



**SODIM**

Société de développement de l'industrie maricole inc.

*Gestion maricole adaptée à la présence des  
étoiles de mer (*Asterias sp.*) : cas de la  
lagune de Havre-aux-Maisons aux  
Îles-de-la-Madeleine*

*Rapport final*

---

*Dossier n° 710.132*

*Rapport commandité par la SODIM*

Gestion maricole adaptée à la présence des étoiles de mer (*Asterias* sp.) : cas de la lagune de Havre-aux-Maisons aux Îles-de-la-Madeleine

Madeleine Nadeau

Mélanie Bourgeois\*

François Bourque

MAPAQ, DIT-CeMIM  
107-125, chemin du Parc  
Cap-aux-Meules (Québec)  
G4T 5G5

\* Adresse actuelle :

Culti-mer  
55, route 199  
Fatima (Québec)  
G4T 2H6

## TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ .....	3
1. INTRODUCTION .....	4
2. MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	5
2.1 Inventaires de la population d'étoiles de mer .....	6
2.2 Caractérisation du cycle de reproduction .....	7
2.3 Évaluation du contrôle des étoiles de mer par une récolte en plongée.....	9
3. RÉSULTATS.....	11
3.1 Caractérisation de la population des étoiles de mer dans la lagune.....	11
3.2 Cycle de reproduction des étoiles de mer et monitoring .....	13
3.2.1. Suivi de la ponte.....	13
3.2.2. Suivi larvaire.....	14
3.2.3. Suivi de captage .....	14
3.3 Évaluation du contrôle des étoiles de mer .....	15
4. DISCUSSION.....	15
4.1 Dynamique des étoiles de mer dans la lagune de Havre-aux-Maisons .....	15
4.2 Reproduction et monitoring.....	17
4.3 Contrôle des étoiles de mer .....	19
5. CONCLUSION.....	21
6. RECOMMANDATIONS .....	22
7. RÉFÉRENCES .....	24

## RÉSUMÉ

Les étoiles de mer (*Asterias* sp.) présentes dans la lagune de Havre-aux-Maisons (Îles de la Madeleine) sont des prédateurs importants de bivalves en élevage. Un mode de gestion adapté à la présence de ce prédateur s'est donc avéré nécessaire pour réduire les pertes qu'il occasionne. Afin de développer une approche efficace, une bonne connaissance de la dynamique des étoiles de mer au niveau de leur distribution, déplacement et cycle de reproduction est essentielle et constitue le principal objectif de notre étude menée en 2006 et 2007. Des modes de mitigation, soit par l'évitement de la fixation des recrues ou par un contrôle direct de la population des étoiles de mer ont également été évalués. Suite à des inventaires réalisés au traîneau et en plongée, il a été observé que la population d'étoiles de mer dans la lagune était relativement stable d'une année à l'autre et sans grandes variations saisonnières (été-automne), avec une densité moyenne de 0,2 ind./m<sup>2</sup> et une concentration plus élevée (0,5 ind./m<sup>2</sup>) sous les filières conchylicoles situées au centre de la lagune. La population est principalement constituée d'étoiles de mer <4cm de rayon sauf sous les filières d'élevage où des spécimens de plus grande taille ont été notés. Le cycle de reproduction semble être caractérisé par une ponte en juin et juillet, se terminant au début d'août. La présence des larves et le début de la fixation ont été observés en juillet, soit un mois après le début de la ponte. Le maximum de captage a été mesuré sur les collecteurs relevés à la fin août. Les collecteurs cumulatifs, i.e. immergés en début de saison et retirés à des périodes régulières par la suite, se sont avérés les meilleurs outils pour déterminer la période maximale de fixation des étoiles de mer. De plus, des essais de contrôle des étoiles de mer en plongée, sous les filières mytilicoles, ont révélé la faisabilité et l'efficacité de l'approche. Les coûts de la récolte ont été estimés à ~0.12\$/étoiles de mer mais la méthode reste à être optimisée.

## 1. INTRODUCTION

La lagune de Havre-aux-Maisons est un plan d'eau important pour l'élevage de la moule bleue (mytiliculture), du pétoncle géant (pectiniculture) et de la mye commune (myiculture) aux Îles-de-la-Madeleine. Ce site abrité, d'environ 36 km<sup>2</sup>, possède des avantages indéniables pour la conchyliculture autant par la quantité de nourriture que par la température moyenne de l'eau généralement plus élevées qu'en milieu ouvert. Toutefois, au cours des dernières années, une présence accrue des étoiles de mer (*Asterias* sp.) y a été notée. Dans la lagune, ce prédateur important de bivalves pose des problèmes à divers niveaux. Au stade larvaire, les étoiles de mer peuvent se fixer sur les structures de captage de moules et de myes ou encore s'infiltrer dans les structures d'élevage en suspension utilisées en pectiniculture et en myiculture. Étant donné la protection qui leur est alors offerte et la nourriture accessible, elles croissent rapidement pour ensuite se nourrir des bivalves en élevage. Au stade adulte, les étoiles de mer sont d'excellents prédateurs qui peuvent se déplacer pour accéder aux moules d'élevage sur les boudins et aux pétoncles dans des structures d'élevage ou mis en boucles d'oreille lorsque ceux-ci touchent le fond ou encore aux myes fixées sur les capteurs benthiques. Il est donc important d'intégrer des approches de contrôle ou d'évitement des étoiles de mer dans les stratégies de gestion des opérations conchylicoles dans la lagune.

Afin de proposer des modes de gestion des élevages conchylicoles dans la lagune de Havre-aux-Maisons en fonction de la présence des étoiles de mer, il est apparu essentiel de documenter la dynamique de la population d'étoiles de mer particulièrement au niveau de sa distribution dans la lagune, ses déplacements et son cycle de reproduction. Avec ces informations, les aquaculteurs devraient être à même de choisir le mode de mitigation le plus approprié à leurs besoins. Par exemple, des données sur la période de fixation maximale des étoiles de mer permettront aux aquaculteurs de connaître la période optimale de mise à l'eau ou de nettoyage de leurs structures pour limiter la présence des nouvelles recrues. Ce genre de monitoring est courant dans certains sites où se pratique la conchyliculture et peut comprendre, entre autres, des analyses larvaires, des suivis

d'algues toxiques ou de contaminants (voir les sites WEB du gouvernement de l'Île-du-Prince-Édouard et de IFREMER, France).

La présence de sites d'élevage conchylicoles risque de concentrer et maintenir des populations d'étoiles de mer sous les structures (Inglis et Gust, 2003) qui profitent alors des pertes de bivalves ou des bris des structures pour se nourrir. Il peut donc être pertinent de contrôler leur abondance pour limiter la progression de la population et réduire leur succès reproducteur. Dans l'optique d'un contrôle des densités d'étoiles de mer, il s'est avéré judicieux de prévoir un débouché pour cette ressource et ainsi financer, entièrement ou en partie, les coûts de l'opération. Actuellement, le domaine des biotechnologies s'intéresse aux propriétés moléculaires des étoiles de mer. Il y a donc intérêt à récolter des données d'inventaires et de capacité de récolte afin d'évaluer le potentiel d'approvisionnement de la lagune de Havre-aux-Maisons et plus précisément en provenance des sites conchylicoles. De plus, un échantillonnage régulier des étoiles de mer permettra de documenter les variabilités temporelles de la qualité biomoléculaire du produit.

