

**UNIVERSITÉ DU QUÉBEC**

**AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DE LA COLLECTE DU PÉTONCLE  
GÉANT, *Placopecten magellanicus* (GMELIN 1791) PAR UN MEILLEUR  
CONTRÔLE DE LA PÉRIODE D'IMMERSION DES COLLECTEURS AUX  
ÎLES DE LA MADELEINE, QUÉBEC**

**MÉMOIRE  
PRÉSENTÉ À  
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI  
comme exigence partielle  
du programme de la maîtrise en océanographie**

**PAR  
Carole Cyr**

**Décembre 2006**

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI  
Service de la bibliothèque

Avertissement

La diffusion de ce mémoire ou de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire « *Autorisation de reproduire et de diffuser un rapport, un mémoire ou une thèse* ». En signant ce formulaire, l'auteur concède à l'Université du Québec à Rimouski une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de son travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, l'auteur autorise l'Université du Québec à Rimouski à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de son travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits moraux ni à ses droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, l'auteur conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont il possède un exemplaire.

## RÉSUMÉ

La fixation en surabondance d'organismes indésirables sur les collecteurs de pétoncles peut: i) avoir une incidence négative sur la survie et la croissance des pétoncles juvéniles, ii) ralentir les opérations de manutention et de nettoyage des collecteurs, iii) ralentir les opérations de tri à l'usine et iv) augmenter les coûts de production. Une étude réalisée en 2003-2004 près d'un site de collecte commercial, situé à l'est des Îles de la Madeleine (Québec, Canada) visait à évaluer s'il était possible de cibler annuellement une période optimale de mise à l'eau des collecteurs afin de réduire l'abondance des espèces indésirables tout en maintenant une bonne collecte de pétoncles. Après la ponte du pétoncle géant, déterminée par un suivi de l'indice gonadosomatique (IGS), l'évolution de l'abondance larvaire des pétoncles et des espèces indésirables a été suivie par un échantillonnage hebdomadaire et la collecte de naissain a été caractérisé par l'immersion hebdomadaire de collecteurs laissés à l'eau pendant une semaine. Ces deux outils ont été évalués afin d'établir s'ils pouvaient servir à cibler la période optimale d'immersion des collecteurs. D'autres collecteurs ont été immergés sur une base hebdomadaire entre la troisième et la huitième semaine après le début de la ponte. Ils ont été récupérés en décembre afin d'évaluer la collecte cumulative des différentes espèces pour six périodes d'immersion et pour comparer l'efficacité des deux outils de suivi hebdomadaire dans la détermination de la période optimale d'immersion des collecteurs. En 2003 et 2004, les densités maximales observées pour les larves de pétoncle (*Placopecten magellanicus*) ont été de  $0,07 \pm 0,00$  et  $0,03 \pm 0,02$  larves / L,

respectivement: pour les larves de hiatelle (*Hiatella arctica*) de  $1,7 \pm 0,1$  et  $3,1 \pm 0,5$  larves / L; pour les larves d'anomie (*Anomia* spp.) de  $2,6 \pm 0,0$  et  $0,65 \pm 0,06$  larves / L. Les larves de moule (*Mytilus edulis*) étaient plus nombreuses avec  $42,2 \pm 38,3$  larves et  $87,2 \pm 17,3$  larves / L. Même si on détecte la présence de larves  $> 200 \mu\text{m}$  dans la colonne d'eau, il ne semble pas possible d'établir une relation entre l'abondance larvaire et le taux de collecte observé. En effet, les larves de pétoncle sont toujours très peu nombreuses alors que cette espèce est habituellement une des plus abondantes dans les collecteurs. Le suivi de la collecte hebdomadaire permet d'identifier les pics de fixation du pétoncle et des espèces indésirables. Cet outil pourrait permettre d'éviter les pics de fixation des moules et des hiatelles qui surviennent avant le début de la fixation des pétoncles. Il pourrait également permettre aux producteurs d'évaluer la pertinence d'immerger des collecteurs plus tard en saison puisque le suivi hebdomadaire du pic de collecte permet de caractériser avec une certaine fiabilité l'évolution de la fixation de pétoncles. Les densités maximales de pétoncle ont été de  $1454 \pm 260$  et  $354 \pm 68$  pétoncles dans les collecteurs immergés pour une semaine le 13 octobre 2003 et le 01 novembre 2004 comparativement à  $354 \pm 104$  et  $14194 \pm 408$  hiatelles dans les collecteurs immergés le 26 août 2003 et le 9 septembre 2004,  $6673 \pm 155$  et  $1717 \pm 511$  moules dans les collecteurs immergés le 26 août 2003 et le 09 septembre 2004. Ces derniers résultats indiquent que les pics de collecte de ces espèces ne sont pas tout à fait synchrones et que ce suivi pourrait donc être un bon outil pour aider les producteurs à choisir le moment optimal pour immerger leurs collecteurs.



## TABLE DES MATIÈRES

<b>RÉSUMÉ</b> .....	ii
<b>TABLE DES MATIÈRES</b> .....	iv
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	viii
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	xii
<b>LISTE DES ANNEXES</b> .....	xiv
<b>AVANT-PROPOS</b> .....	xvi
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	xix
 <b>CHAPITRE 1: INTRODUCTION GÉNÉRALE</b>	
1.1 PROBLÈME DE LA SUREXPLOITATION DES STOCKS DE PÉTONCLE AUX ÎLES DE LA MADELEINE .....	1
1.2 PROBLÈME DE L'APPROVISIONNEMENT EN PÉTONCLES JUVÉNILES EN PECTINICULTURE .....	2
1.3 PROBLÈME DE LA FIXATION D'ESPÈCES INDÉSIRABLES SUR LES COLLECTEURS DE PÉTONCLES	
1.3.1 <i>Habitat et cycle vital du pétoncle géant et des espèces           associées</i> .....	7
1.3.1.1 <i>Pétoncle géant</i> .....	8
1.3.1.2 <i>Espèces associées</i> .....	10
1.3.2 <i>Pertes de pétoncles sur les collecteurs commerciaux</i> .....	13

1.3.3 <i>Études antérieures réalisées aux Îles de la Madeleine sur les espèces associées</i> .....	15
1.4 OBJECTIFS DU PROJET DE RECHERCHE .....	17
1.5 HYPOTHÈSES DE RECHERCHE .....	17
<b>CHAPITRE 2: LARVAL ABUNDANCE OF SEA SCALLOP (<i>Placopecten magellanicus</i>) AND UNDESIRABLE SPECIES AS A MEANS TO PREDICT THE DEPLOYMENT PERIOD OF SCALLOP SPAT COLLECTORS</b> .....	19
ABSTRACT.....	20
2.1 INTRODUCTION.....	20
2.2 MATERIALS AND METHODS	
2.2.1 <i>Study area and environmental conditions</i> .....	23
2.2.2 <i>Spawning period of the sea scallop</i> .....	24
2.2.3 <i>Larval abundance monitoring</i> .....	24
2.2.4 <i>Cumulative spat collection monitoring</i> .....	25
2.2.5 <i>Statistical analysis</i> .....	26
2.3 RESULTS	
2.3.1 <i>Environmental conditions</i> .....	27
2.3.2 <i>Spawning period of the sea scallop</i> .....	29
2.3.3 <i>Larval abundance monitoring</i> .....	35
2.3.4 <i>Cumulative spat collection monitoring</i> .....	45
2.4 DISCUSSION.....	47
2.5 ACKNOWLEDGEMENTS .....	52

<b>CHAPITRE 3: WEEKLY SPAT COLLECTION OF SEA SCALLOP (<i>Placopecten magellanicus</i>) AND UNDESIRABLE SPECIES AS A POTENTIEL TOOL TO PREDICT AN OPTIMAL DEPLOYMENT PERIOD OF SCALLOP SPAT COLLECTORS</b> .....	53
ABSTRACT.....	54
3.1 INTRODUCTION.....	54
3.2 MATERIALS AND METHODS	
3.2.1 <i>Study area</i> .....	56
3.2.2 <i>Weekly spat collection monitoring</i> .....	56
3.2.3 <i>Cumulative spat collection monitoring</i> .....	58
3.2.4 <i>Statistical analysis</i> .....	59
3.3 RESULTS	
3.3.1 <i>Weekly spat collection monitoring</i> .....	61
3.3.2 <i>Cumulative spat collection monitoring</i> .....	72
3.4 DISCUSSION.....	81
3.5 ACKNOWLEDGEMENTS .....	87
<b>CHAPITRE 4: DISCUSSION GÉNÉRALE</b>	
4.1 PONTE CHEZ LE PÉTONCLE GÉANT, <i>P. magellanicus</i> .....	88
4.2 SUCCÈS DE COLLECTE .....	90
4.3 MOMENT PROPICE À L'IMMERSION DES COLLECTEURS.....	92
4.4 SUIVI LARVAIRE POUR DÉTERMINER UNE PÉRIODE D'IMMERSION DES COLLECTEURS PERMETTANT DE RÉDUIRE L'ABONDANCE DES ESPÈCES INDÉSIRABLES .....	94
4.5 SUIVI HEBDOMADAIRE DE LA COLLECTE DU NAISSAIN POUR DÉTERMINER UNE PÉRIODE D'IMMERSION DES	

COLLECTEURS PERMETTANT DE RÉDUIRE L'ABONDANCE DES ESPÈCES INDÉSIRABLES .....	97
4.6 ABONDANCE ET CROISSANCE DU PÉTONCLE GÉANT ET DES ESPÈCES INDÉSIRABLES DANS LES COLLECTEURS DURANT L'ANNÉE SUIVANT LA COLLECTE.....	100
<b>CHAPITRE 5: CONCLUSIONS GÉNÉRALES .....</b>	<b>102</b>
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>106</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>118</b>

## LISTE DES TABLEAUX

Table 2.1.	Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of sampling date and depth (from the surface, above the bottom) on chlorophyll <i>a</i> in 2003 and 2004. ....	28
Table 2.2.	Maximal GSI date, spawning initiation date and spawning end date for two natural beds (FSO, CP) in 2003 and 2004. ....	34
Table 2.3.	Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of sampling date and depth (between 2 and 8 m above the bottom and between 0 and 15 m from the surface) on larval density in 2003. ....	36
Table 2.4.	Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of sampling date on larval density in 2003. Each depth (between 2 and 8 m above the bottom and between 0 and 15 m from the surface) was examined separately. For each comparison, $df = 17$ and $34$ (Bottom) and $df = 17$ and $36$ (Surface). ....	37
Table 2.5.	Number of larvae (mean $\pm$ s.e.) per liter of seawater collected with a plankton net between 0 and 15 m from the surface and pumped between 2 and 8 meters above the bottom in 2003. Abundance between sampling dates was compared for each species and at each depth with Kruskal Wallis tests except for hiatella at both depth and anomia above the bottom which were compared with ANOVAs. ....	39
Table 2.6.	Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of sampling date at 2 m above the bottom on larval density in 2004. For each comparison, $df = 13$ and $27$ . ....	41
Table 2.7.	Number of larvae (mean $\pm$ s.e.) per liter of seawater pumped between 2 and 8 meters above the bottom in 2004. ....	42
Table 2.8.	Results of the analyses of variance (ANOVAs) comparing larval abundance at different (between 0 and 15 m from the surface, between 2 and 8 m above the bottom) with the same sampling device (pump) and the sampling date (August 23, September 22, October 25) in 2004. ....	44
Table 2.9.	Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of deployment date on cumulative spat collection in 2003. Collectors retrieved on December 6, 2003. For each comparison, $df = 5$ and $23$ . ....	45

Table 2.10.	Number of spat (mean $\pm$ s.e) per collector deployed in 2003 and retrieved on December 6, 2003.....	46
Table 2.11.	Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of deployment date on cumulative spat collection in 2004. Collectors retrieved on December 7, 2004. For each comparison, df = 5 and 24. ....	46
Table 2.12.	Number of spat (mean $\pm$ s.e) per collector deployed in 2004 and retrieved on December 5, 2004.....	47
Table 3.1.	Results of the analyses of variance (ANOVAs) with repeated measures testing the effect of deployment date and depth (2, 5 and 8 m above the bottom) on weekly spat collection in 2003. Df for error = 44 except for deployment date = 22 .....	61
Table 3.2.	Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of deployment date on weekly spat collection in 2003. Count data for each species was compared for 3 depths (2, 5 and 8 m above the bottom). For each comparison, df = 10 and 22.....	62
Table 3.3.	Number of spat (mean $\pm$ s.e.) per collector deployed at different depths (2, 5, and 8 m above the bottom) for about 1-week periods in 2003 .....	64
Table 3.4.	Results of the analyses of variance (ANOVAs) with repeated measures testing the effect of deployment date and depth (2, 5 and 8 m above the bottom) on weekly spat collection in 2004. Df for error = 38 except for deployment date = 20. No results were presented for anomia and seastar because the abundance was often = 0.....	65
Table 3.5.	Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of deployment date on weekly spat collection in 2004. Count data for each species by depth (2, 5 and 8 m above the bottom). For each comparison, df = 9 and 19 at 2 and 5 m above the bottom and df = 9 and 20 at 8 m above the bottom. No results were presented for anomia and seastar because the abundance was often = 0.....	66
Table 3.6.	Number of spats (mean $\pm$ s.e.) per collector deployed at different depths (2, 5, and 8 m above the bottom) for about 1-week periods in 2004.....	67

Table 3.7.	Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of deployment date and retrieval method (directly vs by diving) on weekly spat collection in 2004.....	68
Table 3.8.	Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of deployment date and retrieval date on cumulative spat collection in 2003-2004. No results were presented for seastar because the abundance was often = 0. ....	72
Table 3.9.	Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of deployment date on cumulative spat collection in 2003. Collectors retrieved on December 6, 2003. For each comparison, df = 5 and 23. ....	73
Table 3.10.	Number of spat (mean $\pm$ s.e) per collector deployed in 2003 and retrieved on December 6, 2003.....	74
Table 3.11.	Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of deployment date on cumulative spat collection in 2003. Collectors retrieved on June 2, 2003. For each comparison, df = 5 and 24. ....	74
Table 3.12.	Number of spat (mean $\pm$ s.e) per collector deployed in 2003 and retrieved on June 2, 2004.....	75
Table 3.13.	Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of deployment date on cumulative spat collection in 2003. Collectors retrieved on October 5, 2004. For each comparison, df = 5 and 23.. ....	76
Table 3.14.	Number of spat (mean $\pm$ s.e) per collector deployed in 2003 and retrieved on October 5, 2004. ....	77
Table 3.15.	Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of retrieval date (December 2003, June 2004 and October 2004) on cumulative spat collection of scallops and undesirable species in 2003-2004. For each comparison, df = 2 and 12 except for September 15 df = 2 and 11.....	78
Table 3.16.	Numbers of scallops and other undesirable bivalves (mean $\pm$ s.e.) and survival rate of scallops in collectors deployed on October 6, 2003. ....	79
Table 3.17.	Shell height (mm) (mean $\pm$ s.e.) of scallops and other undesirable bivalves and growing rate of scallops in collectors deployed on October 6, 2003.....	80

Table 3.18. Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of deployment date on cumulative spat collection in 2004. Collectors retrieved on December 7, 2004. For each comparison, df = 5 and 24. ....	80
Table 3.19. Number of spat (mean $\pm$ s.e) per collector deployed in 2004 and retrieved on December 5, 2004.....	81



## LISTE DES FIGURES

- Figure 2.1. Location of experimental sites for sea scallop spat collection and larval abundance of commercial spat collection sites and of scallop fishing grounds (Fond du Sud-Ouest and Chaîne de la Passe) in Îles de la Madeleine, Québec.....23
- Figure 2.2. A) Daily mean temperature at 2 m (Vemco), 8m (Hobo) and 15 m (Hobo) above the bottom B) Chlorophyll-a (mean  $\pm$  s.e.) between 0 and 15 m from the surface and between 2 and 8 m above the bottom in the study area, the Pearl Reef, in 2003. Shaded area indicates period spawning of *Placopecten magellanicus* on FSO and Chaîne de la Passe beds.....30
- Figure 2.3. A) Daily mean temperature at 2 m (Vemco), 8m (Hobo) and 15 m (Hobo) above the bottom B) Chlorophyll-a (mean  $\pm$  s.e.) between 0 and 15 m from the surface and between 2 and 8 m above the bottom in the study area, the Pearl Reef, in 2004. Shaded area indicates period spawning of *Placopecten magellanicus* on FSO and Chaîne de la Passe beds.....31
- Figure 2.4. A) Current speed (cm/s) and B) Relative frequency (%) of currents from different directions during larval period of sea scallop from 26 August to 5 November 2003 C) Relative frequency of current speed monitored with a S4 recorder (frequency of reading = 10 minutes) placed on the Pearl Reef. The value of each class of abscisse represents the minimal value of the corresponding interval speed. The dark bar represents the interval mean current speed (8-9 cm/s).. .....32
- Figure 2.5. A) Current speed (cm/s) and B) Relative frequency (%) of currents from different directions during larval period of sea scallop from 09 September au 18 November 2004 C) Relative frequency of current speed monitored with a S4 recorder (frequency of reading = 10 minutes) placed on the Pearl Reef. The value of each class of abscisse represents the minimal value of the corresponding interval speed. The dark bar represents the interval mean current speed (7-8 cm/s).....33
- Figure 2.6. Gonadosomatic index (GSI) monitoring ( $\pm$  s.e.) in 2003 (A) and 2004 (B) on the Fond du Sud-Ouest and on the Chaîne de la Passe, in the Îles de la Madeleine. ....35

Figure 2.7. Number of larvae > 200 $\mu\text{m}$ ( $\pm$ s.e.) per liter pumped between 2 and 8 meters off the bottom in 2003.....	41
Figure 2.8. Number of larvae > 200 $\mu\text{m}$ ( $\pm$ s.e.) per liter pumped between 2 and 8 meters off the bottom in 2004.....	43
Figure 3.1. Underwater set-up to suspend scallop collectors at 2, 5 and 8 m above the bottom for weekly spat collection monitoring. ....	57
Figure 3.2. Underwater structure maintaining collectors at 2 m above the bottom for deployment period monitoring.....	59

## LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1.	Stratégie d'ensemencement utilisée par les pectiniculteurs des Îles de la Madeleine.....	118
ANNEXE 2.	Matériel utilisé.....	120
ANNEXE 3.	Schéma de filières A) Collecteurs attachés directement sur la ligne porteuse B) et C) Collecteurs attachés à la verticale sur la ligne porteuse.....	124
ANNEXE 4.	Schéma d'une filière de collecteurs utilisée par les pectiniculteurs des Îles de la Madeleine.....	126
ANNEXE 5.	Développement larvaire et post-larvaire de <i>Placopecten magellanicus</i> .....	128
ANNEXE 6.	Développement larvaire et post-larvaire de <i>Mytilus edulis</i> .....	132
ANNEXE 7.	Développement larvaire et post-larvaire de <i>Hiatella arctica</i> .....	136
ANNEXE 8.	Développement larvaire et post-larvaire d' <i>Anomia</i> sp. ....	139
ANNEXE 9.	Développement larvaire et post-larvaire d' <i>Asterias vulgaris</i> .....	142
ANNEXE 10.	Suivi de l'indice gonadosomatique (IGS) (moyenne $\pm$ s.e) et du suivi hebdomadaire de la collecte (moyenne $\pm$ s.e) de <i>Placopecten magellanicus</i> aux Îles-de-Madeleine en 2003 (A) et 2004 (B).....	146
ANNEXE 11.	Fréquence de taille pour le suivi cumulatif 2003-2004 pour <i>Placopecten magellanicus</i> , <i>Mytilus edulis</i> , <i>Hiatella arctica</i> et <i>Anomia</i> spp. dans les collecteurs immergés le 6 octobre 2003 et récupérés le 5 décembre 2003 (A), le 2 juin 2004 (B) et le 5 octobre 2004 (C).....	148
ANNEXE 12.	Localisation des différents sites d'études et appareils océanographiques.....	150

*J'aimerais dédier ce mémoire de maîtrise à mon père qui est décédé en novembre 1987.*

*Par son métier, agent des pêcheries, c'est lui qui m'a appris à respecter la ressource  
marine, matière première des travailleurs de la mer.*

## AVANT-PROPOS

Le périple a commencé avec l'envoi d'une lettre à l'Université du Québec à Rimouski qui présentait mes motivations à vouloir poursuivre un programme de maîtrise en océanographie.

Mais pourquoi présenter une demande d'admission pour une maîtrise en océanographie?

Bien des gens, surtout ceux qui ne me connaissent pas très bien, pourraient penser que je suis un peu folle, à mon âge, de vouloir retourner à l'école. Pourquoi vouloir se compliquer la vie? J'ai un bel emploi permanent au gouvernement dans un domaine que j'aime, une vie familiale comblée, une vie sociale bien remplie, une maison située dans la plus belle région du Québec. Que vouloir de plus? J'ai toujours voulu travailler en biologie marine. J'ai passé toute ma jeunesse aux Îles de la Madeleine à côtoyer les gens de la mer. Je me voyais, petite fille, voyager avec l'équipe Cousteau. Tous les reportages télévisés concernant le milieu marin me fascinaient. Il était évident pour moi que je devais étudier en biologie marine. Alors, j'ai quitté temporairement les Îles pour aller étudier à Québec. En décembre 1980, je terminais mon baccalauréat en écologie marine à l'Université Laval. Comme les emplois en biologie étaient plutôt rares et précaires et que l'agronomie m'intéressait, je me suis alors inscrite en bio-agronomie en septembre 1981, toujours à l'Université Laval.

J'ai mis temporairement de côté mes études en bio-agronomie pour me consacrer entièrement à ma passion, la biologie marine, après avoir eu l'opportunité de travailler

comme biologiste pour un projet d'élevage de homard à l'été 1982. J'entrais au MAPAQ comme technicienne de laboratoire occasionnelle en 1983 et je suis devenue technicienne de la faune permanente en 1990, poste que j'occupe encore aujourd'hui. Pendant toutes ces années, j'ai travaillé concrètement sur tout ce qui concerne la conchyliculture aux Îles de la Madeleine. Au fil des ans mes responsabilités se sont accrues à titre de responsable de laboratoire et aussi comme responsable de la réalisation des travaux de terrain en mer et en lagune liés à la collecte, au pré-élevage et à l'élevage du pétoncle géant. J'ai profité des mois d'hiver pour me familiariser avec la majorité des logiciels disponibles à la station et accomplir certaines tâches de biologiste: saisie de données, préparation de graphiques, rédaction de comptes-rendus et présentations orales couvrant l'ensemble des activités de recherche de la STMIM sur le pétoncle. Grâce à cette expérience, j'ai pu remplacer M. Georges Cliche, biologiste chargé des travaux sur l'approvisionnement et le préélevage du pétoncle géant à la STMIM, pendant deux périodes de six mois en 2000 et 2002. Pour la seconde période de remplacement, il m'a d'abord fallu réussir un concours du gouvernement du Québec visant à établir une liste de déclaration d'aptitude pour biologistes.

Comme biologiste, je considérais qu'il me manquait certaines compétences notamment au niveau du traitement statistique des données. Lors de discussions avec messieurs Gaston Desrosiers et Jean-Claude Brêthes, professeurs à l'ISMER, j'ai réalisé qu'une maîtrise représentait non seulement la solution à ma quête de perfectionnement mais un défi des plus enthousiasmants. Quelques cours à distance et la possibilité de terminer ma scolarité à Rimouski en une session convenait parfaitement à ma situation.

De plus, mon employeur encourageait un tel perfectionnement dans la mesure où mon projet de recherche s'imbriquait dans la stratégie de développement de la pectiniculture au Québec.

La pectiniculture m'intéresse au plus haut point et, comme scientifique, je crois pouvoir apporter beaucoup aux travailleurs de la mer impliqués dans cette activité. Dans les années 1970, les débarquements du pétoncle géant, *Placopecten magellanicus*, étaient à un très bas niveau aux Îles de la Madeleine. La ressource étant en déclin, les pêcheurs ont dû se tourner vers la mariculture. Le programme REPERE, (programme de REcherche sur le Pétoncle à des fins d'Élevage et de REpeuplement) qui a été mis en place en 1990 est à l'origine du développement des activités pectinicoles commerciales aux Îles. Lesensemencements réalisés en 1996 par l'entreprise Pétoncles 2000 ont contribué à l'augmentation des débarquements de pétoncles en 2001. De plus, les opérations commerciales d'élevage en suspension ont rendu possible la commercialisation de 250 000 pétoncles vivants en 2001. Les interventions en recherche et développement ont permis une évolution remarquable des connaissances et des technologies reliées à la pectiniculture. Cependant, il reste encore du travail à faire pour amener les opérations d'ensemencement et d'élevage en suspension à un niveau commercial rentable. Voilà le genre de défi que j'aimerais relever dans les années à venir et tant pis pour ceux qui me croient un peu folle.

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier particulièrement mon directeur de maîtrise, Gaston Desrosiers, professeur chercheur en écologie benthique à l'ISMER. Grâce à son enthousiasme, sa passion pour la bioturbation, son intérêt pour la pectiniculture et son appui inconditionnel à ma quête de perfectionnement, il m'a convaincue qu'une maîtrise n'était pas un projet complètement fou.

J'aimerais remercier mes deux co-directeurs, Georges Cliche, biologiste senior au MAPAQ et coordinateur du programme REPERE qui coordonne les travaux de recherche sur la collecte, le pré-élevage, l'élevage et l'ensemencement du pétoncle géant (*Placopecten magellanicus*) au Québec et Bruno Myrand, biologiste senior en conchyliculture au MAPAQ et responsable du Centre maricole des Îles de la Madeleine. Je vous remercie énormément pour votre soutien, votre temps, vos conseils judicieux et pour tous les petits mots d'encouragement.

Je désire aussi remercier Leslie-Anne Davidson, biologiste au DFO-Moncton, Jean-Claude Brêthes et Réjean Tremblay, professeurs-chercheurs à l'ISMER, pour avoir accepté de faire partie du comité d'évaluation de mon mémoire. Vos commentaires et suggestions m'ont permis d'orienter la rigueur scientifique de mon mémoire.

J'aimerais également remercier Lucien Poirier, directeur à la Direction de l'Innovation et des Technologies du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) qui m'a permis de m'investir dans ce projet dans



les meilleures conditions possibles. Merci aussi à la SODIM (Société de développement de l'industrie maricole) pour son support financier.

Je tiens à exprimer ma plus vive reconnaissance au personnel du Centre maricole des Îles de la Madeleine (CEMIM) du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) et tout particulièrement à:

- Jean-Guy Turbide, technicien et capitaine du Mytilus, pour la conception et l'installation des structures expérimentales de même que pour l'échantillonnage en mer
- Francine Aucoin, technicienne, pour son aide précieuse dans l'identification et le dénombrement des différentes espèces de larves et pour une partie des filtrations d'eau de mer
- Michèle Langford, technicienne, pour son aide lors des échantillonnages en mer et pour une partie des filtrations d'eau de mer
- Jacques Richard, technicien, pour le nettoyage des collecteurs et certaines analyses au laboratoire
- Yvon Chevarie, ouvrier, pour la préparation des collecteurs et des structures expérimentales
- François Gallien et Jules Arseneau, techniciens, pour certaines analyses au laboratoire
- Claude Poirier, ouvrier, pour son travail comme homme de pont à bord du Mytilus
- Lucie Poirier, agente de bureau, pour la mise en page du mémoire et la révision lexico-grammaticale

- Émilie Vigneau, technicienne en informatique, pour la logistique informatique
- Madeleine Nadeau, François Bourque, biologistes, pour leurs conseils et mots d'encouragement

Merci à ma famille et mes amis pour leur appui, leur intérêt et leur temps sans quoi le retour aux études aurait été plus difficile. Merci spécialement à mon conjoint, Jacques Richard, pour son soutien inestimable autant moral que physique et à mes deux adolescents, Olivier et Francis, pour leur aide à la maison et leur autonomie dans leurs études. Merci à ma mère qui s'est tellement inquiétée pour moi et pour tous les services qu'elle m'a rendus.

Merci également à tous ces gens qui m'ont aidée par leur intérêt, leur temps, leurs encouragements, leurs conseils et/ou leur soutien technique:

i) Au personnel de l'ISMER dont:

- Bruno Zakardjian, professeur d'océanographie physique
- Jean-Claude Brêthes, professeur d'océanographie biologique
- Patrick Lajeunesse, professeur d'océanographie géologique
- Jean-Pierre Gagné, professeur d'océanographie chimique
- Jean-Pierre Chanut, professeur d'écologie numérique pour ses judicieux conseils en statistiques
- Bruno Gouteux, assistant professeur en océanographie chimique

- Guglielmo Tita, professeur sous octroi dans le cadre d'une entente MAPAQ-UQAR pour les petits mots d'encouragement et l'aide précieuse apportée sur l'analyse des données enregistrées par le courantomètre S4.
  - Personnel du secrétariat
- ii) Au personnel de l'Institut Maurice-Lamontagne, surtout à Marcel Fréchette, Michel Giguère et Sylvie Brulotte pour leurs conseils lors de l'élaboration du protocole sur le suivi hebdomadaire de la collecte. Merci à l'équipe de Michel Giguère pour les analyses de plusieurs collecteurs du suivi hebdomadaire de la collecte 2003
- iii) À Hélène Crépeau consultante en statistiques de l'Université Laval
- iv) À Susan Rutledge, professeur d'anglais au Cégep de la Gaspésie et des Îles, pour la révision de la langue anglaise
- v) Aux responsables des entreprises pectinicoles, Pétoncles 2000 et Imaqua. Un merci spécial à Denyse Hébert, Sylvain Vigneau, Mélanie Bourgeois et Jean Côté car le projet n'aurait pas pu être réalisé sans leur appui
- vi) Au personnel de la compagnie Le Repère du plongeur pour avoir effectué avec professionnalisme toutes les plongées et une partie de l'échantillonnage en mer: merci à Mario Déraspe, Magali Derderian, Rodrigue Dubé, Donald Poirier, Mario Poirier, Normand Déraspe et Armand Déraspe

## CHAPITRE 1: INTRODUCTION GÉNÉRALE

### 1.1 PROBLÈME DE LA SUREXPLOITATION DES STOCKS DE PÉTONCLE AUX ÎLES DE LA MADELEINE

Aux Îles de la Madeleine, les populations naturelles de pétoncle géant, *Placopecten magellanicus*, ont fortement décliné depuis les années 1970. En effet, les débarquements sont passés de 350 tonnes métriques de muscles en 1970 à 50 tonnes métriques en 1973 (Giguère et Brulotte 1997). Ces stocks ne se sont pas rétablis depuis, et la surcapacité de pêche de la flotte de pétoncliers est certainement le principal facteur responsable de cette situation. L'effondrement des débarquements de muscles de pétoncles observé aux Îles de la Madeleine n'est toutefois pas une première au niveau mondial. Le Japon a connu une situation semblable à partir des années 1930 (Lucien-Brun et Lachaux 1983; Anonyme 1990). En réaction à ce déclin, ce pays a réalisé ses premiers essais d'élevage du pétoncle à des fins commerciales dans les années 1930-1940. Le Japon est ainsi parvenu, à la fin des années 1960, à rétablir ses débarquements de pétoncle au niveau qu'ils étaient avant le déclin et même à les dépasser grâce à des opérations d'élevage fondées sur la collecte de naissain en milieu naturel, l'élevage en suspension (paniers pyramidaux, lanternes et boucles d'oreilles) et lesensemencements de juvéniles sur les fonds surexploités (Lucien-Brun et Lachaux 1983; Young-Lai et Aiken 1986; Anonyme 1990; Ito 1991; Cliche et Giguère 1998). Suite à ces succès, plusieurs pays comme la Russie, le Chili, la Nouvelle-Zélande, l'Australie, le Canada, les États Unis, la France, la Norvège, le Mexique se sont intéressés à l'élevage du

pétoncle au cours des années 1970-1980 en s'inspirant des méthodes japonaises pour tenter de rétablir leurs débarquements ou augmenter leur production (Wallace 1982; Bull 1994; Cliche et Giguère 1998; Bourne 2000).

En 1990, le programme REPERE (REcherche sur le Pétoncle à des fins d'Élevage et de REpeuplement) a été mis en place afin: i) d'évaluer la faisabilité biologique et technique desensemencements de pétoncle géant aux Îles de la Madeleine et ii) de reconstituer éventuellement les populations naturelles. Une stratégie d'élevage du pétoncle géant a donc été élaborée dans les conditions environnementales des Îles de la Madeleine (Annexe 1) en s'inspirant de méthodes employées ailleurs, souvent pour d'autres espèces de pétoncle telles *Patinopecten yessoensis* (Japon), *Chlamys farreri* (Chine), *Argopecten irradians* (États-Unis), *Pecten fumatus* (Australie), *Pecten novozelandiae* (Nouvelle Zélande), *Argopecten purpuratus* (Chili), *Pecten maximus* (Irlande, Écosse). Une gamme d'interventions intégrées et coordonnées de recherche et de développement a été conduite au fil des ans pour rendre opérationnel et rentable cette stratégie de production (Giguère *et al.* 1995).

## 1.2 PROBLÈME DE L'APPROVISIONNEMENT EN PÉTONCLES JUVÉNILES EN PECTINICULTURE

Au Québec, deux approches sont utilisées pour assurer un approvisionnement en naissain de bonne qualité pour les opérations d'élevage. Les juvéniles de pétoncle géant, *P. magellanicus*, sont captés en milieu naturel (Îles de la Madeleine et Gaspésie) ou

produits en éclosérie-nurserie lorsque que la collecte en milieu naturel est inefficace (Basse Côte-Nord).

Aux Îles de la Madeleine, des travaux portant sur la production de juvéniles en éclosérie ont été effectués par le MAPAQ de 1987 à 1992. Ces tentatives n'ont pas été concluantes à cause vraisemblablement de la contamination des élevages de larves par les bactéries (Beaulieu et Cliche 1989; Cliche et Giguère 1998). On tenta de contrôler ces contaminations par différentes mesures sanitaires et en utilisant certains antibiotiques, mais sans succès. Peu prometteurs, ces résultats incitèrent le MAPAQ à orienter ses travaux de recherche vers la collecte en milieu naturel. Lors de l'implantation du programme REPERE aux Îles de la Madeleine, il est vite apparu que la collecte en milieu naturel était l'approche à privilégier pour l'approvisionnement en pétoncles juvéniles (Cliche et Giguère 1998). Pour s'assurer d'un approvisionnement fiable, il a fallu d'abord identifier les meilleurs sites de collecte (Cliche et Giguère 1994). Plusieurs paramètres pouvant affecter le succès de collecte ont aussi été étudiés. Parmi ces paramètres, mentionnons la période de ponte, le type et la densité du matériau servant à fabriquer les collecteurs, l'abondance des larves dans la colonne d'eau et leur période de développement avant métamorphose, les courants marins, la durée et la profondeur d'immersion des collecteurs dans la colonne d'eau (Giguère *et al.* 1995).

Les Japonais ont réalisé leurs premiers essais d'élevage du pétoncle à des fins commerciales autour de 1935 en utilisant comme substrat de collecte des ramilles de cèdre attachées à un filet de pailles de riz (Ventilla 1982). L'usage de substrats

synthétiques remonte aux années 1950-1960. Le filet maillant en nylon (Annexe 2 M-1) est utilisé comme substrat de collecte depuis longtemps partout dans le monde et a donné de bons résultats au Japon, en Chine, au Canada, aux États-Unis, en Australie et en Europe (Buestel *et al.* 1979; Ventilla 1982; Young-Lai et Aiken 1986; Sause *et al.* 1987; Giguère *et al.* 1995, Cashmore *et al.* 1998). Toutefois, le Netron™, un treillis tubulaire en plastique (Annexe 2 M-2) ayant une certaine rigidité, est de plus en plus répandu et utilisé aujourd'hui pour des opérations de collecte commerciales et expérimentales au Japon, au Canada, en Argentine, en France et en Irlande (Ventilla 1982; Thouzeau 1991a; Giguère *et al.* 1995; McDonough et Robert 1997; Narvarte 2001; Davidson *et al.* 2005). Contrairement au filet maillant, le Netron™ se présente en sections, ce qui facilite de beaucoup son utilisation pour la collecte commerciale. Il est aussi moins sujet à la compaction, ce qui favorise la survie et la croissance des jeunes pétoncles tout en facilitant leur récupération. Ce substrat est efficace et réutilisable pendant 3–5 ans (Ventilla 1982; Narvarte 2001) et même plus longtemps au Québec (Denyse Hébert, Pétoncles 2000, comm.pers.). Il est par contre plus dispendieux que le filet maillant usagé.

D'autres substrats de collecte ont été testés au niveau expérimental comme la multicorde (Cliche et Giguère 1994), des hydrozoaires morts, *Tubularia larynx* (Harvey *et al.* 1995a et 1997), des algues rouges filamenteuses *Polysiphonia lanosa* (Pearce *et al.* 1996), des tuiles de grès (Chauvaud *et al.* 1996) ainsi que des branches d'arbustes *Larrea divaricata* et des sacs à oignon (Narvarte 2001). Les collecteurs expérimentaux fabriqués avec les hydrozoaires morts ont semblé les plus performants avec 2,8 à 4,7 fois

plus de pétoncles par gramme de substrat que le filet maillant. (Harvey *et al.* 1995a et 1997). Il n'est toutefois pas envisageable d'utiliser ce substrat pour des opérations à l'échelle commerciale compte tenu de la difficulté d'approvisionnement.

Le sac à oignon et le sac en polyéthylène utilisés pour contenir le substrat, ont fait également leur apparition vers les années 1950–1960. Ces sacs peu coûteux permettent la rétention des pétoncles juvéniles dans les collecteurs. Ils ont donné de bons résultats dans plusieurs régions comme le Japon, le Mexique, l'Australie, la Chine, l'est du Canada et les États-Unis (Ventilla 1982; Young-Lai et Aiken 1986; Giguère *et al.* 1995; Pouliot *et al.* 1995; Cashmore *et al.* 1998; Davidson *et al.* 2005). Le maillage du sac doit être assez petit pour retenir les pétoncles qui se détachent du substrat de collecte tout en permettant une bonne circulation du courant à l'intérieur du collecteur. En Gaspésie (au Québec), des cages de Vexar™ de 10 cm<sup>3</sup> ont été utilisées de façon expérimentale au lieu du sac à oignon pour la collecte de *Chlamys islandica* et ont donné de bons résultats (Harvey *et al.* 1995a).

