

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	II
RÉSUMÉ	III
TABLE DES MATIERES	IV
LISTE DES TABLEAUX	VI
LISTE DES FIGURES	VII
LISTE DES FIGURES	VII
CHAPITRE I	2
1. INTRODUCTION	2
1.1 L'aquaculture: historique et contexte globaux	2
1.2 L'aquaculture au Québec	5
1.3 Objectifs de l'étude	9
CHAPITRE II	10
2. CARACTÉRISATION DES ÎLES-DE-LA-MADELEINE	10
2.1 Caractéristiques générales de la zone d'étude	10
2.1.1 Cadre géographique	10
2.1.2 Géomorphologie	10
2.1.3 Principaux plans d'eau intérieurs	13
2.1.3.1 Lagune de Grande-Entrée (LGE)	14
2.1.3.2 Lagune du Havres-aux-Maisons (LHAM)	15
2.1.3.3 Baie du Havre-aux-Basques	15
2.1.3.4 Bassin aux Huîtres	16
2.1.3.5 Baie de Bassin	17
2.1.3.6 Secteurs visées par l'évaluation	17
2.2 Caractéristiques biophysiques et chimiques	18
2.2.1 Paramètres physico-chimique de l'eau	18
2.2.2 Marnage	22
2.2.3 Vent	23
2.2.4 Glace	23
2.2.5 Courant	24
2.2.6 Substrat et nature des fonds	25
2.2.7 Bathymétrie	29
2.3 Qualité de l'environnement	30
2.3.1 Principales sources de contaminations	30
2.3.2 Salubrité des eaux coquillières	32
2.3 La faune marine	33
2.4 La flore marine	35
CHAPITRE III	36
3. APPROCHE METHODOLOGIQUE	36
3.1 Introduction	36
3.2 Evaluation du potentiel maricole	38
3.2.1 Critères d'exclusion	38
3.2.2 Cartographie des zones d'exclusion	44
3.2.3 L'analyse hiérarchique multicritère	44

3.2.3.1 Sélection des critères d'évaluation	44
3.2.3.2 Pondération des critères d'évaluation	48
3.2.4 Standardisation des critères d'évaluation	53
3.2.5 Évaluation qualitative et cartographie des sites	55
CHAPITRE IV	58
4. RESULTATS	58
4.1 Critères d'exclusion	58
4.2 Pondération des critères d'évaluation	58
4.2.1 Élevage en suspension	59
4.2.2 Ensemencement de pétoncles	59
4.3 Évaluation globale du potentiel maricole	61
4.3.1 Élevage de bivalves en suspension	61
4.3.2 Ensemencement de pétoncles en milieu ouvert	63
CHAPITRE V	68
5. DISCUSSION	68
5.1 Élevage en suspension de moules et de pétoncles	68
5.2 Ensemencement de pétoncles	71
5.3 Critique de la méthode analytique	73
CHAPITRE VI	77
6. CONCLUSION	77
BIBLIOGRAPHIE	82
ANNEXE 1	95
ANNEXE 2	96
ANNEXE 3	97
ANNEXE 4	98

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Paramètres physico-chimiques de l'eau	18
Tableau 2 : Principales espèces d'invertébrés de la faune benthique des Îles-de-la Madeleine	34
Tableau 3: Liste des contraintes.....	43
Tableau 4 : Critères d'évaluation	45
Tableau 5 : Échelle numérique et verbale d'évaluation comparée des critères.	49
Tableau 6 : Matrice de comparaison (exemple).....	50
Tableau 7 : Calcul des pondérations (exemple)	50
Tableau 8 : Calcul de la valeur de cohérence (λ)	51
Tableau 9 : Valeur des indices aléatoires (d'après Saaty, 1977).....	52
Tableau 10 : Échelle d'appréciation des facteurs d'évaluation.....	53
Tableau 11 : Tableau de correspondance des scores pour chaque critère	54
Tableau 12 : Échelle d'interprétation des indices d'évaluation	55
Tableau 13: Pondération et classement hiérarchique des critères d'évaluation.....	60

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte des Îles-de-la-Madeleine dans le golfe du Saint-Laurent.....	11
Figure 2 : Carte du plateau madelinien.....	12
Figure 3 : Courant près de la surface et près du fond dans le golfe du Saint-Laurent.....	20
Figure 4 : Courants de marée aux flots et aux jusants dans la lagune de Grande-Entrée et Havre-aux-Maisons.....	26
Figure 5 : Distribution du sable très fin (Stf), du sable fin (Sf), du sable moyen (Sm), du gravier (G) et de la roche (R) sur le plateau madelinien, selon les relevés hydroacoustiques menés en 1991 et 1992, interprétés selon l'échelle de calibration empirique.....	28
Figure 6 : Secteurs des Îles-de-la-Madeleine pour lesquels des données scientifiques pour la température, la salinité, la vitesse du courant et la disponibilité alimentaire (Chlorophylle a et seston) étaient disponibles.....	58
Figure 7 : Potentiel pour l'élevage en suspension de moules et de pétoncles en milieu ouvert aux Îles-de-la-Madeleine.....	65
Figure 8 : Potentiel pour l'élevage en suspension de moules et de pétoncles dans la lagune de Grande-Entrée.....	66
Figure 9 : Potentiel pour l'élevage en suspension de moules et de pétoncles dans la lagune du Havre-aux-Maisons.....	67
Figure 10 : Potentiel pour l'ensemencement de pétoncles aux Îles-de-la-Madeleine.....	68

CHAPITRE I

1. INTRODUCTION

1.1 L'aquaculture: historique et contexte globaux

L'aquaculture désigne une activité d'élevage ou de culture d'organismes aquatiques animaux ou végétaux. Historiquement, on peut en retracer les premières expériences de culture de poissons en Égypte (2500 av. J.-C.), Chine (2000 av. J.-C.) et Inde (300 av. J.-C.) (FAO, 1987). Cependant, ces premiers essais se limitaient au grossissement de poissons juvéniles jusqu'à la taille adulte. Ce n'est qu'en 1733 que, grâce aux efforts d'un aquaculteur allemand, on retrouve le premier exemple d'écloserie permettant la production et la fertilisation d'œufs de truite (MIT-Sea Grant, 2004). Les techniques d'écloserie piscicole se développeront ultérieurement au cours du 20^{ème} siècle sur les plans commercial et technologique. Concernant la conchyliculture, ses origines remontent à l'époque des Romains, friands d'huîtres au point de développer les premiers exemples d'ostréicultures dont les techniques de base étaient très similaires à celles utilisées encore aujourd'hui.

Depuis trente ans, l'aquaculture a connu un développement sans précédent. D'après l'Organisation pour l'Alimentation et l'Agriculture des Nations Unies (FAO), l'aquaculture fournirait, à l'échelle mondiale, plus du tiers des produits alimentaires d'origine aquatique (FAO, 2002). Passant d'une production de 3,5 à 51,4 millions de tonnes entre 1970 et 2002 (FAO, 2002), elle continue de croître à la fois dans les pays développés et les pays en voie de développement. La FAO prévoit, d'ici 2015-2030, que 40 % de notre consommation de

produit aquatique pourrait provenir de l'aquaculture. Cette importante croissance est justifiée, d'une part, par l'augmentation constante de la demande de produits aquatiques et, d'autre part, par la crise des pêcheries au niveau mondial. Ces dernières ne laissant entrevoir que peu de progrès pour l'avenir et la majorité des stocks d'intérêts étant exploitée à leur plein rendement ou même surexploité (FAO, 1997), l'aquaculture représente une alternative pour pallier ce besoin croissant en protéine aux vues de l'augmentation constante de la population humaine (FAO, 2001). L'aquaculture se place donc à ce jour comme une industrie incontournable, qui fournira une partie cruciale de l'approvisionnement alimentaire futur.

En plus de constituer un moyen intéressant pour réduire la pression sur les stocks naturels, ainsi qu'une source non négligeable de production alimentaire, l'aquaculture présente d'autres points positifs. Elle apparaît comme une source de diversification des activités économiques, principalement dans les régions rurales en zone côtière. Elle peut aussi contribuer à l'agrément des pêcheurs en devenant une activité complémentaire à la pêche. Il suffit d'observer les différentes activités de repeuplement et d'ensemencement, principalement au Japon, en Amérique du nord et en Europe, contribuant au rétablissement ou au maintien des ressources halieutiques naturelles (Kitada, 1999 ; Manzi, 1990). De plus, ce type d'activité offre des bénéfices tels que l'approvisionnement en nourriture, la création d'emploi, la diminution de la pression sur les stocks naturels (Beveridge, 1996). Cependant, malgré ses différents avantages, la croissance de l'industrie aquacole peut aussi causer des effets négatifs sur l'environnement. En milieu marin, l'aquaculture (mariculture) est le plus souvent développée dans les zones abritées et d'accès facile comme les fjords,

les baies ou les lagunes. Dans ces écosystèmes où les échanges d'eau avec l'océan sont limités, l'aquaculture intensive peut être source de surfertilisation dans le cas de la pisciculture et de dépassement de la capacité trophique dans le cas de la conchyliculture. L'aquaculture intensive peut aussi causer des phénomènes de pollution génétique (Youngson *et al.*, 2001) et de diffusion de pathogènes dans les écosystèmes (Heggberget *et al.*, 1993 ; Read et Fernandes, 2003). Il est tout de même important de distinguer deux types d'aquaculture : (1) l'aquaculture extractive, dans le cas d'organismes qui retirent leur nourriture directement de l'environnement occupé (e.g. bivalves filtreurs) et (2) l'aquaculture introductory, dans le cas d'organismes nécessitant l'introduction artificielle de nourriture dans l'environnement occupé (e.g. poissons et crustacés). C'est ce deuxième type d'aquaculture qui a généralement plus d'impact sur l'environnement suite à des phénomènes d'eutrophisation (Milewski, 2000, Holmer *et al.*, 2001). La culture de mollusques filtreurs, comme la moule, peut aussi avoir des effets sur l'habitat benthique dû à la biodéposition de matière organique sous les filières d'élevage. Cependant, des études récentes ont démontré que ces effets étaient beaucoup moins importantes que ceux associés aux cultures d'espèces carnivores comme le saumon ou la crevette (Kaspar *et al.*, 1985; Baudinet *et al.*, 1990; Hatcher *et al.*, 1994; Grant *et al.*, 1995).