Notre étude visait donc à caractériser la dynamique des étoiles de mer présentes dans la lagune de Havre-aux-Maisons en récoltant des données sur leur distribution saisonnière et leur cycle de reproduction (période de ponte, période larvaire et période de fixation) en 2006 et 2007. Le projet avait également pour objectif d'identifier une méthode performante pour déterminer la période de fixation maximale des étoiles de mer et ainsi guider les gestionnaires à adapter leurs activités conchylicoles en conséquence. Finalement, la faisabilité et l'efficacité d'un contrôle des étoiles de mer via des récoltes en plongée sous les structures mytilicoles ont été évaluées.

## 2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

En 2006, des sondes de température (HOBO®) ont été installées dans la lagune de Havre-aux-Maisons à environ 30 cm du fond sur des stations de 1, 3 et 5 m de profondeur. En 2007, une sonde unique a été mouillée, à une profondeur de 5 m.

## 2.1 Inventaires de la population d'étoiles de mer

Les inventaires d'étoiles de mer ont été réalisés à l'aide d'une caméra (TUFFCAM SVS, S-500/21) montée sur un traîneau pour permettre de couvrir une largeur d'image de 73 cm (Figure 1a). Les images ont été enregistrées à l'aide d'un enregistreur (SONY, Video Walkman Hi-8). La profondeur a été mesurée à partir d'un échosondeur (FURUNO FCV522) et la position du bateau a été obtenue par un système de positionnement DGPS (FURUNO, DGPS-GP36) lesquels ont été notés à toutes les deux minutes d'enregistrement. Chaque séquence de 2 minutes a ensuite été traitée comme une unité d'échantillonnage. En 2006, trois inventaires complets ont été réalisés du 24 au 31 mai, du 17 au 24 août et du 16 au 25 octobre ainsi qu'un inventaire partiel du 27 juin au 10 juillet. Durant les inventaires complets, 25 traits ont été couverts (Figure 2a), dont 19 traits de 500 m perpendiculaires à la côte (CAM4 à 23), trois traits de 500 m, au centre de la lagune dans le secteur nord-est (CAM24 à 26), un trait d'environ 100 m près de l'Île Rouge (CAM1) et un dernier trait de 890 m le long d'un chenal, au sud de l'Île Rouge (CAM2). Lors de l'inventaire partiel, 10 traits perpendiculaires ont été couverts, soit les traits portant des nombres impairs, le trait situé près du chenal (CAM2) et 2 traits au centre de la lagune (CAM24 et 26). En 2007, deux inventaires au traîneau ont été réalisés le 6 juillet et du 17 au 27 septembre, Ils ont été dirigés vers les concentrations d'étoiles de mer observées en 2006, soit dans les secteurs nord-est et du sud-ouest de la lagune. Un total de 13 traits de 300 m ont ainsi été couverts dans le secteur nord-est (CAM5 à 10, 12) et le secteur sud-ouest (CAM1 à 4, 11; Figure 2b).

Des inventaires ont également été réalisés en plongée sous les structures d'élevage étant donné l'inaccessibilité du traîneau à cet endroit. À chacun de ces inventaires, les plongeurs, munis d'une caméra digitale manuelle (SONY Digital HandyCam, DCR-VX2000 NTSC) se sont déplacés sous les filières pour couvrir 4 traits de 200 m (Figure 2). Un cadre de métal de 50 cm x 50 cm a été fixé sur la caméra pour permettre une prise d'images de largeur et d'angle uniformes (Figure 1b). En 2006, les inventaires ont été réalisés les 30 mai, 11 juillet, 10 août, 6 octobre et 29 novembre. En 2007, un seul inventaire en plongée a été réalisé le 10 octobre. En 2006, 4 traits de 200 m ont été couverts comparativement à

6 traits de 100 m en 2007. Comparativement à 2006, 6 traits de 100 m ont alors été couverts.

En 2006, l'analyse des images provenant du traîneau a été réalisée avec le logiciel Image Pro. Chaque trait a été analysé en traitant successivement les séquences vidéo de 2 min. D'ailleurs, un trait pouvait être composé de 20 séquences vidéo selon la vitesse du parcours. Afin d'assurer une analyse adéquate, et ce dans un délai raisonnable, seulement une séquence vidéo (de 2 min) sur deux, a été analysée pour chaque traits. Étant donné le nombre réduit de traits couverts, les images du traîneau de 2007, de même que les images recueillies lors des inventaires en plongée en 2006 et 2007, ont été traités directement sur un moniteur dotée d'une grille de calibration. Pour tous les inventaires, les étoiles de mer ont été dénombrées et mesurées (rayon en cm). Lorsque possible, les étoiles de mer ont été déterminées à l'espèce (*Asterias rubens*- anciennement *A. vulgaris* (Brunel et al., 1998) et *A. forbesi*) selon les critères d'identification décrits à l'annexe 1. Bien que rarement rapporté dans la littérature (Harper et Hart, 2005; Menge, 1986), des spécimens hybrides, i.e. possédant des caractéristiques des deux espèces, ont également été rapportés. Les données de densité et de taille des étoiles de mer ont été traitées graphiquement sous forme d'histogramme en distinguant l'abondance des étoiles de mer recrues (<2cm de rayon). Les données ont également été traitées à l'aide d'un logiciel de géomatique (Surfer 8.0) en utilisant les valeurs moyennes pour chaque trait et ceci pour chaque période d'inventaire. La couverture de la lagune plus importante lors des inventaires de 2006 a permis une interpolation des données à partir de la triangulation avec interpolation linéaire. Les inventaires de 2007 ont été traités uniquement par points. En 2006, une évaluation grossière de l'abondance et du stade de développement des zostères a également été réalisée pour chaque trait et période d'inventaire. L'information sur les herbiers de zostères a également été cartographiée à partir du logiciel de géomatique.

## 2.2 Caractérisation du cycle de reproduction

La période de ponte a été déterminée par des échantillonnages hebdomadaires de 15 étoiles de mer (> 8 cm de rayon) réalisés de mai à septembre 2006 et 2007. Comme

l'utilisation de casiers coniques à étoiles de mer s'est avérée infructueuse, l'approvisionnement a dû être assuré par des plongeurs. Les étoiles ont généralement été récupérées sous les filières d'élevage conchylicoles. Avant d'être disséquées, les étoiles de mer ont été mises à égoutter en chambre froide à 4 °C sur deux couches de papier absorbant durant 24 heures. Elles ont ensuite été mesurées (rayon en mm) et pesées (g), puis les gonades ont été prélevées et pesées (g). En 2006, les gonades et les autres organes de l'animal ont été séchés à l'étuve à 70 °C durant 48 heures. Les indices gonadiques (IG) frais et secs ont ensuite été déterminés à partir du ratio entre le poids de la gonade et le poids du reste de l'animal (pour le ratio sec) ou de tout l'animal (pour le ratio frais), multiplié par 100. En 2007, seuls les indices gonadiques frais ont été déterminés.