Les filières expérimentales utilisées dans l'est du Canada sont immergées entre 2 et 8 m du fond, que ce soit pour le pétoncle géant aux Îles de la Madeleine (Giguère *et al.* 1995) ou le pétoncle d'Islande, *C. islandica*, en Gaspésie (Harvey *et al.* 1995a). En France dans la Baie de Saint-Brieuc, les collecteurs pour *Pecten maximus* sont placés à des distances variables du fond: entre 1 et 3 m (Thouzeau 1991 a, b) ou entre 2 et 8 m (Burnell *et al.* 1995). Dans l'est du Canada, des filières expérimentales avec des collecteurs attachés directement sur la ligne porteuse sont fréquemment utilisées pour



réaliser certains travaux expérimentaux sur la collecte (Annexe 3 a) (Giguère *et al.* 1995 et 2005; Harvey *et al.* 1995b et 1997). Des filières avec des lignes de collecteurs attachés en V sur la ligne porteuse sont également utilisées pour la collecte commerciale et pour certains travaux expérimentaux (Annexe 4) (Leslie-Anne Davidson, MPO-Moncton, comm. pers.). Dans la majorité des pays, on utilise des lignes de collecteurs placées à la verticale à partir de la ligne porteuse de la filière dans le cadre de travaux expérimentaux (Thouzeau 1991 a, b; Burnell *et al.* 1995; Chauvaud *et al.* 1996; Parsons *et al.* 1998; Fréchette *et al.* 2000; Giguère *et al.* 2005; Leslie-Anne Davidson, MPO-Moncton, comm. pers.) (Annexe 3 b, c).

Aux Îles de la Madeleine, le filet maillant a servi de substrat synthétique pour capter le naissain de pétoncles de 1990 à 1995 mais a été remplacé depuis 1995 par le Netron<sup>TM</sup>. Les collecteurs commerciaux (Annexe 2 M-2) et expérimentaux utilisés aujourd'hui sont constitués d'un sac en polyéthylène (38 x 80 cm) à mailles de 2 mm contenant trois à quatre sections (1 section = 40 x 80 cm; maillage de 5 mm) d'un treillis de plastique tubulaire du type Netron<sup>TM</sup> sur lesquels se fixent les post-larves. Ces collecteurs sont habituellement immergés entre deux et huit mètres du fond (Annexe 4) entre le début septembre et le début du mois d'octobre, soit trois à cinq semaines après le début de la ponte du pétoncle géant.

### 1.3 PROBLÈME DE LA FIXATION D'ESPÈCES INDÉSIRABLES SUR LES COLLECTEURS DE PÉTONCLES

#### 1.3.1 *Habitat et cycle vital du pétoncle géant et des espèces associées*

La plupart des espèces marines d'invertébrés benthiques dans les latitudes tempérées ont un cycle vital qui passe par une phase larvaire pélagique d'une durée de quelques jours à plusieurs mois (Thorson 1964; Culliney 1974; Packer *et al.* 1999; Pouliot *et al.* 1995; Harvey *et al.* 1995 b) avant de se fixer sur un substrat, se métamorphoser en juvénile et commencer leur vie benthique. Le cycle est sensiblement le même pour les espèces de bivalves. Lors de leur ponte, les gamètes sont libérés dans l'eau et la fécondation externe se fait au hasard des rencontres entre œufs et spermatozoïdes. L'œuf fécondé (70  $\mu\text{m}$  chez le pétoncle géant) prend quelques heures pour atteindre le premier stade larvaire. L'embryon s'allonge et l'apparition de cils apicaux lui permet alors de commencer à nager librement (vie pélagique). C'est le stade trochophore. Par la suite, les cils apicaux s'atrophient tandis qu'apparaît un voile muni de cils, le velum (servant pour la locomotion et l'alimentation). La larve prend aussi la forme d'un «D» et atteint ainsi le stade D-véligère (environ 100-110  $\mu\text{m}$  de longueur chez le pétoncle géant) (Annexe 5A). Le stade suivant, umbo-véligère, se caractérise par la régression du velum (taille de 175  $\mu\text{m}$  chez le pétoncle géant) (Annexe 5E). La larve atteint finalement le stade pédi-véligère (taille de 230-270  $\mu\text{m}$  chez le pétoncle géant) (Annexe 5H) avec le développement d'un pied qui lui permettra d'explorer le substrat de fixation et de sécréter des filaments de byssus pour s'attacher à une surface dure. À ce

stade, la larve est physiologiquement prête à se fixer et à commencer sa vie benthique (Culliney 1974; Cragg et Crisp 1991; Dwiono 1992; Le Pennec *et al.* 2003). Les larves quittent alors la colonne d'eau pour se diriger vers les fonds où se trouvent des substrats de fixation. Il s'écoule donc un certain temps entre la ponte et la fixation des larves pédi-véligères sur le substrat (Culliney 1974). Après sa fixation (250–300 µm chez le pétoncle géant), la larve se métamorphose et prend l'apparence d'un adulte en miniature qu'on appelle naissain (Culliney 1974).

#### 1.3.1.1 *Pétoncle géant*

Le pétoncle géant, *P. magellanicus*, vit sur la côte atlantique de l'Amérique du Nord sur des fonds sableux à graveleux, graveleux à caillouteux, rocheux ou de coquillages jusqu'à 120 m de profondeur (Bousfield 1964; Caddy 1968; Rehder 1981; Naidu *et al.* 1989; Thouzeau 1991 a, b; Couturier *et al.*, 1995; Packer *et al.* 1999). Certaines populations vivent à des profondeurs de 170 à 180 m (Barber *et al.* 1988). D'après Naidu (1991), le pétoncle géant vivant à des profondeurs de plus de 50 m ne tolère pas les températures supérieures à 20°C. Aux Îles de la Madeleine, le prélevage et l'élevage des pétoncles se déroulent dans des lagunes (10 m max.) où la température de l'eau peut dépasser légèrement 20-21 °C (Myrand *et al.* 2000) pendant une période de quelques jours à quelques semaines durant l'été sans que cela ne semble affecter les pétoncles. Plusieurs études ont établi que la température létale du pétoncle géant se situe entre 20-24 °C (Dickie 1958; Stewart et Arnold 1994; Frenette 2004). Johannes (1957)

et Dickie (1958) nous informent que la mortalité due à la température varie en fonction de la température à laquelle les pétoncles ont été acclimatés.

La période d'émission des gamètes du pétoncle géant peut varier légèrement d'une année à l'autre. Aux Îles de la Madeleine, elle débute généralement entre le début août et la mi-septembre. Les pétoncles peuvent atteindre leur maturité sexuelle à partir de leur deuxième année (Black *et al.* 1995; Couturier *et al.* 1995; Davidson 1998) mais ces individus contribuent peu à l'effort reproducteur de l'espèce tandis qu'une femelle d'une taille de 130 mm peut produire  $4,5 \times 10^7$  œufs (Couturier et Newkirk 1991; Couturier *et al.* 1995). Le nombre d'œufs d'une femelle varie de façon exponentielle avec sa taille mais aussi d'une année à l'autre. Ainsi, Langton *et al.* (1987) ont observé  $1 \times 10^6$  œufs provenant d'un pétoncle de 50 mm et  $29 \times 10^6$  œufs d'un pétoncle de 100 mm en 1982 tandis qu'en 1984, des pétoncles de 30 et 100 mm avaient produit  $1 \times 10^6$  œufs et  $50 \times 10^6$  œufs, respectivement.

Généralement, les larves (Annexe 5) en milieu naturel ne deviennent compétentes pour la métamorphose qu'avec l'atteinte d'une taille de 230 à 290  $\mu\text{m}$  (Culliney 1974; Naidu *et al.* 1989; Pouliot *et al.* 1995; Pearce et Bourget 1996) ce qui signifie une durée larvaire approximative de 35 jours à 15°C en écloserie (Culliney 1974; Young-Laï et Aiken 1986; Dabinett et Couturier 1994; Jean Côté, Pecnord, comm. pers.). De leur côté, Beaulieu et Cliche (1989) ont noté en laboratoire aux Îles de la Madeleine que les larves D-véligères avaient atteint le stade pédi-véligère en 34 jours à une température moyenne de 13 °C. La vie larvaire du pétoncle peut durer plus de 50 jours si la quantité de

nourriture disponible pour les larves est insuffisante (Gallager *et al.* 1996). Les larves peuvent aussi retarder leur fixation jusqu'à au moins un mois si un substrat approprié n'est pas disponible (Culliney 1974). Les substrats recherchés en milieu naturel sont: les algues rouges filamenteuses (Naidu 1970), les bryozoaires (Baird 1953), les hydrozoaires (Harvey *et al.* 1993, 1995a) et les grains de sable (Culliney 1974; Couturier *et al.* 1995). La distribution du naissain est probablement reliée au patron des courants de surface durant la phase pélagique (Young-Laï et Aiken 1986). Ainsi, les larves, produites par les géniteurs sur le Fond du Sud-Ouest (est des Îles de la Madeleine) pourraient être retenues sur place jusqu'au moment de la métamorphose grâce à un courant giratoire (Giguère *et al.* 1995; Giguère et Cliche 1996; Brulotte *et al.* 2003). Ceci expliquerait le bon succès de collecte obtenu dans ce secteur malgré une population naturelle peu abondante.

#### 1.3.1.2 *Espèces associées*

La moule bleue, *Mytilus edulis*, vit sur des rivages rocaillieux, le long des côtes, des baies et à l'embouchure des cours d'eau, où elle s'attache à des substrats solides comme des pieux de quai, des algues filamenteuses ou des rochers (Bousfield 1964; Rehder 1981). Dans les lagunes des Îles de la Madeleine, les moules sont généralement prêtes à pondre à la fin du printemps et le frai a lieu entre la mi-mai et la fin du mois de juin (Mallet et Myrand 1995). Une ponte secondaire peut également se produire à tout moment jusqu'à la fin août (Mallet et Myrand 1995). En milieu ouvert, la ponte peut être plus tardive, soit entre juillet et octobre (Bourque *et al.* 2005). Quand les moules sont

prêtes à pondre, la libération des gamètes peut être déclenchée par plusieurs facteurs comme, par exemple, une hausse de la quantité de nourriture disponible, un changement rapide (hausse ou baisse) de la température, une perturbation physique (marées, vents, courants marin) (Mallet et Myrand 1995). Le cycle larvaire est le même que celui du pétoncle géant. Les larves (Annexe 6) restent dans la colonne d'eau pendant trois à quatre semaines. À la métamorphose, la moule allonge son pied et secrète les filaments de byssus pour se fixer sur des substrats solides. Dans les collecteurs de pétoncles, les moules s'accrochent sur le sac, le substrat de collecte ou sur les autres organismes dans le collecteur. Elles peuvent s'agglutiner sur les pétoncles et les emprisonner dans leur byssus (Claereboudt *et al.* 1994b). Elles peuvent lier la valve supérieure et la valve inférieure ensemble et inhiber les fonctions respiratoires et alimentaires (Ross *et al.* 2002) des pétoncles juvéniles. En grande quantité, les moules peuvent occasionner un ralentissement de la croissance des pétoncles agglutinés et provoquer la mort (Claereboudt *et al.* 1994b).

La hiatelle arctique, *Hiatella arctica*, vit dans les fissures des roches, sous des pierres ou dans des excavations dans le sable, la vase, l'argile (Bousfield 1964; Rehder 1981), des substrats à gros grains ou pierreux (Sejr *et al.* 2002). On peut la retrouver en zone intertidale comme en eaux profondes. Aux Îles de la Madeleine, des larves ont déjà été observées en milieu ouvert de la mi-août jusqu'à la fin-septembre (Aucoin *et al.* 2003). Comme pour le pétoncle et la moule, elle se fixe sur un substrat avant de compléter sa métamorphose et entreprendre sa vie benthique. Plusieurs aspects de son

cycle de vie (Annexe 7) sont encore méconnus aux Îles de la Madeleine comme le moment de la ponte, la durée de vie larvaire et les pics de fixation.

Les anomies, *Anomia aculeata* et *Anomia simplex*, se fixent aux rochers, à d'autres coquillages, à des coques de bateau et aux quais à partir de la zone intertidale jusqu'à 600 mètres de profondeur (Bousfield 1964; Rehder 1981). Aux Îles de la Madeleine, des larves ont déjà été observées en milieu ouvert du mois d'août au mois d'octobre (Aucoin *et al.* 2003). La fixation des larves sur les collecteurs de pétoncle survient à peu près en même temps que le pétoncle géant. Les informations sur le moment de la ponte et la durée de la période de vie larvaire (Annexe 8) ne sont pas disponibles.

L'étoile de mer, *Asterias vulgaris*, se retrouve sur des fonds rocheux, graveleux, sableux à partir de la zone des basses marées jusqu'à 350 mètres de profondeur (Gosner 1979; Fontaine 1992). Des larves d'étoiles ont déjà été observées aux Îles de la Madeleine en milieu ouvert de la mi-juillet à la mi-septembre (Aucoin *et al.* 2003). En 2000, des étoiles de mer se sont fixées sur les collecteurs entre le début et la fin du mois de septembre tandis qu'en 2001, il y a eu deux pics de fixation soit au début du mois d'août et à la mi-septembre (Nadeau *et al.* 2003). Lors de la ponte des étoiles de mer *A. vulgaris*, les gamètes sont libérés dans l'eau et la fécondation se fait au hasard. Une femelle peut pondre 2 500 000 œufs (Barnes 1987). Après la fécondation, il y a formation d'une larve primitive planctonique qui passe par les stades blastula et gastrula en quelques jours (Annexe 9). Les cellules du stade blastula possèdent des cils extérieurs, ce qui lui permet de nager dans la colonne d'eau. Après quelques semaines,

elle atteint le stade de la larve bipannaria. Munie d'une bande ciliée périphérique, elle prend une forme plus élaborée avec des bras plus ou moins longs. La larve passe ensuite au stade brachiolaria et atteint alors une taille d'environ 800 µm. L'extrémité postérieure de la larve se transforme alors et le corps de l'étoile *A. vulgaris*, muni de cinq bras embryonnaires commence à prendre forme. Après ce stade, la larve peut se fixer sur un substrat adéquat. Après la fixation, la larve se métamorphose et prend progressivement la forme d'une étoile juvénile (Barnes 1987; Parmentier 1995). La durée des différentes étapes, à partir de l'oeuf jusqu'à la forme d'étoile miniature, s'étend sur une période d'environ deux mois selon la température de l'eau (Aucoin *et al.* 2003).

### 1.3.2 Pertes de pétoncles sur les collecteurs commerciaux

Le moment d'immersion des collecteurs est un élément important à considérer pour optimiser la collecte des pétoncles et minimiser celle des espèces associées indésirables. Autour des Îles de la Madeleine, les collecteurs sont généralement immergés en septembre et récupérés entre septembre et novembre de l'année suivante (Annexe 1). Les jeunes pétoncles demeurent alors dans les collecteurs pendant une période assez longue pour leur permettre d'atteindre une taille suffisante (> 6 mm) avant de les mettre en paniers de pré-élevage. Durant cette période, d'autres organismes ayant une phase larvaire planctonique comme *Mytilus edulis*, *Hiatella arctica*, *Anomia* sp. et *Asterias vulgaris* se fixent aussi sur les collecteurs. En croissant, ces organismes peuvent: i) entrer en compétition avec les jeunes pétoncles pour la nourriture et l'espace et ralentir leur croissance (Parsons 1994; Fréchette *et al.* 2000); ii) agir comme



prédateurs (*A. vulgaris*) (Naidu et Scaplen 1979; Naidu *et al.* 1981; Nadeau et Cliche 2002; Nadeau *et al.* 2003) ou iii) réduire la circulation d'eau à travers le collecteur et par conséquent, réduire l'apport en nourriture et oxygène (Claereboudt *et al.* 1994 a, b). L'augmentation importante du poids des collecteurs due à l'abondance de ces organismes peut aussi diminuer suffisamment la flottabilité des lignes porteuses pour les entraîner vers le fond ce qui peut causer le frottement des collecteurs sur le fond, et éventuellement leur bris. Ces organismes, lorsqu'ils sont abondants, sont en partie responsables: i) des pertes importantes de pétoncles causées par l'entassement des organismes qui se décrochent du substrat et s'accumulent dans le fond des collecteurs et ii) du ralentissement des opérations de manutention et de nettoyage ce qui augmente les coûts d'opération et réduit la rentabilité de l'entreprise (Denyse Hébert, Pétoncles 2000, comm. pers.). Les pertes de pétoncles sur les collecteurs ont été estimées entre 50 et 97 % entre novembre 2000 et octobre 2001 (Cyr *et al.* 2003).

Les travaux réalisés au cours des dernières années indiquent que peu de pertes surviennent avant la fin de l'été qui suit la collecte, i.e. entre octobre et août (Nadeau *et al.* 2003). Quand elles surviennent, les pertes printanières (entre mai et juillet) pourraient être dues essentiellement au mouvement des collecteurs lors de tempêtes de vent. Ce mouvement pourrait entraîner le détachement des pétoncles qui sont encore de très petite taille à cette période. Or, les individus de taille inférieure à 3,5 mm peuvent passer à travers les mailles du sac (3 mm) (Nadeau *et al.* 2003). Par contre, les pertes majeures qui surviennent à la fin de l'été et à l'automne (août - septembre) pourraient plutôt être

causées par la présence des organismes indésirables dans les collecteurs qui ont poursuivi leur croissance eux aussi.

### 1.3.3 Études antérieures réalisées aux Îles de la Madeleine sur les espèces associées

Tous les ans, des espèces indésirables se fixent en plus ou moins grande abondance sur les collecteurs de pétoncle géant aux Îles de la Madeleine. En 1998, les étoiles de mer (*A. vulgaris*) ont causé une mortalité élevée du naissain dans les collecteurs (Cliche et Cyr 2000). En 2001, la surabondance des bivalves *M. edulis* et *H. arctica* dans les collecteurs a également causé beaucoup de mortalité. Un nombre important de collecteurs avait alors traîné sur le fond en raison de l'augmentation de leur poids résultant de la croissance des nombreux organismes associés (Denyse Hébert, Pétoncles 2000, comm. pers.). Les études réalisées jusqu'à présent sur la fixation d'espèces indésirables dans les collecteurs de pétoncles ont démontré que les hiattelles (*H. arctica*) se distribuaient uniformément dans l'ensemble de la colonne d'eau tandis que la moule bleue (*M. edulis*) se retrouvait de préférence dans les eaux de surface (Cliche et Giguère 1998; Brulotte et Giguère 2005). Le patron de fixation des étoiles de mer varie d'une année à l'autre. En 2000, elles se sont fixées en plus grande abondance à 10-15 m de profondeur qu'à 20 et 25 m sur un site dont la profondeur totale était d'environ 30 mètres (Nadeau *et al.* 2003). L'année suivante, au même site, les étoiles de mer se sont fixées de façon assez uniforme dans les collecteurs placés sur toute la hauteur de la colonne d'eau (Nadeau *et al.* 2003). Une analyse détaillée des résultats obtenus dans le cadre de travaux réalisés sur le captage depuis 1991 (Brulotte et Giguère

2005) a démontré qu'il n'était pas possible de réduire de façon fiable et significative la fixation des principales espèces indésirables tout en assurant une bonne collecte de jeunes pétoncles en faisant varier la profondeur d'immersion des collecteurs.

Lors du nettoyage des collecteurs en usine, une grande partie des espèces indésirables peut être éliminée par la trieuse mécanique. D'après certaines observations des producteurs (Denyse Hébert, Pétoncles 2000, comm. pers.), le taux de récupération des pétoncles peut varier en fonction du moment de la mise à l'eau des collecteurs. L'immersion des collecteurs plus tard dans la saison pourrait permettre d'éviter en partie les pics de fixation des principales espèces indésirables tout en permettant de récupérer suffisamment de pétoncles pour que les opérations pectinicoles soient rentables.

À l'automne 2002, près du site de collecte commercial du Pearl Reef, des travaux préliminaires ont été réalisés pour documenter la fixation des espèces indésirables en fonction de la période d'immersion des collecteurs. Il semble qu'il aurait été possible, grâce aux informations fournies par les suivis d'abondance larvaire, de retarder la mise à l'eau des collecteurs pour éviter un pic de fixation de jeunes hiatelles et ainsi en réduire l'abondance parmi les pétoncles (Cliche et Cyr 2005). Certaines informations étaient toutefois manquantes sur la période de ponte, la durée de vie larvaire et le pic de fixation des principales espèces indésirables (*H. arctica*, *M. edulis*, *A. vulgaris* et *Anomia spp*) dans les collecteurs. De plus, les données obtenues ne concernaient qu'une seule année d'observation ce qui ne permettait pas d'apprécier la variabilité inter-annuelle. C'est à

partir de ces résultats préliminaires que la présente étude, plus élaborée, a été effectuée au même site en 2003-2004.

#### 1.4 OBJECTIFS DU PROJET DE RECHERCHE

L'objectif principal de ce projet de recherche était d'évaluer s'il était possible de déterminer la meilleure période d'immersion des collecteurs de pétoncles géants pour réduire l'abondance des espèces indésirables tout en maintenant une bonne collecte de naissain de pétoncles. Les objectifs spécifiques étaient: i) de déterminer la période de ponte du pétoncle géant; ii) d'évaluer si un suivi de l'abondance larvaire (quantité de larves retrouvées dans la colonne d'eau) et un suivi du pic de collecte (naissain qui se fixe sur les collecteurs immergés pendant une semaine) peuvent servir d'outils pour cibler une fenêtre optimale d'immersion des collecteurs; iii) d'évaluer l'abondance, la survie et la croissance du pétoncle géant dans les collecteurs et iv) de suivre l'évolution de l'abondance et la taille des principales espèces indésirables (*H. arctica*, *M. edulis*, *Anomia* spp. et *A. vulgaris*) retrouvées à l'intérieur les collecteurs immergés à différentes périodes.

#### 1.5 HYPOTHÈSES DE RECHERCHE

Les hypothèses de recherche étaient:

**H<sub>1</sub>** : Les pics de fixation de certaines espèces indésirables précèdent celui du pétoncle géant.

**H<sub>2</sub>** : L'immersion des collecteurs peut être retardée pour réduire substantiellement la présence des espèces indésirables tout en obtenant une quantité acceptable de jeunes pétoncles.

**H<sub>3</sub>** : Le taux de récupération des pétoncles après une année de grossissement sur les collecteurs est plus élevé quand on peut limiter l'abondance des espèces indésirables.

**H<sub>4</sub>** : Il est possible d'identifier la meilleure période de mise à l'eau des collecteurs à partir d'un suivi d'abondance larvaire et/ou de l'identification des pics de collecte du pétoncle et des espèces indésirables.

**CHAPITRE 2: LARVAL ABUNDANCE OF SEA SCALLOP (*Placopecten magellanicus*) AND UNDESIRABLE SPECIES AS A MEANS TO PREDICT THE DEPLOYMENT PERIOD OF SCALLOP SPAT COLLECTORS**

**Carole Cyr<sup>1,2</sup>, Gaston Desrosiers<sup>2</sup>, Bruno Myrand<sup>1</sup>, Georges Cliche<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Centre maricole des Îles de la Madeleine,  
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries  
et de l'Alimentation du Québec,  
107-125 Chemin du parc, Cap-aux-Meules,  
G4T 1B3*

*<sup>2</sup>Institut des sciences de la mer de Rimouski (ISMER),  
Rimouski, Québec,  
G5L 3A1*

## ABSTRACT

Overabundant settlement of undesirable organisms in scallop collectors can i) negatively affect survival rate and growth of young scallops; ii) increase time to handle and clean collectors; iii) slow sorting operations and iv) increase production costs. In 2003-2004, a study was realized in the Îles de la Madeleine (Gulf of St. Lawrence, Canada) to evaluate if it is possible to predict ideal deployment date for collectors to reduce the abundance of undesirable species while maintaining an abundant collection of scallop spat. After the adult initiated their spawning, determined by gonadosomatic index monitoring, the larval abundance of scallop and undesirable species was followed up by weekly sampling. This procedure was evaluated to determine if it could help to target the best deployment time of collectors. Other test collectors were deployed weekly between the third and eighth week following spawning initiation and retrieved in December to evaluate cumulative collection for six different deployment periods. Very few larvae ( $> 200 \mu\text{m}$  shell height) of scallop and hiatella were observed. Scallop larvae are always in very low abundance whereas this species is often the most abundant in the collectors. Thus, it was not possible to establish any relation between larval abundance and the collecting rates observed. Larval densities of undesirable species were more related to their abundance in collectors. Based on results from larval samples, growers could decide to delay collector deployment by a few days to reduce the settlement of undesirable organisms in the collectors while maintaining a good rate in the scallop collection. In 2003, it would have been possible to reduce the abundance of the mussels on the collectors while in 2004 the hiatellas could have been reduced by half.

## 2.1 INTRODUCTION

The development of scallop culture began in the early '90s in Îles de la Madeleine in response to a marked decline of the sea scallop (*Placopecten magellanicus*) populations that started in 1970 as a result of over-fishing operations (Cliche *et al.* 1997). A research and development program called «REPERE» (REcherche sur le Pétoncle à des fins d'Élevage et de REpeuplement) was implanted in 1990 to provide the required knowledge of culture techniques to restore the scallop populations (Giguère *et al.* 1995). The information obtained from the REPERE program was transferred to the

local scallop fishermen who formed a company, “Pétoncles 2000”, for stock enhancement activities. Culture techniques developed in Japan for *Patinopecten yessoensis* have been adapted for *P. magellanicus* (Cliche *et al.* 1997). Wild spat is obtained by suspending artificial collectors in open waters. The collected spat is grown in pearl nets suspended in the sheltered and warm lagoons of the Îles de la Madeleine before being seeded as juveniles (20-35 mm) on the fishing grounds. They are fished with drags after a growing period of four years on the sea bottom.

A reliable and abundant spat supply is obviously of great importance for aquaculture activities (Naidu and Scaplen 1979; Cliche and Giguère 1998; Dadswell 2000). In the Îles de la Madeleine, spat collectors are deployed three to five weeks after the onset of sea scallops spawning. A drop in the gonadosomatic index indicates that the scallops begin to spawn. This event usually occurs in late August in Îles de la Madeleine. Collectors are made up with 2-mm mesh bags (38 x 80 cm) each filled with three sections of plastic mesh tubes (40 x 80 cm; 5-mm mesh size) called Netron™ (Cliche and Cyr 2005). Series of spat collectors are suspended between 2 and 8 m above the seabed on anchored longlines located in a 30 m deep area in open sea. The spat collectors are left immersed for about one year as they are retrieved in the following October. Each collector contains 2000-7000 scallops three months after deployment (Cliche *et al.* 2005). However, undesirable organisms (*Mytilus edulis*, *Hiatella arctica*, *Anomia* sp., *Asterias vulgaris*) also settle in the collectors along with young scallops and heavy losses are observed when collectors are retrieved. These undesirable organisms may slow down scallop growth (competition for food and space) and/or increase scallop



mortality (predation and packing) (Dadswell 2000; Ross *et al.* 2002). When abundant, these undesirable organisms add extra weight on the longlines, thus decreasing their buoyancy (Dadswell 2000). In some cases, collectors end up laying down on the bottom where they are damaged due to chafing and scallops can escape or be eaten by benthic predators (crabs and seastars). Also, handling and cleaning of collectors is impeded when unwanted organisms are abundant thus increasing the labour costs.

In autumn 2002, a preliminary study about the abundance of undesirable species according to the collector deployment date was conducted near the spat collection commercial site (Figure 2.1). On this site, larval abundance of scallops and undesirable species was monitored weekly. Preliminary results alluded to the possibility of reducing *H. arctica* abundance in the collectors by delaying the deployment of collectors thus avoiding a settlement peak for this species (Cliche and Cyr 2005). In 2003 and 2004, the present study looked at plankton surveys as a possible tool to predict the best timing for collector deployment to reduce the presence of undesirable organisms while keeping an abundant sea scallop spat collection. Specific objectives were: i) to evaluate if monitoring for larval abundance of scallops and undesirable species are useful to predict an optimal collector deployment period; ii) to characterize the spat collection of scallops and undesirable species in relation to the timing of the collectors deployment following the initiation of sea scallop spawning.

## 2.2 MATERIALS AND METHODS

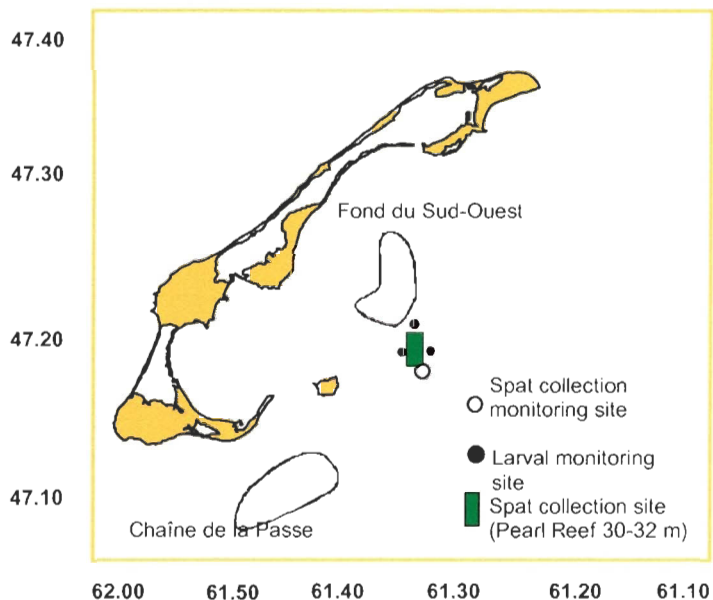
### 2.2.1 Study area and environmental conditions

The experimental study was conducted in 2003 and 2004 in open waters off the Îles de la Madeleine in southern Gulf of St. Lawrence (Canada) near the spat collection site used by the scallop growers on the Pearl Reef (water depth: 30-32 m) (Figure 2.1).

Environmental parameters were measured in parallel to larval abundance monitoring. From June to December of both years, water temperature was recorded continuously at 2, 8 and 15 meters above the bottom using a Vemco and two Hobo temperature recorders while

current speed and direction were monitored at 2 m above the bottom with a S4 current recorder. The temperature and S4 current recorders were immersed near the spat collection site of Pearl Reef.

During the same sampling period weekly seawater samples were taken with a submersible pump between 2



**Figure 2.1. Location of experimental sites for sea scallop spat collection and larval abundance of commercial spat collection sites and of scallop fishing grounds (Fond du Sud-Ouest and Chaîne de la Passe) in Îles de la Madeleine, Québec**

and 8 m above the bottom and between 0 and 15 m from the surface to determine chlorophyll-*a* concentrations as described by Parsons *et al.* (1984). Chlorophyll-*a* analyses were performed with 500 ml triplicates.

### 2.2.2 *Spawning period of the sea scallop*

The spawning period of the sea scallop was investigated by monitoring the gonadosomatic index (GSI) calculated as the percent ratio of the gonad (wet weight) relatively to the remaining soft parts (wet weight) in individuals > 90 mm as suggested by Bonardelli *et al.* (1996). Weekly samples of 20 scallops (female: male ratio = 1) were collected with Digby dredges at a depth of 28-30 m from the two main natural beds of wild scallops on Chaîne-de-la-Passe (CP) and Fond du Sud-Ouest (FSO) (Figure 2.1), between the end of July and mid-September in both 2003 and 2004.

### 2.2.3 *Larval abundance monitoring*

In 2003, larval samples were taken weekly between July 4 and October 29 at three stations on the Pearl Reef (Figure 2.1) with a plankton net (mesh size = 80  $\mu\text{m}$ ; aperture = 0.785  $\text{m}^2$ ) towed vertically from 15 m deep to the surface. In addition, a known volume (1000–1100 liters) of seawater was sampled at the same stations with a submersible pump (flow = 16.1 L / sec) moved regularly back and forth between 2 and 8 m above the bottom which is the depth where the commercial collectors are located. In 2004, the larval monitoring was performed between August 2 and November 8 only by pumping water from 2-8 m above the bottom. Plankton samples were kept in seawater

since larvae of *P. magellanicus*, and of four undesirable species: *H. arctica*, *M. edulis*, *Anomia* spp. and *A. vulgaris* (Brulotte and Giguère 2005; Cliche and Cyr 2005) were identified and counted within 24 hours of collection. A random sub-sample of 30 larvae for each species at each station was also measured weekly (the longest axis for bivalves and the arm length for seastars) at 100 x under a stereomicroscope analyzer Bioquant IV Leica. All larvae of a given species were measured when their number was < 30 in the sample.

In 2004, an experiment was added to compare the abundance of these species found between 0 and 15 m from the surface and between 2 and 8 m above the bottom while using a submersible pump. On 3 occasions (August 23, September 22, October 25), a known volume of seawater (between 1000 and 1100 L) was obtained from the three same stations with a submersible pump moving regularly back and forth at each depth.

### 2.2.3 Cumulative spat collection monitoring

The larval monitoring and particularly the presence of pediveliger larvae in samples may predict the settlement of scallops and undesirable species in test collectors. To characterize how the timing of immersion influences spat collection, a series of five tagged test collectors was deployed weekly for six consecutive weeks (5 collectors / week x 6 weeks) starting three weeks after spawning was initiated (September 15 in 2003, September 22 in 2004). Collectors were suspended to a longline at two meters above the bottom on the Pearl Reef. Collectors were retrieved on December and cleaned

individually in the laboratory using a high-pressure water jet. The recovered material retained on a 250- $\mu\text{m}$  mesh sieve was then preserved in 95 % ethanol until further analysis. The sea scallops (*P. magellanicus*) as well as four undesirable species (3 molluscs: *M. edulis*, *H. arctica*, *Anomia sp.*, and 1 echinoderm: *A. vulgaris*) found in each collector were all counted. A sub-sample of 30 specimens from each species inside each collector was also measured.

#### 2.2.4 Statistical analysis

Chlorophyll *a* was analyzed with two-way factorial ANOVAs with date of sampling and depth as main factors. The GSI of adult sea scallops was analyzed with a three-way factorial ANOVA with year (2003 and 2004), origin (CP and FSO) and date of sampling as main factors.

For the larval monitoring count data of each species (*P. magellanicus*, *M. edulis*, *H. arctica*, *Anomia sp.* and *A. vulgaris*) were analyzed with two-way factorial ANOVAs with date of sampling and depth (between 0 and 15 m from the surface; between 2 and 8 m above the bottom) as main factors. Because there were significant interactions between depth and sampling date, ANOVAs or Kruskal-Wallis tests were done to compare the species abundance among sampling dates for each depth taken separately. Count data of *H. arctica* and *Anomia sp.* larvae were compared among sampling dates with a one-way ANOVAs followed by a posteriori comparisons using Tukey's procedure. In 2003, for the two depths (between 0 and 15 m from the surface and between 2 and 8 m above the bottom), count data of *P. magellanicus*, *M. edulis* and *A.*

*vulgaris* were analyzed with the non-parametric Kruskal-Wallis test because the hypothesis of normality could not be satisfied. In 2004, only count data of *M. edulis* was analyzed with the Kruskal-Wallis test.

For the cumulative collection monitoring, count data of each species (*P. magellanicus*, *M. edulis*, *H. arctica*, *Anomia* sp. and *A. vulgaris*) were analyzed with one-way ANOVAs with deployment date as main factor to evaluate at which deployment date the abundance of each species is the highest. When significant differences were detected, a *post hoc* test was performed using Tukey's procedure.

## 2.3 RESULTS

### 2.3.1 Environmental conditions

There were strong seasonal fluctuations in water temperature for both years. In 2003 water temperature was inversely related to depth up to the end of August (Figure 2.2A) with maximum temperatures of 16 °C at 15 m above the bottom and 12 °C at 2 m above the bottom. Up to this time, the near bottom (2 and 8 m) temperature was at least 2-4 °C lower than the temperature at 15 m above the bottom. The sharp temperature increase, from 4 to 16 °C, measured at 2 and 8 m above the bottom in late August (23-27 August) was due to the mixing of the water column. In early November, temperature at 2 m above the seabed was 2-3 °C higher than at 8 and 15 m above the bottom. The pattern was different in 2004 as water temperature was warmer at 2 m above the bottom

up to late July (Figure 2.3A). Between mid-August and mid-September, the temperature was similar at 2 and 8 m above the bottom. Afterwards, temperature became similar at 8 and 15 m above the bottom. Temperature at 2 m above the bottom showed a major and prolonged increase (from 8 to 16 °C) starting in mid-September and remained mostly higher than at 8 and 15 m above the bottom until mid-November. In 2003, temperature at 15 m above the bottom was higher for a longer period of time (values of 16 °C between late July to late August) than in 2004 (mid-August).

In 2003 and 2004, the chlorophyll-*a* concentrations showed irregular patterns and there were significant interactions between the date of sampling and depth (Table 2.1). In 2003, chlorophyll-*a* concentrations were usually higher between 2 and 8 m above the bottom before late September (Figure 2.2B). In 2004, chlorophyll-*a* concentrations increased from  $0.49 \pm 0.01$  to  $1.37 \pm 0.02$  µg/L between August 23 and September 9 (Figure 2.3B). This period coincided with the spawning period of sea scallop.

