules commerciales (≥ 50 mm) de résister à l'attaque des prédateurs (taille refuge) et sur la facilité pour le producteur de caler et manipuler ses lignes. En effet, les prédateurs présents (crabe commun, étoiles de mer et autres) imposeront une certaine vitesse de nettoyage de la nouvelle cohorte de moules (< 25 mm) et pourront, à l'opposé, entraîner des pertes commerciales si les moules de ≥ 50 mm ne sont pas à l'abri de leur activité prédatrice.

Aux Îles-de-la-Madeleine, la production commerciale de moules est localisée dans les lagunes de Havre-aux-Maisons et de Grande-Entrée. Des constatations préliminaires laissaient présager que le type de fond et les prédateurs présents dans chacun de ces plans d'eau pouvaient être suffisamment différents pour que les résultats de l'application d'une telle méthode de contrôle puissent différer. À la demande de la Société de développement de l'industrie maricole (SODIM), une étude a été menée pour évaluer les impacts du calage des lignes pour le contrôle de la fixation secondaire de moules dans le contexte particulier des lagunes des Îles-de-la-Madeleine. Un second objectif était de vérifier si les moules de taille commerciale (≥ 50 mm) avaient atteint une taille refuge les mettant à l'abri du crabe commun, *Cancer irroratus*, le principal prédateur supposé des jeunes moules sur les boudins. Ce dernier point paraissait important à documenter faute d'informations pertinentes. En effet, les données disponibles dans la littérature scientifique concernaient principalement des moules sauvages de petite taille (la plupart < 40 mm) offertes à des crabes verts (*Carcinus maenas*) ou crabes bleus (*Callinectes sapidus*), eux-même de petite taille (la plupart < 80 mm); une taille inférieure aux crabes communs trouvés sur les boudins des Iles. En fait, la plupart des informations concernaient ces deux espèces de crabes. Des observations passées, faites

aux Îles, ont montré que les moules d'élevage de 40-49 mm pouvaient être des proies pour des crabes communs < 100 mm de largeur de la carapace (données non publiées). Mais qu'en est-il avec des crabes plus gros, par exemple les crabes > 100 mm qu'on retrouve sur les boudins de moules?

C'est donc dans ce contexte qu'une entente de partenariat est intervenue entre la Société de développement de l'industrie maricole du Québec et le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec pour la réalisation de ce projet.

2.0 MÉTHODOLOGIE

2.1 VOLET – CALAGE DES BOUDINS

2.1.1 Fabrication et mise à l'eau des structures

Nous avons fabriqué des supports en métal pouvant supporter chacun quatre boudins afin d'avoir suffisamment de répliques et de pouvoir contrôler la profondeur des boudins (Photo 1). Seize (16) structures ont été immergées à raison de huit dans chaque lagune. Tant à Havre-aux-Maisons qu'à Grande-Entrée, les structures ont été disposées en deux rangées de quatre. Environ 50 m sépare chaque structure de sa plus proche voisine. Les structures ont été immergées aux sites des mytiliculteurs aux mêmes profondeurs que leurs boudins. La mise à l'eau s'est effectuée le 18 septembre à Havre-aux-Maisons et le 19 septembre à Grande-Entrée.

2.1.2 Transfert et calage des boudins

Après avoir vérifié la stabilité des structures sur le fond, nous avons procédé au transfert des boudins la semaine suivante. Nous avons sélectionné des boudins touchés par la fixation secondaire en parcourant des lignes des producteurs. Ces boudins ($N = 32$) furent coupés à une longueur de 1,35 m puis transférés en plongée à raison de 4 boudins sur chacune des 8 structures par lagune. Les portions de boudins restantes ont été remises sur la ligne d'élevage dans le but d'être utilisées pour caractériser le temps T_0 de l'étude, c.-à-d. lors du calage des boudins. Le transfert sur les structures métalliques a eu lieu le 25 septembre à Havre-aux-Maisons et le 26 septembre à Grande-Entrée. Les boudins expérimentaux, suspendus aux structures métalliques, ont été maintenus pendant une semaine à une certaine distance du fond afin de permettre une récupération du stress qu'aurait pu causer le transfert avant leur calage.

Le premier octobre, nous avons procédé au calage des boudins en plongée dans les deux plans d'eau. Sur chaque structure (ou réplique), trois boudins ont été descendus délicatement de façon à ce que la portion inférieure (environ 30 cm) de chacun touche au fond. Le quatrième boudin, choisi de façon aléatoire, a été laissé en suspension à environ 1 mètre du fond. Ce boudin « contrôle » fut isolé à l'aide de disques de plastique placés de part et d'autre sur la tige horizontale de support pour empêcher les prédateurs d'y accéder via la structure métallique.

2.1.3 Récolte et échantillonnage

Lors du calage, nous avons échantillonné les boudins pour leur caractérisation initiale (T_0). Nous avons prélevé des sections de 30 cm pour l'analyse. Une semaine après le calage, une première série de boudins (1 par structure x 8 structures par lagune) a été échantillonnée en plongée. Les plongeurs ont délicatement soulevé les boudins et les ont déposés individuellement dans des sacs à maillage fin (type d'oignon) avec les prédateurs présents avant de les remonter à la surface (Photo 2). Les huit répliques échantillonnées ont ensuite été ramenées au laboratoire pour le prélèvement des sections. Une portion de 30 cm fut

prélevée sur la partie inférieure (bas) des boudins, soit celle qui touchait le fond. Une autre portion de 30 cm fut prélevée dans la portion supérieure (haut), soit la partie qui n'était pas en contact direct avec le fond. Nous avons procédé de la même façon pour les deux autres échantillonnages réalisés trois et sept semaines après le calage. À Havre-aux-Maisons, les échantillonnages ont eu lieu le 7 octobre (1 semaine de calage), le 22 octobre (3 semaines de calage) et le 19 novembre (7 semaines de calage). Des suivis vidéo ont été réalisés le lendemain du calage (2 octobre), à la deuxième et à la cinquième semaine. Dans la lagune de Grande-Entré, les échantillonnages ont eu lieu le 8 octobre (1 semaine de calage), le 21 octobre (3 semaines de calage) puis le 18 novembre (7 semaines de calage). Des suivis vidéo ont été réalisés à la deuxième et à la cinquième semaine. Lors du dernier échantillonnage, nous avons de plus récolté les boudins « contrôles » (boudins laissés en suspension).

2.1.4 Analyses

Au laboratoire, les prédateurs présents (étoiles de mer et crabes communs) ont été identifiés et dénombrés. Ensuite, nous avons mesuré la longueur du rayon (bras) de chaque étoile et la largeur de la carapace de chaque crabe commun. Les données sur les prédateurs proviennent donc des boudins en entier, et non seulement des sections échantillonnées de 30 cm.

Nous avons ensuite séparé les moules de 1⁺ an des jeunes moules 0⁺ provenant de la fixation secondaire (< 25 mm) sur chaque section de 30 cm. Les deux groupes ont été pesés et leur volume a ensuite été quantifié. Toutes les moules commerciales (1⁺) ont été dénombrées alors qu'un échantillon représentant 25 % à 100 % du volume des recrues 0⁺ (dépendamment de l'intensité de fixation secondaire) fut conservé au congélateur pour dénombrement ultérieur. Un échantillon minimum de 120 moules a servi à établir la fréquence de taille des différents groupes (sections du bas et du haut). Nous avons aussi noté le nombre de moules de vase et porté attention à la présence de moules moribondes parmi le groupe 1⁺. Un échantillon de 60 moules commerciales par section (bas et haut) fut congelé pour l'évaluation ultérieure du rendement en chair via la masse sèche des tissus. Selon les procédures standards et la formule suivante : Rendement (%) = masse sèche des tissus x 100 / (masse sèche des tissus + poids de coquille). Cette procédure fut répétée lors des différents échantillonnages et ce, pour les deux lagunes.

2.1.5 Évaluation de l'impact sur le rendement commercial

Les boudins mesuraient 1,35 mètres. Trente (30) cm touchait le fond soit 22,2 % du boudin tandis que 105 cm n'était pas en contact direct avec le fond ce qui représente 77,8 % du boudin. Pour établir l'impact sur le rendement commercial, nous avons calculé des valeurs moyennes en pondérant la part relative de chacune des sections de 30 cm analysées.

Pds de moules sur le boudin = (pds section bas x 0,222) + (pds section haut x 0,778)

Pour ne pas multiplier les tests statistiques, nous avons uniquement comparé (1) les parties du bas et du haut des boudins pour chacune des périodes d'échantillonnage à l'aide de t-test pairés et (2) les boudins calés vs les boudins contrôles à la fin de l'expérience. Nous n'avons pas comparé les résultats entre les diverses dates d'échantillonnage. La raison principale

reposait sur le fait qu'en raison de contraintes logistiques, nous ne pouvions compter sur des boudins contrôlés qu'à la fin de l'expérience seulement. Par conséquent, les changements observés entre les dates ne pouvaient pas être imputés directement aux conséquences du calage car ils pouvaient aussi être dus, en partie du moins, à d'autres causes ayant une influence positive ou négative (dégrappage, croissance, ponte,...) au cours de cette période de sept semaines. D'autre part, les différences observées nous sont apparues suffisamment éloquents pour ne pas nécessiter une analyse plus approfondie.

2.2 VOLET – TAILLE REFUGE

2.2.1 Choix de la taille des moules et des crabes expérimentaux

Un échantillonnage réalisé sur des boudins commerciaux le 26 septembre 2003 a permis de déterminer la gamme de taille des moules et crabes qui y étaient présents. Les crabes mesuraient entre 40 et 124 mm (largeur de carapace) et les 2/3 mesuraient entre 60 et 109 mm. Deux classes de taille expérimentale ont alors été retenues : crabes moyens (70-89 mm) et gros crabes (100-119 mm). On n'a pas tenu compte du sexe des crabes lors de leur sélection.

Les moules retrouvées sur les boudins correspondaient à deux groupes distincts : jeunes individus 0⁺ provenant de la fixation secondaire ou « second set » et moules commerciales 1⁺. Les individus du premier groupe mesuraient entre 5 et 25 mm avec le mode principal autour de 7 mm. Ceux du second groupe mesuraient de 34 à 66 mm avec le mode principal autour de 57 mm. Cinq classes de taille expérimentales bien distinctes les unes des autres ont été retenues : 10-15 mm, 20-25 mm, 40-45 mm, 50-55 mm et 60-65 mm. Les deux premiers groupes représentent les moules de la fixation secondaire et les deux derniers, les moules commerciales. Le groupe central, très peu abondant sur les boudins, a été utilisé comme groupe intermédiaire.

Le crabe recherche ses proies par contact tactile et/ou visuel (Hughes et Seed, 1995). Les probabilités de rencontre, et donc les opportunités d'être l'objet de prédation, augmentent donc avec la taille de la moule. Pour éviter de biaiser cette expérience, le nombre de moules offertes a varié en fonction de leur taille. De plus, nous avons voulu nous assurer que les crabes puissent se nourrir *ad libitum*, c.-à-d. qu'aucun d'entre eux ne puisse consommer toutes les moules d'une classe de taille donnée qui lui étaient offertes avant la fin de la période expérimentale. Les moules ont donc été offertes de la façon suivante :

20 moules de 10-15 mm
15 moules de 20-25 mm
7 moules de 40-45 mm
5 moules de 50-55 mm
3 moules de 60-65 mm

Les diverses classes de moules ont d'abord été présentées une à une aux crabes, puis toutes groupées. La composition des groupes de 50 moules était identique à la somme des individus des cinq classes individuelles.