Une conséquence indirecte des pollutions environnementales que peut provoquer l'aquaculture est la perception négative de l'industrie aquacole par le grand public (Pérez *et al.*, 2003). De plus, en zone côtière, l'industrie maricole se trouve en concurrence pour l'espace avec les différents utilisateurs de la ressource (pêcheurs, industries, tourisme). En Nouvelle-Zélande, par exemple, ce genre de conflit a conduit à un moratoire sur les fermes

marines jusqu'à ce que soit développée une réglementation concernant l'attribution des espaces marins (Grey, 2002).

L'aquaculture moderne est une activité directement visée par le concept de développement durable, qui implique l'intégration des notions environnementale, économique et sociale. Tout comme les autres activités en milieu côtier, l'aquaculture a des répercussions sur le milieu. Pour assurer son développement durable, il est donc nécessaire d'œuvrer dans un esprit de gestion intégrée des espaces côtiers (Bœuf, 2002) qui permettrait d'harmoniser les différentes pressions exercées sur les habitats côtiers.

1.2 L'aquaculture au Québec

Au Québec, la mariculture est une industrie relativement récente qui a vu ses débuts commerciaux au milieu des années 1980. La période s'étendant des années 1980 au début des années 1990 est généralement considérée comme la première phase du développement de la mariculture au Québec, où l'industrie procédait par essai-erreur avec un succès économique médiocre (SODIM, 2002). Dans une deuxième phase commencée au milieu des années 1990, le Québec s'est doté des ressources et des infrastructures permettant la recherche et le développement en appui à l'industrie aquacole afin de développer une certaine compétitivité technologique et productive sur les marchés. Cette stratégie a donné fruit, entre 1996 et 2001, à une production passant de 76 à 639 tonnes, soit une croissance moyenne annuelle de 53,5 % (SODIM, 2002). A ce jour, le chiffre d'affaires de la mariculture au Québec est estimé à 1 M \$, soit une production annuelle supérieure à 600 tonnes (MAPAQ, 2005).

Jusqu'à maintenant, l'industrie maricole québécoise a misé sur la culture des mollusques bivalves, notamment la moule bleue (*Mytilus edulis*), le pétoncle géant (*Placopecten magellanicus*) et le pétoncle d'Islande (*Clamis islandica*). Depuis quelques années, il y a une volonté de diversifier la production maricole avec d'autres espèces de bivalves (e.g. mye et huître atlantique), d'échinodermes (oursin vert), et de poissons (loup atlantique). Dans ce dernier cas, il s'agit d'activités encore à l'état expérimental. Les activités maricoles se pratiquent dans les quatre régions maritimes du Québec : la Gaspésie (près de 52,2 % de la production totale du Québec), les Îles-de-la-Madeleine (47,1 %), la Côte-Nord (0,6 %) et le Bas Saint-Laurent (0,1 %). Si c'est aux Îles-de-la-Madeleine que l'on retrouve le plus grand nombre d'entreprises maricoles au Québec, c'est en Gaspésie qu'il y a la production la plus importante : 328 tonnes estimées dont 98 % de moules (SODIM, 2002).

Aux Îles-de-la-Madeleine, la production maricole se limite à l'élevage de mollusques bivalves. La conchyliculture a pris de l'importance car elle permet de répondre à une demande que ne peuvent satisfaire les méthodes traditionnelles de récolte de mollusques sauvages (Environnement Canada, 2001). C'est en 1984 que les premiers permis pour la mytiliculture ont été délivrés aux Îles-de-la-Madeleine. Puis au début des années 1990, des producteurs se sont lancés dans l'élevage du pétoncle, suite à la crise des stocks naturels de cette espèce. Cependant, ce n'est que vers la fin des années 1990 que des progrès significatifs en terme de quantité de production et de valeur ajoutée sont apparus dans ces deux secteurs maricoles. Au même moment, un troisième type de conchyliculture à vu le

jour : la myiculture. En 1997, une ferme expérimentale pour la production de la mye (*Mya arenaria*) a été créée aux Îles-de-la-Madeleine.

Concernant la mytiliculture, deux entreprises sont en activités à ce jour aux Îles-de-la-Madeleine. Ces deux producteurs se consacrent au même type d'activité, soit l'élevage en suspension sur boudin traditionnel (jusqu'en 2003) et boudin continu de la moule bleue. De 1996 à 2001, la production de ces deux entreprises est passée de 52 tonnes à 161 tonnes commercialisées, soit de 0,07 M\$ à 0,2 M\$ en terme de valeur déclarée (MAPAQ, 2005). Les surfaces occupées sont destinées au captage de naissain (23 ha) dans la baie de Bassin et à l'élevage en suspension dans les lagunes de Grande-Entrée (250 ha) et de Havre-aux-Maisons (234 ha).

Concernant la pectiniculture, deux entreprises étaient en activité lors de la réalisation de cette étude aux Îles-de-la-Madeleine. Les deux, s'intéressent à la production du pétoncle géant, mais n'ont pas les mêmes stratégies productives. Dans un cas, l'élevage en suspension dans la lagune de Havre-aux-Maisons est couplé à l'ensemencement en milieu ouvert. À cet effet, la compagnie dispose d'un site de pré-élevage en lagune (Havre-aux-Maisons) de 116 ha et de deux sites d'ensemencement en milieu ouvert de 4840 ha et 2677 ha. Entre 1990 et 2000, 29 millions de pétoncles ont été ensemencés au large des Îles-de-la-Madeleine. Une première pêche de pétoncles ensemencés a été réalisée en 2001, avec une récolte de 135 tonnes de pétoncles (MAPAQ, 2005). Dans le deuxième cas, la compagnie dispose de deux sites d'élevage en suspension dans la lagune de la Grande-Entrée ayant des superficies de 102 ha et 130 ha, respectivement. Les deux entreprises pectinicoles

emploient le même mode d'approvisionnement de naissain, à savoir le captage dans la baie de Plaisance, où 2030 ha sont assujettis à un bail d'exploitation.

Pour ce qui est de la myiculture, la seule entreprise actuellement en activité aux Îles-de-la-Madeleine commence tout juste à réaliser une production à l'échelle commerciale. Ses stratégies de production consistent en la récolte de naissain de mye en milieu naturel pour ensuite les ensemencer dans la zone intertidale. En terme d'espace, il possède un site de captage des naissains au Cap Vert dans la lagune du Havre-aux-Maisons de 7,5 ha et un site d'ensemencement en zone intertidale sur la dune du Nord de 14,6 ha.

Actuellement, la conchyliculture aux Îles-de-la-Madeleine se concentre donc exclusivement dans les lagunes exception faite des activités d'ensemencement de pétoncle en mer. Or ces plans d'eau intérieurs constituent des espaces réduits limitant le développement maricole futur. Se tourner vers les milieux ouverts (milieu marin hors des plans d'eau intérieurs) ou les espaces terrestres (aquaculture en bassin) constituerait une alternative au développement à venir de la mariculture aux Îles-de-la-Madeleine. Des projets pilotes vont d'ailleurs dans ce sens au niveau de la mytiliculture. Des biologistes de la Station technologique maricole des Îles-de-la-Madeleine (STMIM) du MAPAQ tentent d'établir les paramètres et les techniques de production mytilicole en milieu ouvert dans la baie de Plaisance. A ce jour, l'identification des secteurs propices à la mariculture aux Îles-de-la-Madeleine est nécessaire, non seulement pour le succès du développement de la mariculture, mais aussi pour assurer la gestion des espaces aquatiques des Îles-de-la-Madeleine.

1.3 Objectifs de l'étude

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer le potentiel maricole des Îles-de-la-Madeleine dans un esprit de gestion intégrée des espaces côtiers concernés. Le potentiel maricole est défini ici par (1) la présence de caractéristiques environnementales favorables à la mariculture et (2) l'absence de contraintes biophysiques, légales ou de conflits d'usage qui pourraient limiter ou empêcher le développement maricole.

Dans la première partie de cette étude, on décrit la géomorphologie des Îles-de-la-Madeleine en résumant les connaissances biophysiques de l'archipel, en mettant l'emphase sur les facteurs qui interagissent avec la mariculture. Dans la seconde partie, on décrit et applique un protocole rigoureux pour l'évaluation du potentiel d'expansion des activités maricoles existantes aux Îles-de-la-Madeleine. Plus précisément, cette étude vise à identifier et évaluer les sites propices au grossissement en suspension de la moule bleue (*Mytilus edulis*) et du pétoncle géant (*Placopecten magellanicus*) et les sites propices à l'ensemencement de ce dernier. L'évaluation ne tient pas compte des sites de captage de naissains des espèces cultivées.

CHAPITRE II

2. CARACTÉRISATION DES ÎLES-DE-LA-MADELEINE

2.1 Caractéristiques générales de la zone d'étude

2.1.1 Cadre géographique

Les Îles-de-la-Madeleine sont localisées dans la région sud, sud-ouest du golfe du Saint-Laurent entre les longitudes $61^{\circ}09'18''$ et $61^{\circ}11'18''$ ouest et les latitudes $47^{\circ}12'36''$ et $47^{\circ}51'00''$ nord (Figure 1). Cet archipel est constitué de douze îlots rocheux. Sept îlots sont reliés entre eux par des cordons sableux et forment une unité allongée dans la direction SO-NE, s'étendant sur environ 70 km. Les Îles-de-la-Madeleine se situent à environ 210 km de la péninsule gaspésienne, 85 km de l'Îles du Prince Edouard et 85 km du Cap-Breton. Cette position géographique leur procure un climat maritime et tempéré. Ce climat a tendance à adoucir les hivers et rafraîchir les étés, faisant des Îles-de-la-Madeleine l'endroit au Québec ayant le moins de jours de gèle au cours de l'année. Cependant, le départ tardif des glaces qui ceinturent l'archipel contribue à retarder l'arrivée du printemps.