Pour chacune des deux années, des échantillonnages larvaires ont été réalisés de façon hebdomadaire de juin à septembre à l'aide d'une pompe submersible (Bilge Pumps Rule, 3500 gph, 12 volts). En 2006, les échantillons d'eau ont été prélevés sur six stations sous les structures conchylicoles centrales (Figure 2a) puis mis en commun pour une même analyse. À chaque station, un volume d'eau de 1800 L a été filtré sur des tamis de 800 µm, 209 µm et 80 µm. Le contenu du dernier tamis (80 µm) a permis de vérifier la présence des premiers stades larvaires d'échinodermes au début des échantillonnages. Par la suite, seul le contenu du tamis de 209 µm a été conservé pour analyse. Étant donné le faible nombre de larves récolté en 2006, certaines modifications ont été apportées au protocole de 2007. Trois sites de pompage ont été déterminés selon les concentrations d'étoiles de mer de 2006, soit dans le secteur conchylicole central et dans le secteur nord-est. Cependant, les stations de pompage par site ont été réduites à 4 et ont été réunies pour obtenir une seule valeur par site. Finalement, pour éviter de saturer les tamis et ainsi risquer endommager la fragile structure des larves d'étoiles de mer, le volume d'eau pompé par station a été réduit à 500 L et la taille de maille du second tamis a été augmentée à 360 µm. Pour les deux années, les échantillons ont été conservés au frais (2 à 4 °C), dans de l'eau salée filtrée, jusqu'à leur analyse. Lors de l'analyse, les larves d'étoiles de mer ont été dénombrées et mesurées. La densité larvaire a ensuite été estimée en fonction du volume d'eau pompé.

Pour déterminer la période de pic du captage des étoiles de mer, des collecteurs simples, ont été mouillées à deux stations localisées près des sites d'élevage du secteur centre et dans le secteur sud-ouest, près de la site myicole du 2 juillet au 10 septembre 2006 et du 12 juin au 2 octobre 2007. Chaque collecteur était constitué d'une section de cordage usagé de 2 cm de diamètre (polyrope) et d'une longueur approximative de 1,5 m. Les collecteurs ont tous été ancrés au fond par un bloc de ciment (20 kg) et maintenus à la verticale dans la colonne d'eau à l'aide d'une bouée de soutien (type « concombre ») et identifiés à la surface par une autre bouée. Les collecteurs ont été mouillés de façon à couvrir une profondeur entre 1 et 2,5 m de la surface. En 2006, une rotation de deux séries de trois collecteurs simples a été réalisée sur une base hebdomadaire à chaque station. La mise à l'eau de la première série de collecteurs a été réalisée le 2 juillet 2006 et celle de la deuxième série, la semaine suivante. Chaque série de collecteurs a ensuite été remplacée à toutes les 2 semaines. À chaque récolte, une section de 30 cm échantillonnée dans la partie centrale du collecteur a été conservée dans l'éthanol 90 %. Lors de l'analyse, les étoiles de mer ont été dénombrées et mesurées au binoculaire. En 2007, le cycle de rotation des collecteurs a été augmenté à 3 semaines, impliquant ainsi 3 séries de 3 collecteurs par station, et la première série a été immergée le 12 juin 2007. Les analyses ont ensuite été réalisées sur deux sections de 30 cm par collecteur, plutôt qu'une.

En 2007, un suivi du captage cumulatif a été tenté à partir de collecteurs de 1,5 m de long mouillés dans les mêmes secteurs que les collecteurs simples. Le 4 juin 2007, 20 collecteurs munis d'une pesée d'environ 200 g chacun ont été attachés sur une même filière dans chacun des sites, à une distance d'environ 2 m entre eux. Cinq collecteurs, déterminés de façon aléatoire, ont ensuite été remontés après 4, 8, 12 et 16 semaines. Tel que pour les collecteurs simples, les analyses ont été réalisées sur deux sections de 30 cm par collecteur.

### 2.3 Évaluation du contrôle des étoiles de mer par une récolte en plongée

Des essais de contrôle des étoiles de mer ont été réalisés en plongée à 3 périodes, soit les 12 juillet, 16 août et 14 septembre 2006, sous les filières mytilicoles. À chaque période, trois filières commerciales ont été sélectionnées au hasard. Pour une filière donnée, les

plongeurs procédaient tout d'abord à un inventaire des étoiles de mer à l'aide d'une caméra digitale manuelle (SONY Digital HandyCam, DCR-VX2000 NTSC). La position de départ du trait à récolter était identifiée à l'aide d'une bouée de surface attachées au début de la filière par les plongeurs et la position finale du trait correspondait à la position de leur remontée. Les plongeurs, dotés chacun d'un sac de plongée, réalisaient ensuite une seconde plongée sous la même filière pour récolter un maximum d'étoiles de mer de toutes les tailles et de toutes les espèces, durant un maximum de 15 min. Finalement, les plongeurs réalisaient une troisième et dernière plongée sous la même filière pour enregistrer des images d'inventaire après la récolte.

Pour chaque filière, le poids total et le nombre d'étoiles de mer récoltées ont été évalués et un échantillon de 30 étoiles a été mesuré. Ces données ont été utilisées pour évaluer le rendement de récolte en nombre et en poids par minute de même que la taille moyenne récoltée. Les images vidéo ont également été traitées de façon à estimer l'abondance des étoiles de mer avant et après la récolte. Ces valeurs ont été utilisées pour estimer le taux d'efficacité de la récolte. Les coûts de l'opération ont été évalués à partir des frais de plongées de 65 \$/heure et des coûts de location du bateau avec équipage. Les calculs n'ont pas tenu compte des intervalles de surface des plongeurs (nécessaire au changement de bonbonnes ou à des pauses de travail) lequel est variable selon la capacité physique et respiratoire des plongeurs. Ils n'incluent pas non plus les coûts de déplacement du bateau et des plongeurs vers le site.

Des étoiles de mer destinées aux analyses biotechnologiques ont été récoltées en plongée à 7 reprises entre le 2 juin et le 29 novembre 2006 sur une fréquence quasi-mensuelle. À chaque récolte, 15 individus mesurant entre 70 et 100 mm de rayon ont été récoltés. Les étoiles ont été maintenues dans un bac d'eau salée jusqu'au laboratoire. Après avoir été mesurées et éponnées, les étoiles de mer étaient suspendues par un bras au-dessus d'un récipient de 200 ml. Le bras de l'étoile de mer orienté vers le bas était sectionné environ du tiers pour laisser écouler le liquide cœlomique dans le récipient. Une fois le liquide récupéré, un second bras était sectionné et ainsi de suite jusqu'à l'évidage complet de l'animal. Les contenants avec le liquide ont été conservés au congélateur à -80 °C jusqu'à

leur envoi vers les laboratoires d'Océanova Biotechnologie Inc.. Afin d'évaluer le volume de liquide cœlomique en fonction de la taille des étoiles de mer, 10 spécimens par classe de taille (< 5 cm, 5-10 cm et >10 cm) ont été prélevés et ramenés au laboratoire le 13 juillet 2006. Pour chaque spécimen, la quantité de liquide récolté a été mesurée.