2.2.2 Protocole expérimental de base

Neuf crabes appartenant à chacun des deux groupes (N total =18) ont été placés dans des contenants individuels distribués selon une matrice de 6 rangées x 3 contenants (33 cm x 28 cm avec ~ 14 cm d'eau) dans un bassin alimenté en continu avec de l'eau de mer (Photo 3). Les crabes des deux tailles étaient disposés en alternance pour minimiser tout effet de bassin. Chaque jour, la rangée de contenants située la plus près de l'arrivée d'eau était déplacée à l'extrémité opposée et les autres rangées déplacées en conséquence. De cette façon, l'effet de localisation dans le bassin était encore minimisé davantage. Deux chauffe-eau ont permis de conserver la température de l'eau aux environs de 13-15°C pour toute la durée des expériences. Les expériences se sont déroulées sous une lumière ambiante. Chaque moule n'a été offerte qu'une seule fois aux crabes.

Avant le début de la première expérience, les crabes ont été placés en présence de moules d'environ 30 mm afin de s'assurer que chacun ait eu une expérience préalable de consommation de moules. Les crabes ont ensuite été maintenus à jeun pendant 2-3 jours avant chaque expérience afin de standardiser le mieux possible le niveau d'appétit de chacun.

Des expériences ultérieures sur la taille refuge étaient prévues avec l'étoile de mer commune (*Asterias vulgaris*) et le homard américain (*Homarus americanus*), deux prédateurs abondants aux îles, mais elles n'ont pas été réalisées. En effet, il s'est avéré inopportun de poursuivre cette étude sur la taille refuge puisque les résultats obtenus avec le calage des boudins au fond étaient, de l'avis des mytiliculteurs, suffisamment éloquentes pour montrer le potentiel plutôt limité de cette approche (voir résultats et discussion).

2.2.3 Expérience N° 1 : Potentiel de prédation des crabes à court terme (15 heures)

La première expérience s'est déroulée du 14 au 21 octobre 2003. Elle visait à évaluer le potentiel de prédation des deux classes de crabes sur les différents groupes de moules pendant une courte période (15 heures). Les moules étaient offertes aux crabes, animal nocturne, vers 17 h et récupérées le lendemain à 8h00. Dans la première partie de l'expérience, un des cinq groupes de moules choisi aléatoirement était offert aux crabes chaque jour. Les crabes n'avaient donc aucun choix. La consommation observée nous renseignait sur le potentiel de prédation d'un crabe donné. Le sixième jour, chaque crabe s'est vu offrir simultanément des moules de tous les groupes. Les 50 moules ont été offertes individuellement, c.-à-d. détachées les unes des autres (Photo 4). La consommation observée nous informait, cette fois, sur le potentiel de prédation en présence d'un choix de proies de différentes tailles. Le nombre de moules appartenant à chaque groupe était le même que lors des jours précédents. Finalement, le septième jour, 50 moules appartenant à tous les groupes ont été offertes à chaque crabe mais, cette fois, elles étaient offertes en grappes, c.-à-d. attachées les unes aux autres. Ces groupes ont été formés en maintenant les 50 individus sur un treillis de Nitex (maille de 1 mm) déposé dans une nacelle (une par groupe) dans un bassin alimenté en continu en eau salée. Après trois jours, le Nitex a été enlevé délicatement et les groupes de moules offerts aux crabes. La consommation observée nous renseignait sur le choix de la taille des proies en fonction de la difficulté accrue résultant de la formation de grappes. C'est d'ailleurs la comparaison des patrons de consommation observés avec ou sans choix de proies qui permet de conclure à une certaine forme de

sélection, c.-à-d. à séparer la capacité potentielle de consommation d'un véritable choix (Liska et Underwood, 1990).

2.2.4 Expérience No 2 : Capacité de sélection des proies en 11 jours

La première expérience visait surtout à documenter le potentiel de prédation des crabes. La seconde expérience visait à vérifier la possibilité que les crabes opèrent une sélection de leurs proies quand les conditions le permettent, c.-à-d. en présence des mêmes proies pendant une certaine période. Cette expérience s'est déroulée en deux volets du 23 octobre au 15 novembre 2003. Dans un premier temps, chaque crabe s'est vu offrir un lot de 50 moules détachées. Celles-ci étaient offertes dans les mêmes proportions que précédemment. Chaque matin, pendant 11 jours, les moules étaient récupérées et les coquilles vides retirées. Les moules survivantes étaient détachées, au besoin, et offertes à nouveau aux crabes. De la sorte, il était possible de suivre l'évolution des choix de chaque crabe dans le temps. Dans un second temps, chaque crabe s'est vu offrir à nouveau 50 moules selon les proportions déjà mentionnées, mais, cette fois, elles étaient regroupées en grappes pour augmenter la difficulté du choix et mieux représenter la situation en conditions naturelles. Les groupes ont été formés de la même façon que précédemment mais sur une plus longue période (10 jours) avant de les offrir aux crabes afin d'avoir de grappes plus solides. Aucune manipulation n'a été faite au cours de ces 11 jours pour ne pas altérer la composition des grappes. Les moules ont donc été offertes au premier jour de l'expérience et les survivantes ont été récupérées 11 jours plus tard.

Un gros crabe est mort et quatre crabes de taille moyenne ont mué au cours du deuxième volet de cette expérience. Les résultats concernant ces individus n'ont pas été utilisés. Aucune mue supplémentaire n'a été observée au cours de la semaine qui a suivi la fin de cette expérience.

3.0 RÉSULTATS

3.1 VOLET – CALAGE DES BOUDINS

Nous présentons les résultats par plan d'eau. Tant au niveau de l'évolution de la fixation secondaire que du rendement commercial, nous présentons ces résultats en unité de poids. Pour la fixation secondaire, le poids intègre la taille et le nombre des individus et constitue l'élément à tenir compte pour la flottabilité des lignes. Pour les moules commerciales, le poids représente l'unité de base de l'industrie.

3.1.1 Lagune de Havre-aux-Maisons

3.1.1.1 Évolution du nombre de prédateurs

Une semaine après le calage, les prédateurs étaient déjà présents en grand nombre avec, en moyenne, 16 étoiles de mer et 8 crabes communs par boudin de 1,35 m (Figure 1). Alors que le nombre moyen de crabes par boudin diminuait de façon importante par la suite, le nombre moyen d'étoiles de mer atteignit 36 individus par boudin après trois semaines de calage. La quantité d'étoiles de mer diminuait ensuite de sorte qu'il ne restait que quelques individus par boudin après sept semaines. Aucun crabe ne fut retrouvé sur les boudins contrôlés récupérés à la fin de l'expérience tandis qu'on dénombra en moyenne une étoile par boudin.

3.1.1.2 Diminution de la fixation secondaire

Les prédateurs ont eu un effet clair sur l'élimination de la fixation secondaire. En effet, dès la première semaine, il y a eu une diminution d'environ 65 % du poids du naissain sur la section du bas (calée au fond) et près de 50 % sur le reste du boudin (Figure 2). La diminution moyenne du poids du naissain atteignit environ 90 % après trois semaines et plus de 95 % après sept semaines. Les deux portions des boudins calés affichaient des résultats similaires lors de ces deux derniers suivis. En parallèle, le poids du naissain a augmenté substantiellement sur les boudins contrôlés tenus éloignés du fond. Les moules 0⁺ ont poursuivi leur croissance pendant la période expérimentale et le poids moyen de cette nouvelle cohorte de moules a presque doublé en 7 semaines, passant de 0,44 kg au début de l'expérience à 0,83 et 0,85 kg / 30 cm pour les sections du bas et du haut de ces boudins, respectivement, en fin d'expérience.

3.1.1.3 Impact sur le rendement commercial

Les prédateurs n'ont pas seulement eu un impact sur la fixation secondaire (0⁺) mais aussi sur les moules 1⁺ (Figure 3). Ainsi, les pertes moyennes en moules commerciales (1⁺) étaient de l'ordre de 27 % (moyenne pondérée pour les deux portions des boudins) après une semaine de calage passant de 2,11 à 1,54 kg. Pour cette période, aucune différence significative ne fut notée entre les parties (haut et bas) des boudins calés ($t = 0,87$; $dl = 7$; $P = 0,41$).

L'abondance de prédateurs observée à la troisième semaine de calage se reflète sur les moules 1⁺ avec des pertes moyennes de 59 % (de 2,11 à 0,87 kg) pour l'ensemble du boudin (Figure 3). Une différence significative fut notée entre les portions du haut et du bas des boudins calés pendant toute cette période ($t = -6,18$; $dl = 7$; $P = 0,0005$). Les pertes dans la portion du bas des boudins ont atteint près de 95 %.

La dégringolade se poursuit jusqu'à la septième semaine avec une diminution moyenne de 76 % du poids des moules 1⁺ par rapport au temps T_0 (de 2,11 à 0,50 kg). Bien que moins importantes, les pertes de moules 1⁺ sur les portions de boudins qui ne touchaient pas directement au fond (calé-haut) ont été non-négligeables et en hausse constante avec le temps. Ainsi, on a pu déceler une différence significative entre les portions du bas et celles du haut ($t = -2,74$; $dl = 6$; $P = 0,03$).

La très grande majorité des pertes sont associées à la forte présence d'étoiles de mer. C'était de loin les prédateurs les plus abondants (Figure 1) et beaucoup de moules entrouvertes et vides (coquilles non broyées) ont été retrouvées sur les boudins; une indication de la prédation par les étoiles de mer (Photo 5).

Les boudins contrôles, quant à eux, ont subi des pertes minimales par « dégrappage naturel » qui ont été probablement dues à la manipulation et à la surcharge imposée par la fixation secondaire. Alors qu'on aurait pu s'attendre à une augmentation de leur poids en raison de la croissance des moules pendant l'expérience, les valeurs associées aux deux portions des boudins contrôles sont demeurées équivalentes à celles mesurées au temps T_0 . Ainsi, le poids moyen des moules 1⁺ était de 2,13 et 1,76 kg / 30 cm pour les deux portions (bas et haut respectivement) à la fin de l'expérience comparativement à 2,11 kg / 30 cm au début de l'expérience.

Quoi qu'il en soit, en comparant les contrôles avec les boudins calés pendant 7 semaines, on observe des différences significatives tant pour les portions du bas que pour les portions du haut : calé-bas vs contrôle-bas ($t = 12,1$; $dl = 7$; $P < 0,0001$); calé-haut vs contrôle-haut ($t = 4,9$; $dl = 7$; $P = 0,002$).