2.1.2 Géomorphologie

Les Îles-de-la-Madeleine font partie de la province géologique des Appalaches et occupent une position centrale dans le bassin de Fundy des provinces maritimes (Maillet, 1992). Elles sont situées tout juste au sud du chenal laurentien et reposent au sommet d'un large plateau marin : le plateau madelinien (Figure 2). Il s'agit d'une plate-forme, d'une

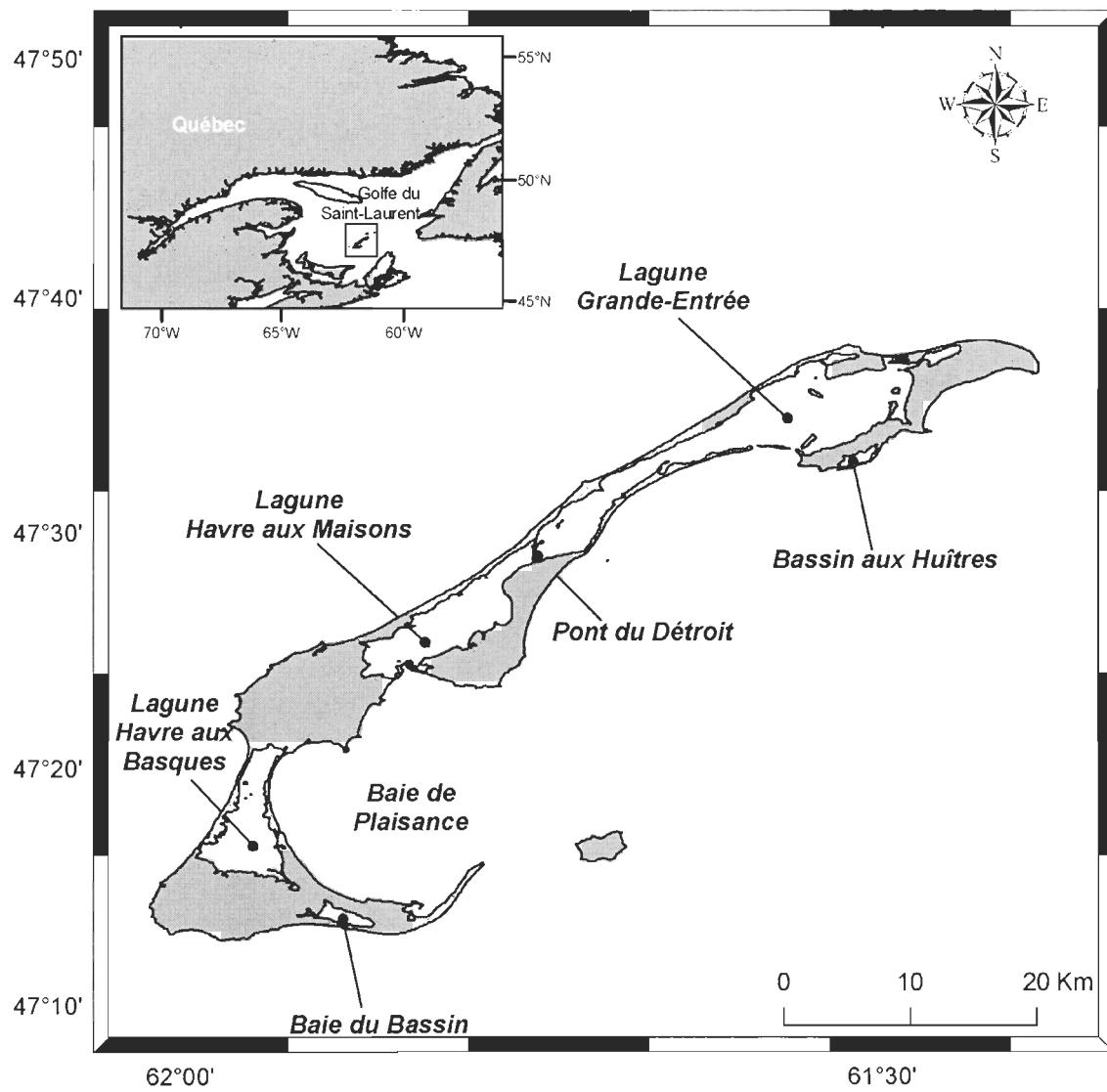


Figure 1 : Carte des îles-de-la-Madeleine dans le golfe du Saint-Laurent

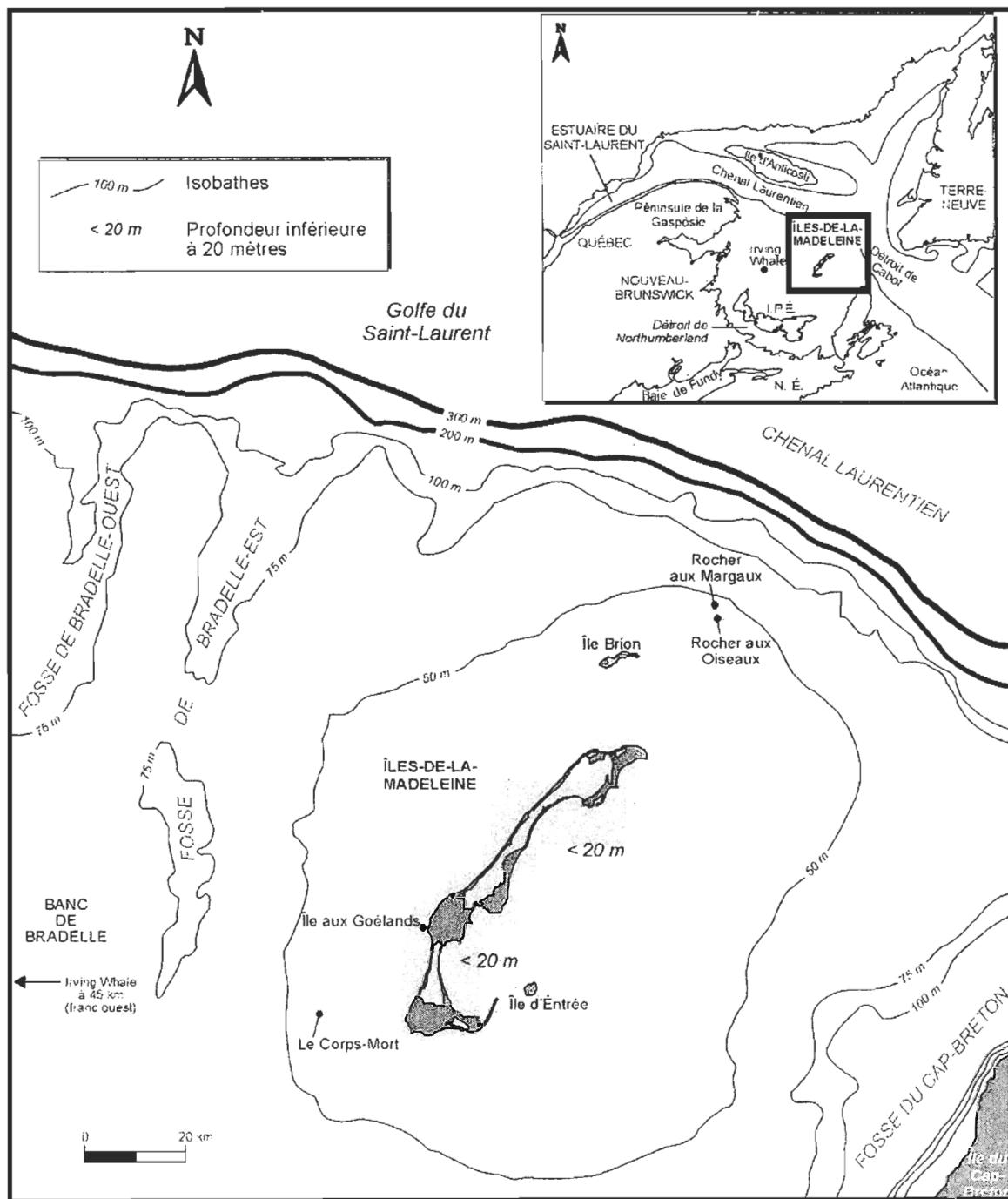


Figure 2 : Carte du plateau madelinien (tirée de Comité ZIP des Îles, 2002)

profondeur de moins de 100 m, qui s'étend sur environ 180 km de large et 100 km de long.

Le plateau madelinien présente plusieurs bancs peu profond : le banc de Bradelle-Est, le banc de Bradelle-Ouest et le haut fond des Îles-de-la-Madeleine. En effet, les Îles-de-la-Madeleine reposent sur un haut fond d'une profondeur inférieur à 50 m (Figure 2).

D'un point de vue géomorphologique, le relief des Îles-de-la-Madeleine est constitué de deux grands ensembles : des noyaux rocheux et des dunes de sable (Dubois, 1992). Les principaux îlots rocheux sont reliés entre eux par ces dunes de sable issues de l'accumulation de sédiments meubles. Ces cordons sableux, nommés tombolos doubles, isolent partiellement de la mer des lagunes de superficies variables. D'autres cordons sableux se sont aussi formés à l'extrémité des noyaux rocheux et sont appelés des flèches de sable, par exemple, la Sandy Hook de l'île de Havre Aubert. Enfin, des cordons de plus petite taille enferment des bassins dont les principaux sont la baie de Bassin et le Bassin aux Huîtres (Dubois, 1992).

