

Les
publications
de la Direction de l'innovation
et des technologies

Rapport de recherche-développement

N° 168

Gestion maricole adaptée à la présence des étoiles de mer

Le cas de la lagune du Havre aux
Maisons aux Îles-de-la-Madeleine

Madeleine Nadeau
Mélanie Bourgeois
François Bourque

Gestion maricole adaptée à la
présence des étoiles de mer

Le cas de la lagune du Havre aux
Maisons, aux Îles-de-la-Madeleine

Rapport de recherche-
développement n° 168

Madeleine Nadeau
Mélanie Bourgeois
François Bourque

Réalisation

Marc Veillet, responsable du bureau d'édition
Julie Rousseau, agente de secrétariat

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
Bureau d'édition - DIT
96, montée de Sandy Beach, bureau 2.05
Gaspé (Québec) G4X 2V6
publications.dit@mapaq.gouv.qc.ca

**Pour une version gratuite (fichier pdf) de ce document, visitez notre site Internet à l'adresse suivante :
<http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Peche/md/Publications/> ou écrire à l'adresse de courriel ci-dessus.**

ISBN (version imprimée) : 978-2-550-53765-6
ISBN (version PDF) : 978-2-550-53766-3

Dépôt légal – Bibliothèque et archives nationales du Québec, 2008

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

Madeleine Nadeau¹, Mélanie Bourgeois², François Bourque¹

1. CeMIM, Cap-aux-Meules

2. CeMIM, Cap-aux-Meules. Actuellement : Culti-Mer, Fatima

On doit citer ce document comme suit : Nadeau, M., F. Bourque, M. Bourgeois. 2008. Gestion maricole adaptée à la présence des étoiles de mer. Le cas de la lagune du Havre aux Maisons, aux Îles-de-la-Madeleine. MAPAQ, DIT. Rapport de R-D n° 168. 24 pages.

Résumé

Les étoiles de mer (*Asterias* sp.) présentes dans la lagune du Havre aux Maisons aux Îles-de-la-Madeleine sont des prédateurs importants de bivalves en élevage. Un mode de gestion adapté à la présence de ce prédateur s'est donc avéré nécessaire pour réduire les pertes qu'il occasionne. Afin de développer une approche efficace, une bonne connaissance de la dynamique des étoiles de mer en ce qui concerne leur distribution, leurs déplacements et leur cycle de reproduction est essentielle et constitue le principal objectif d'une étude menée en 2006 et en 2007. Des modes de mitigation, soit par l'évitement de la fixation des recrues ou par un contrôle direct de la population des étoiles de mer ont également été évalués. À la suite de des inventaires réalisés au traîneau et en plongée, il a été observé que la population d'étoiles de mer dans la lagune était relativement stable d'une année à l'autre et sans grandes variations saisonnières (entre mai et novembre), avec une densité moyenne de 0,2 individu/m² et une concentration plus élevée (0,5 ind./m²) sous les filières conchylicoles situées au centre de la lagune. La population était principalement constituée d'étoiles de mer de taille dépassant rarement 4 cm de rayon sauf sous les filières d'élevage où des spécimens de plus grande taille ont été notés. Le cycle de reproduction a été caractérisé par une ponte en juin et en juillet et a pris fin au début du mois d'août. La présence des larves et le début de la fixation ont été observés en juillet, soit un mois après le début de la ponte. Le maximum de captage a été mesuré sur les collecteurs relevés à la fin août. Les collecteurs cumulatifs, c'est-à-dire immergés en début de saison et retirés à des périodes régulières par la suite, se sont avérés les meilleurs outils pour déterminer la période maximale de fixation des étoiles de mer. De plus, des essais de contrôle des étoiles de mer en plongée, sous les filières mytilicoles, ont révélé la faisabilité et l'efficacité de l'approche. Les coûts de la récolte ont été estimés à environ 0,12 \$/étoile de mer, mais la méthode reste à être optimisée.

Abstract

The lagoon of Havre-aux-Maisons is an important site of bivalve culture in Îles-de-la-Madeleine (Québec). However, farmers are worried about the sea stars (*Asterias* sp.) population in the basin that can induce significant losses by predation. To answer their concern, a study was conducted in 2006 and 2007 to collect basic data on the sea stars population in the lagoon, particularly on their distribution, displacements and reproduction cycle. Mitigation tools to reduce the sea stars predation impact by avoidance or direct control were also evaluated. Video and diving surveys showed that the sea stars population was relatively stable among years and samplings (between May and November) with a mean density of 0.2 individual/m² and an higher concentration (0.5 ind./m²) in the main aquaculture site. The population was composed of sea stars generally lower than 4 cm (of ray). Sea stars larger than 4cm were mainly noted in the aquaculture site. The sea stars spawned between June and July. Larvae and settlement were firstly started in July, about 1 month after spawning. The main settlement was noted in August. The cumulative collectors immersed in June and retrieved monthly until October were efficient tool to determine the major period of sea stars settlement. Therefore they can be a useful tool to advise the industry during an avoidance strategy. Direct control of sea stars with divers under aquaculture lines revealed the feasibility and efficiency of this approach to reduce the adult population. The harvesting cost was evaluated at about 0.12\$/ sea star and the method can still be optimised.

Mots clés : prédation, étoiles de mer, moule bleue

Key Words: predation, sea star, blue mussel

Table des matières

1. Introduction.....	1
2. Matériel et méthodes.....	1
2.1 Inventaires de la population d'étoiles de mer.....	1
2.2 Caractérisation du cycle de reproduction.....	2
2.3 Évaluation du contrôle des étoiles de mer par une récolte en plongée.....	4
3. Résultats.....	4
3.1 Caractérisation de la population des étoiles de mer dans la lagune.....	4
3.2 Cycle de reproduction des étoiles de mer et monitoring.....	5
3.2.1. Suivi de la ponte.....	5
3.2.2. Suivi larvaire.....	7
3.2.3. Suivi de captage.....	7
3.3 Évaluation du contrôle des étoiles de mer.....	7
4. Discussion.....	8
4.1 Dynamique des étoiles de mer dans la lagune du Havre aux Maisons.....	8
4.2 Reproduction et monitoring.....	9
4.3 Contrôle des étoiles de mer.....	10
5. Conclusion.....	10
6. Recommandations.....	10
7. Remerciements.....	11
8. Références.....	11

Liste des figures

Figure 1. Traîneau à caméra et cadre de plongée utilisés lors des inventaires d'étoiles de mer dans la lagune du Havre aux Maisons en 2006 et en 2007.....	2
Figure 2. Positions approximatives des traits d'inventaires et des stations de pompage larvaire réalisés dans la lagune du Havre aux Maisons en 2006 et en 2007.....	3
Figure 3. Températures enregistrées dans la lagune du Havre aux Maisons en 2006 et 2007 à des profondeurs de 1, 3 et 5 mètres.....	5
Figure 4. Densités moyennes des étoiles de mer estimées sur les traits d'inventaires réalisés au traîneau et en plongée, dans la lagune du Havre aux Maisons en mai, juin/juillet, août et octobre/novembre 2006.....	6
Figure 5. Tailles moyennes des étoiles de mer estimées sur les traits d'inventaires réalisés au traîneau et en plongée dans la lagune du Havre aux Maisons en mai, juin/juillet, août et octobre/novembre 2006.....	6
Figure 6. Densités et taille moyennes des étoiles de mer pour chaque séquence vidéo en fonction de la profondeur de la lagune du Havre aux Maisons en 2006.....	6
Figure 7. Densité et taille moyennes des étoiles de mer sur les traits inventoriés en fonction du taux de recouvrement de la zostère dans la lagune du Havre aux Maisons en 2006.....	6
Figure 8. Densités moyennes des étoiles de mer estimées sur les traits d'inventaires réalisés au traîneau et en plongée dans la lagune du Havre aux Maisons en juillet et en septembre/octobre 2007.....	7
Figure 9. Tailles moyennes des étoiles de mer estimées sur les traits d'inventaires réalisés au traîneau et en plongée dans la lagune du Havre aux Maisons en juillet et en septembre/octobre 2007.....	7
Figure 10. Indices gonadiques des étoiles de mer échantillonnées dans la lagune du Havre aux Maisons en 2006 et en 2007.....	7
Figure 11. Densités larvaires estimées dans trois secteurs de la lagune du Havre aux Maisons en 2007.....	7

Figure 12. Densité et taille des étoiles de mer présentes sur les collecteurs cumulatifs dans les secteurs SO et central de la lagune du Havre aux Maisons en 2007	8
Figure 13. Relation entre la taille des étoiles de mer récoltées dans la lagune du Havre aux Maisons en 2006 et le volume de liquide coelomique	8

Liste des tableaux

Tableau 1. Bilan des résultats obtenus lors des essais de contrôle des étoiles de mer sous les filières mytilicoles dans la lagune du Havre aux Maisons en 2006	8
---	---

Liste des annexes

Annexe 1 Complément d'information sur les caractéristiques morphologiques des deux espèces d'étoiles de mer <i>Asterias rubens</i> et <i>A. forbesi</i>	12
Annexe 2 Cartes représentant la distribution des étoiles de mer en fonction des densités et de la taille moyenne estimées par les inventaires de 2006 et 2007, dans la lagune du Havre aux Maisons	16
Annexe 3 Brève description des particularités et du cycle biologique de la zostère marine (<i>Zostera marina</i>)	22

Gestion maricole adaptée à la présence des étoiles de mer (*Asterias* sp.)

Le cas de la lagune du Havre aux Maisons, aux Îles-de-la-Madeleine

1. Introduction

La lagune du Havre aux Maisons est un plan d'eau important pour l'élevage de la moule bleue (mytiliculture), du pétoncle géant (pectiniculture) et de la mye commune (myiculture) aux Îles-de-la-Madeleine. Ce site abrité, d'une superficie d'environ 36 km², possède des avantages indéniables pour la conchyliculture autant par la quantité de nourriture qui s'y concentre que par la température moyenne de l'eau généralement plus élevée qu'en milieu ouvert. Toutefois, au cours des dernières années, une présence accrue d'étoiles de mer (*Asterias* sp.) y a été notée. Dans la lagune, ce prédateur important de bivalves pose plusieurs types de problèmes. Au stade larvaire, les étoiles de mer peuvent se fixer sur les structures de captage de moules et de myes ou encore s'infiltrer dans les structures d'élevage en suspension utilisées en pectiniculture et en myiculture. Étant donné la protection qui leur est alors offerte et l'accessibilité à des sources de nourriture, elles croissent rapidement pour ensuite se nourrir des bivalves en élevage. Au stade adulte, les étoiles de mer sont de redoutables prédateurs qui peuvent se déplacer pour accéder aux moules d'élevage sur les boudins et aux pétoncles dans des structures d'élevage ou mis en boucles d'oreille lorsque ceux-ci touchent le fond ou encore aux myes fixées sur les capteurs benthiques. Il est donc important d'intégrer des approches de contrôle ou d'évitement des étoiles de mer dans les stratégies de gestion des opérations conchylicoles dans la lagune.

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

La présence de sites d'élevage conchylicoles risque de concentrer et de maintenir des populations d'étoiles de mer sous les structures (Inglis et Gust, 2003). Ces étoiles profitent alors des pertes de bivalves ou des bris des structures pour se nourrir. Il peut donc être pertinent de contrôler leur abondance pour limiter la progression de la population et ainsi réduire leur succès reproducteur. Dans l'optique d'un contrôle des densités d'étoiles de mer, il s'est avéré judicieux de prévoir une utilisation des étoiles récoltées, qui deviendraient une source

de financement, entière ou partielle, de leur propre contrôle. Actuellement, le domaine des biotechnologies s'intéresse aux propriétés moléculaires des étoiles de mer. Il y a donc intérêt à amasser des données d'inventaires et de capacité de récolte afin d'évaluer le potentiel d'approvisionnement de la lagune du Havre aux Maisons et plus précisément en provenance des sites conchylicoles. De plus, un échantillonnage régulier des étoiles de mer permettra de documenter les variabilités temporelles de la qualité biomoléculaire du produit.

La présente étude visait donc à caractériser la dynamique des étoiles de mer présentes dans la lagune du Havre aux Maisons en récoltant des données sur leur distribution saisonnière et sur leur cycle de reproduction (période de ponte, période larvaire et période de fixation) en 2006 et 2007. Elle était également l'occasion d'identifier une méthode performante pour déterminer la période de fixation maximale des étoiles de mer en vue de guider les producteurs dans l'adaptation de leurs activités conchylicoles. Finalement, la faisabilité et l'efficacité d'un contrôle des étoiles de mer via des récoltes en plongée sous les structures mytilicoles ont été évaluées.

2. Matériel et méthodes

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

2.1 Inventaires de la population d'étoiles de mer

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

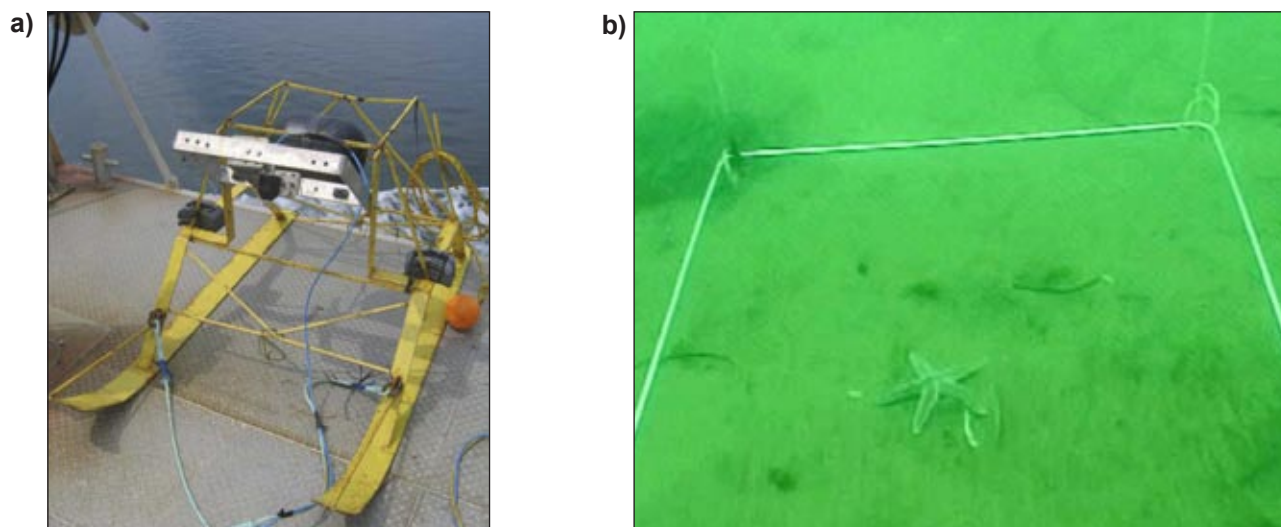


Figure 1. Traîneau à caméra (a) et cadre de plongée (b) utilisés lors des inventaires d'étoiles de mer dans la lagune du Havre aux Maisons en 2006 et en 2007.

concentrations d'étoiles de mer observées en 2006, soit dans les secteurs nord-est et du sud-ouest de la lagune. Un total de 13 traits de 300 m ont ainsi été couverts dans le secteur nord-est (CAM5 à 10, 12) et le secteur sud-ouest (CAM1 à 4, 11; figure 2b).

