

Étude bibliographique des moyens de lutte contre l'étoile de mer dans les cultures de mollusques sur le fond et en suspension

C. Barkhouse, M. Niles, L.-A. Davidson

Ministère des Pêches et des Océans
Centre des pêches du Golfe, Division des Océans & Science
343 ave. Université
Moncton, Nouveau-Brunswick
E1C 9B6

2007

**Rapport canadien à l'industrie sur les sciences
halieutiques et aquatiques 279**



Fisheries
and Oceans

Pêches
et Océans

Canada 

Rapport canadien à l'industrie sur les sciences halieutiques et aquatiques 279

2007

Étude bibliographique des moyens de lutte contre l'étoile de mer dans les cultures de mollusques sur le fond et en suspension

C. Barkhouse¹, M. Niles¹, L.-A. Davidson¹

¹Ministère des Pêches et des Océans
Centre des pêches du Golfe, Division des Océans & Science
343 ave. Université
Moncton, Nouveau-Brunswick
E1C 9B6

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2007.
No. de Cat. Fs 97-14/279F ISSN 1488-5476

On devra citer la publication comme suit:

Barkhouse, C.L., M. Niles, et L.-A. Davidson. 2007. Étude bibliographique des moyens de lutte contre l'étoile de mer dans les cultures de mollusques sur le fond et en suspension. Rapp. can. ind. sci. halieut. aquat. 279 : vii + 39 p.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	v
ABSTRACT.....	vi
RÉSUMÉ	vi
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 MÉTHODES.....	2
3.0 RÉSULTATS : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
3.1 BIOLOGIE DE L'ÉTOILE DE MER.....	3
3.2 MOYENS DE LUTTE DANS LES CULTURES SUR LE FOND.....	5
3.2.1 <i>Le faubert</i>	5
3.2.2 <i>Drague</i>	8
3.2.3 <i>Trappes à étoile de mer</i>	10
3.2.4 <i>Enclos</i>	11
3.2.5 <i>Ramassage manuel</i>	12
3.3 MOYENS DE LUTTE DANS LES CULTURES EN SUSPENSION	12
3.3.1 <i>Saumure</i>	13
3.3.2 <i>Chaux</i>	14
3.3.3 <i>Ramassage manuel</i>	14
3.4 UTILISATIONS POSSIBLES DES ÉTOILES MER RECUEILLIES	15
3.4.1 <i>Farine</i>	15
3.4.2 <i>Compostage</i>	16
3.4.3 <i>Biotechnologie</i>	17
3.4.5 <i>Arts et artisanat</i>	17
4.0 CONCLUSIONS.....	17
5.0 REMERCIEMENTS	18
6.0 RÉFÉRENCES	19
7.0 ANNEXE 1	33

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Carte des sites d'ensemencement de Pecten UPM –MFU Inc.	29
Figure 2. Espèces d'étoiles de mer retrouvées dans le sud du Golfe du St. Laurent: a) <i>Asterias vulgaris</i> ; b) <i>Leptasterias polaris</i> ; c) <i>Crossaster papposus</i> ; d) <i>Solaster endeca</i>	30
Figure 3. Le faubert.	30
Figure 4. Dragage à pétoncles utilisée à Cap Tourmentin, au Nouveau-Brunswick.	31
Figure 5. Trappe à étoile de mer utilisée aux Îles-de-la-Madeleine.....	31
Figure 6. Trappe à étoile de mer Whayman-Holdsworth.....	32
Figure 7. Clôture à rebord en porte-à-faux de 45°.....	32

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Densité moyenne et écart de densité des étoiles de mer trouvés aux trois sites de pétoncles de Pecten durant les évaluations vidéos faites en 2005.....	25
Tableau 2. Description sommaire des moyens de lutte contre l'étoile de mer, lieu où il est utilisé, coût estimatif de son utilisation et références pertinentes. ..	26

ABSTRACT

Barkhouse, C.L., M. Niles, and L.-A. Davidson. 2007. A literature review of sea star control methods for bottom and off bottom shellfish cultures. Can. Ind. Rep. Fish. Aquat. Sci. 279: vii + 39 p.

This literature review compiles information on sea star control methods that are in use today around the world. This includes methods to control sea star predation on a variety of molluscs, including mussels, oyster and scallops, for both bottom and off bottom cultures. A summary table is presented, which includes a description of each method, where it is used, cost and corresponding literature. Methods used for bottom cultures include the sea star mop, the dredge, sea star traps, fences and hand picking, while methods used for off bottom cultures include brine, lime and hand picking. Control methods require continual efforts of removal to collect sea stars that reinvade a cleared area. Methods such as the dredge have the unique advantage of allowing for continual removal of sea stars during regular harvesting or culture activities, while other methods such as the sea star mop requires separate efforts of sea star removal. The success of a control method is dependent on whether or not it is efficient, practical and cost efficient. The intention of this literature review is to present a summary of each method that will assist aquaculturists/industry in selecting a method that will work best for their conditions. Some methods, such as the dredge, sea star traps and hand picking, do not destroy the sea stars therefore allowing for their use after collection. Potential uses of sea stars once collected include feed for domestic animals, composting, biotechnology and arts and crafts.

RÉSUMÉ

Barkhouse, C.L., M. Niles, et L.-A. Davidson. 2007. Étude bibliographique des moyens de lutte contre l'étoile de mer dans les cultures de mollusques sur le fond et en suspension. Rapp. can. ind. sci. halieut. aquat. 279 : vii + 39 p.

Cette étude bibliographique est un recueil de l'information publiée sur les moyens de lutte contre les étoiles de mer utilisés aujourd'hui dans le monde. Elle couvre principalement les moyens pour limiter la prédation exercée par les étoiles de mer sur les pétoncles, les moules et les huîtres dans les cultures sur le fond et en suspension. Chaque moyen est décrit sommairement dans un tableau, y compris le lieu où il est utilisé, les coûts approximatifs de son utilisation, ainsi que des références pertinentes. Le faubert, la drague, les trappes, les enclos et le ramassage manuel servent à éliminer les étoiles de mer dans les cultures sur le fond, tandis que la saumure, la chaux et le ramassage manuel sont utilisés dans les cultures en suspension. Les moyens de lutte

nécessitent souvent un effort continu en raison de la mobilité et de la prolifération des étoiles de mer. Certains moyens tels la drague et le ramassage manuel ont l'avantage de pouvoir être incorporés dans les opérations régulières de pêche et d'aquaculture. Par contre, le faubert et l'immersion dans une solution de chaux ou de la saumure requièrent un effort indépendant des activités régulières. Le succès d'un moyen de lutte dépend de son efficacité, de son caractère pratique et de sa rentabilité. Ce document aidera les aquaculteurs à prendre des décisions informées dans la lutte contre les étoiles de mer dans leur situation particulière. Certains moyens tels la drague, les trappes et le ramassage manuel, permettent de récolter des étoiles de mer sans les briser, ce qui présente une opportunité d'exploitation. Les étoiles de mer peuvent être utilisées dans la fabrication d'aliments pour animaux domestiques et de compost, et même en biotechnologie et en artisanat.

1.0 INTRODUCTION

L'ensemencement du pétoncle est une forme d'aquaculture pratiquée sur les fonds marins, qui vise à obtenir des pétoncles de taille commerciale. Pecten UPM-MFU Inc., entreprise spécialisée dans la pectiniculture, a ensemencé 76 millions de naissains dans trois sites du golfe du Saint-Laurent au Nouveau-Brunswick entre 1999 et 2004, à un taux d'environ 1 km² par site par année (figure 1). Un taux de récupération de plus de 25 % semble nécessaire pour assurer la viabilité d'une entreprise pectinicole (Hébert et Nadeau, 2002). Bien en deçà de cette valeur cible, le taux de récupération a récemment été estimé à seulement 8 % pour l'un des sites de Pecten (résultats mesurés au moyen de relevés vidéos). Ces faibles taux de récupération peuvent être attribuables à de nombreux facteurs comme la dispersion, la prédation et la mortalité due aux manipulations. À ce site particulier, l'abondance d'un prédateur important, l'étoile de mer, *Asterias vulgaris*, pourrait avoir eu une influence sur la survie des pétoncles ensemencés. Les densités les plus élevées d'étoiles de mer ont évidemment été observées au site de la baie des Chaleurs (*A. vulgaris*, 80 %), alors que les densités aux deux autres sites, Miramichi et détroit de Northumberland, étaient beaucoup plus faibles (Tableau 1). Il est devenu nécessaire de trouver des moyens pour réduire les densités de ces prédateurs pour assurer la rentabilité de ces entreprises pectinicoles, particulièrement dans le site de la baie des Chaleurs.

Un modèle matriciel, conçu par Barbeau et Caswell (1999), confirme l'importance de réduire la prédation. Il a servi à examiner la dynamique à court terme des pétoncles ensemencés selon divers scénarios, qui comprennent les suivants : augmenter la taille à l'ensemencement, modifier la densité initiale des pétoncles ensemencés, accroître les dimensions du site et choisir une autre saison pour l'ensemencement. Toutefois, le scénario qui entraînait la plus importante augmentation des densités finales de pétoncle, était celui de réduire les densités de crabe commun et d'étoile de mer, reconnus comme des prédateurs majeurs (Barbeau et Caswell, 1999).

Les étoiles de mer ne consomment pas uniquement des pétoncles, mais également d'autres espèces de bivalves comme des huîtres et des moules. Au fil des ans, diverses méthodes d'élimination/de contrôle des étoiles de mer ont été mises au point. Le faubert, un des premiers moyens mis au point, est encore utilisé aujourd'hui; il s'agit d'une série de têtes de vadrouille en coton enfilées les unes à la suite des autres sur une longue barre et traînées sur le fond marin, dans lesquelles les étoiles s'entremêlent. D'autres techniques de lutte, comme la drague, les trappes à étoile de mer, les enclos, l'utilisation de saumure ou de chaux et la récolte à la main, sont encore utilisées aujourd'hui, alors que des méthodes comme la drague suceuse, l'utilisation de métaux lourds ou l'épandage de chaux ne sont plus appliquées en raison de leur inefficacité ou de leurs impacts négatifs sur l'environnement. Les moyens de lutte doivent souvent être appliqués sur une base continue, car les étoiles de mer envahissent de

nouveau les surfaces d'où elles avaient été éliminées. On a exploré le potentiel des moyens de lutte à long terme, comme la lutte biologique ou génétique, mais la sécurité, le caractère pratique ainsi que l'acceptabilité sociale et politique de ces moyens sont remis en question.

L'objectif de la présente étude bibliographique est de colliger des renseignements sur les moyens de lutte contre l'étoile de mer de par le monde. Ce document renferme des exemples de moyens destinés à contrer la prédation exercée par ce prédateur sur les mollusques, y compris les pétoncles, les huîtres et les moules, pour les cultures sur le fond et les cultures en suspension. Un résumé de chacun des moyens de lutte, de leur efficacité, de leurs avantages et désavantages ainsi que de leurs coûts, est présenté pour aider les aquaculteurs et les représentants de l'industrie à sélectionner un moyen optimal qui peut satisfaire à leurs conditions. Finalement, le succès d'un moyen de lutte dépend de son efficacité, de son caractère pratique et de son coût. Certains moyens examinés dans ce document permettent de récolter des étoiles de mer sans les détruire. On discutera donc de l'utilisation potentielle des étoiles de mer comme moyen de recouvrer les coûts associés aux mesures de lutte.

2.0 MÉTHODES

Les deux moteurs de recherche du gouvernement fédéral, Résumé des sciences aquatiques et halieutiques (ASFA) et VAGUES, ont servi à effectuer l'étude bibliographique des moyens de lutte contre la prédation de l'étoile de mer sur les mollusques. L'Internet a aussi permis d'accéder à des bases de données non gouvernementales, comme la collection de publications électroniques de recherche scientifique, ScienceDirect, et les documents en ligne. Les communications personnelles d'aquaculteurs, de biologistes et d'autres représentants de l'industrie ont été des sources indispensables. Plus de 15 communications ont été faites en personne, au téléphone ou par courriel. Ces échanges nous ont donné accès à la « littérature grise » et à de l'information non publiée. Lors de la collecte de renseignements, nous avons accordé la priorité à la documentation concernant les moyens de lutte contre l'étoile de mer employés aujourd'hui; toutefois, les anciens moyens et la biologie générale de l'étoile de mer ont également été examinés. Des renseignements ont été obtenus des pays suivants : Canada, États-Unis, Australie, Nouvelle-Zélande, France, Japon et Norvège. Des documents rédigés en anglais et en français ont été consultés et résumés par des personnes distinctes. L'information compilée a été saisie dans la base de données ProCite 5, dans laquelle on a attribué un numéro d'identification à plus de 120 documents pour faciliter leur repérage. Nous avons procédé à un examen des moyens de lutte contre l'étoile de mer utilisés dans les gisements de mollusques et pour la culture en suspension de mollusques. Dans ce document, à moins d'être indiqué autrement, nous avons utilisé le diamètre comme mesure de la taille de l'étoile de mer qui équivaut à la distance entre le centre du disque et l'extrémité du bras, multiplié par deux.

3.0 RÉSULTATS : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Le tableau 2 présente un résumé des moyens de lutte encore utilisés de nos jours, y compris leur description, leurs coûts et une liste de documents pertinents à chacun de ces moyens.

3.1 BIOLOGIE DE L'ÉTOILE DE MER

Quatre espèces d'étoile de mer principales fréquentent les eaux du golfe du Saint-Laurent : *Asterias vulgaris*, *Leptasterias polaris*, *Crossaster papposus*, et *Solaster endeca* (Gaymer *et al.* 2004) (figure 2). Même si le présent travail met l'accent sur *Asterias*, il faut tenir compte du fait qu'il existe des interactions étroites entre ces quatre espèces. Tandis que *A. vulgaris* se nourrit de mollusques et d'échinodermes, y compris d'autres étoiles de mer (*A. vulgaris* et *L. polaris*), *L. polaris* se nourrit principalement de moules et de mollusques benthiques. Par ailleurs, *C. papposus* s'alimente d'une diversité d'échinodermes (y compris *L. polaris*), et *S. endeca* se nourrit exclusivement de concombres de mer (Gaymer *et al.*, 2004). Ces différences de proies démontrent l'importance de bien identifier les diverses espèces d'étoiles de mer lorsqu'on réalise des études sur l'abondance.