2.1.3 Principaux plans d'eau intérieurs

Les lagunes et les baies des Îles-de-la-Madeleine sont des écosystèmes marins de faible profondeur à l'interface terre-mer reconnus pour leur grande richesse et leur grande biodiversité. Isolées de la mer par des cordons sableux, elles restent tout de même en communication avec l'océan par l'intermédiaire des goulets de marée, de manière permanente ou intermittente. Ces plans d'eau intérieurs sont favorables au développement de trois types d'habitats très productifs recherchés par les oiseaux et les poissons : les

herbaçaises salées, les marais de *Spartine alterniflora* et les herbiers de zostères (Gagnon, 1998).

Aux Îles-de-la-Madeleine, il existe 5 plans d'eaux intérieurs majeurs : la lagune de Grande Entrée, la lagune du Havre-aux-Maisons, la Baie du Havre-aux-Basques, la Baie du Bassin, et le Bassin aux Huîtres. L'ensemble de ces vastes étendues d'eau couvre une superficie d'environ 118 km² (Comité ZIP, 2002).

2.1.3.1 Lagune de Grande-Entrée (LGE)

La LGE présente une forme allongée, s'étendant du pont du Détroit au sud-ouest vers le nord-est. La partie ouest, étroite et peu profonde, est caractérisée par des hauts fonds et de grandes zones intertidales qui vont se couvrir et se découvrir avec les marées. La partie supérieure, au nord-est, est plus large et prend une forme ovoïde (Drapeau, 1988). Cette zone est sensiblement plus profonde, avec des valeurs maximales de 6-8 m. La superficie totale de la lagune est de 68 km² (Drapeau, 1988). Au sud-est de la partie supérieur, elle communique avec le golfe du Saint-Laurent via la Passe de la Grande-Entrée ayant une largeur d'environ 500 m. A l'extrême sud-ouest, elle communique avec la lagune du Havre-aux-Maisons via une passe au dessous du pont du Détroit d'En-Dedans ayant une largeur d'environ 50 m. Une caractéristique importante de cette lagune est la présence d'un chenal de navigation. Après l'acceptation, en 1979, de l'exploitation des gisements de sel et la mise en place d'une mine, un chenal de navigation fut dragué au cours des années 1980-1981 afin de permettre le transit des bateaux citernes. Ce chenal s'étend du nord-est de la Dune du Nord (quai de la mine) jusque dans le golfe en passant par la Passe de la Grande-

Entrée sur une longueur de 10.6 km dont 7.8 km à l'intérieur de la lagune. Sa largeur est de 100 m et sa profondeur de 7 à 8 m (Comité ZIP, 2003). L'élaboration d'un tel chenal marque une séparation en deux de la lagune, qui a probablement affecté l'hydrodynamique celle-ci (Navarro, 1991). Des baux ont été accordés pour trois sites conchyliques situés dans les secteurs nord-est de la LGE, en correspondance des zones plus profondes de la lagune. Deux sites sont destinés à la pectiniculture (130 ha) et un autre à la mytiliculture (250 ha).

2.1.3.2 Lagune du Havre-aux-Maisons (LHAM)

La lagune du Havre-aux-Maisons a une superficie d'environ 30 km². Elle communique avec la LGE via la passe du détroit d'En-Dedans. De plus, les échanges directs avec le golfe du Saint-Laurent sont possibles dans son extrême sud-ouest par la passe du chenal du pont de Havre-aux-Maisons d'une largeur d'environ 50 m. Tout comme la LGE, des sites conchyliques sont présents dans la partie profonde de la lagune. Un site est destinés à la pectiniculture (116 ha) et trois à la mytiliculture (229 ha). Un site de captage de naissain de mye (7,5 ha) et un site d'ensemencement en zone intertidale (14,6) existent aussi dans la LHAM.

2.1.3.3 Baie du Havre-aux-Basques

Deux cordons de sable relient l'île du Havre-Aubert à l'île de Cap-aux-Meules en refermant entre eux la baie du Havre-aux-Basques. Cette baie avait deux ouvertures la reliant à la baie de Plaisance (Comité ZIP, 2003), mais qui ont été fermées à la suite de la construction d'une route dans les années 1950. A ce jour, les quelques échanges avec le

milieu marins se font via la formation d'un goulet à ouverture sporadique du côté ouest, surtout lors des grandes marées d'équinoxe (Grenier et Dubois, 1992).

Les conditions environnementales, qu'elles soient biologiques, physiques ou chimiques, ont progressivement changé depuis la limitation des échanges avec la mer, provoquant notamment un réchauffement de la température moyenne de l'eau, une diminution de la salinité et une augmentation de la profondeur de l'eau à certains endroits. Aucune activité maricole n'a lieu dans cette baie.

2.1.3.4 Bassin aux Huîtres

Le Bassin aux Huîtres, situé au sud de l'île de Grande-Entrée, a une superficie d'environ 1,2 km². Autrefois, ce plan d'eau se nommait "*le Bassin*" et il aurait tiré son nom actuel à la suite d'essais d'ensemencement d'huîtres en provenance du Nouveau-Brunswick au début du 20^{ème} siècle (Comité ZIP, 2003). D'ailleurs, après d'autres essais réalisés durant les années 1970, le gouvernement du Québec autorisait en 1998 un particulier à développer un projet expérimental de grossissement d'huîtres américaines dans un site délimité du Bassin aux Huîtres. Cependant, ce projet de grossissement fût abandonné à cause de l'instabilité des paramètres physico-chimique de ce plan d'eau, qui affecteraient une éventuelle production ostréicole. En effet, les ouvertures avec la mer sont instables dans ce bassin (Grenier et Dubois, 1992). Anciennement, un goulet de marée était ouvert à l'extrémité sud-ouest du Bassin aux Huîtres. Puis en 1998, suite à une forte tempête et aux processus d'érosion, ce goulet s'est fermé et un nouveau s'est creusé dans la partie sud-est.

L'ouverture et la fermeture de ces goulets de marées seraient des phénomènes récurrents (Grenier et Dubois, 1992).

2.1.3.5 Baie de Bassin

La Baie de Bassin est un plan d'eau relativement petit ayant une superficie de 3 km², situé dans la partie sud de l'île du Havre-Aubert. Elle communique avec la mer via un goulet de marée à très faible tirant d'eau (< 1,5 m à marée haute). Anciennement, la baie de Bassin servait de havre naturel pour beaucoup de bateaux, car il semblerait que la profondeur du goulet était plus importante (Comité ZIP, 2003). Aujourd'hui, cette baie accueille les sites de captage des moules de culture des Îles-de-la-Madeleine.

2.1.3.6 Secteurs visés par l'évaluation

Cette étude visait l'identification et l'évaluation de sites propices à l'élevage en suspension ainsi qu'à l'ensemencement de bivalves, en milieu lagunaire et en milieu ouvert. En ce qui concerne le milieu ouvert, cette étude a prévu l'analyse de la zone côtière entourant l'archipel jusqu'à l'isobathe des 50 m. Cette profondeur représente la limite technique pour l'encrage de filières d'élevage (Comm. Pers., Bourque, 2005). D'autre part, au-delà de l'isobathe de 50 m, la distance de la côte serait trop importante pour rendre les activités rentables et sécuritaires (cf. figure 2). Concernant les lagunes, seules celle de Grande-Entrée et celle du Havre-aux-Maisons ont été visées par l'étude. Les autres lagunes n'ont pas été incluses dans l'étude à cause de leur trop faible profondeur ne permettant pas des activités d'élevage en suspension. Par ailleurs, des études passées ont démontré aussi que, même dans les cas d'autre types de conchyliculture que celle en suspension, ces autres

lagunes ne seraient pas appropriées (Bruno Myrand, MAPAQ, communication personnelle). La baie de Bassin fait exception à cette règle. Cependant, ses caractéristiques biophysiques limitent son utilisation au captage de naissain.

2.2 Caractéristiques biophysiques et chimiques

2.2.1 Paramètres physico-chimique de l'eau

Tableau 1 : Paramètres physico-chimiques de l'eau

Variables	Eaux lagunaires	Eaux côtières de surface (<15 m)	Références
Température	-1° à 21°C	-1° à 17°C	Koutitonsky et Bugden, 1991 ; Myrand, 1991.
Salinité	28 à 32 PSU	28 à 32 PSU	Koutitonsky et Bugden, 1991 ; Myrand, 1991.
Oxygène dissous	Proche de 100 % de saturation	Proche de 100 % de saturation	Gilbert <i>et al.</i> , 2004 ; Poirier et Myrand, 1982 ; Myrand, 1991 ; Souchu <i>et al.</i> 1991.
Nitrates	0,50 mg-at NO ₃ -N/l	0,04-0,13 mg NO ₃ -N/l	Auclair, 1977 ; Bulleid et Stevens, 1972; Souchu <i>et al.</i> , 1991.
Phosphates	1,00 mg PO ₄ -P/l	0,19-0,25 mg PO ₄ -P/l	Auclair, 1977 ; Bulleid et Stevens, 1972; Souchu <i>et al.</i> , 1991.
[Chl.a]	0,2 à 4 µg/L	0,2 à 2 µg/L	Mayzaud <i>et al.</i> , 1989; Myrand, 1991.

Température et salinité. Les eaux du plateau madelinien sont intimement liées à la dynamique hydrologique du golfe du Saint-Laurent. Durant la période estivale, les eaux du golfe sont stratifiées en trois couches superposées de densités différentes (Koutitonsky et Bugden, 1991). Ces variations de densités sont dues principalement à des différences de température et de salinités entre les couches. A proximité des Îles-de-la-Madeleine, seuls deux couches sont distinguables durant l'été : une couche d'eau de surface et une couche

d'eau profonde recouvrant les fonds du plateau madelinien (Koutitonsky et Bugden, 1991).