Des inventaires ont également été réalisés en plongée sous-marine sous les structures d'élevage, puisque le traîneau n'avait pas accès à ces endroits. À chacun de ces inventaires, les plongeurs, munis d'une caméra numérique manuelle (SONY Digital HandyCam, DCR-VX2000 NTSC) se sont déplacés sous les filières pour couvrir quatre traits de 200 m (figure 2). Un cadre de métal de 50 cm sur 50 cm a été fixé sur la caméra pour permettre une prise d'images de largeur et d'angle uniformes (figure 1b). En 2006, les inventaires en plongée ont été réalisés les 30 mai, 11 juillet, 10 août, 6 octobre et 29 novembre. En 2007, un seul inventaire en plongée a été réalisé le 10 octobre. En 2006, quatre traits de 200 m ont été couverts comparativement à six traits de 100 m en 2007.

En 2006, l'analyse des images provenant du traîneau a été réalisée avec le logiciel *Image Pro*. Chaque trait a été divisé en une série successive de séquences vidéo de deux minutes. Un trait pouvait être composé de 20 séquences vidéo selon la vitesse du parcours. Afin d'assurer une analyse adéquate, et ce, dans un délai raisonnable, seulement une séquence vidéo (de 2 min) sur deux a été analysée pour chaque trait. Étant donné le nombre réduit de traits couverts en 2007, les images du traîneau, de même que les images recueillies lors des inventaires en plongée en 2006 et 2007, ont été traitées directement sur un moniteur doté d'une grille de calibration. Pour tous les inventaires, les étoiles de mer ont été dénombrées et mesurées (rayon en cm). Lorsque possible, les étoiles de mer ont été déterminées selon l'espèce *Asterias rubens* (anciennement *A. vulgaris* (Brunel *et al.*, 1998)) et *A. forbesi*. Les critères d'identification sont décrits à l'annexe 1. Bien que rarement rapportés dans la littérature (Harper et Hart, 2005; Menge, 1986), des spécimens hybrides, c'est-à-dire présentant des caractéristiques des deux espèces, ont également été identifiés. Les données de densité et de taille des étoiles de mer ont été traitées graphiquement sous forme

d'histogrammes qui précisent l'abondance des étoiles de mer recrutées (< 2 cm de rayon). Les données ont également été traitées à l'aide d'un logiciel de géomatique (*Surfer 8.0*) en utilisant les valeurs moyennes pour chaque trait et chaque période d'inventaire. La couverture de la lagune plus importante lors des inventaires de 2006 a permis une interpolation des données à partir de la triangulation avec interpolation linéaire. Les inventaires de 2007 ont été traités uniquement par points. En 2006, une évaluation grossière de l'abondance et du stade de développement de la zostère a également été réalisée pour chaque trait et période d'inventaire. L'information sur les herbiers de zostères a également été cartographiée à partir du logiciel de géomatique.

2.2 Caractérisation du cycle de reproduction

La période de ponte a été déterminée par des échantillonnages hebdomadaires de 15 étoiles de mer (> 8 cm de rayon) réalisés de mai à septembre 2006 et 2007. Comme l'utilisation de casiers coniques à étoiles de mer s'est avérée infructueuse, l'approvisionnement a dû être assuré par des plongeurs. Les étoiles ont généralement été récupérées sous les filières d'élevage conchylicoles. Avant d'être disséquées, les étoiles de mer ont été mises à égoutter en chambre froide à 4 °C sur deux couches de papier absorbant durant 24 heures. Elles ont ensuite été mesurées (rayon en mm) et pesées (g), puis les gonades ont été prélevées et pesées (g). En 2006, les gonades et les autres organes de l'animal ont été séchés à l'étuve à 70 °C durant 48 heures. Les indices gonadiques (IG) frais et secs ont ensuite été déterminés à partir du ratio entre le poids de la gonade et le poids du reste de l'animal (pour le ratio sec) ou de tout l'animal (pour le ratio frais), multiplié par 100. En 2007, seuls les indices gonadiques frais ont été déterminés.

Pour chacune des deux années, des échantillonnages larvaires ont été réalisés de façon hebdomadaire de juin à septembre à l'aide d'une pompe submersible (Bilge Pumps Rule, 3 500 gph, 12 volts). En 2006, les échantillons d'eau ont été prélevés sur six stations sous les structures conchylicoles centrales (figure 2a) puis mis en commun pour une même

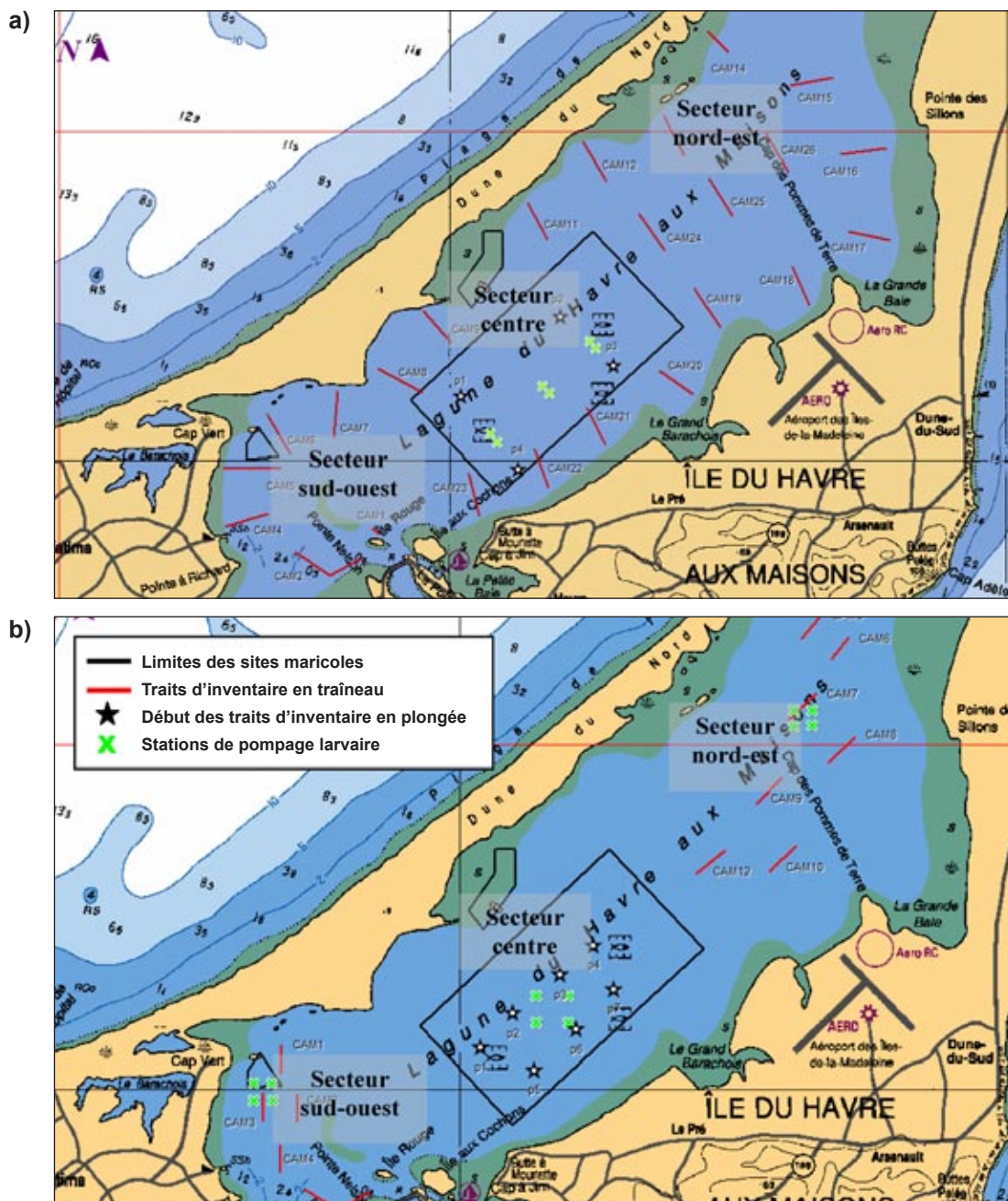


Figure 2. Positions approximatives des traits d'inventaires et des stations de pompage larvaire réalisés dans la lagune de Havre-aux-Maisons en 2006 (a) et en 2007 (b) (Nobeltec version 7.1.9, carte 4951).

analyse. À chaque station, un volume d'eau de 1 800 L a été filtrée sur des tamis de 800 µm, 209 µm et 80 µm. Le contenu du dernier tamis (80 µm) a permis de vérifier la présence des premiers stades larvaires d'échinodermes au début des échantillonnages. Par la suite, seul le contenu du tamis de 209 µm a été analysé. Étant donné le faible nombre de larves récolté en 2006, certaines modifications ont été apportées au protocole de 2007. Trois sites de pompage ont été déterminés selon les concentrations d'étoiles de mer de 2006, soit dans le secteur conchylicole central et dans les secteurs nord-est et sud-ouest. Cependant, le nombre de stations de pompage par site a été réduit à quatre et les résultats ont été réunis pour obtenir une seule valeur par site. Finalement, pour éviter de saturer les tamis et ainsi risquer d'endommager la fragile structure des

larves d'étoiles de mer, le volume d'eau pompée par station a été réduit à 500 L et la taille des mailles du second tamis a été augmentée à 360 µm. Pour les deux années, les échantillons ont été conservés au frais (2 à 4 °C), dans de l'eau salée filtrée, jusqu'à leur analyse. Lors de l'analyse, les larves d'étoiles de mer ont été dénombrées et mesurées. La densité larvaire a ensuite été estimée en fonction du volume d'eau pompée.

Pour déterminer la période de pic du captage des étoiles de mer, des collecteurs simples, ont été mouillés à deux stations localisées près des sites d'élevage du secteur centre et dans le secteur sud-ouest, près du site myicole, du 2 juillet au 10 septembre 2006 et du 12 juin au 2 octobre 2007. Chaque collecteur était constitué d'une section de cordage usagé de 2 cm de diamètre (*polyrope*) et d'une longueur approximative

de 1,5 m. Les collecteurs ont tous été ancrés au fond par un bloc de ciment (20 kg) et maintenus à la verticale dans la colonne d'eau à l'aide d'une bouée de soutien de type « concombre » et identifiés à la surface par une autre bouée. Les collecteurs ont été mouillés de façon à couvrir une profondeur entre 1 et 2,5 m de la surface. En 2006, une rotation de deux séries de trois collecteurs simples a été réalisée sur une base hebdomadaire à chaque station. La mise à l'eau de la première série de collecteurs a été réalisée le 2 juillet 2006 et celle de la deuxième série, la semaine suivante. Chaque série de collecteurs a ensuite été remplacée à toutes les deux semaines. À chaque récolte, une section de 30 cm échantillonnée dans la partie centrale du collecteur a été conservée dans l'éthanol à 90 %. Lors de l'analyse, les étoiles de mer ont été dénombrées et mesurées au binoculaire. En 2007, le cycle de rotation des collecteurs a été augmenté à trois semaines, impliquant ainsi trois séries de trois collecteurs par station, et la première série a été immergée le 12 juin 2007. Les analyses ont ensuite été réalisées sur deux sections de 30 cm par collecteur plutôt qu'une.

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

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

Des essais de contrôle des étoiles de mer ont été réalisés en plongée à trois reprises, soit les 12 juillet, 16 août et 14 septembre 2006, sous les filières mytilicoles. À chaque fois, trois filières commerciales ont été sélectionnées au hasard. Pour une filière donnée, les plongeurs procédaient tout d'abord à un inventaire des étoiles de mer à l'aide d'une caméra numérique manuelle (SONY Digital HandyCam, DCR-VX2000 NTSC). La position de départ du trait à récolter était identifiée à l'aide d'une bouée de surface attachée au début de la filière par les plongeurs et la position finale du trait correspondait à la position de leur remontée. Les plongeurs, équipés chacun d'un sac de plongée, récoltaient ensuite les étoiles de mer de toutes les tailles et de toutes les espèces, durant un maximum de 15 minutes. Finalement, les plongeurs réalisaient une dernière plongée sous la même filière pour enregistrer des images après la récolte.

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

capacité physique et respiratoire des plongeurs. Ils n'incluent pas non plus les coûts de déplacement du bateau et des plongeurs vers le site.