### 3. RÉSULTATS

En 2006, les températures enregistrées en début de saison à 5 m de profondeur ont été légèrement inférieures à celles prises à 1 m (Figure 3). Cet écart s'est toutefois avéré négligeable par la suite. Durant les deux années, les températures maximales (21 et 23 °C) ont été notées de la fin juillet au début août et sont demeurées supérieures à 15 °C entre la mi-juin et la mi-septembre. Les températures hivernales de 2008 ont atteint jusqu'à -2°C.

#### 3.1 Caractérisation de la population des étoiles de mer dans la lagune

Lors des divers inventaires, la proportion d'*A. rubens* a varié de 0 à 20 % et seulement quelques spécimens ont semblé appartenir exclusivement à l'espèce *A. forbesi*. La plupart des étoiles de mer semblait plutôt issues d'une hybridation entre les deux espèces (Annexe 1). Ainsi, les données d'inventaire qui suivront seront traitées en considérant la présence d'une seule et même espèce appartenant au genre *Asterias* sp..

En mai 2006, les concentrations d'étoiles de mer les plus importantes, allant jusqu'à 0,7 étoiles/m<sup>2</sup>, ont été observées en plongée sous les filières d'élevage situées au centre de la lagune. Avec le traîneau, une concentration atteignant 0,4 étoile/m<sup>2</sup> a été observée sur le trait 15, dans le secteur nord-est de la lagune (Figure 4a et Annexe 2, fig. 1a). Des densités en deçà de 0,2 étoile/m<sup>2</sup> ont été estimées sur les autres traits. Les étoiles de mer inférieures à 2 cm de rayon, représentant les recrues, ont composé 30 % de la densité moyenne d'étoiles de mer de la lagune estimée à 0,1 étoile/m<sup>2</sup>.

Selon l'inventaire partiel de juin/juillet 2006, les densités d'étoiles de mer ont augmenté sur la plupart des traits comparativement aux densités estimées sur les mêmes traits en

mai (Figure 4b et Annexe 2, fig. 2a). Les secteurs de concentration d'étoile de mer ont été similaires à ceux de mai avec des densités allant jusqu'à 0,6 étoile/m<sup>2</sup>. La densité moyenne a été estimée à 0,2 étoile/m<sup>2</sup> et était composée à 38 % d'étoiles de mer recrues.

L'inventaire complet d'août 2006 a révélé une nouvelle augmentation des densités d'étoiles de mer dans presque toute la lagune atteignant une densité moyenne de 0,3 étoile/m<sup>2</sup> (Figure 4c et Annexe 2, fig. 3a). Une densité atteignant 1 étoile/m<sup>2</sup> a été estimée en plongée au centre de la lagune dans le site conchylicole. Une augmentation des densités a également été notée à proximité des sites d'élevage de myes (0,5 étoile/m<sup>2</sup>), dans le secteur sud-ouest. Toutefois, l'augmentation dans ce secteur a semblé particulièrement attribuable aux étoiles de mer inférieures à 2 cm composant 65 % de la population.

Finalement, la densité des étoiles de mer a diminuée en octobre/novembre 2006 pour atteindre 0,2 étoiles/m<sup>2</sup> (Figure 4d et Annexe 2, fig. 4a). Une concentration moyenne d'environ 0,5 étoiles/m<sup>2</sup> s'est toutefois maintenue dans le secteur central sous le site conchylicole. En général, les densités sur les autres traits ont varié de 0,02 à 0,2 étoiles/m<sup>2</sup> sauf pour le trait 2, dans le secteur sud-ouest et pour les traits 13 et 25, dans le secteur nord-est. La proportion des étoiles de mer de tailles inférieures à 2 cm de rayon a été estimée à cette période à 20 %.

En mai, juin/juillet et août 2006, les étoiles inventoriées sur les traits mesuraient en moyenne entre 2,5 et 2,9 cm de rayon (Figures 5a,b,c et Annexe 2, fig. 1b à 3b). Les plus grandes étoiles ont été observées dans le secteur centre, sous le site conchylicole (atteignant 4,6 cm) et dans le secteur nord-est (atteignant 6,2 cm). Les étoiles de mer observées en octobre/novembre mesuraient en moyenne 4,0 cm de rayon mais pouvant atteindre 6,6 cm (en moyenne) dans le secteur conchylicole central et 5,6 cm, en moyenne dans le secteur nord-est.

Les données d'inventaires de 2006, mises à part les données sous les filières du site conchylicole dans le secteur central, n'ont pas révélé de relation entre la densité des étoiles de mer et la profondeur de la lagune déterminées pour chaque séquence vidéo, ni

entre la taille des étoiles de mer et la profondeur (Figure 6). Toutefois, les densités les plus élevées ont surtout été notées à des profondeurs entre 1,5 et 3,5 m. Les densités d'étoiles de mer tendent également à être en relation avec la présence de zostère. Les plus forte densités d'étoiles de mer (entre 0,6 et 0,8/m<sup>2</sup>) ont été noté dans des secteurs où les taux de recouvrement de la zostère étaient >60 % (Figure 7a). Toutefois, ces concentrations de zostère ne semblent pas être uniquement occupées par des recrues mais également par des étoiles matures (Figure 7b). Quelques observations sur la dynamique de la zostère ont également pu être récoltées lors des inventaires (Annexe 3). En début de saison, les jeunes pousses ont été dominantes bien que des tiges adultes, de 5 à 30 cm, ont été notées dans certaines zones. En août et octobre, des frondes matures (tiges >30 cm) couvraient une bonne partie du fond de la lagune. Des débris de zostère ont été notés dès le mois d'août. L'abondance de ces débris s'est avérée équivalente entre août et octobre mais les principales concentrations ont été notées à des secteurs différents.

Les inventaires de juillet 2007 dirigés dans les secteurs à concentration d'étoiles de mer de 2006, mis à part le secteur central sous le site conchylicole, ont révélé des densités moyennes de 0,6/m<sup>2</sup>. Les étoiles de mer étaient représentées à 73 % par des recrues (Figure 8a). Les données récoltées en septembre/octobre ont validé les estimations de juillet (Figure 8b). Toutefois, les densités d'étoiles de mer recrues ont atteint jusqu'à 4,2 /m<sup>2</sup>, sur le trait 4. Les densités estimées en plongée dans le secteur central sous le site conchylicole ont aussi été importantes, atteignant jusqu'à 3,5 étoiles/m<sup>2</sup>. Les étoiles répertoriées étaient en général de petite taille (Figure 9). En juillet, les étoiles de mer mesuraient en moyenne 1,8 cm de rayon, 2,2 cm en septembre et 2,9 cm sous les structures conchylicoles, en octobre.