L'aire de répartition géographique de *A. vulgaris* s'étend du Labrador à la Caroline du Nord, et cette espèce d'étoile de mer est considérée commune dans les eaux de l'Atlantique canadien (Mead, 1901). Les adultes (diamètre > 15 à 20 cm) présentent un modèle de distribution verticale et se retrouvent principalement dans les eaux profondes sur les substrats meubles, alors que les juvéniles et les jeunes adultes fréquentent les eaux peu profondes et les substrats durs (Himmelman et Dutil, 1991). À mesure que leur taille s'accroît et qu'elles atteignent leur maturité sexuelle, les jeunes étoiles de mer se déplacent de la zone rocheuse subtidale vers le niveau de la marée basse, vraisemblablement parce qu'elles sont attirées par les gisements de mollusques dans cette zone (Himmelman et Dutil, 1991). La migration saisonnière de *A. vulgaris* vers les eaux plus profondes au cours de l'hiver est peut-être un mécanisme lui permettant d'éviter les conditions rigoureuses des zones subtidales (Gaymer *et al.*, 2001; Gaymer *et al.*, 2002). Les étoiles de mer montrent une grande tolérance à diverses conditions environnementales. Même si *A. vulgaris* peut tolérer des températures allant jusqu'à 25° C (juvéniles, 27° C) (MacKinnon *et al.*, 1993), elle ne peut s'adapter à une exposition prolongée à l'air ou à des niveaux de salinité de moins de 16 à 18 ‰ (Lee, 1951).

Les sexes sont séparés chez l'étoile de mer, et la fertilisation a lieu dans la colonne d'eau, où les œufs sont fécondés par le sperme. Les larves planctoniques nagent pendant de deux à trois semaines avant de s'établir au fond (Needler, 1939b, O'Neil *et al.*, 1983). Les étoiles de mer peuvent atteindre la

maturité sexuelle lorsqu'elles ont un poids aussi faible que 1 à 10 g (Menge, 1986). À l'Île-du-Prince-Édouard, *A. vulgaris* pond ses œufs de mai au début juin (MacKinnon *et al.*, 1993; Needler, 1939b); toutefois, cela peut varier, car il semble que l'espèce peut pondre durant d'autres périodes. Par exemple, une étude menée dans la rivière Brudnell, Î.-P.-É., indique que la majorité des étoiles de mer ne pondent pas avant la mi-juillet (MacKinnon *et al.*, 1993). À Terre-Neuve-et-Labrador et aux Îles-de-la-Madeleine, on a observé que les larves d'étoile de mer s'établissent au fond du milieu de l'été au début de l'automne, ce qui se traduit par une ponte entre la mi-juillet et la fin août, environ un mois après la période de fixation maximale des moules (Pryor *et al.*, 1999; Bourque et Myrand, 2003). De façon générale, les taux de reproduction et de croissance de *A. vulgaris* varient selon l'abondance de nourriture et la température de l'eau (MacKinnon *et al.*, 1993; Menge, 1986). La taille des étoiles de mer peut atteindre de 50 à 54 mm (longueur d'un bras) en quatre mois à partir du moment où elles se fixent (Mead, 1901).

La moule bleue, *Mytilus edulis*, est la proie préférée de *A. vulgaris* et compte pour 80 à 100 % de son régime alimentaire (Gaymer *et al.*, 2001.). À de plus grandes profondeurs, et à mesure que le nombre de moules diminue, on observe un changement dans les préférences alimentaires de *A. vulgaris*, qui consomme alors des espèces comme l'ophiure (*Ophiopholis aculeate*) et l'hiatelle (*Hiatella arctica*) (Gaymer *et al.*, 2001). En zone intertidale et subtidale, les étoiles de mer consomment également des huîtres, des pétoncles, des bigorneaux, des littorines, des petits crustacés, des vers et des poissons morts. Les étoiles de mer sont des prédateurs dominants de la région du nord du Golfe; elles n'y ont pas de véritable prédateur, à l'exception d'autres étoiles de mer plus grandes (Gaymer *et al.*, 2004; M. Hanson, comm. pers., 2006). Des incidents de cannibalisme ont été observés chez *A. vulgaris* (Witman *et al.*, 2003; Gaymer *et al.*, 2001). Des étoiles de mer (diamètre ~ 30 mm) ont été retrouvées dans le système digestif du homard (*Homarus americanus*); toutefois, elles se trouvaient uniquement avec les carapaces de mue du crabe commun (M. Hanson, comm. pers., 2006). On pense que les jeunes étoiles de mer s'étaient probablement fixées aux carapaces des crabes, qui ont ensuite été dévorées par des homards. Une analyse du contenu stomacal des poissons suivants a aussi révélé la présence d'un petit nombre d'étoiles de mer : plie canadienne (*Hippoglossoides platessoides*), tanche-tautogue (*Tautogolabrus adspersus*), limande à queue jaune (*Limanda ferruginea*) et plie rouge (*Pseudopleuronectes americanus*) (Comeau *et al.*, 2004).

Les étoiles de mer utilisent la succion de leurs pieds ambulacraires pour ouvrir les bivalves, et elles introduisent leur estomac à l'intérieur de la coquille pour digérer leur proie. Les étoiles de mer peuvent consommer jusqu'à 1 % de leur masse corporelle par jour (MacKinnon *et al.*, 1993); il semble qu'elles consacrent moins de 10 % de leur temps à la recherche de proies (Nadeau et Cliche, 1998). Le nombre de bivalves consommés par jour par une étoile de mer peut varier de moins d'un pétoncle (Nadeau et Cliche, 1998) à trois bivalves

adultes ou plus de 15 naissains d'huîtres (Flimlin et Beal, 1993). Diverses variables ont des incidences sur la prédation exercée par l'étoile de mer, notamment la température de l'eau et la taille de la proie (Barbeau et Scheibling, 1994). Selon ces auteurs, le taux de consommation de petits pétoncles (5-8,5 mm) était plus élevé à 15°C qu'à des températures de 4°C ou de 8°C. Ils ont aussi établi que les étoiles de mer de 30 à 150 mm de diamètre consomment plus de petits pétoncles (5-8,5 mm) que de pétoncles de taille moyenne (10-15 mm) ou de grande taille (20-25 mm), et que les grandes étoiles de mer (120-150 mm de diamètre) ont un taux de consommation plus élevé que celles de taille moyenne (60-75 mm de diamètre). Cependant, d'autres chercheurs n'ont pu déterminer s'il existe une préférence claire dans la taille des proies chez les étoiles de mer, dans les cas où on leur donne le choix (Nadeau et Cliche, 1998).

Certaines études ont démontré que les taux de prédation par l'étoile de mer s'accroissent avec l'augmentation de la densité des proies (Barbeau *et al.*, 1994; Barbeau *et al.*, 1998; Gaymer *et al.*, 2001), mettant donc en évidence une réaction fonctionnelle par opposition à une réaction de regroupement. Une étude menée par Inglis et Gust (2003) a examiné les densités d'étoiles de mer sous des installations de culture de mollusques, et a révélé que les densités d'étoiles de mer y étaient de 14 à 39 fois plus élevées que dans des aires dépourvues de ces installations dans les mêmes baies. Il semble que l'abondance des proies disponibles favorise la croissance, le développement des gonades, le rendement reproductif et la proximité prolongée avec leurs semblables. Théoriquement, selon le modèle matriciel de Barbeau et Caswell (1999), des densités élevées ($> 3/m^2$) d'étoiles de mer entraînent un faible taux de survie des pétoncles ensemencés, mais un niveau de densité de faible à intermédiaire ($1/m^2$) pourrait être acceptable.

3.2 MOYENS DE LUTTE DANS LES CULTURES SUR LE FOND

3.2.1 Le faubert

Le faubert est un moyen de lutte physique utilisé par les aquaculteurs pour protéger les bancs de mollusques contre la prédation exercée par les étoiles de mer. Il en existe diverses variantes. En général, le faubert est constitué d'un certain nombre (4-19) de tampons de cordages de coton (vadrouilles) mesurant chacun environ un mètre de long et fixés à un cadre (telle la barre de fer de 2,5 à 3 mètres de long utilisée dans les dragues à pétoncles et à huîtres). L'engin est remorqué par un bateau (figure 3) (US Fish and Wildlife Service, 1946) et lorsqu'il balaie le fond, les étoiles s'enchevêtrent dans les cordages de coton. Il est habituellement remorqué pendant 10 à 15 minutes avant d'être remonté à bord (McEnnully *et al.*, 2001), quoique la durée de remorquage puisse varier. Ainsi, au Connecticut, des temps de remorquage de 3 minutes sont effectués (D. Hopp, comm. pers., 2006). Une fois l'engin remonté à bord, les étoiles en sont soit retirées à la main puis détruites par après ou sont détruites immédiatement par immersion des vadrouilles dans un bassin d'eau chaude. La

température de l'eau et la durée d'immersion varient. Presse *et al.* (2005) ont établi que la température de l'eau et la durée d'immersion optimales se situent entre 40 et 50°C pendant 30 à 60 secondes. L'immersion dans de la saumure, de la chaux ou de l'eau douce sont d'autres moyens proposés pour enlever les étoiles des cordages de coton. L'utilisation de deux Fauberts permet d'économiser temps et argent; pendant que l'un est remorqué, l'autre est nettoyé (Needler, 1939a).

L'impact du faubert sur la faune et la flore du fond traité en préoccupe certains (McEnnuly *et al.*, 2001). On considère toutefois en général que le faubert perturbe peu le fond (Presse *et al.*, 2003a.). Dès les années 1930, les aquaculteurs de la côte Est du Canada et des États-Unis utilisaient cet engin pour protéger leurs cultures d'huîtres (Needler, 1939a; McEnnuly *et al.*, 2001; Smith, 1940). Dans ces années, Needler (1939a) le considérait comme étant le moyen de lutte de ces prédateurs le plus efficace. Dans les années 1990, le faubert était utilisé dans la baie de Quiberon (Bretagne Sud), en France d'où il obtient son nom, pour éliminer *Asterias rubens* des élevages d'huîtres (Barthelemy *et al.*, 1991). Les conchyliculteurs irlandais passaient traditionnellement le faubert une ou deux fois par semaine (Heffernan, 1999). Le faubert est également utilisé au Japon, dans les ensemencements de pétoncles, à titre d'élément de la méthode de culture HOTAC (McEnnuly *et al.*, 2001), développée dans le but d'améliorer le succès de la culture du pétoncle japonais sur le fond (Ito, 1991). Cette méthode comporte l'utilisation de dragues à pétoncles et de trappes pour éliminer les étoiles de mer avant le l'ensemencement et de faubert et de trappes pour les éliminer après le l'ensemencement (McEnnuly *et al.*, 2001). On prévoit également utiliser le faubert au Maine aux fins de gestion des cultures de moules (Hendrix, 2006). Une autre forme de vadrouillage est également considérée au Connecticut, où les étoiles de mer sont ramassées par les épines à l'aide d'une sorte de brosse (Anon., 2006).

L'efficacité du faubert varie selon le type de fond et les conditions de travail (Needler, 1939a). Smith (1940) a évalué l'efficacité de l'engin par marquage et recapture d'étoiles de mer. Dans le cadre de son étude, il a recapturé 86 % des individus dans les 28 heures suivant leur remise à l'eau. Au cours de l'été 2001, des essais d'élimination des étoiles de mer dans le bassin de Havre-Aubert (Îles-de-la-Madeleine, Québec) à l'aide du faubert ont résulté en la capture d'environ 90 % des individus balayés, taux confirmé par les observations de plongeurs (Bourque et Myrand, 2003). En septembre 2001, l'entreprise pectinique Pecten UPM-MFU a évalué l'efficacité du faubert dans la baie des Chaleurs à l'aide d'un enregistrement vidéo du fond avant et après les passages du faubert. Même si seulement trois passages ont été effectués le long du même transect, la densité de ces prédateurs a été réduite de 0,57 à 0,47 individus/m² (réduction de 17 %) (Pecten, 2002).

Le faubert donne de meilleurs résultats dans les secteurs de superficie moyenne présentant des densités élevées d'étoiles de mer (Goggin, 1998). À leur site de semis de pétoncles dans la baie des Chaleurs, où la densité des étoiles de mer se situait à environ 1 individu/m², la société Pecten UPM-MFU en a prélevées quelque 15 000 par passage de faubert de 20 minutes (Pecten UPM-MFU, 2002). Par contre, des quantités plus faibles de 50 individus ont été obtenues dans le bassin de Havre-Aubert (Îles-de-la-Madeleine, Québec) lors de passages du faubert de 5 minutes (Bourque et Myrand, 2003). Cette différence est attribuable à la différence de taille de l'engin utilisé. Par exemple, celui utilisé dans la baie des Chaleurs comportait 19 vadrouilles (Pecten, 2002), alors que le faubert utilisé dans le bassin de Havre-Aubert n'en comptait que quatre (Bourque et Myrand, 2003). Il est également important de noter que le faubert ne capture pas les étoiles de mer de moins de 1,5 cm de diamètre (Smith, 1940).