Des étoiles de mer destinées aux analyses biotechnologiques ont été récoltées en plongée à sept reprises entre le 2 juin et le 29 novembre 2006 sur une fréquence quasi mensuelle. À chaque récolte, 15 individus mesurant entre 70 et 100 mm de rayon ont été récoltés. Les étoiles ont été maintenues dans un bac d'eau salée jusqu'au laboratoire. Après avoir été mesurées et épongées, les étoiles de mer étaient suspendues par un bras au-dessus d'un récipient de 200 ml. Le bras de l'étoile de mer orienté vers le bas était sectionné environ du tiers pour laisser écouler le liquide coelomique dans le récipient. Une fois le liquide récupéré, un second bras était sectionné et ainsi de suite jusqu'à l'évidage complet de l'animal. Les contenants avec le liquide ont été conservés au congélateur à -80 °C jusqu'à leur envoi vers les laboratoires d'Océanova Biotechnology inc. Afin d'évaluer le volume de liquide coelomique en fonction de la taille des étoiles de mer, dix spécimens par classe de taille (< 5 cm, 5-10 cm et > 10 cm) ont été prélevés et ramenés au laboratoire le 13 juillet 2006. Pour chaque spécimen, la quantité de liquide récoltée a été mesurée.

3. Résultats

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

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

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

En mai 2006, les concentrations d'étoiles de mer les plus importantes, allant jusqu'à 0,7 étoile/m², ont été observées en plongée sous les filières d'élevage situées au centre de la lagune (figure 4a et annexe 2, figure 1a). Avec le traîneau, une concentration atteignant 0,4 étoile/m² a été observée sur le trait 15, dans le secteur nord-est de la lagune. Des densités en deçà de 0,2 étoile/m² ont été estimées sur les autres traits. Les étoiles de mer inférieures à 2 cm de rayon, représentant les recrues, ont composé 30 % de la densité moyenne d'étoiles de mer de la lagune estimée à 0,1 étoile/m².

Selon l'inventaire partiel de juin et de juillet 2006, les densités d'étoiles de mer auraient augmenté sur la plupart des traits comparativement aux densités estimées sur les mêmes traits en mai (figure 4b et annexe 2, fig. 2a). Les secteurs de concentration d'étoiles de mer ont été similaires à ceux de mai avec des densités allant jusqu'à 0,6 étoile/m². La densité moyenne a été estimée à 0,2 étoile/m² et était composée à 38 % d'étoiles de mer recrues.

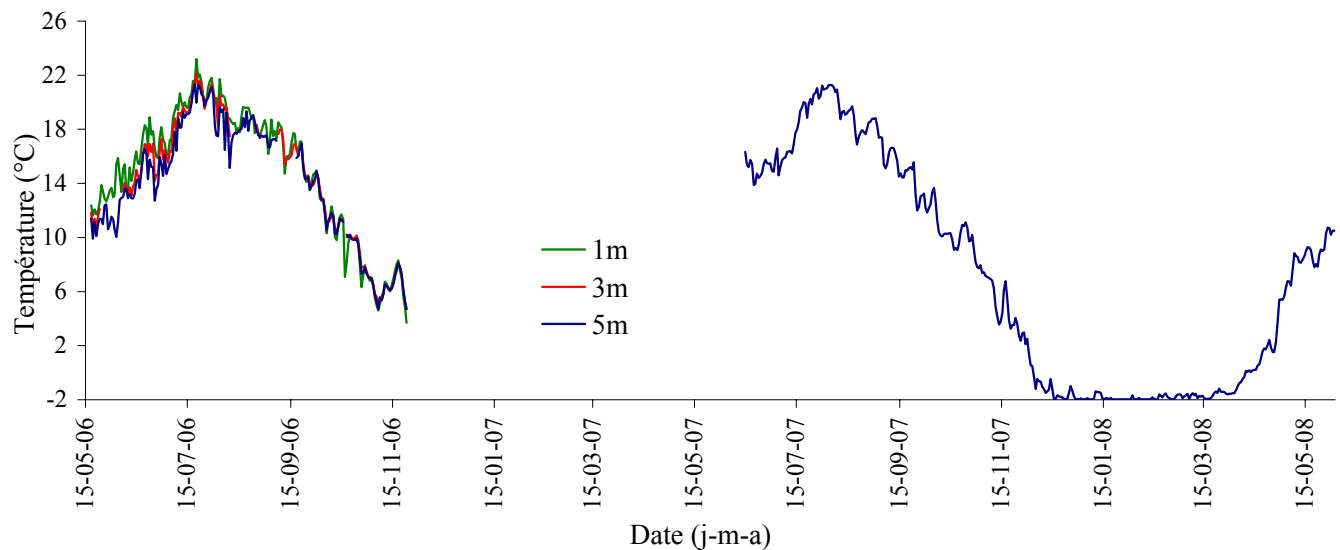


Figure 3. Températures enregistrées dans la lagune du Havre aux Maisons en 2006 et 2007 à des profondeurs de 1, 3 et 5 mètres.

L'inventaire complet d'août 2006 a révélé une nouvelle augmentation des densités d'étoiles de mer dans presque toute la lagune atteignant une densité moyenne de 0,3 étoile/m² (figure 4c et annexe 2, figure 3a). Une densité atteignant 1 étoile/m² a été estimée en plongée au centre de la lagune dans le site conchylicole. Une augmentation des densités a également été notée à proximité des sites d'élevage de myes (0,5 étoile/m²), dans le secteur sud-ouest. Toutefois, l'augmentation dans ce secteur a semblé particulièrement attribuable aux étoiles de mer inférieures à 2 cm composant 65 % de la population.

Finalement, la densité des étoiles de mer a diminué en octobre et en novembre 2006 pour atteindre 0,2 étoile/m² (figure 4d et annexe 2, figure 4a). Une concentration moyenne d'environ 0,5 étoile/m² s'est toutefois maintenue dans le secteur central dans le site conchylicole. En général, les densités sur les autres traits ont varié de 0,02 à 0,2 étoile/m² sauf pour le trait 2, dans le secteur sud-ouest et pour les traits 13 et 25, dans le secteur nord-est. La proportion des étoiles de mer de tailles inférieures à 2 cm de rayon a été estimée à cette période à 20 %.

De mai à août 2006, les étoiles de mer inventoriées sur les traits mesuraient en moyenne entre 2,5 et 2,9 cm de rayon (figures 5a,b,c et annexe 2, figure 1b à 3b). Les plus grandes étoiles ont été observées dans le secteur centre, sous les filières conchylicoles (atteignant 4,6 cm) et dans le secteur nord-est (atteignant 6,2 cm). Les étoiles de mer observées en octobre et en novembre mesuraient en moyenne 4,0 cm de rayon, mais pouvant atteindre 6,6 cm dans le secteur conchylicole central et 5,6 cm dans le secteur nord-est.

Les données d'inventaires de 2006, excluant les données de plongée sous les filières du site conchylicole dans le secteur central, n'ont pas révélé de relation entre la densité des étoiles de mer et la profondeur de la lagune pour chaque séquence vidéo, ni entre la taille des étoiles de mer et la profondeur (figure 6). Toutefois, les densités les plus élevées ont surtout été notées à des profondeurs entre 1,5 et 3,5 m. Les densités d'étoiles de mer tendent également à être en relation avec la présence de zostère. Les plus fortes densités d'étoiles de mer (entre 0,6 et 0,8/m²) ont été notées dans des secteurs

où les taux de recouvrement de la zostère étaient supérieurs à 60 % (figure 7a). Toutefois, ces concentrations de zostère ne semblent pas être uniquement occupées par des recrues, mais également par des étoiles matures (figure 7b). Quelques observations sur la dynamique de la zostère ont également pu être récoltées lors des inventaires (annexe 3). En début de saison, les jeunes pousses ont été dominantes bien que des tiges adultes, de 5 à 30 cm, ont été notées dans certaines zones. En août et en octobre, des frondes matures (tiges de taille supérieure à 30 cm) couvraient une bonne partie du fond de la lagune. Des débris de zostère ont été notés dès le mois d'août. L'abondance de ces débris s'est avérée équivalente entre août et octobre, mais les principales concentrations ont été notées à des secteurs différents.

Les inventaires de juillet 2007 dirigés dans les secteurs à concentration d'étoiles de mer de 2006, mis à part le secteur central sous le site conchylicole, ont révélé des densités moyennes de 0,6/m². Les étoiles de mer étaient représentées à 73 % par des recrues (figure 8a). Les données récoltées en septembre/octobre ont validé les estimations de juillet (figure 8b). Toutefois, les densités d'étoiles de mer recrues ont atteint jusqu'à 4,2 /m², sur le trait 4. Les densités estimées en plongée dans le secteur central sous le site conchylicole ont aussi été importantes, atteignant jusqu'à 3,5 étoiles/m². Les étoiles répertoriées étaient en général de petite taille (figure 9). En juillet, les étoiles de mer mesuraient en moyenne 1,8 cm de rayon, 2,2 cm en septembre et 2,9 cm sous les structures conchylicoles, en octobre.

3.2 Cycle de reproduction des étoiles de mer et monitoring

3.2.1. Suivi de la ponte

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

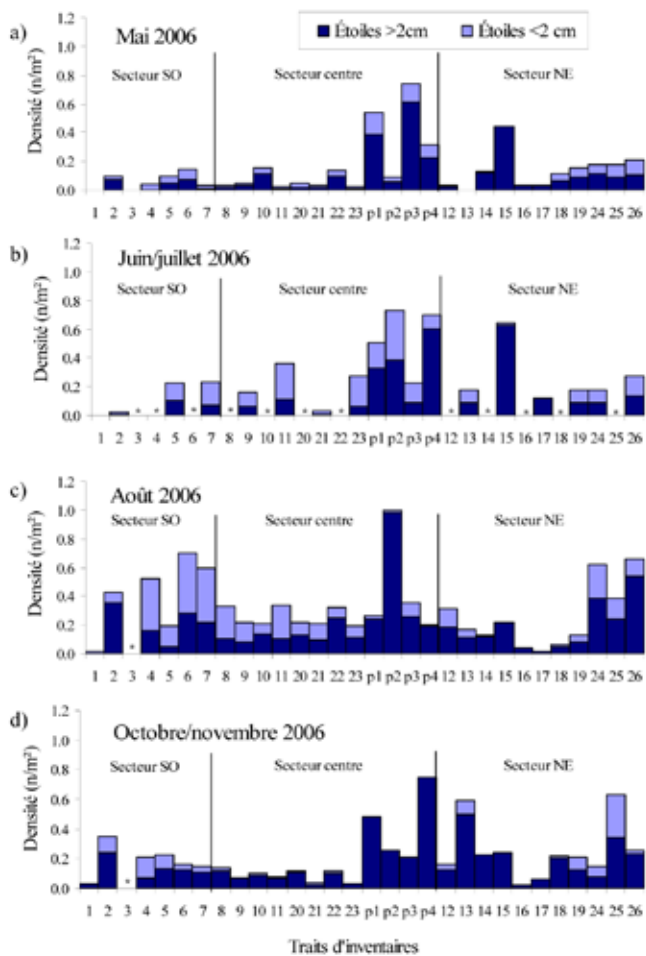


Figure 4. Densités moyennes des étoiles de mer (<math>< 2\text{ cm}</math> et $> 2\text{ cm}$ de rayon) estimées sur les traits d'inventaires réalisés au traîneau (1 à 26) et en plongée (p1 à p4), dans la lagune du Havre aux Maisons en mai (a), juin/juillet (b), août (c) et octobre/novembre (d), 2006. Le symbole * signifie l'absence de donnée.

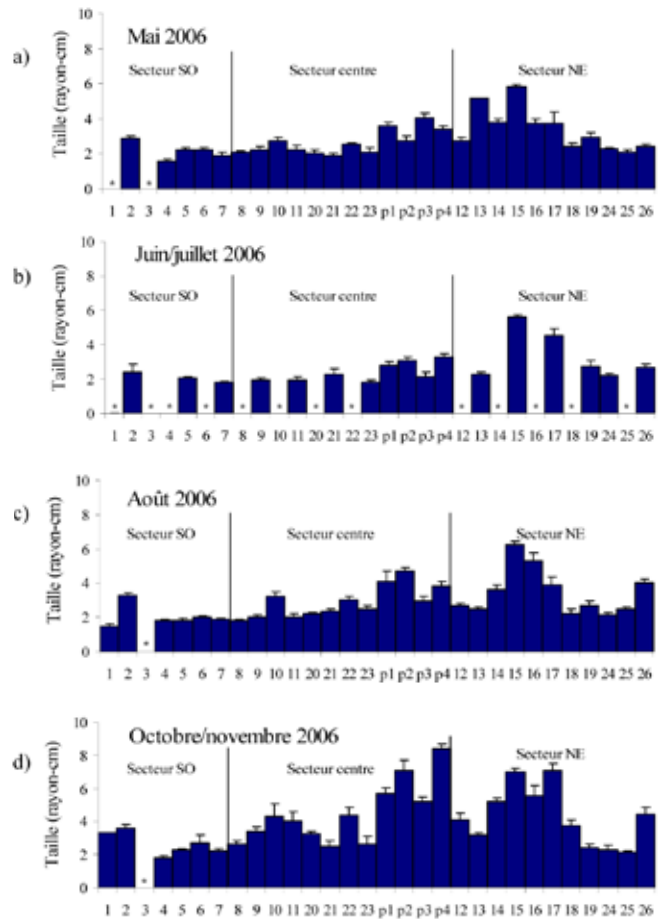


Figure 5. Tailles moyennes (\pm erreur type) des étoiles de mer estimées sur les traits d'inventaires réalisés au traîneau (1 à 26) et en plongée (p1 à p4) dans la lagune du Havre aux Maisons en mai (a), juin/juillet (b), août (c) et octobre/novembre (d), 2006. Le symbole * signifie l'absence de donnée.

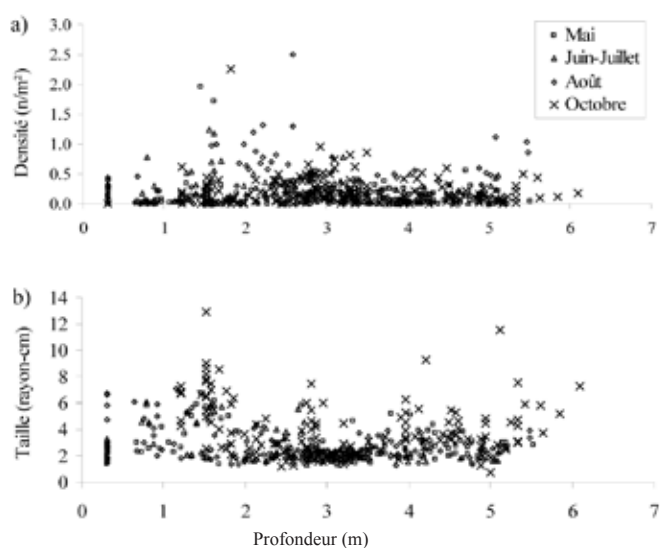


Figure 6. Densités (a) et taille moyennes (b) des étoiles de mer pour chaque séquence vidéo en fonction de la profondeur de la lagune du Havre aux Maisons en 2006.