**Table 2.1. Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of sampling date and depth (from the surface vs above the bottom) on chlorophyll-*a* in 2003 and 2004.**

Year	Source of variation	df	<i>F</i>	<i>p</i>
2003	Sampling date	17	168.742	<0.0001
	Depth	1	274.216	<0.0001
	Sampling date * Depth	17	46.605	<0.0001
	Error	73		
2004	Date of sampling	14	167.841	<0.0001
	Depth	1	0.103	0.75
	Sampling date * Depth	14	124.793	<0.0001
	Error	60		

Note: df: degrees of freedom

During the weekly larval monitoring (from August 26 to November 5, 2003 and from September 9 to November 18, 2004), current speed at 2 m above the bottom on Pearl Reef varied from 0 to 28 cm s<sup>-1</sup>. Currents came toward northeast to southwest with a dominant South-West direction at 2 m above the bottom (Figures 2.4 and 2.5). Mean speed currents for all directions were of 8.1 cm s<sup>-1</sup> in 2003 and 7.9 cm s<sup>-1</sup> in 2004.

### *2.3.2 Spawning period of the sea scallop*

In 2003, spawning was relatively synchronous on both natural beds. Scallops from both beds initiated spawning between the August 19-26 samplings and it was completed by September 15 (Figure 2.6). Spawning was initiated later in 2004 as the GSI began to drop between the August 30 and September 8 samplings on Fond de Sud-Ouest (FSO) bed and between the August 25-30 samplings on Chaîne de la Passe (CP) bed. Spawning was over on September 14 on both beds (Table 2.2, Figure 2.6). In 2004, the spawning period was shorter than 2003 for both beds. Both years the maximal GSI reached just before spawning was higher for the scallops from the FSO bed than for those from the CP bed (2003:  $F_{(1,38)}=4.28, p=0.045$ ; 2004:  $F_{(1,38)}=5.97, p=0.02$ )



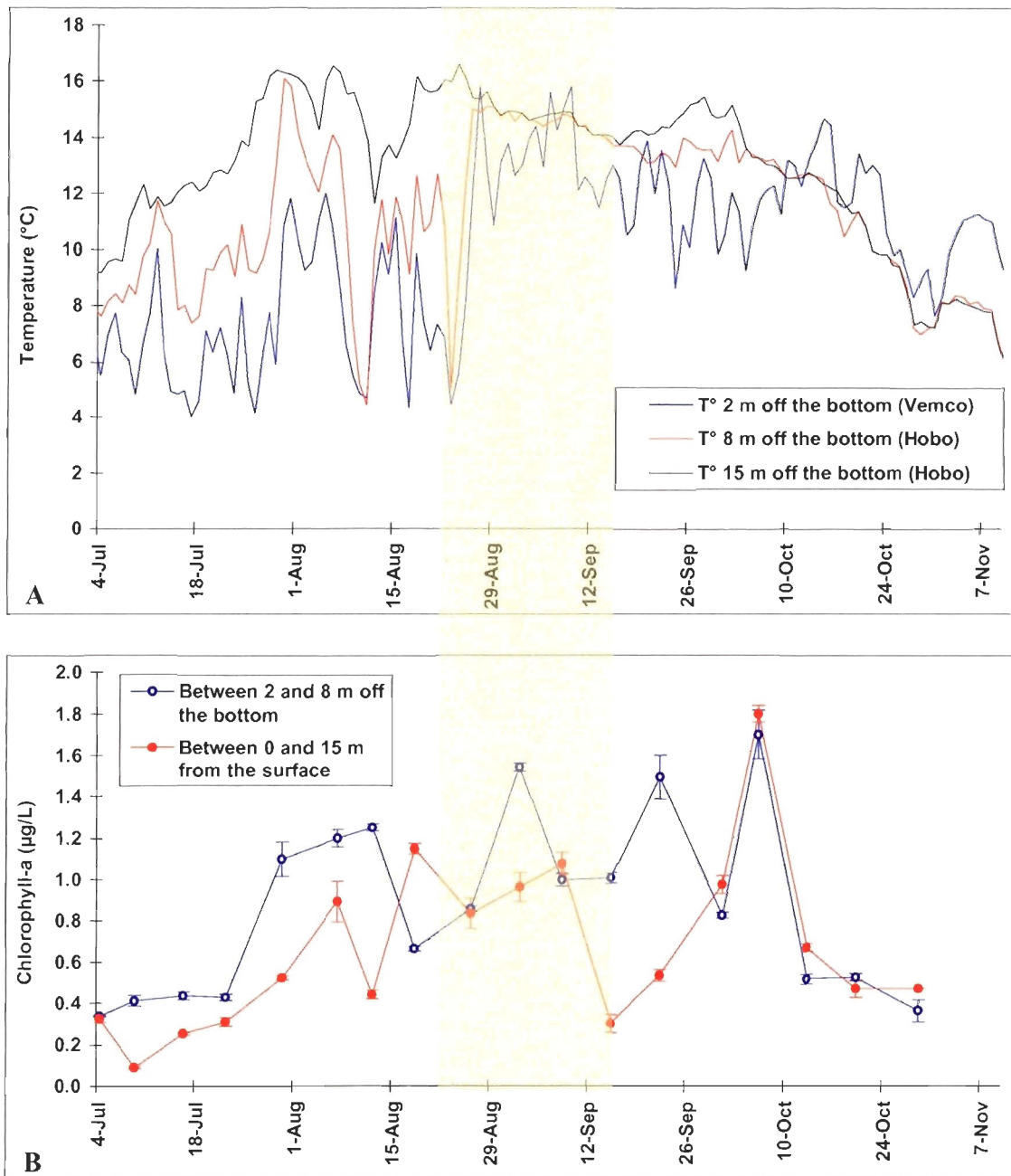


Figure 2.2. A) Daily mean temperature at 2 m (Vemco), 8m (Hobo) and 15 m (Hobo) above the bottom B) Chlorophyll-a (mean  $\pm$  s.e.) between 0 and 15 m from the surface and between 2 and 8 m above the bottom in the study area, the Pearl Reef, in 2003. Shaded area indicates period spawning of *Placopecten magellanicus* on Fond du Sud-Ouest and Chaîne de la Passe beds.

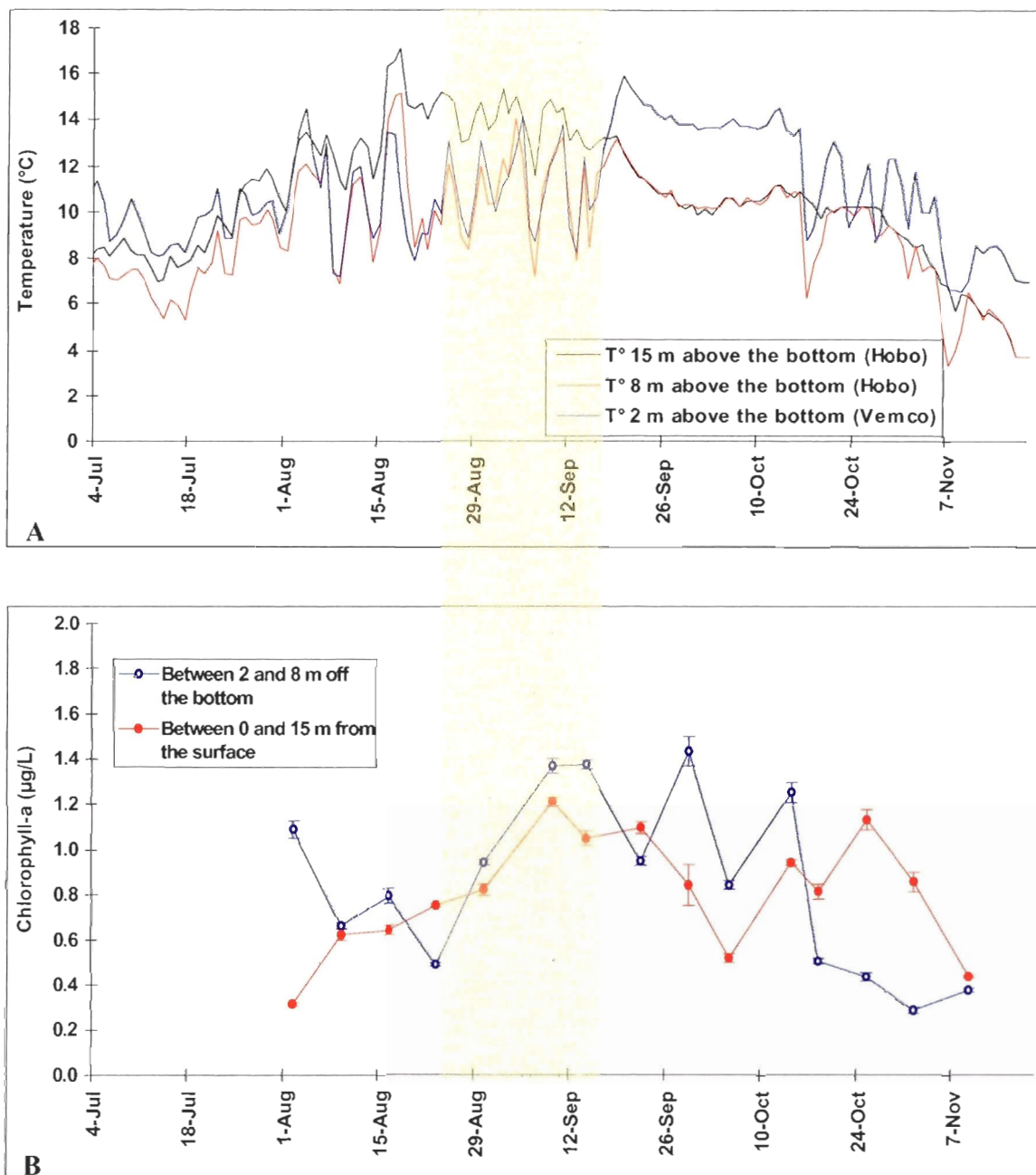


Figure 2.3. A) Daily mean temperature at 2 m (Vemco), 8m (Hobo) and 15 m (Hobo) above the bottom B) Chlorophyll-a (mean  $\pm$  s.e.) between 0 and 15 m from the surface and between 2 and 8 m above the bottom in the study area, the Pearl Reef, in 2004. Shaded area indicates period spawning of *Placopecten magellanicus* on Fond du Sud-Ouest and Chaîne de la Passe beds.

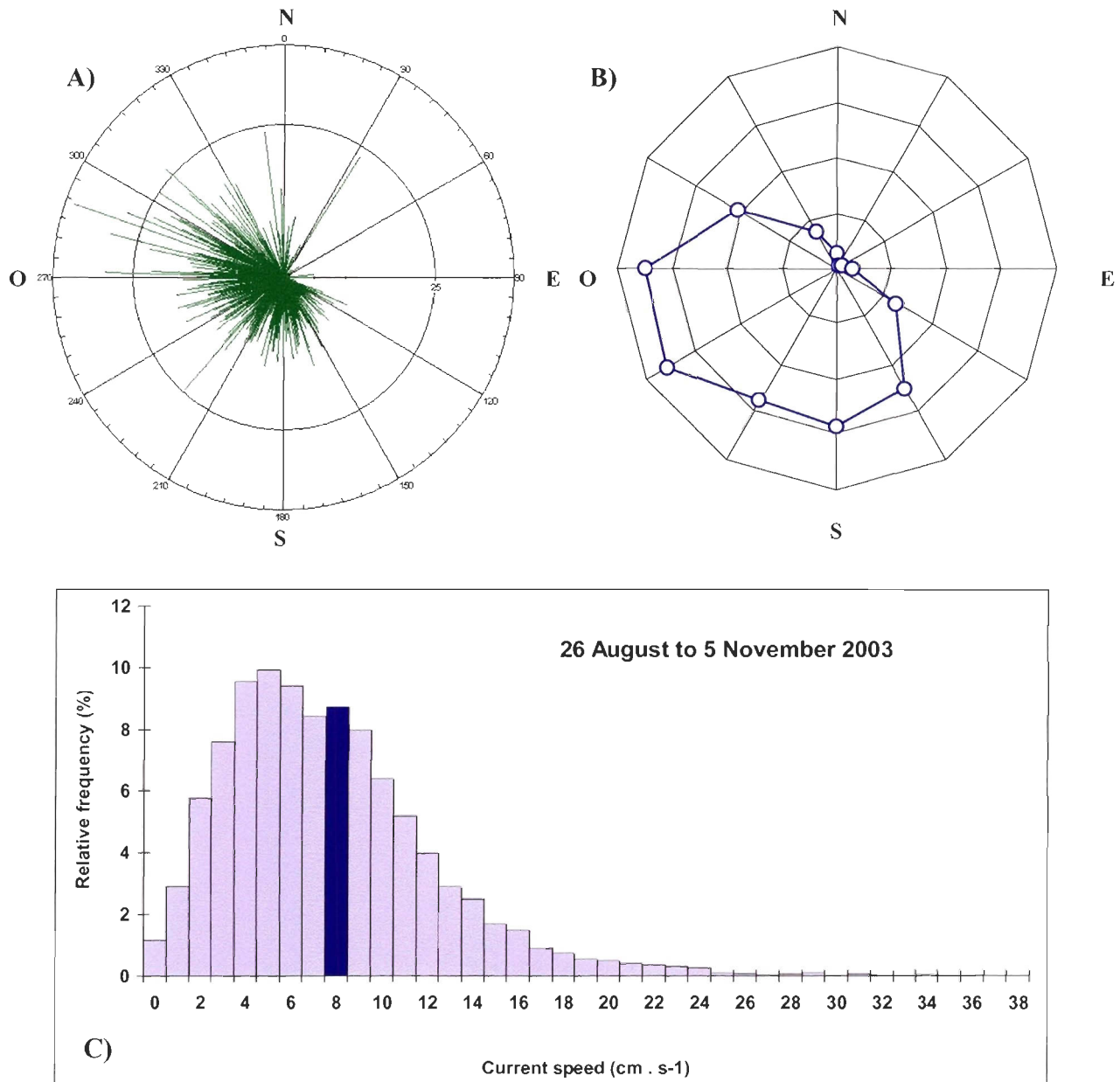
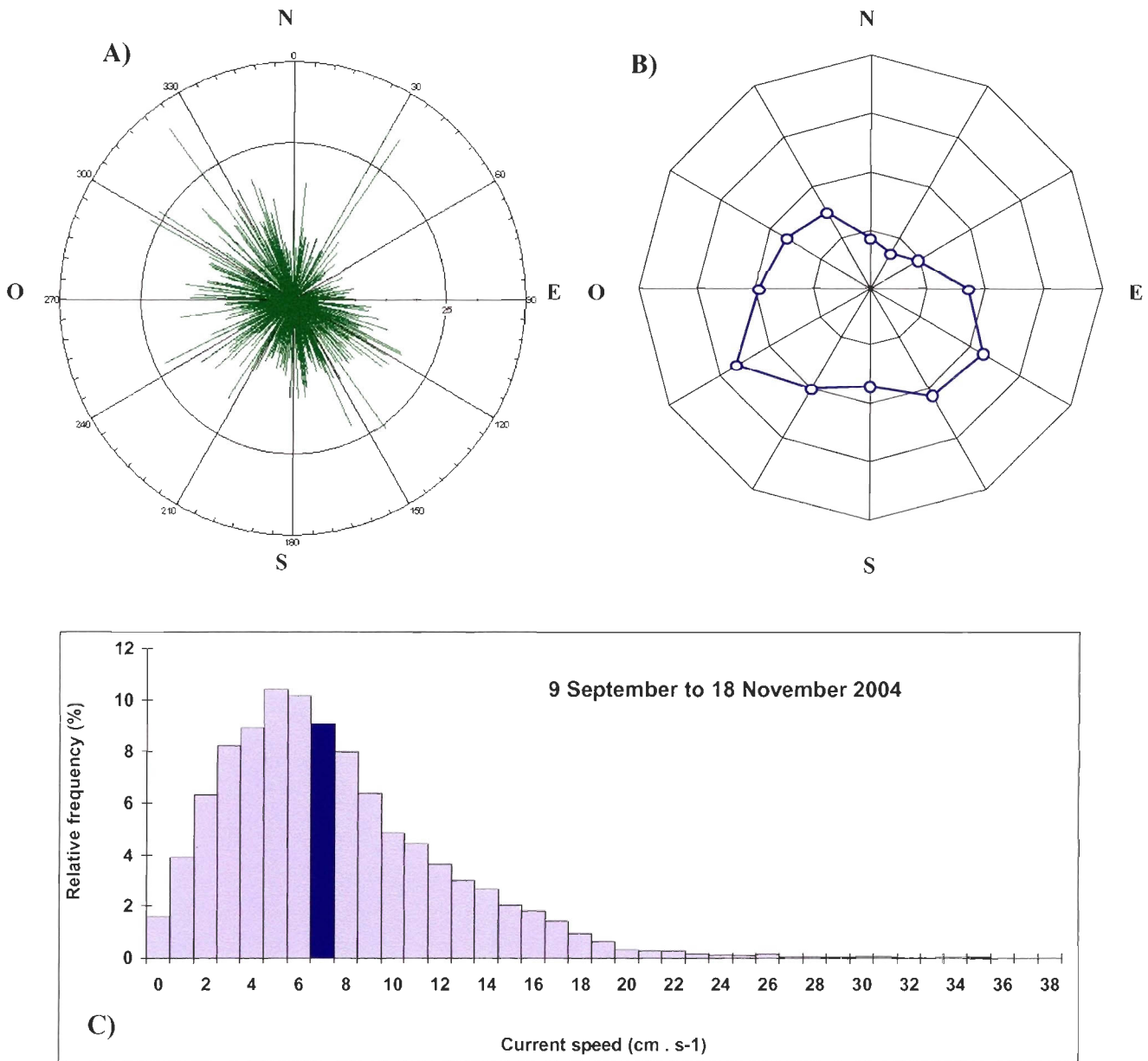


Figure 2.4. A) Current speed (cm/s) and B) Relative frequency (%) of currents from different directions during larval period of sea scallop from August 26 to November 5, 2003 C) Relative frequency of current speed monitored with a S4 recorder (frequency of reading = 10 minutes) placed on the Pearl Reef. The value of each class of abscisse represents the minimal value of the corresponding interval speed. The dark bar represents the interval mean current speed (8-9 cm/s).



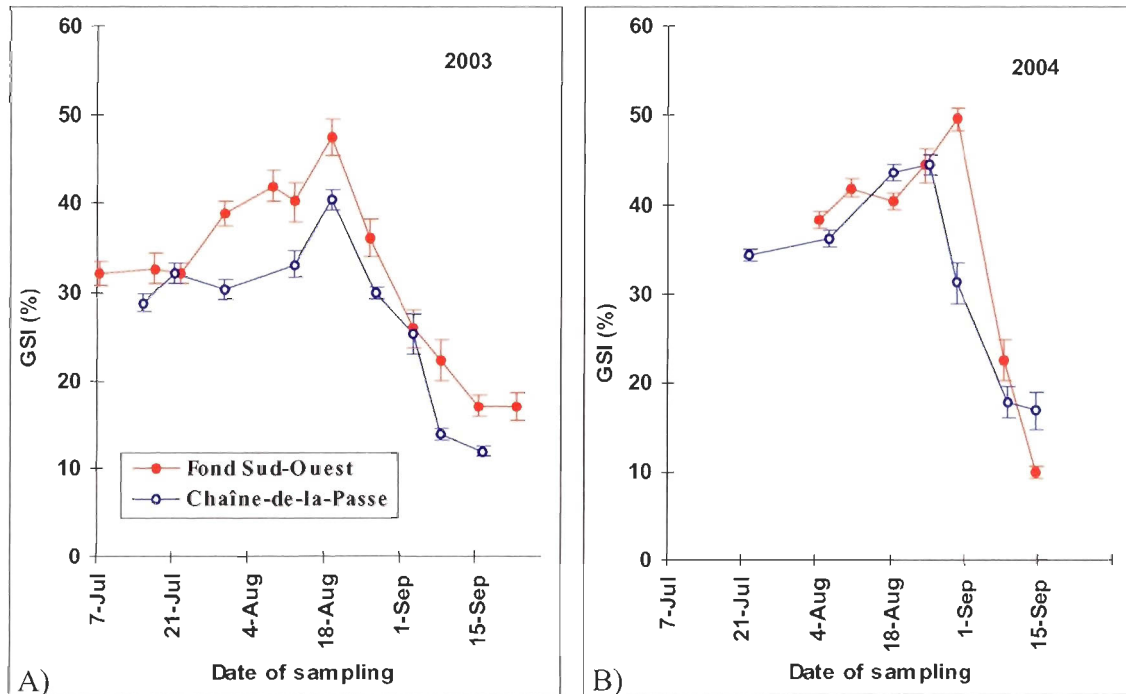
**Figure 2.5. A) Current speed (cm/s) and B) Relative frequency (%) of currents from different directions during larval period of sea scallop from September 9 to November 18, 2004 C) Relative frequency of current speed monitored with a S4 recorder (frequency of reading = 10 minutes) placed on the Pearl Reef. The value of each class of abscisse represents the minimal value of the corresponding interval speed. The dark bar represents the interval mean current speed (7-8 cm/s).**

**Table 2.2. Maximal GSI date, spawning initiation date and spawning end date for two natural beds (FSO, CP) in 2003 and 2004.**

Site		2003	2004
FSO	Maximal GSI date	August 19	August 30
	Onset of spawning	August 19-26	August 30-September 8
	End of spawning	September 15	September 14
CP	Maximal GSI date	August 19	August 25
	Onset of spawning	August 19-27	August 25-30
	End of spawning	September 15	September 14

Only five dates were compared (August 19, August 26, September 2, September 8 and September 15) to get comparable data for all treatments. There was a significant triple (year\*site\*sampling date) interaction on GSI ( $F_{(4,380)}=8.65$ ,  $p<0.0001$ ). That means GSI on CP and FSO beds differed according to the year and the sampling date within a given year. In 2003, the GSI of adult scallops on the FSO bed was significantly higher than on CP bed for September 8 ( $F_{(1,380)}=12.77$ ,  $p=0.0004$ ) and September 15 ( $F_{(1,380)}=8.48$ ,  $p=0.0038$ ) while for 2004, the GSI was significantly higher on FSO bed on August 30 ( $F_{(1,380)}=25.29$ ,  $p<0.0001$ ) and significantly lower on September 14 ( $F_{(1,380)}=14.72$ ,  $p=0.0001$ ).

Looking at each bed individually for both years, the GSI of adult scallops on the CP bed was significantly higher in 2004 on August 25 ( $F_{(1,380)}=13.07$ ,  $p=0.0003$ ) and September 14 ( $F_{(1,380)}=4.08$ ,  $p=0.0440$ ) while on FSO bed, the GSI in 2004 was significantly higher on August 24 ( $F_{(1,380)}=4.06$ ,  $p=0.0446$ ) and August 30 ( $F_{(1,380)}=45.89$ ,  $p<0.0001$ ) and significantly lower on September 14 ( $F_{(1,380)}=22.36$ ,  $p<0.0001$ ).



**Figure 2.6. Gonadosomatic index (GSI) monitoring (mean  $\pm$  s.e.) in 2003 (A) and 2004 (B) on the Fond du Sud-Ouest and on the Chaîne de la Passe, in the Îles-de-la-Madeleine.**

### 2.3.3 Larval abundance monitoring

#### **Results 2003**

There were significant sampling date x depth interactions for larvae of all species except for scallop larvae (Table 2.3). Scallop larvae were significantly more abundant near the bottom but their numbers also varied significantly among sampling dates (Table 2.3).

**Table 2.3. Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of sampling date and depth (between 2 and 8 m above the bottom and between 0 and 15 m from the surface) on larval density in 2003.**

Species	Source of variation	df	<i>F</i>	<i>p</i>
Scallop*	Sampling date	17	0.03	0.0000
	Depth	1	0.02	0.0428
	Sampling date*Depth	17	0.81	0.6800
	Error	70		
Hiatella*	Sampling date	17	7.31	0.0000
	Depth	1	42.44	0.0000
	Sampling date*Depth	17	5.87	<b>0.0000</b>
	Error	70		
Mussel*	Sampling date	17	3.52	0.0001
	Depth	1	28.53	0.0000
	Sampling date*Depth	17	2.29	<b>0.0082</b>
	Error	70		
Anomia*	Sampling date	17	20.22	0.0000
	Depth	1	12.92	0.0006
	Sampling date*Depth	17	2.32	<b>0.0074</b>
	Error	70		
Seastar*	Sampling date	17	4.36	0.0000
	Depth	1	13.71	0.0004
	Sampling date*Depth	17	2.15	<b>0.0134</b>
	Error	70		

Note: df: degrees freedom; \*: square root transformed count data.

Because there were significant interactions between depth and sampling date for all undesirable species, ANOVAs were done for each species to compare their abundance among sampling dates for each depth taken separately. Larval densities differed significantly with the sampling date for each species at both depths i.e. between 2 and 8 m above the bottom and between 0 and 15 m from the surface. (Table 2.4).

**Table 2.4. Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of sampling date on larval density in 2003. Each depth (between 2 and 8 m above the bottom and between 0 and 15 m from the surface) was examined separately. For each comparison, df = 17 and 34 (Bottom) and df = 17 and 36 (Surface).**

Depth	Species	<i>F</i>	<i>p</i>
Bottom	Scallop	33.31	0.0103 KW
	Hiatella*	6.47	<0.0001
	Mussel	37.94	0.0025 KW
	Anomia*	7.69	<0.0001
	Seastar	42.45	0.0006 KW
Surface	Scallop	46.49	0.0001 KW
	Hiatella*	5.60	<0.0001
	Mussel	47.40	0.0001 KW
	Anomia	49.41	<0.0001 KW
	Seastar	45.23	0.0002 KW

Note: df: degrees freedom; \*: square root transformed count data; KW: results of non parametric ANOVA Kruskal Wallis.

Larvae of the undesirable species tended to be more abundant between 2 and 8 m above the bottom than between 0 and 15 m from the surface except seastars, which were more abundant between 0 and 15 m from the surface (Table 2.5). Only few scallop larvae were observed at either depth (Table 2.5). Scallop larvae first appeared on September 8 with 0.01 larvae / L between 0 and 15 m from the surface and 0.05 larvae / L between 2 and 8 m above the bottom (Table 2.5, Figure 2.7). These young larvae (mean height:  $134 \pm 8 \mu\text{m}$ ) may be the progeny of the spawning observed between August 26 and September 15 on the natural beds (Figure 2.6). The peak of abundance for scallop larvae was small and observed during an extended period, 1-20 October. The highest abundance was observed on October 13 between 0 and 15 m from the surface with 0.03 larvae / L and on October 7 between 2 and 8 m above the bottom with 0.07 larvae / L. These were young larvae (mean:  $140 \pm 27 \mu\text{m}$  shell height near



surface and  $163 \pm 34 \mu\text{m}$  near bottom) and they could not be linked to the unique and massive spawning observed on the natural beds in late August 2003.

Blue mussel is by far the most abundant in the plankton (Table 2.5). Two similar (no statistical difference) peaks were observed above the bottom: July 9 and 16 (mean height:  $173 \pm 23 \mu\text{m}$  and  $137 \pm 17 \mu\text{m}$ ) and on September 2, 8 and 15 (mean height:  $194 \pm 59 \mu\text{m}$ ,  $258 \pm 51 \mu\text{m}$  and  $215 \pm 25 \mu\text{m}$ ). However, the greatest abundance was observed on September 2 with 42 larvae / L (Table 2.5). Three short peaks were observed between 0 and 15 m from the surface: July 4 (mean height:  $144 \pm 11 \mu\text{m}$ ), September 2 (mean height:  $163 \pm 39 \mu\text{m}$ ) and October 6 (mean height:  $288 \pm 41 \mu\text{m}$ ).

Only one peak of *H. arctica* was observed above the bottom (Table 2.5): July 9 with 1.7 larvae / L (mean height:  $231 \pm 18 \mu\text{m}$ ). There were two peaks between 0 and 15 m from the surface, the first on 16-22 July and the second during an extended period: between September 22 and October 29 (Table 2.5). However, the highest densities of hiatella were observed between 0 and 15 m from the surface on October 20 with 0.06 larvae / L (mean height:  $257 \pm 28 \mu\text{m}$ ) and with 0.07 larvae / L (mean height:  $309 \pm 37 \mu\text{m}$ ) on October 29, the last sampling date. Hiatellas spawned in early summer since larvae sampled on July 4 above the bottom were  $> 230 \mu\text{m}$  and thus ready to settle.

**Table 2.5. Number of larvae (mean  $\pm$  s.e.) per liter of seawater collected with a plankton net between 0 and 15 m from the surface and pumped between 2 and 8 meters above the bottom in 2003. Abundance between sampling dates was compared for each species and at each depth with Kruskal Wallis tests except for hiatella at both depth and anomia above the bottom which were compared with ANOVAs.**

Depth	Date	Anomia	Hiatella	Mussel	Scallop	Seastar
Surface	July 4	0 <sup>d</sup>	0 <sup>e</sup>	<b>1.94 <math>\pm</math> 0.53<sup>ab</sup></b>	0 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>
	July 9	0 <sup>d</sup>	0.009 $\pm$ 0.005 <sup>cde</sup>	0.48 $\pm$ 0.03 <sup>cd</sup>	0 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>
	July 16	0 <sup>d</sup>	<b>0.040 <math>\pm</math> 0.015<sup>ab</sup></b>	0.10 $\pm$ 0.05 <sup>d</sup>	0 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>
	July 22	0 <sup>d</sup>	<b>0.048 <math>\pm</math> 0.020<sup>ab</sup></b>	0.02 $\pm$ 0.01 <sup>de</sup>	0 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>
	July 30	0 <sup>d</sup>	0.006 $\pm$ 0.006 <sup>dc</sup>	0.07 $\pm$ 0.01 <sup>de</sup>	0 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>
	Aug 7	0 <sup>d</sup>	0.014 $\pm$ 0.003 <sup>bcd</sup>	0.03 $\pm$ 0.01 <sup>de</sup>	0 <sup>c</sup>	<b>0.002 <math>\pm</math> 0.001<sup>ab</sup></b>
	Aug 12	0.03 $\pm$ 0.02 <sup>c</sup>	0.006 $\pm$ 0.003 <sup>cde</sup>	0.64 $\pm$ 0.23 <sup>bc</sup>	0 <sup>c</sup>	0.001 $\pm$ 0.0003 <sup>b</sup>
	Aug 19	0.02 $\pm$ 0.003 <sup>c</sup>	0 <sup>e</sup>	0.01 $\pm$ 0.003 <sup>e</sup>	0 <sup>c</sup>	<b>0.003 <math>\pm</math> 0.002<sup>ab</sup></b>
	Aug 26	0.10 $\pm$ 0.04 <sup>c</sup>	0.003 $\pm$ 0.003 <sup>de</sup>	0.38 $\pm$ 0.17 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>	0.001 $\pm$ 0.0003 <sup>b</sup>
	Sept 2	0.22 $\pm$ 0.08 <sup>bc</sup>	0.009 $\pm$ 0.005 <sup>cde</sup>	<b>3.39 <math>\pm</math> 2.15<sup>ab</sup></b>	0 <sup>c</sup>	<b>0.001 <math>\pm</math> 0.001<sup>ab</sup></b>
	Sept 8	0.30 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>	0.003 $\pm$ 0.003 <sup>de</sup>	0.87 $\pm$ 0.25 <sup>b</sup>	0.009 $\pm$ 0.005 <sup>b</sup>	<b>0.003 <math>\pm</math> 0.001<sup>a</sup></b>
	Sept 15	0.29 $\pm$ 0.10 <sup>b</sup>	0 <sup>e</sup>	0.20 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>	<b>0.001 <math>\pm</math> 0.0004<sup>ab</sup></b>
	Sept 22	0.43 $\pm$ 0.26 <sup>b</sup>	<b>0.031 <math>\pm</math> 0.011<sup>abc</sup></b>	0.31 $\pm$ 1.14 <sup>c</sup>	0.001 $\pm$ 0.001 <sup>c</sup>	<b>0.003 <math>\pm</math> 0.001<sup>ab</sup></b>
	Oct 1	0.35 $\pm$ 0.12 <sup>b</sup>	<b>0.051 <math>\pm</math> 0.021<sup>ab</sup></b>	1.32 $\pm$ 0.59 <sup>b</sup>	<b>0.008 <math>\pm</math> 0.001<sup>ab</sup></b>	<b>0.002 <math>\pm</math> 0.001<sup>ab</sup></b>
	Oct 6	<b>3.12 <math>\pm</math> 0.46<sup>a</sup></b>	<b>0.037 <math>\pm</math> 0.010<sup>ab</sup></b>	<b>3.48 <math>\pm</math> 0.88<sup>a</sup></b>	<b>0.016 <math>\pm</math> 0.009<sup>ab</sup></b>	0.001 $\pm$ 0.0003 <sup>b</sup>
	Oct 13	<b>1.83 <math>\pm</math> 0.66<sup>a</sup></b>	<b>0.045 <math>\pm</math> 0.028<sup>ab</sup></b>	1.30 $\pm$ 0.60 <sup>b</sup>	<b>0.025 <math>\pm</math> 0.006<sup>a</sup></b>	0 <sup>c</sup>
	Oct 20	<b>1.02 <math>\pm</math> 0.16<sup>a</sup></b>	<b>0.062 <math>\pm</math> 0.015<sup>a</sup></b>	0.89 $\pm$ 0.18 <sup>b</sup>	<b>0.014 <math>\pm</math> 0.007<sup>ab</sup></b>	0 <sup>c</sup>
	Oct 29	0.18 $\pm$ 0.05 <sup>bc</sup>	<b>0.071 <math>\pm</math> 0.041<sup>a</sup></b>	0.09 $\pm$ 0.01 <sup>cd</sup>	0 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>
Bottom	July 4	0 <sup>f</sup>	0.042 $\pm$ 0.042 <sup>ef</sup>	3.36 $\pm$ 1.56 <sup>b</sup>	0 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>
	July 9	0 <sup>f</sup>	<b>1.747 <math>\pm</math> 0.139<sup>a</sup></b>	<b>10.38 <math>\pm</math> 1.48<sup>ab</sup></b>	0 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>
	July 16	0 <sup>f</sup>	0.709 $\pm$ 0.138 <sup>b</sup>	<b>14.55 <math>\pm</math> 2.28<sup>a</sup></b>	0 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>
	July 22	0 <sup>f</sup>	0.146 $\pm$ 0.095 <sup>cdef</sup>	0.11 $\pm$ 0.06 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>
	July 30	0 <sup>f</sup>	0.034 $\pm$ 0.034 <sup>ef</sup>	0.38 $\pm$ 0.18 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>
	Aug 7	0 <sup>f</sup>	0.092 $\pm$ 0.052 <sup>def</sup>	1.51 $\pm$ 0.75	0 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>
	Aug 12	0.12 $\pm$ 0.03 <sup>def</sup>	0.279 $\pm$ 0.057 <sup>bcd</sup>	3.49 $\pm$ 1.17 <sup>b</sup>	0 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>
	Aug 19	0.69 $\pm$ 0.11 <sup>bcd</sup>	0 <sup>f</sup>	1.62 $\pm$ 0.55 <sup>bc</sup>	0 <sup>c</sup>	0 <sup>c</sup>
	Aug 26	0.63 $\pm$ 0.16 <sup>bcd</sup>	0.090 $\pm$ 0.052 <sup>def</sup>	2.31 $\pm$ 0.73 <sup>bc</sup>	0 <sup>c</sup>	<b>0.002 <math>\pm</math> 0.001<sup>a</sup></b>
	Sept 2	<b>1.08 <math>\pm</math> 0.10<sup>abc</sup></b>	0.060 $\pm$ 0.060 <sup>def</sup>	<b>42.24 <math>\pm</math> 38.28<sup>ab</sup></b>	0 <sup>c</sup>	<b>0.002 <math>\pm</math> 0.001<sup>a</sup></b>
	Sept 8	<b>1.89 <math>\pm</math> 0.45<sup>ab</sup></b>	0.030 $\pm$ 0.030 <sup>ef</sup>	<b>10.98 <math>\pm</math> 1.13<sup>ab</sup></b>	<b>0.048 <math>\pm</math> 0.032<sup>ab</sup></b>	0.001 $\pm$ 0.001 <sup>b</sup>
	Sept 15	<b>1.32 <math>\pm</math> 0.56<sup>abc</sup></b>	0.060 $\pm$ 0.060 <sup>def</sup>	<b>5.58 <math>\pm</math> 2.17<sup>ab</sup></b>	0 <sup>c</sup>	0.001 $\pm$ 0.001 <sup>b</sup>
	Sept 22	<b>1.16 <math>\pm</math> 0.55<sup>abc</sup></b>	0.237 $\pm$ 0.129 <sup>cde</sup>	1.63 $\pm$ 0.47 <sup>bc</sup>	0.012 $\pm$ 0.012 <sup>bc</sup>	0.001 $\pm$ 0.001 <sup>b</sup>
	Oct 1	<b>0.95 <math>\pm</math> 0.39<sup>abcd</sup></b>	0.448 $\pm$ 0.054 <sup>bc</sup>	2.76 $\pm$ 1.33 <sup>bc</sup>	<b>0.036 <math>\pm</math> 0.021<sup>ab</sup></b>	<b>0.002 <math>\pm</math> 0.001<sup>a</sup></b>
	Oct 6*	<b>2.64<sup>a</sup></b>	0.054 <sup>def</sup>	2.56 <sup>bc</sup>	<b>0.071<sup>a</sup></b>	0 <sup>c</sup>
	Oct 13	<b>2.62 <math>\pm</math> 0.06<sup>a</sup></b>	0.296 $\pm$ 0.054 <sup>bcd</sup>	1.29 $\pm$ 0.34 <sup>bc</sup>	<b>0.054 <math>\pm</math> 0.029<sup>ab</sup></b>	0 <sup>c</sup>
	Oct 20	0.62 $\pm$ 1.26 <sup>cdef</sup>	0.082 $\pm$ 0.070 <sup>def</sup>	0.71 $\pm$ 0.35 <sup>c</sup>	<b>0.054 <math>\pm</math> 0.011<sup>ab</sup></b>	0 <sup>c</sup>
	Oct 29	0.08 $\pm$ 0.03 <sup>ef</sup>	0 <sup>f</sup>	0 <sup>c</sup>	0.010 $\pm$ 0.010 <sup>bc</sup>	0 <sup>c</sup>

Note: \*: only one sample; Surface: between 0 and 15 from de surface; Bottom: between 2 and 8 m above the bottom. Letters denote means that are significantly different based on a Tukey *post hoc* test.