Les étoiles de mer capturées au faubert dans les baies protégées du Connecticut sont habituellement détruites par immersion de l'engin dans un bassin d'eau chaude (Presse *et al.*, 2005). L'eau chaude les amollit et elles tombent à la mer lorsque l'engin est mis à l'eau pour le passage suivant (Lee, 1948; Presse *et al.*, 2003.). Des problèmes peuvent toutefois survenir lorsque la mer est agitée, comme cela est le cas au large des Îles-de-la-Madeleine, au Québec. L'eau chaude peut déborder du bassin, ce qui pose un grave risque pour l'équipage (Presse *et al.*, 2003). L'utilisation d'autres moyens d'élimination des étoiles de mer lorsque la mer est agitée, notamment la saumure, ne règle pas le problème de débordement du bassin d'immersion car il faut constamment remplacer le volume perdu (M. Nadeau, comm. pers., 2006). En outre, la saumure n'amollit pas les étoiles de mer, ce qui fait qu'il est plus difficile de les retirer des tampons de coton entre les passages de l'engin (Presse *et al.*, 2003.). Non seulement le ramassage à la main consomme-t-il beaucoup de temps, mais il est considéré comme coûteux (Needler, 1939a).

Les coûts d'utilisation du faubert varient. Ils comprennent les coûts d'exploitation du bateau (y compris le carburant), les salaires d'au moins deux personnes et le coût de remplacement des vadrouilles usées (Needler, 1939a.). Lors des essais effectués aux Îles-de-la-Madeleine, les vadrouilles n'ont pas duré longtemps et ont dû être remplacées à chaque trois jours environ (Presse *et al.*, 2005). S'ajoutent à ces coûts les coûts d'installation de systèmes de chaudières à bord (chacun coûte environ 10 000 \$). Presse *et al.* (2005) ont estimé que le nettoyage, sur une période de 16 jours, d'une superficie de 4 km² à l'aide de fauberts coûte environ 43 000 \$ (0,06 \$/étoile de mer), soit quelque 2 700 \$ par jour. Ces coûts incluent les frais d'installation de deux systèmes de chaudières à bord, le coût d'achat de deux fauberts et de vadrouilles de remplacement et le coût d'exploitation du bateau. Il en coûtera moins cher si le bateau utilisé est déjà gréé d'un cadre pour y monter le faubert (cadre de drague) ou si des méthodes ne nécessitant pas de l'eau chaude sont utilisées pour enlever les étoiles de mer des vadrouilles de coton. À la longue, la durée de vie du cadre deviendra aussi un facteur à prendre en considération.

Au Connecticut, le coût estimatif quotidien des opérations de nettoyage, qui comprennent 7 heures de vadrouillage et 3 heures de navigation, a été fixé à 1 400 \$ CAN par bateau (D. Hopp, comm. pers., 2006). Ce coût repose sur des passages de trois minutes, par un bateau de 65 pieds, d'un faubert constitué d'une barre de remorquage de 8 pieds et de 12 vadrouilles. Deux bateaux ramassent les étoiles de mer tous les jours à l'année longue dans un bail ostréicole de 20 000 acres. Si la densité de ce prédateur n'est pas trop élevée, quelque 100 acres peuvent être nettoyées par jour. Les étoiles sont enlevées des tampons de cordage par immersion de l'engin dans de l'eau de mer chaude ou à la main s'il y en a moins de 30.

3.2.2 Drague

La drague sert à la récolte de pétoncles, de moules ou d'huîtres sur le fond. Du fait que des étoiles de mer y sont également capturées (figure 4), elle peut servir à la lutte contre ce prédateur lors de la récolte des espèces ciblées. Au Japon, la drague constitue un élément de la méthode de culture des pétoncles HOTAC. Elle est utilisée pour débarrasser les baux de culture des étoiles de mer avant l'ensemencement des pétoncles (Goggin, 1998). Il existe aussi la drague à rouleau qui est une drague ordinaire munie d'un rouleau à l'avant. Le rouleau sert à soulever les étoiles du fond, qui sont ensuite recueillies dans un sac fixé à l'arrière de la drague. Cet engin est utilisé aux Pays-Bas pour débarrasser les gisements d'huîtres subtidals de l'étoile *Asterias rubens* (McEnnuly *et al.*, 2001). En France, une drague spécialisée conçue avec l'aide de professionnels a été utilisée pour débarrasser les gisements d'huîtres des étoiles de mer (Barthelemy *et al.*, 1991). Bien que des détails sur la conception de cet engin ne soient pas disponibles, il semblait prometteur sur le plan de l'efficacité d'après les observations des plongeurs (Barthelemy *et al.*, 1991).

Dans les districts de Tokoro et de Shari, au Japon, la drague est utilisée pour nettoyer un lieu de culture des pétoncles avant l'ensemencement et à nouveau quatre ans plus tard lorsque les pétoncles sont prêts à être récoltés (M. Kurata, comm. pers., 2006). La densité des étoiles de mer dans le district de Shari se chiffre à 0,19 individus/m² pour *Asterias amurensis* et à 0,10 individus/m² pour *Distolasterias nippon*, alors que dans le district de Tokoro, la densité se situe entre 0,06/m² et 0,156/m² pour les deux espèces. Au plus cinq hommes mènent les opérations de nettoyage, d'une durée de 120 jours, et quelque 150 tonnes d'étoiles de mer sont prélevées chaque année.

D'après Goggin (1998), la drague donne de meilleurs résultats lorsqu'elle est utilisée dans des secteurs de superficie faible à moyenne connaissant des densités élevées d'étoiles de mer. En 1998, cinq bateaux ont dragué sur une surface de 2,3 km², située au large des Îles-de-la-Madeleine, au Québec, durant quatre jours pour ramasser les étoiles de mer (Nadeau et Cliche, 2000). La densité des étoiles (toutes espèces confondues) y a été réduite de moitié, passant de 0,06/m² à 0,03/m² (Hébert *et al.*, 2006). Cette réduction touchait

principalement l'étoile *Solaster endeca*, qui n'est pas un prédateur de mollusques. De fait, des relevés vidéos effectués avant le dragage ont montré que *S. endeca* était l'espèce dominante parmi les étoiles de mer présentes (47 %). Les autres espèces d'étoiles de mer, soit *A. vulgaris*, *L. polaris* et *C. papposus*, constituaient respectivement 5 %, 27 % et 21 % de cette faune prédatrice. Le coût estimatif de ces opérations de nettoyage se chiffrait à 45 000 \$, dont 90 % était attribuable à l'exploitation des bateaux et 10 %, aux coûts de pesée et de compostage. L'efficacité de la drague pour ce qui est de récolter des étoiles de mer était considérée comme étant assez faible (< 10 %). Pour couvrir les coûts de ces opérations de nettoyage, il aurait fallu qu'elles permettent d'augmenter les débarquements de pétoncles de 9,3 % des 5,4 millions de pétoncles ensemencés, ce qui semble élevé (Nadeau et Tita, 2005). Il faut également tenir compte du fait que la drague capture plus facilement les espèces de grande taille, notamment *S. endeca* et *C. papposus*, en comparaison des espèces de petite taille, notamment *A. vulgaris* et *L. polaris* (Presse *et al.*, 2005). Néanmoins, la drague présente l'avantage de prélever ces prédateurs en continu durant la récolte des espèces ciblées, tels les pétoncles, les huîtres et les moules, au lieu d'avoir à déployer des efforts de lutte ponctuels, par exemple par vadrillage.

Durant les opérations régulières de pêche aux pétoncles, aux huîtres ou aux moules à la drague, les étoiles de mer prises dans la drague sont souvent rejetées à l'eau en raison du temps et de l'effort requis pour les recueillir. Il reste aussi la question à savoir que faire des étoiles recueillies. Des programmes d'encouragement ont donc été mis sur pied à l'intention des aquaculteurs pour qu'ils les ramènent à quai en échange d'une rémunération à la livre. Un tel programme, d'une durée d'un an, a été mis en place en juillet 2001 aux Îles-de-la-Madeleine, au Québec. Au total, environ 60 000 kg ou 900 000 étoiles de mer ont été ramenés à quai, ce qui s'est traduit par une réduction de 14 % des effectifs de ce prédateur (de 0,35/m² à 0,30/m²) sur une superficie totale de 17,9 km² (Presse *et al.*, 2003). Les étoiles recueillies ont été compostées (M. Nadeau, comm. pers., 2006). Ce programme a coûté près de 47 000 \$ ou 0,052 \$ par étoile de mer; ces frais comprennent les versements aux pêcheurs pour les étoiles récoltées (de 0,22 \$ à 0,55 \$ par kg), les coûts du programme de compostage (0,036 \$/kg) et les salaires des employés y participant (Presse *et al.*, 2003; D. Hébert, comm. pers., 2006). De même, en Nouvelle-Zélande, la principale méthode de lutte contre *Coscinasterias* sp. prend la forme d'un concours entre les pêcheurs de pétoncles à la drague, qui se voient attribués un prix pour le plus grand nombre d'étoiles de mer (R. Mincher, comm. pers., 2006). Le pêcheur qui en ramasse le plus dans une semaine reçoit 20 \$ CAN, et trois grands prix d'une valeur totale de 1 000 \$ sont donnés chaque année à ceux qui en ramassent le plus au cours de la saison de pêche. Les transformateurs pèsent les étoiles de mer ramenées à quai puis les mettent au rebut. Durant la saison 2005-2006, les débarquements déclarés d'étoiles de mer provenant de la baie Golden, de la baie Tasman et de Marlborough Sounds se chiffraient à 10,8 tonnes, ce qui se traduit par une moyenne de 9,66 kg par jour pour

1 121 sorties de pêche d'une journée. Le ramassage des étoiles de mer à la drague permet de les utiliser à diverses fins, telle la fabrication d'engrais, au contraire de celles ramassées au faubert, qui sont détruites et rejetées à l'eau.

3.2.3 Trappes à étoile de mer

L'abondance des étoiles de mer dans la baie Mutsu, au Japon, nuit beaucoup à la culture des pétoncles dans ce bassin. Comme le seul ramassage des étoiles à la drague ne permet pas de réduire suffisamment leur nombre, des trappes sont mouillées en série, comme une palangre. Deux types de trappes sont utilisés : un casier à crabe modifié à mailles d'environ 15 mm et une trappe en forme de dôme munie d'une ouverture sur le dessus (Cliche, comm. pers., 2006). Aux Îles-de-la-Madeleine (Québec), des trappes semblables ont été appâtées avec des moules écrasées, puis mouillées pour trois jours (figure 5) (Presse *et al.*, 2003). En moyenne, 30 étoiles ont été capturées dans chaque trappe et au maximum, 80 (Bourque et Myrand, 2003). Bien qu'ils soient efficaces, il faut beaucoup de temps et d'effort pour mouiller et relever les trappes (F. Bourque, comm. pers., 2006). La distance à parcourir pour se rendre aux lieux de mouillage et revenir à quai constitue le principal désavantage de ce moyen de lutte. En 2000, à l'Île-du-Prince-Édouard, des trappes à étoile de mer ont été utilisées pendant deux mois. Un total de 8 058 étoiles de mer a été capturé dans les 668 trappes relevées (Presse *et al.*, 2003). Il ne semble pas pratique d'utiliser des trappes pour la capture d'étoiles de mer à grande échelle en raison des coûts élevés de la main-d'œuvre requise (Presse *et al.*, 2003; F. Bourque, comm. pers., 2006).

Des expériences ont été menées dans le but d'accroître les taux de capture de divers modèles de trappes à étoile de mer. En 1993, le National Seastar Task Force de la Tasmanie a évalué l'efficacité de trappes à étoile de mer, conçues par des Tasmaniens, pour ce qui est de capturer l'étoile de mer japonaise (*Asterias amurensis*), une espèce introduite (Anon., 1994). Les trappes ont été appâtées de têtes de saumon, qui ont attiré ces étoiles de mer qui se trouvaient dans un rayon de 10m. Cette trappe s'est révélée de deux à trois fois plus efficace que la trappe de conception japonaise. Par contre, des espèces d'étoile de mer autres que l'espèce ciblée ont également été capturées.

En 1999, les responsables du Tasmanian Marine Farm Marine Pest Monitoring Project ont utilisé des trappes à étoile de mer Whayman-Holdsworth (figure 6) pour capturer l'étoile de mer japonaise, *A. amurensis* (Martin et Proctor, 2000). Au départ, les trappes étaient appâtées de boulettes de saumon et par la suite, de poissons et de coquillages. Cet engin s'est révélé inefficace dans les secteurs où l'espèce était présente en faible densité et les secteurs où la nourriture était abondante. De plus, les participants au projet ont eu de la difficulté à maintenir le régime de mouillage hebdomadaire suggéré pour les trappes (Martin et Proctor, 2000). D'autres études faisant appel à la trappe à étoile de mer Whayman-Holdsworth ont été menées dans le but d'évaluer son

efficacité potentielle pour ce qui est de prévenir le retour de ce prédateur dans un secteur nettoyé sur le périmètre duquel des trappes ont été mouillées à une distance de 2,5 m l'un de l'autre (Goggin, 1998). Les trappes se sont révélées incapables d'arrêter la migration des étoiles de mer dans le secteur nettoyé. Ces prédateurs peuvent parcourir jusqu'à 20 pieds par jour et ainsi lentement envahir un secteur nettoyé (Needler, 1939b.).

En résumé, les trappes peuvent être efficaces lorsqu'utilisées dans des secteurs de faible superficie (F. Bourque, comm. pers., 2006) où les étoiles de mer sont abondantes et disposent de peu de nourriture. Les taux de capture des trappes sont hautement variables; des mailles de 26 mm sont plus efficaces en comparaison de mailles de 65 mm (Goggin, 1998). De plus, les étoiles de mer doivent être de taille suffisante pour rester prises dans la trappe (McEnnuly *et al.*, 2001). L'utilisation de trappes doit tenir compte de la saison et des facteurs agissant sur le mouillage, tels les courants, la densité des étoiles de mer, etc. (F. Bourque, comm. pers., 2006). Malheureusement, les trappes ne permettent pas de protéger les cultures en suspension du fait que les larves d'étoiles de mer peuvent se fixer aux boudins de moules, aux collecteurs de naissain de pétoncle, aux paniers pyramidaux et aux plateaux à huîtres (Martin et Proctor, 2000).