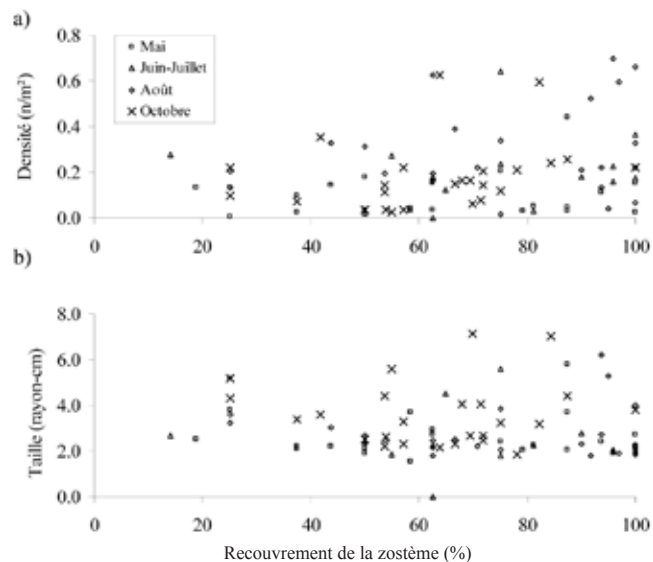


Figure 7. Densité (a) et taille moyennes (b) des étoiles de mer sur les traits inventoriés en fonction du taux de recouvrement de la zostère dans la lagune du Havre aux Maisons en 2006.

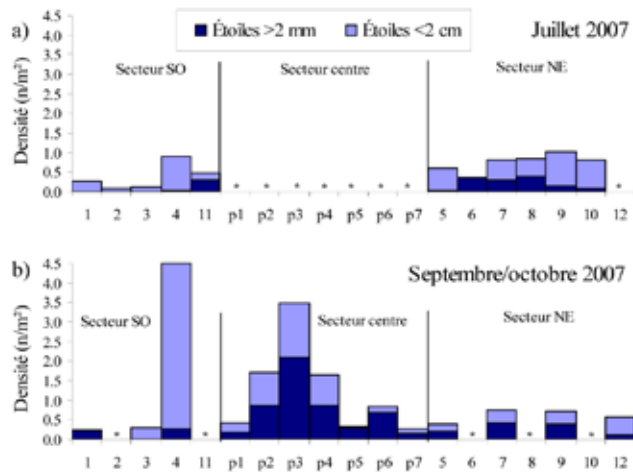


Figure 8. Densités moyennes des étoiles de mer estimées sur les traits d'inventaires réalisés au traîneau (1 à 12) et en plongée (p1 à p7) dans la lagune du Havre aux Maisons en juillet (a) et en septembre/octobre (b) 2007. Le symbole * signifie l'absence de donnée.

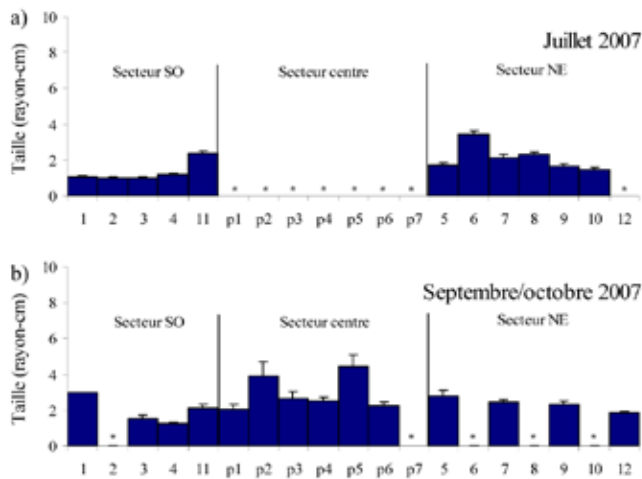


Figure 9. Tailles moyennes (\pm erreur type) des étoiles de mer estimées sur les traits d'inventaires réalisés au traîneau (1 à 12) et en plongée (p1 à p7) dans la lagune du Havre aux Maisons en juillet (a) et en septembre/octobre (b) 2007. Le symbole * signifie l'absence de donnée.

partielle le 21 juin suivie d'une ponte complète entre le 4 juillet et le 1^{er} août. Ainsi, pour les deux années suivies, la ponte s'est étendue sur un mois et s'est terminée avant le début d'août.

3.2.2. Suivi larvaire

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

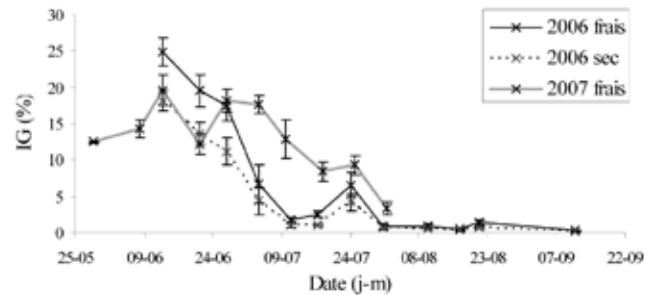


Figure 10. Indices gonadiques (%) des étoiles de mer échantillonnées dans la lagune du Havre aux Maisons en 2006 et en 2007.

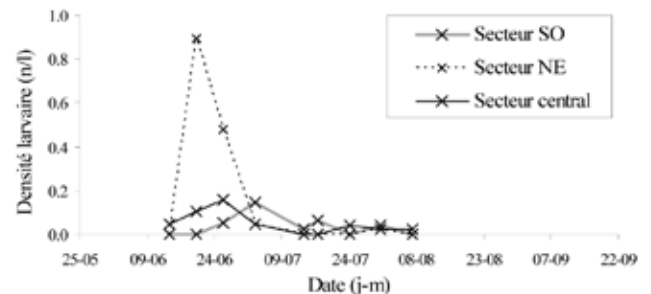


Figure 11. Densités larvaires estimées dans trois secteurs de la lagune du Havre aux Maisons en 2007.

3.2.3. Suivi de captage

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

En 2007, les collecteurs cumulatifs immergés dans le secteur sud-ouest ont capté jusqu'à 38 étoiles/m, entre le 4 juin et le 28 août (figure 12a). Les étoiles de mer mesuraient alors 3,2 mm de rayon. Les densités ont diminué de façon importante en octobre pour atteindre 4 étoiles/m, lesquelles mesuraient en moyenne 12,9 mm de rayon. Les collecteurs immergés dans le secteur centre près du site conchylicole ont pour leur part capté peu d'étoiles de mer entre juin et août (figure 12b). Toutefois, un grand nombre d'étoiles a été observé sur les collecteurs relevés à l'automne (57,3 ind./m). Ces étoiles de mer atteignaient déjà en moyenne 17,7 mm de rayon, démontrant qu'elles n'étaient pas issues d'un récent captage.

3.3 Évaluation du contrôle des étoiles de mer

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

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

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

les filières suite à la récolte avec une efficacité qui s'est accrue au fil des essais.

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

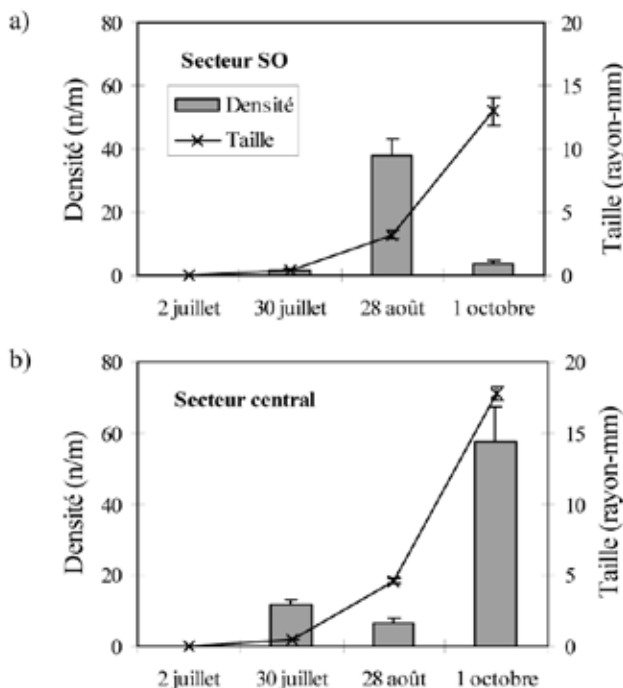


Figure 12. Densité et taille des étoiles de mer présentes sur les collecteurs cumulatifs dans les secteurs SO (a) et central (b) de la lagune du Havre aux Maisons en 2007.

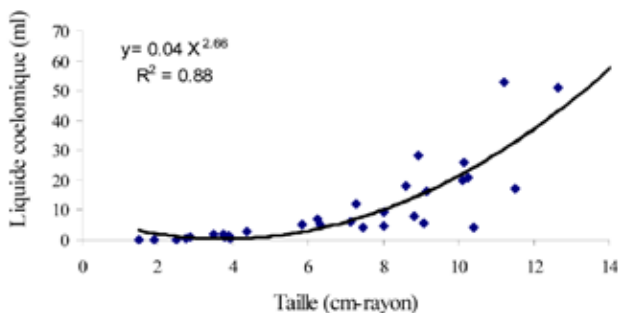


Figure 13. Relation entre la taille des étoiles de mer récoltées dans la lagune du Havre aux Maisons en 2006 et le volume de liquide coelomique.

4. Discussion

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

La plupart des étoiles de mer présentes dans la lagune du Havre aux Maisons semblent issues d'une hybridation entre les espèces *A. rubens* et *A. forbesi*. Toutefois, seule une analyse de l'ADN permettrait de confirmer cette hypothèse, d'autant plus que la présence de l'étoile de mer *A. forbesi* ou de spécimen hybride entre les deux espèces n'a pas encore été signalée au nord de l'île du Prince-Édouard (Harper, F. Rollins College (FL) et Harrys, L. Université du New Hampshire (NH), comm. pers.). Il semble que les deux espèces d'étoiles de mer, *A. rubens* et *A. forbesi*, peuvent très bien cohabiter (Balch et Scheibling, 2000; Menge, 1979). Les cas de prédation interspécifique sont rarement rapportés et seulement lorsque la nourriture se fait rare (Menge, 1979). De plus, en terme d'impact, l'activité prédatrice des deux espèces est généralement reconnue pour être équivalente (Menge, 1979). Franz *et al.* (1981) rapportent toutefois que *A. rubens* aurait un avantage sur *A. forbesi* en raison de sa plus grande résistance aux basses températures. Il semble que les rôles soient inversés en température plus chaude (Harper, F., Rollins College (FL), comm. pers.).

En 2006, les densités d'étoiles de mer dans la lagune sont apparues plutôt faibles (0,18 ind./m²) avec des tailles dépassant rarement 4 cm de rayon. Les inventaires de 2007, dirigés dans les secteurs à fortes concentrations de 2006, ont révélé quant à eux des valeurs de densité pouvant atteindre plus de deux fois celles de 2006. Cette augmentation a été associée en bonne partie à l'abondance des étoiles de mer inférieures à 2 cm de rayon, révélant le succès du recrutement de l'année.

La distribution des étoiles de mer dans la lagune, autant du point de vue des densités que des tailles, ne semble pas liée à la profondeur. L'hypothèse proposant un déplacement des étoiles de mer vers les zones plus profondes entre août et octobre, à la recherche d'eaux plus froides, ne peut être retenue puisqu'aucun déplacement important en lien avec la profondeur n'a été observé au cours de la saison. De plus, le faible écart entre les températures enregistrées à diverses profondeurs ne justifierait en rien ce déplacement. Selon la littérature, les déplacements de populations d'étoiles de mer seraient surtout observés dans les zones côtières. Ces populations migreraient dans les eaux profondes pour se protéger des tempêtes ou à la recherche de nourriture (Menge, 1979). Ces migrations peuvent cependant être compromises selon la disponibilité en nourriture, laquelle a pour effet de maintenir les populations en place (Galtsoff et Loosanoff, 1939). Les inventaires de 2006 dans la lagune du Havre aux Maisons ont révélé que les concentrations d'étoiles de mer étaient relativement stables et plutôt en relation avec les emplacements des sites conchylicoles et de la zostère. La présence de populations permanentes d'étoiles de mer sous les filières d'élevage est d'ailleurs courante en mytiliculture. Inglis et Gust (2003) rapportent des densités d'étoiles de mer jusqu'à 39 fois plus élevées sous les filières d'élevage de moules (*Perna canaliculus*) de la Nouvelle-Zélande en comparaison avec des sites témoins sans élevage. Quant à la présence des étoiles dans les herbiers à zostères, elle peut s'expliquer de deux façons. D'abord, les herbiers permettent de consolider le sol grâce à leur système racinaire et ainsi procurent un substrat dur recherché par les étoiles. Les herbiers à zostères constituent également de bonnes pouponnières et des concentrations importantes de très petites étoiles de mer y sont régulièrement rapportées. D'ailleurs, un tel site a été observé durant plusieurs années dans la lagune du Havre aux Maisons entre l'Île Rouge et l'Île Paquette (secteur sud-ouest) vers le mois d'août (Fournier, M., Moules de Culture des Îles, comm. pers.) et encore récemment, lors d'un trait d'inventaire (trait 4) réalisé en 2007 dans le chenal près de l'Île Rouge, densément occupé par de la zostère morte.