The first anomia larvae were observed on August 12 at both depths and their mean shell height was 175  $\mu\text{m}$  (Table 2.5). The anomia larvae were most abundant between October 6 and 20 between 0 and 15 m from the surface (Table 2.5, Figure 2.7) and above the bottom, anomia larvae showed an extended peak of abundance between September 2 and October 13. For all these dates, the larval shell height was  $> 200 \mu\text{m}$ .

Only very few seastar larvae were observed throughout the monitoring period. There were three peaks (no statistical difference) between 0 and 15 m from the surface, the first on August 7, the second on August 19 and the third during an extended period: between September 2 and October 1 (mean height:  $1.3 \pm 0.2 \text{ mm}$ ). There were two peaks (no statistical difference) above the bottom, the first between on August 26 (mean height:  $1.2 \pm 0.1 \text{ mm}$ ) and September 2 (mean height:  $1.1 \pm 0.1 \text{ mm}$ ) and the second on October 1 (mean height:  $1.3 \pm 0.2 \text{ mm}$ ).

Since commercial collectors are deployed between 2 and 8 m above the bottom, it is possibly important to document the abundance of pediveliger larvae (ready to settle when they reach a shell height  $> 200 \mu\text{m}$ ) in that portion of the water column in order to identify possible relationships between larval abundance and spat collection rate. Very few pediveliger larvae of scallops were observed (Figure 2.7) and they were only found on October 6 ( $0.01 \pm 0.01 \text{ larvae / L}$ ). Pediveliger larvae of *M. edulis* were the most abundant with a peak of  $16.0 \pm 0.6 \text{ larvae / L}$  on September 2. The second most abundant species was *Anomia* sp. with a peak of  $1.3 \pm 0.4 \text{ pediveliger larvae / L}$  on

October 20 while the abundance of *H. arctica* was lower with a peak of  $0.5 \pm 0.1$  larvae / L on October 1.

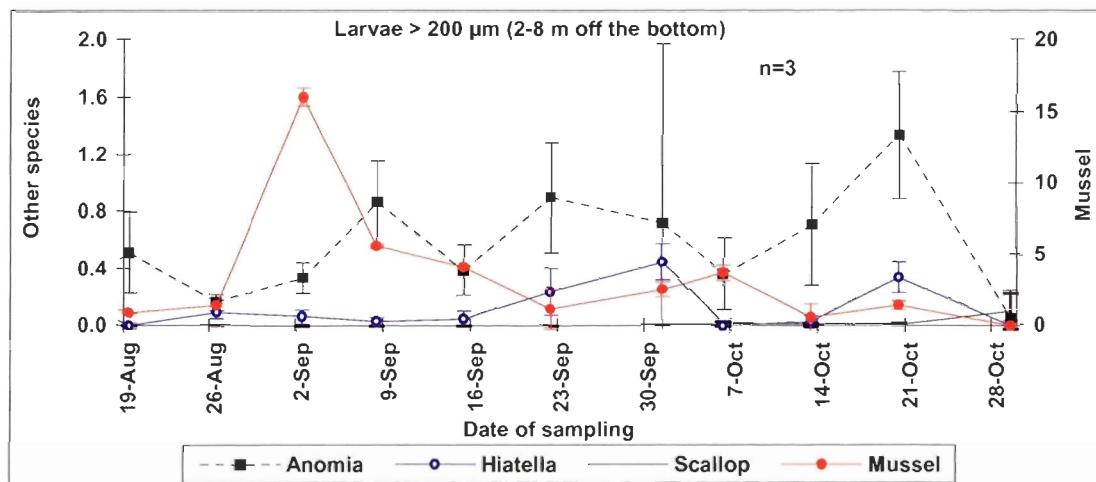


Figure 2.7. Number of larvae > 200 µm (mean ± s.e.) per liter pumped between 2 and 8 m off the bottom in 2003.

### Results 2004

Larval densities of hiatella, anomia and mussel between 2-8 meters above the seabed differed significantly with the date of sampling between August 2 and November 9 while there were no differences for scallop (Table 2.6). No seastar larvae were found throughout the sampling period.

Table 2.6. Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of sampling date at 2 m above the bottom on larval density in 2004. For each comparison, df = 13 and 27.

Species	<i>F</i>	<i>p</i>
Scallop*	1.91	0.076
Hiatella*	9.07	<0.0001
Mussel*	43.00	<0.0001
Anomia*	2.88	0.009

Note: df: degrees freedom; \*: square root transformed count data.

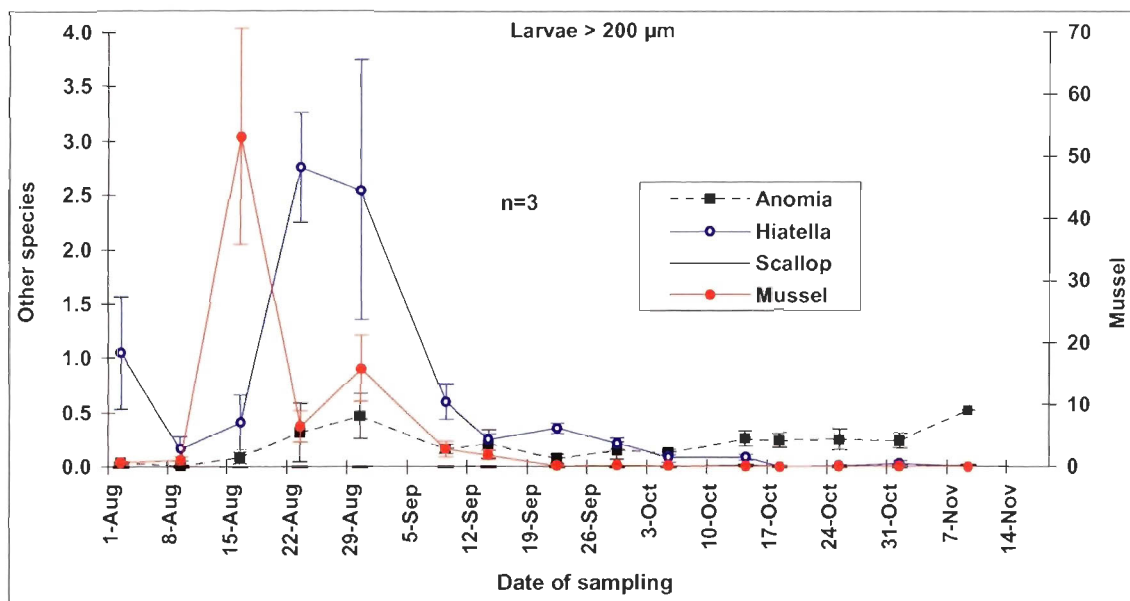
Scallop larvae (shell height:  $125 \pm 4 \mu\text{m}$ ) were first observed on September 9 at a density of 0.03 larvae / L and then were found up to the end of the sampling period on November 1 (Table 2.7, Figure 2.9). At the last sampling date, they were possibly ready to settle as their mean shell height was  $299 \pm 6 \mu\text{m}$ . Mussel and hiatella larvae were generally the most abundant undesirable species throughout the sampling period. The highest density of mussel larvae was observed on August 16 with 87.2 larvae / L (shell height:  $226 \pm 33 \mu\text{m}$ ) while the peak of hiatella larvae was observed on August 23 with 3.1 larvae / L (shell height:  $328 \pm 29 \mu\text{m}$ ). The abundance of anomia larvae was much lower with several peaks between August 16 and November 1 (Table 2.7).

**Table 2.7. Number of larvae (mean  $\pm$  s.e.) per liter of seawater pumped between 2 and 8 meters above the bottom in 2004.**

Sampling date	Anomia	Hiatella	Mussel	Scallop
August 2	$0.04 \pm 0.01^e$	$1.05 \pm 0.51^{bc}$	$0.87 \pm 0.18^{el}$	0
August 9	$0.01 \pm 0.01^e$	$0.20 \pm 0.11^{cdefgh}$	$1.14 \pm 0.61^{def}$	0
August 16	<b><math>0.65 \pm 0.06^a</math></b>	$0.40 \pm 0.25^{cdef}$	<b><math>87.19 \pm 17.34^a</math></b>	0
August 23	$0.37 \pm 0.27^{bcd}$	<b><math>3.09 \pm 0.45^a</math></b>	$7.15 \pm 2.58^c$	0
August 30	<b><math>0.47 \pm 0.21^{ab}</math></b>	$1.82 \pm 1.11^b$	$15.76 \pm 5.26^b$	0
September 9	$0.24 \pm 0.05^{bcd}$	$0.61 \pm 0.16^{bcd}$	$3.17 \pm 1.31^{cde}$	$0.03 \pm 0.02$
September 14	<b><math>0.36 \pm 0.13^{abc}</math></b>	$0.25 \pm 0.05^{cdefg}$	$4.21 \pm 0.69^{cd}$	$0.01 \pm 0.01$
September 22	$0.10 \pm 0.04^{cde}$	$0.36 \pm 0.05^{cde}$	$0.24 \pm 0.17^f$	0
September 29	$0.15 \pm 0.08^{bcde}$	$0.21 \pm 0.05^{cdefgh}$	$0.27 \pm 0.03^f$	0
October 6	$0.18 \pm 0.02^{bcd}$	$0.08 \pm 0.05^{efgh}$	$0.14 \pm 0.07^f$	$0.01 \pm 0.01$
October 14	<b><math>0.27 \pm 0.07^{abcd}</math></b>	$0.08 \pm 0.03^{defgh}$	$0.18 \pm 0.01^f$	$0.03 \pm 0.02$
October 18	<b><math>0.28 \pm 0.06^{abc}</math></b>	$0^h$	$0^f$	0
October 25	$0.26 \pm 0.10^{bcd}$	$0.01 \pm 0.01^{fgh}$	$0.05 \pm 0.02^f$	$0.02 \pm 0.01$
November 1	<b><math>0.27 \pm 0.07^{abcd}</math></b>	$0.03 \pm 0.03^{gh}$	$0.01 \pm 0.01^f$	$0.03 \pm 0.02$

Note: Letters denote means that are significantly different based on a Tukey *post hoc* test.

Pediveliger competent larvae of scallop were found in very low numbers and were most abundant on October 14 with  $0.03 \pm 0.02$  larvae / L (mean shell height:  $260 \pm 3 \mu\text{m}$ ) and on November 1 with  $0.03 \pm 0.02$  larvae / L (mean shell height:  $299 \pm 6 \mu\text{m}$ ) (Figure 2.8). *M. edulis* larvae were the most abundant among the undesirable organisms with a single peak of  $53 \pm 17$  larvae / L (mean shell height:  $261 \pm 27 \mu\text{m}$ ) on August 16. The abundance of pediveliger larvae of hiatella peaked on August 23 and August 30 with  $2.8 \pm 0.5$  larvae / L (mean shell height:  $330 \pm 27 \mu\text{m}$ ) and  $2.5 \pm 1.1$  larvae / L (mean shell height:  $371 \pm 18 \mu\text{m}$ ), respectively. The presence of pediveliger anomia was more regular than for other species throughout the sampling period as they were found at each samplings starting on August 15. Their highest abundance was observed on November 9 with  $0.52 \pm 0.00$  larvae / L (mean shell height:  $270 \pm 28 \mu\text{m}$ ).



**Figure 2.8.** Number of larvae  $> 200 \mu\text{m}$  (mean  $\pm$  s.e.) per liter pumped between 2 and 8 meters off the bottom in 2004.

Larval abundance was compared at the two different depths (between 2 and 8 m above the bottom vs between 0 and 15 m from the surface) with the same sampling device on August 23, September 22, October 25. There were no significant depth x sampling date interactions for all species (Table 2.8). There were significant differences between sampling dates but not among depths for all species.

**Table 2.8. Results of the analyses of variance (ANOVAs) comparing larval abundance at different depth (between 0 and 15 m from the surface, between 2 and 8 m above the bottom) with the same sampling device (pump) and the sampling date (August 23, September 22, October 25) in 2004.**

Species	Source of variation	df	<i>F</i>	<i>p</i>
Scallop*	Depth	1	1.000	0.356
	Sampling date	2	9.000	0.016
	Depth * Sampling date	2	1.000	0.422
	Error	6		
Hiatella*	Depth	1	0.315	0.595
	Sampling date	2	26.801	0.001
	Depth * Sampling date	2	1.914	0.228
	Error	6		
Mussel*	Depth	1	1.000	0.356
	Sampling date	2	888.040	0.000
	Depth * Sampling date	2	1.000	0.422
	Error	6		
Anomia*	Depth	1	0.200	0.670
	Sampling date	2	96.200	0.000
	Depth * Sampling date	2	0.200	0.824
	Error	6		

Note: df: degrees freedom; \*: square root transformed count data

### 2.3.4 Cumulative spat collection monitoring

#### **Results 2003**

In December, the abundance of scallop, hiatella, anomia and mussel spat found in the collectors differed significantly with the deployment date (Table 2.9).

**Table 2.9. Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of deployment date on cumulative spat collection in 2003. Collectors retrieved on December 6, 2003. For each comparison, df = 5 and 23.**

Species	<i>F</i>	<i>p</i>
Scallop	14.15	<0.0001
Hiatella	38.64	<0.0001
Mussel*	8.21	<0.0001
Anomia*	18.87	<0.0001

Note: df: degrees freedom; \*: square root transformed count data.

The highest abundance of scallops was observed in collectors deployed on September 15 (3 weeks after the sea scallop began to spawn) and on October 6 (6 weeks after the sea scallop began to spawn) with 5074 and 5808 spat / collector, respectively (Table 2.10). The greatest abundance of *M. edulis*, *H. arctica* and *Anomia* sp. was found in collectors deployed on September 15 (3 weeks after the sea scallop began to spawn) with 2833, 5296, and 3559 spat / collector, respectively. Collectors deployed later in fall, on October 20 (eight weeks after the sea scallop began to spawn) still provided scallops in abundance (3202 spat / collector) while the undesired species were in low numbers: 787 mussels, 950 hiatellas, 419 anomias. Seastars were found in very low numbers for all deployment dates. Collectors deployed on October 6 (6 weeks after the sea scallop began to spawn) and afterwards provided scallops in higher numbers relatively to the



undesirable species with a scallop: undesirable species ratio > 1. The ratio was < 1 for collectors deployed 3 to 5 weeks after spawning is initiated (Table 2.10).

**Table 2.10. Number of spat (mean  $\pm$  s.e) per collector deployed in 2003 and retrieved on December 6, 2003.**

Deployment Date	<i>Placopecten magellanicus</i>	<i>Hiatella arctica</i>	<i>Mytilus edulis</i>	<i>Anomia</i> sp.	<i>Asterias vulgaris</i>	Ratio
September 15	5074 $\pm$ 264 <sup>a</sup>	5296 $\pm$ 234 <sup>a</sup>	2833 $\pm$ 388 <sup>a</sup>	3559 $\pm$ 456 <sup>a</sup>	2 $\pm$ 1	0.4
September 22	4244 $\pm$ 164 <sup>b</sup>	3697 $\pm$ 272 <sup>b</sup>	1336 $\pm$ 74 <sup>b</sup>	2099 $\pm$ 238 <sup>b</sup>	0	0.6
September 29	4284 $\pm$ 208 <sup>b</sup>	2463 $\pm$ 423 <sup>c</sup>	1481 $\pm$ 299 <sup>b</sup>	1735 $\pm$ 450 <sup>bc</sup>	0	0.8
October 6	5808 $\pm$ 334 <sup>a</sup>	2118 $\pm$ 235 <sup>c</sup>	1228 $\pm$ 165 <sup>bc</sup>	1065 $\pm$ 232 <sup>c</sup>	0.2 $\pm$ 0.2	1.3
October 13	3693 $\pm$ 354 <sup>bc</sup>	831 $\pm$ 142 <sup>d</sup>	1281 $\pm$ 86 <sup>bc</sup>	376 $\pm$ 131 <sup>d</sup>	1.0 $\pm$ 0.4	1.5
October 20	3202 $\pm$ 70 <sup>c</sup>	950 $\pm$ 192 <sup>d</sup>	787 $\pm$ 196 <sup>c</sup>	419 $\pm$ 187 <sup>d</sup>	0	1.5

Note: Ratio= Mean number of scallops/Total mean number of undesirable species. Letters denote means that are significantly different based on a Tukey post hoc test.

### *Results 2004*

Abundance of scallop, hiatella, mussel and anomia spat found in the collectors retrieved on December 7, 2004 differed significantly with deployment date (Table 2.11). Only seastars showed no differences according to deployment date.

**Table 2.11. Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of deployment date on cumulative spat collection in 2004. Collectors retrieved on December 7, 2004. For each comparison, df = 5 and 24.**

Species	<i>F</i>	<i>p</i>
Scallop	7.63	0.0002
Hiatella	15.94	<0.0001
Mussel	32.82	<0.0001
Anomia**	9.60	<0.0001
Seastar	1.08	0.3965

Note: df: degrees freedom; \*\*: log transformed count data.

The greatest abundance of scallops was found in collectors deployed on September 28 and on October 5 (4 and 5 weeks after the sea scallop began to spawn) with 4588 and

4680 spat / collector, respectively. The highest densities of the undesirable species were generally observed in collectors deployed during the first two weeks, i.e. on September 22 and 28. The highest abundance of mussels was observed in collectors deployed on September 28 with 1781 spat / collector. Collectors deployed October 25 (eight weeks after the sea scallop began to spawn) still provided scallop spat in abundance with 3174 scallops / collector with relatively low numbers of mussels (441 / collector), hiatellas (1974 / collector) and anomias (11 / collector). In 2004, seastars were found in low numbers in collectors although in higher density than in 2003. The number of scallops was higher than the total number of undesirable species with a ratio > 1 in collectors deployed on October 14 (6 weeks after the sea scallops began to spawn) and afterwards (Table 2.12).

**Table 2.12. Number of spat (mean  $\pm$  s.e) per collector deployed in 2004 and retrieved on December 5, 2004.**

Deployment date	<i>Placopecten magellanicus</i>	<i>Hiatella arctica</i>	<i>Mytilus edulis</i>	<i>Anomia</i> sp.	<i>Asterias vulgaris</i>	Ratio
September 22	3643 $\pm$ 200 <sup>b</sup>	<b>5280 <math>\pm</math> 596<sup>a</sup></b>	642 $\pm$ 24 <sup>c</sup>	<b>89 <math>\pm</math> 25<sup>a</sup></b>	6 $\pm$ 1	0.6
September 28	<b>4588 <math>\pm</math> 226<sup>a</sup></b>	<b>5164 <math>\pm</math> 486<sup>a</sup></b>	<b>1781 <math>\pm</math> 140<sup>a</sup></b>	<b>88 <math>\pm</math> 14<sup>a</sup></b>	5 $\pm$ 2	0.7
October 5	<b>4680 <math>\pm</math> 330<sup>a</sup></b>	4045 $\pm$ 281 <sup>b</sup>	1037 $\pm$ 119 <sup>b</sup>	<b>48 <math>\pm</math> 18<sup>ab</sup></b>	5 $\pm$ 1	0.9
October 14	3664 $\pm$ 412 <sup>b</sup>	2386 $\pm$ 250 <sup>c</sup>	372 $\pm$ 84 <sup>cd</sup>	32 $\pm$ 9 <sup>bc</sup>	5 $\pm$ 1	<b>1.3</b>
October 20	2776 $\pm$ 228 <sup>c</sup>	2130 $\pm$ 340 <sup>c</sup>	335 $\pm$ 102 <sup>d</sup>	14 $\pm$ 3 <sup>cd</sup>	6 $\pm$ 2	<b>1.1</b>
October 25	3174 $\pm$ 172 <sup>bc</sup>	1974 $\pm$ 175 <sup>c</sup>	441 $\pm$ 74 <sup>cd</sup>	11 $\pm$ 7 <sup>d</sup>	9 $\pm$ 2	<b>1.3</b>

Note: Ratio= Mean number of scallops/Total mean number of undesirable species. Letters denote means that are significantly different based on a Tukey *post hoc* test.

## 2.4 DISCUSSION

In the Îles de la Madeleine, sea scallop spawning varies slightly from year to year but usually occurs in late August-early September (Giguère *et al.* 1995; Giguère and

Cliche, 1996; Cliche *et al.* 2005). In this study, spawning also occurred within this period even though the spawning began one week later in 2004 than in 2003. Usually, the spawning is synchronized for the scallops on Chaîne-de-la-Passe and the Fond du Sud-Ouest beds but with an occasional delay of one week between both sites like in 2004. In the southeast of the Northumberland Strait, the spawning generally occurs after mid-August (Davidson and Têtu 2001; Têtu and Davidson 2001; Grecian *et al.* 2001) while in western Newfoundland, it usually occurs in late August (Dabinett and Couturier 1994).

The release of the gametes may be related to physical and biological factors such as mechanical or temperature shocks, photoperiod, light intensity, quantity of food, presence of sexual products already released in the seawater, tidal and/or lunar cycles (Parsons *et al.* 1992; Himmelman 1999). A sudden temperature change often triggers the spawning (Naidu 1970; Culliney 1974; Bonardelli *et al.* 1996). In the Îles de la Madeleine, the drop of gonadosomatic index of *P. magellanicus* in 2003 coincided with an 8 °C temperature increase (from 4 to 12 °C) at the end of August. In 2004, spawning was rather related to strong temperature fluctuations which occurred in late of August and early September. Bonardelli *et al.* (1996) also observed that sharp temperature changes caused by the downwelling of warm surface water trigger major spawning events in Baie des Chaleurs.

Spawning of sea scallop, *P. magellanicus*, can also be triggered by an increase in phytoplankton concentration (Couturier 1994; Dadswell and Parsons 1994). In 2003, the

release of the gametes was not associated with a major increase in chlorophyll-*a* on Pearl Reef but chlorophyll-*a* (above the bottom) instead fluctuated between 0.66 and 1.21  $\mu\text{g/L}$  between August 12 and 26. However in 2004, the spawning coincided with an increase in chlorophyll-*a* which rose from 0.49 to 1.37  $\mu\text{g/L}$  between August 23 and September 9. Laboratory experiments have shown that spawning of several marine invertebrates could occur when the supply of phytoplankton is increased while all other factors are kept constant (Himmelman 1975; Starr *et al.* 1990). Current direction and intensity over the scallop beds could not be linked to spawning.

Scallop larvae were almost absent in our weekly samples while scallop spat was often the most abundant species in the collectors that was observed in other studies (Brand *et al.* 1980; Paul 1981; Wilson 1987; Brulotte *et al.* 2003). These low abundances of scallop comparatively to undesirable species could be caused by a reduced population of scallop adults (Hugo Bourdages, DFO-Institut Maurice-Lamontagne, pers. comm.). In other studies, scallop larvae were also found in very low abundance (Dabinett and Couturier 1994 with 0.003-1.3 larvae / L; Parsons 1994 with 0.001-0.04 larvae / L; Giguère *et al.* 1995 with 0.001-0.06 larvae / L). Nevertheless, Dabinett and Couturier (1994) were able to link the larval abundance and settlement of scallops in collectors. The planktonic phase is a period of high mortality (Doyle 1975; Rumrill 1990). The abundance of larvae may have decreased in the water column from D-veliger to pediveliger stages because their planktonic period is relatively long (several weeks). Scallop larvae are potentially preyed upon by planktonic carnivores and filter feeders while in the plankton (Young-Lai and Aiken 1986; Langton and Robinson 1990;

Packer *et al.* 1999). Moreover, larvae can move independently on small scale but can also be carried long distances by currents (Baird 1954; Packer *et al.* 1999; Hart and Chute 2004) leading to their dispersion.

The abundance of the larvae was expected to be greater above the bottom at the end of their planktonic phase because competent pediveliger larvae migrate towards the bottom to settle onto suitable substrates (Culliney 1974). In this study, the larval densities from the surface and above the bottom were similar when sampled with the same sampling device (submersible pump). Tremblay and Sinclair (1990) who followed the scallop larvae distribution on the George Bank found that the larvae were uniformly distributed throughout the water column in well-mixed zones. The waters where are the scallop collectors in Îles de la Madeleine are also well-mixed (pers. obs.)

According to Culliney (1974), the larvae reaching the pediveliger stage seek to settle in presence of a suitable substrate. Therefore, the presence of competent pediveligers in larval samples may indicate that the larvae will soon be fixing on an adequate substrate and growers should begin to deploy their collectors. Such synchronization between pediveliger larvae and spat collector has been observed off the east coast of Prince Edward Island (Leslie-Anne Davidson, DFO-Moncton, pers. comm.). Larval survey of scallop could be useful in this context but in the present study, larval monitoring data was not an efficient tool to predict the best deployment period for collectors since the abundance of scallop larvae could not be linked to spat settlement in collectors. Neither could the abundance of competent larvae of scallop near the bottom

be linked with the spat settlement. However, these collectors seem very efficient for scallop collection as they provide spat in abundance despite very low densities of larvae in the water column.

Overabundant settlement of undesirable organisms (*Hiatella arctica*, *Mytilus edulis*, *Anomia* spp., *Asterias vulgaris*) in scallop collectors can negatively affect survival rate and growth of young scallops, increase time to handle and clean collectors, slow sorting operations and increase production costs. The use of larval monitoring could be interesting to avoid settlement peaks of undesirable species such as the mussel and the hiatella, which are the two main undesirable species. In 2003, when the abundance of mussel larvae decreased, the quantity of mussel spat also decreased. Also, in 2004 the same pattern was observed for hiatellas. Based on larval surveys, growers could decide to delay collector deployment by a few days to reduce the settlement of undesirable organisms while maintaining an abundant scallop collection. Doing so, it would have been possible to reduce the abundance of mussels in the collectors in 2003 while in 2004, the hiatella abundance could have been reduced by half.

## 2.5 ACKNOWLEDGEMENTS

A valuable assistance was given by the staff of the Centre maricole des Îles de la Madeleine. Special thanks to Michèle Langford for field samplings, Francine Aucoin for the assistance in the identification of larvae, Jean-Guy Turbide for the design and installation of underwater structures, Jacques Richard for the cleaning of all collectors.

Funding was provided by the MAPAQ (Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec) and SODIM (Société de Développement de l'Industrie Maricole). Thanks are also due to scallop growers (Pétoncles 2000 and Imaqua) and scuba divers (Le Repère du plongeur). Hélène Crépeau (Service de consultation de l'Université Laval) provided invaluable assistance in statistical analyses.

**CHAPITRE 3: WEEKLY SPAT COLLECTION OF SEA SCALLOP (*Placopecten magellanicus*) AND UNDESIRABLE SPECIES AS A POTENTIEL TOOL TO PREDICT AN OPTIMAL DEPLOYMENT PERIOD OF SCALLOP SPAT COLLECTORS**

**Carole Cyr<sup>1,2</sup>, Gaston Desrosiers<sup>2</sup>, Bruno Myrand<sup>1</sup>, Georges Cliche<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Centre maricole des Îles de la Madeleine,  
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries  
et de l'Alimentation du Québec,  
107-125 Chemin du parc, Cap-aux-Meules,  
G4T 1B3*

<sup>2</sup>*Institut des sciences de la mer de Rimouski (ISMER),  
Rimouski, Québec,  
G5L 3A1*



## ABSTRACT

A study was conducted in the Îles de la Madeleine (Gulf of St. Lawrence, Canada) to evaluate if it is possible to predict the optimal collector deployment period to reduce the abundance of undesirable species and maintain a high collection of scallop spat. The timing of spat collection was characterized by weekly deployment of spat collectors for one-week periods. These collectors were placed at 2, 5 and 8 m above the bottom to represent the settlement range on commercial line. Other test collectors were deployed weekly between the third and eighth weeks following the onset of spawning at 2 m above the bottom and then were all retrieved in December, June and October to evaluate cumulative collection for these six different deployment periods. The first peak of *Mytilus edulis* and *Hiatella arctica* occurred in September before the *Placopecten magellanicus* peak. Weekly spat monitoring could be useful to identify when those peaks occur. As a result, growers can delay the collector deployment until after these peaks. This study showed that the best time to deploy collectors is 6 to 8 weeks after the scallop population has initiated spawning. Thus, the weekly spat collection monitoring appears effective to identify peak settlement of scallop and undesirable species and could be used as a husbandry practice to help growers determine the optimal time to deploy their collectors. Collectors deployed 5-6 weeks after spawning was initiated (September 29 and October 6) provided the highest abundance of scallops one year later, at the usual commercial retrieval period. The abundance of scallops observed in collectors deployed on October 6, 2003 and retrieved in October 2004 was of 52 % of the initial numbers found in December 2003 while for mussels, losses were of about 69 % over the same period. The abundance of hiatellas and anomias increased between December and the following June and decreased afterwards.

## 3.1 INTRODUCTION

Overexploitation of natural stocks of *Placopecten magellanicus* sparked interest in scallop culture in the early 1990s in Îles de la Madeleine. Wild spat is obtained by suspending artificial collectors in open waters. Spat collectors are deployed four to six weeks after spawning of sea scallops is initiated. Up to date the spat collection has been fairly reliable and each collector generally provides 2000-7000 scallops three months after deployment (Cliche *et al.* 2005). Although spat collection is successful, heavy losses are observed when collectors are retrieved 12 to 14 months after deployment. At

this time, the recovery rate varies greatly. In 2001, for example, the spat count was only between 3 and 50 % of the initial numbers observed in previous December, two months after collector deployment (Cyr *et al.* 2002).

From year to year, undesirable organisms (*Hiatella arctica*, *Mytilus edulis*, *Anomia* spp., *Asterias vulgaris*) also settle in the scallop collectors. These organisms may slow down scallop growth (competition for food and space) and/or increase scallop mortality (predation and packing) (Dadswell 2000; Ross *et al.* 2002). When abundant, these undesirable organisms also add extra weight on the longlines, thus decreasing their buoyancy (Dadswell 2000). In some cases, collectors end up laying down on the bottom where they are damaged due to chafing so that scallops can escape or be eaten by benthic predators (crabs and seastars). Also, handling and cleaning of collectors are impeded when undesirable organisms are abundant thus leading to an increase in labour costs. All these constraints reduce the profitability of the aquaculture operations (Dadswell 2000; Denyse Hébert, Pétoncles 2000, pers. comm.) and thus, must be reduced.

The present study was conducted to investigate a tool that could contribute to predict the best timing for collector deployment in order to reduce the presence of undesirable organisms while keeping an abundant sea scallop spat collection. Specific objectives were: i) to characterize the spat collection of scallops and undesirable species in relation to the timing of the collectors deployment following the initiation of sea scallop spawning; ii) to evaluate if monitoring for weekly spat collection of scallops and

undesirable species is useful to predict an optimal collector deployment period, iii) to evaluate abundance, growth and survival rate of sea scallop (*P. magellanicus*), iv) to monitor the abundance and length of main undesirable species (*H. arctica*, *M. edulis*, *Anomia* spp., *A. vulgaris*) in collectors during the year following settlement.

### 3.2 MATERIALS AND METHODS

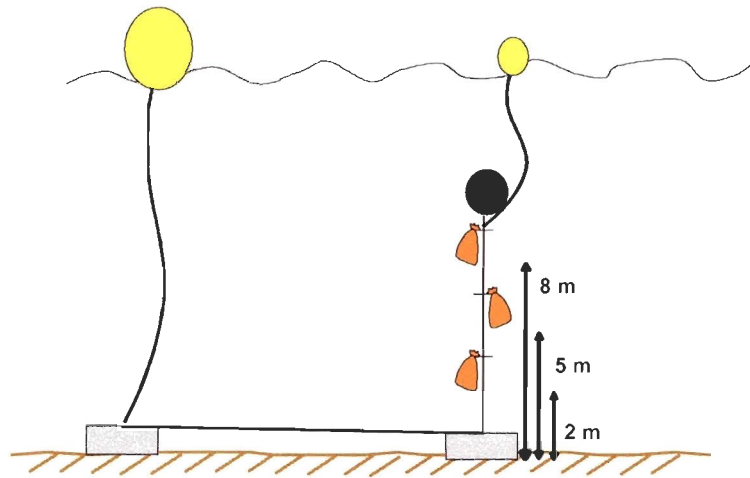
#### 3.2.1 *Study area*

The experimental study was conducted in 2003 and 2004 in open waters off the Îles de la Madeleine in southern Gulf of St. Lawrence (Canada) near the spat collection site used by the scallop growers on the Pearl Reef (water depth: 30-32 m).

#### 3.2.2 *Weekly spat collection monitoring*

Peak recruitment of newly settled scallops and main undesirable species was estimated using artificial collectors immersed throughout the settlement period. The spat collectors were made of 2-mm mesh bags each filled with four Netron™ sections and immersed at 2, 5, and 8 m above the bottom (Figure 3.1) on the Pearl Reef. The collectors were deployed weekly at three sites for eleven consecutive weeks in 2003 starting on August 19 and for eight consecutive weeks in 2004 starting on September 9. They were retrieved a week after their deployment and cleaned individually in the laboratory using a high-pressure water jet. The recovered material retained on a 250-µm mesh sieve was then preserved in 95 % ethanol until further analysis. The sea scallops (*P. magellanicus*) as well as four undesirable species (3 molluscs: *M. edulis*, *H. arctica*,

counted. A random sub-sample of 30 specimens of each species inside each collector was also measured. All specimens of a given species were measured when their number was  $< 30$  in the sample.



**Figure 3.1. Underwater set-up to suspend scallop collectors at 2, 5 and 8 m above the bottom for weekly spat collection monitoring.**

In 2004, an experiment was added to assess whether some small spat may be lost at retrieval through the 2-mm mesh collectors during their ascent towards the surface. Over 7 consecutive weeks, two different methods to retrieve the experimental collectors deployed at 2, 5 and 8 m above the bottom were compared: half of the collectors were pulled up directly to the surface as in 2003 while the others were gently placed in individual 250- $\mu\text{m}$  mesh bags and retrieved by divers to assure that no post-larvae were lost through the collectors meshes during the ascent to the surface.

### 3.2.3 *Cumulative spat collection monitoring*

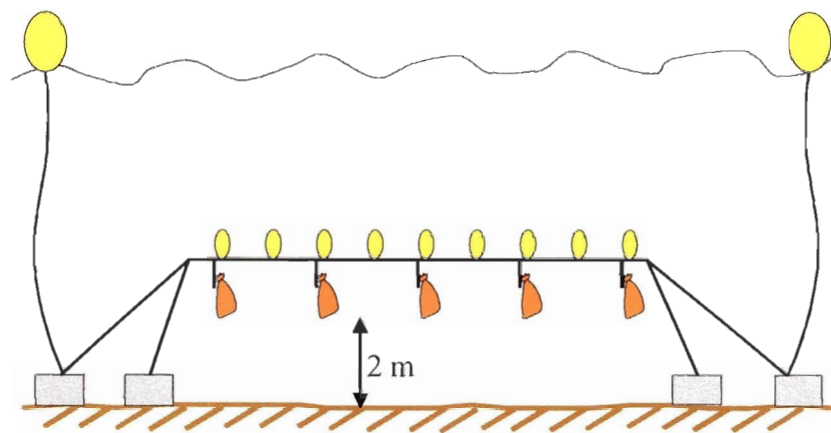
To characterize how the timing of collector immersion influences spat collection, three series of five tagged collectors were deployed weekly for six consecutive weeks (15 collectors / week x 6 weeks) starting three weeks after spawning was initiated (September 15, 2003). Each series of five collectors was suspended to a longline at two meters above the bottom on the Pearl Reef (Figure 3.2). The initial spat collection success for each immersion period was assessed on December 6, 2003 with five collectors retrieved from one of three longlines per deployment period (30 collectors). The collectors were cleaned and the recovered material was handled and stored as described previously for the weekly settlement experiment. The other collectors were left at the collection site and the same procedure was repeated twice in 2004 with retrievals on June 2 and October 5 to characterize the temporal changes in abundance of organisms in collectors, particularly the losses of young scallops with time. For the October retrieval, a random sub-sample (1/8 of the total wet weight of all organisms inside each collector) was counted because of the abundance of the organisms. A sub-sample of 30 specimens of each species in each collector was also measured. The October retrieval occurred during the usual retrieval of collectors by scallop growers (about one year after deployment).

Survival rates of scallops and mussels were calculated between 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> retrieval period and also between 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> retrieval period. Daily growth rates were also

calculated from shell height (shell height: hinge perpendicular to margin) using the following equation:

$$\text{Daily growth rate} = \frac{Fsh - Ish}{n \text{ days}}$$

where Fsh = final shell height (mm), Ish = initial shell height and n days = number of days between the beginning and the end retrieval period.



**Figure 3.2. Underwater structure maintaining collectors at 2 m above the sea bottom for deployment period monitoring**

In 2004, only one series of five tagged collectors was deployed weekly for six consecutive weeks (5 collectors/week x 6 weeks), starting three weeks after spawning was initiated (September 22, 2004). All collectors were retrieved on December 7, 2004 and analyzed as in 2003.

#### 3.2.4 Statistical analysis

Statistical analyses were performed using Systat software package, version 10.2 (Systat 2002). When needed, data were transformed (square root or  $\log_{10}$ ) prior to

analysis to satisfy the assumption of homogeneity of variance (using Levene's test) and to improve hypothesis of normality (using Shapiro-Wilk's test).

For weekly spat collection monitoring, count data of each species (*P. magellanicus*, *M. edulis*, *H. arctica*, *Anomia* sp. and *A. vulgaris*) were analyzed with two-way factorial ANOVAs with date of sampling and depth (2, 5 and 8 m above the bottom) as main factors. Because there were significant interactions between depth and deployment date, one-way ANOVAs were done to compare sampling dates for each depth taken separately. When significant differences were detected, a *post hoc* test was performed using Tukey's procedure.