La couche de surface est constituée des eaux superficielles du golfe du Saint-Laurent qui proviennent du courant de Gaspé. Cette couche, d'une profondeur d'environ 10-15 m, est relativement chaude en été et moins salée que les eaux plus profondes. La couche inférieure est constituée des eaux intermédiaires froides du golfe. Sa température est comprise entre -1° et 2° C et sa salinité varie entre 30 et 32 PSU. En hiver, ces deux couches d'eau se mélangent et la température de l'eau baisse alors à des valeurs proche de -1° C.

Dans les LGE et LHAM, les apports en eau douce se limitent aux précipitations, les apports fluviaux étant négligeables. Ces lagunes sont donc des milieux où la salinité est relativement stable et semblable à celle du golfe, bien qu'elle puisse descendre occasionnellement jusqu'à 25 PSU (Myrand, 1991). Concernant la température, elle varie principalement à cause des facteurs climatiques. La faible profondeur des lagunes et le brassage continu occasionné par le vent font en sorte que la température de l'eau est liée de très près à la température de l'air dans les lagunes (Myrand, 1991). Durant l'été, l'eau des lagunes est donc plus chaude que celle du golfe du Saint-Laurent alors qu'en hiver leur température est semblable (-1 à 2°C).

Oxygène dissous. De manière générale, les eaux de surface et de la couche intermédiaire froide du golfe du Saint-Laurent ainsi que les eaux lagunaires sont riches en O₂ dissous. L'oxygénation des eaux lagunaires semblent suffisamment contrôlée par les échanges air-océan pour éviter des risques d'anoxie (Souchu *et al.*, 1991). Que ce soit dans ou à l'extérieur des lagunes, l'O₂ dissous ne constitue pas un facteur limitant dans les eaux de l'archipel madelinien.

Sels nutritifs. Les eaux du sud du golfe du Saint-Laurent sont étroitement liées au courant de Gaspé (Figure 3). Ce dernier assure notamment le transport des sels nutritifs de l'estuaire vers le plateau madelinien (Savenkoff *et al.*, 2001). Aux Îles-de-la-Madeleine, les eaux de surface (0-10 m) présentent généralement des concentrations en sels nutritifs plus élevées dans les lagunes que dans la mer (Auclair, 1977). Les concentrations en nitrates demeurent toutefois relativement faibles. Les nitrates représentent même un facteur limitant de la production primaire des lagunes (Auclair, 1977 ; Mayzaud *et al.*, 1992). L'azote inorganique dissous n'a été détecté que sous forme de traces dans les eaux de la LGE (Souchu *et al.*, 1991) et seuls les échanges avec les eaux du golfe semblent assurer la présence de nitrates dans les lagunes (Mayzaud *et al.*, 1992). Les concentrations en phosphate sont, elles aussi, supérieures dans les lagunes qu'en mer. Contrairement aux nitrates, les phosphates ne semblent pas limiter la production primaire lagunaire (Souchu *et al.*, 1991). Les concentrations importantes de *Zostera marina* dans les lagunes pourraient expliquer ces concentrations en phosphates. Cette angiosperme marine peut puiser le phosphore des sédiments et le libérer par les feuilles sous forme d'orthophosphates (McRoy *et al.*, 1972)

Production primaire et phytoplancton. Dans les eaux stratifiées du plateau madelinien, qui entoure les Îles-de-la-Madeleine, la production primaire est caractérisée par une forte poussée phytoplanctonique aux mois d'avril-mai (Steven, 1974). À la suite de ce bloom phytoplanctonique, malgré la diminution des concentrations en nutriments, la concentration de phytoplancton reste relativement stable (De La fontaine *et al.*, 1991). D'un point de vue

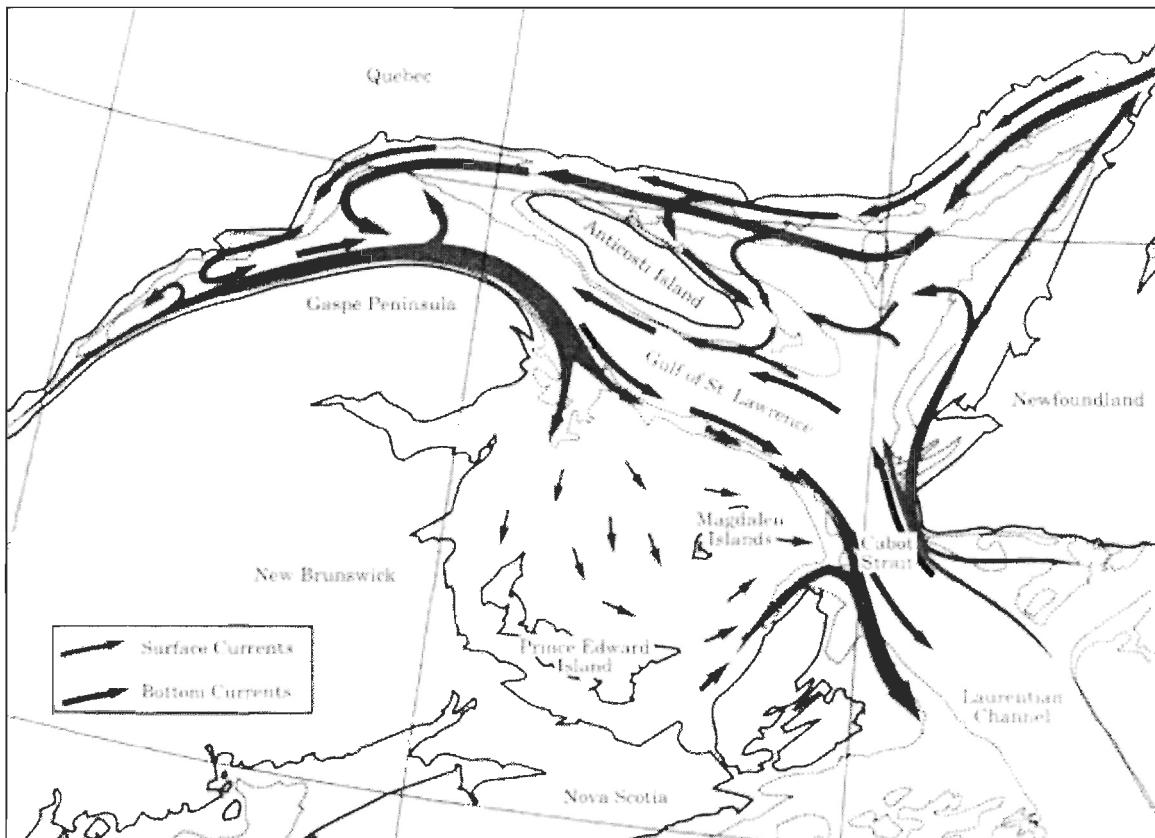


Figure 3 : Courant près de la surface et près du fond dans le golfe du Saint-Laurent, basé sur le modèle de solution de Han *et al.* (1999), tirée de Savenkoff *et al.*, 2001.

taxonomique, l'environnement côtier des Îles-de-la-Madeleine est dominé par les microflagellés et les petites diatomées (De Lafontaine *et al.*, 1991).

En ce qui concerne les lagunes, le nanoplancton ($\leq 10 \mu\text{m}$) constitue aussi une part importante du phytoplancton durant tout l'été (microflagellés, cryptophycés, autres groupes appartenant au nanoplancton et petites diatomées) (Roy *et al.*, 1991). Dans la LGE, la composition floristique et l'activité photosynthétique ont été trouvées semblables à celle du golfe (Roy *et al.*, 1991). Les concentration de chlorophylle a dans les lagunes sont variables d'une année à l'autre mais ne sont pas très élevées (Myrand, 1991).

2.2.2 Marnage

Les Îles-de-la-Madeleine sont situées à proximité d'un point amphidromique au niveau duquel les variations tidales du niveau de la mer sont nulles (Navarro, 1991). Ceci explique que, les marées soient faibles aux Îles-de-la-Madeleine. Le marnage oscille entre 0,6 m pour les moyennes marées et 1 m pour les grandes marées (Service hydrographique canadien, 2005). En plus de réduire considérablement l'amplitude de la marée, la proximité de ce point fait varier sa phase le long du littoral. Le secteur nord présente un cycle diurne de marée alors qu'ailleurs, et notamment dans la baie de Plaisance, on retrouve un cycle semi-diurne (Koutitonsky et Booth, 1996).

Concernant les lagunes, la marée intervient d'autant plus que le marnage est grand et que les passes sont nombreuses et larges. Au fur et à mesure qu'elle pénètre à l'intérieur des lagunes, la marée voit son amplitude diminuer et sa propagation est retardée (Navarro, 1991). En générale, le flot est plus court et plus rapide que le jusant. Les courants de marée

qui atteignent leur vitesse maximale dans les passes s'amortissent ensuite vers l'intérieur (Koutitonsky et Booth, 1996).

2.2.3 Vent

Les Îles-de-la-Madeleine, situées en plein milieu du golfe Saint Laurent, sont connues pour être soumises aux vents de manière régulière et intense. La vitesse moyenne mensuelle des vents, qui influence beaucoup le climat madelinien, oscille entre 25.6 et 37.8 km/h avec des rafales pouvant atteindre 152 km/h (Environnement Canada, 2004). L'intensité des vents est maximale entre décembre et janvier, avec une dominance nord, nord-ouest. Pendant la saison estivale la direction du vent est principalement sud ou sud-ouest (Paré, 1976).

Bien que fermée par des dunes de sable, les lagunes se trouvent aussi fortement exposées aux vents. Ces derniers assurent un brassage permanent des masses d'eau, ayant pour conséquence une homogénéité verticale de la colonne d'eau, peu importe les paramètres considérés (Auclair, 1977 ; Poirier et Myrand, 1982 ; Munro et Therriault, 1983 ; Souchu et *al.*, 1991). De plus les vagues engendrées par les vents affectent la dynamique sédimentaire aux entrées des lagunes (Koutitonsky et Bugden, 1991).