Les coûts d'utilisation de trappes à étoile de mer comprennent le coût des trappes (environ 65 \$ chacun) (Y. Chiasson, comm. pers., 2006), du carburant (pour les sorties en mer jusqu'aux lieux de mouillage et le retour à quai) et des appâts, ainsi que les salaires. Le coût des déplacements jusqu'aux lieux de mouillage des trappes en mer peut toutefois être négligeable si les aquaculteurs s'y rendent tous les jours pour d'autres raisons et que l'utilisation de ces trappes fait partie de leurs activités quotidiennes. Il faut également tenir compte du coût de remplacement des trappes endommagées ou perdues en mer (F. Bourque, comm. pers., 2006).

3.2.4 Enclos

Les enclos constituent un moyen d'exclusion des étoiles de mer, ce qui permet de protéger les pétoncles de la prédation exercée par ce prédateur. La plupart des recherches menées jusqu'à maintenant sur l'utilisation d'enclos à cette fin ont porté sur l'exclusion des crabes. Une étude menée en Norvège a établi que les enclos permettent d'accroître le taux de survie des pétoncles de 50 mm, de 5 % (en l'absence d'enclos) à 89 % (Strand *et al.*, 2003). Dans l'enclos, la mortalité des pétoncles a été attribuée à la présence de *A. rubens* (Strand *et al.*, 2003). Une autre étude portant sur l'exclusion des crabes et des étoiles de mer d'un secteur donné a fait appel à un enclos de 1m de haut à rebord en porte-à-faux de 45° enfoncé de 20 cm dans le substrat (figure 7) (Boudreau *et al.*, 2005). Des plongeurs ont ramassé les prédateurs présents dans l'aire clôturée à toutes les deux semaines, et leur abondance y a été réduite de cinq à sept fois.

La Great Barrier Reef Marine Park Authority (Anon., 1995) a mis à l'essai un enclos en treillis métallique à fil d'acier d'un mètre de haut et à rebord en porte-à-faux de 60 cm pour réduire le nombre de *Acanthaster planci* s'introduisant sur la Grande Barrière. L'enclos s'est révélé un obstacle efficace à l'introduction de ce prédateur, mais il comporte des désavantages sur le plan du coût et des frais d'entretien. Le coût des matériaux est élevé, se chiffrant à 8,45 \$ CAN/mètre. Le treillis est difficile à installer dans les secteurs accidentés et la réparation des dommages causés par les conditions de mer forte entraîne des coûts additionnels. En outre, le treillis n'empêche pas les jeunes étoiles de mer de migrer ou les larves d'étoiles de mer de s'installer dans un enclos. Bien que de nombreuses études aient démontré que les enclos sont efficaces contre les crabes, leur efficacité contre les étoiles de mer n'a pas été pleinement évaluée.

3.2.5 Ramassage manuel

En eau peu profonde, les étoiles de mer peuvent être ramassées à la main, que ce soit en plongée ou non. À Miscou (Nouveau-Brunswick), elles sont retirées des parcs ostréicoles de Chiasson Aquaculture Ltée. au moment de la récolte des huîtres (Y. Chiasson, comm. pers., 2006). Deux employés consacrent quelque 100 jours entre mai et novembre à la récolte des huîtres, dont environ 10 % à la collecte des étoiles de mer. Ils en ramassent quelque 200 par jour (Y. Chiasson, comm. pers., 2006). Elles sont mises au rebut avec les déchets organiques destinés au compostage, à un coût d'évacuation de 20 \$/lb.

En mai 2000, 200 bénévoles ont participé à une campagne de ramassage de l'étoile de mer japonaise (*A. amurensis*), d'une durée de deux jours, dans la rivière Derwent, en Tasmanie (Australie), dans le cadre de laquelle plus de 20 000 individus ont été recueillis à trois endroits (Anon., 2000). La plupart des bénévoles étaient en plongée, quoique quatre d'entre eux ont capturé environ 1 000 étoiles en apnée. Pour mesurer le succès de cette campagne de ramassage, les trois endroits ont été contrôlés avant et après l'activité, puis deux mois plus tard. Les résultats ont révélé que cette activité a été fructueuse dans le sens qu'elle a permis de réduire les populations d'étoiles de mer japonaises par quelque 6,5% à 29,9% à ces trois endroits. Il a toutefois été suggéré que cela a eu peu d'effet sur les densités totales de ce prédateur. En outre, le ramassage manuel des étoiles de mer est extrêmement exigeant en main-d'œuvre (Anon., 1999).

3.3 MOYENS DE LUTTE DANS LES CULTURES EN SUSPENSION

Les traitements à la saumure et à la chaux servent habituellement à éliminer les étoiles de mer salissant les collecteurs de naissain. Ils ne sont pas appliqués aux structures de culture des pétoncles parce que ce mollusque est vulnérable à l'exposition à ces produits. Par contre, la cueillette à la main des

étoiles de mer peut se faire sur toutes les structures de culture de mollusques en suspension.

3.3.1 Saumure

La saumure, une solution saline saturée, est utilisée pour éliminer les étoiles de mer qui salissent les collecteurs de naissain de moule. Le stress osmotique ainsi causé les forcent à relâcher prise, mais les moules ne sont pas touchées. À la mi-août, avant que les étoiles de mer aient atteint 15 mm de diamètre, soit environ deux semaines après la première observation de leur présence à l'œil nu, Bourque et Myrand (sous presse) ont traité des collecteurs de naissain de moule par immersion dans de la saumure pendant 30 secondes. Deux mois plus tard, ils ont établi les rendements en moules et ont constaté que les collecteurs traités portaient 2 900 moules par mètre alors que les collecteurs non traités n'en portaient que 1 300 par mètre (Bourque et Myrand, 2002). Le traitement à la saumure a donc permis de doubler le rendement en moule. L'efficacité du traitement à la saumure dépend de la teneur en sel de la solution ainsi que de la durée d'immersion. Les essais menés aux Îles-de-la-Madeleine ont permis d'établir qu'un accroissement de la durée d'immersion des collecteurs de naissain dans de la saumure hypersaturée (300 g/L), de 5 à 10 secondes jusqu'à 30 secondes, donnait de meilleurs résultats, à savoir l'élimination de toutes les étoiles de mer (Bourque et Myrand, sous presse). Lorsque les traitements ont été effectués en automne (septembre), la durée d'immersion des boudins a dû être prolongée, jusqu'à 40 secondes. Il faut environ cinq jours pour traiter 60 filières. Lors d'essais commerciaux menés à deux installations mytilicoles (l'une de 44 filières et l'autre, de 60), les traitements à la saumure ont permis d'accroître la récolte de naissain par 12 à 16 t à un coût approximatif de 4 000 \$ pour chaque installation (Bourque et Myrand, sous presse). Selon le scénario de culture et le prix de vente des moules, cela pourrait se traduire par des profits de 10 000 \$ à 33 000 \$. Bien qu'ils n'aient pas établi précisément la densité d'étoiles de mer à laquelle le traitement vaut la peine, Bourque et Myrand (sous presse) n'ont pas fait état de problème lorsque la densité des étoiles de mer est inférieure à 12 individus/m².

Les mytiliculteurs de l'Île-du-Prince-Édouard (Î.-P.-É.) commencent habituellement à traiter leurs collecteurs lorsque la densité des étoiles de mer sur ceux-ci se situe entre 7 et 12 individus par collecteur. Certains vont même jusqu'à traiter systématiquement tous leurs collecteurs (B. Fortune, comm. pers., 2006; G. Rogers, comm. pers., 2006; C. Somers, comm. pers., 2006). Bien qu'ils préfèrent utiliser de la chaux éteinte pour se débarrasser des étoiles de mer, les mytiliculteurs de cette province ont également utilisé de la saumure ou un mélange de saumure et de chaux éteinte au cours des trois dernières années pour éliminer l'algue verte *Enteromorpha* sp. et les étoiles de mer lorsque les deux espèces étaient présentes. Le traitement à la chaux est examiné ci-dessous.

Pour éliminer les étoiles de mer de collecteurs de naissain de moule, MacKinnon *et al.* (1993) les ont immergés dans de la saumure d'une teneur de 17 g/L pendant 60 secondes, mais sans succès. Cela peut être attribuable au fait que la solution n'était pas assez forte pour causer un stress osmotique chez le prédateur. Shearer et MacKenzie (1961) ont examiné les effets de solutions salines de différentes teneurs sur les étoiles de mer et ont établi que leur immersion pendant 15 minutes dans une solution saturée à moins de 50 % ne permettait pas de les exterminer.

3.3.2 Chaux

Bien qu'aucun épandage de chaux en nappe n'ait été fait dans les dernières années en raison des effets nocifs potentiels sur des organismes non ciblés, la chaux est encore utilisée pour éliminer les étoiles de mer des collecteurs de naissain de moule. En août 1992, des collecteurs mouillés dans la rivière Stanley (Î.-P.-É.) ont été traités par immersion dans des solutions de chaux vive et de chaux éteinte (MacKinnon *et al.*, 1993). Le traitement comportait l'immersion des collecteurs dans une solution de chaux vive pendant 30 secondes, suivie de l'immersion dans une solution de chaux éteinte pendant 5, 10 et 20 secondes. Bien que les deux solutions se soient révélées efficaces pour ce qui est d'éliminer les étoiles de mer, il a été recommandé d'utiliser de la chaux éteinte plutôt que de la chaux vive pour des raisons de sécurité. Après un seul traitement des collecteurs par immersion dans une solution de chaux éteinte d'une teneur de 40g/L, les observations faites deux jours et dix jours plus tard ont révélé que 95 % et 98 % respectivement des étoiles de mer en avaient été éliminées. Il a été recommandé que les collecteurs soient traités peu de temps après le dépistage d'étoiles de mer sur les collecteurs (2 semaines) ou avant qu'elles atteignent une taille de 15 mm (MacKinnon *et al.*, 1993). Les mytiliculteurs de l'Î.-P.-É. ont indiqué qu'ils traitent leurs collecteurs de naissain par immersion dans une solution hypersaturée de chaux éteinte durant la dernière semaine de juillet ou la première semaine d'août. Au besoin, ils répètent le traitement durant la troisième semaine d'août. À partir d'un bateau, une équipe de deux personnes peut traiter 20 filières par jour. Les coûts estimatifs des opérations se situent entre 20 \$ et 100 \$ par filière de collecteurs. Selon la taille d'une ferme et l'étendue de l'infestation par les étoiles de mer, les coûts annuels peuvent aller de 600 \$ à 20 000 \$ (B. Fortune, comm. pers.; G. Rogers, comm. pers.; C. Somers, comm. pers.).

3.3.3 Ramassage manuel

Les étoiles de mer peuvent être retirées à la main de l'équipement de culture des mollusques en suspension, mais cela nécessite beaucoup de temps et peut retarder les opérations. Par exemple, les employés de Chiasson Aquaculture Ltée. enlèvent les étoiles à la main au moment du triage des naissains avant le boudinage. Le nettoyage est fait entre septembre et novembre, et environ une heure par jour de travail de huit heures y est consacré (Y. Chiasson, comm. pers., 2006). Pour pallier davantage le problème de la

prédation par les étoiles de mer, les boudins de moules sont maintenus au-dessus du fond afin d'empêcher les étoiles d'y grimper. Au site de grossissement, une filière de boudins de moules peut produire jusqu'à cinq bacs à poissons de grosses étoiles de mer (G. Rogers, comm. pers.). Le ramassage manuel des étoiles a l'avantage de ne pas les endommager, de sorte qu'elles peuvent être utilisées à d'autres fins, au contraire du traitement par immersion dans de la saumure ou de la chaux.

Au Japon, l'étoile de mer japonaise, *A. amurensis*, est enlevée des collecteurs de naissain de pétoncle au moment du triage des naissains lorsqu'ils sont encore très petits (Ventilla, 1982). Comme les larves de cette étoile grossissent deux fois plus vite que les naissains de pétoncle, ce prédateur doit être éliminé des collecteurs dès que possible (Ventilla, 1982). Si elle n'est pas retirée des collecteurs et des paniers de grossissement, *A. amurensis* peut causer une mortalité massive de jusqu'à 90 % des pétoncles. Les entreprises pectinicoles Pétoncles 2000 (Québec) et Pecten (Nouveau-Brunswick) enlèvent également les étoiles de mer à la main au cours de l'étape de triage des naissains de pétoncle avant leur transfert dans les cages de grossissement.

3.4 UTILISATIONS POSSIBLES DES ÉTOILES MER RECUEILLIES

Les étoiles de mer ne sont pas l'objet d'une récolte commerciale au Canada à l'heure actuelle. En 1946, le Bingham Oceanographic Laboratory a publié un rapport sur les utilisations possibles de l'étoile *Asterias forbesi* desor (Heuser et McGinnis, 1946). Les conclusions qui y sont formulées en ce qui concerne la possibilité de commercialisation des étoiles de mer s'appliquent encore aujourd'hui. Comme l'a conclu Nelson (1946), les utilisations commerciales des étoiles de mer dépendront des progrès techniques qui permettront de rentabiliser leur récolte. En outre, la commercialisation de cet échinoderme dépend également de l'établissement d'un créneau commercial et d'une station de réception, ainsi que d'un prix de vente adéquat et stable (Heuser et McGinnis, 1946).

3.4.1 Farine

Dans son étude de la composition chimique de l'étoile de mer, *Asterias forbesi*, Lee (1951) a conclu que quatre tonnes d'étoiles à l'état frais donneront une tonne de farine. Bien que la farine d'étoile de mer ne contienne environ que la moitié de la quantité de protéines de la farine de poisson, elle se compare favorablement à la farine de déchets de crabe ou de homard et à la moulée de crevette. La moulée d'étoile de mer présente une teneur élevée en carbonate de calcium, mais une teneur d'une faiblesse disproportionnée en potassium et en phosphore. De fait, elle se compose de 34 % de protéines et de 42 % de carbonate de calcium (Morse *et al.*, 1946), et de moins de 1 % de phosphore.

(Houser et McGinnis, 1946; Whitson et Titus, 1946). Quelques-uns des acides aminés essentiels sont également présents.