For the cumulative collection monitoring, count data of each species (*P. magellanicus*, *M. edulis*, *H. arctica*, *Anomia* sp. and *A. vulgaris*) were analyzed with two-way factorial ANOVAs with deployment date and retrieval date (December 6, 2003; June 2, 2004; October 5, 2004) as main factors to evaluate at which retrieval date the abundance of each species is the highest. Because there were significant interactions between retrieval date and deployment date for all undesirable species and scallop, ANOVAs were done for each species to compare their abundance among deployment dates for each retrieval date taken separately. Further ANOVAs were done for each species to compare their abundance among retrieval dates for each deployment date taken separately. When significant differences were detected, a *post hoc* test was performed using Tukey's procedure.

### 3.3 RESULTS

#### 3.3.1 Weekly spat collection monitoring

##### *Results 2003*

Except for anomia and seastar, there were significant deployment date x depth interactions on weekly spat collection (Table 3.1). However, the scallop abundance tended to be higher at 5 and 8 m above the bottom. Hiatella abundance tended to be higher at 2 m above the bottom while mussels were in higher abundance at 8 m above the bottom.

**Table 3.1. Results of the analyses of variance (ANOVAs) with repeated measures testing the effect of deployment date and depth (2, 5 and 8 m above the bottom) on weekly spat collection in 2003. Df for error = 44 except for deployment date = 22.**

Species	Source of variation	df	<i>F</i>	<i>p</i>
Scallop*	Deployment date	10	217.47	<0.0001
	Depth	2	4.91	0.0119
	Deployment date * Depth	20	9.56	<b>&lt;0.0001</b>
Hiatella*	Deployment date	10	5.92	0.0003
	Depth	2	60.74	<0.0001
	Deployment date * Depth	20	3.23	<b>0.0006</b>
Mussel**	Deployment date	10	10.74	<0.0001
	Depth	2	81.02	<0.0001
	Deployment date * Depth	20	3.22	<b>0.0006</b>
Anomia*	Deployment date	10	1.31	0.2858
	Depth	2	1.28	0.2872
	Deployment date * Depth	20	1.12	0.3678
Seastar*	Deployment date	10	30.31	<0.0001
	Depth	2	4.61	0.0134
	Deployment date * Depth	20	1.12	0.3566

Note: df: degrees of freedom; \*: square root transformed count data; \*\*: log transformed count data.

There were no significant differences among depths and also among deployment dates for anomia (Table 3.1). Seastars were significantly more abundant at 8 m above



the bottom than the two other depths (no difference among these two depths). They also were more abundant in collectors deployed on September 22 than in those deployed at the other dates.

Because of the significant deployment date x depth interactions, the abundance of scallop, hiatella and mussel spat in collectors was compared among dates for each depth (Table 3.2). Except for hiatella at 2 m above the bottom, there were always significant differences among dates for each species at all depths (Table 3.2).

**Table 3.2. Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of deployment date on weekly spat collection in 2003. Count data for each species was compared for 3 depths (2, 5 and 8 m above the bottom). For each comparison, df= 10 and 22.**

Depth	Species	<i>F</i>	<i>p</i>
2 m	Scallop*	79.35	<0.0001
	Hiatella*	2.23	0.0561
	Mussel**	9.87	<0.0001
5 m	Scallop*	167.81	<0.0001
	Hiatella*	4.96	0.0008
	Mussel**	3.23	0.0104
8 m	Scallop*	89.96	<0.0001
	Hiatella*	10.27	<0.0001
	Mussel**	14.09	<0.0001

Note: df: degrees of freedom; \*: square root transformed count data; \*\*: log transformed count data.

Scallop spat was relatively abundant in collectors deployed at different depths (2, 5, and 8 m above the bottom) for 1-week periods. *P. magellanicus* collection was significantly higher in collectors deployed for one week starting on October 13 (Table 3.3). During this period, the scallop abundance increased with the distance from the bottom: 475, 722 and 1454 spat / collector at 2, 5 and 8 m above the bottom, respectively.

*M. edulis* was usually the most abundant organism found in collectors immersed for 1-week periods (Table 3.3). A first peak collection was observed in collectors deployed on August 19 and 26 at 5 and 8 m above the bottom. At 2 m above the bottom, this peak was limited to the collectors deployed on August 26. A second peak occurred in collectors deployed on October 7 and 13 at 5 m from the bottom. This peak was also observed at 2 m but was limited to collectors deployed on October 13. No second peak was observed at 8 m from the bottom. The highest numbers of mussels were observed at 5 and 8 m above the bottom.

*H. arctica* was found in greater numbers in collectors deployed at 2 m above the bottom with values ranging from 88 to 354 spat / collector for each date (Table 3.3). At 5 m above the bottom, a first peak collection was observed in collectors deployed on August 19. A second and extended peak was then observed for several deployment dates most of them after September 22. At 8 m above the bottom, the peak collection of hiatella was limited and observed on October 13 with 188 spat / collector.

*Anomia* sp. occurred in relatively low abundance with < 100 individuals / collector (Table 3.3) and no significant difference between deployment dates and between depths (Table 3.1). *A. vulgaris* was present only in low numbers throughout the experimental period with  $\leq 30$  individuals / collector at all depths (Table 3.3). The seastar abundance was at its highest at 8 m above the bottom in collectors deployed on September 22 with 30 ind. / collector.

**Table 3.3. Number of spat (mean  $\pm$  s.e.) per collector deployed at different depths (2, 5, and 8 m above the bottom) for about 1-week periods in 2003.**

Depth	Deployment period	Anomia	Seastar	Hiatella	Mussel	Scallop
2 m	Aug 19-26	1 $\pm$ 1	2 $\pm$ 1	347 $\pm$ 202	281 $\pm$ 110 <sup>b</sup>	0 <sup>e</sup>
	Aug 26-Sept 2	6 $\pm$ 4	4 $\pm$ 1	354 $\pm$ 104	<b>1148 <math>\pm</math> 660<sup>a</sup></b>	3 $\pm$ 2 <sup>e</sup>
	Sept 2-8	19 $\pm$ 18	2 $\pm$ 2	88 $\pm$ 34	115 $\pm$ 27 <sup>bcd</sup>	0 <sup>e</sup>
	Sept 8-15	47 $\pm$ 23	5 $\pm$ 2	109 $\pm$ 24	104 $\pm$ 44 <sup>bcd</sup>	0 <sup>e</sup>
	Sept 15-22	1 $\pm$ 1	0	91 $\pm$ 32	41 $\pm$ 22 <sup>e</sup>	0 <sup>e</sup>
	Sept 22-Oct 1	5 $\pm$ 1	26 $\pm$ 3	156 $\pm$ 35	119 $\pm$ 30 <sup>bcd</sup>	5 $\pm$ 2 <sup>e</sup>
	Oct 1-7	19 $\pm$ 15	6 $\pm$ 2	174 $\pm$ 20	52 $\pm$ 5 <sup>de</sup>	46 $\pm$ 10 <sup>d</sup>
	Oct 7-13	12 $\pm$ 4	1 $\pm$ 1	307 $\pm$ 29	208 $\pm$ 27 <sup>bc</sup>	345 $\pm$ 79 <sup>b</sup>
	Oct 13-20	5 $\pm$ 2	0.3 $\pm$ 0.3	141 $\pm$ 26	<b>1014 <math>\pm</math> 210<sup>a</sup></b>	<b>465 <math>\pm</math> 44<sup>a</sup></b>
	Oct 20-29	8 $\pm$ 4	0.3 $\pm$ 0.3	145 $\pm$ 37	218 $\pm$ 33 <sup>b</sup>	296 $\pm$ 38 <sup>b</sup>
	Oct 29-Nov 5	2 $\pm$ 2	0	114 $\pm$ 7	80 $\pm$ 14 <sup>cde</sup>	174 $\pm$ 34 <sup>c</sup>
5 m	Aug 19-26	1 $\pm$ 1	2 $\pm$ 1	<b>98 <math>\pm</math> 29<sup>abc</sup></b>	<b>807 <math>\pm</math> 382<sup>abcd</sup></b>	1 $\pm$ 1 <sup>f</sup>
	Aug 26-Sept 2	98 $\pm$ 96	7 $\pm$ 2	61 $\pm$ 30 <sup>cde</sup>	<b>4316 <math>\pm</math> 496<sup>a</sup></b>	3 $\pm$ 1 <sup>ef</sup>
	Sept 2-8	0	0	13 $\pm$ 5 <sup>d<sup>e</sup></sup>	330 $\pm$ 131 <sup>bcd<sup>e</sup></sup>	0 <sup>f</sup>
	Sept 8-15	1 $\pm$ 1	2 $\pm$ 1	28 $\pm$ 21 <sup>de</sup>	714 $\pm$ 579 <sup>de</sup>	0 <sup>f</sup>
	Sept 15-22	0	1 $\pm$ 1	11 $\pm$ 2 <sup>e</sup>	53 $\pm$ 15 <sup>e</sup>	0.3 $\pm$ 0.3 <sup>f</sup>
	Sept 22-Oct 1	3 $\pm$ 3	18 $\pm$ 3	<b>117 <math>\pm</math> 47<sup>abc</sup></b>	192 $\pm$ 32 <sup>bcd<sup>e</sup></sup>	11 $\pm$ 3 <sup>e</sup>
	Oct 1-7	5 $\pm$ 2	8 $\pm$ 2	<b>183 <math>\pm</math> 48<sup>a</sup></b>	105 $\pm$ 17 <sup>cde</sup>	61 $\pm$ 10 <sup>d</sup>
	Oct 7-13	9 $\pm$ 2	3.7 $\pm$ 0.3	<b>129 <math>\pm</math> 21<sup>ab</sup></b>	<b>761 <math>\pm</math> 153<sup>abc</sup></b>	176 $\pm$ 20 <sup>c</sup>
	Oct 13-20	1 $\pm$ 1	2 $\pm$ 1	<b>87 <math>\pm</math> 14<sup>abc</sup></b>	<b>1169 <math>\pm</math> 33<sup>ab</sup></b>	<b>722 <math>\pm</math> 78<sup>a</sup></b>
	Oct 20-29	17 $\pm$ 8	0	<b>91 <math>\pm</math> 7<sup>abc</sup></b>	259 $\pm$ 94 <sup>bcd<sup>e</sup></sup>	500 $\pm$ 50 <sup>b</sup>
	Oct 29-Nov 5	3 $\pm$ 1	0.3 $\pm$ 0.3	60 $\pm$ 11 <sup>bcd</sup>	118 $\pm$ 34 <sup>cde</sup>	202 $\pm$ 26 <sup>c</sup>
8 m	Aug 19-26	0.7 $\pm$ 0.3	1.7 $\pm$ 0.7	46 $\pm$ 19 <sup>bc</sup>	<b>4392 <math>\pm</math> 185<sup>a</sup></b>	1 $\pm$ 1 <sup>e</sup>
	Aug 26-Sept 2	0.7 $\pm$ 0.7	18 $\pm$ 2	18 $\pm$ 4 <sup>cd</sup>	<b>6673 <math>\pm</math> 155<sup>a</sup></b>	0.3 $\pm$ 0.3 <sup>e</sup>
	Sep 2-8	84 $\pm$ 84	1 $\pm$ 1	13 $\pm$ 7 <sup>de</sup>	1525 $\pm$ 560 <sup>b</sup>	0 <sup>e</sup>
	Sep 8-15	1 $\pm$ 1	8 $\pm$ 4	8 $\pm$ 3 <sup>de</sup>	547 $\pm$ 244 <sup>cd</sup>	0 <sup>e</sup>
	Sep 15-22	0	1 $\pm$ 1	2 $\pm$ 2 <sup>e</sup>	357 $\pm$ 65 <sup>cde</sup>	1 $\pm$ 1 <sup>e</sup>
	Sep 22-Oct 1	5 $\pm$ 3	30 $\pm$ 2	102 $\pm$ 48 <sup>b</sup>	231 $\pm$ 5 <sup>de</sup>	8 $\pm$ 3 <sup>e</sup>
	Oct 1-7	0.7 $\pm$ 0.3	12 $\pm$ 4	20 $\pm$ 1 <sup>cd</sup>	833 $\pm$ 232 <sup>bc</sup>	54 $\pm$ 7 <sup>d</sup>
	Oct 7-13	4 $\pm$ 1	3 $\pm$ 2	29 $\pm$ 2 <sup>cd</sup>	804 $\pm$ 316 <sup>bc</sup>	84 $\pm$ 10 <sup>cd</sup>
	Oct 13-20	4 $\pm$ 1	3 $\pm$ 3	<b>188 <math>\pm</math> 43<sup>a</sup></b>	1444 $\pm$ 511 <sup>b</sup>	<b>1454 <math>\pm</math> 260<sup>a</sup></b>
	Oct 20-29	2 $\pm$ 1	1 $\pm$ 1	27 $\pm$ 6 <sup>cd</sup>	336 $\pm$ 56 <sup>cde</sup>	475 $\pm$ 71 <sup>b</sup>
	Oct 29-Nov 5	4 $\pm$ 2	0.3 $\pm$ 0.3	19 $\pm$ 2 <sup>cd</sup>	139 $\pm$ 2 <sup>e</sup>	162 $\pm$ 30 <sup>c</sup>

Note: Letters denote means that are significantly different based on a Tukey *post hoc* test.

### **Results 2004**

There were significant deployment date  $\times$  depth interactions on weekly spat collection (Table 3.4) for densities of scallop, hiatella and mussel. Anomia and seastars

were not abundant enough (complete absence for several dates) to be examined with statistical comparisons. The scallop and hiatella abundances tended to be higher at 2 and 5 m above the bottom while mussels tended to be more abundant at 5 and 8 m above the bottom.

**Table 3.4. Results of the analyses of variance (ANOVAs) with repeated measures testing the effect of deployment date and depth (2, 5 and 8 m above the bottom) on weekly spat collection in 2004. Df for error = 38 except for deployment date = 20. No results were presented for anomia and seastar because the abundance was often = 0.**

Species	Source of variation	df	<i>F</i>	<i>p</i>
Scallop**	Deployment date	9	326.22	<0.0001
	Depth	2	26.02	<0.0001
	Deployment date * Depth	18	2.21	<b>0.0196</b>
Hiatella**	Deployment date	9	341.02	<0.0001
	Depth	2	255.67	<0.0001
	Deployment date * Depth	18	7.59	<b>&lt;0.0001</b>
Mussel**	Deployment date	9	88.75	<0.0001
	Depth	2	0.04	0.9586
	Deployment date * Depth	18	7.72	<b>&lt;0.0001</b>

Note: df: degrees of freedom; \*\*: log transformed count data.

Because of the significant deployment date x depth interactions, the abundance of scallop, hiatella and mussel spat in collectors was compared among dates for each depth taken separately (Table 3.5). Weekly spat collection at 2, 5 and 8 m above the bottom differed significantly with the sampling date for each species. (Table 3.5).

**Table 3.5. Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of deployment date on weekly spat collection in 2004. Count data for each species by depth (2, 5 and 8 m above the bottom). For each comparison,  $df = 9$  and  $19$  at 2 and 5 m above the bottom and  $df = 9$  and  $20$  at 8 m above the bottom. No results were presented for anomia and seastar because the abundance was often = 0.**

Depth	Species	<i>F</i>	<i>p</i>
2 m	Scallop**	62.00	<0.0001
	Hiatella**	106.71	<0.0001
	Mussel**	35.26	<0.0001
5 m	Scallop**	93.55	<0.0001
	Hiatella**	147.93	<0.0001
	Mussel**	46.13	<0.0001
8 m	Scallop**	49.73	<0.0001
	Hiatella**	135.44	<0.0001
	Mussel**	31.86	<0.0001

Note: *df*: degrees of freedom; \*\*: log transformed count data.

Peak collection of scallops was observed at all depths over a 3-week period between October 18 and November 9 (Table 3.6). Peaks were higher at 2 and 5 m above the bottom than at 8 m above the bottom. *H. arctica* had a single and important peak at all depths in collectors deployed for a 2-week period between September 9 and 22. During this period, hiatella abundance was inversely related to the distance from the bottom: 14194, 8688 and 2300 spat / collector at 2, 5 and 8 m above the bottom, respectively. These numbers were very much higher than in 2003 (Table 3.3 vs 3.6). A settlement peak of *M. edulis* also occurred at all depths in collectors deployed between September 9 and 22 (1717, 1694 and 345 spat / collector at 8, 5 and 2 m above the bottom, respectively). A second peak was observed but only at 2 m above the bottom in collectors deployed on November 1 with 457 mussels / collector (Tables 3.6). This second peak was comparable to the first one. As in 2003, very few anomias were found in collectors deployed weekly between September 9 and November 18 with densities  $\leq 4$

spat / collector. No anomia were found after November 9 at all depths. Some seastars were retrieved throughout the sampling period but the highest abundance was found in collectors deployed on September 9 with 15-37 seastars / collector (Table 3.6).

**Table 3.6. Number of spats (mean  $\pm$  s.e.) per collector deployed at different depths (2, 5, and 8 m above the bottom) for about 1-week periods in 2004.**

Depth	Deployment period	Anomia	Seastar	Hiatella	Mussel	Scallop
2 m	Sept 9-22	0	15 $\pm$ 1	<b>14194 <math>\pm</math> 408<sup>a</sup></b>	<b>345 <math>\pm</math> 30<sup>a</sup></b>	3 $\pm$ 1 <sup>d</sup>
	Sept 22-29	0	0	853 $\pm$ 151 <sup>b</sup>	14 $\pm$ 2 <sup>cd</sup>	1 $\pm$ 1 <sup>d</sup>
	Sept 29-Oct 5	1.3 $\pm$ 0.3	0	360 $\pm$ 56 <sup>cd</sup>	11 $\pm$ 4 <sup>de</sup>	14 $\pm$ 4 <sup>bc</sup>
	Oct 5-14	0.3 $\pm$ 0.3	0	198 $\pm$ 29 <sup>de</sup>	62 $\pm$ 12 <sup>b</sup>	22 $\pm$ 6 <sup>b</sup>
	Oct 14-18	0.3 $\pm$ 0.3	0	6 $\pm$ 2 <sup>h</sup>	19 $\pm$ 2 <sup>cd</sup>	9 $\pm$ 4 <sup>c</sup>
	Oct 18-25	2 $\pm$ 1	0.3 $\pm$ 0.3	65 $\pm$ 14 <sup>f</sup>	5 $\pm$ 1 <sup>e</sup>	<b>238 <math>\pm</math> 34<sup>a</sup></b>
	Oct 25-Nov 1	2 $\pm$ 2	1 $\pm$ 1	697 $\pm$ 207 <sup>bc</sup>	22 $\pm$ 5 <sup>c</sup>	<b>307 <math>\pm</math> 56<sup>a</sup></b>
	Nov 1-9	1 $\pm$ 1	2 $\pm$ 1	113 $\pm$ 18 <sup>ef</sup>	<b>457 <math>\pm</math> 24<sup>a</sup></b>	<b>338 <math>\pm</math> 33<sup>a</sup></b>
	Nov 9-18	0	0	16 $\pm$ 1 <sup>g</sup>	69 $\pm$ 28 <sup>b</sup>	19 $\pm$ 2 <sup>bc</sup>
Nov 18-25	0	0.3 $\pm$ 0.3	1.3 $\pm$ 0.3 <sup>i</sup>	10 $\pm$ 1 <sup>cde</sup>	1 $\pm$ 1 <sup>d</sup>	
5 m	Sept 9-22	0	37 $\pm$ 16	<b>8688 <math>\pm</math> 1565<sup>a</sup></b>	<b>1694 <math>\pm</math> 507<sup>a</sup></b>	0 <sup>d</sup>
	Sept 22-29	0.7 $\pm$ 0.3	0.3 $\pm$ 0.3	359 $\pm$ 38 <sup>b</sup>	6 $\pm$ 1 <sup>f</sup>	0 <sup>d</sup>
	Sept 29-Oct 5	0.3 $\pm$ 0.3	0	92 $\pm$ 5 <sup>c</sup>	18 $\pm$ 5 <sup>de</sup>	2 $\pm$ 1 <sup>c</sup>
	Oct 5-14	1 $\pm$ 1	0.3 $\pm$ 0.3	154 $\pm$ 33 <sup>c</sup>	61 $\pm$ 7 <sup>c</sup>	18 $\pm$ 4 <sup>b</sup>
	Oct 14-18	0	0	4 $\pm$ 2 <sup>e</sup>	16 $\pm$ 5 <sup>de</sup>	2 $\pm$ 1 <sup>c</sup>
	Oct 18-25	1 $\pm$ 1	1 $\pm$ 1	25 $\pm$ 7 <sup>d</sup>	9 $\pm$ 1 <sup>ef</sup>	<b>195 <math>\pm</math> 8<sup>a</sup></b>
	Oct 25-Nov 1	4 $\pm$ 2	2 $\pm$ 1	109 $\pm$ 17 <sup>c</sup>	27 $\pm$ 6 <sup>d</sup>	<b>309 <math>\pm</math> 61<sup>a</sup></b>
	Nov 1-9	1 $\pm$ 1	4 $\pm$ 1	25 $\pm$ 7 <sup>d</sup>	152 $\pm$ 40 <sup>b</sup>	<b>354 <math>\pm</math> 68<sup>a</sup></b>
	Nov 9-18	0	1 $\pm$ 1	4 $\pm$ 1 <sup>e</sup>	41 $\pm$ 17 <sup>cd</sup>	17 $\pm$ 4 <sup>b</sup>
Nov 18-25	0	0	0.7 $\pm$ 0.3 <sup>f</sup>	10 $\pm$ 3 <sup>ef</sup>	1 $\pm$ 1 <sup>cd</sup>	
8 m	Sept 9-22	0	33 $\pm$ 10	<b>2300 <math>\pm</math> 325<sup>a</sup></b>	<b>1717 <math>\pm</math> 511<sup>a</sup></b>	0.3 $\pm$ 0.3 <sup>c</sup>
	Sept 22-29	0	0	47 $\pm$ 8 <sup>b</sup>	6 $\pm$ 2 <sup>f</sup>	0.3 $\pm$ 0.3 <sup>c</sup>
	Sept 29-Oct 5	0	0	32 $\pm$ 6 <sup>b</sup>	8.3 $\pm$ 0.3 <sup>f</sup>	0.7 $\pm$ 0.3 <sup>de</sup>
	Oct 5-14	0	0.7 $\pm$ 0.3	18 $\pm$ 4 <sup>c</sup>	77 $\pm$ 3 <sup>b</sup>	7 $\pm$ 3 <sup>c</sup>
	Oct 14-18	0.3 $\pm$ 0.3	0	2 $\pm$ 1 <sup>f</sup>	21 $\pm$ 5 <sup>e</sup>	3 $\pm$ 1 <sup>d</sup>
	Oct 18-25	1 $\pm$ 1	0	3 $\pm$ 1 <sup>e</sup>	62 $\pm$ 16 <sup>bc</sup>	<b>73 <math>\pm</math> 19<sup>a</sup></b>
	Oct 25-Nov 1	0.3 $\pm$ 0.3	1 $\pm$ 1	32 $\pm$ 4 <sup>b</sup>	32 $\pm$ 7 <sup>cde</sup>	<b>121 <math>\pm</math> 38<sup>a</sup></b>
	Nov 1-9	0.3 $\pm$ 0.3	2 $\pm$ 1	7 $\pm$ 1 <sup>d</sup>	51 $\pm$ 1 <sup>bcd</sup>	<b>149 <math>\pm</math> 39<sup>a</sup></b>
	Nov 9-18	0	0	5 $\pm$ 1 <sup>de</sup>	32 $\pm$ 14 <sup>de</sup>	19 $\pm$ 7 <sup>b</sup>
Nov 18-25	0	0	0.7 $\pm$ 0.3 <sup>f</sup>	6.7 $\pm$ 0.3 <sup>f</sup>	0.7 $\pm$ 0.3 <sup>de</sup>	

Note: Letters denote means that are significantly different based on a Tukey *post hoc* test.

An experiment was added to assess whether some small spat may be lost through the 2-mm mesh collectors during their ascent towards the surface at retrieval and thus

biased the results. Except for hiatella on October 25, there were no significant depth x method interactions on weekly spat collection for all species at each sampling date (Table 3.7). There were no significant differences between both methods to retrieve the experiments collectors according to the number of scallops, hiatellas, anomias, mussels and seastars except for mussel on September 22 (higher with diving), anomia on September 29 (lower with diving) and scallop on October 5 (higher with diving) (Table 3.7). Thus, losses of post-larvae through the collector meshes, during the ascent to the surface, are marginal and do not bias results.

**Table 3.7. Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of deployment date and retrieval method (directly vs by diving) on weekly spat collection in 2004.**

Sampling date	Species	Source of variation	df	<i>F</i>	<i>p</i>
September 22	Scallop*	Depth	2	2.58	0.1171
		Method	1	1.63	0.2265
		Depth * Method	2	0.44	0.6527
		Error	12		
	Hiatella**	Depth	2	106.14	< <b>0.0001</b>
		Method	1	0.21	0.6548
		Depth * Method	2	1.98	0.1810
		Error	12		
	Mussel**	Depth	2	6.04	<b>0.0153</b>
		Method	1	12.20	<b>0.0044</b>
		Depth * Method	2	2.01	0.1771
		Error	12		
	Anomia*	Depth	2	1.50	0.2821
		Method	1	0.50	0.4930
		Depth * Method	2	3.50	0.0635
		Error	12		
Seastar*	Depth	2	1.00	0.3966	
	Method	1	1.00	0.3370	
	Depth * Method	2	1.00	0.3966	
	Error	12			

Note: df: degrees of freedom; \*: square root transformed count data; \*\*: log transformed count data

**Table 3.7.**

Sampling date	Species	Source of variation	df	<i>F</i>	<i>p</i>
September 29	Scallop*	Depth	2	35.91	<b>&lt;0.0001</b>
		Method	1	0.04	0.8445
		Depth * Method	2	0.62	0.5540
		Error	12		
	Hiatella**	Depth	2	242.12	<b>&lt;0.0001</b>
		Method	1	0.43	0.5260
		Depth * Method	2	0.60	0.5630
		Error	12		
	Mussel**	Depth	2	0.78	0.4819
		Method	1	3.35	0.0920
		Depth * Method	2	2.00	0.1781
		Error	12		
	Anomia*	Depth	2	7.40	<b>0.0081</b>
		Method	1	5.37	<b>0.0390</b>
		Depth * Method	2	3.50	0.1737
		Error	12		
October 5	Scallop*	Depth	2	9.39	<b>0.0035</b>
		Method	1	4.94	<b>0.0463</b>
		Depth * Method	2	1.23	0.3266
		Error	12		
	Hiatella**	Depth	2	50.33	<b>&lt;0.0001</b>
		Method	1	0.56	0.4699
		Depth * Method	2	3.77	0.0536
		Error	12		
	Mussel**	Depth	2	1.20	0.3337
		Method	1	1.55	0.2368
		Depth * Method	2	0.78	0.4811
		Error	12		
	Anomia*	Depth	2	1.34	0.2994
		Method	1	2.29	0.1559
		Depth * Method	2	2.96	0.0901
		Error	12		
	Seastar*	Depth	2	6.66	<b>0.0114</b>
		Method	1	0.55	0.4707
		Depth * Method	2	0.84	0.4547
		Error	12		



**Table 3.7.**

Sampling date	Species	Source of variation	df	<i>F</i>	<i>p</i>
October 14	Scallop*	Depth	2	0.92	0.4347
		Method	1	0.63	0.4476
		Depth * Method	2	2.53	0.1347
		Error	9		
	Hiatella**	Depth	2	3.59	0.0844
		Method	1	0.00	0.9488
		Depth * Method	2	1.52	0.2834
		Error	7		
	Mussel**	Depth	2	0.22	0.8072
		Method	1	0.55	0.4760
		Depth * Method	2	0.10	0.9071
		Error	9		
	Anomia*	Depth	2	0.30	0.7479
		Method	1	1.20	0.3018
		Depth * Method	2	0.30	0.7479
		Error	9		
October 18	Scallop*	Depth	2	17.88	<b>0.0003</b>
		Method	1	0.41	0.5362
		Depth * Method	2	2.51	0.1225
		Error	12		
	Hiatella**	Depth	2	129.21	<b>&lt;0.0001</b>
		Method	1	0.16	0.6964
		Depth * Method	2	1.24	0.3230
		Error	12		
	Mussel**	Depth	2	35.88	<b>&lt;0.0001</b>
		Method	1	0.20	0.6620
		Depth * Method	2	0.20	0.8183
		Error	12		
	Anomia*	Depth	2	1.24	0.3229
		Method	1	1.39	0.2617
		Depth * Method	2	0.32	0.7340
		Error	12		
	Seastar*	Depth	2	0.51	0.6143
		Method	1	0.15	0.7036
		Depth * Method	2	1.06	0.3758
		Error	12		

**Table 3.7.**

Sampling date	Species	Source of variation	df	<i>F</i>	<i>p</i>
October 25	Scallop*	Depth	2	7.01	<b>0.0096</b>
		Method	1	0.21	0.6550
		Depth * Method	2	1.89	0.1938
		Error	12		
	Hiatella**	Depth	2	96.48	<b>&lt;0.0001</b>
		Method	1	0.25	0.6205
		Depth * Method	2	7.10	<b>0.0093</b>
		Error	12		
	Mussel**	Depth	2	2.45	0.1281
		Method	1	1.30	0.2767
		Depth * Method	2	0.20	0.8210
		Error	12		
	Anomia*	Depth	2	1.16	0.3455
		Method	1	0.00	0.9722
		Depth * Method	2	0.91	0.4293
		Error	12		
	Seastar*	Depth	2	0.26	0.7771
		Method	1	0.01	0.9349
		Depth * Method	2	0.40	0.6776
		Error	12		
November 1	Scallop*	Depth	2	5.94	<b>0.0161</b>
		Method	1	1.66	0.2223
		Depth * Method	2	2.43	0.1299
		Error	12		
	Hiatella**	Depth	2	76.14	<b>&lt;0.0001</b>
		Method	1	4.25	0.0615
		Depth * Method	2	3.87	0.0503
		Error	12		
	Mussel**	Depth	2	49.13	<b>&lt;0.0001</b>
		Method	1	0.00	0.9537
		Depth * Method	2	0.80	0.4724
		Error	12		
	Anomia*	Depth	2	1.84	0.2015
		Method	1	1.60	0.2305
		Depth * Method	2	0.63	0.5505
		Error	12		
	Seastar*	Depth	2	0.62	0.5558
		Method	1	1.41	0.2586
		Depth * Method	2	0.19	0.8317
		Error	12		

### 2.3.5 Cumulative spat collection monitoring

#### **Results 2003**

There were significant deployment date x retrieval date interactions on cumulative spat collection for all species (Table 3.8). Seastars abundance could not be compared statistically because of their frequent absence in collectors.

**Table 3.8. Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of deployment date and retrieval date on cumulative spat collection in 2003-2004. No results were presented for seastar because the abundance was often = 0.**

Species	Source of variation	df	<i>F</i>	<i>p</i>
Scallop	Deployment date	5	7.29	<0.0001
	Retrieval date	2	30.43	<0.0001
	Deployment date * Retrieval date	10	2.66	<b>0.0083</b>
	Error	70		
Hiatella*	Deployment date	5	43.27	<0.0001
	Retrieval date	2	64.60	<0.0001
	Deployment date * Retrieval date	10	6.59	<b>&lt;0.0001</b>
	Error	70		
Mussel**	Deployment date	5	4.64	0.0010
	Retrieval date	2	59.73	<0.0001
	Deployment date * Retrieval date	10	2.85	<b>0.0049</b>
	Error	70		
Anomia**	Deployment date	5	17.62	<0.0001
	Retrieval date	2	6.76	0.0021
	Deployment date * Retrieval date	10	3.29	<b>0.0015</b>
	Error	70		

Note: df: degrees of freedom; \*: square root transformed count data; \*\*: log transformed count data

Because of the significant interactions between retrieval date and deployment date for all species, ANOVAs were done for each species to compare their abundance among deployment dates for each retrieval date taken separately.

In December 2003, less than three months after collector deployment, the abundance of all species differed significantly with the deployment date (Table 3.9).

**Table 3.9. Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of deployment date on cumulative spat collection in 2003. Collectors retrieved on December 6, 2003. For each comparison, df = 5 and 23.**

Species	<i>F</i>	<i>p</i>
Scallop	14.15	<0.0001
Hiatella	38.64	<0.0001
Mussel*	8.21	<0.0001
Anomia*	18.87	<0.0001

Note: df: degrees freedom; \*: square root transformed count data.

The highest abundance of scallops was observed in collectors deployed on September 15 (3 weeks after the sea scallop began to spawn) and on October 6 (6 weeks after the sea scallop began to spawn) with 5074 and 5808 spat / collector, respectively (Table 3.10). The greatest abundance of *M. edulis*, *H. arctica* and *Anomia* sp. was found in collectors deployed on September 15 (3 weeks after the sea scallop began to spawn) with 2833, 5296, and 3559 spat / collector, respectively. Collectors deployed later in fall, on October 20 (eight weeks after the sea scallop began to spawn) still provided scallops in abundance (3202 spat / collector) while the undesired species were in low numbers: 787 mussels, 950 hiatellas, 419 anomias. Seastars were found in very low numbers for all deployment dates. Collectors deployed on October 6 (6 weeks after the sea scallop began to spawn) and afterwards provided scallops in higher numbers than all the undesirable species taken together with scallop: undesirable species ratio > 1. The ratio was < 1 for collectors deployed 3 to 5 weeks after spawning is initiated (Table 3.10).

**Table 3.10. Number of spat (mean  $\pm$  s.e) per collector deployed in 2003 and retrieved on December 6, 2003.**

Deployment Date	<i>Placopecten magellanicus</i>	<i>Hiatella arctica</i>	<i>Mytilus edulis</i>	<i>Anomia</i> sp.	<i>Asterias vulgaris</i>	Ratio
September 15	5074 $\pm$ 264 <sup>a</sup>	5296 $\pm$ 234 <sup>a</sup>	2833 $\pm$ 388 <sup>a</sup>	3559 $\pm$ 456 <sup>a</sup>	2 $\pm$ 1	0.4
September 22	4244 $\pm$ 164 <sup>b</sup>	3697 $\pm$ 272 <sup>b</sup>	1336 $\pm$ 74 <sup>b</sup>	2099 $\pm$ 238 <sup>b</sup>	0	0.6
September 29	4284 $\pm$ 208 <sup>b</sup>	2463 $\pm$ 423 <sup>c</sup>	1481 $\pm$ 299 <sup>b</sup>	1735 $\pm$ 450 <sup>bc</sup>	0	0.8
October 6	5808 $\pm$ 334 <sup>a</sup>	2118 $\pm$ 235 <sup>c</sup>	1228 $\pm$ 165 <sup>bc</sup>	1065 $\pm$ 232 <sup>c</sup>	0.2 $\pm$ 0.2	1.3
October 13	3693 $\pm$ 354 <sup>bc</sup>	831 $\pm$ 142 <sup>d</sup>	1281 $\pm$ 86 <sup>bc</sup>	376 $\pm$ 131 <sup>d</sup>	1.0 $\pm$ 0.4	1.5
October 20	3202 $\pm$ 70 <sup>c</sup>	950 $\pm$ 192 <sup>d</sup>	787 $\pm$ 196 <sup>c</sup>	419 $\pm$ 187 <sup>d</sup>	0	1.5

Note: Ratio= Mean number of scallops/Total mean number of undesirable species. Letters denote means that are significantly different based on a Tukey *post hoc* test.

The second retrieval in June 2004, 8-9 months after deployment, provided different results than the first retrieval in December 2003. This time, the number of scallop spat per collector did not differ significantly with the deployment date while there were still significant differences for hiatella, anomia and mussel (Table 3.11). No seastars were found in collectors retrieved in June 2004.

**Table 3.11. Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of deployment date on cumulative spat collection in 2003. Collectors retrieved on June 2, 2003. For each comparison, df = 5 and 24.**

Species	<i>F</i>	<i>p</i>
Scallop	1.35	0.2769
Hiatella	12.25	<0.0001
Mussel**	3.44	0.0174
Anomia**	4.01	0.0087

Note: df: degrees freedom; \*\*: log transformed count data.

The highest abundance of scallops was obtained from collectors immersed on September 29 (5 weeks after the sea scallop began to spawn) with 4156 spat / collector (Table 3.12) but it was not significantly higher than for the other deployment dates. The greatest abundance of *H. arctica* was found in collectors deployed on September 15 with 7706 per collector. *M. edulis* was found in higher abundance in collectors deployed on

September 15, 22 and 29 with 753, 819 and 337 spat / collector, respectively. The highest abundance of *Anomia* sp. was observed on September 15 with 3558 spat / collector but that was not significantly different from those deployed on September 22, September 29 and October 6. Interestingly, collectors deployed on October 20, 2003 (eight weeks after the sea scallop began to spawn) still provided high numbers of scallops (2981 spat / collector) and relatively low numbers of mussels and anomies with 224 and 564 spat / collector, respectively. However, the abundance of hiatellas was higher than scallops at this date with 4176 spat / collector. There were changes in species abundance between December 2003 and June 2004. In collectors deployed on 20 October 2003, the abundance of anomias and hiatellas was higher in June 2004 than in December 2003 (Table 3.10) while the abundance of mussels and scallops was lower. The ratio of scallop: undesirable species was < 1 for all dates of deployment (Table 3.12).