### 3.2 Cycle de reproduction des étoiles de mer et monitoring

#### 3.2.1. Suivi de la ponte

En 2006, les indices frais et secs ont démontré une diminution rapide s'étalant sur un mois, entre le début des suivis et le 11 juillet (Figure 10). Les deux indices ont présentés des informations similaires ce qui a mené au suivi d'un seul indice en 2007. Le suivi de

l'indice gonadique frais de 2007 a révélé une ponte partielle le 21 juin suivie d'une ponte progressive entre le 4 juillet et le 1<sup>er</sup> août. Ainsi, pour les deux années suivies, la ponte s'est étendue sur un mois et s'est terminée avant le début d'août.

### 3.2.2. Suivi larvaire

En 2006, seulement quelques larves ont été observées dans le secteur central près du site conchylicole produisant un pic unique de 0,014 larve/l, le 17 août. Des larves de plusieurs stades de développement ont alors été notés laissant supposer des pontes asynchrones. Le 20 juin 2007, les pompages réalisés dans trois secteurs ont permis d'observer un pic plus important de 0,9 larve/l dans le secteur nord-est de la lagune (Figure 11). Des pics d'environ 0,15 larves/l ont été notés le 26 juin et 3 juillet dans le secteur central près du site conchylicole et dans le secteur sud-ouest, respectivement. Très peu de larves ont été notées par la suite.

### 3.2.3. Suivi de captage

Malgré la présence de quelques larves dans la colonne d'eau, aucune étoile de mer n'a été captée sur les collecteurs rotatifs de 2006. En 2007, malgré une augmentation de la durée d'immersion de ces collecteurs à 3 semaines, seuls les collecteurs immergés dans le secteur central près du site conchylicole ont capté des étoiles de mer et uniquement sur les collecteurs immergés entre le 17 juillet et le 7 août, avec une densité moyenne de 6 étoiles/m.

En 2007, les collecteurs cumulatifs immergés dans le secteur sud-ouest ont capté jusqu'à 38 étoiles de mer/m<sup>2</sup>, entre le 4 juin et le 28 août (Figure 12a). Les étoiles de mer mesuraient alors 3,2 mm de rayon. Les densités d'étoiles de mer ont diminué de façon importante en octobre pour atteindre 4 étoiles de mer /m<sup>2</sup>. Ces étoiles de mer mesuraient 12,9 mm de rayon. Les collecteurs immergés dans le secteur centre près du site conchylicole ont pour leur part capté peu d'étoiles de mer entre juin et août (Figure 12b). Toutefois, un grand nombre d'étoiles de mer a été observé sur les collecteurs relevés à

l'automne (57,3 ind./m). Ces étoiles de mer atteignaient déjà 17,7 mm de rayon démontrant qu'elles n'étaient pas issues d'un récent captage.

### 3.3 Évaluation du contrôle des étoiles de mer

Le temps moyen requis à deux plongeurs pour récolter la totalité des étoiles de mer sous une filière de moules d'environ 80 mètres a été en moyenne de 10 minutes. Les plus faibles rendements de récolte en nombre d'étoiles de mer ont été observés en juillet (29 étoiles de mer/min) et les plus élevés en août (42 étoiles de mer/min) (Tableau 1). En poids, les plus faibles débarquements ont été observés en septembre (0,45 kg/min) correspondant aussi avec les plus petites étoiles de mer récoltées (4,8 cm de rayon). L'analyse des bandes vidéo a révélé une diminution de 74 à 93 % des étoiles de mer sous les filières suite à la récolte avec une efficacité qui s'est accrue au fil des essais.

Les coûts de récolte les moins élevés ont été ceux de juillet (4,70\$/kg) et août (3,00\$/kg). Étant donné que 1 kg d'étoiles de mer correspond à ~30 étoiles de taille supérieure à 5 cm de rayon, cela signifie des frais de récolte de 0,15\$ et 0,10\$/étoile de mer pour juillet et août respectivement. La relation entre le volume de liquide coelomique et la taille des étoiles de mer présente une relation exponentielle. Le volume coelomique est très faible pour les étoiles de mer inférieure à 4 cm de rayon mais augmente rapidement en fonction de la taille dès que les étoiles de mer atteignent les 6 cm de rayon (Figure 13). Ainsi, il est possible d'estimer que le maximum de liquide coelomique moyen par filière a été récolté en juillet (670 ml), puis en août (520 ml) et le moins élevé en septembre (370 ml).

## 4. DISCUSSION

### 4.1 Dynamique des étoiles de mer dans la lagune de Havre-aux-Maisons

La plupart des étoiles de mer présentes dans la lagune de Havre-aux-Maisons semblent issues d'une hybridation entre les espèces *A. rubens* et *A. forbesi*. Toutefois, seule une analyse d'ADN permettrait de confirmer cette affirmation d'autant plus que la présence de l'étoile de mer *A. forbesi* ou de spécimen hybride entre les deux espèces n'a pas

encore été signalée au nord de l'Île-du-Prince-Édouard (Harper, F. Rollins College (FL) et Harrys, L. Université du New Hampshire (NH), comm. pers.). Il semble que les deux espèces d'étoiles de mer, *A. rubens* et *A. forbesi*, peuvent très bien cohabiter (Balch et Scheibling, 2000; Menge, 1979). Les cas de prédation interspécifique sont rarement rapportés et seulement lorsque la nourriture se fait rare (Menge, 1979). De plus, en terme d'impact, l'activité prédatrice des deux espèces est généralement reconnue pour être équivalente (Menge, 1979). Franz et al. (1981) rapporte toutefois que *A. rubens* aurait un avantage sur *A. forbesi* à cause de sa plus grande résistance aux basses températures. Il semble que les rôles soient inversés en température plus chaude (Harper, F., Rollins College (FL), comm. pers.).