3.1.1.4 Impact sur la croissance

Au temps T_0 , lors du calage, la taille moyenne des moules 1⁺ était de $55,8 \pm 0,4$ mm. Sept (7) semaines plus tard, la taille moyenne des moules des boudins contrôles (non-calés) était de $59,7 \pm 0,4$ mm pour une croissance d'environ 4 mm pour la période expérimentale. Quant à eux, les boudins calés ont eu une croissance ralentie puisque la taille moyenne des moules ne se situait qu'à $56,7 \pm 0,4$ mm après 7 semaines, soit à peine 1 mm de plus qu'au temps T_0 .

Rappelons que le bas des boudins, en contact direct avec le fond, était presque complètement dégarni. Les moules ayant servies à calculer la taille moyenne après 7 semaines de calage provenaient donc des sections du haut, lesquelles n'étaient pas directement au fond mais en contact avec les prédateurs. Leur simple présence a donc semblé induire un ralentissement de croissance notable. À moins que ce ne soit dû à des pertes (dégrappages) au niveau des moules de plus grande taille.

3.1.1.5 Impact sur le rendement en chair

Le rendement en chair moyen au temps T_0 , établi à partir des masses sèches, était de $18,9 \pm 0,4$ %. De façon surprenante, après 7 semaines, les moules encore présentes sur les boudins calés affichaient un rendement de $21,3 \pm 0,5$ %, ce qui était très comparable au rendement obtenu à partir des moules sur les boudins contrôles, c.-à-d. $22,7 \pm 0,4$ %.

3.1.1.6 Impact sur la qualité

Aucune moule moribonde n'a été décelée tout au long du projet et aucune moule de vase ne fut détectée au cours de l'échantillonnage de la première semaine de calage. Après trois semaines de calage toutefois, nous avons compté en moyenne $2,8 \pm 0,5$ moules de vase sur les sections de boudins calés au fond, ce qui semble non-négligeable pour l'industrie de la transformation. Une seule moule de vase a été retrouvée sur l'ensemble des huit sections du haut. Le nombre de moules de vase sur les sections au fond a diminué à $1,0 \pm 0,6$ moules après sept semaines, probablement en raison du détachement de ces moules mortes du boudin. Les sections du haut comptaient alors $0,8 \pm 0,4$ moules de vase par section de 30 cm en moyenne ce qui va de pair avec la mortalité importante notée à cette période (3.1.1.3). Pour les boudins contrôles, une seule moule de vase a été décelée sur l'ensemble des sections analysées.

3.1.2 Lagune de Grande-Entrée

3.1.2.1 Évolution du nombre de prédateurs

Une semaine après le calage, le nombre de prédateurs était limité avec en moyenne 3,4 crabes et 2,1 étoiles de mer par boudin de 1,35 m (Figure 4). Ces valeurs sont très inférieures aux quantités retrouvées sur les boudins calés dans la lagune du Havre-aux-Maisons (Figure 1). Toutefois, comme pour la lagune du Havre-aux-Maisons, le nombre de crabes diminua après trois semaines pour atteindre 2,4 individus par boudin tandis que le nombre d'étoiles de mer augmenta à 3,9 individus par boudin. Après sept semaines, il restait moins d'un crabe en moyenne par boudin alors que le nombre d'étoiles de mer demeurait relativement stable. À une exception près, aucun prédateur n'atteignit les boudins contrôles. Visiteurs inattendus, des homards ont été observés à quelques occasions et l'impact de leur présence a été clairement noté par les plongeurs et observé avec les images vidéo.

3.1.2.2 Diminution de la fixation secondaire

Au départ, l'intensité de la fixation secondaire était relativement faible à Grande-Entrée avec environ $0,06$ kg / 30 cm comparativement à près de $0,45$ kg / 30 cm sur les boudins de la lagune du Havre-aux-Maisons. La fixation secondaire diminua avec le temps sur les boudins calés au fond, autant sur les sections touchant directement au fond que sur celles n'y touchant pas (Figure 5). Sur les sections calées au fond, tout avait pratiquement disparu après trois semaines. En parallèle, le poids de la nouvelle cohorte de moules sur les boudins contrôles a été multiplié par cinq au cours de la période expérimentale pour atteindre autour de $0,30$ kg / 30 cm à la septième semaine.

3.1.2.3 Impact sur le rendement commercial

Une semaine après le calage, les portions du bas des boudins calés étaient déjà presque complètement dénudées de toutes leurs moules, tant les 0⁺ que les 1⁺ (Photo 6). Ceci a induit une erreur au niveau des repères pour la localisation de la prise d'échantillon du dernier 30 cm de boudin, l'échantillon étant alors plutôt prélevé plus loin, c.-à-d. là où commençait la présence de moules. Nous avons dû appliquer un facteur de correction à ces valeurs pour tenir compte de cette portion de boudins ignorée, ce qui explique l'absence de barre d'erreur sur la moyenne après une semaine de calage (Figure 6). Cette diminution s'est poursuivie sur la section du bas des boudins calés qui ne comptait plus en moyenne à la troisième semaine que 0,23 kg / 30 cm de moules commerciales comparativement à 1,35 kg / 30 cm au temps T₀; soit une perte de 83 %. La portion du haut de ces boudins resta toutefois relativement intacte puisque la différence avec la portion du bas est demeurée significative ($t = -6,6$; $dl = 7$; $P = 0,0003$). Tel qu'il apparaît à la figure 6, cette différence entre les sections du haut et du bas des boudins calés s'est accrue à la septième semaine de calage ($t = -12,6$; $dl = 7$; $P < 0,0001$).

Le rendement (poids moyen pondéré) par rapport aux boudins initiaux (T₀) diminua respectivement de 12%, 17% et 9% à 1, 3 et 7 semaines. Cette perte est principalement associée à la partie au fond qui fut complètement éliminée par le homard et dans un moindre degré par les étoiles de mer et les crabes communs. Par conséquent, malgré des pertes rapides et très importantes dans les sections du bas, la croissance et le maintien des quantités de moules commerciales dans les sections du haut des boudins rendent les diminutions de rendement peu importantes.

L'image est différente quand on compare avec les boudins contrôles à la fin de l'expérience (après 7 semaines). Ainsi, en pondérant l'apport relatif des sections du haut et du bas, on note une diminution de 42 % du rendement de moules commerciales (2,15 vs 1,24 kg / 30 cm sur les boudins calés comparativement aux contrôles. La chute du rendement est accentuée par la croissance qui se poursuit sur les boudins non calés. Tout comme à Havre-aux-Maisons, le rendement offert tant par les portions du bas que les portions du haut étaient significativement différentes entre les traitements : calé-bas vs contrôle-bas ($t = 19,7$; $dl = 7$; $P < 0,0001$); calé-haut vs contrôle-haut ($t = 4,5$; $dl = 7$; $P = 0,003$).

3.1.2.4 Impact sur la croissance

La différence de rendement en poids de moules commerciales (1⁺) peut s'expliquer en partie par la différence de croissance observée entre les moules sur les boudins calés et celles sur les boudins contrôles. En effet, à la fin de l'expérience, après sept semaines, la taille moyenne des moules sur les boudins calés était de $56,7 \pm 0,5$ mm comparativement à $60,1 \pm 0,4$ mm sur les boudins contrôles. La taille initiale moyenne des moules était de $51,8 \pm 0,5$ mm ce qui suggère une forte croissance pour les moules des boudins contrôles pendant la période expérimentale et une croissance non-négligeable pour les moules du haut des boudins calés.

3.1.2.5 Impact sur le rendement en chair

Le rendement en chair moyen au temps T_0 , établi à partir des masses sèches, était de $20,0 \pm 0,3$ %. Après 7 semaines, les moules 1⁺ des boudins contrôles affichaient un rendement de $23,0 \pm 0,4$ %. L'échantillon correspondant aux boudins calés pour cette période fut perdu. Toutefois, l'analyse de rendement à la troisième semaine montrait une tendance à la hausse avec une valeur moyenne de $21,5 \pm 0,4$ %. Pour les raisons déjà mentionnées, nous n'avons pas réalisé d'autres analyses comparatives.

3.1.2.6 Impact sur la qualité

Pendant toute la durée de l'expérience, une seule moule de vase a été décelée et aucune moule moribonde n'a été observée sur l'ensemble des sections calées.

3.2 VOLET – TAILLE REFUGE

3.2.1 Potentiel de prédation des crabes à court terme (15 heures)

En absence de choix de proies (quand une seule classe de taille de moules était offerte à la fois), il n'a pas été possible de différencier le comportement des moyens et des gros crabes au niveau de leur consommation de moules (Figure 7). En effet, il n'y a pas eu de différence significative (tests non-paramétriques Wilcoxon) entre les deux groupes de crabes pour ce qui concerne la quantité moyenne de moules consommées pour chacune des classes de taille (tous les $P \geq 0,17$). Les crabes ont surtout consommé des moules de petite taille (10-25 mm) mais ils se sont aussi attaqués avec un peu de succès aux moules de taille commerciale (≥ 50 mm). Des 309 moules consommées, six (6) appartenaient à la classe de taille 50-55 mm et deux (2) seulement à celle de 60-65 mm. Seuls les gros crabes ont pu s'attaquer avec succès aux plus grosses moules (≥ 60 mm). Il est normal que la consommation de grosses moules soit plus limitée sur une période de 15 heures compte tenu (1) du plus long temps de manutention nécessaire pour briser la coquille et (2) de la quantité de chair obtenue en cas de succès. Les crabes, surtout les plus gros, ont donc la capacité de s'attaquer aux moules commerciales.

La situation a changé quelque peu quand les crabes ont pu choisir parmi une gamme de cinq classes de taille de proies; que celles-ci leur soient présentées sous une forme individualisée (moules détachées) ou groupée (en grappes). Les crabes ont alors montré une préférence envers les plus petites moules. Ainsi, aucune moule de 60-65 mm n'a été consommée et ce, peu importe la taille des crabes (Figures 8 et 9). Quand les moules n'étaient pas attachées ensemble, seuls les gros crabes (100-119 mm) se sont attaqués avec succès aux moules de 50-55 mm. Quand les moules étaient offertes sous forme de grappes, seuls les gros crabes ont consommé des moules ≥ 40 mm (Figure 9). On peut comparer la répartition des moules consommées à l'aide de tableaux de contingence mais il faut d'abord fusionner les classes de taille de moules en deux grands groupes (10-25 mm et 40-65 mm) pour satisfaire les exigences des tests de χ^2 au sujet des fréquences attendues. Ces deux grands groupes sont représentatifs des moules de fixation secondaire pour le premier (10-25 mm) et des moules pré-commerciales et commerciales pour le second (40-65 mm). On constate alors qu'il n'y a pas eu de différence entre les deux groupes de crabes lorsque les moules étaient présentées

sous forme individuelle (Test exact de Fisher : $P = 0,14$). Par contre, il y a eu une différence significative (Test exact de Fisher : $P = 0,04$) quand les moules ont été présentées en grappes. Ce dernier résultat n'est pas trop surprenant compte tenu que les crabes moyens n'ont consommé aucune moules de la catégorie 40-65 mm.