**Table 3.12. Number of spat (mean  $\pm$  s.e) per collector deployed in 2003 and retrieved on June 2, 2004.**

Deployment Date	<i>Placopecten magellanicus</i>	<i>Hiatella arctica</i>	<i>Mytilus edulis</i>	<i>Anomia</i> sp.	<i>Asterias vulgaris</i>	Ratio
September 15	3765 $\pm$ 613	7706 $\pm$ 544 <sup>a</sup>	753 $\pm$ 252 <sup>a</sup>	3558 $\pm$ 1469 <sup>a</sup>	0	0.3
September 22	3110 $\pm$ 199	3386 $\pm$ 162 <sup>c</sup>	819 $\pm$ 280 <sup>a</sup>	3087 $\pm$ 861 <sup>ab</sup>	0	0.4
September 29	4156 $\pm$ 437	5496 $\pm$ 664 <sup>b</sup>	337 $\pm$ 50 <sup>abc</sup>	3187 $\pm$ 784 <sup>ab</sup>	0	0.5
October 6	3789 $\pm$ 410	4290 $\pm$ 416 <sup>bc</sup>	233 $\pm$ 31 <sup>bc</sup>	3165 $\pm$ 413 <sup>ab</sup>	0	0.5
October 13	3356 $\pm$ 296	3499 $\pm$ 310 <sup>c</sup>	226 $\pm$ 43 <sup>c</sup>	1193 $\pm$ 376 <sup>b</sup>	0	0.7
October 20	2981 $\pm$ 333	4176 $\pm$ 275 <sup>bc</sup>	224 $\pm$ 76 <sup>c</sup>	564 $\pm$ 133 <sup>c</sup>	0	0.6

Note: Ratio= Mean number of scallops/Total mean number of undesirable species. Letters denote means that are significantly different based on a Tukey *post hoc* test.

In October 2004, about 1 year after collectors deployment, the abundance of mussel spat per collector did not differ significantly with the deployment date in 2003 while there were significant differences for scallops, hiatellas and anomias (Table 3.13).

**Table 3.13. Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of deployment date on cumulative spat collection in 2003. Collectors retrieved on October 5, 2004. For each comparison, df = 5 and 23.**

Species	<i>F</i>	<i>p</i>
Scallop	3.22	<b>0.0240</b>
Hiatella	12.42	<b>&lt;0.0001</b>
Mussel	1.27	0.3124
Anomia*	10.10	<b>&lt;0.0001</b>

Note: df: degrees freedom; \*: square root transformed count data.

The highest abundance of scallops was observed in collectors deployed on September 29 (5 weeks after the sea scallop began to spawn) and on October 6 with 4108 and 3000 spat / collector, respectively (Table 3.14). The abundance of *H. arctica* and *Anomia* sp. was significantly higher in collectors deployed on September 15 and on September 29. The peak abundance of mussels was observed in collectors deployed on October 20 with 1115 spat / collector but it was not significantly greater than in collectors deployed earlier. Collectors deployed on October 20, 2003 (eight weeks after the scallop began to spawn) still provided scallops in abundance (2340 spat / collector) with relatively low numbers of mussels and anomies with 1115 and 732 spat / collector, respectively. However, the abundance of hiatella was similar to scallops. Seastars were not found in collectors retrieved on October 5, 2004 (Table 3.14). The ratio scallop: undesirable species was  $< 1$  for all dates of immersion (Table 3.14).

**Table 3.14. Number of spat (mean  $\pm$  s.e) per collector deployed in 2003 and retrieved on October 5, 2004.**

Deployment date	<i>Placopecten magellanicus</i>	<i>Hiatella arctica</i>	<i>Mytilus edulis</i>	<i>Anomia</i> sp.	<i>Asterias vulgaris</i>	Ratio
September 15	2120 $\pm$ 217 <sup>b</sup>	<b>5680 <math>\pm</math> 607<sup>a</sup></b>	478 $\pm$ 79	<b>3195 <math>\pm</math> 673<sup>a</sup></b>	0	0.2
September 22	2082 $\pm$ 163 <sup>b</sup>	2610 $\pm$ 355 <sup>b</sup>	526 $\pm$ 88	1236 $\pm$ 205 <sup>cd</sup>	0	0.5
September 29	<b>4108 <math>\pm</math> 401<sup>a</sup></b>	<b>5369 <math>\pm</math> 599<sup>a</sup></b>	404 $\pm$ 75	<b>2508 <math>\pm</math> 386<sup>ab</sup></b>	0	0.5
October 6	<b>3000 <math>\pm</math> 580<sup>ab</sup></b>	3416 $\pm$ 301 <sup>b</sup>	382 $\pm$ 13	1270 $\pm$ 189 <sup>cd</sup>	0	0.6
October 13	2720 $\pm$ 361 <sup>b</sup>	2536 $\pm$ 145 <sup>b</sup>	348 $\pm$ 28	1904 $\pm$ 69 <sup>bc</sup>	0	0.6
October 20	2340 $\pm$ 571 <sup>b</sup>	2422 $\pm$ 208 <sup>b</sup>	1115 $\pm$ 598	732 $\pm$ 138 <sup>d</sup>	0	0.5

Note: Ratio= Mean number of scallops/Total mean number of undesirable species. Letters denote means that are significantly different based on a Tukey *post hoc* test.

To assess whether the abundance of scallops and undesirable species varied between December 2003 and October 2004, ANOVAs were done for each species to compare their abundance among the retrieval date for each deployment date taken separately (Table 3.15). The abundance of scallops per collector differed significantly with the retrieval date when collectors were deployed on September 15, September 22 and October 6, 2003 while the abundance of hiatella differed significantly for all deployment dates. Except for the deployment on October 20, the abundance of mussel differed significantly with the retrieval date for all deployment dates. The abundance of anomia per collector differed significantly with the retrieval date when collectors were deployed on October 6 and October 13, 2003. The abundance of scallops and mussels tended to be higher in collectors retrieved 2-3 months (December 2003) after their deployment while the abundance of hiatella and anomia tended to be higher in collectors retrieved 8-9 months (June 2004) after deployment, thus suggesting additional recruitment between December and June (Tables 3.10, 3.12 and 3.14).



**Table 3.15. Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of retrieval date (December 2003, June 2004 and October 2004) on cumulative spat collection of scallops and undesirable species in 2003-2004. For each comparison, df= 2 and 12 except for September 15 df= 2 and 11.**

Species	Deployment date	<i>F</i>	<i>p</i>
Scallop	September 15, 2003	11.10	0.0023
	September 22, 2003	40.67	<0.0001
	September 29, 2003	0.08	0.9260
	October 6, 2003	9.93	0.0029
	October 13, 2003	1.97	0.1859
	October 20, 2003	1.37	0.2902
Hiatella	September 15, 2003	7.38	0.0093
	September 22, 2003	4.04	0.0455
	September 29, 2003	7.34	0.0083
	October 6, 2003	11.63	0.0016
	October 13, 2003	33.34	<0.0001
	October 20, 2003	47.46	<0.0001
Mussel	September 15, 2003	19.81	0.0002
	September 22, 2003	27.64	<0.0001
	September 29, 2003	4.40	0.0368
	October 6, 2003	27.92	<0.0001
	October 13, 2003	95.32	<0.0001
	October 20, 2003	1.43	0.2775
Anomia	September 15, 2003	0.04	0.9624
	September 22, 2003	3.06	0.0843
	September 29, 2003	2.49	0.1246
	October 6, 2003	15.41	0.0005
	October 13, 2003	8.99	0.0049
	October 20, 2003	0.99	0.3987

Note: df: degrees freedom.

Changes in abundance for each species are singled out in collectors deployed October 6, 2003 (Table 3.16). This is the deployment date for which scallops were found in highest numbers in December 2003 (Table 3.10). The abundance of scallops and mussels was higher on December 6, 2003 while hiatella and anomia were more abundant in June 2004 (Table 3.16).

There was a steady decrease in scallop abundance over time so that their numbers in October 2004 amounted 48 % of what it was in December 2003. The abundance of mussels also decreased substantially with losses of about 69 % over the same period. In contrast to scallops and mussels, the abundance of *H. arctica* and *Anomia* sp. in collectors showed large variations throughout this period. The abundance of these species increased between December 2003 and June 2004 but decreased afterwards. Dead organisms were found in very low numbers in collectors.

**Table 3.16. Numbers of scallops and other undesirable bivalves (mean  $\pm$  s.e.) and survival rate of scallops in collectors deployed on October 6, 2003.**

Date of retrieval period	<i>Placopecten magellanicus</i>	<i>Hiatella arctica</i>	<i>Mytilus edulis</i>	<i>Anomia</i> spp.	Scallop survival rate	Mussel survival rate
December 6, 2003	5808 $\pm$ 334	2118 $\pm$ 235	1228 $\pm$ 165	1065 $\pm$ 232	—	—
June 2, 2004	3789 $\pm$ 410	4290 $\pm$ 416	233 $\pm$ 30	3163 $\pm$ 413	65 %*	19%*
October 5, 2004	3000 $\pm$ 580	3416 $\pm$ 301	382 $\pm$ 13	1270 $\pm$ 189	52 %**	31%**

Note: \*: Between December 6, 2003 and June 2, 2004; \*\*: Between June 2, 2004 and October 5, 2004.

The shell growth of scallops and undesirable species for the three retrieval dates of collectors deployed on October 6, 2003 is presented in Table 3.17. The highest growth rate for scallop was observed between June and October 2004 with 0.05 mm / day. Scallops reached a mean shell height of 8.7 mm after about a year in the collectors. Only hiatellas reached a greater size than scallops on October 2004.

**Table 3.17. Shell height (mm) (mean  $\pm$  s.e.) of scallops and other undesirable bivalves and growing rate of scallops in collectors deployed on October 6, 2003.**

Date of retrieval period	<i>Placopecten magellanicus</i>	<i>Hiatella arctica</i>	<i>Mytilus edulis</i>	<i>Anomia sp.</i>	Daily growth rate of scallops
December 6, 2003	1.05 $\pm$ 0.06	1.39 $\pm$ 0.13	0.75 $\pm$ 0.06	0.84 $\pm$ 0.09	0.010 mm/day *
June 2, 2004	2.35 $\pm$ 0.07	5.13 $\pm$ 0.23	1.35 $\pm$ 0.04	1.55 $\pm$ 0.13	0.007 mm/day **
October 5, 2004	8.65 $\pm$ 0.14	10.85 $\pm$ 0.23	6.56 $\pm$ 0.09	5.33 $\pm$ 0.17	0.050 mm/day ***

Note: \*: Between October 6, 2003 and December 6, 2003; \*\*: Between December 6, 2003 and June 2, 2004; \*\*\*: Between June 2, 2004 and October 5, 2004.

### **Results 2004**

Except for seastars, the abundance of scallop, hiatella, mussel and anomia spat found in the collectors retrieved on December 7, 2004 differed significantly with deployment date (Table 3.18).

**Table 3.18. Results of the analyses of variance (ANOVAs) testing the effect of deployment date on cumulative spat collection in 2004. Collectors retrieved on December 7, 2004. For each comparison, df = 5 and 24.**

Species	<i>F</i>	<i>p</i>
Scallop	7.63	<b>0.0002</b>
Hiatella	15.94	<b>&lt;0.0001</b>
Mussel	32.82	<b>&lt;0.0001</b>
Anomia**	9.60	<b>&lt;0.0001</b>
Seastar	1.08	0.3965

Note: df: degrees freedom; \*\*: log transformed count data.

The greatest abundance of scallops was found in collectors deployed on September 28 and on October 5 (4 and 5 weeks after the sea scallop began to spawn) with 4588 and 4680 spat / collector, respectively (Table 3.19). Hiatella was the most abundant undesirable species and was found in highest numbers (> 5000 / collector) in collectors

deployed during the first two weeks, i.e. on September 22 and 28. The highest abundance of mussels was observed in collectors deployed on September 28 with 1781 spat / collector. Collectors deployed October 25 (eight weeks after the sea scallop began to spawn) still provided scallop spat in abundance with 3174 scallops / collector with relatively low numbers of mussels (441 / collector), hiatellas (1974 / collector) and anomias (11 / collector). In 2004, seastars were found in low numbers in collectors but in higher abundance than in 2003. The number of scallops was higher than the total number of undesirable species with a ratio > 1 (Table 3.19) in collectors deployed on October 14 (6 weeks after the sea scallops began to spawn) and afterwards.

**Table 3.19. Number of spat (mean  $\pm$  s.e) per collector deployed in 2004 and retrieved on December 5, 2004.**

Deployment date	<i>Placopecten magellanicus</i>	<i>Hiatella arctica</i>	<i>Mytilus edulis</i>	<i>Anomia</i> sp.	<i>Asterias vulgaris</i>	Ratio
September 22	3643 $\pm$ 200 <sup>b</sup>	<b>5280 <math>\pm</math> 596<sup>a</sup></b>	642 $\pm$ 24 <sup>c</sup>	<b>89 <math>\pm</math> 25<sup>a</sup></b>	6 $\pm$ 1	0.6
September 28	<b>4588 <math>\pm</math> 226<sup>a</sup></b>	<b>5164 <math>\pm</math> 486<sup>a</sup></b>	<b>1781 <math>\pm</math> 140<sup>a</sup></b>	<b>88 <math>\pm</math> 14<sup>a</sup></b>	5 $\pm$ 2	0.7
October 5	<b>4680 <math>\pm</math> 330<sup>a</sup></b>	4045 $\pm$ 281 <sup>b</sup>	1037 $\pm$ 119 <sup>b</sup>	<b>48 <math>\pm</math> 18<sup>ab</sup></b>	5 $\pm$ 1	0.9
October 14	3664 $\pm$ 412 <sup>b</sup>	2386 $\pm$ 250 <sup>c</sup>	372 $\pm$ 84 <sup>cd</sup>	32 $\pm$ 9 <sup>bc</sup>	5 $\pm$ 1	<b>1.3</b>
October 20	2776 $\pm$ 228 <sup>c</sup>	2130 $\pm$ 340 <sup>c</sup>	335 $\pm$ 102 <sup>d</sup>	14 $\pm$ 3 <sup>cd</sup>	6 $\pm$ 2	<b>1.1</b>
October 25	3174 $\pm$ 172 <sup>bc</sup>	1974 $\pm$ 175 <sup>c</sup>	441 $\pm$ 74 <sup>cd</sup>	11 $\pm$ 7 <sup>d</sup>	9 $\pm$ 2	<b>1.3</b>

Note: Ratio= Mean number of scallops/Total mean number of undesirable species. Letters denote means that are significantly different based on a Tukey *post hoc* test.

### 3.4 DISCUSSION

In Îles de la Madeleine, spawning of scallops is usually initiated in late August-early September (Giguère *et al.* 1995; Giguère and Cliche, 1996; Cliche *et al.* 2005). Usually the scallop growers in the Îles de la Madeleine begin deploying commercial collectors about three weeks after scallops begin to spawn. Têtu and Davidson (2001)

suggested that the best time period to begin the deploying collectors is four weeks following the spawning initiation. In autumn, it can take one or two weeks to deploy the needed thousands of collectors depending on the weather conditions (Denyse Hébert, Pétoncles 2000, pers. comm.). By deploying the collectors 3 to 5 weeks after the spawning is initiated, the growers collect a high number of scallops. However, they may also end up with large quantities of undesirable species like mussels, hiatellas, anomias while seastars are found in lesser abundance.

The abundance of mussels and hiatellas found in the collectors varies from one year to the other. According to the present study, weekly monitoring of spat collection using test collectors could provide growers with adequate information to identify the adequate deployment date to avoid peak of settlement of mussels and hiatellas in collectors while maintaining a high collection of scallops.

In 2003, the scallop spat settlement period occurred five to nine weeks after spawning began with a peak seven weeks after sea scallop began to spawn. In 2004, the settlement period was limited between seven to nine weeks after sea scallop spawning and the peak was lower than in 2003. In Southeastern Northumberland Strait, settlement peak was recorded between four to seven weeks after the initiation of adult scallop spawning (Grecian *et al.* 2001; Davidson and Têtu 2001; Niles and Davidson 2002). Therefore, it seems that the settlement period of the sea scallop in southern Gulf of St. Lawrence ranges approximately between 1 and 2 months after the adults begin to spawn.

This information is very important for the management commercial collector deployment.

The first peak of mussels and hiatellas often occurs in September a couple of weeks after scallop spawning. As a result, growers could delay the collector deployment until after this peak. However, later peaks of mussels and hiatellas could hardly be avoided as they occur late in fall (mid-October in 2003). Further the peak information about settlement peaks is available to growers only one week later because test collectors are deployed for 1-week periods. Thus, for test collectors deployed on October 21, the information would have been available on October 28.

Meteorological conditions are particularly rough in fall and it is not always possible for producers to deploy their collectors within a short period of time. Growers may fear that scallops larvae may no longer be in the water column for settlement if they delay the collector deployment. In this study, scallop collection was still abundant up to the end October. The cumulative number of scallops found in collectors deployed in October and verified in December (2 months later) was high with an average 3281 scallops / collector. Therefore, growers could deploy collectors until the end October without negative impacts on the success of spat collection.

Based on results from the first retrieval period of collectors in December 2003 and 2004, the best time to deploy commercial collectors would be six to eight weeks (early to mid-October) after the sea scallop began to spawn. If this recommendation is

followed, the collection of scallops spat will be higher than the undesirable species (abundance of scallop / abundance undesirable species ratio > 1).

There are changes in species abundance with time after settlement. The growth of undesirable species, natural mortality or mortality caused by packing or by predation may explain variations in the number of scallops in spring and fall retrievals (8 and 12 months after deployment) compared to their abundance in collectors retrieved in December (2 months after deployment). Seastars (*A. vulgaris*) has been shown to be an important scallop spat predator and when present, causes significant mortality (Naidu and Scaplen 1979). In this study, the collectors deployed earlier contained a greater numbers of organisms per collector because of the additive effect. The accumulation of organisms could have an important role in the high scallop mortality because other mollusks (also filter feeders), such as blue mussels, hiatellas and anomias, are also in greater numbers and compete with scallops for particular food and space inside the collectors (Claereboudt *et al.* 1994 b). On natural beds, the young scallops are not subjected to accumulation condition while mussels, hiatellas and anomias are probably well-adapted to these conditions. Thus, it is important to select a deployment date to obtain a commercially viable number of scallops and a low abundance of undesirable species.

Although scallop spat collection is successful, heavy losses are observed when collectors are retrieved 12 to 14 months after deployment (i.e usual retrieval period of collectors by growers. In October 2001, the scallop spat count was between 3 and 50 %

of the initial numbers observed in previous December (Cyr *et al.* 2002). In this present study, the scallop spat count in collectors deployed on October 6, 2003 and retrieved in October 2004, was of 52 % of the initial numbers observed in December 2003. For mussels, losses were of about 69 % over the same period. In contrast to scallops and mussels, the abundance of *H. arctica* and *Anomia* sp. in collectors showed large variations throughout this period suggesting an ongoing collection in collectors between December 2003 and June 2004 followed by subsequent losses. Dead organisms were found in very low numbers in collectors. Shells could decompose with time and fragments could then go through the collector meshes (Fréchette *et al.* 2000). Losses of scallops were observed between December and next June because scallops usually detach from substrate after a few months and some of them may go through the meshes of the collector (if shell height < 2.5 mm) (Parsons *et al.* 1994). Stokesbury and Himmelman (1995) mentioned that there was no evidence of mortality, such as shell fragments, in collectors they deployed for two months.

Collectors could be deployed anytime between the 3<sup>rd</sup> and 8<sup>th</sup> week after the initiation of sea scallop spawning to get high numbers of scallops in collectors. However, collectors deployed 5-6 weeks after spawning was initiated (September 29 and October 6) provided the highest abundance of scallops one year later, at the usual commercial retrieval period. Further, collectors deployed in October 2003 contained less hiatellas and anomies one year later than those deployed earlier while mussels were most abundant in collectors deployed on October 20, 2003.



The monitoring of the collection peak using test collectors underestimates the actual collection level. The cumulative number of organisms found in test collectors was considerably lower than what was found in collector a few months after deployment. Some species, such as anomies and scallops are found in low numbers in test collectors. Spat probably settle continuously in collectors during the entire time period they are in the water column. Species such as anomias and scallops may not be ready to settle during the one-week period the test collectors are immersed. Also, collectors immersed for one week may not be fully effective to collect certain species possibly because conditioning of collecting substrate (bio-film) is not optimal. In fact, some authors found that a conditioned substratum covered by a biofilm, often consisting of bacteria, microalgae and detritus (Hudon and Bourget 1981) would support the settlement of some benthic marine invertebrates (Rittschof *et al.* 1984; Maki *et al.* 1988; Parsons *et al.* 1993; Chauvaud *et al.* 1996; Harvey *et al.* 1995 a; Cashmore *et al.* 1998; Riquelme *et al.* 2003). Further experimental works will then be necessary to validate this hypothesis.

Scallop growth rates vary among culture sites and depths (MacDonald and Thompson 1986; Dadswell and Parsons 1992; Gaudet 1994; Frenette 2004) but the presence of other suspension-feeders could also negatively affect the scallop growth (Claereboudt *et al.* 1994 b; Lodeiros and Himmelman 1996; Fréchette *et al.* 2000) through competition. In the present study, other bivalves (*M. edulis*, *H. arctica* and *Anomia* sp.) were found in the collectors, sometimes in great abundance. The growth rate of scallop was lower between October and December 2003 (0.01 mm/day) and between December 2003 and June 2004 (0.007 mm/day) than during summer between

June and October 2004 (0.05 mm/day). The growth between October 2003 and June 2004 was slow because of the low water temperature and also possibly because of intraspecific and interspecific competition for food (Fréchette *et al.* 2000).

### 3.5 ACKNOWLEDGEMENTS

A valuable assistance was given by the staff of the Centre maricole des Îles de la Madeleine. Special thanks to Michèle Langford for field samplings, Francine Aucoin for the assistance in the analysis of collectors for cumulative collection monitoring, Jean-Guy Turbide for the design and installation of underwater structures, Jacques Richard for the cleaning of all collectors. Funding was provided by the MAPAQ (Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec) and SODIM (Société de Développement de l'Industrie Maricole). We are grateful to Michel Giguère, Sylvie Brulotte and their technicians (Institut Maurice Lamontagne) for the analysis of some collectors for weekly spat collection monitoring. Thanks are also due to scallop growers (Pétoncles 2000 and Imaqua) and scuba divers (Le Repère du plongeur). Hélène Crépeau (Service de consultation de l'Université Laval) provided invaluable assistance in statistical analyses.

## CHAPITRE 4: DISCUSSION GÉNÉRALE

### 4.1 PONTE CHEZ LE PÉTONCLE GÉANT, *P. magellanicus*

Le déclenchement de la ponte est lié à certains facteurs physiques et biologiques tels: la température, la photopériode, l'intensité lumineuse, la quantité de nourriture, la présence de produits sexuels déjà émis dans le milieu (Parsons *et al.* 1992; Paulet *et al.* 1992; Himmelman 1999). La température est souvent suggérée comme signal pouvant déclencher la ponte (Naidu 1970; Bonardelli *et al.* 1996). Aux Îles de la Madeleine, en 2003, la chute de l'indice gonadosomatique de *P. magellanicus* a coïncidé avec une augmentation de la température de 8 °C à 2 m du fond, quand elle est alors passée de 4 à 12 °C en quelques jours (du 17 au 26 août). En 2004, le déclenchement de la ponte était plutôt relié à de fortes fluctuations (baisses et augmentations rapides entre le 20 août et le 5 septembre) de température de 3 à 5 °C. Le déclenchement de la ponte relié à des fluctuations de la température avait déjà été observé par Bonardelli *et al.* (1996) lorsqu'une augmentation rapide de la température, causée par un downwelling de l'eau chaude de surface, avait initié la plupart des pontes observées pendant l'étude et qu'une autre partie des pontes (20 %) avaient été plutôt déclenchées par des fluctuations marquées de température (4 à 6 °C) autour d'une température moyenne élevée (9 à 14 °C).

De nombreux invertébrés marins dont les larves se nourrissent de phytoplancton ont avantage à coordonner la ponte avec un bloom de phytoplancton (Himmelman

1999). La ponte chez plusieurs bivalves peut être déclenchée par les substances métaboliques relâchées par une variété de cellules phytoplanctoniques tandis que pour d'autres invertébrés marins, le relâchement des gamètes requiert un contact direct avec certaines espèces de phytoplancton (Starr *et al.* 1990; Himmelman 1999). Selon certains auteurs, le déclenchement de la ponte chez le pétoncle géant peut être associé à la présence d'une forte concentration de phytoplancton (Couturier 1994; Dadswell et Parsons 1994). En 2003, le déclenchement de la ponte sur le FSO n'était pas relié à une augmentation de la quantité de chlorophylle-*a*. Toutefois en 2004, la ponte semble coïncider avec une augmentation rapide de la quantité de chlorophylle-*a*. Cependant les concentrations observées n'étaient pas très importantes. Cette relation avait déjà été observée en laboratoire pour plusieurs invertébrés marins alors que l'ajout d'une quantité importante de phytoplancton pouvait stimuler la ponte lorsque les autres facteurs restaient constants (Himmelman 1975; Starr *et al.* 1990).

Aux Îles de la Madeleine, la période de reproduction du pétoncle géant varie légèrement d'une année à l'autre mais se situe habituellement entre la fin août et le début septembre (Giguère *et al.* 1995; Giguère et Cliche 1996; Cliche *et al.* 2005). Les années 2003 et 2004 n'ont pas fait exception. La ponte a commencé une semaine plus tard en 2004 comparativement à 2003. Elle s'est étendue sur quatre semaines en 2003 et sur seulement deux semaines en 2004. L'évolution des indices gonadosomatiques (IGS) mesurés sur les pétoncles de la Chaîne-de-la-Passe et ceux du Fond du Sud-Ouest varie d'une année à l'autre mais, en général, la ponte y est assez synchrone i.e. à une semaine près. Au sud-est du détroit de Northumberland, la ponte a généralement lieu après la mi-

août (Davidson et Têtu 2001; Têtu et Davidson 2001; Grecian *et al.* 2001). La ponte à Terre-Neuve et dans la Baie de Fundy se produit aussi généralement autour des mois août-septembre (Dabinett et Couturier 1994; Naidu 1970; Beninger 1987).

#### 4.2 SUCCÈS DE COLLECTE

Le succès de collecte peut dépendre de plusieurs facteurs tels: i) la proximité des géniteurs et la durée de la période de la ponte lesquels peuvent influencer le succès de fertilisation; ii) l'abondance des larves dans la colonne d'eau et leur période de développement avant métamorphose; iii) le patron des courants durant la période larvaire; iv) l'intensité de prédation sur les larves et post-larves; v) la période et la profondeur d'immersion des collecteurs (Giguère *et al.* 1995; Pearce *et al.* 1996; Têtu et Davidson 2001). Les gamètes sont émis directement dans le milieu environnant et le taux de fertilisation est faible vu la dilution rapide des gamètes (Levitan 1991). Une vitesse élevée du courant entraîne une dilution plus rapide des gamètes. Plus les géniteurs sont éloignés les uns des autres, plus la dilution des gamètes est importante et le succès de fertilisation est faible. Le succès de fertilisation pourrait être amélioré en augmentant localement la densité de géniteurs (Levitan 1991; Stokesbury et Himmelman 1993). Le succès est aussi plus élevé lorsque la ponte est synchrone (Sewell et Levitan 1992).

Les conditions environnementales (température, chlorophylle-a, direction et vitesse du courant) mesurées dans cette étude n'ont pas joué un rôle clair sur la durée de la période larvaire et le succès de collecte. Les études de Pennington (1985) ont indiqué

qu'un courant  $> 20$  cm/s réduirait le succès de fertilisation. Wildish et Saulnier (1992) ont observé que la vitesse optimale du courant pour permettre aux pétoncles juvéniles de se nourrir et croître était de 10 cm/s et qu'une vitesse supérieure réduirait ou inhiberait leur capacité de se nourrir. Dans la présente étude, la vitesse moyenne du courant était de 8 cm/s bien que des courants  $> 20$  cm/s ont été enregistrés occasionnellement entre le début de la ponte du pétoncle géant et la fin de la phase larvaire du pétoncle. Des vitesses de courant entre 11 et 37 cm/s causerait le transport passif des larves et postlarves de pétoncle (Grant *et al.* 1993) ce qui entraînerait leur dispersion. Dans cette étude, les courants à 2 m près du fond provenaient de toutes directions mais les courants dominants se dirigeaient vers le sud-ouest soit, en direction de la côte.

En laboratoire et en éclosion, les larves D-véligères atteignent habituellement le stade pédi-véligère (stade de fixation) en 34-35 jours à une température moyenne de 13 °C (Culliney 1974; Young-Lai et Aiken 1986; Beaulieu et Cliche 1989; Dabinett et Couturier 1994), et en 28 jours à 14-15 °C (Jean Côté, Pecnord, comm. pers.). Dans la présente étude, au moins cinq semaines (35 jours) se sont écoulées entre le début de la ponte et le début de la collecte du pétoncle géant (Annexe 10) à une température qui est passée de 16 à 8 °C en 2003 et de 16 à 4 °C en 2004. La durée de la phase larvaire est d'environ 4-5 semaines en milieu naturel comme en éclosion.

#### 4.3 MOMENT PROPICE À L'IMMERSION DES COLLECTEURS

Habituellement les pectiniculteurs débutent l'immersion des collecteurs à la fin du mois de septembre soit au moins 3 semaines après le début de la ponte du pétoncle géant. Davidson et Têtu (2001) suggèrent que le meilleur temps pour commencer l'immersion des collecteurs dans le détroit de Northumberland se situe autour de la quatrième semaine suivant la ponte. L'immersion des collecteurs commerciaux peut s'étirer sur une à deux semaines tout dépendant des conditions climatiques (Denyse Hébert, Pétoncles 2000, comm. pers.). En immergeant les collecteurs 3 à 5 semaines après le début de la ponte, les pectiniculteurs s'assurent de collecter le maximum de pétoncles mais ils obtiennent aussi une grande quantité d'espèces indésirables.

La croissance des espèces indésirables, la mortalité causée par prédation (faible présence d'*A. vulgaris* à l'intérieur des collecteurs) ou par l'entassement des organismes en surabondance dans le fond des collecteurs peuvent expliquer les variations dans le nombre de pétoncles et des espèces associées dans les collecteurs au cours de l'année qui suit la fixation. L'étoile de mer (*A. vulgaris*) est un important prédateur du naissain de pétoncle (Naidu et Scaplen 1979; Thouzeau 1991 a; Claereboudt *et al.* 1994 b). Une très petite quantité d'étoiles de bonne taille à l'intérieur du collecteur suffit pour en décimer le contenu (Barbeau et Scheibling 1994 a, b).

Comme l'ont déjà observé les pectiniculteurs, les collecteurs qui ont été immergés tôt en saison dans cette étude contenaient un plus grand nombre d'organismes par collecteur mais c'est normal à cause de l'effet cumulatif d'une immersion hâtive des

collecteurs. Entre décembre 2003 et juin 2004, le nombre de pétoncles a diminué. Il semble que le nombre de pétoncles a chuté davantage pour les dates d'immersion plus hâtives: 15 et 22 septembre. Cela appuie l'idée que l'entassement pourrait avoir un rôle important dans la mortalité des pétoncles car les autres mollusques comme la moule bleue, la hiatelle et l'anomie peuvent être en compétition avec les pétoncles pour la nourriture ou pour l'espace à l'intérieur du collecteur (Claereboudt *et al.* 1994 a, b). En milieu naturel, les jeunes pétoncles ne sont pas soumis à ces conditions d'entassement alors que les moules, hiatelles et anomies sont probablement bien adaptées à ce genre de conditions. Il faut alors prendre soin de sélectionner une date d'immersion des collecteurs pour que les espèces associées soient présentes en proportion moins importante.

D'après les résultats obtenus en décembre, à peine 2-3 mois après l'immersion, la meilleure période pour immerger les collecteurs se situait entre la sixième et la huitième semaine suivant le début de la ponte du pétoncle géant. Pendant cette période, la collecte du pétoncle fut supérieure à l'ensemble des espèces indésirables avec un ratio  $> 1,3$  comparativement à un ratio  $< 0,8$  pour les dates d'immersion plus hâtives (3-5 semaines après le début de la ponte). Cependant, les résultats obtenus lors des récupérations de l'année suivante (juin et octobre), fournissent un portrait différent car il n'a plus été possible de déterminer une période optimale d'immersion des collecteurs à partir du ratio pétoncles : espèces indésirables car le ratio était  $< 0,7$  pour toutes les dates d'immersion. Alors les collecteurs auraient pu être immergés n'importe quand entre la troisième et la huitième semaine après le début de la ponte du pétoncle géant. Malgré les



ratios  $< 0,7$  l'abondance des pétoncles était plus élevée dans les collecteurs immergés cinq et six semaines après le début de la ponte du pétoncle lors de leur récupération un an après leur immersion (octobre). Donc, la date d'immersion des collecteurs a gardé son effet sur l'abondance des pétoncles même après un an.

#### 4.4 SUIVI LARVAIRE POUR DÉTERMINER UNE PÉRIODE D'IMMERSION DES COLLECTEURS PERMETTANT DE RÉDUIRE L'ABONDANCE DES ESPÈCES INDÉSIRABLES

Dans la présente étude, le suivi larvaire hebdomadaire ne s'est pas avéré être un bon outil pour prédire la meilleure période d'immersion des collecteurs car il est difficile de faire le lien entre les densités de larves dans la colonne d'eau et la fixation du naissain dans les collecteurs. Les larves de pétoncle sont très peu présentes et toujours moins abondantes que celles des autres espèces indésirables alors que le naissain de pétoncle est habituellement parmi les plus abondants dans les collecteurs. D'autres auteurs ont observé le même phénomène (Brand *et al.* 1980; Paul 1981; Wilson 1987; Brulotte *et al.* 2003). Ces faibles abondances de pétoncles comparativement aux espèces indésirables pourraient être dues à une population réduite des pétoncles adultes (Hugo Bourdages, DFO-Institut Maurice-Lamontagne, comm. pers.). La faible abondance des larves de pétoncles dans cette étude est néanmoins du même ordre de grandeur que celles observées par Dabinett et Couturier (1994) avec 0,003-1,3 larves / L, Parsons (1994) avec 0,001-0,04 larves / L et Giguère *et al.* (1995) avec 0,001-0,06 larves / L. En principe, des larves de pétoncles devraient être observées en grande quantité au cours des semaines suivant la ponte mais ce n'est pas le cas (densité maximale de 0,05

larves / L) comparativement aux espèces indésirables. La période planctonique est une période de mortalité importante (Doyle 1975; Rumrill 1990) vraisemblablement en raison de la prédation par les carnivores planctoniques et autres organismes filtreurs (Young-Lai et Aiken 1986; Packer *et al.* 1999). Les densités larvaires diminuent entre la phase D-véligère et le moment de la fixation (phase pédivéligère) car les larves de bivalves passent un séjour relativement long (environ cinq semaines) dans le plancton. De plus, les larves de pétoncles peuvent se déplacer indépendamment sur une petite échelle mais peuvent être transportées sur de longues distances au gré des courants (Baird 1954; Packer *et al.* 1999; Hart et Chute 2004) ce qui permet leur dispersion. Le très bon captage de pétoncle malgré la faible abondance des larves dans le milieu suggère que les collecteurs utilisés sont très performants pour le pétoncle.

En 2003, il y avait plus de larves près du fond (entre 2 et 8 mètres) que près de la surface (entre 0 et 15 mètres) et ce, pour toutes les espèces échantillonnées. Si la densité de larves était alors plus élevée en profondeur c'est probablement due à la méthode employée qui différait : pompe submersible en profondeur vs filet à plancton en surface. Une explication possible est que l'eau a pu sortir par l'ouverture du filet en raison du colmatage des mailles du filet (80  $\mu\text{m}$ ) lorsque le filet à plancton était remonté (6 cm/s) de 15 à 0 m de la surface. Cependant, il était intéressant d'échantillonner les larves près du fond dans la zone où les collecteurs sont immergés, car les larves compétentes migrent vers le fond pour se fixer sur un substrat (Culliney 1974). On peut supposer que l'abondance des larves près du fond devrait être liée plus directement à l'abondance de ces espèces sur les collecteurs. En 2004, l'échantillonnage s'est fait aux mêmes

profondeurs (entre 0 et 15 m de la surface vs entre 2 et 8 m du fond) avec le même engin (la pompe submersible). La densité larvaire entre 0 et 15 m de la surface et celle entre 2 et 8 m près du fond étaient similaires. Tremblay et Sinclair (1990) avaient observé ce même phénomène sur le Banc Georges alors que les larves étaient uniformément distribuées dans toute la colonne d'eau dans des zones bien mélangées. La zone de captage de la présente étude est aussi caractérisée par des eaux bien mélangées durant la période larvaire du pétoncle (obs. pers.).

Il est intéressant d'observer les pics de densité larvaire pour des larves compétentes (de taille  $> 200 \mu\text{m}$ ) qui sont physiologiquement prêtes à fixer (chez le pétoncle géant taille entre 230 et 250  $\mu\text{m}$  selon Culliney 1974). La présence de ces larves compétentes indique que ce sera bientôt le moment de la fixation sur un substrat et qu'il est alors temps pour les pectiniculteurs de commencer la mise à l'eau de leurs collecteurs. Le suivi de l'apparition des larves compétentes pourrait fournir un outil intéressant pour mieux identifier le moment de la mise à l'eau des collecteurs. Cet outil est d'ailleurs utilisé pour optimiser la collecte du pétoncle géant dans la Baie Port au Port à Terre-Neuve (Couturier *et al.* 1995) et du pétoncle *Patinopecten yessoensis* au Japon (Ito 1991). Les collecteurs sont alors immergés lorsque 50 % des pétoncles ont une taille  $> 200 \mu\text{m}$ .

Les résultats obtenus avec les espèces indésirables permettent une meilleure interprétation des variations de l'abondance larvaire. L'évolution temporelle de la densité de larves de moules et de la quantité de naissain de cette espèce provenant des

collecteurs en 2003 présentait la même tendance à décroître avec le temps. Le même patron a été observé avec les hiatelles en 2004. Le suivi de l'abondance larvaire pourrait donc être intéressant pour éviter des pics de fixation d'espèces indésirables comme la moule et la hiatelle qui se produiraient juste avant le pic de fixation des pétoncles. Les pectiniculteurs pourraient ainsi retarder de quelques jours la mise à l'eau de collecteurs afin de réduire la fixation de ces organismes indésirables dans les collecteurs tout en maintenant un bon taux de collecte de pétoncles. En 2003, il aurait été possible de réduire l'abondance des moules sur les collecteurs en se fiant aux données des suivis larvaires tandis qu'en 2004 on aurait pu réduire de moitié les hiatelles.