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

4.2 Reproduction et monitoring

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

des étoiles de mer. Puisque le stade larvaire des étoiles de mer *Asterias* sp. peut s'étaler de trois à six semaines après la ponte (Loosanoff, 1964; MacKinnon *et al.*, 1992-93; Pryor et Parsons, 1999; Pryor *et al.*, 1999), il est plausible d'observer les premières fixations d'étoiles de mer sur les collecteurs cumulatifs à la fin de juillet 2007. Le captage s'est poursuivi en août, mais les données sur la taille moyenne des étoiles de mer captées laissent présumer que la fixation se serait principalement produite au début du mois. L'utilisation des collecteurs en rotation a été décevante. Très peu d'étoiles de mer s'y sont fixées ce qui n'a pas permis de déterminer avec précision la période maximale de captage pour les deux années d'étude.

Le peu de succès à échantillonner les larves d'étoiles dans le milieu en 2006 semble avoir été corrigé par l'augmentation du nombre de stations de pompage. Le nombre de larves détectées (0,9 étoile/L) a toutefois été largement inférieur à celui obtenu lors d'un suivi d'étoiles de mer dans le bassin du Havre-Aubert, aux Îles-de-la-Madeleine, avec un pic de 2,5 étoiles/L au début du mois de juillet (Bourque et Myrand, 2008). Il semble donc que cette approche soit moins appropriée pour les conditions de la lagune du Havre aux Maisons. Pryor et Parsons (1999) ont d'ailleurs observé, sur leurs deux sites d'étude à Terre-Neuve, un plus grand nombre de larves d'étoiles dans les échantillons récoltés lors des marées montantes et dans les secteurs de forts courants. Dans la lagune du Havre aux Maisons, il semble que les principaux facteurs qui gouvernent la circulation de l'eau soient les marées, les vents et les dénivellations du niveau de l'eau dans le golfe du Saint-Laurent à l'extérieur des lagunes (Koutitonsky et Booth, 1996). Un suivi larvaire réalisé à une période fixe du cycle des marées complique toutefois le suivi larvaire, déjà considéré comme une procédure coûteuse, sans pour autant rapporter des résultats satisfaisants étant donné l'importance des vents dans le système. Aussi, rappelons que les données larvaires ne permettent pas de déterminer l'importance de la fixation par la suite (MacKinnon *et al.*, 1992-93).

Dans un contexte de monitoring, le suivi de la ponte et le suivi du captage cumulatif semblent donc être les outils les plus performants. La prudence s'impose cependant, car le stade de maturité des gonades peut varier selon le site de récolte (Bourgeois, observ. pers.) et le sexe des étoiles (Franz *et al.*, 1981). Les deux espèces d'étoiles de mer *Asterias* sp. présentes dans la lagune du Havre aux Maisons sont également décrites comme ayant des périodes de pontes distinctes sur la côte est des États-Unis : juin pour *A. rubens*; juillet et août pour *A. forbesi* (Menge, 1986). Le développement des gonades est aussi grandement affecté par la disponibilité en nourriture. Par exemple, les étoiles de mer présentes dans les secteurs où la densité de moules est élevée développeront des gonades plus grosses que les étoiles de mer présentes dans les secteurs moins denses (Menge, 1986).

Les suivis de ponte doivent donc être dirigés sur des étoiles de mer provenant d'un même secteur, lequel aura été désigné en fonction des concentrations d'étoiles supérieures à 4 cm, donc âgées de plus d'un an et considérées matures (Galtsoff et Loosanoff, 1939; MacKinnon *et al.*, 1992-93). Aussi, l'identification d'un mode d'approvisionnement en étoiles de mer moins coûteux qu'en plongée, soit via une drague faubert, une récolte manuelle sur les filières lors des opérations commerciales ou par le calage périodique de boudins de moules dédiés au captage devra être faite.

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

4.3 Contrôle des étoiles de mer

Les essais de contrôle des étoiles de mer en plongée ont démontré la faisabilité de l'approche, l'efficacité de la méthode employée et ont permis d'amasser des premières informations sur les coûts de l'opération. La récolte des étoiles de mer en plongée a été facilitée par les concentrations présentes sous les filières mytilicoles. L'opération demeure néanmoins coûteuse. Toutefois, la réduction du nombre de remontées par l'utilisation de bouées pour remonter les sacs de récolte, telle que pratiquée lors de la pêche aux oursins en plongée, devrait permettre d'optimiser les opérations et ainsi réduire les coûts de récolte. D'autres méthodes de contrôle peuvent également être envisagées (Barkhouse *et al.*, 2007; Galtsoff et Loosanoff, 1939; Loosanoff, 1964), mais la présence des filières rend difficile l'utilisation de la drague faubert ou de casiers. De plus, ces engins sont plus ou moins efficaces et, dans le cas de la drague faubert, risquent d'abîmer les étoiles de mer pour une utilisation ultérieure, par exemple la récolte du liquide coelomique.

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

Les inventaires ont révélé que les étoiles de mer présentes dans la lagune en 2006 et en 2007 étaient en général de petite taille. Il faudrait donc se questionner sur l'intérêt des biotechnologies pour ces étoiles possédant un faible volume de liquide coelomique. Les données d'inventaire au traîneau de 2006 ont permis d'estimer une densité de 0,04 étoile/m² de taille supérieure à 4 cm de rayon, soit 700 000 étoiles de mer pour la surface couverte lors des inventaires (17,5 km²). Pour les étoiles de mer supérieures à 6 cm de rayon, une densité de 0,02 étoile/m², soit 35 000 étoiles de mer est estimée. En tenant compte uniquement des étoiles de mer concentrées sous les filières d'élevage, une récolte de 800 000 étoiles de taille supérieure à 4 cm ou de 350 000 étoiles de taille supérieure à 6 cm peut être estimée. Ces concentrations varient cependant avec l'abondance de nourriture sous les filières et le cycle de récolte des mytiliculteurs. Finalement, il faut considérer que la capacité de renouvellement de la ressource, dans un contexte d'approvisionnement régulier des entreprises de biotechnologie de même que les revenus potentiels sont encore des variables inconnues.

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

5. Conclusion

L'étude a permis de déterminer les zones de concentrations d'étoiles de mer dans la lagune du Havre aux Maisons, lesquelles se maintiennent surtout dans le secteur centre, correspondant aux sites conchylicoles, et dans le secteur du nord-est, en lien avec un herbier à zostère. La population est dominée par des individus de petite taille et appartenant à une forme hybride entre *A. rubens* et *A. forbesi*. En 2006 et 2007, le cycle de reproduction des étoiles de mer s'est caractérisé par une ponte débutant en juin et se terminant avant le début août. La fixation des larves a débuté au cours du mois de juillet, soit environ un mois après le début de la ponte, avec un pic observé en août. Afin d'informer les producteurs de la période optimale de mise à l'eau des structures pour éviter les étoiles de mer, l'utilisation de collecteurs cumulatifs représente la méthode la plus fiable.

Les renseignements recueillis lors des essais de contrôle des étoiles de mer en plongée ont démontré le potentiel de cette approche, qui reste à être optimisée pour en réduire les coûts. Une récolte des géniteurs avant la ponte permettrait de limiter le recrutement et récupérer les plus gros spécimens. L'avenue des biotechnologies pour l'utilisation des étoiles de mer, en tout ou en partie (liquide coelomique), n'est pas encore confirmée.

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

6. Recommandations

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

- Suivi de la ponte : la période de ponte correspond bien avec la période larvaire. La mesure de l'indice gonadique à l'état frais est simple, mais la récolte des étoiles de mer en plongée est coûteuse. Cet outil prédictif pourrait être très intéressant, moyennant une baisse importante des coûts d'approvisionnement en étoiles de mer.
- Suivi larvaire : ce suivi s'est avéré plus complexe que prévu, irrégulier et coûteux. De plus, cette approche n'est pas prédictive de l'intensité de la fixation et constitue uniquement un indicateur de présence/absence.

- Le pic de fixation : les collecteurs mis en rotation devaient nous permettre de mesurer cette variable. Ils se sont toutefois avérés peu performants pour le captage des étoiles de mer malgré l'abondance du recrutement de l'été 2007.
- Le maximum de fixation : les collecteurs cumulatifs ont démontré des données de densités de captage variables entre les deux sites suivis. Toutefois, les données de tailles se sont avérées cohérentes et ont permis de détecter la fin de la fixation. La méthode est simple, mais le pas d'échantillonnage aurait avantage à être resserré dans la période critique de juillet. Des précautions particulières sont également à prendre pour éviter la perte des étoiles de mer qui peut survenir lors de la récupération des collecteurs.

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

7. Remerciements

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

8. Références

Balch, T., Scheibling, R. 2000. Temporal and spatial variability in settlement and recruitment of echinoderms in kelp beds and barrens in Nova Scotia. *Marine Ecology Progress Series* 205, 139-154.

Barkhouse, C., Niles, M. M., Davidson, L.A. 2007. Étude bibliographique des moyens de lutte contre les étoiles de mer dans les cultures de mollusques sur le fond et en suspension. Rapport canadien à l'industrie sur les sciences halieutiques et aquatiques. MPO. 279, 39 p.

Bourque, F., Myrand, B. 2006. Étude descriptive du dégrappage en milieu lagunaire aux Îles-de-la-Madeleine. Les publications de la DIT, MAPAQ. Rapport de R-D n° 152, 9 p.

Bourque, F., Myrand, B. 2008. Traitement des collecteurs de moules à la saumure pour contrer la prédation par les étoiles de mer. Les publications de la DIT, MAPAQ. Rapport de R-D n° 160, 20 p.

Brunel, P., L. Bossé, G. Lamarche. 1998. Catalogue des invertébrés marins de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Conseil national de recherches du Canada. Publications spéciales canadiennes des sciences halieutiques et aquatiques 126, 405 p.

Dare, P. J. 1982. Notes on the swarming behaviour and population density of *Asterias rubens* L. (Echinodermata : *Asteroidea*) feeding on the mussel, *Mytilus edulis* L. *Journal du conseil International de l'exploration de la mer*. 40, 112-118.

Franz, D. R., Worley, E. K., Merrill, A. S. 1981. Distribution patterns of common seastars of the middle Atlantic continental shelf of the northwest Atlantic (Gulf of Maine to Cape Hatteras). *The Biological Bulletin*. 160, 394-418.

Galtsoff, P. S., Loosanoff, V. L. 1939. Natural history and method of controlling the starfish (*Asterias forbesi*, Desor). *Bulletin of the United States bureau of fisheries*. 31, 75-132.

Gouvernement de l'Île du Prince Édouard. Site Internet consulté le 4 juin 2008, <http://www.gov.pe.ca/af/agweb/fisheries/index.php3>

Harper, F. M., Hart, M. W. 2005. Gamete compatibility and sperm competition affect paternity and hybridization between sympatric *Asterias* Sea stars. *The Biological Bulletin*. 209, 113-126.

Ifremer. Surveillance. Site Internet consulté le 4 juin 2008, <http://www.ifremer.fr/envlit/surveillance/index.htm>

Inglis, G. J., Gust, N. 2003. Potential indirect effects of shellfish culture on the reproductive success of benthic predators. *Journal of Applied Ecology*. 40, 1077-1089.

Koutitonsky, V., Booth, D. A. 1996. Modélisation numérique des courants de marée dans les lagunes le Bassin, Havre-aux-Maisons, et Grande-Entrée aux Îles-de-la-Madeleine, Golfe du St-Laurent. *INRS-Océanologie*. 16 p. + fig. et annexes.

Lachance, A.-A., Myrand, B., Tremblay, R., Koutitonsky, V., Carrington, E. sous presse. Biotic and abiotic factors influencing attachment strength of blue mussels (*Mytilus edulis*) in suspended culture. *Aquatic Biology*. 2, 119-129.

Loosanoff, V. L. 1964. Variations in time and intensity of setting of the starfish *Asterias forbesi* in Long Island Sound during a twenty-five-year period. *The Biological Bulletin*. 126, 423-439.

MacKinnon, M., C., Gallant, R., Gillis, B. 1992-92. Some observations on starfish predation on mussel spat collectors. Fisheries and Aquaculture Division, P.E.I. Department of Agriculture Fisheries and Forestry. 208, 28 pp.

Menge, B. A. 1979. Coexistence between the seastars *Asterias vulgaris* and *A. forbesi* in a heterogeneous environment: A non-equilibrium explanation. *Oecologia*. 41, 245-272.

Menge, B. A. 1986. A preliminary study of the reproductive ecology of the seastars *Asterias vulgaris* and *A. forbesi* in New England. *Bulletin of Marine Science*. 39, 467-476.

Pryor, M., Parsons, G. J. 1999. Larval distribution of blue mussel (*Mytilus edulis* and *M. trossulus*) and predatory starfish (*Asterias vulgaris*) during a 12-hour tidal cycle. *Bulletin Aquaculture Association Canada*. 99-4, 37-39.


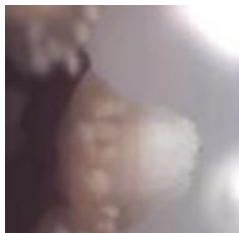
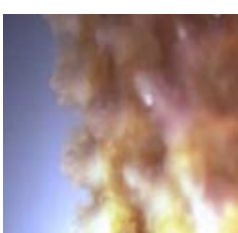
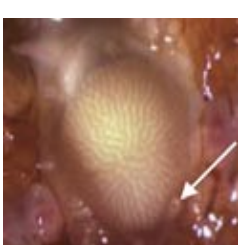
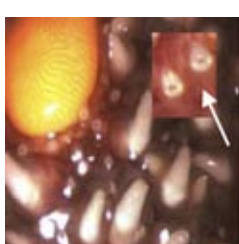
Pryor, M., Parsons, G. J., Couturier, C. 1999. Temporal distribution of larval and post-set blue mussel (*Mytilus edulis* and *M. trossulus*) and starfish (*Asterias vulgaris*) at mussel culture sites in Newfoundland. *Bulletin Aquaculture Association Canada*. 99-4, 40-42.