2.2.4 Glace

En milieu ouvert, les premières glaces se forment généralement à la mi-janvier autour de l'archipel des Îles-de-la-Madeleine. Cependant, il y a très rarement de l'accumulation de glace du côté de la Baie de Plaisance. Dans ce secteur, la glace est très mince et sujette à partir rapidement à cause des vents du Nord-Ouest. Dans les autres secteurs, le couvert de

glace se maintient généralement jusqu'à la mi-mars. À la fin mars, alors que l'estuaire du Saint-Laurent est déjà complètement dégelé, les glaces du golfe se dirigeant vers le détroit de Cabot, ont tendance à s'accumuler sur la côte ouest de l'archipel. La côte est est par contre déjà totalement libérée des glaces à cette période de l'année. Cependant, il existe une grande variabilité d'une année à l'autre concernant la formation, la dérive et la fonte des glaces. Ceci découle du fait que ces processus dépendent fortement de la température de l'air, du vent, des courants de surface, c'est à dire de facteurs très variables d'une année sur l'autre (Koutitonsky et Bugden, 1991).

Dans les milieux lagunaires, particulièrement bien abrités, la glace demeure généralement en place tout au long de l'hiver. Les lagunes des Îles-de-la-Madeleine sont recouvertes de glaces permanentes de décembre/janvier à avril/mai (Poirier et Myrand, 1992). L'épaisseur de ce couvert de glace varie de 0.6 m à 1 m (Souchu et al., 1991). Il est important de mentionner que, depuis environ 5-6 ans, la période de couverture glaciée tend à se réduire.

2.2.5 Courant

Le patron de circulation des eaux de surface en été dans le Golfe du Saint-Laurent est illustré par la figure 3. La principale composante de ce patron de circulation est le courant de Gaspé. Celui-ci tire son origine de la partie inférieure de l'estuaire du Saint-Laurent où la décharge du fleuve se combine avec la circulation générale de la partie nord-ouest du golfe du Saint-Laurent, avant de s'engouffrer sur le plateau madelinien (Savenkoff et al., 2001). À ce patron de circulation viennent s'ajouter les courants de surface créés par le

vent. Des études ont démontré qu'environ 50 % des courants de surface sur le plateau madelinien étaient générés par les vents locaux et ce, jusqu'à 40 m de. De manière générale, les vents ont une périodicité de 8-15 jours et soufflent durant environ 3 jours (Koutitonsky et Bugden, 1991).

En ce qui concerne les lagunes, le principal facteur qui contrôle leur circulation est le régime éolien agissant à la surface de l'eau, les courants de marées étant importants seulement aux niveaux des passes (figure 4) (Koutitonsky et Booth, 1996). En effet, la vitesse des courants de marée varie en moyenne entre 0,01 et 0,06 m/s, mais peut monter à >1 m/s dans les passes lors du flot et du jusant (Mayzaud *et al.*, 1992; Koutitonsky et Booth, 1996). Par contre, les vents peuvent causer des courants de vitesse supérieure à 0,15 m/s et sont le facteur déterminant du temps de renouvellement des eaux des lagunes (Koutitonsky et Tita, 2006). Ce dernier a été estimé dans la LGE à environ 12 jours en été et >40 jours en hiver lorsque la couverture glacière empêche le transfert d'énergie des vents à l'eau de la lagune (Koutitonsky et Tita, 2006).

2.2.6 Substrat et nature des fonds

D'après la description des fonds du plateau madelinien réalisée par Loring et Nota (1973) et Provencher *et al.*, (1997), le substrat autour des Îles-de-la-Madeleine, jusqu'à l'isobathe des 50 m, est principalement recouvert de sédiment sablonneux d'épaisseur variable entrecoupé de substrats rocheux (Figure 5). En général, les fonds près de la côte est sont dominés par le sable très fin à moyen tandis que les côtes ouest et sud sont dominées par le sable moyen à graveleux. Cette différence reflète l'hydrodynamisme plus

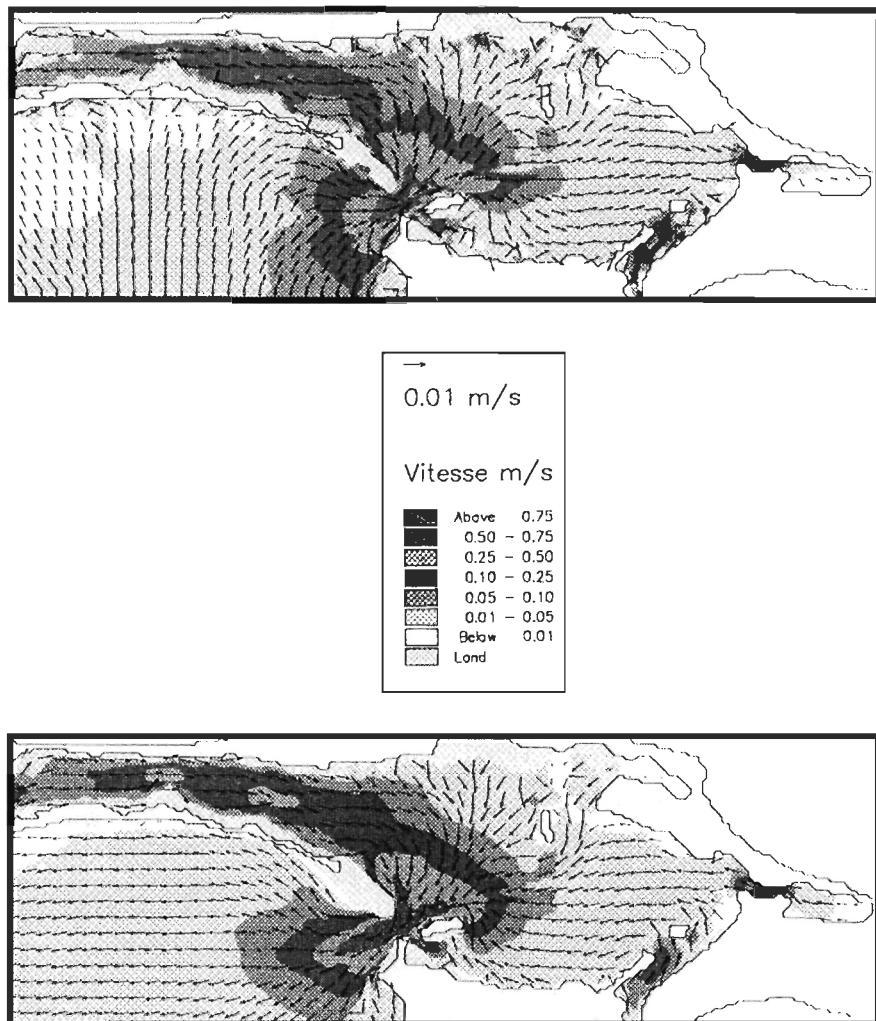


Figure 4a : Courants de marée au flot et aux jusants dans la lagune de Grande-Entrée (tirée de Koutitonsky, V. et D. Booth, 1996).

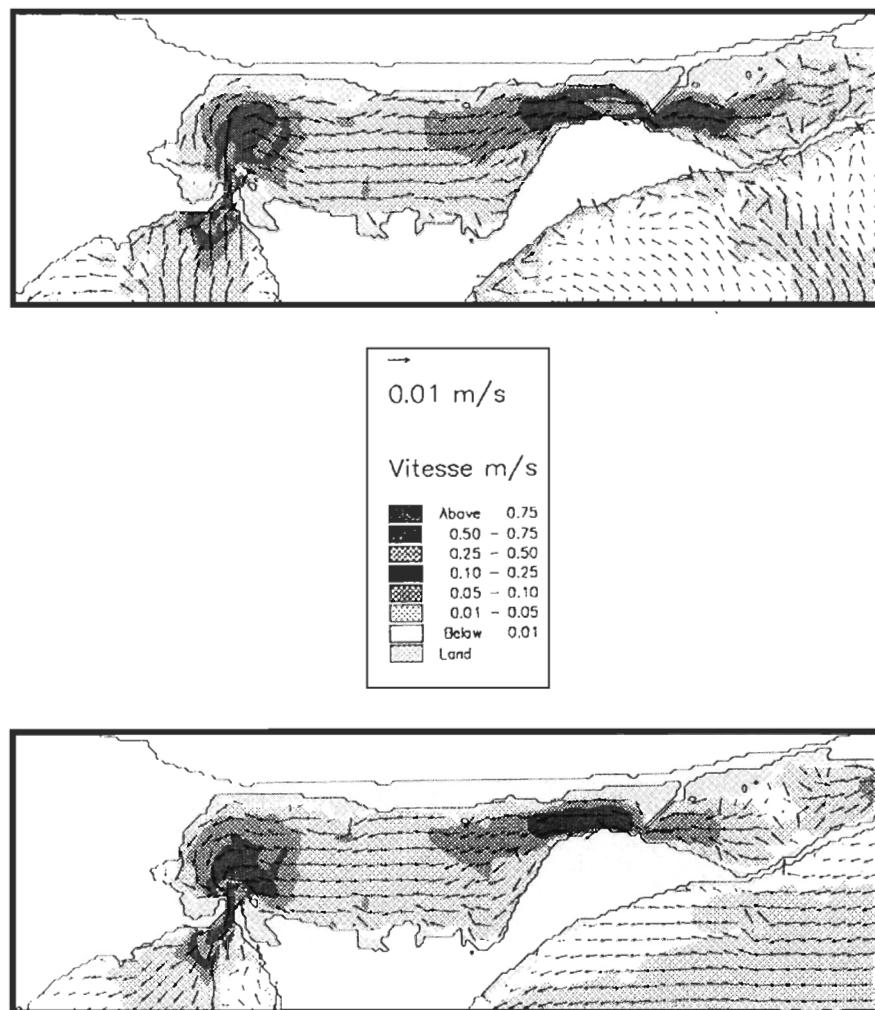


Figure 4b: Courants de marée au flot et au jusant du Havre-aux-Maisons (tirée de Koutitonsky, V. et D. Booth. 1996).