Compte tenu de la différence relativement ténue entre la consommation des deux groupes (petits et gros) de crabes au cours de cette expérience, nous avons regroupé ensemble les résultats de tous les individus pour comparer la consommation observée avec ou sans choix de proies. Ceci avait simplement pour objectif d'examiner les grandes tendances de consommation. Il n'y a pas eu de différence entre la répartition des moules consommées quand elles étaient offertes sans choix ou offertes en groupes mais individualisées ($\chi^2 = 0,55$; dl = 2; $P = 0,76$). Par contre, le patron de consommation semble avoir changé un peu avec les moules en grappes comparativement aux moules offertes sans possibilité de choix. Lorsque présentées en grappes, c.-à-d. attachées à l'ensemble des moules offertes, les moules de 10-15 mm ont été moins consommées que ce qui aurait été attendu ($\chi^2 = 7,02$; dl = 2; $P = 0,03$). Ceci pourrait être dû au fait qu'elles sont plus difficiles à détecter et à atteindre lorsqu'elles sont attachées parmi de plus grosses moules. Ce résultat doit cependant être nuancé puisque la valeur P obtenue n'est pas significative après l'application d'une correction Bonferroni (α ajusté à 0,02 au lieu de 0,05) pour maintenir un seuil α global = 0,05 pour l'ensemble des comparaisons. La répartition des moules consommées n'a pas varié significativement en situation de choix; que les moules soient présentées individualisée ou en grappes ($\chi^2 = 5,56$; dl = 2; $P = 0,06$).

Pour faciliter l'examen des résultats, on a regroupé les moules en trois grands groupes : fixation secondaire (10-15 mm et 20-25 mm), moules commerciales (50-55 mm et 60-65 mm) et les autres (40-45 mm). Peu importe le mode de présentation, les crabes ont exercé une nette préférence envers les petites moules de la fixation secondaire (10-25 mm) comparativement aux moules de taille commerciale (50-65 mm); que les résultats soient examinés en terme de nombre de proies consommées ou du volume qu'elles représentaient.

Bien que les petites moules de fixation secondaire représentaient 70 % des rations offertes, elles ont constitué 87-100 % du nombre d'individus consommés (Tableau 1). Les moules commerciales qui représentaient 16 % du nombre offert n'ont été consommées que dans une proportion < 5 %. Les moules de taille intermédiaire qui représentaient 14 % des individus offerts ont été consommés variant entre 0 et 11 %. En fait, les deux groupes de crabes ont consommé les moules appartenant des différents groupes en proportion différente que ce qui leur était offert (tous les $\chi^2 \geq 8,31$; dl = 2; $P \leq 0,02$), sauf dans le cas des gros crabes à qui on a offert les moules individualisées ($\chi^2 \geq 5,59$; dl = 2; $P \leq 0,06$).

La comparaison des nombres peut masquer partiellement la réalité puisqu'une petite moule est beaucoup moins volumineuse qu'une plus grande. Dans un contexte de choix de consommation tactile et visuel, c'est un élément qui a son importance quand on pense, par exemple, que le volume d'une moule de 10 mm est d'environ 0,11 mm³ tandis que celui d'une moule de 65 mm est 170 fois plus important avec environ 19 mm³. Le volume de moules de 10 à 65 mm a été estimé par le déplacement d'eau dans un cylindre gradué et a fourni la relation suivante :

$$\text{Volume (mm}^3\text{)} = 2,33 \times 10^{-4} \text{ Taille (mm)}^{2,71} \text{ (R}^2 = 0,97 \text{ ; N} = 77\text{)}$$

Le volume des moules d'une classe de taille donnée a été estimé à partir de la taille moyenne de cette classe (par exemple, 12,5 pour la classe 10-15 mm, 22,5 mm pour la classe 20-25 mm, etc.). Bien qu'elles ne représentaient qu'environ 12 % du volume total de la ration offerte, les moules de fixation secondaire consommées par les crabes moyens représentaient 81-100 % du volume total des moules consommé, soit 6-8 fois leur proportion dans la ration offerte (Tableau 2). L'image est différente avec les gros crabes > 100 mm. Les moules de la fixation secondaire ont représenté 32-48 % du volume consommé, soit 3-4 fois leur proportion dans la ration offerte. Cependant, 21-33 % du volume de moules consommé par les gros crabes appartenait à la catégorie des moules commerciales qui représentaient 62 % du volume offert. Aussi, il n'est pas surprenant que toutes les comparaisons effectuées indiquent que les crabes (moyens et gros) ont consommé les différents groupes de moules en proportion différente du volume respectif qui leur était présenté; que les moules aient été offertes en groupes ou individualisées (tous les $\chi^2 \geq 57,17$; dl = 2; $P < 0,0001$).

3.2.2 Potentiel de prédation des crabes à long terme (11 jours)

L'évolution de la consommation des deux groupes de crabes fut similaire au cours des 11 jours que dura l'expérience (Figure 10 a et b) quand les groupes de moules furent présentées sous forme individuelle (détachées les unes des autres). Il n'est donc pas surprenant qu'au bout de 11 jours, la consommation cumulée des deux groupes de crabes était similaire quant à la répartition des proies (Figure 11 a; $\chi^2 = 0,58$; dl = 2; $P = 0,75$). Seules sept (7) des 388 moules consommées mesuraient ≥ 50 mm et aucune n'appartenait à la classe de taille 60-65 mm.

Quand les moules ont été présentées en grappes pendant une période de 11 jours, il n'a pas été davantage possible de distinguer entre les deux groupes de crabes (Figure 11 b; $\chi^2 = 4,18$; dl = 3; $P = 0,24$) au niveau de la répartition des proies utilisées. Seules dix (10) des 293 moules consommées mesuraient ≥ 50 mm et trois (3) appartenait à la classe de taille 60-65 mm. Seuls les gros crabes ont pu s'attaquer aux plus grosses moules (≥ 50 mm). En l'absence de différences significatives, les résultats obtenus pour tous les crabes ont été regroupés pour comparer la consommation en fonction du mode de présentation des proies. Le profil de la consommation des moules fut le même selon que les moules ont été présentées en grappes ou séparées les unes des autres (Figure 12; $\chi^2 = 5,10$; dl = 4; $P = 0,28$).

Les crabes ont, encore une fois, exercé une préférence envers les petites moules de la fixation secondaire (10-25 mm) comparativement aux moules de taille commerciales (50-65 mm); que les résultats soient examinés en terme de nombre de proies consommées ou du volume qu'elles représentaient. Cette sélection fut toutefois moins forte que lors de l'expérience à court terme. Bien que les petites moules de fixation secondaire représentaient 70 % des rations offertes, elles ont constitué 80-90 % du nombre d'individus consommés (Tableau 3). Les moules commerciales qui représentaient 16 % du nombre offert n'ont été consommées que dans une proportion < 5 %. Les moules pré-commerciales ont été consommées dans une proportion équivalente, 8-15 %, à celle qui était offerte aux crabes (14 %). Toutes les comparaisons effectuées indiquent que les crabes (moyens et gros) ont consommé les différents groupes de moules en proportion différente de ce qui leur était présenté; que les moules aient été offertes en groupes ou individualisées (tous les $\chi^2 \geq 16,75$; dl = 2; $P \leq 0,0002$).

La plus grande différence entre la consommation à court (15 h) et à long terme (11 j) se situe au niveau du volume des moules consommées par les crabes moyens qui ont eu le temps de s'attaquer avec succès à des moules de plus grande taille que précédemment. Ainsi, bien que les moules de fixation secondaire (10-25 mm) représentaient environ 12 % du volume total de la ration offerte, elles représentaient > 80 % du volume total des moules consommées par les crabes moyens après 15 h et 40-45 % après 11 jours (Tableaux 2 et 4). De plus, les crabes moyens n'ont consommé aucune moule commerciale sur une période de 15 heures, tandis qu'elles représentaient 9-15 % du volume de moules consommé après 11 jours. Une sélection importante a aussi eu lieu aux dépens des moules pré-commerciales (40-45 mm) après 11 jours. Ces moules représentaient 39-50 % du volume des proies consommées par les deux groupes de crabes alors que leur proportion n'était que de 26 % dans la ration offerte. Encore une fois, toutes les comparaisons effectuées indiquent que les crabes (moyens et gros) ont consommé les différents groupes de moules en proportion différente du volume respectif qui leur était présenté; que les moules aient été offertes en groupes ou individualisées (tous les $\chi^2 \geq 128,58$; $dl = 2$; $P < 0,0001$).

4.0 DISCUSSION

Le calage des boudins permet d'éliminer en bonne partie les moules de la fixation secondaire (0⁺) en moins d'une semaine. Un examen en plongée effectué à Havre-aux-Maisons montra d'ailleurs que les prédateurs étaient déjà présents en quantité non-négligeable le lendemain du calage: 9 crabes et 6 étoiles de mer par boudin de 1,35 m. Cependant, le calage des boudins sur le fond entraîne une diminution importante du rendement commercial (poids des moules 1⁺). Les pertes touchent même l'ensemble du boudin même si seulement une portion touche le fond. Il y a donc un prix à payer au niveau de la production commerciale quand les boudins touchent au fond pendant une certaine période de temps. Remettre les boudins en suspension dans la colonne d'eau après seulement un ou deux jours pourrait-il permettre de limiter les pertes dues aux étoiles tout en assurant une élimination significative de la fixation secondaire?

Contrairement à nos attentes initiales, les pertes ont été principalement associées aux étoiles de mer plutôt qu'aux crabes communs. En fait, l'abondance des crabes a atteint son maximum après une semaine de calage pour diminuer par la suite. Ce patron a été observé dans les deux lagunes. La présence des étoiles de mer a augmenté avec le temps pour atteindre un maximum après trois semaines de calage dans les deux plans d'eau. La différence au niveau de la densité des étoiles à cette période (36,4 ind. / boudin calé à HAM vs 3,9 ind./ boudin calé à GE) suffit probablement à expliquer les différences de rendement commercial observées au niveau des deux plans d'eau. D'ailleurs, la croissance plus lente des moules sur les boudins à Havre-aux-Maisons comparativement à Grande-Entrée est peut-être partiellement attribuable à cette abondance environ 10 fois plus grande des étoiles de mer. L'abondance des étoiles sur les boudins pourrait avoir provoqué une réaction négative des moules.

Un autre élément important à considérer est la présence importante de homards dans la lagune de Grande-Entrée. Les images vidéos laissent croire que se sont probablement eux qui ont décimé presque complètement la partie des boudins en contact direct avec le fond dans cette lagune. Le homard, contrairement au crabe, ne peut pas grimper sur les boudins et nettoyer la fixation secondaire sur la portion éloignée du fond. Toutefois, ses fortes pinces lui permettent d'éliminer presque totalement les moules qui lui sont accessibles, peu importe leur taille. Ceci permettrait d'expliquer que les portions des boudins de la lagune de Grande-Entrée touchant directement au fond ont été complètement dégarnies tandis que les sections éloignées du fond ont été très peu touchées. Aucun homard n'a été observé à proximité des boudins dans la lagune du Havre-aux-Maisons.