Durant la Seconde Guerre mondiale, des chercheurs ont montré un intérêt dans l'utilisation de protéines d'origine marine pour fabriquer des moulées pour volaille et bétail (Morse *et al.*, 1946). Des expériences ont permis de prouver que la farine d'étoile de mer donnait des résultats satisfaisants lorsque utilisée comme un des concentrés de protéines dans les nourritures à poussin. La forte teneur en calcium de cette moulée limite toutefois la quantité qui peut être donnée aux poussins, quantité qui se situe probablement à un maximum de 6 %. Morse *et al.* (1946) ont établi que si l'on tient compte de la teneur élevée en calcium et de l'absence de phosphore dans la farine d'étoile de mer, les nourritures à poussin peuvent contenir jusqu'à 8 % de ce produit. Ringrose (1946) considère que du phosphate monocalcite ou un autre composé à haute teneur en phosphore est requis pour rétablir l'équilibre dans le rapport calcium:phosphore.

Dans le cadre d'une étude plus récente, Xu *et al.* (1995) ont établi que la teneur en protéines des gonades de l'étoile *Asterias rollestoni* se situe à 15,92 % et que huit acides aminés essentiels sont présents. Les gonades présentent une teneur en matière grasse de 11,13 % et contiennent huit oligo-éléments essentiels, dont du zinc et les vitamines A, B₁, B₂, B₆ et B₁₂. Une préparation de cette étoile, intégrée dans les régimes alimentaires de poissons et de crevettes, ont donné de meilleurs résultats que la moulée de poisson.

Sloan (1984) mentionne que des étoiles de mer sont transformées en moulée, qui est exportée vers l'Allemagne. Elle y est ajoutée à de la moulée de poisson, destinée à l'alimentation de la volaille. Les trois compagnies contactées (Land O'Lakes Purina Feed, États-Unis; Martindale Feed Mill, États-Unis; Corey's Feed Mill Ltd., Canada) n'utilisent toutefois pas la moulée d'étoile de mer ou n'en connaissent pas l'existence.

3.4.2 Compostage

Au Japon, les pêcheurs de pétoncles à la drague dans les gisements ensemencés ramassent les étoiles de mer qu'ils capturent (M. Kurata, comm. pers., 2006). Pour s'en débarrasser, ils doivent toutefois payer des entreprises de compostage. Une de ces entreprises (Hokkaido Environment Bio-Sector Ltd., 2004) a trouvé une bactérie (Power LiveLand) qui, lorsque combinée à un mélange d'étoiles de mer, d'eau et de brin de scie, permet de produire du compost inodore de grande qualité. Au Nouveau-Brunswick, la Fundy Region Solid Waste Commission et la Corporation des déchets solides Westmorland-Albert exécutent des programmes de compostage, mais elles ne compostent pas les étoiles de mer à l'heure actuelle. Les directeurs de ces deux usines de traitement des déchets se disent toutefois intéressés à les incorporer dans leur programme de compostage. Le rapport carbone-azote et la teneur en métaux

lourds sont d'importants facteurs à considérer. Les critères pour les métaux lourds sont énumérés dans les Critères de qualité du compost (Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2005).

3.4.3 Biotechnologie

Les étoiles de mer possèdent une capacité remarquable de régénération. Lorsqu'un individu perd un bras, il peut le régénérer en entier par la suite. Des études du processus de régénération pourraient être menées dans un avenir rapproché à des fins médicales (M. Nadeau, comm. pers., 2006). L'ophiure *Amphiura filiformis*, espèce étroitement apparentée à l'étoile de mer, peut régénérer un bras perdu en quelques semaines. Des chercheurs de la Station de recherche marine Kristineberg de l'Académie royale suédoise des Sciences utilisent l'ophiure comme nouveau modèle pour étudier les cellules souches, ce qui leur permet de conduire des expériences en évitant les questions d'éthique que soulève la recherche mettant en cause des humains ou d'autres vertébrés (Dupont *et al.*, 2006). Ces chercheurs s'intéressent particulièrement à la reconstitution du système nerveux. Les résultats de ces expériences, si elles se révèlent fructueuses, pourraient permettre de comprendre et de traiter les maladies neurodégénératives.

Le domaine du traitement des cancers, qui fait appel à des produits naturels cytotoxiques, constitue une autre application médicale des étoiles de mer. De fait, des extraits de l'étoile de vase (*Ctenodiscus crispatus*) montrent un grand pouvoir cytotoxique (Gudbjarnason, 1999).

3.4.5 Arts et artisanat

Les étoiles de mer, une fois séchées, peuvent être utilisées comme ornements ou servir à la fabrication de pièces d'art ou d'artisanat. Des entreprises telle Shell Horizons Inc. (1998) vendent des étoiles de mer séchées à cette fin. Des magasins d'arts et d'artisanat (p. ex. Créations Marie-Gaudet, Gaspé, Qc) en vendent également, pour 3 \$CAN à 45 \$CAN chacune selon la grosseur.

4.0 CONCLUSIONS

Cette étude bibliographique nous a permis de colliger des renseignements sur les moyens de lutte contre les étoiles de mer utilisés dans le monde. Dans le cas du golfe du Saint-Laurent, deux espèces préoccupent les conchyliculteurs, à savoir *Asterias vulgaris* et *Leptasterias polaris*. Les moyens de lutte qu'ils utilisent contre ces prédateurs dans les cultures sur le fond incluent le faubert, la drague, les trappes à étoile de mer, les enclos et le ramassage manuel et dans les cultures en suspension, la chaux, la saumure et le ramassage manuel. Cette étude bibliographique des moyens de lutte contre les étoiles de mer se veut un document de référence pour les aquaculteurs et en particulier les

conchyliculteurs qui considèrent nettoyer leurs baux des étoiles de mer. Bien qu'il soit important d'éliminer ce prédateur des installations conchyliques pour en assurer la rentabilité, nous n'avons pas trouvé dans la documentation la densité critique des étoiles de mer à laquelle le coût de leur cueillette est justifié. Théoriquement, des densités plus élevées que 1 étoiles/m² pourraient s'avérer néfastes pour la survie des pétoncles juvéniles ensemencés. On doit signaler qu'une densité d'étoile de mer aussi élevée que 2,5/m² a été observée aux sites d'ensemencement de pétoncle de l'entreprise Pecten de la baie des Chaleurs.

Comme les moyens de lutte sont généralement appliqués dans les limites d'un bail, ils ne permettent pas de réduire la densité des étoiles au-delà de son périmètre. Les étoiles envahiront à nouveau un banc nettoyé, et il faudra répéter les opérations de ramassage de ce prédateur. Bien que le faubert semble constituer le moyen de lutte le plus efficace pour les cultures sur le fond, il faut tenir compte du coût d'achat de l'engin et de son adaptation aux conditions de haute mer. La drague présente l'avantage unique de pouvoir enlever les étoiles de mer en continu durant les activités de pêche régulières, et l'utilisation de cet engin devrait être préconisée. Par contre, il peut également récolter des espèces d'étoile de mer qui ne sont pas préoccupantes pour les conchyliculteurs. Certains moyens de lutte, notamment la drague, les trappes et le ramassage manuel, n'endommagent pas les étoiles de mer prises; celles-ci peuvent donc servir à diverses utilisations, mais aucune ne montre un potentiel financier. Dans le cas des cultures en suspension et des cultures de l'huître sur le fond, les retombées d'un accroissement du rendement en huîtres justifient le coût des moyens de lutte.

5.0 REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Madeleine Nadeau, Denyse Hébert, François Bourque, Georges Cliche, Russell Mincher, Neil MacNair, Larry Barnett, Øivind Strand, Bob Thompson, Mamoru Kurata et David Hopp, ainsi que Yvon Chiasson, Amédée Savoie, Clyde MacKenzie, Chris Somers, Gary Rogers, Bob Fortune, Mark Hanson, et Larry Barnett pour leur temps et leur générosité en nous fournissant des renseignements précieux. Un gros merci à Bruno Frenette et Marie-Claude Paullin pour leur aide technique. Nous sommes reconnaissants à Gisèle Richard, qui nous a trouvé de nombreux articles. Le financement de cette étude documentaire a été assuré par Pecten UPM-MFU inc. et le Programme coopératif de recherche-développement en aquaculture (ministère des Pêches et des Océans).

6.0 RÉFÉRENCES

- Anonymous. 1994. Sea star traps look promising. *Aust. Fish.* 53 (1): 30-31.
- Anonymous. 1995. Controlling Crown-of Thorn Starfish. The Great Barrier Reef marine park authority.
<http://www.reef.crc.org.au/publications/explore/feat45.html> (accessed 7 February, 2006).
- Anonymous. 2000. Sea star "Round Up" 2000. Joint SCC/SCFA National Taskforce on the Prevention and Management of Marine Pest Incursions
<http://www.marine.csiro.au/crimp/cleanup/cleanup.htm> (accessed 11 September, 2005).
- Anonymous. Dredging/beamtrawling/mopping.
<http://www.marine.csiro.au/crimp/nimpis/controlDetail.asp?ID=67> (accessed 20 February, 2006).
- Barbeau, M. A. and H. Caswell. 1999. A matrix model for short-term dynamics of seeded populations of sea scallops. *Ecol. Appl.* 9 (1): 266-287.
- Barbeau, M. A. and R. E. Scheibling. 1994. Behavioural mechanisms of prey size selection by sea star *Asterias vulgaris* Verrill and crabs *Cancer irroratus* Say preying on juvenile sea scallops *Placopecten magellanicus* Gmelin. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 180 (1): 103-136.
- Barbeau, M. A., R. E. Scheibling and B. G. Hatcher. 1994. Effects of prey size and water temperature on predation of juvenile sea scallops *Placopecten magellanicus* by sea stars and crabs in laboratory and field experiments. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. Rapp. Tech. Can. Sci. Halieut.* (1): 1994.
- Barbeau, M. A., R. E. Scheibling and B. G. Hatcher. 1998. Behavioural responses of predatory crabs and sea stars to varying density of juvenile sea scallops. *Aquaculture* 169: 87-98.
- Barthelemy, G., N. DePauw and J. Joyce. 1991. Mechanical and biological control of the starfish *Asterias rubens* proliferation in the Bay of Quiberon (southern Brittany, France). *Aquaculture and the environment. Spec. Publ. Eur. Aquacult. Soc.* 14: 22p.
- Boudreau, R., R. Fougere, L-A. Davidson and M. Niles. 2005. Fencing the seabed to protect sea scallops *Placopecten magellanicus* from predation. *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2717: iv + 7p.

- Bourque, F. and B. Myrand. 2003. Contrôler les prédateurs de moules dans les lagunes. Oui mais à quel prix. Activités 2001-2002. Direction de l'innovation et des technologies. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation: 51p.
- Bourque, F. and B. Myrand. In Press. Traitement des collecteurs de moules à la saumure pour contrer la prédation par les étoiles de mer. Bilan des travaux de 2000 à 2005. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation.
- Bourque, F. and B. Myrand. 2002. Le traitement à la saumure des collecteurs de moules (*Mytilus edulis*) une solution incontournable pour réduire l'impact de la prédation des étoiles de mer. Activités 2000-2001. Direction de l'innovation et des technologies. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. 90p.
- Canadian Council of Ministers of the Environment, 2005. Guidelines for Compost Quality. PN 1340. 22p.
- Comeau, M., M. Hanson, M. Mallet and F. Savoie. 2004. Stock status of the American lobster *Homarus americanus* in the Lobster Fishing Area 25. Fisheries and Oceans Canada Science and Canadian Science Advisory Secretariat Research Document 2004/054.
- Dupont, S., K. Wilson, C. Dahlberg, and M. Thorndyke. 2006. The brittlestar *Amphiura folioformis* as a new model. Abstracts of the Annual Main Meeting of the Society for Experimental Biology, April 3-7, 2006, University of Kent at Canterbury, UK, A8.2
- Flimlin, G. and B. F. Beal. 1993. Major predators of cultured shellfish. NRAC Bulletin No. 180.
- Gaymer, C. F., J. H. Himmelman and L. E. Johnson. 2001. Distribution and feeding ecology of the sea stars *Leptasterias polaris* and *Asterias vulgaris* in the northern Gulf of St Lawrence Canada. J. Mar. Biol. Assoc. U. K. 81 (5): 827-843.
- Gaymer, C. F., J. H. Himmelman and L. E. Johnson. 2002. Effect of intra and interspecific interactions on the feeding behaviour of two subtidal sea stars. Mar. Ecol. Prog. Ser. 232: 149-162.
- Gaymer, C. F. C. Dutil and H. Himmelman. 2004. Prey selection and predatory impact of four major sea stars on a soft bottom subtidal community. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 313: 353-374.

- Goggin, C. L. 1998. Proceedings of a meeting on the biology and management of the introduced sea star *Asterias amurensis* in Australian waters. Centre for research on introduced marine pests. Technical report no. 15. CSIRO Marine Research Hobart: 1-66.
- Gudbjarnason, S. 1999. Bioactive marine natural products. *Rid Fiskideildar/J. Mar. Res. Inst.* 16:107-110.
- Hébert, D., M. Nadeau, N. Presse and S. Vigneau. 2006. Contrôle des prédateurs avec les dragues à pétoncles et le Faubert. In: Nadeau, M. and G. Tita (eds.). Atelier de travail "prédation du pétoncle et gestion des ensemencements", Îles-de-la-Madeleine, 29 février – 1^{er} mars 2004. Direction de l'innovation et des technologies, MAPAQ. Compte rendu no° 24. 54p.
- Heffernan, M. L. 1999. A review of the ecological implications of mariculture and intertidal harvesting in Ireland. *Irish Wildlife Manuals* 7.
- Hendrix, M. L. 2006. Dutch know-how comes to Maine, new mussel barge launched in Bar Harbor. *Northern Aquaculture*, May/June 2006: 14-15.
- Heuser G. F. and J. McGinnis. 1946. Sea star Meal in Chick Rations. *Bull of Bingham Ocean. Coll.* 9 (3) (10-12).
- Himmelman, J. H., and C. Dutil. 1991. Distribution population size-structure and feeding of subtidal sea stars in the northern Gulf of St. Lawrence. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 76: 61-72.
- Hokkaido Environment Bio-Sector, Ltd. 2004. Disposal processing of starfish. Available from <http://www.kankyo-v.co.jp/english/starfish.html> [accessed July 5, 2006].
- Inglis, G. J. and N. Gust. 2003. Potential indirect effects of shellfish culture on the reproductive success of benthic predators. *J. Appl. Ecol.* 40: 1077-1089.
- Ito, H. 1991. Successful HOTAC method for developing scallop sowing culture in the Nemuro district of east Hokkaido northern Japan. In *Marine Ranching Proceedings of the Seventeenth US-Japan Meeting on Aquaculture*. Ise Mie Prefecture Japan October 16-18 1988. R. S. Svrjcek. NOAA Technical Report NMFS 102: 107-116.