En 2006, les densités d'étoiles de mer dans la lagune sont apparues plutôt faibles (0,18 ind./m<sup>2</sup>) avec des tailles dépassant rarement 4 cm de rayon. Les inventaires de 2007, dirigés dans les secteurs à fortes concentrations de 2006, ont révélé quant à eux des valeurs de densité pouvant atteindre plus de deux fois celles de 2006. Cette augmentation a été associée en bonne partie à l'abondance des étoiles de mer inférieures à 2 cm de rayon, révélant le succès du recrutement de l'année. La distribution des étoiles de mer dans la lagune, autant au niveau des densités que des tailles, ne semble pas liée avec la profondeur. L'hypothèse proposant un déplacement des étoiles de mer vers les zones plus profondes entre août et octobre, à la recherche d'eaux plus froides, ne peut être retenue puisque aucun déplacement important en lien avec la profondeur n'a été observé au cours de saison. De plus, le faible écart de températures enregistrées à diverses profondeurs ne justifierait en rien ce déplacement. Selon la littérature, les déplacements de populations d'étoiles de mer seraient surtout observés dans les zones côtières. Ces populations migreraient dans les eaux profondes pour se protéger des tempêtes ou à la recherche de nourriture (Menge, 1979). Ces migrations peuvent cependant être compromises selon la disponibilité en nourriture laquelle a pour effet de maintenir les populations en place (Galtsoff et Loosanoff, 1939). Les inventaires de 2006 dans la lagune de Havre-aux-Maisons ont révélé que les concentrations d'étoiles mer étaient relativement stables et plutôt en relation avec les emplacements des sites conchylicoles et de la zostère. La présence de populations permanentes d'étoiles de mer sous les filières d'élevage est

d'ailleurs courante en mytiliculture. Inglis et Gust (2003) rapportent des densités d'étoiles de mer jusqu'à 39 fois plus élevées sous les filières d'élevage de moules (*Perna canaliculus*) de la Nouvelle-Zélande que dans des sites témoins sans élevage. Quant à la présence des étoiles dans les herbiers à zostères, elle peut s'expliquer de deux façons. D'abord, les herbiers permettent de consolider le sol grâce à leur système racinaire et ainsi procurent un substrat dur recherché par les étoiles. Bien que des étoiles de mer de toutes tailles aient été inventoriées dans les herbiers à zostères, ils constituent de bonnes pouponnières et des concentrations importantes de très petites étoiles de mer y sont régulièrement rapportées. D'ailleurs, un tel site a été noté durant plusieurs années dans la lagune de Havre-aux-Maisons entre l'Île Rouge et l'Île Paquette (secteur sud-ouest) vers le mois d'août (Fournier, M., Moules de Culture des Îles, comm. perso.) et encore récemment lors d'un trait d'inventaire (trait 4) réalisé en 2007 dans le chenal près de l'Île Rouge densément occupé par de la zostère morte.

La diminution des densités d'étoiles de mer entre août et octobre 2006 de même que les concentrations d'étoiles de mer observées dans les chenaux de la lagune en octobre 2006 (traits 2 et 13) laisse supposer une migration vers l'extérieur de la lagune. Toutefois, les quelques traits d'inventaires repris dans les mêmes secteurs en 2007 n'ont pas permis de statuer sur une éventuelle émigration des étoiles de mer en fin d'été. Dare (1982) rapporte un phénomène équivalent dans une baie de Morecambe, dans la mer d'Irlande, sans pouvoir y apporter d'explication claire. De leur côté, Galtsoff et Loosanoff (1939) parlent plutôt d'une redistribution annuelle des étoiles de mer dans diverses baies des États-Unis plutôt que d'un déplacement massif. Un contrôle naturel des populations d'étoiles par les tempêtes, maladies, compétition ou prédation peut également être important (Galtsoff et Loosanoff, 1939; Menge, 1979).

#### 4.2 Reproduction et monitoring

En 2006 et 2007, la ponte des étoiles de mer a débuté dès les premières semaines de juin, alors que les températures de l'eau de la lagune atteignaient les 15°C, pour se poursuivre jusqu'à la fin juillet. La présence des larves a été notée à cette période en 2007 confirmant l'apport reproducteur des étoiles de mer. Puisque le stade larvaire des étoiles

de mer *Asterias* sp. peut s'étaler de 3 à 6 semaines après la ponte (Loosanoff, 1964; MacKinnon *et al.*, 1992; Pryor et Parsons, 1999; Pryor *et al.*, 1999), il est plausible d'observer les premières fixations en juillet. Les premières fixations d'étoiles de mer ont d'ailleurs été notées sur les collecteurs cumulatifs à la fin juillet 2007. Le captage s'est poursuivi en août mais les données sur la taille moyenne des étoiles de mer captées laisse présumer que la fixation se serait principalement produite au début du mois. L'utilisation des collecteurs en rotation a été décevante. Très peu d'étoiles de mer s'y sont fixées ce qui n'a pas permis de déterminer avec précision la période maximale de captage pour les deux années d'étude.

L'insuccès à échantillonner les larves d'étoiles dans le milieu en 2006 semble avoir été corrigé par l'augmentation du nombre de station de pompage. Le nombre de larve détectée a toutefois été largement inférieur à celui obtenu lors d'un suivi d'étoiles de mer dans le bassin du Havre-Aubert, aux Îles-de-la-Madeleine, avec un pic de 2,5 étoiles/l en début juillet (Bourque et Myrand, 2008). Il semble donc que cette approche est moins appropriée pour les conditions de la lagune de Havre-aux-Maisons. Pryor et Parsons (1999) ont d'ailleurs observé, sur leurs 2 sites d'étude à Terre-Neuve, un plus grand nombre de larves d'étoiles dans les échantillons récoltés lors des marées montantes et dans les secteurs de forts courants. Dans la lagune de Havre-aux-Maisons, il semble que les principaux facteurs qui gouvernent la circulation de l'eau sont les marées, les vents et les dénivellations du niveau de l'eau dans le Golfe du Saint-Laurent, à l'extérieur des lagunes (Koutitonsky et Booth, 1996). Un suivi larvaire réalisé à une période fixe du cycle des marées complique toutefois le suivi larvaire, déjà considéré comme une procédure coûteuse, sans pour autant rapporter des résultats satisfaisants étant donné l'importance des vents dans le système. Aussi, rappelons que les données larvaires ne permettent pas de déterminer l'importance de la fixation par la suite (MacKinnon *et al.*, 1994).

Dans un contexte de monitoring, le suivi de la ponte et le suivi du captage cumulatif semblent donc être les outils les plus performants. Il faut toutefois rester prudent car le stade de maturité des gonades peut varier selon le site de récolte (Bourgeois, observ.

pers.) et le sexe des étoiles (Franz *et al.*, 1981). Les deux espèces d'étoiles de mer *Asterias* sp. présentes dans la lagune de Havre-aux-Maisons sont également décrites comme ayant des périodes de pontes distinctes sur la côte est des États-Unis; soit juin pour *A. rubens* et juillet/août pour *A. forbesi* (Menge, 1986). Le développement des gonades est aussi grandement affecté par la disponibilité en nourriture. Par exemple, les étoiles de mer présentes dans les secteurs où la densité de moules est élevée développeront des gonades plus grosses que les étoiles de mer présentes dans les secteurs moins denses (Menge, 1986).

Les suivis de ponte doivent donc être dirigés dans des sites similaires regroupant un nombre d'étoiles de mer supérieures à 4 cm, donc âgées de plus de 1 an et considérées matures (Galtsoff et Loosanoff, 1939; MacKinnon *et al.*, 1992), tel que sous les filières d'élevage. Aussi, l'identification d'un mode d'approvisionnement en étoiles de mer moins coûteux qu'en plongée, soient via une drague de faubert, une récolte manuelle sur les filières lors des opérations commerciales ou par le calage périodique de boudin de moules dédiés au captage devra être faite.