Une étude antérieure, réalisée en mai 2001 à Havre-aux-Maisons, a montré que la fixation secondaire, même à des niveaux élevés (jusqu'à 9 kg / m), n'entraînait pas de ralentissement de croissance en longueur des moules 1⁺. Ces moules avaient pourtant été mises en boudins 18 mois plus tôt et avaient subi les effets de la fixation secondaire pendant près d'un an, c.-à-d. d'août à mai suivant (Bourque et Myrand 2003). Le seul impact négatif mesuré était une diminution de rendement en chair lorsque l'intensité de la fixation secondaire dépassait 5 kg / mètre de boudin. Peu de chutes de moules (fall-off) avait alors été observé. Il semblerait donc que même après un calage de courte durée, les effets négatifs sur la production commerciale soient supérieurs aux pertes que pourrait éventuellement causer la présence de fixation secondaire. Rappelons que dans la présente étude, la fixation secondaire n'a été présente sur les boudins que pendant 3-4 mois, d'août à novembre.

Le calage des lignes n'est donc probablement pas une intervention nécessaire aux Îles-de-la-Madeleine où les moules atteignent rapidement la taille commerciale et peuvent être récoltées 12-18 mois seulement après le boudinage. Dans cette situation, une seule cohorte de fixation secondaire peut se fixer sur les boudins (pendant l'été suivant le boudinage) et les jeunes moules n'ont pas le temps de croître suffisamment pour causer des problèmes avant la récolte qui commence dès octobre et se poursuit jusqu'au début de l'été suivant. Cette observation fait toutefois abstraction des problèmes de dégrappage de moules (fall-off) pouvant résulter d'une surcharge en poids au moment de la récolte lorsque celle-ci est retardée jusqu'au deuxième été afin de satisfaire le marché local.

Le calage prolongé (à partir de 3 semaines) semble avoir un impact sur la présence de moules de vase. La différence observée dans les deux plans d'eau s'explique probablement par le type de prédation observée. À Grande-Entrée, les coquilles de moules ont été broyées par les homards et crabes et il y a donc peu de chance d'observer des moules remplies de vase. À Havre-aux-Maisons, la prédation était due en bonne partie aux étoiles de mer dont le mode de prédation est basé sur l'ouverture de la moule. Ce mode de prédation laisse donc la coquille intacte qui peut s'emplier de vase. Ceci pourrait expliquer la présence plus importante de moules de vase dans ce plan d'eau.

Les résultats obtenus en laboratoire sur la consommation des crabes communs sont très instructifs bien qu'ils ne soient pas, comme prévu initialement, les principaux prédateurs des moules sur les boudins. Ce sont néanmoins des prédateurs fréquents et assez abondants. D'une part, il semble que seuls les plus gros crabes (> 100 mm) peuvent s'attaquer aux moules de 60-65 mm. En fait, aucun crabe de taille moyenne (70-89 mm) n'a été en mesure de s'attaquer avec succès à ces grosses moules au cours des diverses expériences. Par contre, les deux groupes de crabes peuvent s'attaquer aux moules commerciales de plus petite taille (50-55 mm) bien que les plus gros crabes aient plus de succès que les crabes moyens. Les moules commerciales ne sont donc pas complètement à l'abri de la prédation des crabes malgré leur taille. Toutefois, il est clair que les crabes exercent une sélection importante aux dépens des moules de petite taille (10-25 mm); celles correspondant à la fixation secondaire sur les boudins. Les moules pré-commerciales (40-45 mm) font aussi l'objet d'une prédation sélective, surtout quand elles sont en présence des crabes pendant une certaine période. Prédateurs efficaces et sélectifs des petites moules, les crabes peuvent donc être utilisés pour nettoyer les boudins commerciaux des moules de la fixation secondaire par calage des boudins sur le fond. Il faut cependant assumer qu'il y aura certaines pertes, probablement mineures, au niveau de la production commerciale. Ces pertes risquent toutefois d'être plus importantes si des étoiles de mer sont abondantes dans la zone d'élevage.

5.0 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

À la lumière de la présente étude, et en supposant qu'il y ait une certaine constance d'année en année au niveau de la présence (qualitative et quantitative) des prédateurs dans les deux plans d'eau, nous pouvons conclure :

Pour la lagune de Havre-aux-Maisons :

La présence très importante d'étoiles de mer comparativement aux crabes communs, même après une courte période de calage (1 semaine), cause problème car les étoiles demeurent davantage sur les boudins que les crabes après la remontée dans la colonne d'eau. Se faisant, elles peuvent poursuivre une importante activité prédatrice après la fin de l'opération de calage. Leur mode de prédation leur permet aussi de s'attaquer à des moules de grande taille. La diminution constante du rendement commercial, en parallèle à l'élimination de la fixation secondaire, rend l'opération de calage peu intéressante pour les périodes visées par l'étude.

Pour la lagune de Grande-Entrée :

Il y a une élimination rapide de toutes les moules qui touchent directement au fond; une élimination restreinte à ces portions de boudins. Cette particularité résulte probablement de l'abondance des homards comme prédateurs. Ainsi, le rendement commercial sur le reste des boudins (portion ne touchant pas directement au fond) demeure relativement satisfaisant.

Pour les deux plans d'eau :

La fixation secondaire est surtout éliminée au cours de la première semaine de calage. Toute opération de calage devrait être limitée à une courte durée, c.-à-d. moins d'une semaine. L'utilisation de cette méthode, limitée à une période de quelques jours seulement pour être efficace, pourrait éventuellement causer des contraintes logistiques importantes à un mytiliculteur qui aurait à caler et remonter une quantité importante de lignes en si peu de temps.

Le calage des lignes n'est pas recommandé si la récolte est prévue à l'automne, c.-à-d. environ un an après le boudinage et seulement quelques mois après l'apparition de la fixation secondaire. Les moules commerciales ont atteint une taille qui les met à l'abri de la prédation par les crabes lors de la récolte printanière, dix-huit mois après le boudinage et presque un an après l'arrivée de la fixation secondaire. Il a aussi été démontré que l'impact de la fixation secondaire aux Îles-de-la-Madeleine est relativement limité, même en mai (Bourque et Myrand 2003). En fait, on devrait alors plutôt chercher à limiter les chutes par dégrappage (fall-off) lors de la récolte à ce moment du cycle de production.

Pour le transfert de ces résultats à d'autres régions:

La différence observée entre deux plans d'eau du même territoire laisse supposer que les résultats doivent être utilisés ailleurs avec prudence.

6.0 REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les deux entreprises mytilicoles des Îles-de-la-Madeleine, en l'occurrence Les Moules de Culture des Îles inc. et Grande-Entrée Aquaculture inc. pour leur contribution au projet ainsi que le personnel de la Station technologique maricole des Îles impliqué dans sa réalisation : Francine Aucoin, Jules Arseneau, François Gallien, Jacques Richard, Jean-Guy Turbide, Yvon Chevarie, Marie-Hélène Leblanc et Marie-Andrée Leblanc. Merci également à Marcel Roussy et Benoit Thomas pour la révision scientifique ainsi qu'à Lucie Poirier et Nancy Godin pour la révision linguistique et la mise en page du document.

7.0 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bourque, F. et B. Myrand. 2003. *Impacts of secondary set on growth and yield of commercial blue mussels (Mytilus edulis) in Îles-de-la-Madeleine (Québec)*. AAC Spec. Publ. Number 6: 31-34.

Hughes, R.N. et R. Seed. 1995. *Behavioural mechanism of prey selection in crabs*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 193: 225-238.

Liszka, D. et A.J. Underwood. 1990. *An experimental design to determine preferences for gastropod shells by a hermit-crab*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 137: 47-62.

Tableau 1 : Proportion du nombre de moules consommées par les crabes en comparaison de leur proportion dans l'ensemble de la ration offerte. Moules offertes pendant une période de 15 heures. Les moules ont été divisées en trois groupes pour faciliter l'examen et l'interprétation des résultats.

Moules	Proportion du nombre total offert	Type de présentation avec choix	Proportion consommée par crabes moyens de 70-89 mm	Proportion consommée par gros crabes de 100-119 mm
10-25 mm (fixation secondaire)	70 %	50 individus Groupe de 50	97,8 % 100 %	90,7 % 86,5 %
40-45 mm	14 %	50 individus Groupe de 50	2,2 % 0 %	4,6 % 10,8 %
50-65 mm (moules commerciales)	16 %	50 individus Groupe de 50	0 % 0 %	4,7 % 2,7 %

Tableau 2 : Proportion du volume de moules consommées par les crabes en comparaison de leur proportion dans l'ensemble de la ration offerte. Moules offertes pendant une période de 15 heures. Les moules ont été divisées en trois groupes pour faciliter l'examen et l'interprétation des résultats.

Moules	Proportion du volume total offert	Type de présentation avec choix	Proportion consommée par crabes moyens de 70-89 mm	Proportion consommée par gros crabes de 100-119 mm
10-25 mm (fixation secondaire)	12 %	50 individus Groupe de 50	81,2 % 100 %	48,8 % 32,1 %
40-45 mm	26 %	50 individus Groupe de 50	18,8 % 0 %	18,5 % 47,0 %
50-65 mm (moules commerciales)	62 %	50 individus Groupe de 50	0 % 0 %	32,7 % 20,9 %

Tableau 3 : Proportion du nombre de moules consommées par les crabes en comparaison de leur proportion dans l'ensemble de la ration offerte. Moules offertes pendant une période de 11 jours. Les moules ont été divisées en trois groupes pour faciliter l'examen et l'interprétation des résultats.

Moules	Proportion du nombre total offert	Type de présentation avec choix	Proportion consommée par crabes moyens de 70-89 mm	Proportion consommée par gros crabes de 100-119 mm
10-25 mm (fixation secondaire)	70 %	50 individus Groupe de 50	87,4 % 89,8 %	87,8 % 80,5 %
40-45 mm	14 %	50 individus Groupe de 50	11,4 % 8,3 %	9,9 % 15,3 %
50-65 mm (moules commerciales)	16 %	50 individus Groupe de 50	1,2 % 1,9 %	2,3 % 4,2 %

Tableau 4 : Proportion du volume de moules consommées par les crabes en comparaison de leur proportion dans l'ensemble de la ration offerte. Moules offertes pendant une période de 11 jours. Les moules ont été divisées en trois groupes pour faciliter l'examen et l'interprétation des résultats.