#### 4.5 SUIVI HEBDOMADAIRE DE LA COLLECTE DU NAISSAIN POUR DÉTERMINER UNE PÉRIODE D'IMMERSION DES COLLECTEURS PERMETTANT DE RÉDUIRE L'ABONDANCE DES ESPÈCES INDÉSIRABLES

Le suivi hebdomadaire de la collecte sous-estime le succès de collecte cumulée des pétoncles, des hiatelles et des anomies. Le total cumulé des postlarves retrouvées à l'intérieur de ces collecteurs expérimentaux immergés pendant une semaine était considérablement plus bas que les nombres retrouvés dans les collecteurs immergés en parallèle et récupérés quelques mois plus tard. Les collecteurs immergés pour une si courte période ne sont peut-être pas pleinement efficaces pour la fixation de certaines espèces parce que le conditionnement du substrat de collecte (couverture d'un biofilm) n'est pas optimum. Des auteurs ont mentionné qu'un substrat conditionné sur lequel on retrouvait un biofilm constitué de bactéries, microalgues et détritiques (Hudon et Bourget 1981) favorisait la fixation de plusieurs espèces d'invertébrés marins benthiques

(Rittschof *et al.* 1984; Maki *et al.* 1988; Parsons *et al.* 1993; Chauvaud *et al.* 1996; Harvey *et al.* 1995a; Cashmore *et al.* 1998; Riquelme *et al.* 2003).

Malgré cette sous-estimation du nombre total d'organismes fixés, le suivi hebdomadaire du pic de collecte (organismes qui viennent tout juste de se fixer sur les collecteurs) reste un outil efficace qui permet d'identifier la période de collecte et d'évaluer l'abondance ne serait-ce que relative des différentes espèces. Le rendement des collecteurs a varié en fonction de la profondeur d'immersion et ce, d'une façon différente d'une année à l'autre. La collecte de pétoncle a été plus importante à 8 mètres du fond en 2003 alors qu'elle a été meilleure à 2 mètres du fond en 2004. Le même genre d'observations avait été obtenu dans le passé et il semble que la profondeur la plus adéquate pour la collecte puisse varier selon l'année (Giguère *et al.* 1995). Compte tenu de ces variations en fonction de la profondeur, il y a intérêt de maintenir un échantillonnage aux trois profondeurs (2, 5 et 8 m près du fond) afin d'augmenter la précision du suivi hebdomadaire.

Les producteurs de la compagnie de Pétoncles 2000 aux Îles de la Madeleine ont déjà observé que l'abondance des moules et des hiatelles sur les collecteurs varie beaucoup d'une année à l'autre (Denyse Hébert, Pétoncles 2000, comm. pers.). En 1998, les hiatelles étaient tellement abondantes que les pertes importantes de pétoncles y avaient été associées puisque les collecteurs avaient traîné sur le fond (Denyse Hébert, Pétoncles 2000, comm. pers.). Nous pouvons supposer que certaines années, le premier pic de collecte de moules et de hiatelles peut survenir tard en septembre. Dans ce cas, un

suivi hebdomadaire des pics de collecte pourrait être un outil utile pour avertir les producteurs de retarder un peu l'immersion des collecteurs de pétoncles. Il faut cependant tenir compte que l'information sur le suivi hebdomadaire de la collecte n'est disponible qu'une semaine après l'immersion des collecteurs. Par exemple, l'information pour les collecteurs du suivi hebdomadaire du 21 octobre, n'aurait été disponible que le 28 octobre.

Une autre utilisation de cet outil est la possibilité de savoir s'il est encore intéressant pour les producteurs d'immerger leurs collecteurs en cas de retard au niveau de l'opération de mise à l'eau. Il arrive en effet que les conditions météorologiques, particulièrement rudes à l'automne, les empêchent d'immerger leurs collecteurs dans les délais voulus. Il peut alors être inutile pour eux d'immerger des collecteurs s'il n'y a plus de larves de pétoncles dans la colonne d'eau. Le suivi hebdomadaire du pic de fixation a révélé que la collecte était encore bonne à la fin du mois d'octobre. Le nombre de pétoncles trouvés sur les collecteurs immergés au même moment et récupérés en décembre 2003 était encore élevé avec en moyenne 3281 pétoncles / collecteur. Donc, il aurait été possible d'immerger des collecteurs jusqu'à la fin octobre sans trop d'impacts négatifs sur le succès de collecte.

En 2003, la période de fixation du pétoncle géant a eu lieu entre cinq et neuf semaines après le début de la ponte du pétoncle géant et le pic de fixation a été observé sept semaines après le début de la ponte. En 2004, le pic de collecte a été obtenu entre sept et neuf semaines après le début de la ponte du pétoncle géant. Au sud-est du détroit

de Northumberland, la période de fixation a lieu habituellement entre quatre et sept semaines après le début de la ponte des pétoncles adultes (Grecian *et al.* 2001; Davidson et Têtu 2001; Niles et Davidson 2002). Donc, il semble que la période de fixation du pétoncle géant se situe environ entre 1 et 2 mois après la ponte des adultes. Cette information est très importante pour la gestion de la mise à l'eau des collecteurs commerciaux.

#### 4.6 ABONDANCE ET CROISSANCE DU PÉTONCLE GÉANT ET DES ESPÈCES INDÉSIRABLES DANS LES COLLECTEURS DURANT L'ANNÉE SUIVANT LA COLLECTE

Des pertes importantes sont habituellement observées au moment de la récupération des collecteurs par les producteurs 12 à 14 mois après leur immersion. En octobre 2001, le nombre de naissain de pétoncles ne correspondait qu'entre 3 et 50 % du nombre initial présent dans les collecteurs récupérés trois mois après leur immersion, soit en décembre (Cyr *et al.* 2002). Dans la présente étude, le nombre de pétoncles retrouvés dans les collecteurs immergés le 6 octobre 2003 et récupérés en octobre 2004 correspondait à 52 % du nombre initial observé en décembre 2003. Les pertes de moules ont été d'environ 69 % pour la même période. Par contre, très peu d'organismes morts ont été trouvés dans les collecteurs récupérés. Les coquilles ont pu se décomposer avec le temps et les fragments ont pu passer à travers les mailles du collecteur (Fréchette *et al.* 2000). Les pertes de pétoncles entre le mois de décembre et le mois de juin suivant pourraient être dues en partie au décrochage du naissain qui se produit quelques mois après sa fixation et au passage de certains individus à travers les mailles du collecteur (si

la taille < 2,5 mm) (Parsons *et al.* 1994). Contrairement aux pétoncles et aux moules, l'abondance des *H. arctica* et *Anomia* sp. dans les collecteurs fut très variable durant cette même période suggérant que la fixation s'est poursuivie entre décembre 2003 et juin 2004. Cette augmentation a été suivie par une perte d'organismes entre juin et octobre 2004.

Plusieurs études ont montré que le taux de croissance du pétoncle variait grandement selon le site de culture et la profondeur (MacDonald et Thompson 1986; Dadswell et Parsons 1992; Gaudet 1994; Frenette 2004). En plus des pétoncles, d'autres bivalves (*M. edulis*, *H. arctica* et *Anomia* sp.) sont aussi retrouvés dans les collecteurs. Ces bivalves suspensivores affectent négativement la croissance du pétoncle géant (Claereboudt *et al.* 1994b; Lodeiros et Himmelman 1996; Fréchette *et al.* 2000). Dans la présente étude, le taux de croissance des pétoncles a été plus faible entre octobre et décembre 2003 (0,01 mm/jour) et entre décembre 2003 et juin 2004 (0,007 mm/jour) comparativement au taux de croissance en été (0,05 mm/jour). Ces taux plus faibles obtenus durant ces mois pourraient être dus aux températures basses et à la compétition intraspécifique et interspécifique pour la nourriture disponible (Fréchette *et al.* 2000).



## CHAPITRE 5: CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Le suivi de la ponte du pétoncle, avec l'évaluation de l'indice gonadosomatique, est un outil facile à utiliser par les pectiniculteurs. L'identification du début de la ponte permet de planifier la mise à l'eau des collecteurs. En immergeant leurs collecteurs 3 à 5 semaines après le début de la ponte du pétoncle, les producteurs peuvent récupérer une grande quantité de pétoncles mais ils obtiennent aussi beaucoup d'espèces indésirables. Ces espèces sont généralement en quantités assez élevées pour causer des problèmes.

Le suivi de l'abondance larvaire est un bon outil pour déceler la présence de larves  $> 200 \mu\text{m}$  dans la colonne d'eau. L'observation de ces larves compétentes nous avertit que bientôt elles se fixeront sur un substrat. Par contre, cet outil ne permet pas de faire le lien entre les densités larvaires observées, particulièrement pour le pétoncle et les taux de fixation du naissain sur les collecteurs. En effet, les larves de pétoncle sont toujours très peu abondantes dans les échantillons d'eau alors que les taux de collecte de naissain sur les collecteurs sont élevés. De plus, le suivi larvaire demande beaucoup d'expertise dans l'identification de larves des différentes espèces. Donc, pour les pectiniculteurs, cet outil n'est pas facile à utiliser et n'est pas fiable pour le pétoncle.

Le suivi hebdomadaire de la collecte de naissain est un meilleur outil pour suivre l'évolution de la fixation du pétoncle et des espèces indésirables. En utilisant cet outil, le premier pic de fixation de moules ou de hiatelles pourrait éventuellement être évité mais probablement pas les suivants qui se produisent plus tard à l'automne. Dans ce cas, retarder l'immersion des collecteurs commerciaux jusqu'à sept ou huit semaines après le

début de la ponte du pétoncle pourrait compromettre la collecte du pétoncle géant certaines années. Il faut également noter que la précision de l'information obtenue au moyen de cet outil dépend i) de la rigueur avec laquelle on peut mettre à l'eau et récupérer les collecteurs à chaque semaine et ii) de la rapidité avec laquelle l'analyse des collecteurs peut être faite. De plus, toute cette procédure se déroule peu avant ou pendant la période de fixation du pétoncle. Avec le suivi hebdomadaire de la collecte, deux types d'avis peuvent être donnés aux producteurs i) de retarder l'immersion des collecteurs si l'abondance de hiatelles et de moules est encore élevée à la fin du mois de septembre et ii) d'immerger leurs collecteurs même s'il est tard en saison si la collecte hebdomadaire de jeunes pétoncles est encore bonne. Le suivi hebdomadaire du pic de collecte est un outil relativement facile à utiliser par les pectiniculteurs. De plus, il demande moins d'expertise que le suivi de l'abondance larvaire car les organismes fixés sur les collecteurs ont déjà pris la forme de l'adulte en se métamorphosant après leur fixation.

Il est possible de cibler la fenêtre optimale d'immersion des collecteurs afin de réduire l'abondance des espèces indésirables tout en maintenant une bonne collecte de naissain de pétoncles. Toutefois les collecteurs doivent être récupérés avant que les pertes de pétoncles ne soient importantes. Actuellement, les collecteurs sont récupérés et traités un an après leur immersion et la quantité de pétoncles par collecteur ne correspond qu'à la moitié de ce qui s'y trouvait en décembre précédent. La proportion des espèces indésirables augmente pendant la deuxième année et tout l'effort fourni pour cibler la meilleure période d'immersion des collecteurs de pétoncles avec le suivi

hebdomadaire du pic de collecte est annulé en bonne partie. La période d'immersion a néanmoins une influence sur le nombre de pétoncles obtenus même un an plus tard (octobre), les nombres étant plus élevés dans les collecteurs immergés le 29 septembre et le 6 octobre précédents. Il s'agit d'un résultat particulièrement intéressant qui supporte l'idée que la période d'immersion des collecteurs a une influence sur leur contenu au moment de leur récupération 12-14 mois plus tard. Par contre, ces résultats ne concernent qu'une seule année d'observations. Il faudrait reprendre ces observations pendant au moins une année de plus pour les valider.

Le taux de croissance des pétoncles a été plus faible entre octobre et décembre et entre décembre et juin comparativement au taux de croissance entre juin et octobre. Ces taux plus faibles obtenus durant ces mois pourraient être dus aux températures basses et à la compétition intraspécifique et interspécifique pour la nourriture disponible. Parmi les espèces indésirables, seulement les hiatelles ont atteint une taille supérieure aux pétoncles après un an.

Les différents résultats obtenus ont donc permis d'atteindre pleinement les objectifs fixés initialement à savoir: i) de déterminer la période de ponte du pétoncle géant; ii) d'évaluer si un suivi de l'abondance larvaire et un suivi hebdomadaire du pic de collecte peuvent servir d'outils pour cibler une fenêtre optimale d'immersion des collecteurs; iii) d'évaluer l'abondance, la survie et la croissance du pétoncle géant dans les collecteurs et iv) de suivre l'évolution de l'abondance et la taille des principales

espèces indésirables (*H. arctica*, *M. edulis*, *A. spp.* et *A. vulgaris*) retrouvées à l'intérieur des collecteurs immergés à différentes dates.

Une nouvelle approche est étudiée depuis quelques années aux Îles de la Madeleine afin de contrer les pertes de pétoncles. Elle consiste à récupérer les collecteurs de l'eau plus tôt, soit à partir du mois d'août, alors que les pétoncles sont encore en grand nombre dans les collecteurs. Le contenu des collecteurs est alors passé sur différents tamis afin de récupérer le maximum de pétoncles tout en rejetant le plus d'espèces indésirables possibles. Cette nouvelle approche combinée au suivi hebdomadaire de la collecte des pétoncles et des espèces indésirables pourrait devenir une stratégie très intéressante à utiliser par les producteurs pour augmenter les nombres de pétoncles récupérés par collecteur.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anonyme. 1990. Scallop aquaculture in Japan. *Fishery Journal*, n° 34, October, 1990.
- Aucoin F., S. Doiron, M. Nadeau. 2003. Guide d'échantillonnage et d'identification des larves d'espèces à intérêt maricole. Guide Publication G005. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 73 pp.
- Baird, F.T. 1953. Observations on the early life history of the giant scallop (*Pecten magellanicus*). *Bull. Dep. Sea Shore Fish. Res.*, 14: 1-8
- Baird, F.T. 1954. Migration of the deep sea scallop (*Pecten magellanicus*). *Bull. Dep. Sea Shore Fish. Res.*, 14: 1-8.
- Barbeau, M.A., R.E. Scheibling. 1994 a. Behavioral mechanisms of prey size selection by sea stars (*Asterias vulgaris* Verrill) and crabs (*Cancer irroratus* Say) preying on juvenile sea scallops (*Placopecten magellanicus* (Gmelin)). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 180: 103-136.
- Barbeau, M.A., R.E. Scheibling. 1994 b. 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: 27-47.
- Barber, B.J., R. Getchell, S. Shumway, D. Schick. 1988. Reduced fecundity in a deep-water population of the giant scallop *Placopecten magellanicus* in the Gulf of Maine, U.S.A. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 42: 207-212.
- Barnes, R.D. 1987. Invertebrate zoology. Fifth edition. Gettysburg College, Pennsylvania. 893 pp.
- Beaulieu, J.-L., G. Cliche. 1989. Résultats de croissance larvaire et postlarvaire du pétoncle géant, *Placopecten magellanicus*, des trois premiers essais de production réalisés à l'écloserie expérimentale de Cap-aux-Meules de juin 1987 à août 1988. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, DRST-Doc, rech. 89/05. 49 pp.
- Beninger, P.G. 1987. A qualitative and quantitative study of the reproductive cycle of the giant scallop, *Placopecten magellanicus*, in the Bay of Fundy (New Brunswick, Canada). *Can. J. Zool.*, 65: 495-498.
- Black, G.A.P., R.K. Mohn, G. Robert, M.J. Tremblay. 1995. Atlas of the biology and distribution of the Sea Scallop *Placopecten magellanicus* and Iceland Scallop

- Chlamys islandica* in the Northwest Atlantic. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 915 pp.
- Bonardelli, J.C., J.H. Himmelman, K. Drinkwater. 1996. Relation of spawning of the giant scallop, *Placopecten magellanicus*, to temperature fluctuations during downwelling events. *Mar. Biol.*, 124: 637-649.
- Bourne, N.F. 2000. The potential for scallop culture – the next millennium. *Aqua. Inter.*, 8: 113-122.
- Bourque, F., B. Myrand, G. Tita. 2005. Open-sea culture of mussels (*M. edulis*) in Îles de la Madeleine: A promising avenue. Québec city, October 17-20. *Aquaculture Canada 2004 Spec. Publ.*, 9: 56-59.
- Bousfield, E.L. 1964. Coquillages des côtes canadiennes de l'Atlantique. Musée national du Canada, p 47.
- Brand, A.R., J.D. Paul, J.N. Hoogesteger. 1980. Spat settlement of the scallops *Chlamys opercularis* (L.) on artificial collectors. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 60: 379-390.
- Brulotte, S., M. Giguère, G. Cliche. 2003. Y a-t-il une relation entre l'abondance des larves, le succès de captage et le recrutement du pétoncle géant? Réunion annuelle de transfert de technologie REPERE II, Îles de la Madeleine, 7 et 8 mars 2002. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Compte rendu n° 13: 11-15.
- Brulotte, S., M. Giguère. 2005. Bilan des travaux sur les espèces associées au captage de pétoncle aux Îles de la Madeleine. Réunion REPERE II, Îles de la Madeleine, 26-27 mars 2003. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Compte rendu n° 22: 17-29.
- Buestel, D., J.C. Dao, G. Lemarié. 1979. Collecte de naissain de pectinidés en Bretagne. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer.*, 175: 80-84.
- Bull, M.F. 1994. Enhancement and management of New Zealand's 'southern scallop' fishery. Vol 2: 131-136. In: Bourne, B.F., B.L. Bunting and L.D. Townsend (eds). Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Pectinid Workshop, Nanaimo, B.C., Canada, April 22-27, 1993. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 217 pp.
- Burnell, G. M., M. Barnett, T. O'Carroll, V. Roantree. 1995. Scallop spat collection and ongroing trials in southwest Ireland. Vol 17: 139-144. In: P. Lubet, J. Barret, J.-C. Dao (eds). Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Pectinid Workshop. Fisheries, biology and aquaculture of pectinids. Cherbourg, France. 22-29 mai 1991. 271 pp.

- Caddy, J.F. 1968. Underwater observations on scallop (*Placopecten magellanicus*) behaviour and drag efficiency. *J. Fish. Res. Board Can.*, 25: 2123-2141.
- Cashmore, D., M. M. Learnmouth, J. T. MacMillan. 1998. Improving the efficiency of wild *Pecten maximus* spat collection: potential effects of spat bag design and of species temporarily settling in spat bags. *Aquaculture*, 160: 273-282.
- Chauvaud L., G. Thouzeau, J. Grall. 1996. Experimental collection of great scallop postlarvae and other benthic species in the Bay of Brest: settlement patterns in relation to spatio-temporal variability of environmental factors. *Aquaculture International*, 4: 263-288.
- Cleareboudt, M.R., J.H. Himmelman, J. Côté. 1994 a. Field evaluation of the effect of current velocity and direction on the growth of the giant scallop, *Placopecten magellanicus*, in suspended culture. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 183: 27-39.
- Cleareboudt, M.R., D. Bureau, J. Côté, J.H. Himmelman. 1994 b. Fouling development and diet effect on the growth of juvenile giant scallops (*Placopecten magellanicus*) in suspended culture. *Aquaculture*, 121: 327-342
- Cliche, G., M. Giguère. 1994. Captage du naissain de pétoncle géant en milieu naturel aux Îles de la Madeleine. Compte-rendu de la 2ième réunion annuelle de transfert de technologie REPERE, Îles de la Madeleine, 3 et 4 mars 1993. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Compte-rendu n° 2: 3-12.
- Cliche, G., S. Vigneau, M. Giguère. 1997. Status of a commercial sea scallop enhancement project in Îles de la Madeleine (Québec, Canada). *Aquaculture International*, 5: 259-266.
- Cliche, G., M. Giguère. 1998. Bilan du programme REPERE de 1990 à 1997. *Rap. Tech. Can. Sci. Halieut. Aquat.* 247 pp.
- Cliche, G., C. Cyr. 2000. Prélevage sur les collecteurs – Suivi des collecteurs de 1998 de l'APPIM, de IMAQUA et du MAPAQ. Réunion annuelle de transfert de technologie REPERE II, Îles de la Madeleine, 25 et 26 février 2000. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Compte-rendu n° 9: 11-15.
- Cliche, G., C. Cyr. 2005. Essai préliminaire sur l'impact de différentes périodes d'immersion des collecteurs de pétoncles sur l'abondance des espèces indésirables. Réunion REPERE II, Îles de la Madeleine, 26 et 27 mars 2003. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Compte rendu n° 22: 39-42.

- Cliche, G., M. Giguère, C. Cyr. 2005. Captage du naissain de pétoncles en milieu naturel aux Îles de la Madeleine. Réunion REPERE II, Îles de la Madeleine, 26 et 27 mars 2003. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Compte rendu n° 22: 3-6.
- Couturier, C.Y., G.F. Newkirk. 1991. Biochemical and gametogenic cycles in scallops, *Placopecten magellanicus* (Gmelin, 1791), held in suspension culture. World Aquaculture Workshops, Baton Rouge (LA). *The World Aquaculture*, 1: 107-117.
- Couturier, C.Y. 1994. Spawning in sea scallops, *Placopecten magellanicus*. Vol 1: 138-146 In: Bourne, B.F., B.L. Bunting and L.D. Townsend (eds). Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Pectinid Workshop, Nanaimo, B.C., Canada, April 22-27, 1993. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 222 pp.
- Couturier, C.Y., P. Dabinett, M. Lanteigne. 1995. Scallop Culture in Atlantic Canada. p: 297-340. In: Boghen A.D. (ed) Cold-water in Atlantic Canada. The Canadian Institute for Research on Regional Development, Moncton University, Moncton, NB. 672 pp.
- Cragg, S.M., D.J. Crisp. 1991. The biology of scallop larvae. Vol 21: 75-132. In: S.E. Shumway (ed) *Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture*. Development in aquaculture and fisheries science, New York. 1095 pp.
- Culliney, J.L. 1974. Larval development of the giant scallop *Placopecten magellanicus* (Gmelin). *Biol. Bull.*, 147: 321-332.
- Cyr, C., G. Cliche, D. Hébert, J. Côté. 2002. Prélevage sur les capteurs. Réunion REPERE II, Îles de la Madeleine, 22 et 23 février 2001. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Compte rendu n° 10: 23-27.
- Cyr, C., G. Cliche, D. Hébert, J. Côté. 2003. Évaluation et suivi des activités de captage et de prélevage menées sur les sites des producteurs commerciaux. Réunion REPERE II, Îles de la Madeleine, 7 et 8 mars 2002. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Compte rendu n° 13: 41-44.
- Dabinett, P., C. Couturier. 1994. Scallop culture in Newfoundland. *Bull. of Aquaculture Association of Canada*, 94(3): 8-11.



- Dadswell, M.J., G.J. Parsons. 1992. Sea scallop suspended culture grow-out strategies exploiting the life-history characteristics of two populations of *Placopecten magellanicus*. *J. Shellfish Res.*, 11(2): 299-305.
- Dadswell, M.J., G.J. Parsons. 1994. Reproduction and recruitment dynamics of the sea scallop, *Placopecten magellanicus*, in the Canadian Maritimes. Vol 1: 147. In: Bourne, B.F., B.L. Bunting and L.D. Townsend (eds). Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Pectinid Workshop, Nanaimo, B.C., Canada, April 22-27, 1993. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 222 pp.
- Dadswell, M.J. 2000. A review of the status of sea scallop (*Placopecten magellanicus*) aquaculture in Atlantic Canada in the year 2000. 4: 72-75. In: Hendry, C.I. and S.E. McGladdery (eds). Proceedings of the 17<sup>th</sup> annual meeting of the Aquacult. Assoc. of Canada, May 18-31 2000. 128 pp.
- Davidson, L.-A. 1998. Maturation gonadique du pétoncle géant *Placopecten magellanicus*, (Gmelin) du stade juvénile au stade adulte. Thèse du grade de maîtrise en Sciences. Moncton (NB): Université de Moncton. 112 pp.
- Davidson L.-A., C. Têtu. 2001. Survey of sea scallop spat (*Placopecten magellanicus*) in southeastern Northumberland Strait – Density and growth in 1998-1999. *Bull. Aquacult. Assoc. of Canada Spec. Publ.*, 4: 89-92.
- Davidson, L.-A., M. Niles, E. Chiasson. 2005. Programme d'ensemencement du pétoncle de Pecten UPM MFU Inc. pour l'année 2002. Réunion REPERE II, Îles de la Madeleine, 26 et 27 mars 2003. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Compte rendu n° 22: 113-120.
- Dickie, L.M. 1958. Effects of high temperature on survival of the giant scallop. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 15(6): 1189-1211.
- Doyle, R.W. 1975. Settlement of planktonic larvae: a theory of habitat selection in varying environments. *Am. Nat.*, 109: 115-126.
- Dwiono. 1992. La métamorphose chez *Pecten maximus* (L.) (Mollusque bivalve). Ph. D thesis. Brest, France: Université de Bretagne Occidentale. 80 pp.
- Fontaine, P.H. 1992. Sous les eaux du St-Laurent. Les éditions du plongeur inc. 195 pp.
- Fréchette, M., M. Gaudet, S. Vigneau. 2000. Estimating optimal population density for intermediate culture of scallops in spat collector bags. *Aquaculture*, 183: 105-124.

- Frenette, B. 2004. Environmental factors influencing the growth and survival of juvenile sea scallops, *Placopecten magellanicus* (Gmelin, 1971). A thesis for the degree of Master of Science. St. John: Memorial University of Newfoundland. 123 pp.
- Gallager, S.M., J.L. Manuel, D.A. Manning, R. O'Dor. 1996. Ontogenetic changes in the vertical distribution of giant scallop larvae, *Placopecten magellanicus*, in 9-m deep mesocosms as a function of light, food and temperature stratification. *Mar. Biol.*, 124: 679-692.
- Gaudet, M. 1994. Intermediate culture strategies for sea scallop (*Placopecten magellanicus*) spat in Magdalen Islands, Québec. *Bull. of Aquaculture Association of Canada*, 94(3): 22-28.
- Giguère, M., G. Cliche, S. Brulotte. 1995. Synthèse des travaux réalisés entre 1986 et 1994 sur le captage du naissain de pétoncles aux Îles de la Madeleine. *Rap. Tech. Can. Sci. Halieut. Aquat.* 2061. 71pp.
- Giguère, M., G. Cliche. 1996. Revue des connaissances sur le recrutement du pétoncle géant aux Îles de la Madeleine. Réunion annuelle de transfert technologique Programme REPERE - Îles de la Madeleine, 2 mars 1995. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Compte rendu n° 4: 75-81.
- Giguère, M., S. Brulotte. 1997. État des stocks de pétoncle des eaux côtières du Québec. Secrétariat canadien pour l'évaluation des stocks. Doc. rech. 97/80. 36 pp.
- Giguère, M., S. Brulotte, B. Thomas. 2005. Évaluation du succès de captage du naissain de pétoncle géant, *Placopecten magellanicus*, de deux secteurs de la Gaspésie. Réunion annuelle de transfert technologique Programme REPERE - Îles de la Madeleine, 26 et 27 mars 2003. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Compte rendu n° 22: 31-38.
- Gosner, K.L. 1979. A field guide to the Atlantic seashore: Invertebrates and seaweeds of the atlantic coast from the Bay of Fundy to Cape Hatteras. 329 pp.
- Grecian, L.A., L.-A. Davidson, G.J. Parsons. 2001. Temporal monitoring of sea scallop, *Placopecten magellanicus*, spawning and spat settlement in the Northumberland Strait, New Brunswick. *Bull. Aquacult. Assoc. Canada Spec. Publ.*, 4: 82-84.
- Grant, J., C.W. Emerson, S.E. Shumway. 1993. Orientation, passive transport, and sediment erosion features of the sea scallop *Placopecten magellanicus* in the benthic boundary layer. *Can. J. Zool.*, 71: 953-959.

- Hart D.R., A.S. Chute. 2004. Essential fish habitat source document: Sea scallop, *Placopecten magellanicus*, life history and habitat characteristics. *NOAA Tech. Mem.* NMFS-NE-189. 32 pp.
- Harvey, M., E. Bourget, G. Miron. 1993. Settlement of Iceland scallop *Chlamys islandica* spat in response to hydroids and filamentous red algae: field observations and laboratory experiments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 99: 283-292.
- Harvey, M., G. Miron, E. Bourget. 1995 a. Resettlement of Iceland scallop (*Chlamys islandica*) spat on dead hydroids (*Tubularia larynx*): response to chemical cues from the protein-chitinous perisarc and associated microbial film. *J. Shellfish Res.*, 14(2): 383-388.
- Harvey, M., E. Bourget, C. Legault, R. G. Ingram. 1995 b. Short-term variations in settlement and early spat mortality of Iceland scallop, *Chlamys islandica* (O.F. Müller). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 194: 167-187.
- Harvey, M., E. Bourget, N. Gagné. 1997. Spat settlement of the giants scallop, *Placopecten magellanicus* (Gmelin, 1791), and other bivalve species on artificial filamentous collectors coated with chitinous material. *Aquaculture*, 148: 277-198.
- Himmelman, J.H. 1975. Phytoplankton as a stimulus for spawning in three marine invertebrates. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 20: 199-214.
- Himmelman, J.H. 1999. Spawning, marine invertebrates. *Encyclopedia of reproduction*, 4: 524-533.
- Hudon, C., E. Bourget. 1981. Initial colonization of artificial substrate: Community development and structure studied by scanning electron microscopy. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 38: 1371-1384.
- Ito, H. 1991. Japan. Vol 21: 1017-1055. In: S. E. Shumway (ed). *Scallops: biology, ecology and aquaculture. Developments in aquaculture and fisheries science*, New York. 1095 pp.
- Johannes, R.E. 1957. High temperatures as a factor in scallop mass mortalities. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 638. 30 pp.
- Langton, R.W., W.E. Robinson, D. Schick. 1987. Fecundity and reproductive effort of sea scallops *Placopecten magellanicus* from Gulf of Maine. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 37: 19-25.

- Langton, R.W., W.E. Robinson. 1990. Faunal associations on scallop grounds in the western Gulf of Maine. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 144: 157-171.
- Le Pennec, M., A. Paugam, G. Le Pennec. 2003. The pelagic life of the pectinid *Pecten maximus* – a review. *J. Mar. Sci.*, 60: 211-223.
- Levitan, D.R. 1991. Influence of body size and population density on fertilization success and reproductive output in a free-spawning invertebrate. *Biol. Bull.*, 181: 261-68.
- Lodeiros, C.J.M., J.H. Himmelman. 1996. Influence of fouling on the growth and survival of the tropical scallop, *Euvola (Pecten) ziczac* (L. 1758) in suspended culture. *Aquacult. Res.* 27: 759-756.
- Lucien-Brun, H., A. Lachaux. 1983. Évolution de la pecteniculture au Japon. *La pêche maritime*, 20 Juillet 1983.
- MacDonald, B.A., R.J. Thompson. 1986. Influence of temperature and food availability on the ecological energetics of the giant scallop *Placopecten magellanicus*. III. Physiological ecology, the gametogenic cycle and scope for growth. *Mar. Biol.*, 93: 37-48.
- McDonough, N., D. Robert. 1997. Scallop spat collection techniques and settlement patterns: the potential of Strangford Lough, northern Ireland for commercial scallop (*Pecten maximus*) cultivation. p: 20-22. In: Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Pectinid Workshop. La Paz, Mexico. April 10-15. 192 pp.
- Maki, J.S., D. Rittschof, J.D. Costlow, R. Mitchell. 1988. Inhibition of attachment of larval barnacles, *Balanus amphrite*, by bacterial surface films. *Mar. Biol.*, 97: 199-206.
- Mallet, A., B. Myrand. 1995. The culture of the blue mussel in Atlantic Canada. p: 255-298. In: Boghen A.D. (ed) Cold-water in Atlantic Canada. The Canadian Institute for Research on Regional Development, Moncton University, Moncton, NB. 672 pp.
- Myrand, B., H. Guderley, J.H. Himmelman. 2000. Reproduction and summer mortality of blue mussels *Mytilus edulis* in the Magdalen Islands, southern Gulf of St. Lawrence. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 197: 193-207.
- Nadeau, M., G. Cliche. 2002. Optimisation du prélevage sur les collecteurs: contrôle des étoiles de mer. Réunion REPERE II, 22 et 23 février 2001. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Compte rendu n° 10: 29-31.

- Nadeau, M., G. Cliche, C. Cyr, D. Hébert. 2003. Mortalité du pétoncle sur les collecteurs. Réunion REPERE II, 7 et 8 mars 2002. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Compte rendu n° 13: 45-51.
- Naidu, K.S. 1970. Reproduction and breeding cycle of the giant scallop *Placopecten magellanicus* (Gmelin) in Port au Port Bay, Newfoundland. *Can. J. Zool.*, 48: 1003-1012.
- Naidu, K.S., R. Scaplen. 1979. Settlement and survival of giant scallop, *Placopecten magellanicus*, larvae on enclosed polyethylene film collectors. p: 379-381. In: T. V. Pillay and W.A. Dill (eds.). *Advances in Aquaculture*. Fishing News Books, London.
- Naidu, K.S., F. M. Cahill, D.B. Lewis. 1981. Relative efficacy of two artificial substrates in the collection of sea scallop, *Placopecten magellanicus*, spat. *J. World Maricul. Soc.*, 12 (2): 165-171.
- Naidu, K.S., R. Rournier, P. Marsot, J. Worms. 1989. Culture of the sea scallop. *Placopecten magellanicus*: opportunities and constraints. p: 211-239. In: Boghen A.D. (ed) *Cold-water in Atlantic Canada*. The Canadian Institute for Research on Regional Development, Moncton University, Moncton, NB. 672 pp.
- Naidu, K.S. 1991. Sea Scallop, *Placopecten magellanicus*. Vol 21: 861-898. In: S.E. Shumway (ed) *Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture*. Developments in fisheries and aquaculture science. New York. 1095 pp.
- Narvarte, M.A. 2001. Settlement of tehuelche scallop, *Aequipecten tehuelchus* D'Orb., larvae on artificial substrata in San Matias Gulf (Patagonia, Argentina). *Aquaculture*, 196: 55-65.
- Niles, M.M., L.-A. Davidson. 2002. The use of fuzzy rope as sea scallop spat collectors. *Bull. Aquacutl. Assoc. Canada Spec. Publ.*, 5: 20-22.
- Packer, D.B., L.M. Cargnelli, S.J. Griesbach, S.E. Shumway. 1999. Essential fish habitat source document: Sea scallop, *Placopecten magellanicus*, life history and habitat characteristics. *NOAA Tech. Mem.* NMFS-NE-134. 21 p.
- Parmentier, J. 1995. Micscape Magazine. Growth of a starfish development of the larva of an echinoderm. <http://www.microscopy-uk.org.uk/mag/art98/janstar.html> (Page consultée le 7 janvier 2006)
- Parsons, T.R., Y. Maita, C.M. Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford, New York, Toronto. 173 pp.

- Parsons, G.J., S.M.C. Robinson, R.A. Chandler, L.-A. Davidson, M. Lanteigne, M.J. Dadswell. 1992. Intra-annual and long-term patterns in the reproduction cycle of giant scallops *Placopecten magellanicus* (Bivalvia: Pectinidae) from Passamaquoddy Bay, New Brunswick, Canada. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 80: 203-214.
- Parsons, G.J., M.J. Dadswell, J.C. Roff. 1993. Influence of biofilm on settlement of sea scallop, *Placopecten magellanicus* (Gmelin, 1791), in Passamaquoddy Bay, New Brunswick, Canada. *J. Shellfish Res.*, 12: 279-283.
- Parsons, G.J. 1994. Reproduction and recruitment of the giant scallop, *Placopecten magellanicus* and its relationship to environmental variables. Ph.D thesis presented to the Faculty of graduate studies of the University of Guelph. 196 pp.
- Parsons, G.J., S.M.C. Robinson, J.D. Martin. 1994. Enhancement of a giant scallop bed by spat naturally released from a scallop aquaculture site. *Bull. Aquacult. Assoc. Canada*, 94 (2): 21-23.
- Parsons, G.J., L.-A. Davidson, S.M.C. Robinson. 1998. Giant sea scallop prediction and monitoring. Year-end project report for 1997-98. Canada/New Brunswick Cooperation Agreement on Economic Diversification Aquaculture Development Program for Non-tradition Species – New shellfish Aquaculture species program. Fredericton, NB. 26pp.
- Paul, J.D. 1981. Natural settlement and early growth of spat of queen scallop *Chlamys operculis* (L.), with reference to the formation of the first growth ring. *J. Moll. Stud.* 47: 53-58.
- Paulet, Y.M., G Dorange, J.C. Cochard, M. Le Pennec. 1992. Reproduction et recrutement chez *Pecten maximus* L. *Annales de l'Institut Océanographique, Paris*, 73(1): 101-112.
- Pearce, C.M., E. Bourget. 1996. Settlement of larvae of the giant scallop, *Placopecten magellanicus* (Gmelin), on various artificial and natural substrata under hatchery-type conditions. *Aquaculture* 141: 201-221.
- Pearce, C.M., S.M. Gallager, J.L. Manuel, D.A. Manning, R.K. O'Dor, E. Bourget. 1996. Settlement of larvae of the giant scallop, *Placopecten magellanicus*, in 9-m deep mesocosms as a function of temperature stratification, depth, food and substratum. *Mar. Biol.*, 124: 693-706.