Annexe 1

Complément d'information sur les caractéristiques morphologiques des deux espèces d'étoiles de mer *Asterias rubens* et *A. forbesi*

Lors des inventaires réalisés en lagune, des étoiles de mer pouvant appartenir, soit à *Asterias rubens* ou à *A. forbesi*, ont été observées (Figure 1). Des formes hybrides sont également possibles et portent alors des caractéristiques de l'une ou l'autre des espèces (Figure 2). Divers critères morphologiques tirés des travaux de Bourget, 1997, Clark et Downey, 1992, Meinkoth, 1981, Gosner, 1979, Bousfield, 1960 et Miner, 1950 ont permis de distinguer les deux espèces (Tableaux 1 et 2). En général, *A. forbesi* se distingue de *A. rubens* par sa couleur grisâtre à noirâtre, sa texture rêche et sa plaque madréporite dans les teintes d'orangées. De plus, son corps est rigide, de par la formation de son squelette, ses bras effilés et cylindriques, avec des bouts arrondis. Le disque central est également plus défini. Les épines de *A. forbesi* sont également dispersées sur tout son corps et elle ne possède pas de ligne longitudinale d'épines au centre de ses bras comme *A. rubens*.

Tableau 1. Principaux critères d'identification des deux espèces d'étoiles de mer *Asterias rubens* et *A. forbesi*.

<i>Asterias rubens</i>			<i>Asterias forbesi</i>	
	1. Mou 2. Variable : orangé, violacé, rosacé 3. Larges, plats, effilés au bout, s'élargissent près du disque	1. CORPS 2. COULEUR 3. BRAS	1. Rigide 2. Variable : noirâtre, grisâtre, brunâtre, verdâtre 3. Cylindriques, bouts arrondis	
	Élancées et pointues Présence d'une rangée longitudinale d'épines sur les bras Séparées par des rangées de papules	ÉPINES ABACTINALES (présentes sur la surface aborale de l'étoile)	Petites, ressemblant à un tubercule Absence d'une rangée longitudinale d'épines sur les bras Dispersées uniformément	
	Insérées environ à la moitié supérieure des épines	DISPOSITION DES PÉDICELLAIRES AUTOUR DES ÉPINES	Insérées à la base des épines	
	Allongés et pointus	PÉDICELLAIRES	Petits, presque circulaires	
	Beige à jaunâtre	PLAQUE MADRÉPORITE	Différents tons d'orangés	

(Modifié de Clark et Downey (1992), photos de M. Bourgeois et S. Boudreau)

Tableau 2. Principales caractéristiques des deux espèces d'étoiles de mer

<i>Asterias forbesi</i> (Desor, 1848)	<i>Asterias rubens</i> (Coe, 1912)
Autres appellations : <i>Forbes' Common Sea Star</i> , <i>Common Star fish</i>	(Remplace <i>A. vulgaris</i> , Verrill 1866) Autres appellations : <i>Northern starfish</i> , <i>Purple sea star</i> , Astérie boréale commune, étoile de mer pourpre
Bras : cinq, époutés, plus épais, charnus, cylindriques, robustes	Bras : cinq, épais, moins fermes que <i>A. forbesi</i> et effilés aux extrémités, les bras sont plus plats et s'élargissent à leur jonction avec le disque
Épines : dispersées sur les bras, souvent sans patron d'arrangement, rarement en rangée	Épines : habituellement une rangée longitudinale d'épines plus rapprochées est présente sur le dessus des bras
Taille : 130 mm	Taille : 150 mm
Disque : taille modéré, parfois bombé	Disque : modérément large, forme souvent un dôme, pas clairement séparé des bras
Couleur : tan, brun, olive, parfois teint orangé, rouge, rose, violet, bronze, vert	Couleur : brun, jaunâtre, orange, mauve, rouge, jaune-orange, brun-olive, jaune, rose, tan, crème, grise, lavande bleuté, verdâtre, violet pâle, purpurin à brun, rose pâle, rouge vif
Corps : plus ferme que <i>A. vulgaris</i> , nombreuses plaques rapprochées et imbriquées pour former une mosaïque ferme sans patron régulier, chaque plaque porte une épine ordinairement époutée mais rugueuse au bout (<i>rough at the tips</i>) encerclée par plusieurs petits pédicellaires	Corps : très flexible, formé par un réseau de plaques minces ressemblant à des barreaux (bâtonnets) avec un large maillage qui confère un squelette plus mou et plus flasque au touché, l'absence de plaque marginale (ou paxille) sur les bras leur confère une texture plutôt molle
Papules : les zones où sont situées les papules est variable, mais habituellement pas large et avec environ cinq papules par zone	Papules : nombreuses dans les régions molles de l'étoile, des zones de papules se retrouvent de part et d'autre de la ligne longitudinale d'épines présente sur chaque bras
Pédicellaires : larges pédicellaires présents de façon éparpillée sur toute la surface de l'étoile, pédicellaires croisés supportés par un ossicule, les pinces sont environ deux fois plus longues que la base et sont plus large que chez <i>A. vulgaris</i> , les pédicellaires encerclent les épines environ à la base des épines	Pédicellaires : présence de pédicellaires droits (anglais : <i>straight</i> ou <i>pincerlike</i> , ressemble à une pince) ou croisés (<i>crossed scissorlike</i> ressemble à des ciseaux), les pinces des pédicellaires droits sont environ trois fois plus longues que la base et sont plus étroite que chez <i>A. forbesi</i> , ils sont situés environ à la moitié supérieure des épines
Tache oculaire : au bout de chaque bras, rouge, SANS appendice charnu ou pédoncule	Tache oculaire : au bout de chaque bras, rouge, SUR appendice charnu ou pédoncule
Larves : morphogénèse complexe, nutrition planctotrophique, habitat planctonique Ponte : juillet à août, > 15°C	Larves : morphogénèse complexe, nutrition planctotrophique, habitat planctonique Ponte : avril à juin, 6-15°C
Distribution géographique : au sud du Cape Cod, golfe du Maine au Texas, rare au nord du Massachusetts, golfe du Mexique jusqu'à la baie de Fundy, moins commune que <i>A. vulgaris</i> au nord du Cape Cod et plutôt rare dans l'est canadien	Distribution géographique : au nord du Cape Cod, estuaire moyen (sud), estuaire maritime (nord et sud), Haute-Côte-Nord, Gaspésie, Îles-de-la-Madeleine, côte du Labrador, N.B., N.É., I.P.E.
Habitat : roche, gravier, sable, de l'intertidal à environ à 50 m de profondeur	Habitat : fond sablonneux et rocheux de l'intertidal à 50 m de profondeur

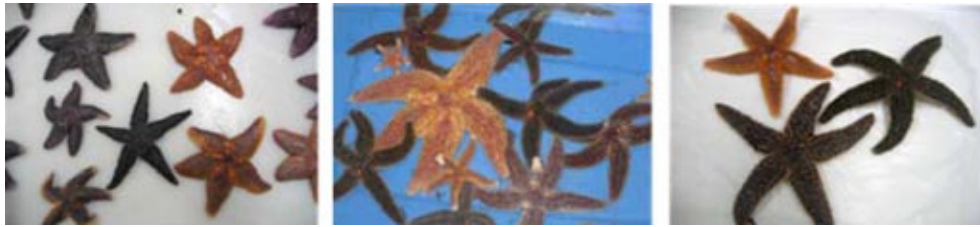


Figure 1. Quelques spécimens récupérés lors des inventaires de 2006 dans la lagune du Havre aux Maisons.



Figure 2. Comparaisons de la forme hybride des étoiles de mer *Asterias* sp. avec les espèces souches.

Références

1. Bourget, E. 1997. Les animaux du Saint-Laurent : Guide d'identification. Les Presses de l'Université Laval, Québec. 268 pp.
2. Bousfield, E. L. 1960. Canadian Atlantic Sea Shells. National museum of Canada, Ottawa. 89 pp.
3. Clark, A. M., M. E. Downey. 1992. Starfishes of the Atlantic. London, Chapman & Hall, Collection Chapman & Hall identification Guide, Natural history museum publication. 794 pp.
4. Gosner, K. L. 1979. A field guide to the Atlantic Seashore (From Bay of Fundy to Cape Hatteras). Houghton Mifflin Co., Boston. 329 pp.
5. Miner, R. W. 1950. Field book of seashore life. G.P. Putnam's sons, New York. 596 pp.
6. Meinkoth, N. A. 1981. The Audubon Society Field Guide to North American Seashore Creatures. A. A. Knopf, New York, 813 pp.

Annexe 2

Cartes représentant la distribution des étoiles de mer en fonction des densités (a) et de la taille moyenne (b) estimées par les inventaires de 2006 et 2007, dans la lagune du Havre aux Maisons.