- Joint SCC/SCFA National Taskforce on the Prevention and Management of Marine Pest Incursions. 1999. National Control Plan.: for the introduced marine pest northern Pacific sea star (*Asterias amurensis*). Joint SCC/SCFA National Taskforce on the Prevention and Management of Marine Pest Incursions Final report.
http://www.deh.gov.au/coasts/imps/workshop-sea_star.html.
- Lee, C. F. 1948. Technological studies of the starfish Part 1. Commercial Fisheries Review. 10 (1): 1-6.
- Lee, C. F. 1951. Technological Studies of the Sea star. Part II – Chemical Composition. Fishery Leaflet 391, (Washington DC) p. 7-14.
- MacKinnon, C. M., R. Gallant and B. Gillis. 1993. Some observations on starfish predation on mussel spat collectors. P. E. I. Department of Agriculture Fisheries and Forestry. Tech Rep. Ser. 208: 28p.
- Martin, R. and C. Proctor. 2000. Tasmanian Marine Farm Marine Pest Monitoring Project. Centre for research on Introduced Marine Pests. www.marine.csiro.au/crimp/Report/MFMP/FinalRpt.pdf.
- Martindale Feed Mill. Quality Feed. Affordable Prices. [online]. Available from <http://www.martindalefeed.com/> (accessed February 16, 2006).
- McEnnully, F. R., N. J. Bax, B. Schaffelke and M. L. Campbell. 2001. A review of rapid response options for the control of abwmac listed introduced marine pest species and related taxa in Australian waters. Centre for research on introduced marine pests. Technical report no. 23. CSIRO Marine Research Hobart. 101 pp.
- Mead, A. D. 1901. The natural history of the star-fish. Contributions from the Biological Laboratory of the U. S. Fish Commission Woods Hole Massachusetts Vol X1X: 203-224.
- Menge, B. A. 1986. A preliminary study of the reproductive ecology of the sea stars *Asterias vulgaris* and *A. forbesi* in New England. Bulletin of Marine Science 39 (2): 467-476.
- Morse, R. E., F.P. Griffiths and R.T. Parkhurst. 1946. Preliminary Report on Eight Weeks of Comparative Feeding of Protein Equivalent Diets containing Fish Meal, Crab Meal and Sea star Meal to Rhode Island Red Chicks, Bull of Bingham Ocean. Coll. 9 (3) (13-16).
- Nadeau, M. and G. Cliche. 1998. Predation of juvenile sea scallops *Placopecten magellanicus* by crabs *Cancer irroratus* and *Hyas* sp. and starfish *Asterias vulgaris*, *Leptasterias polaris* and *Crossaster papposus* J. Shellfish Res. 17 (4): 905-910.

- Nadeau, M. and D. Hébert. 2005. Impact du contrôle des prédateurs sur la survie des pétoncles géants ensemencés. In: Cliche, G. and F. Coulombe (eds.). 4^e réunion annuelle de transfert de technologie. REPERE II. MAPAQ, No. 22: 87-89.
- Nadeau, M., D. Hébert, J. Arseneau, F. Aucoin, L. Bourdages, Y. Chevarie, J. G. Turbide, C. Vigneau and S. Vigneau. 2004. Impact de contrôle des prédateurs sur la survie des pétoncles géants *Placopecten magellanicus* ensemencés. Direction de l'innovation et des technologies. Bilan des réalisations 2002-2004: 44-45.
- Nadeau, M. and G. Cliche. 2002. Travaux sur la prédation réalisés en 1998 et 1999. In: Nadeau, M. and P. Carrier (eds.). 1^{ère} réunion annuelle de transfert de technologie, REPERE II, MAPAQ. No.9:82p.
- Needler, A. W. H. 1939a. How to avoid damage caused by starfish. Fish. Res. Board Can. Circular no. 7: 2p.
- Needler, A. W. H. 1939b. Starfish the oyster's worst enemy in our waters. Fish. Res. Board Can. Circular no. 6: 2p.
- Nelson, J. R., 1946. Observations on the Occurrence and Possible uses of Sea star. Bull of Bingham Ocean. Coll. 9 (3) (31-32).
- O'Neill, S. M., A. M. Sutterlin and D. Aggett. 1983. The effects of size-selective feeding by starfish *Asterias vulgaris* on the production on mussels *Mytilus edulis* cultured on nets. Aquaculture 35: 211-220.
- Pecten UPM/MFU. 2002. Rapport d'activités de Pecten UPM/MFU concernant le programme d'ensemencement des pétoncles. 26p.
- Presse, N., S. Vigneau, D. Hébert and M. Nadeau. 2005. Essai de réduction des densités d'étoiles de mer par la technique du Faubert sur les sites d'ensemencement du pétoncle géant *Placopecten magellanicus* aux îles-de-la-Madeleine. In: G. Cliché and F. Coulombe (eds.), 4^e réunion annuelle de transfert technologique REPERE II, no.22: 136p.
- Presse, N., S. Vigneau, D. Hébert and M. Nadeau. 2003. Essai de réduction des densités d'étoiles de mer par la technique du faubert sur les sites d'ensemencement du pétoncle géant *Placopecten magellanicus* aux îles-de-la-madeleine. Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation. 28p.

- Pryor, M. G., J. Parsons and C. Couturier. 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. Contributed Papers Aquaculture Canada '99 Victoria BC 26-29 October '99. no. 99-4 pp. 40-42. Bull. Aquacult. Assoc. Can.
- Ringrose, R. C. 1946. Sea star Meal Feeding Experiment with Chicks. Bull of Bingham Ocean. Coll. 9 (3) (17-19).
- Shearer, L. W. and C. L. MacKenzie Jr. 1961. The effects of salt solutions of different strengths on oyster enemies. Proceedings of the national shellfisheries association 50: 97-103.
- Shell Horizons Inc. 1998. US Largest Wholesaler of Seashells and Seashell Products, Finest Quality Seashells and Souvenirs Since – 1976. [online]. Available from <http://www.shellhorizons.com/> (accessed July 5, 2006)
- Sloan, N.A. 1984. Echinoderm fisheries of the world: A review. Proceedings of the Fifth International Echinoderm Conference: 109-123.
- Smith, G.F.M. 1940. The removal of starfish from oyster beds by mops. Fish. Res. Board Can. Prog. Rep. 28: 5-6.
- Strand, Ø. E., S. Grefsrud, T. Strohmeier, E. Helland, T. Helland and G. Hamre. 2003. Fenced farming a prerequisite for scallop *Pecten maximus* seabed culture in Norway. 14th International Pectinid Workshop St. Petersburg Florida U. S. A. p. 27.
- U.S. Fish and Wildlife service. 1946. Natural history and methods of controlling the starfish, *Asterias forbesi* Desor Division of Fishery Biology. United States Department of the Interior Fish and Wildlife Service 169: 7p.
- Ventilla, R. F. 1982. The scallop industry in Japan. Adv. Mar. Biol. 20: 309-382.
- Whitson D. and H.W. Titus. 1946. The use of sea star meal in chick diets. Bull of Bingham Ocean. Coll. 9 (3) :24-27.
- Witman, J. D., S. J. Genovese, J. F. Bruno, J. W. McLaughlin and B. I. Pavlin. 2003. Massive prey recruitment and the control of rocky subtidal communities on larger spatial scales. Ecol. Monogr. 73 (3): 441-462.
- Xu, J., T. Zhang, Z. Guo, S. Ji, Z. Leng, S. Zhou, X. Jiang, Y. Liu, and B. Lu. 1995. Studies on Comprehensive Utilization of Sea Star. Shandong fisheries/Qilu Yuye. Yantai. Vol. 12, no. 1 : 38-41.

Tableau 1. Densité moyenne et écart de densité des étoiles de mer trouvés aux trois sites de pétoncles de Pecten durant les évaluations vidéos faites en 2005.

Site	Densité moyenne (/m ²)	Écart de densité (/m ²)
Baie des Chaleurs	0,72	0,19 – 2,50
Miramichi	0,06	0,01 – 0,09
Détroit de Northumberland	0,12	0,09 – 0,15

Tableau 2. Description sommaire des moyens de lutte contre l'étoile de mer, lieu où il est utilisé, coût estimatif de son utilisation et références pertinentes.

Moyen de lutte	Description sommaire	Où	Coût estimatif	Références pertinentes
faubert	En général, le faubert est constitué d'un certain nombre de tampons de cordages de coton (de 7 à 19) fixés à un cadre (telle une barre de fer de 8 à 10 pieds de long). il est tiré par un bateau (US Fish and Wildlife Service, 1946). Lorsque le faubert balaie le fond, les étoiles s'enchevêtrent dans les cordages. Une fois l'engin ramené à bord, les étoiles en sont soit retirées à la main puis détruites par après ou sont détruites tout de suite par immersion du faubert dans un bassin d'eau chaude. Le faubert donne de meilleurs résultats dans les secteurs de superficie moyenne présentant des densités élevées d'étoiles de mer.	Canada, É.-U., Japon et France	Presse <i>et al.</i> (2005) ont estimé que le nettoyage, sur une période de 16 jours, d'une superficie de 4 km² à l'aide de fauberts coûte 43 232,60 \$ (0,06 \$/étoile), soit environ 2 702,03 \$ par jour. Cela comprend le coût d'installation de deux systèmes de chaudières à bord, le coût d'achat de deux fauberts et de tampons de remplacement, ainsi que le coût d'exploitation du bateau. Le coût d'opération d'une entreprise ostréicole qui utilise le faubert commercialement n'était que de \$1400/jour. Il en coûte environ 20 000 \$ pour équiper un bateau de deux systèmes de chaudières.	Anon. (http://www.marine.csiro.au/crimp/nimpis/controlDetail.asp?ID=67) Barthelemy <i>et al.</i>, 1991 Bourque et Myrand, 2003 Goggin, 1998 Heffernan, 1999 Ito, 1991 Lee, 1948 McEnnuly <i>et al.</i>, 2001 Needler, 1939a Pecten UPM-MFU, 2002 Presse <i>et al.</i>, 2003 Presse <i>et al.</i>, 2005 Smith, 1940 U.S. Fish and Wildlife Service, 1946

drague	La drague est un moyen de lutte non sélectif. Lorsque remorquée sur le fond pour récolter des mollusques, des étoiles de mer sont également prises. Elles doivent en être retirées à la main, puis détruites par après. Il existe divers modèles de drague. La drague à rouleau comporte un rouleau à l'avant, qui sert à soulever les étoiles du fond. Elles sont recueillies dans un sac fixé à l'arrière de la drague. Une drague spécialisée est utilisée en France pour ramasser l'étoile <i>Asterias rubens</i>. La drague donne de meilleurs résultats dans les secteurs de superficie faible à moyenne présentant une densité élevée d'étoiles de mer.	Canada, É.-U., Japon, France et Nouvelle-Zélande	Il en coûte 47 093 \$ pour nettoyer une superficie de 17,9 km² (\$0,052 \$/étoile), soit les coûts de ramassage (de 0,10 à 0,25 \$/livre versés aux pêcheurs), les coûts du compostage (0,036 \$/kg) et les salaires (Presse <i>et al.</i>, 2005; D. Hébert, comm. pers., 2006). .	Barthelemy <i>et al.</i>, 1991 Goggin, 1998 Hébert <i>et al.</i>, 2006 McEnnuly <i>et al.</i>, 2001 Nadeau et Hébert, 2005 Presse <i>et al.</i>, 2005
trappe	Les trappes à étoiles de mer consistent d'un type de cage conique composée d'une structure en tiges de métal recouvert d'un filet. L'ouverture se trouve sur le dessus. Le taux de capture des trappes à étoile de mer est hautement variable. Il en existe divers modèles : la trappe Whayman-Holdsworth, un modèle de conception tasmanienne et un modèle de conception japonaise. Les trappes sont plus efficaces lorsqu'utilisées dans des secteurs de faible superficie où les étoiles de mer sont abondantes et disposent de peu de nourriture.	Canada, Japon et Australie	Une trappe coûte environ 65 \$. Le coût estimatif comprend également les coûts d'exploitation du bateau, les salaires et les coûts de remplacement des trappes perdues ou brisées.	Anon., 1994 Goggin, 1998 Martin et Proctor, 2000 McEnnuly <i>et al.</i>, 2001 Needler, 1939b
enclos	Un enclos est un moyen d'exclusion des étoiles de mer. Il consiste d'un genre de clôture qui longe le périmètre de la surface à protéger. La plupart des recherches menées jusqu'à maintenant ont porté sur l'exclusion des crabes.	Norvège et Canada	Le coût estimatif d'un enclos comprend le coût d'achat des matériaux (\$8.45/m), les frais d'installation, qui peut nécessiter l'embauche de plongeurs, ainsi que les	Anon., 1995 (http://www.reef.crc.org.au/publications/explore/feat45.html) Boudreau <i>et al.</i>, 2005

			coûts d'entretien régulier.	Strand <i>et al.</i> , 2003
saumure	Les collecteurs de naissain de moule sont immergés dans de la saumure pendant 30 secondes pour tuer les étoiles de mer. Le meilleur moment de le faire est la mi-août, avant que les étoiles atteignent 15 mm de diamètre. Il faut environ 5 jours pour traiter 60 filières de moules.	Canada	Le coût estimatif comprend les coûts d'exploitation du bateau, les salaires et le coût de la saumure.	Bourque et Myrand, 2002 Mackinnon <i>et al.</i>, 1993 Shearer et MacKenzie Jr., 1961
chaux	Les collecteurs de naissain de moule sont immergés dans une solution de chaux éteinte de 40 g/L avant que les étoiles de mer atteignent 15 mm de diamètre.	Canada	Le coût estimatif comprend les coûts d'exploitation du bateau, les salaires et le coût de la chaux. Le coût varie entre \$20 à \$100 par ligne de collecteur.	Mackinnon <i>et al.</i> , 1993
ramassage manuel / plongée	Les étoiles de mer peuvent être enlevées à la main des collecteurs de naissain de moule, des boudins de moules et des structures de grossissement des pétoncles et des huîtres. Il faut environ une heure par jour de travail de huit heures pour ramasser les étoiles au moment du triage des naissains. Les étoiles de mer peuvent également être ramassées à la main sur le fond en eau peu profonde. Durant la récolte des huîtres, environ 10 % du temps est consacré au prélèvement des étoiles.	Australie et Canada	Le coût estimatif comprend les salaires.	Anon., 2000 Joint SCC/SCFA National Taskforce on the Prevention and Management of Marine Pest Incursions, 1999 Ventilla, 1982