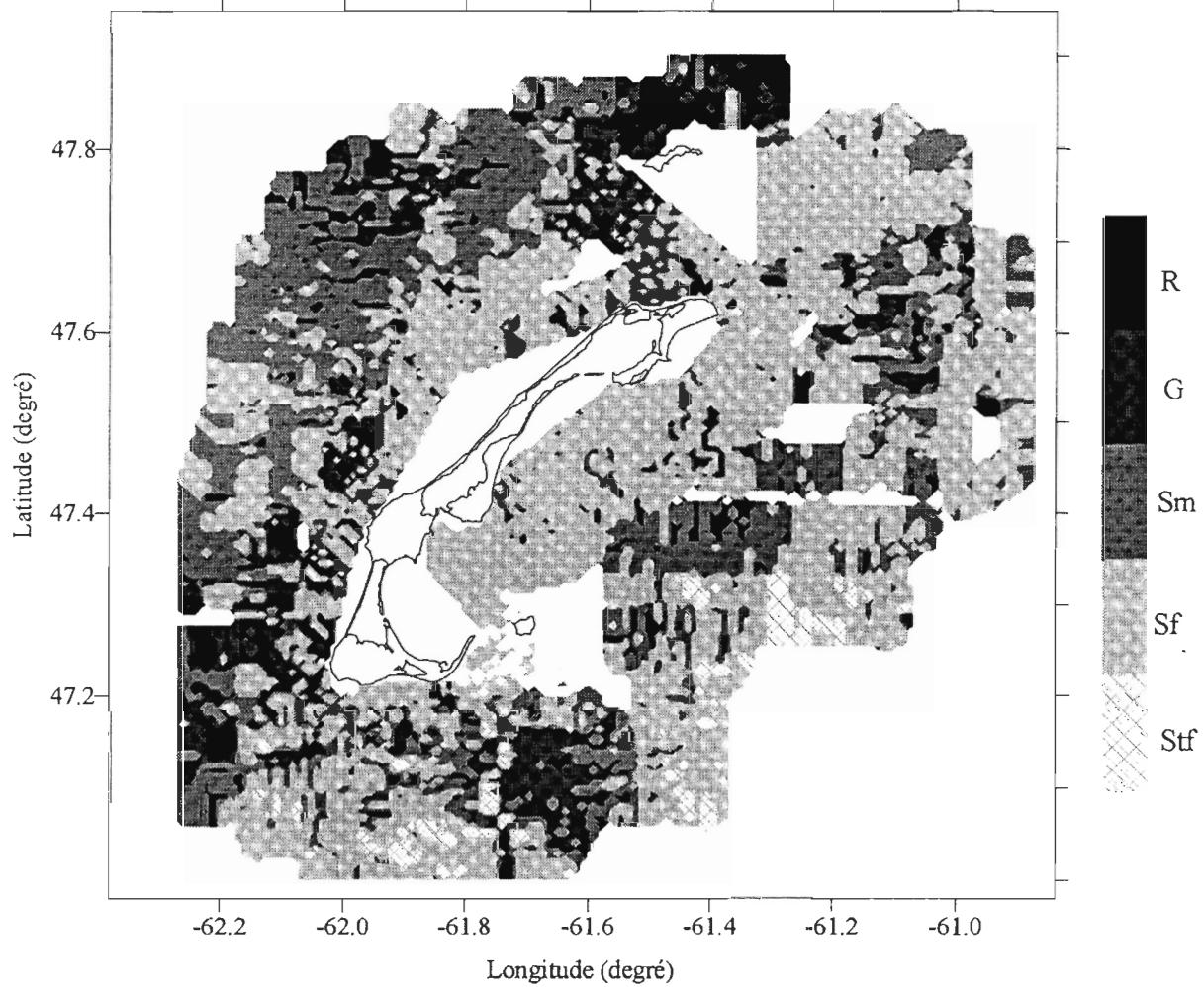


Figure 5 : Distribution du sable très fin (Stf), du sable fin (Sf), du sable moyen (Sm), du gravier (G) et de la roche (R) sur le plateau madelinien, selon les relevés hydroacoustiques menés en 1991 et 1992, interprétés selon l'échelle de calibration empirique (tiré de Provencher *et al*, 1997).

important sur la côte ouest de l'archipel. On retrouve aussi la présence de fonds rocheux à plusieurs endroits.

Concernant les lagunes, les fonds sont principalement recouverts de sable vaseux. Les secteurs les moins profonds sont caractérisés par des sables moyens alors que les secteurs les plus profonds sont caractérisés par des sables vaseux fins. Dans les zones les plus abritées, il est aussi possible de trouver des substrats de vase sableuse.

2.2.7 Bathymétrie

La figure 2 illustre de façon générale la bathymétrie en milieu ouvert hors des lagunes. Les Îles-de- la-Madeleine reposant sur un haut fond de moins de 50 m.

Concernant les deux principaux plans d'eau intérieurs, à savoir la lagune de Grande-Entrée et la lagune du Havres-aux-Maisons, les profondeurs y sont relativement faibles. La profondeur moyenne de la lagune de Grande-Entrée est de 3 m à marée basse (Mayzaud *et al.*, 1992). Il est cependant possible d'identifier deux secteurs distincts. Le chenal de navigation divise la lagune en un bassin profond (4 à 7 m) à l'est et une région de haut fond (là 3 m) à l'ouest, s'étendant jusqu'à la jonction avec la lagune du Havres-aux-Maisons. Pour ce qui est de la lagune de Havre-aux-Maisons, les relevés bathymétriques ont été réalisés parallèlement à cette étude. La majorité de la lagune a une profondeur comprise entre 1 et 3 m. Cependant, au centre de la lagune se trouve une zone plus profonde allant de 4 à 6 m (Tita *et al.*, non publié).

2.3 Qualité de l'environnement

2.3.1 Principales sources de contaminations

Les zones côtières, sous l'influence des apports terrigènes, sont inévitablement soumises à différents types de pollution. Il est possible de distinguer deux types de pollution : la pollution ponctuelle et la pollution diffuse. La pollution ponctuelle est celle qui provient d'un point unique et identifiable. Aux Îles-de-la-Madeleine, il s'agit principalement des contaminations bactériennes (coliformes fécaux) issues des déchets d'origine humaine et animale (ex : rejet d'épuration domestique et industriel, colonies d'oiseaux). Si les rejets de contaminant cessent ou si l'on s'éloigne de la source, la qualité du milieu s'améliore rapidement. La pollution diffuse est de nos jours la pollution la plus répandue. Elle contamine l'atmosphère, les sédiments, le réseau hydrologique sur une longue période. Ces contaminants persistant dans l'environnement et se déplaçant sur de longue distance sont généralement d'origine chimique. Ce genre de pollution est difficilement identifiable et contrôlable tant il est lié à de multiples sources réparties sur l'ensemble du territoire (Bonn, 2003). Les eaux de ruissellement agricole constituent une source importante de pollution diffuse en milieu côtier (épandage de pesticides).

Aux Îles-de-la-Madeleine, les quelques sources de contamination d'origine anthropique existantes sont : les rejets d'épuration, l'aéroport, les activités portuaires, les activités de dragages, l'agriculture et les sites d'immersion en mer.

Les rejets d'épuration domestique constituent la principale source de contamination aux Îles-de-la-Madeleine. A ce jour, 5 cantons sur 8 sont équipés d'un

système d'épuration des eaux usées ralliant 38 % de la population totale au réseau d'égout. Le reste de la population fonctionne avec des puisards qui peuvent constituer des sources potentielles de pollution. Concernant les rejets d'épuration industrielle, la seule industrie visée par le programme provinciale de réduction des rejets industriels est la compagnie Mines Seleines Inc., mais aucun effluent n'est générée par cette exploitation.

L'aéroport des Îles-de-la-Madeleine est le seul lieu de stockage de produits toxiques. Il constitue une source potentielle de contamination aux solvants toxiques ainsi qu'aux hydrocarbures.

Le trafic maritime et les multiples activités portuaires sont une autre source potentielle de pollution : pollution accidentelle (fuite d'huile, déversement pétrolier), rejet d'eau de ballaste, peinture anti-salissure. Le principal port de transbordement aux îles est situé à Cap-aux-Meules. Les autres ports et marinas sont essentiellement de petits havres de pêche.

Les activités de dragages d'entretien des ports et des chenaux de navigation peuvent engendrer la remise en suspension de substances toxiques piégées dans les sédiments des sites d'origines et sont ainsi une source potentielle de contamination aux métaux lourds. Cependant, des mesures d'atténuation de ce type d'impact sont toujours mises en place lors des opérations de dragages.

L'agriculture aux îles-de-la-Madeleine se réduit à quelques entreprises pratiquant des activités agricoles traditionnelles (foin, céréales), la production animale étant peu développée. En 1999, 29 exploitants agricoles étaient enregistrés au bureau du MAPAQ. Les causes de pollution agricole se résument généralement à la percolation de pesticides

et/ou fertilisants vers les bassins d'eau souterrains ou de surface. Dans le cas des Îles-de-la-Madeleine, les possibles impacts des activités agricoles sur les habitats lagunaires n'ont jamais été étudiés dans le passé.

Les sites d'immersion en mer des déchets générés par les usines de transformations de poissons peuvent constituer une source de contamination animale. Cependant, l'immersion en mer de déchets est soumise à la loi canadienne de protection de l'environnement (LCPE) et nécessite l'obtention de permis. Il s'agit donc d'une source de contamination contrôlée, identifiable et quantifiable.

2.3.2 Salubrité des eaux coquillières

La qualité de l'eau d'un site marin est considérée comme non affectée si elle procure : (1) une garantie de salubrité pour la santé publique autorisant la récolte et la consommation de produits de la mer, (2) une capacité de conserver durablement les espèces marines qui s'y trouvent et d'assurer leur pérennité (Environnement Canada, 2004).