Moules	Proportion du volume total offert	Type de présentation avec choix	Proportion consommée par crabes moyens de 70-89 mm	Proportion consommée par gros crabes de 100-119 mm
10-25 mm (fixation secondaire)	12 %	50 individus Groupe de 50	41,0 % 45,5 %	41,5 % 25,9 %
40-45 mm	26 %	50 individus Groupe de 50	49,7 % 39,3 %	42,4 % 46,0 %
50-65 mm (moules commerciales)	62 %	50 individus Groupe de 50	9,3 % 15,2 %	16,1 % 28,1 %

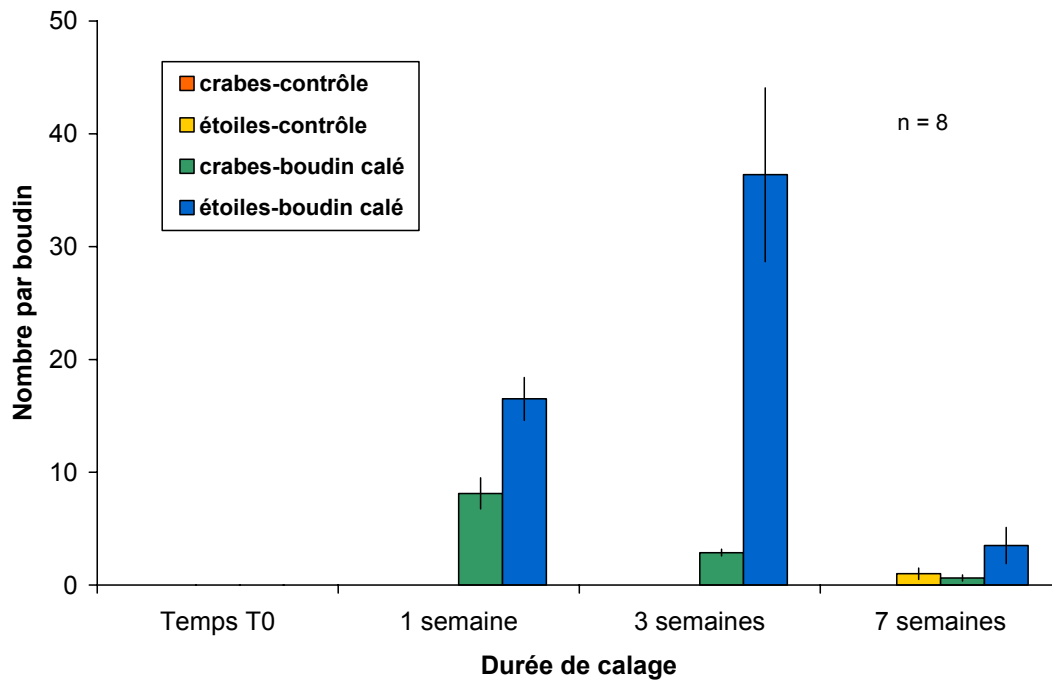


Figure 1 : Évolution du nombre de prédateurs (moyenne \pm é.-t. m.) à Havre-aux-Maisons

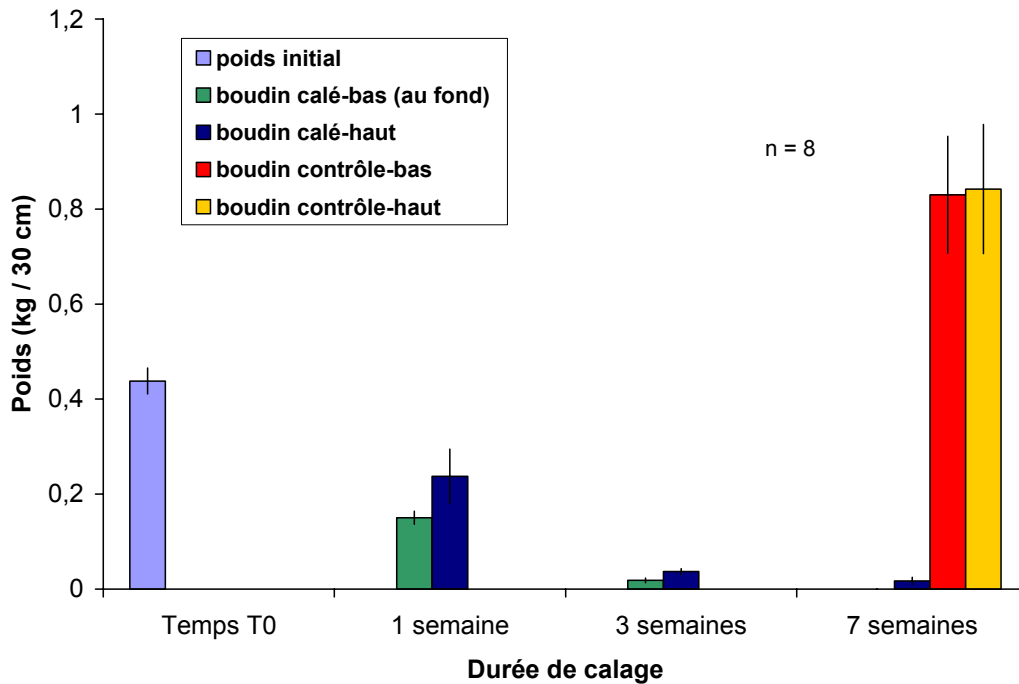


Figure 2 : Évolution du degré de fixation secondaire (moyenne \pm é.-t. m.) à Havre-aux-Maisons

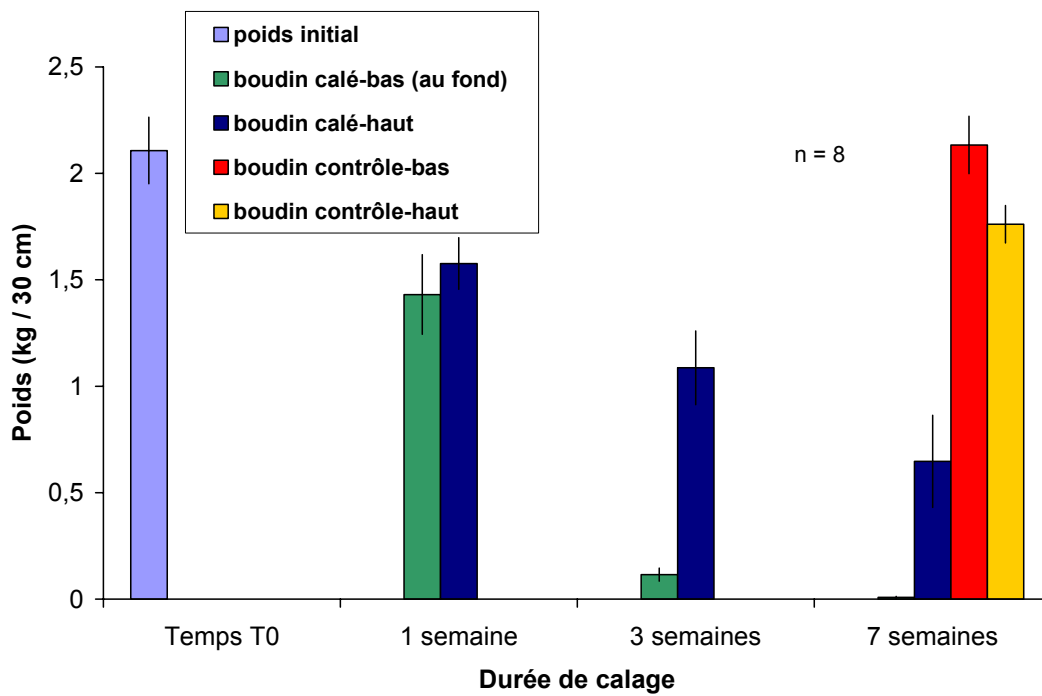


Figure 3 : Évolution du poids des moules 1+ (moyenne \pm é.-t. m.) à Havre-aux-Maisons

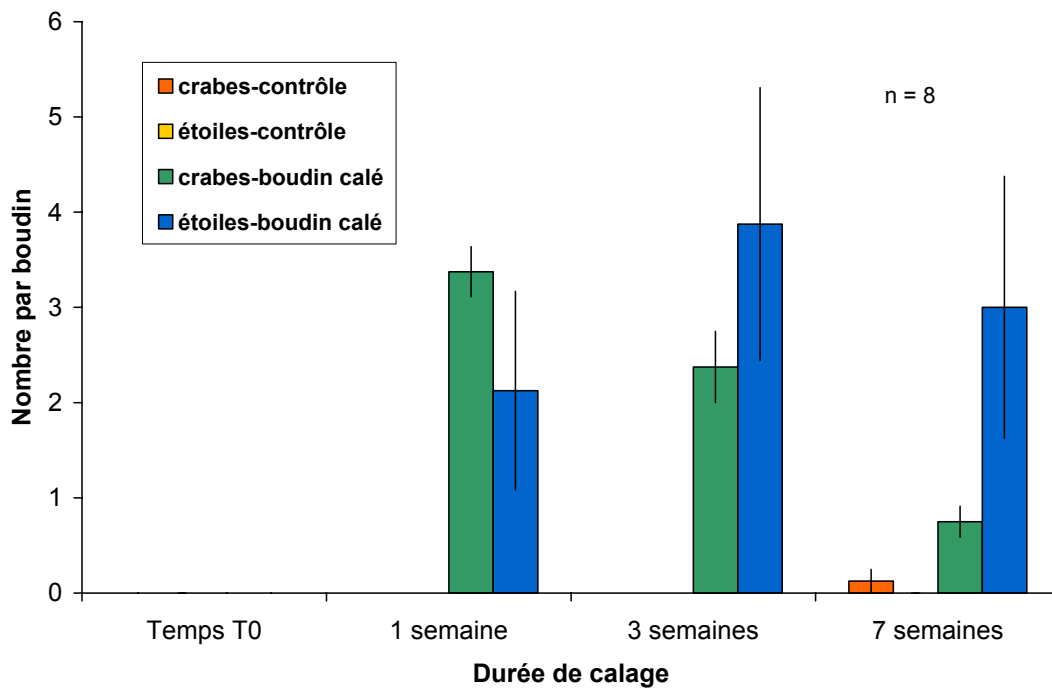


Figure 4 : Évolution du nombre de prédateurs (moyenne \pm é.-t. m.) à Grande-Entrée

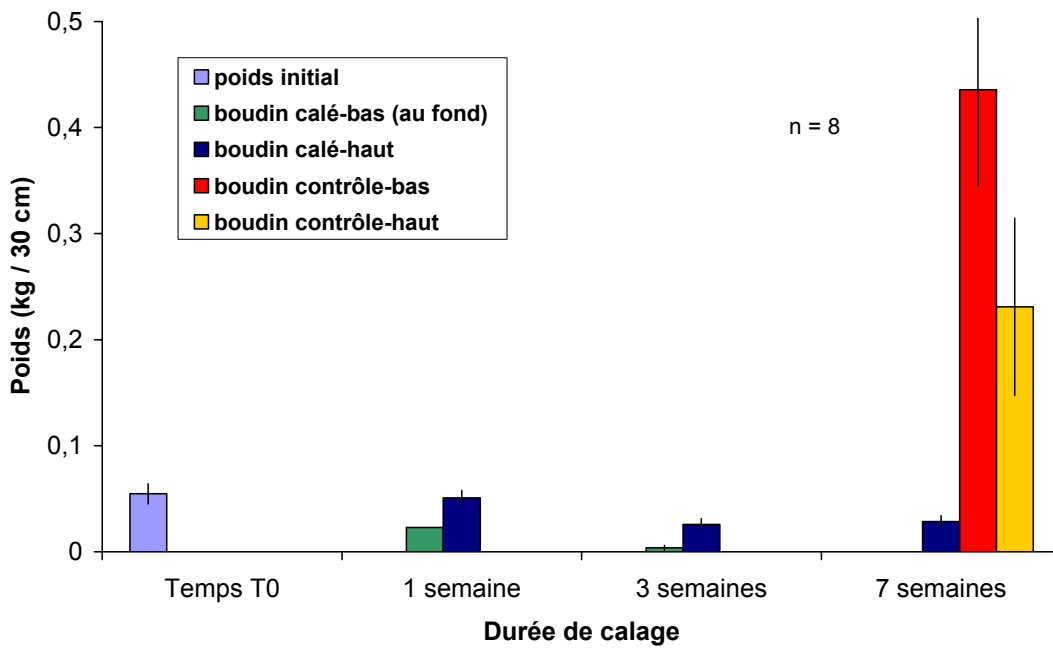


Figure 5 : Évolution du degré de fixation secondaire (moyenne \pm é.-t. m.) à Grande-Entrée