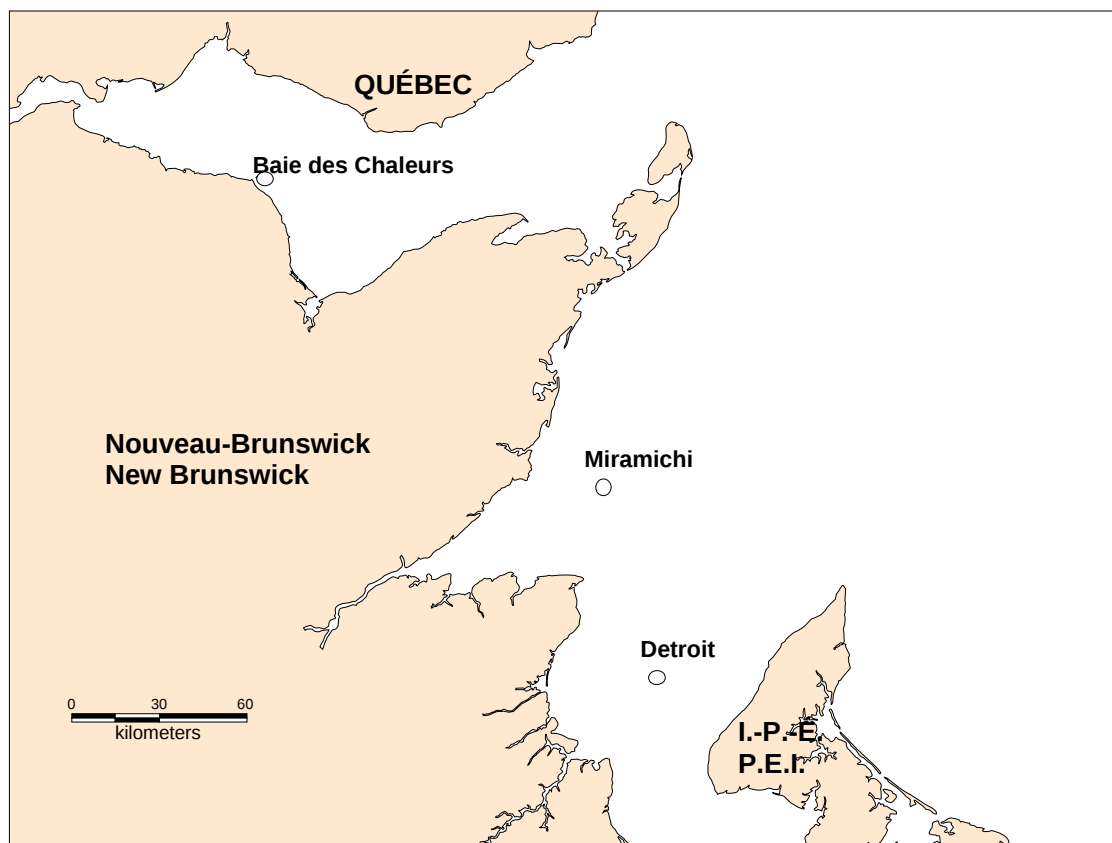


Figure 1. Carte des sites d'ensemencement de Pecten UPM –MFU Inc.

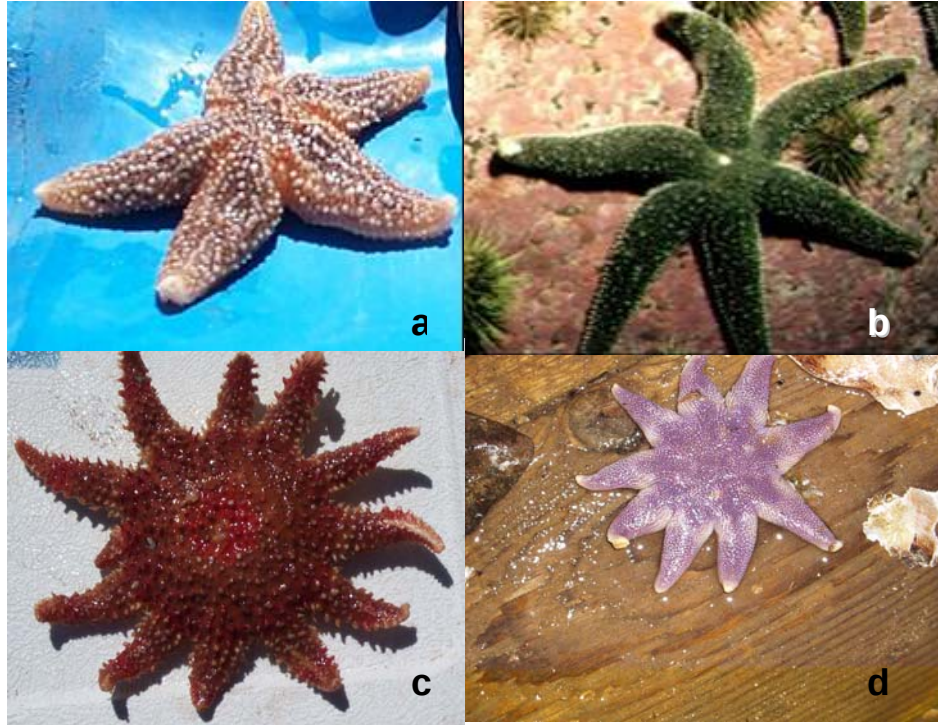


Figure 2. Espèces d'étoiles de mer retrouvées dans le sud du Golfe du St. Laurent: a) *Asterias vulgaris*; b) *Leptasterias polaris*; c) *Crossaster papposus*; d) *Solaster endeca*.



Figure 3. Le faubert.

(Source: http://www.nefsc.noaa.gov/press_release/2000/starfishmop1.jpg)



Figure 4. Dragage à pétoncles utilisée à Cap Tourmentin, au Nouveau-Brunswick.



Figure 5. Trappe à étoile de mer utilisée aux îles-de-la-Madeleine.

(Source: François Bourque et Jacques Richard)

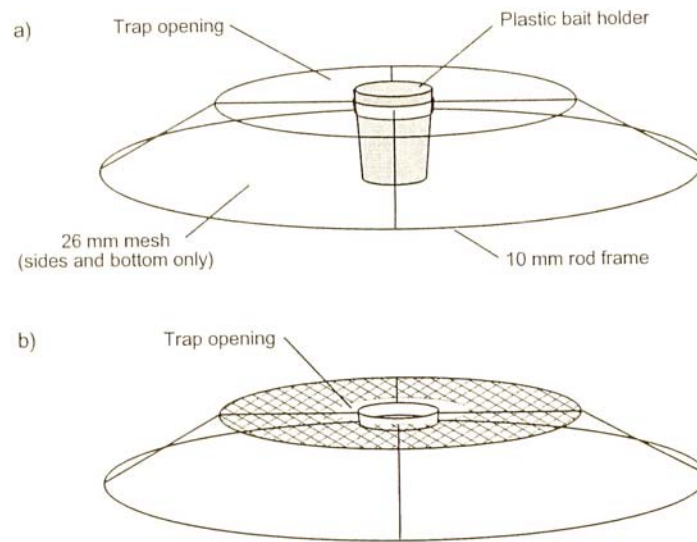


Figure 6. Trappe à étoile de mer Whayman-Holdsworth.

(Source: Martin and Proctor, 2000)

Trap opening = Ouverture de la trappe

Plastic bait holder = Porte-appât en plastique

26 mm mesh = Filet à mailles de 26 mm

(sides and bottom only) = (côtés et fond seulement)

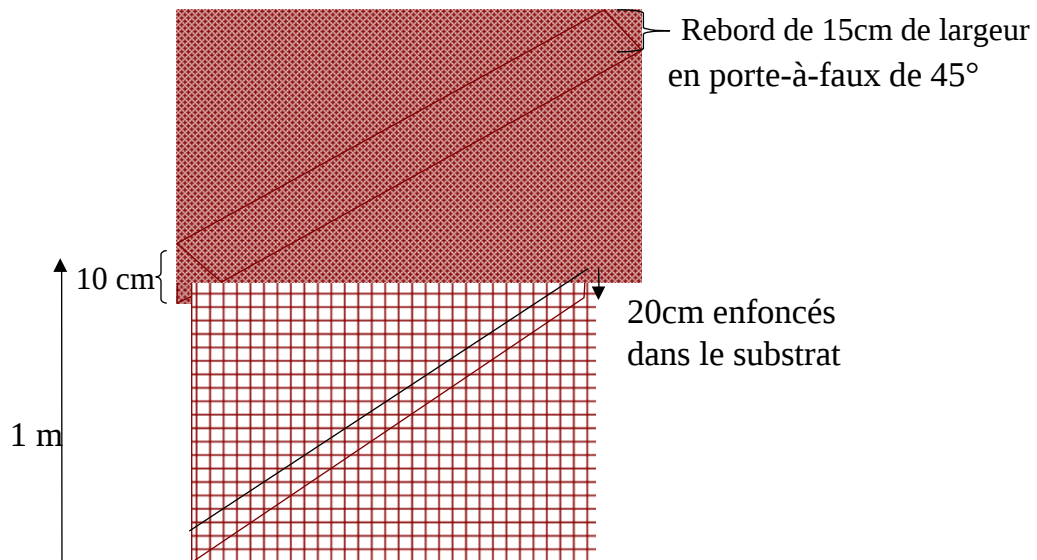


Figure 7. Clôture à rebord en porte-à-faux de 45° .

(Source : Boudreau et coll., 2005)

7.0 ANNEXE 1

Annex 1. Liste des références non citées concernant les moyens de lutte contre l'étoile de mer.

Anonymous. 1990. Solving the mystery of good and poor harvests and Developing a system of techniques suited to the mode of life of shellfish. Yamaha Fishery Journal 34.

Anonymous. 2004. Ecology of the northern sea star. <http://www.clarku.edu/departments/biology/biol201/2004/jcurtis> (accessed 6 March, 2006).

Avault, J. W. Jr. 1998. Predators and pests of mollusks Oysters clams and mussels. Aquacult. Mag. 24 (1): 56-61.

Barbeau, M. A. and R. E. Scheibling. 1994. Procedural effects of prey tethering experiments Predation of juvenile scallops by crabs and sea stars. Mar. Ecol. Prog. Ser. 111 (3): 305-310.

Barbeau, M. A. and R. E. Scheibling. 1994b. Temperature effects on predation of juvenile sea scallops *Placopecten magellanicus* Gmelin by sea stars *Asterias vulgaris* Verrill and crabs *Cancer irroratus* Say J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 182 (1): 27-47.

Barbeau, M. A., B. G. Hatcher, R. E. Scheibling, and A. W. Hennigar, L. H. Taylor and A. C. Risk. 1996. Dynamics of juvenile sea scallop *Placopecten magellanicus* Gmelin and their predators in bottom seeding trials in Lunenburg Bay Nova Scotia. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53: 2494-2512.

Barbeau, M. A., R. E. Scheibling, B. G. Hatcher, L. H. Taylor, A. W. Hennigar. 1994b. Survival analysis of tethered juvenile sea scallops *Placopecten magellanicus* in field experiments Effects of predators scallop size density site and season. Mar. Ecol. Prog. Ser. 115 (3): 243-256.

Barthelemy, G. 1992. Lutte biologique contre la prolifération de l'étoile de mer *Asterias rubens* en baie de Quiberon. Société française de Malacologie. Les mollusques marins Biologie et aquaculture, 14: 93-106.

Beattie, J. H., B. Blake and D. Herren. 1995. Improving survival of planted juveniles of the geoduck clam *Panopea abrupta* using predator exclusion devices. J. Shellfish Res. 14 (1): 260.

Bergh, O. and Ø. Strand. 2001. Great scallop *Pecten maximus* research and culture strategies in Norway a review. Aquaculture International 9: 305-318.