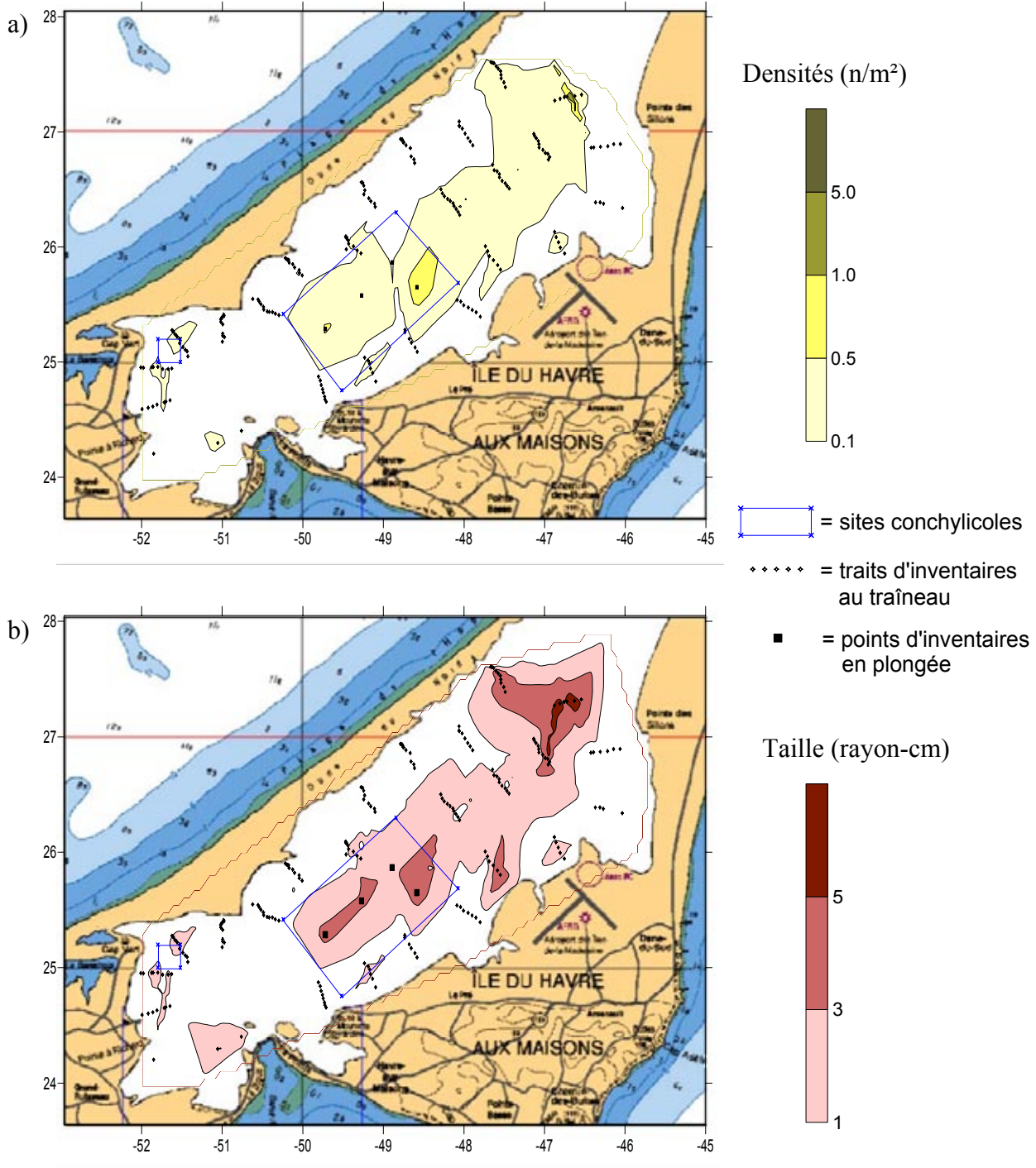
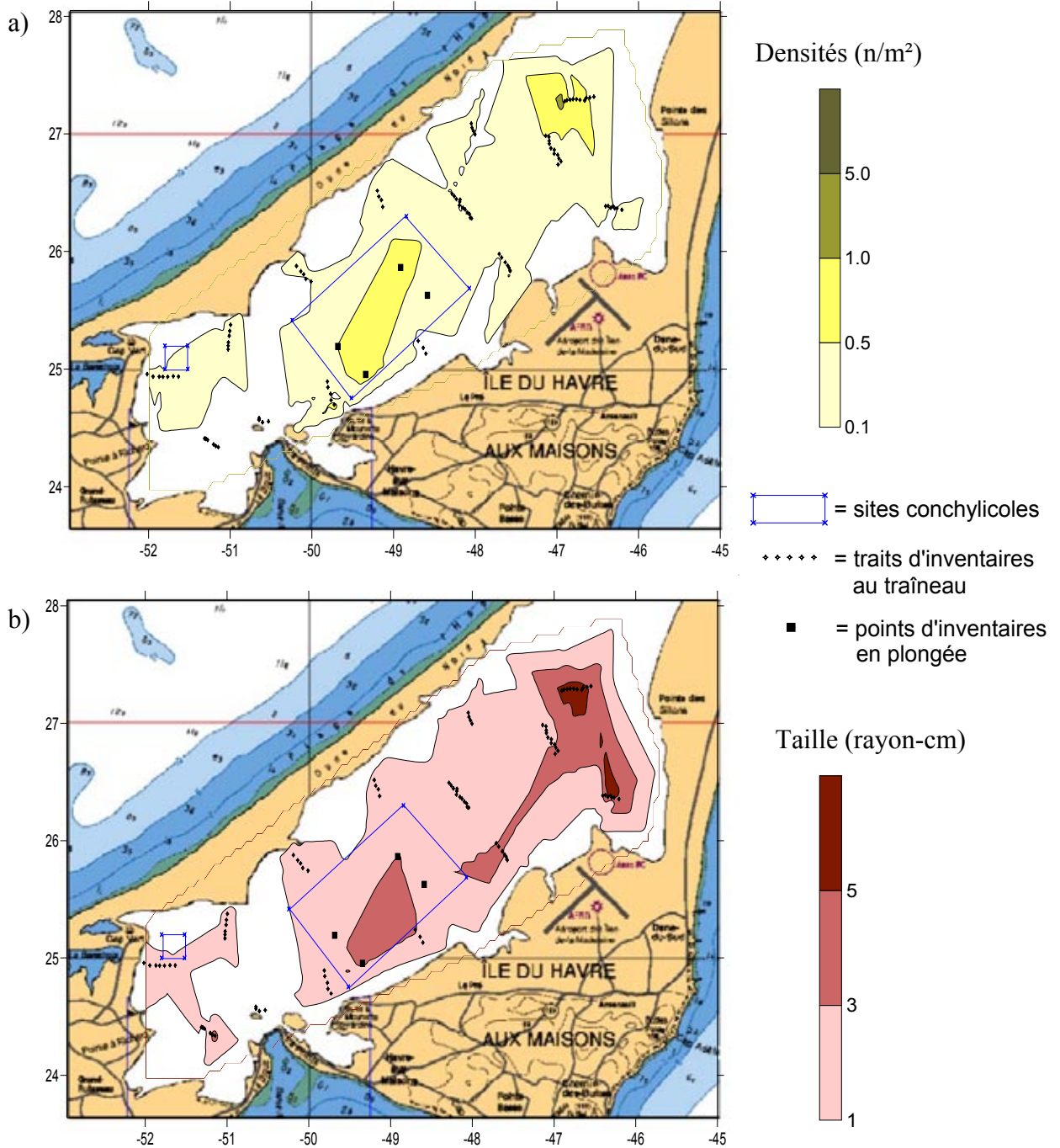
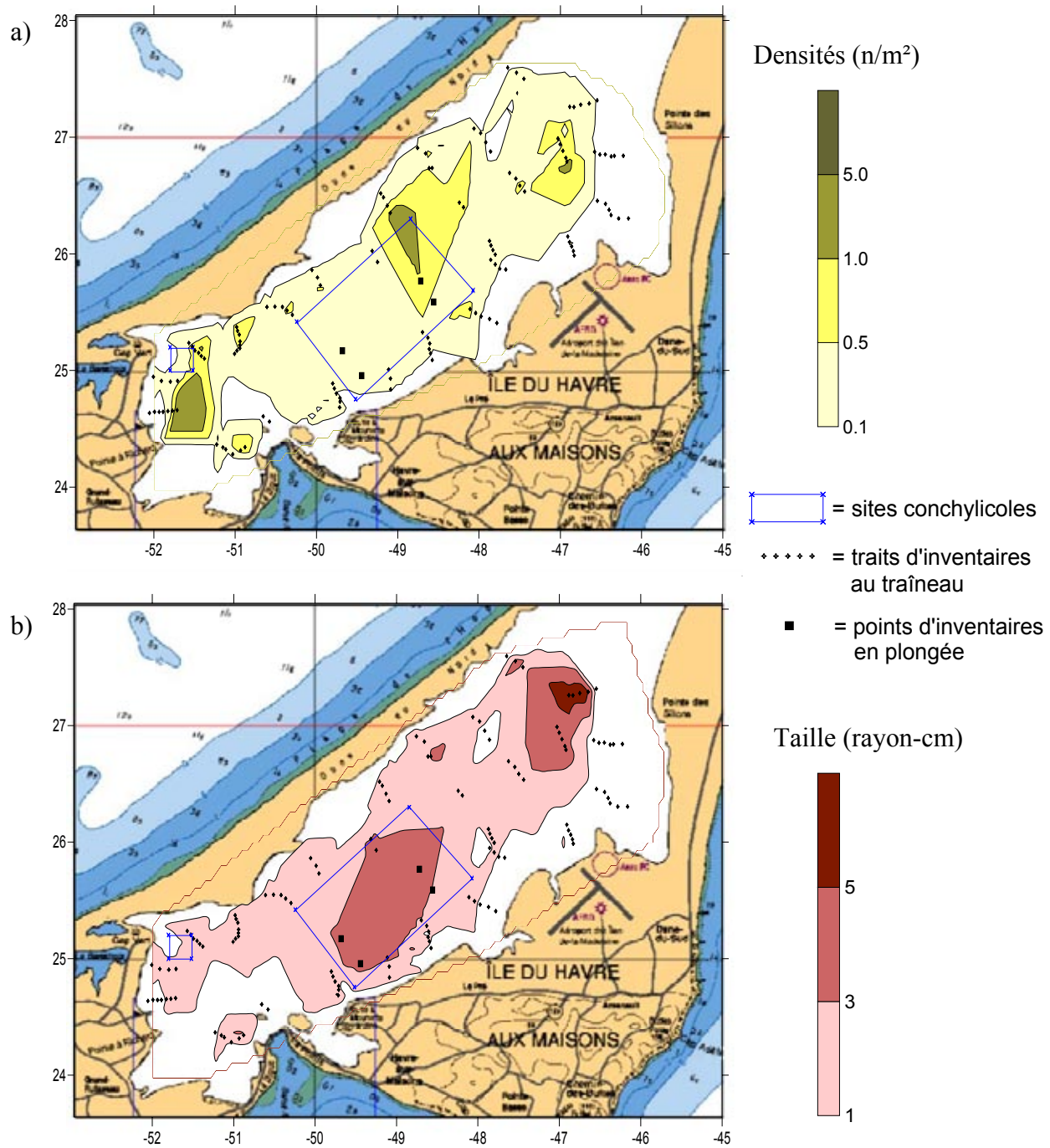
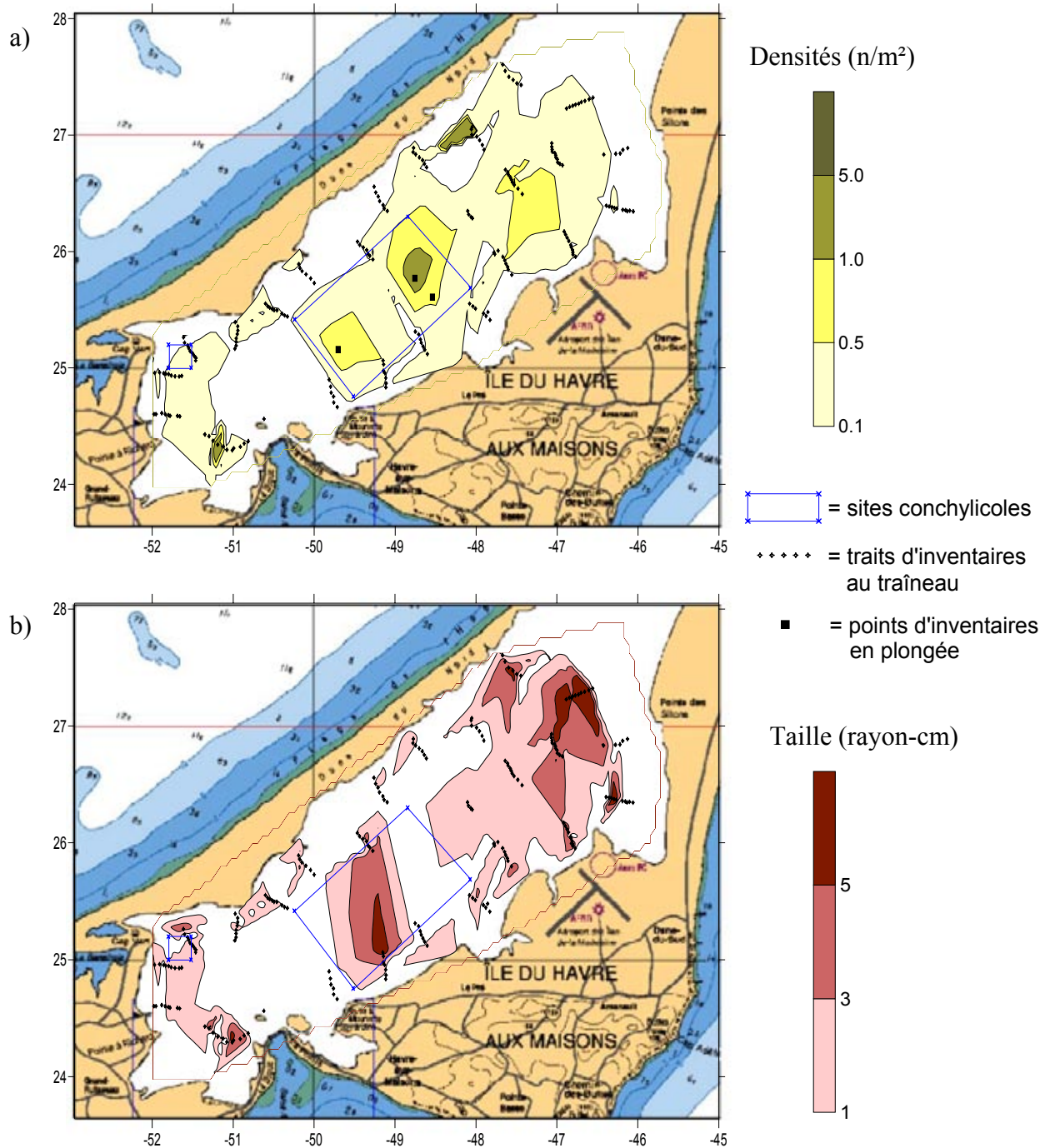


Figure 1. Inventaire de mai 2006.







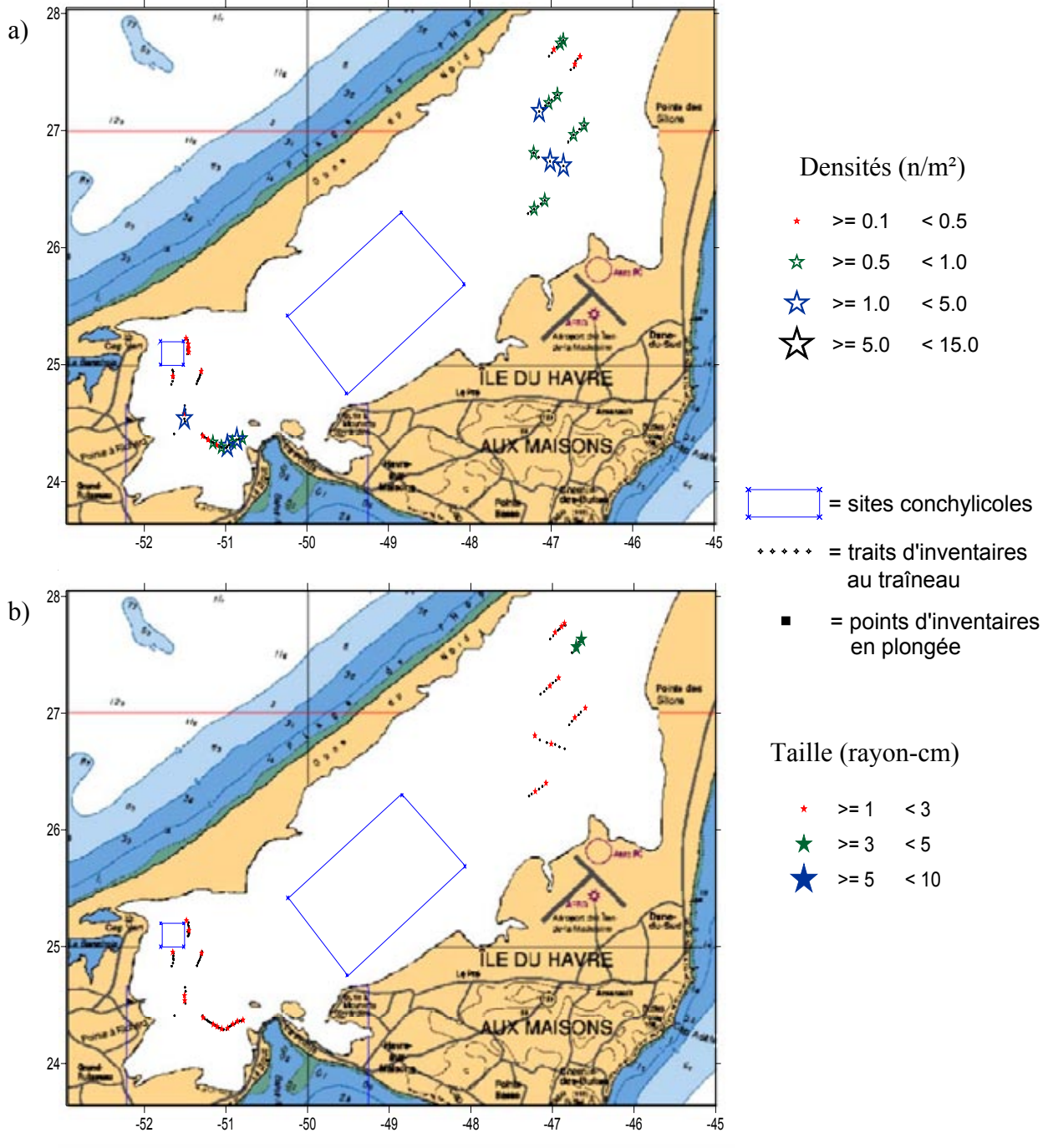


Figure 5. Inventaire de juillet 2007.