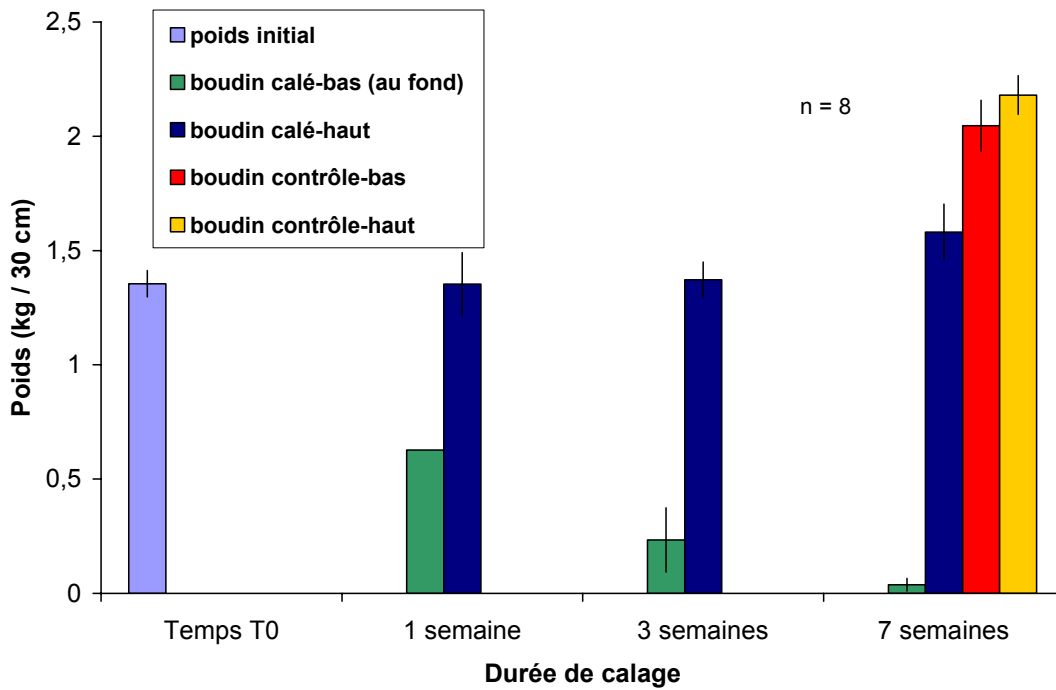


Figure 6 : Évolution du poids des moules 1+ (moyenne \pm é.-t. m.) à Grande-Entrée

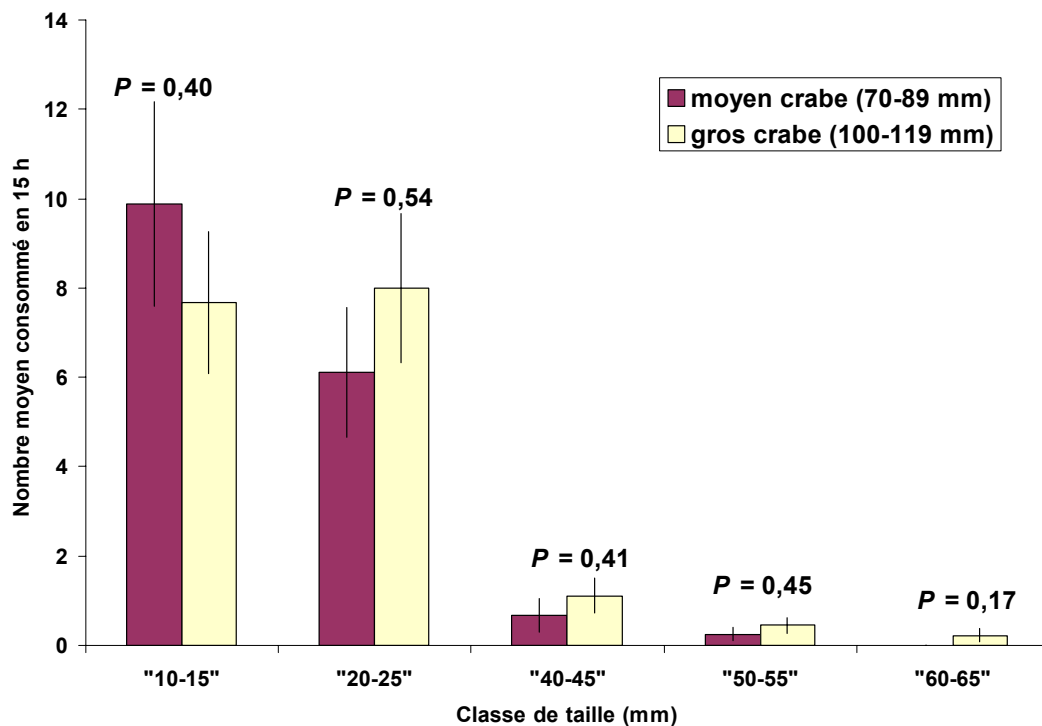


Figure 7 : Consommation moyenne (\pm é.t. m.) de moules de différentes classes de taille offertes individuellement (sans choix) à deux groupes de crabes pendant des périodes de 15 heures chacune

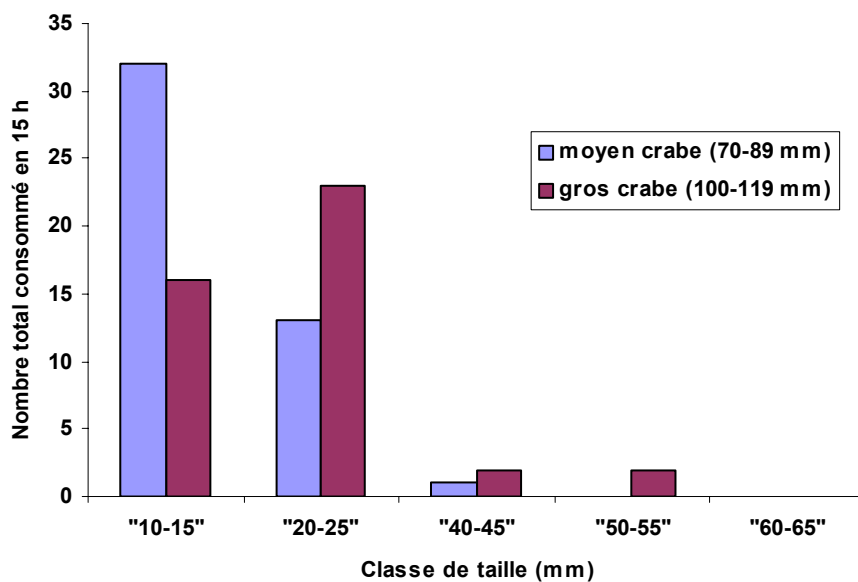


Figure 8 : Consommation totale de moules de différentes classes de taille offertes toutes ensemble (avec choix) mais sous forme individuelle à deux groupes de crabes pendant une période de 15 heures

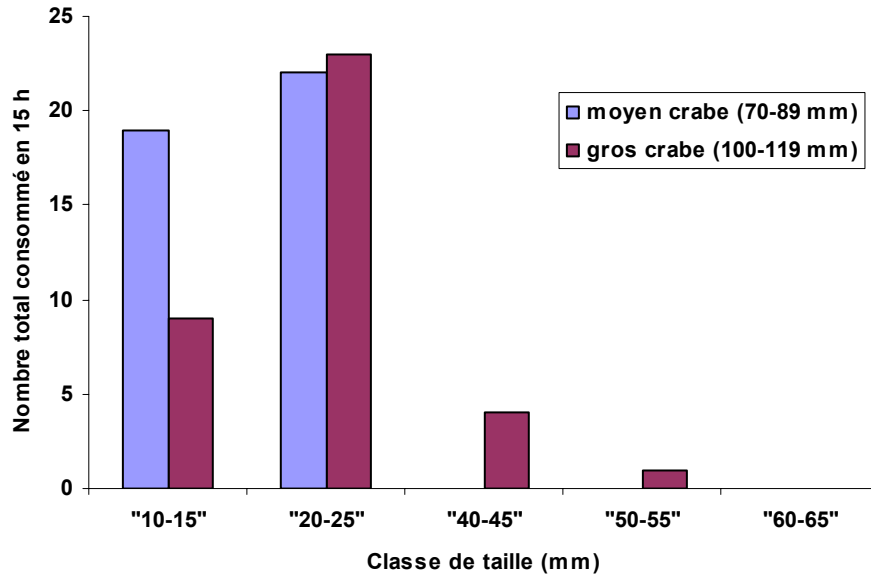
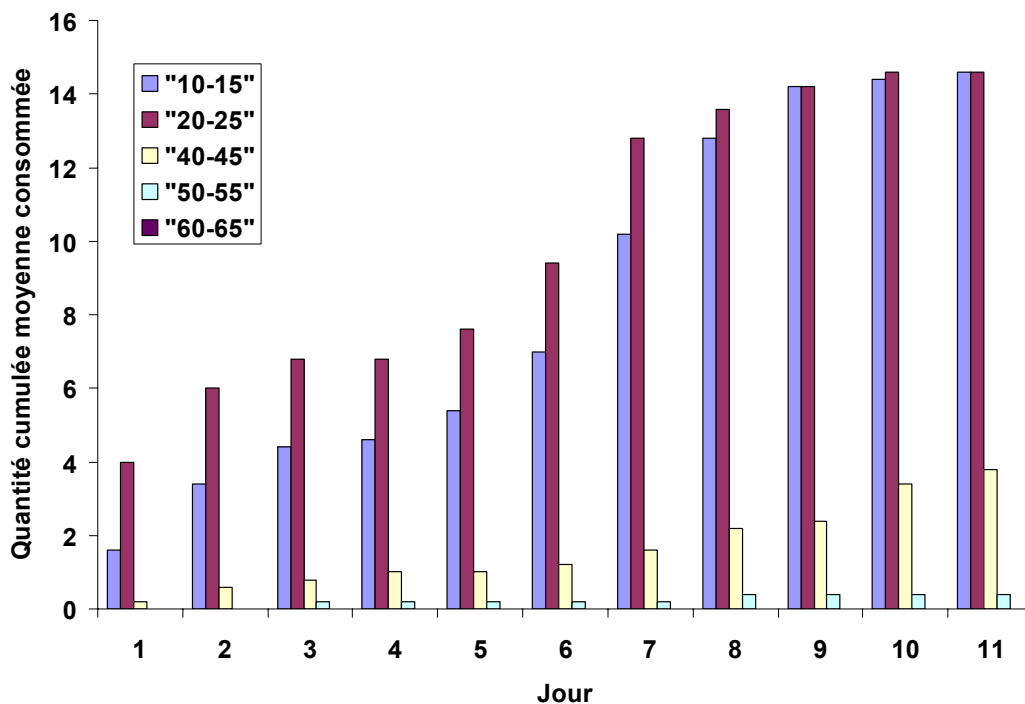