- Bourque, F. and B. Myrand. 2005. Impact du calage des lignes pour le contrôle de la fixation secondaire de moule. Direction de l'innovation et de la technologie 1. 50: 37p.
- Brulotte, S. and M. Giguère. 2005. Bilan des travaux sur les espèces associées au captage de pétoncle aux Île de la Madeleine {In}: Cliche, G. and F. Coulombe (eds.). 4^e réunion annuelle de transfert de technologie REPERE II MAPAQ No.22: 17-29.
- Burnett, A. L. 1960. The mechanism employed by the starfish *Asterias forbesi* to gain access to the interior of the bivalve. Ecology 41: 583-584.
- Burton, R. W. 1966. Starfish Friend or Foe State of Rhode Island Department of Natural Resources Division of Conservation. Leaflet no. 21.
- Cliche, G., C. Cyr and D. Hébert. 2005. De faible densité d'étoile de mer et de moules dans les paniers de prélevage nuisent-elles à la croissance et la survie des pétoncles *Placopecten magellanicus*. {In}: Cliche, G. and F. Coulombe (eds.). 4^e réunion annuelle de transfert de technologie REPERE II MAPAQ No.22: 43-50.
- Cliche, G., M. Giguère and S. Vigneau. Dispersal and mortality of sea scallop *Placopecten magellanicus* Gmelin juveniles seeded on the sea bottom off the Îles-de-la-Madeleine. J. Shellfish Res. 13: 565-570.
- Cliche, G., S. Vigneau and G. Vigneau. 1997. Compte rendu de la participation a la mission sur l'élevage du pétoncle réalisée au Japon entre le 2 Août et le 9 Août 1997. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Direction de l'innovation et des technologies and Association des Pêcheurs de pétoncles des Îles-de-la-Madeleine. iii + 11p.
- d'Entremont, J. and M. A. Barbeau. Impact of multiple predators: sea star and crab predation on juvenile scallops. Department of Biology University of New Brunswick Bag Service #45111 Fredericton, New Brunswick Canada E3B 6E1. Masters thesis, UNB.
- Dolmer, P. 1998. The interactions between bed structure of *Mytilus edulis* L. and the predator *Asterias rubens* L. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 228: 137-150.
- Dommissse, M. and D. Hough. 2004. Controlling the northern Pacific Sea star *Asterias amurensis* in Australia. Final Report for the Australian government department of the environment and heritage. 52p.
- Drolet, D., J. H. Himmelman and R. Rochette. 2004. Use of refuges by the ophiurid *Opiopholis aculeata* Contrasting effects of substratum complexity on predation risk from two predators. Mar. Ecol. Prog. Ser. 284: 173-183.

- Fleury, P.-G., C. Mingant and A. Castillo. 1996. A preliminary study of the behaviour and vitality of reseeded juvenile great scallops of three sizes in three seasons. *Aquacult. Int.* 4 (4): 325-337.
- Franz, D. R., E. K. Worley and A. S. Merrill. 1981. Distribution patterns of common sea stars of the Middle Atlantic Continental Shelf of the Northwest Atlantic Gulf of Maine to Cape Hatteras. *Biol. Bull.* 160 (3): 394-418.
- Galtsoff, P. S. and V. L. Loosanoff. 1939. Natural history and method of controlling the starfish *Asterias forbesi* Desor. *Bulletin of the US Bureau of Fisheries* 49: 75-132.
- Gangney, A., P. Rivalan, P. M. A. Barbeau and M. Nadeau. 2005. Modélisation de la dynamique des populations de pétoncles géants *Placopecten magellanicus* ensemencés aux Îles-de-la-Madeleine Québec Canada. Rapport final project UNB SODIM MITACS 1^{er} juin 2003 30 novembre 2005.
- Garza, C. 2005. Prey productivity effects on the impact of predators of the mussel *Mytilus californianus* Conrad. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 324: 76-88.
- Gaudet, M. and Y. Bastien. Rapport de mission sur la pectiniculture au Japon. Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation sous-ministériat aux pêches maritimes. Direction de la recherche scientifique et technique. Station de recherche aquicole des Îles-de-la-Madeleine 190 rue principale C. P. 658 Cap-aux-Meules G0B IBO.
- Gaymer, C. F. and J. H. Himmelman. 2002. Mussel beds in deeper water provide an unusual situation for competitive interactions between the sea stars *Leptasterias polaris* and *Asterias vulgaris*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 277 (1): 13-24.
- Gaymer, C. F. C. Dutil and H. Himmelman. 2004. Prey selection and predatory impact of four major sea stars on a soft bottom subtidal community. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 313: 353-374.
- Gaymer, C. F., J. H. Himmelman and L. E. Johnson. 2001b. Use of prey resources by sea stars *Leptasterias polaris* and *Asterias vulgairs* a comparison between field observations and laboratory experiments. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 262: 13-30.
- Gudbjarnason, S. Bioactive marine natural products. *Rid Fiskideildar J. Mar. Res. Inst.* 16: 107-110.

- Gunthorpe, L., J. Mercer, C. Rees and T. Theodoropoulous. 2001. Best practices for the sterilisation of aquaculture farming equipment :A case study for mussel ropes. Marine and Freshwater Resources Institute report 41: vi + 48p.
- Hatcher, B. G., R. E. Scheibling, M. A. Barbeau, A. W. Hennigar, L. H. Taylor and A. J. Windust. 1996. Dispersion and mortality of a population of sea scallop *Placopecten magellanicus* seeded in a tidal channel. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53: 38-54.
- Hulbert, A. W. The ecological role of *Asterias vulgaris* in three subtidal communities. In Echinoderms present and past.
- Johnson, D. B., P. J. Moran and S. Driml. 1990. Evaluation of a crown-of-thorns starfish *Acanthaster planci* control program at Grub Reef central Great Barrier Reef Coral Reefs 9: 167-171.
- Kaiser, M. J. 1996. Starfish damage as an indicator of trawling intensity. Mar. Ecol. Prog. Ser. 134: 303-307.
- Keough, M. J. and A. J. Butler. 1979. The role of Asteroid predators in the organization of a sessile community on pier pilings. Mar. Biol. 51: 167-177.
- Lawrence, J. M., M. Byrne, L. Harris, B. Keegan, S. Freeman and B. C. Cowell. 1999. Sublethal arm loss in *Asterias amurensis* *A. rubens* *A. vulgaris* and *A. forbesi* Echinodermata Asteroidea. Vie Milieu 49 (1): 69-73.
- Loosanoff, V. L. 1961. Biology and methods of controlling the starfish *Asterias forbesi* Desor. Fisheries Leaflet US Fish and Wildlife Service 520: 1-11.
- Loosanoff, V. L. and J. B. Engle. 1942. Use of lime in controlling the starfish. US Fish and Wildlife Service Research Report 2: 1-29.
- Loosanoff, V. L. Effects of sea water of reduced salinities upon starfish *A. forbesi* of Long Island Sound. Trans. Conn. Acad. XXXV1: 813-833.
- MacKenzie Jr, C. L. 1977. Use of quicklime to increase oyster seed production. Aquaculture 10: 45-51.
- MacKenzie Jr, C. L. and R. Pikanowski. 1999. A decline in starfish *Asterias forbesi* abundance and a concurrent increase in northern Quahog *Mercentaria mercenaria* abundance and landings in the Northeastern United States. Marine Fisheries Review 6 (2): 66-71.
- McEdward, L. R. and B. G. Miner. 2001. Larval and life-cycle patterns in echinoderms. Can. J. Zool. 79: 1125-1170.

- Menge, B. A. 1979. Coexistence between the sea stars *Asterias vulgaris* and *A. forbesi* in a heterogeneous environment a non-equilibrium explanation. *Oecologia* 41 (3): 245-272.
- Meyer, T. L., R. A. Cooper and K. J. Pecci. 1981. The performance and environmental effects of a hydraulic clam dredge. *Marine Fisheries Review* 43 (9): 14-22.
- Miron, G., T. Landry and N. MacNair. 2002. Predation potential by various epibenthic organisms on commercial bivalve species in Prince Edward Island preliminary results. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2392.
- Morissette, S. and H. Himmelman. 2000. Subtidal food thieves interactions of four invertebrate kleptoparasites with the sea star *Leptasterias polaris*. *Anim. Behav.* 60 (4): 531-543.
- Morissette, S. and J. H. Himmelman. 2000. Decision of the asteroid *Leptasterias polaris* to abandon its prey when confronted with its predator the asteroid *Asterias vulgaris*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 252 (2) 151-157.
- Nadeau, M. and G. Cliche. 2001. Optimisation du prélevage sur les capteurs. Contrôle des étoiles de mer. 2^eréunion annuelle de transfert de technologie REPERE II 10 : 29p.
- Nadeau, M. 2001. Est-il possible de contrôler la fixation des étoiles de mer *Asterias vulgaris* sur les capteurs de pétoncles *Placopecten magellanicus*. {In}: MAPAQ, Direction de l'innovation et des technologies. Activités 2000-2001: 37-38.
- Nadeau, M. 2002. La difficulté de contrôler la fixation des étoiles de mer *Asterias vulgaris* sur les capteurs de pétoncle. {In}: MAPAQ, Direction de l'innovation et des technologies. Activités 2001-2002: p :41.
- Nadeau, M. 2002. Les étoiles de mer *Asterias vulgaris* retrouvées dans les capteurs peuvent-elles compromettre la survie de pétoncle. {In}: MAPAQ, Direction de l'innovation et des technologies. Activités 2001-2002: p :40.
- Needler, A. W. H. 1940. Use of quicklime for killing starfish on oyster grounds. *Fish. Res. Board Can. Prog. Rep.* 1: 2p.
- O'Neill, S. M. 1981. Size selective feeding behaviour and feeding rates of the starfish *Asterias vulgaris* on cultured mussels *Mytilus edulis*. B.Sc. Thesis Memorial University, St. John's, NFLD. 54p.
- Peterson, C. H. 1979. The importance of predation and competition in organizing the intertidal epifaunal communities of Barnegat Inlet New Jersey. *Oecologia* 39: 1-24.

- Powell, E. N., J. M. Klinck, E. E. Hofmann and S. Ford. 1997. Varying the timing of oyster transplant Implications for management from simulation studies. *Fish. Oceanogr.* 6 (4): 213-237.
- Pryor, M. and G. J. Parsons. 1999. Larval distribution of blue mussel *Mytilus edulis* and *M. trossulus* and predatory starfish *Asterias vulgaris* during a 12-hour tidal cycle. Contribution Papers Aquaculture Canada '99 Victoria BC 26-29 October 1999. no. 99-4. Bull. Aquacult. Assoc. Can.
- Riemann, B. and E. Hoffmann. 1991. Ecological consequences of dredging and trawling in the Limfjord Denmark. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 69: 171-178.
- Roussy, M., G. Cliche G. and M. Giguère. 1994. Caractérisation et éradication des prédateurs du pétoncle géant *Placopecten magellanicus* aux Îles-de-la-Madeleine en 1993. Direction Générale des Pêches et de l'Aquaculture Commerciales. Direction de la recherche scientifique et technique 15: 85p.
- Saier, B. 2001. Direct and indirect effects of sea stars *Asterias rubens* on mussel beds *Mytilus edulis* in the Wadden Sea. *Journal of Sea Research* 46: 29-42.
- Sloan, N. A. 1985. Echinoderm fisheries of the world: A review. {In}: Echinodermata proceedings of the Fifth International Echinoderm Conference, Galway, 24-29 September 1984. B. F. Keegan and B. D. S. O'Connor (eds):109-124.
- Smith, G. F. M. 1940. The removal of starfish from oyster beds by mops. *Fish. Res. Board Can. Prog. Rep.* 28: 5-6.
- Sommer, U., B. Meusel and C. Stielau. 1999. An experimental analysis of the importance of body-size in the sea star-mussel predator-prey relationship. *Acta Oecologica* 20 (2): 81-86.
- Spencer, B. E. 1991. Predators and methods of control in molluscan shellfish cultivation in north European waters. *Spec. Publ. Eur. Aquacult. Soc.* 16: 309-337.
- Spencer, B. E. 1991. Predators and methods of control in shellfish cultivation. *Aquaculture and the Environment. Spec. Publ. Eur. Aquacult. Soc.* 14: 303p.
- Strand, Ø., E. S. Grefsrud, G. A. Haugum, G. Bakke, E. Helland and T. E. Helland. 2004. Release strategies in Scallop *Pecten maximus* sea ranching vulnerable to crab predation. {In}: Stock enhancement and sea ranching developments pitfalls and opportunities (K. M. Leber S. Kitada H. L. Blankenship and T. Svasand, eds). Blackwell Publishing Ltd. UK. pp. 544-555.

- Suyehiro, Y., H. Kabasawa and I. Anayama. 1975. On extermination of starfishes. {In} :Collected Abstracts and Papers of the International Conference on Marine Parks and Reserves. Tokyo Japan 12-14 May 1975 (T. Tamura M. Uda Y. Hiyama M. Horikoshi T. Okutani K. Deguchi and H. Uchida, eds). Bulletin of the Marine Park Research Stations 1 (2): pp 28-29.
- Thieltges, D. W. 2005. Benefit from an invader American slipper limpet *Crepidula fornicata* reduces star fish predation on basibiont European mussels. *Hydrobiologia* 541: 241-244.
- Thrush, S. F. 1988. Behavioural observations on sublittoral populations of starfish in Lough Hyne. *Ir. Nat. J.* 22 (10): 430-436.
- Wilson, U. A. W. and A. R. Brand. 1994. Nowhere to hide: Predator impact on seeded scallops. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci* 118.
- Wong, M. C. and M. A. Barbeau. 2003. Effects of substrate on interactions between juvenile sea scallops *Placopecten magellanicus* Gmelin and predatory sea stars *Asterias vulgaris* Verrill and rock crab *Cancer irroratus* Say. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 287: 155-178.
- Wong, M. C. and M. A. Barbeau. 2005. Prey selection and the functional response of sea stars *Asterias vulgaris* Verrill and rock crabs *Cancer irroratus* Say preying on juvenile sea scallops *Placopecten magellanicus* Gmelin and blue mussels *Mytilus edulis* Linnaeus. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 327: 1-21.
- Wong, M. C., L. A. Davidson, L. A. Grecian and M. A. Barbeau. Predation on juvenile scallops *Placopecten magellanicus* in the Northumberland Strait. Department of Biology University of New Brunswick Fredericton NB and Department of Fisheries and Oceans, Moncton NB.
- Wong, M. C., M. A. Barbeau, A. W. Hennigar and S. M. C. Robinson. 2005. Protective refuges for seeded juvenile scallops *Placopecten magellanicus* from sea star *Asterias* spp. and crab *Cancer irroratus* and *Carcinus maenas* predation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 62: 1766-1781.