Quant aux collecteurs cumulatifs, la présence de naissains de moules, avant la fixation des étoiles de mer, peut expliquer le succès de cette approche. Les jeunes moules sont généralement considérées comme des proies préférentielles pour les étoiles de mer nouvellement fixées (Pryor et Parsons, 1999; Pryor *et al.*, 1999). Toutefois, dans un contexte de monitoring, une diminution des pas d'échantillonnage durant la période cruciale de la fixation permettrait de déterminer avec plus de certitude la période intensive de la fixation. Il faut également éviter que les filières ou les collecteurs ne touchent le fond ou soit trop rudement manipulés à la remontée, sinon des pertes en étoiles de mer peuvent survenir.

#### 4.3 Contrôle des étoiles de mer

Les essais de contrôle des étoiles de mer en plongée ont démontré la faisabilité de l'approche, l'efficacité de la méthode employée et ont permis d'amasser des premières informations sur les coûts de l'opération. La récolte des étoiles de mer en plongée a été

facilitée par les concentrations présentes sous les filières mytilicoles. L'opération demeure néanmoins coûteuse. Toutefois, la réduction du nombre de remontées par l'utilisation de bouées pour remonter les sacs de récolte, tel que pratiqué lors de la pêche aux oursins en plongée, pourrait permettre d'optimiser les opérations et ainsi réduire les coûts de récolte. D'autres méthodes de contrôle peuvent également être envisagées (Barkhouse *et al.*, 2007; Galtsoff et Loosanoff, 1939; Loosanoff, 1964) mais la présence des filières rend difficile l'utilisation de la drague-faubert ou de casiers. De plus, ces engins sont plus ou moins efficaces et, dans le cas de la drague-faubert, risque d'abîmer les étoiles de mer pour une utilisation ultérieure, comme par exemple la récolte du liquide coelomique.

La récolte des étoiles de mer pourrait être avantageuse si elle était effectuée avant le début de la ponte. En effet, elle permettrait de réduire le nombre de géniteurs et ainsi réduirait l'abondance des petites étoiles de mer représentant le recrutement de l'année. De plus, la période de récolte ne semble pas être un facteur déterminant de la qualité du liquide coelomique recueilli (Beaulieu, M., Océanova Biotechnologie Inc., comm. pers.). Toutefois, le volume obtenu peut varier en fonction de l'espace occupé par les gonades (Franz *et al.*, 1981) et pourrait se traduire par une quantité de liquide coelomique moins importante avant la ponte.

Les inventaires ont révélé que les étoiles de mer présentes dans la lagune en 2006 et 2007 étaient en général de petite taille. Il faudrait donc se questionner sur l'intérêt des biotechnologies pour ces étoiles possédant un faible volume de liquide coelomique. Les données d'inventaire de 2006 a permis d'estimer une densité de 0,04 étoiles >4 cm/m<sup>2</sup>, soit 700 000 étoiles de mer pour la surface couverte lors des inventaires (17,5 km<sup>2</sup>). Pour les étoiles de mer supérieures à 6 cm une densité de 0,02 étoiles/m<sup>2</sup>, soit 35 000 étoiles de mer est estimée. En tenant compte uniquement des étoiles de mer concentrées sous les filières d'élevage, une récolte de 800 000 étoiles >4cm ou de 350 000 étoiles >6 cm peut être estimée. Ces concentrations varient cependant avec l'abondance de nourriture sous les filières et le cycle de récolte des mytiliculteurs. Finalement, il faut considérer que la capacité de renouvellement de la ressource, dans un contexte d'approvisionnement

régulier des entreprises de biotechnologie de même que les revenus potentiels sont encore des variables inconnues.

Une bonne gestion des structures d'élevage et des bonnes pratiques d'élevage sont primordiales pour limiter l'expansion des concentrations d'étoiles de mer dans les sites conchylicoles et doivent être considérés comme les premières approches de contrôle à privilégier. Mentionnons qu'au cours de dernières années, les entreprises mytilicoles ont porté une attention particulière à la flottabilité de leurs filières dans les lagunes des îles ce qui peut expliquer les densités plus faibles et les tailles plus petites que celles attendues en début de projet. De plus, des travaux sur la force d'attachement des moules à divers périodes de l'année ainsi que l'amélioration des méthodes de récolte afin d'éviter les pertes de moules par décrochage ont également été réalisés dans ce sens (Bourque et Myrand, 2006; Lachance *et al.*, sous presse).

## 5. CONCLUSION

L'étude a permis de déterminer les zones de concentrations d'étoiles de mer dans la lagune de Havre-aux-Maisons, lesquelles se maintiennent surtout dans le secteur centre, correspondant au site conchylicole, et dans le secteur du nord-est, en lien avec un herbier à zostère. La population est dominée par des individus de petite taille et appartenant à une forme hybride entre *A. rubens* et *A. forbesi*. En 2006 et 2006, le cycle de reproduction des étoiles de mer s'est caractérisé par une ponte débutant en juin et se terminant avant le début août. La fixation des larves a débuté au cours du mois de juillet, soit environ un mois après le début de la ponte, avec un pic observé en août. Afin d'informer les producteurs de la période optimale de mise à l'eau des structures pour éviter les étoiles de mer, l'utilisation de collecteurs cumulatifs représente la méthode la plus fiable.

Les informations recueillies lors des essais de contrôle des étoiles de mer en plongée permettent de croire en une méthode de contrôle efficace mais qui reste à être optimisée pour en réduire les coûts. Une récolte des géniteurs avant la ponte pourrait être optimale afin de limiter le recrutement et récupérer les plus gros spécimens. L'avenue des

biotechnologies pour l'utilisation des étoiles de mer, en tout ou en partie (liquide cœlomique), n'est pas encore confirmée.

Quoi qu'il en soit, une saine gestion des parcs maricoles demeure encore la première étape pour éviter la prolifération des étoiles de mer et les inconvénients liés à la présence de ce prédateur dans la lagune de Havre-aux-Maisons.

## 6. RECOMMANDATIONS

Le projet a permis d'évaluer diverses approches pouvant être utilisées dans le cadre d'une activité de surveillance (monitoring) de la fixation des étoiles de mer dans lagune de Havre-aux-Maisons.

- Suivi de la ponte : La période de ponte correspond bien avec la période larvaire. La mesure de l'indice gonadique à l'état frais est simple mais la récolte des étoiles de mer, en plongée, est coûteuse. Cet outil prédictif pourrait être très intéressant, moyennant une baisse importante des coûts d'approvisionnement en étoiles de mer.
- Suivi larvaire : Ce suivi s'est avéré plus complexe que prévu, irrégulier et coûteux. De plus, cette approche n'est pas prédictive de l'intensité de la fixation et constitue uniquement un indicateur de présence/absence.
- Le pic de fixation : Les collecteurs mis en rotation devaient nous permettre de mesurer cette variable. Ils se sont toutefois avérés peu performants pour le captage des étoiles de mer malgré l'abondance du recrutement de l'été 2007.
- Le maximum de fixation : Les collecteurs cumulatifs ont démontré des données de densités de captage variables entre les 2 sites suivis. Toutefois les données de tailles se sont avérées cohérentes et ont permis de détecter la fin de la fixation. La méthode est simple mais le pas d'échantillonnage aurait avantage à être resserré dans la période critique de juillet. Des précautions particulières sont également à prendre pour éviter la perte des étoiles de mer qui peuvent survenir lors de la récupération des collecteurs.