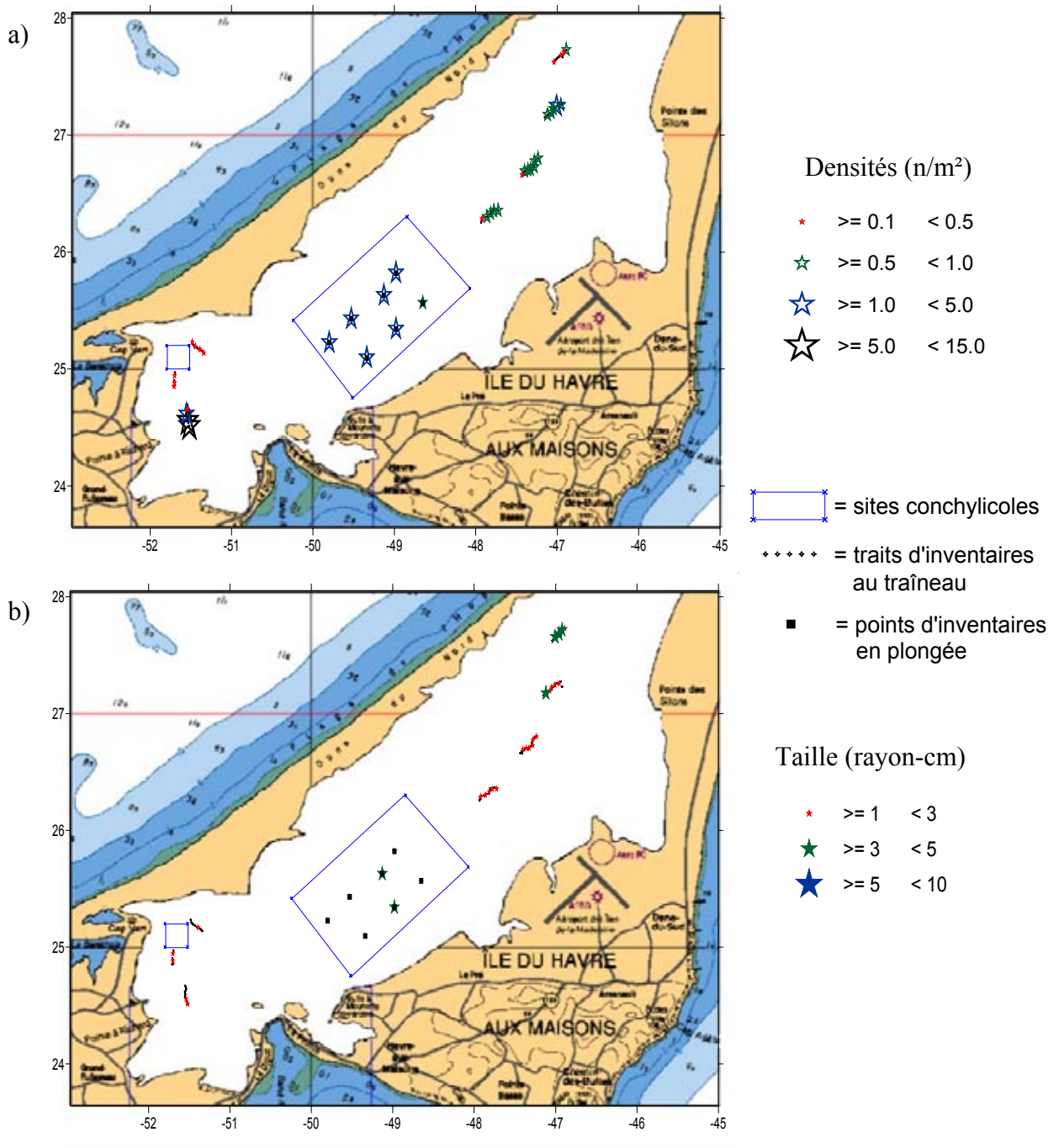


Figure 6. Inventaire d'octobre 2007.

Annexe 3

Brève description des particularités et du cycle biologique de la zostère marine (*Zostera marina*)

Les herbiers de zostère marine *Zostera marina* (L.) constituent des écosystèmes marins de grande importance pour différentes espèces. Formant des habitats hétérogènes, ils peuvent servir d'abris, de garde-manger et de pouponnières pour la faune épiphyte, benthique, suprabenthique et ichthyenne. Grant et Provencher (2007) ont observé la présence de 99 taxons et de nombreux spécimens au stade juvénile dans l'herbier de *Z. marina* de la péninsule de Manicouagan.

La zostère marine est retrouvée dans l'hémisphère nord. Cette plante est présente dans les estuaires, les lagunes et les baies peu profondes. Elle est, entre autres, répertoriée autour de l'archipel des Îles-de-la-Madeleine ainsi qu'à l'intérieur de ses lagunes (CREGÎM, 2004). Il s'agit d'une plante peu robuste qui colonise des milieux de faibles courants et de faibles profondeurs (moins de 2 mètres), tels que les estuaires, les lagunes et les baies peu profondes. Elle nécessite un substrat sableux ou vaseux avec une pente douce ou nulle (CREGÎM, 2004). La répartition, la densité des tiges et la biomasse de l'espèce à l'intérieur d'un même site peuvent varier selon l'importance des perturbations naturelles telles que la dessiccation, les vagues et le recouvrement de glaces lesquels sont accrus en raison de la faible profondeur. De plus, la densité des tiges de *Z. marina* est directement proportionnelle avec l'intensité lumineuse (Krause-Jensen et al., 2000).

Les stratégies de reproduction de la zostère diffèrent selon l'intensité des perturbations qu'elle subit. Dans un milieu stable, la plante est annuelle, la reproduction est sexuée (floraison) et sa croissance est rapide (figure 1). Ce type de croissance est retrouvé dans des habitats qui présentent des fluctuations périodiques de salinité puisque les graines nécessitent une faible salinité pour germer (Phillips et al. 1983). Dans un milieu davantage perturbé naturellement, la plante est de type pérenne et veille davantage à son maintien qu'à sa croissance. Le principal mécanisme alors utilisé est la croissance de nouvelles tiges à partir des rhizomes (Phillips et al. 1983, Olesen et Sand-Jensen, 1994). Au printemps, le retrait des glaces entraîne une détérioration de la zostère. Celle-ci consacre alors ses réserves énergétiques à la formation de nouvelles pousses. Grant et Provencher (2007) ont d'ailleurs remarqué un développement maximum du système foliaire de la zostère (biomasse et longueur des feuilles) en août, alors que la densité des tiges augmentait de juillet à septembre. La majorité du système foliaire meurt ou est emporté par les tempêtes à l'automne et en hiver. Ces résultats sont comparables à ceux observés en 2006 dans la lagune du Havre aux Maisons recouverte de glace en saison hivernale. Des concentrations de jeunes pousses ont été observées au cours du mois de mai. En août, aucune jeune pousse n'a été observée et une forte dominance de zostères matures et mortes a été notée en août et octobre (figure 2).

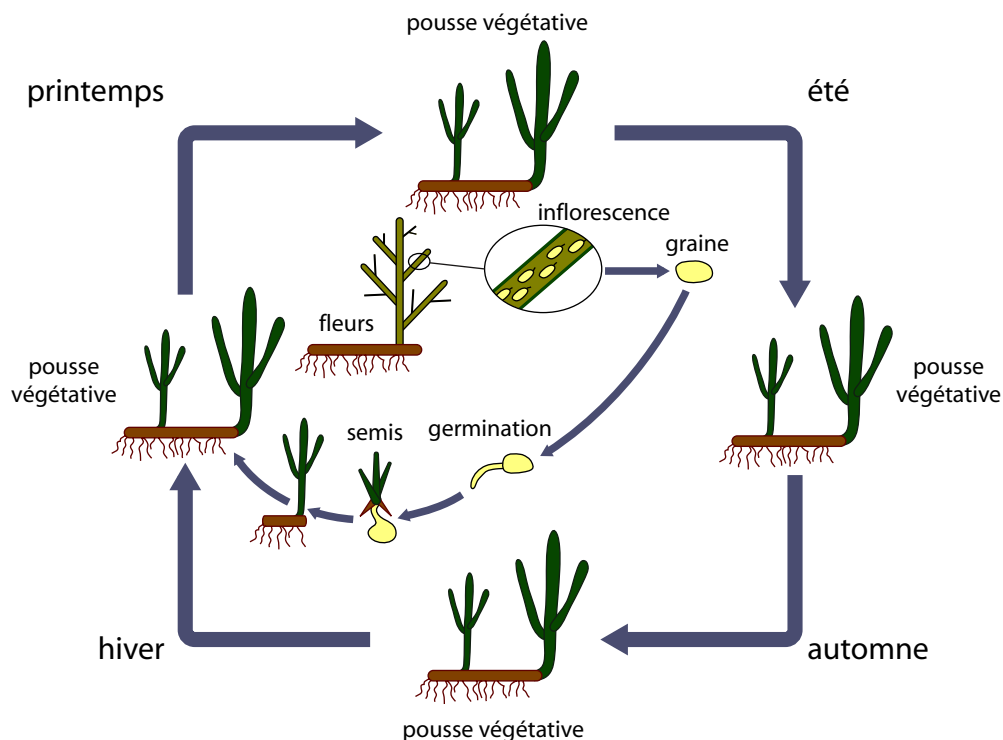


Figure 1. Schéma général du cycle de vie de la zostère marine (Setchell, 1929 tiré de CREGIM, 2004). L'allongement des rhizomes donne de nouvelles pousses végétatives. Les tiges matures peuvent fleurir au printemps ou début de l'été si les conditions nécessaires à la reproduction sexuée sont présentes.

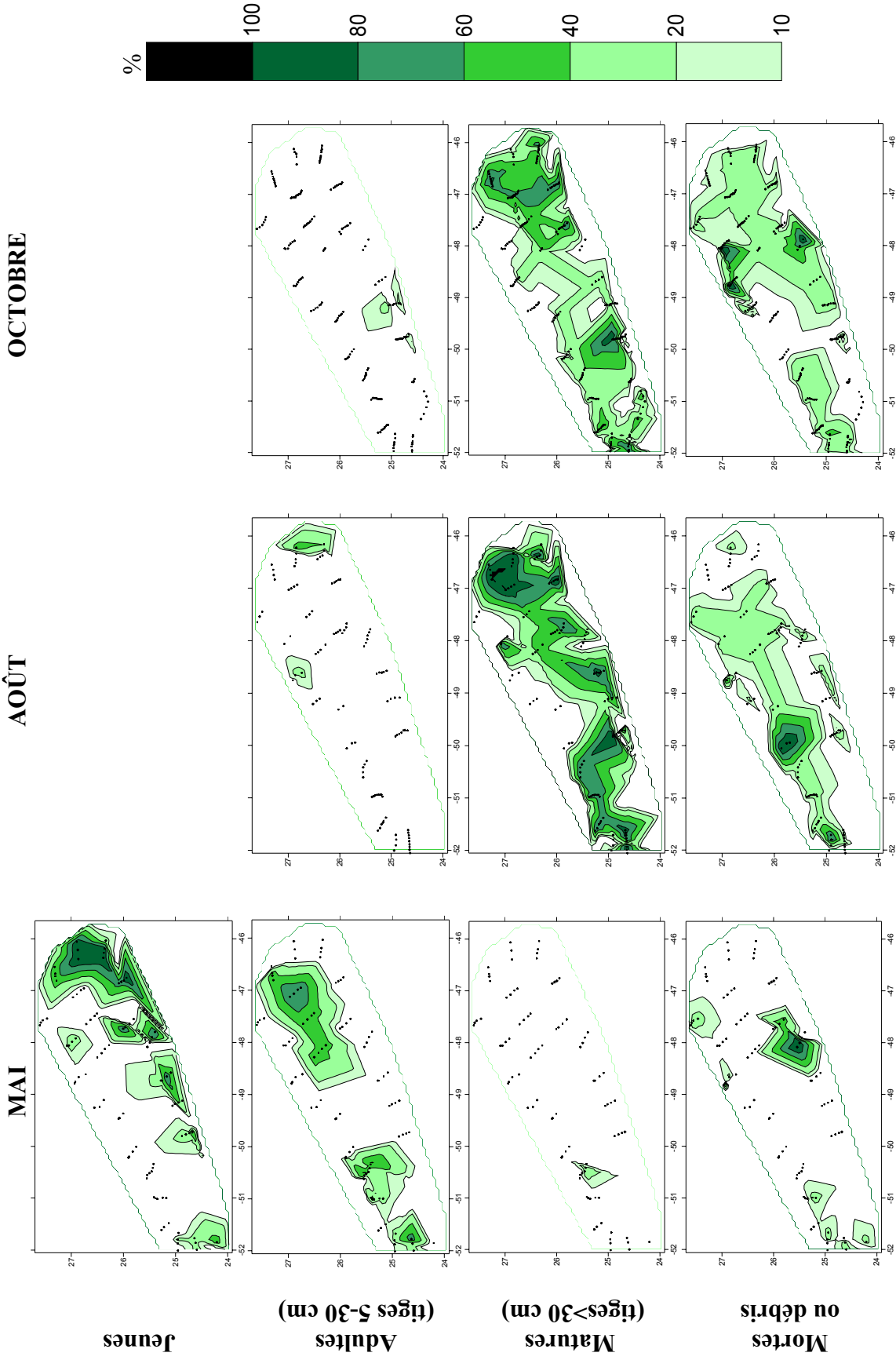


Figure 2. Distribution et stades de maturité de la zostère marine dans la lagune de Havre-aux-Maisons, en 2006 (% de recouvrement).

Références

1. CREGÏM, 2004. Inventaire et étude des bancs de zostère marine sur le territoire couvert par les comités de gestion intégrée de la zone côtière de l'Est du Québec.
2. Grant, C., L. Provencher. 2007. Caractérisation de l'habitat et de la faune des herbiers de *Zostera marina* (L.) de la péninsule de Manicouagan (Québec). Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques, 2772, viii + 65 p.
3. Krause-Jensen, D., A. L. Middelboe, K. Sand-Jensen, P. B. Christensen. 2000. Eelgrass, *Zostera marina*, growth along depth gradients : upper boundaries of the variation as a powerful predictive tool. *Oikos*. 91(2), 233-244.
4. Olesen, B., K. Sand-Jensen. 1994. Patch dynamics of eelgrass *Zostera marina*. *Marine Ecology Progress Series* 106, 147-156.
5. Phillips, R. C., W. S. Grant, C. P. McKoy. 1983. Reproductive strategies of eelgrass (*Zostera marina* L.). *Aquatic Botany* 16, 1-20.
6. Setchell, W. A. 1929. Morphological and phenological notes on *Zostera marina* L., *University of California Publications in Botany* 14, 389-452.