- Pennington, J.T. 1985. The ecology of fertilization of echinoid eggs: the consequences of sperm dilution, adult aggregation, and synchronous spawning. *Biol. Bull.*, 169: 417-430.
- Pouliot, F., E. Bourget, M. Fréchette. 1995. Optimizing the design of giant scallop (*Placopecten magellanicus*) spat collectors: field experiments. *Mar. Biol.*, 123: 277-284.
- Rehder, H.A. 1981. National Audubon Society Field Guide to North American seashells. 894 pp.
- Riquelme, C., A. Rojas, G. Valencia. 2003. Improvement of settlement of Chilean scallop *Argopecten purpuratus* (Mamarck, 1819) using biofilms. p: 58. In: 14th International Pectinid Workshop. St. Petersburg, Florida. April 23-9, 2003. 220 pp.
- Rittschof, D., E.S. Branscomb, J.D. Costlow. 1984. Settlement and behavior in relation to flow and surface in larval barnacles, *Balanus amphitrite* Darwin. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 82: 131-146.
- Ross, K.A., J.P. Thorpe, T.A. Norton, A.R. Brand. 2002. Fouling in scallop cultivation: help or hindrance. *J. Shellfish Res.*, 21(2): 539-547
- Rumrill, S.S. 1990. Natural mortality of marine invertebrate larvae. *Ophelia*, 32 (1-2): 163-198.
- Sause, B.L., D. Gwyther, D. Burgess. 1987. Larval settlement, juvenile growth and the potential use of spatfall indices to predict recruitment of the scallop *Pecten alba* Tate in Port Philip Bay, Victoria, Australia. *Fish. Res.*, 6: 81-92.
- Sejr, M.K., M.K. Sand, K.T. Jensen, J.K. Petersen, P.B. Christensen, S. Rysgaard. 2002. Growth and production of *Hiatella arctica* (Bivalvia) in a high-Arctic fjord (Young, Northeast Greenland). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 244: 163-169.
- Sewell, M.A., D.R. Levitan. 1992. Fertilization success during a natural spawning of the dendrochirote sea cucumber *Cucumaria miniata*. *Bull. Mar. Sci.*, 51(2): 161-166.
- Starr, M., J.H. Himmelman, J.-C. Therriault. 1990. Direct coupling of marine invertebrate spawning with phytoplankton blooms. *Science*, 247: 1071-1074.
- Stewart, P.L., S.H. Arnold. 1994. Environmental requirements of the sea scallop (*Placopecten magellanicus*) in eastern Canada and its response to human impacts. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2005. 36 pp.

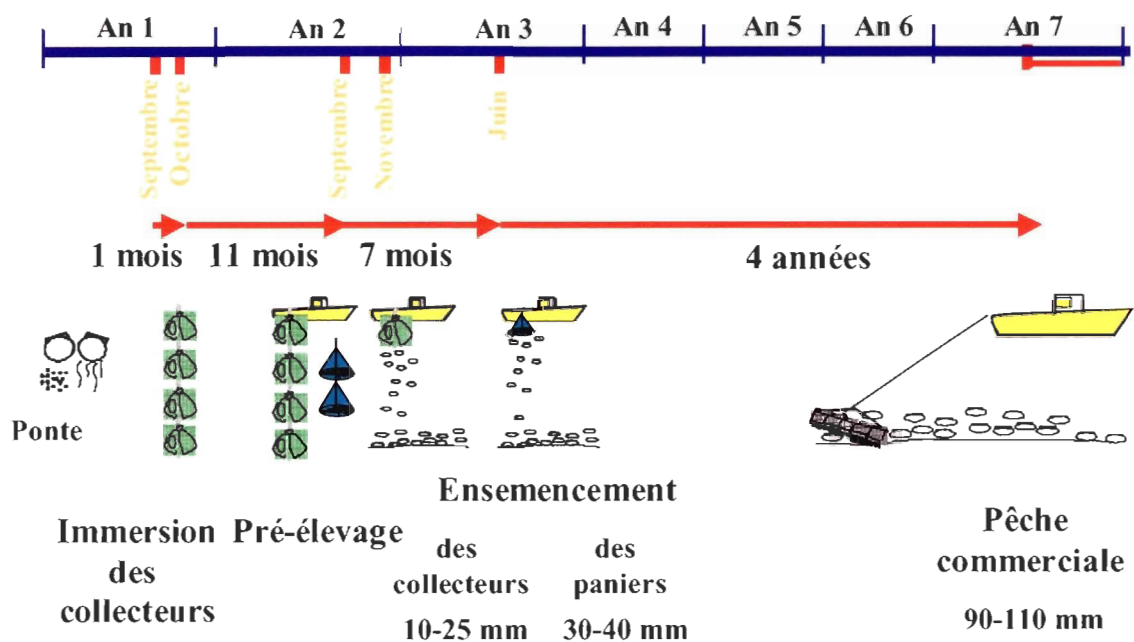
- Stokesbury, K.D.E., J.H. Himmelman. 1993. Spatial distribution of the giant scallop *Placopecten magellanicus* in unharvested beds in the Baie des Chaleurs, Québec. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 96: 159-68.
- Stokesbury, K.D.E., J.H. Himmelman. 1995. Biological and physical variables associated with aggregations of the giant scallop *Placopecten magellanicus*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 52:743-753.
- Têtu, C., L.-A. Davidson. 2001. Recruitment of predators in sea scallop *Placopecten magellanicus*, collectors in South eastern Northumberland Strait 1999-2000. *Aqua. Can.* 2001. *Bull. Aquacult. Assoc. Canada Spec. Publ.*, 5: 23-26.
- Thorson, G. 1964. Light as ecological factor in the dispersal and settlement of larvae of marine bottom invertebrates. *Ophelia*, 1: 167-208.
- Thouzeau, G. 1991 a. Experimental collection of post-larvae of *Pecten maximus* (Linné) and other benthic macrofaunal species in the Bay of Saint-Brieuc (France). I. Settlement patterns and biotic interactions among the species collected. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 148: 159-179.
- Thouzeau, G. 1991 b. Déterminisme du pré-recrutement de *Pecten maximus* (L.) en Baie de Saint-Brieuc: processus régulateurs de l'abondance, de la survie et de la croissance des post-larves et juvéniles. *Aquat. Living Res.*, 4: 77-99
- Tremblay, M.J., M. Sinclair. 1990. Sea scallop larvae *Placopecten magellanicus* on Georges Bank; vertical distribution in relation to water column stratification and food. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 61: 1-15.
- Ventilla, R.F. 1982. The scallop industry in Japan. *Adv. Mar. Biol.*, 20: 309-382.
- Wallace, J.C. 1982. The culture of the Iceland scallop, *Chlamys islandica* (O.F. Müller). I. Spat collection and growth during the first year. *Aquaculture*, 26: 311-320.
- Wilson, J.H. 1987. Spawning of *Pecten maximus* (Pectinidae) and the artificial collection of juveniles in two bays in the west of Ireland. *Aquaculture*, 61: 99-111.
- Wildish, D.J., A.M. Saulnier. 1992. The effect of velocity and flow direction on the growth of juvenile and adult giant scallops. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 155: 133-143.
- Young-Lai, W.W., D.E. Aiken. 1986. Biology and culture of giant scallop, *Placopecten magellanicus*: a review. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1478. 21 pp.



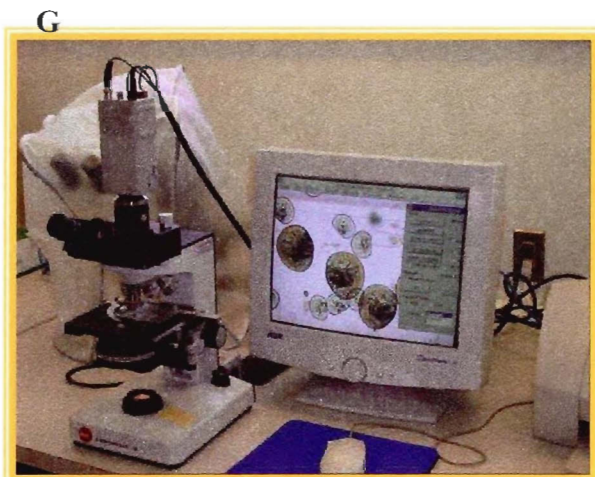
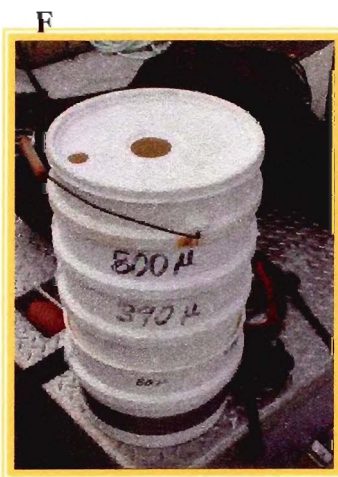
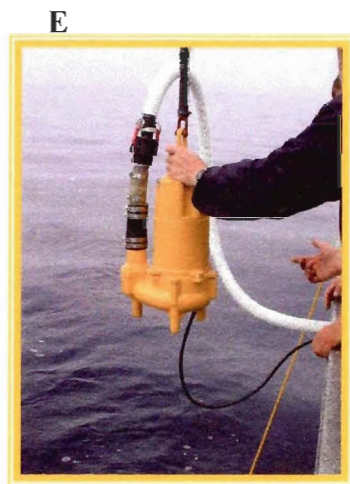
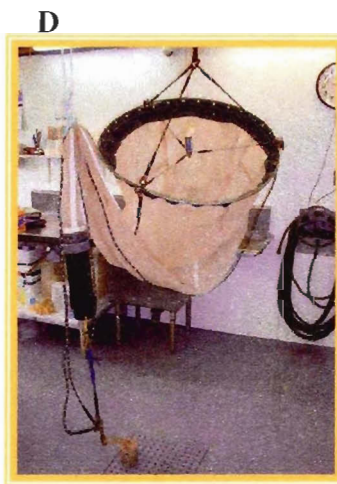
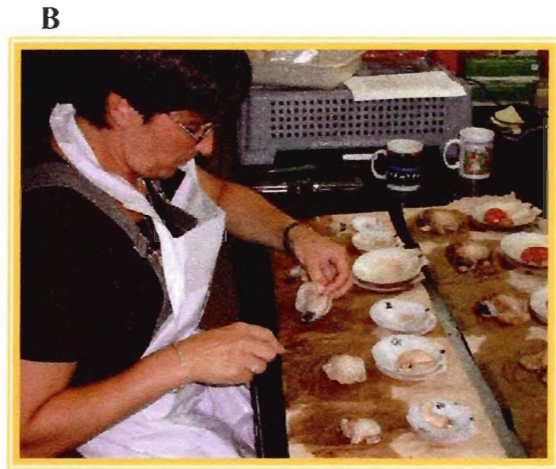
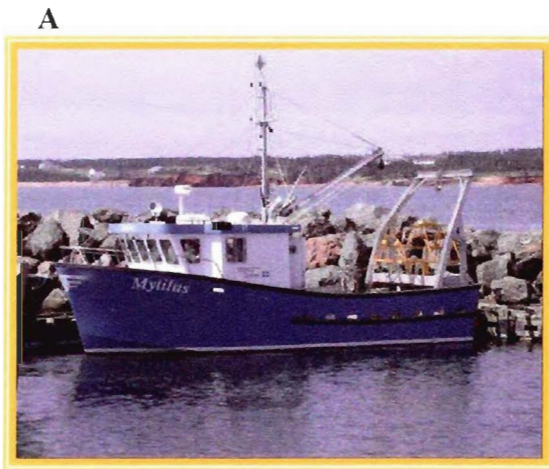


**ANNEXE 1.**

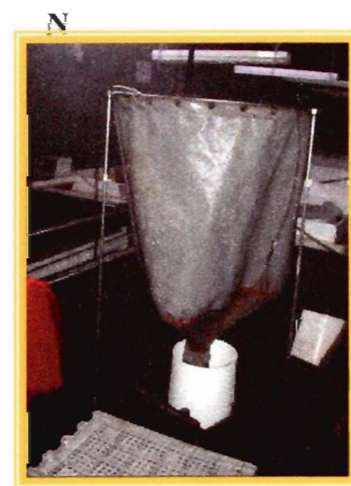
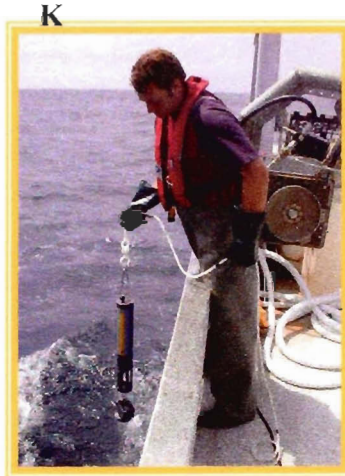
**Stratégie d'ensemencement des pectiniculteurs des Îles de la Madeleine**

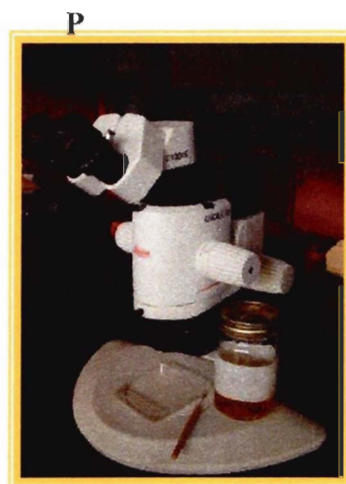


**ANNEXE 2.**  
**Matériel utilisé**







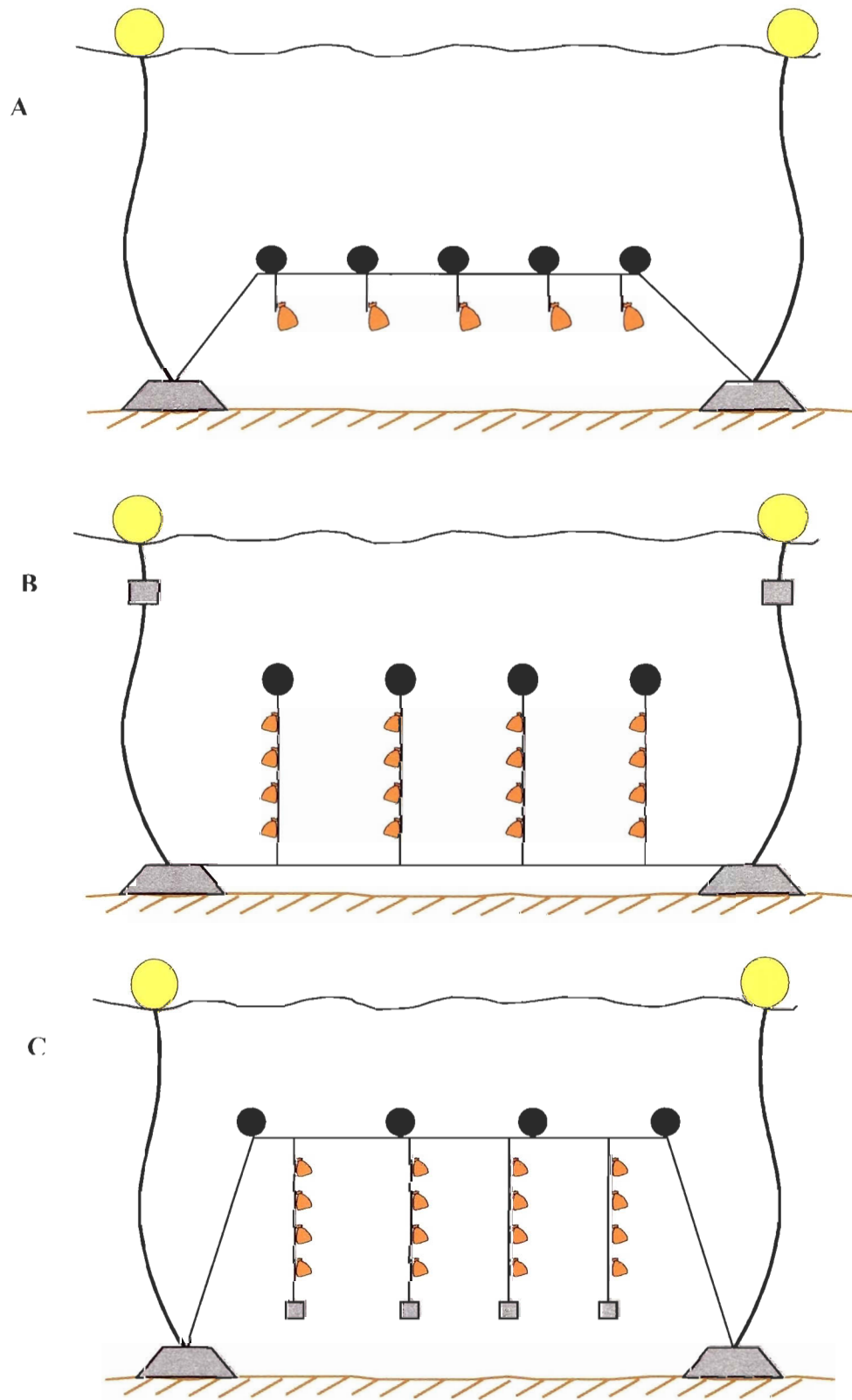


- A: Bateau de recherche du MAPAQ – Mytilus
- B: Analyse de l'IGS (ponte)
- C: Drague utilisée pour récupérer les pétoncles adultes (ponte)
- D: Filet à plancton utilisé pour le suivi larvaire
- E: Pompe submersible utilisée pour le suivi larvaire
- F: Tamis utilisés pour le suivi larvaire (80, 390 et 800  $\mu\text{m}$ )
- G: Analyseur d'images utilisé pour mesurer et compter les larves
- H: Bouteille Niskin pour prélever les échantillons d'eau
- I: Banc de filtration pour la chlorophylle *a*
- J: Fluorimètre pour doser la chlorophylle *a*
- K: CSTD pour faire un profil vertical de la température
- L: Thermographes Vemco (gauche) et Hobo (droite)
- M: Collecteurs de pétoncles avec comme substrat de collecte du filet maillant (1) et du netron (2)
- N: Entonnoir pour nettoyer les collecteurs des suivis hebdomadaire et cumulatif
- O: Tamis utilisés pour récupérer les organismes  $> 2 \text{ mm}$  du suivi cumulatif
- P: Stéréomicroscope pour compter et mesurer les organismes des suivis hebdomadaire et cumulatif

### **ANNEXE 3.**

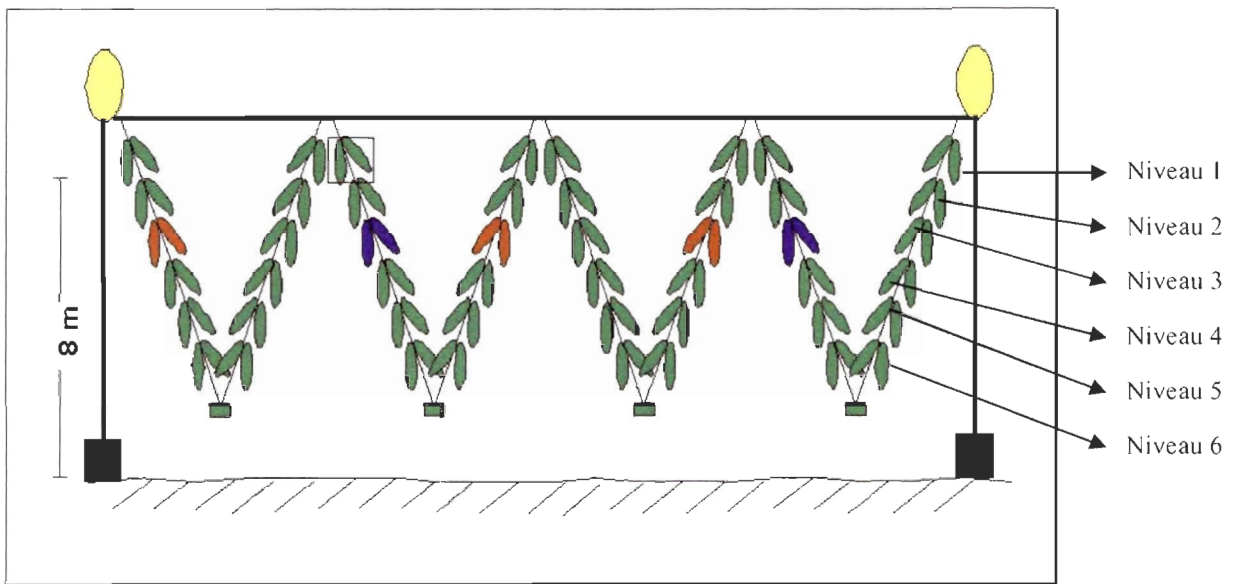
**Schéma de filières de collecteurs de pétoncle A) Collecteurs attachés directement sur la ligne porteuse B) et C) Collecteurs attachés à la verticale sur la ligne porteuse**





#### **ANNEXE 4.**

**Schéma d'une section de filière de collecteurs utilisée par les pectiniculteurs des Îles de la Madeleine. La filière complète compte 10 sections et des ancrages enfouis dans le fond marin à chaque extrémité de la filière.**



**ANNEXE 5.**

**Développement larvaire et post-larvaire de *Placopecten magellanicus***



112  $\mu\text{m}$  x 92  $\mu\text{m}$



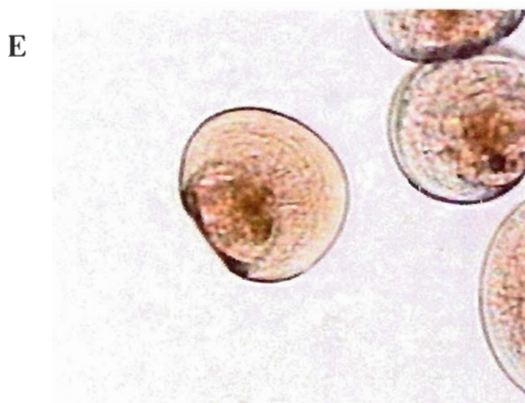
124  $\mu\text{m}$  x 104  $\mu\text{m}$



135  $\mu\text{m}$  x 129  $\mu\text{m}$



153  $\mu\text{m}$  x 126  $\mu\text{m}$

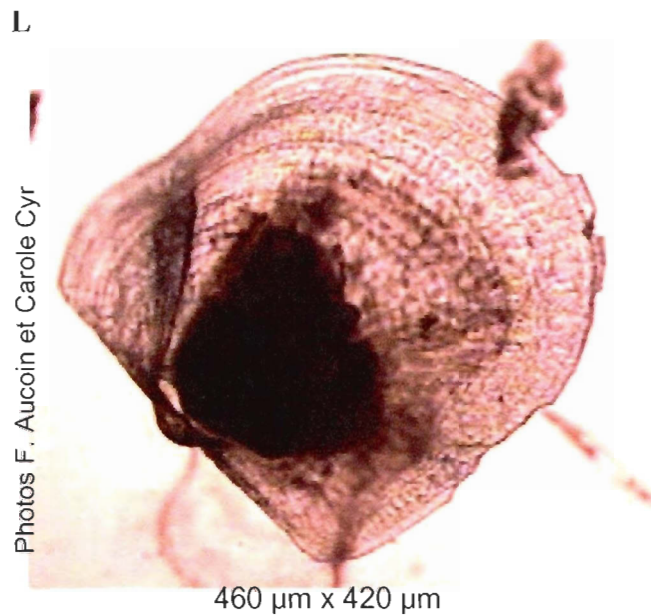
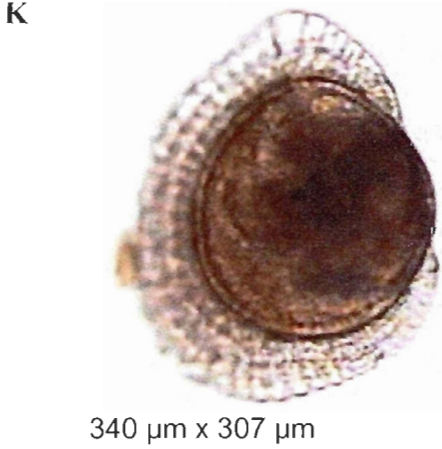


175  $\mu\text{m}$  x 152  $\mu\text{m}$



195  $\mu\text{m}$  x 175  $\mu\text{m}$





Photos F. Aucoin et Carole Cyr

M



Photo J. Richard

## Stade de développement

- A-D : D-véligère
- E-G : Umbo-véligère
- H-J : Pédi-véligère
- K : post-larve métamorphosée après la fixation
- L : Pétoncle géant juvénile
- M : Pétoncle géant adulte

**ANNEXE 6.**

**Développement larvaire et post-larvaire de *Mytilus edulis***





110 x 76  $\mu\text{m}$



163 x 126  $\mu\text{m}$



126 x 100  $\mu\text{m}$



216 x 187  $\mu\text{m}$



139 x 109  $\mu\text{m}$



260 x 225  $\mu\text{m}$



350 x 308  $\mu\text{m}$



Photos F. Aucoin

424 x 343  $\mu\text{m}$



Stade de développement

A-C: D-véligère

D-E: Umbo-véligère

F-G: Pédi-véligère

H: post-larve métamorphosée après la fixation

I: Moule adulte

**ANNEXE 7.**

**Développement larvaire et post-larvaire de *Hiatella arctica***



A



239 x 214  $\mu\text{m}$

C



318 x 279  $\mu\text{m}$

B



261 x 239  $\mu\text{m}$

D



374 x 324  $\mu\text{m}$

Photos F. Aucoin

**E**

Photo J. Richard

## Stade de développement

- A-B: Umbo-véligère
- C: Pédi-véligère
- D: post-larve métamorphosée après la fixation
- E: Hiatelle adulte

**ANNEXE 8.**

**Développement larvaire et post-larvaire d'*Anomia* spp.**



**A**



137 x 130  $\mu\text{m}$

**D**



202 x 196  $\mu\text{m}$

**B**



154 x 146  $\mu\text{m}$

**E**



225 x 214  $\mu\text{m}$

**C**



198 x 193  $\mu\text{m}$

**F**



258 x 257  $\mu\text{m}$

Photos F. Aucoin





Photo J. Richard

## Stade de développement

- A-B: D-véligère
- C-E: Umbo-véligère
- F: Pédi-véligère
- G: Anomie adulte

**ANNEXE 9.**

**Développement larvaire et post-larvaire d'*Asterias vulgaris***

A



520  $\mu$ m

B



600  $\mu$ m



C



819  $\mu\text{m}$

D



Photos F. Aucoin

368  $\mu\text{m}$

E



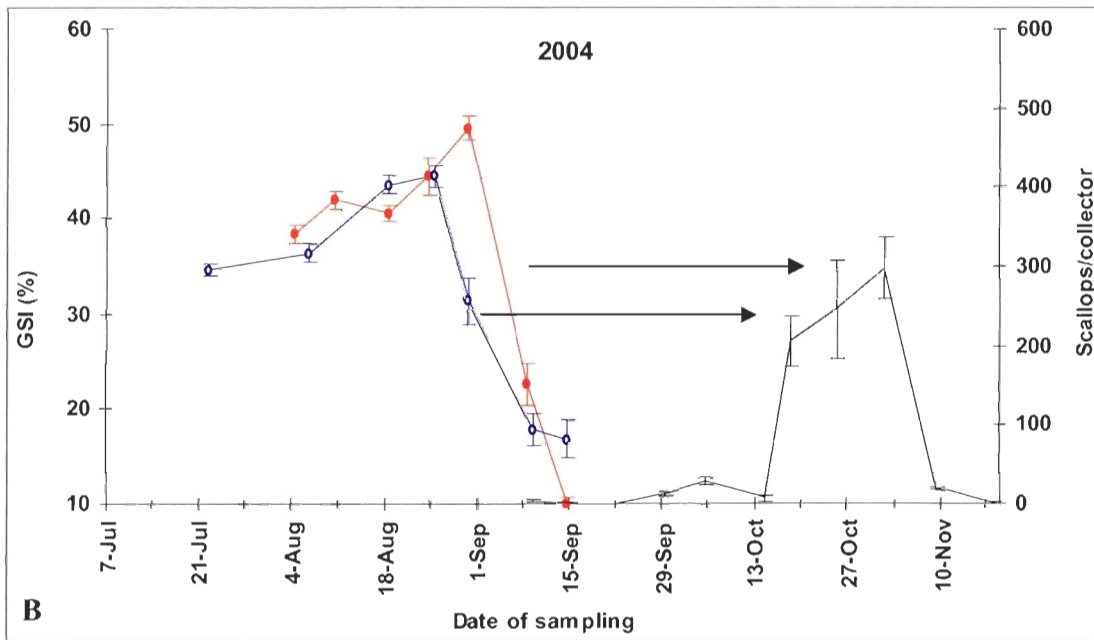
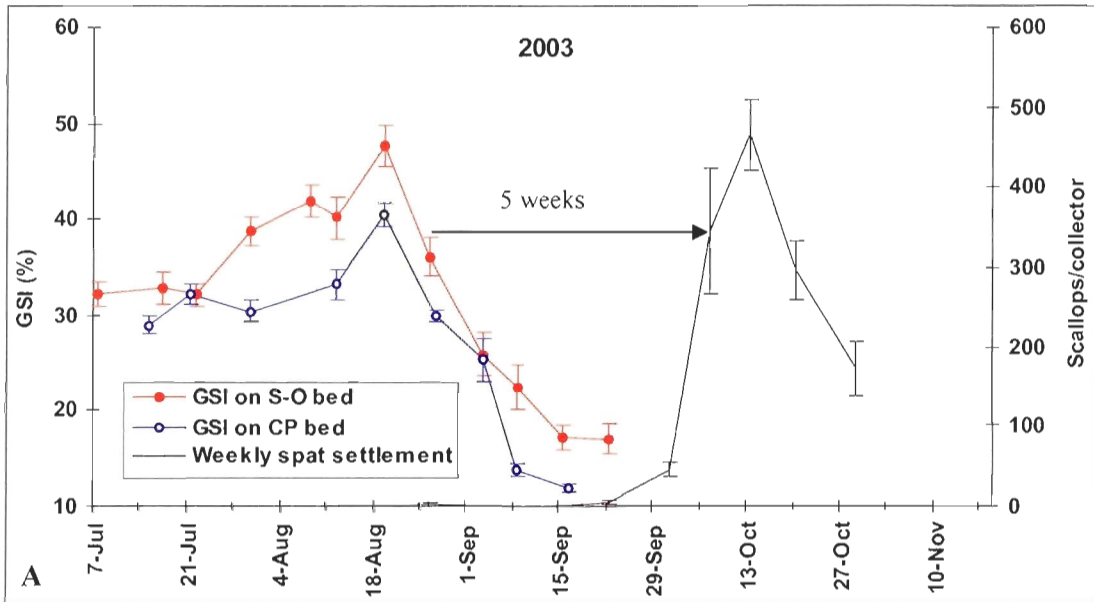
Photo M. Nadeau

Stade de développement

- A: Bipinnaria
- B: Brachiolaria
- C: Larve métamorphosée après la fixation
- D: Étoile juvénile
- E: Étoile adulte

**ANNEXE 10.**

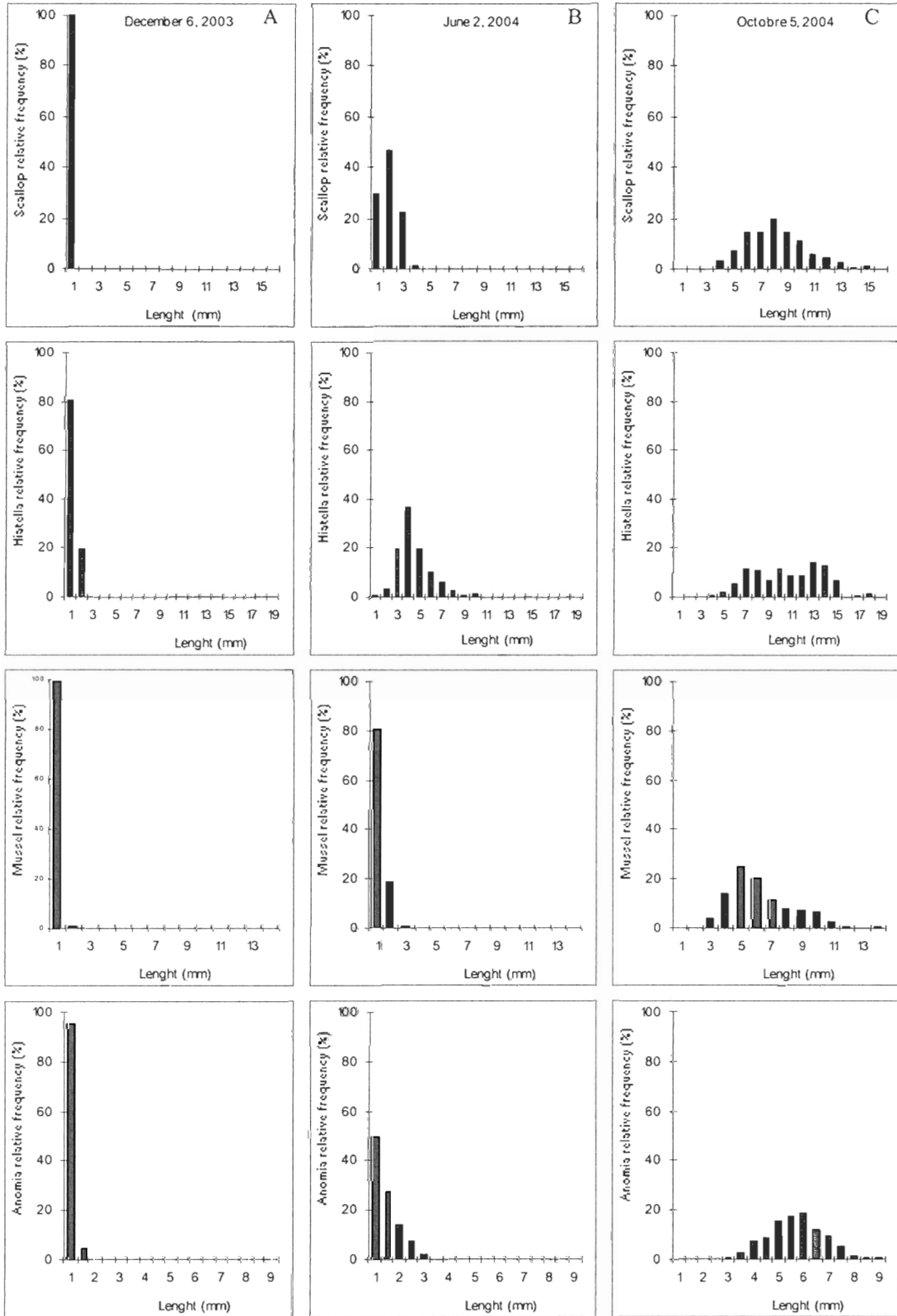
**Suivi de l'indice gonadosomatique (IGS) (moyenne  $\pm$  s.e) et du suivi hebdomadaire de la collecte (moyenne  $\pm$  s.e) de *Placopecten magellanicus* aux Îles-de-Madeleine en 2003 (A) et 2004 (B)**



**ANNEXE 11.**

**Fréquence de taille pour le suivi cumulatif 2003-2004 pour *Placopecten magellanicus*, *Mytilus edulis*, *Hiatella arctica* et *Anomia* spp. dans les collecteurs immergés le 6 octobre 2003 et récupérés le 5 décembre 2003 (A), le 2 juin 2004 (B) et le 5 octobre 2004 (C)**





**ANNEXE 12.**

**Localisation des différents sites d'étude et appareils océanographiques**

**Thermographes**

47° 21.050' N      47° 21.039' N  
61° 32.285' W      61° 32.293' W

**Courantomètre**

47° 22.008' N  
61° 32.472' W

**Stations larvaires**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
47° 19.600' N	47° 19.700' N	47° 20.800' N
61° 33.200' W	61° 30.900' W	61° 33.000' W

**Trajets sur FSO pour draguer les pétoncles pour le suivi de la ponte**

47° 26.691' N      47° 25.914' N  
61° 35.298' W      61° 36.827' W

47° 26.831' N      47° 25.864' N  
61° 35.245' W      61° 36.933' W

**Trajet sur CP pour draguer les pétoncles pour le suivi de la ponte**

47° 10.583' N      47° 10.097' N  
61° 42.342' W      61° 41.666' W

**Stations suivi hebdomadaire du pic de collecte****2003**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
47° 19.599' N	47° 19.741' N	47° 21.089' N
61° 33.556' W	61° 31.022' W	61° 32.199' W

**2004**

<b>41 (surface)</b>	<b>42 (surface)</b>	<b>43 (surface)</b>
47° 18.830' N	47° 18.836' N	47° 18.824' N
61° 33.507' W	61° 33.309' W	61° 33.178' W

<b>44 (plongée)</b>	<b>45 (plongée)</b>	<b>46 (plongée)</b>
47° 19.098' N	47° 19.081' N	47° 19.064' N
61° 33.364' W	61° 31.261' W	61° 33.170' W

### Stations pour les six périodes d'immersion 2003

#### 15 septembre

<b>1</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
47° 20.302' N	47° 20.243' N	47° 20.358' N
61° 30.604' W	61° 30.671' W	61° 30.585' W

#### 22 septembre

<b>2</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
47° 19.884' N	47° 19.681' N	47° 19.774' N
61° 30.125' W	61° 30.321' W	61° 30.213' W

#### 1 octobre

<b>3</b>	<b>17</b>	<b>18</b>
47° 20.018' N	47° 20.226' N	47° 20.107' N
61° 30.133' W	61° 30.049' W	61° 30.087' W

#### 6 octobre

<b>4</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
47° 19.696' N	47° 19.929' N	47° 19.825' N
61° 30.851' W	61° 30.813' W	61° 30.840' W

#### 13 octobre

<b>5</b>	<b>21</b>	<b>22</b>
47° 19.693' N	47° 19.921' N	47° 19.812' N
61° 30.555' W	61° 30.427' W	61° 30.468' W

#### 20 octobre

<b>6</b>	<b>23</b>	<b>24</b>
47° 20.145' N	47° 20.256' N	47° 20.024' N
61° 30.356' W	61° 30.303' W	61° 30.428' W

### Stations pour les six périodes d'immersion 2004

#### 22 septembre

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
47° 18.844' N	47° 19.921' N	47° 19.812' N
61° 32.403' W	61° 30.427' W	61° 30.468' W

#### 20 octobre

<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
47° 20.145' N	47° 20.256' N	47° 20.024' N
61° 30.356' W	61° 30.303' W	61° 30.428' W