Figure 9 : Consommation totale de moules de différentes classes de taille offertes toutes ensemble (avec choix) et en grappes à deux groupes de crabes pendant une période de 15 heures

a)



b)

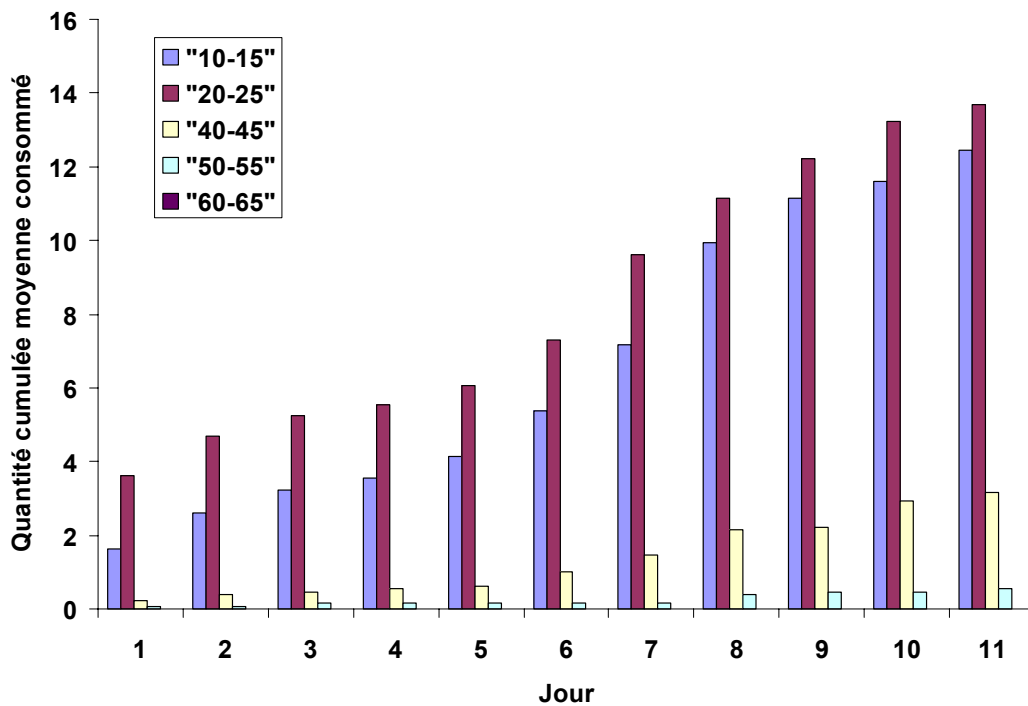
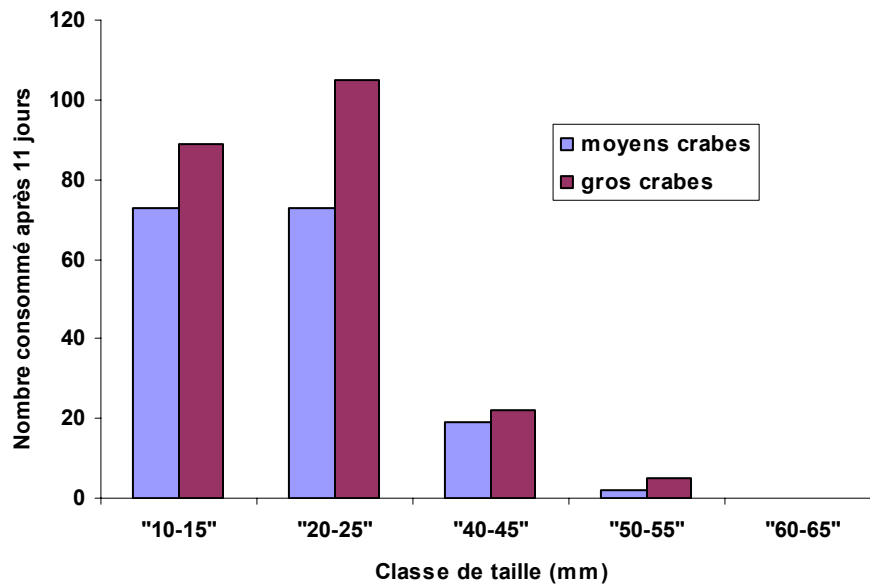


Figure 10 : Évolution de la consommation cumulée moyenne des moules des différentes classes de taille au cours d'une période de 11 jours.

a) crabes moyens (70-89 mm)

b) gros crabes (100-119 mm)

a)



b)

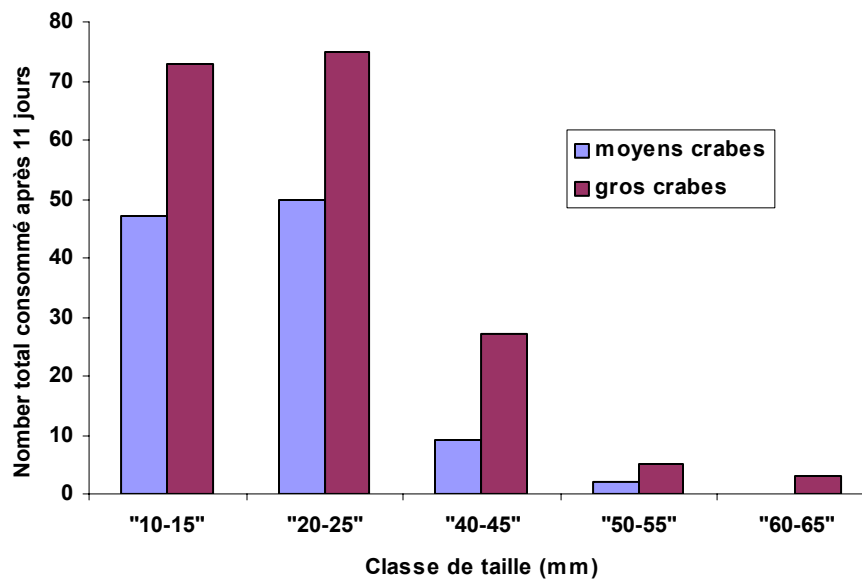


Figure 11 : Consommation totale des moules des différentes classes de taille au cours d'une période de 11 jours par les deux groupes de crabes.

- a) moules présentées ensemble sous forme individuelle
- b) moules présentées en grappe

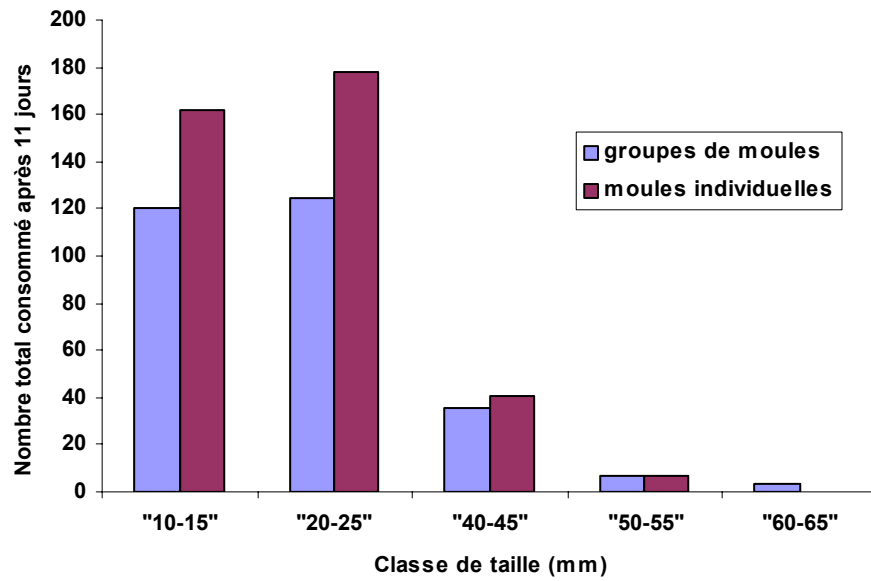


Figure 12 : Consommation totale des moules des différentes classes de taille au cours d'une période de 11 jours en fonction du mode de présentation des moules. Tous les crabes, moyens et gros, ont été regroupés.



Photo 1 : Structure utilisée pour évaluer l'impact du calage des boudins.

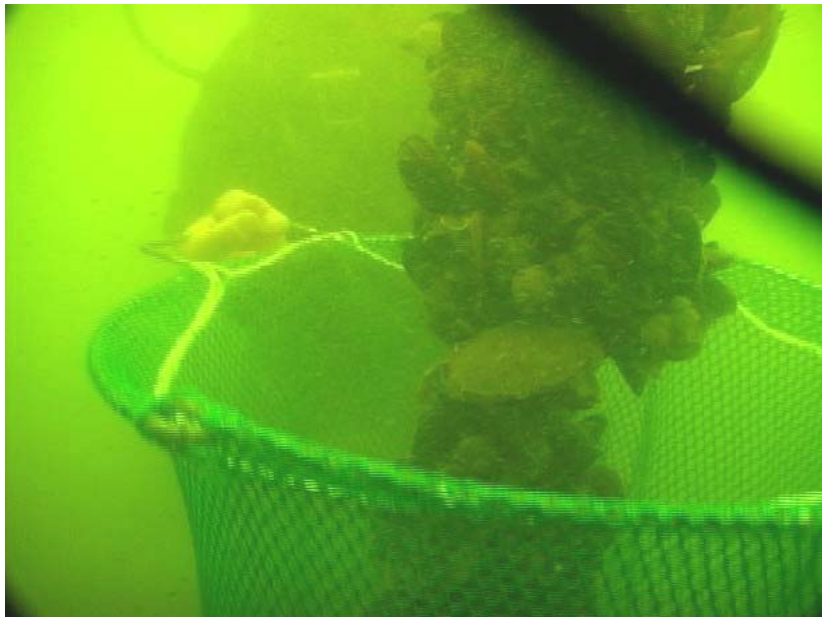


Photo 2 : Échantillonnage de boudins en plongée



Photo 3 : Disposition des unités expérimentales pour la taille refuge.



Photo 4 : Exemple d'un gros et d'un moyen crabe et aperçu des cinq classes de taille de moules (le plat intérieur droit contient une grappe formée par l'ensemble des 50 moules des cinq classes de taille).



Photo 5 : Boudin calé à Havre-aux-Maisons à la première semaine (les étoiles de mer recouvrent totalement la portion du boudin au fond).



Photo 6 : Boudin calé à Grande-Entrée à la deuxième semaine (on note la présence de prédateurs et de coquilles de moules entrouvertes et broyées sur le fond).