Ainsi, sur la base des résultats obtenus dans le cadre de notre étude, le suivi de la ponte et du captage cumulatif sont des outils qui devraient permettre de conseiller adéquatement l'industrie sur la période de fixation des étoiles. Si, au fil de années, un lien entre la période ponte et la période fixation est établi, il sera alors pensable de ne conserver que le suivi de la ponte comme approche de surveillance.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier toutes l'équipe technique du CeMIM impliquée dans la réalisation de projet autant pour les sorties sur le terrain que pour le travail en laboratoire : en particulier, Jules Arseneau, Francine Aucoin, Yvon Chevarie, François Gallien, Michelle Langford et Jacques Richard. Merci également aux étudiants en biologie de passage au Centre pour leur précieuse contribution : Sophie Boudreau, Luc Bourgeois et Vanessa Poirier. Finalement, merci aux compagnies conchylicoles de la lagune pour leur support au projet et à l'intérêt porté en début de projet par la compagnie Océanova biotechnologie. Ce projet a été rendu possible grâce au financement de la SODIM et du MAPAQ.

## 7. RÉFÉRENCES

- Balch, T. et Scheibling, R. 2000. Temporal and spatial variability in settlement and recruitment of echinoderms in kelp beds and barrens in Nova Scotia. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 205, 139-154.
- Barkhouse, C., Niles, M.M. et Davidson, L.A. 2007. Étude bibliographique des moyens de lutte contre les étoiles de mer dans les cultures de mollusques sur le fond et en suspension. Rapport canadien à l'industrie sur les sciences halieutiques et aquatiques. MPO. 279, 39 pp.
- Bourque, F. et Myrand, B. 2006. Étude descriptive du dégrappage en milieu lagunaire aux Iles-de-la-Madeleine. Les publications de la DIT, MAPAQ. no. 152, 9 pp.
- Bourque, F. et Myrand, B. 2008. Traitement des collecteurs de moules à la saumure pour contrer la prédation par les étoiles de mer. Les publications de la DIT, MAPAQ. 160, 20 pp.
- Brunel, P., L. Bossé, G. Lamarche. 1998. Catalogue des invertébrés marins de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Conseil national de recherches du Canada. Publ. spéc. can. sci. halieut. aquat. 126, 405 pp.
- Dare, P.J. 1982. Notes on the swarming behaviour and population density of *Asterias rubens* L. (Echinodermata : Asteroidea) feeding on the mussel, *Mytilus edulis* L. *Journal du conseil International de l'exploration de la mer.* 40, 112-118.
- Franz, D.R., Worley, E.K. et Merrill, A.S. 1981. Distribution patterns of common seastars of the middle atlantic continental shelf of the northwest atlantic (Gulf of Maine to Cape Hatteras). *The Biological Bulletin.* 160, 394-418.
- Galtsoff, P.S. et Loosanoff, V.L. 1939. Natural history and method of controlling the starfish (*Asterias forbesi*, Desor). *Bulletin of the bureau of fisheries.* 31, 132 pp.
- Gouvernement de l'Île du Prince Édouard. Site consulté le 4 juin 2008 du site WEB <http://www.gov.pe.ca/af/agweb/fisheries/index.php3>
- Harper, F.M. et Hart, M.W. 2005. Gamete compatibility and sperm competition affect paternity and hybridization between sympatric *Asterias* Sea stars. *The Biological Bulletin.* 209, 113-126.
- IFREMER. Surveillance. Site consulté le 4 juin 2008 du site WEB <http://www.ifremer.fr/envlit/surveillance/index.htm>

- Inglis, G.J. et Gust, N. 2003. Potential indirect effects of shellfish culture on the reproductive success of benthic predators. *Journal of Applied Ecology*. 40, 1077-1089.
- Koutitonsky, V. et Booth, D.A. 1996. Modélisation numérique des courants de marée dans les lagunes le Bassin, Havre-aux-Maisons, et Grande-Entrée aux Îles-de-la-Madeleine, Golfe du St-Laurent. *INRS-Océanologie*. 16 + fig et annexe pp.
- Lachance, A.-A., Myrand, B., Tremblay, R., Koutitonsky, V. et Carrington, E. sous presse. Biotic and abiotic factors influencing attachment strength of blue mussels (*Mytilus edulis*) in suspended culture. *Aquatic Biology* sous presse.
- Loosanoff, V.L. 1964. Variations in time and intensity of setting of the starfish *Asterias forbesi* in Long Island Sound during a twenty-five-year period. *The Biological Bulletin*. 126, 423-439.
- MacKinnon, M., C., Gallant, R. et Gillis, B. 1992. Some observations on starfish predation on mussel spat collectors. Fisheries and Aquaculture Division, P.E.I. Department of Agriculture Fisheries and Forestry. 208, 28 p. pp.
- MacKinnon, M., C., Gallant, R. et Gillis, B. 1994. Some observations on starfish predation on mussel spat collectors. Fisheries and Aquaculture Division, P.E.I. Department of Agriculture Fisheries and Forestry. 208, 28 pp.
- Menge, B.A. 1979. Coexistence between the seastars *Asterias vulgaris* and *A. forbesi* in a heterogeneous environment: A non-equilibrium explanation. *Oecologia*. 41, 245-272.
- Menge, B.A. 1986. A preliminary study of the reproductive ecology of the seastars *Asterias vulgaris* and *A. forbesi* in New England. *Bulletin of Marine Science*. 39, 467-476.
- Pryor, M. et Parsons, G.J. 1999. Larval distribution of blue mussel (*Mytilus edulis* and *M. trossulus*) and predatory starfish (*Asterias vulgaris*) during a 12-hour tidal cycle. *Bulletin Aquaculture Association Canada*. 99-4, 37-39.
- Pryor, M., Parsons, G.J. et Couturier, C. 1999. Temporal distribution of larval and post-set blue mussel (*Mytilus edulis* and *M. trossulus*) and starfish (*Asterias vulgaris*) at mussel culture sites in Newfoundland. *Bulletin Aquaculture Association Canada*. 99-4, 40-42.

Tableau 1. Bilan des résultats obtenus lors des essais de contrôle des étoiles de mer sous les filières mytilicoles dans la lagune de Havre-aux-Maisons en 2006.

Date	Rendement de récolte		Taille moyenne (rayon-cm)	Efficacité (%)	Coût	
	n/ min	kg/ min			\$/kg	\$/unité
12/07/2006	29	0,92	5,6	79	4,70	0,15
16/08/2006	42	1,38	5,4	80	3,00	0,10
14/09/2006	36	0,45	4,8	93	8,80	0,12