Le programme canadien de salubrité des eaux coquillères, inclus dans le programme canadien de contrôle de la salubrité des mollusques, a pour principal objectif d'évaluer le degré de contamination bactérienne des zones coquillières où sont cueillis et élevées des mollusques, ainsi que d'identifier les sources de contamination. Aux Îles-de-la-Madeleine, sur les 44 secteurs classés par le programme de salubrité des eaux coquillères (PSEC), 22 ont été fermés en 2005 car ils présentaient des concentrations de coliformes fécaux trop élevées. Deux secteurs ont été classés partiellement approuvé, c'est-à-dire ouverts à la cueillette sauf durant la période s'étendant du 1^{er} juin au 1^{er} septembre. Concernant les

parcs conchyliques en exercice, tous ont répondu aux normes imposées et sont situés dans des eaux jugées de bonne qualité.

L'information concernant la qualité des eaux côtières entourant l'archipel est quasi inexisteante. Cependant, en considérant la presque absence d'activités industrielles polluantes on peut présumer que la qualité des eaux côtières entourant l'archipel est bonne.

2.3 La faune marine

Le tableau 2 présente les principales espèces d'invertébrés de la faune benthique des Îles-de-la-Madeleine. Il ne s'agit là que d'une infime partie des nombreux invertébrés marins des Îles-de-la-Madeleine. Parmi les espèces ayant une valeur commerciale, on compte le homard d'Amérique (*Homarus americanus*), le crabe des neiges (*Chionocetes opilio*), le pétoncle géant (*Placopecten magellanicus*), la moule bleue (*Mytilus edulis*), la mactre de Stimpson (*Mactromeris polynyma*), le couteau de l'Atlantique (*Ensis directus*), la mye commune (*Mya arenaria*) et le buccin commun (*Buccinum undatum*) qui sont pêchés dans les secteurs de pêches des Îles-de-la-Madeleine.

Tableau 2 : Principales espèces d'invertébrés de la faune benthique des Îles-de-la-Madeleine

Principaux invertébrés marins des Îles-de-la-Madeleine	
Mollusques bivalves	Mollusques gastéropodes
Couteau de mer (<i>Ensis directus</i>)	Buccin commun (<i>Buccinum undatum</i>)
Mactre de l'Atlantique (<i>Spsula solidissima</i>)	Crepidule (<i>Crepidula fournicata</i>)
Mactre de stimpson (<i>Mactromeris polynyma</i>)	Littorine (<i>Littorina littorea</i>)
Moule bleue (<i>Mytilus edulis</i>)	Lunatие d'Atlantique (<i>Lunatia heros</i>)
Mye commune (<i>Mya arenaria</i>)	Patelle (<i>Acmea testudinalis</i>)
Pétoncle d'Islande (<i>Chlamys islandica</i>)	
Huître américaine (<i>Crassostrea virginica</i>)	
Pétoncle géant (<i>Placopecten magellanicus</i>)	
Échinodermes	Crustacés
Concombre de mer (<i>Cucumaria frondosa</i>)	Balane (<i>Balanus sp.</i>)
Étoile de mer (<i>Asterias vulgaris</i>)	Crabe commun (<i>Cancer irroratus</i>)
Étoile de mer (<i>Henricia sanguinolenta</i>)	Crabe des neiges (<i>Chionoectes opilio</i>)
Étoile de mer (<i>Leptasterias polaris</i>)	Homard d'Amérique (<i>Homarus americanus</i>)
Ophiure paquerette (<i>Ophiotholus aculeata</i>)	
Oursin vert (<i>Strongylocentrotus droebachiensis</i>)	

2.4 La flore marine

L'inventaire des algues marines benthiques des Îles-de-la-Madeleine réalisé par De Sève *et al.*, (1979) comprenait 101 espèces réparties comme suit : 19 chlorophyceae (algues vertes), 37 phaeophyceae (algues brunes) et 45 rhodophyceae (algues rouges). Le nombre d'espèce total sur les rivages et les fonds marins infralittoraux à l'extérieur des lagunes était de 80. Concernant les lagunes, 50 espèces avaient été inventoriées dans la LGE et la LHAM contre seulement 7 dans la lagune du Havre-aux-Basques. Ceci peut s'expliquer en partie par la faible salinité et par le manque d'échange avec la mer des eaux de la lagune du Havre-aux-Basques (De Sève *et al.*, 1978). Les espèces d'algues les plus abondantes dans la LGE et la LHAM sont deux espèces d'intérêt économique : *Chondrus crispus* et *Ahnfeltia plicata*. Cependant, la plante la plus abondante dans l'ensemble des lagunes est la zostére marine, *Zostera marina* (De Sève *et al.*, 1978). Il s'agit d'une des rares plantes à fleur (Angiosperme) qui tolère une immersion continue dans l'eau salée. Sur l'ensemble des espèces d'algues identifiées aux Îles-de-la-Madeleine, 18 sont présentes uniquement dans les lagunes et 45 uniquement à l'extérieur. La flore des lagunes est donc relativement différente de celle de la mer (De Sève *et al.*, 1979).

De plus, Cardinal (1990) mentionne la présence aux Îles-de-la-Madeleine de quelques espèces qui ne figure pas dans l'inventaire de De Sève et al., (1979). Il s'agit de *Alaria esculenta* et de trois espèces de Porphyra: *P.linearis*, *P.leucosticta* et *P.umbilicalis*. Ces algues ont été répertoriées par des chercheurs, sans que cela ait fait l'objet de publications.

CHAPITRE III

3. APPROCHE METHODOLOGIQUE

3.1 Introduction

Des efforts considérables sont déployés pour améliorer les techniques d'élevage et la commercialisation d'une multitude d'espèces aquatiques parmi les algues, les invertébrés et les poissons (Rosenthal *et al.*, 1995). Par opposition, beaucoup moins d'efforts sont mis en œuvre pour perfectionner les processus d'identification et de sélection des sites aquacoles destinés à l'élevage d'organismes en milieu aquatique non contrôlé (Kapetsky *et al.*, 1987; Meaden et Kapetsky, 1991; Ross *et al.*, 1993; Kapetsky et Nath, 1997; Aguilar-Manjarrez et Nath, 1998). Pourtant, assurer un développement durable de l'aquaculture en milieu côtier nécessite de prendre en compte ces facteurs clés qui peuvent influencer la viabilité écologique et économique des projets aquacoles (Kapetsky *et al.*, 1987). Un des moyens pour entreprendre l'évaluation de sites aquacoles est d'avoir recourt à des supports d'information de type cartographique combinés à des méthodes analytiques (Kapetsky *et al.*, 1987). Kapetsky est d'ailleurs le premier à avoir utilisé les systèmes d'information géographique (SIG) en aquaculture. Les SIG sont des logiciels spécialement conçus pour traiter des données référencées par des coordonnées géographiques, alors que les méthodes analytiques, comme les analyses multicritères, constituent une démarche complémentaire pour traiter de manière organisée un ensemble d'informations pertinentes à l'évaluation spatiale. Bien que les SIG soient de plus en plus utilisés pour la gestion des ressources naturelles, leur utilisation en aquaculture a été relativement limité et n'est pas encore

employé comme support de décision et/ou de gestion (Nath *et al.*, 2000). Malgré tout, les applications des SIG en aquacultures sont diverses tant au niveau des organismes visés (e.g., *poissons* : Grita, 1998; Alarcon et Villanueva, 2001; Perez, 2003; *mollusques* : Arnold et Norris, 1998; Arnold *et al.*, 2000; Scott *et al.*, 1998; *crustacés* : Salam *et al.*, 2000; *récif corallien* : Tseng *et al.*, 2001) qu'au niveau de la taille des secteurs étudiés, pouvant aller de l'échelle locale (e.g., *petite baie* : Ross *et al.*, 1993; *grande baie* : Scott et Ross, 1999), à l'échelle régionale (Aguilar-Manjarrez et Ross, 1995), nationale (Salam et Ross, 2000) et même continentale (Aguilar-Manjarrez et Nath, 1998).

L'approche de cette étude est similaire en plusieurs points à ces études qui s'intéressent à l'analyse du potentiel aquacole, mais a cependant comme originalité la participation et l'intégration du point de vue des mariculteurs combiné à celui des scientifiques dans le but d'intégrer à l'évaluation les différentes expertises.

L'objectif de l'étude était de rassembler l'ensemble de l'information pouvant être utilisée pour guider l'évaluation du potentiel d'expansion de l'élevage en suspension de bivalves (moules et pétoncles) et de l'ensemencement de pétoncles en milieu ouvert. Plus précisément, l'étude visait à (1) identifier et cartographier l'ensemble des contraintes spatiales pouvant limiter le développement futur de la mariculture afin de localiser les secteurs disponibles et (2) évaluer qualitativement le potentiel maricole de ces secteurs. L'étude a prévu l'utilisation d'un SIG combiné à une analyse hiérarchique multicritères.

3.2 Evaluation du potentiel maricole

Pour les deux types d'activités visées, soit l'élevage de bivalves en suspension (moules et pétoncles) et l'ensemencement de pétoncles en milieu ouvert, l'évaluation du potentiel maricole a été réalisée suivant une démarche en cinq phases :

1. Identification et cartographie des zones d'exclusion (contraintes)
2. Sélection des critères d'évaluation
3. Pondération des critères d'évaluation
4. Standardisation des critères d'évaluation
5. Évaluation qualitative et cartographie des sites

Deux types de variables étaient donc à considérer lors de l'évaluation (Eastman, 1993):

- **Contrainte** : facteur qui exclut la considération de certaines zones
- **Critère** : facteur qui accroît ou amoindrit l'aptitude d'un site

Le logiciel Arcview a été utilisé comme système informatique géographique alors que l'analyse hiérarchique multicritère développée par Saaty (1977) a été utilisée pour l'évaluation qualitative des secteurs étudiés.

3.2.1 Critères d'exclusion

Afin de mettre en évidence les aires géographiques non disponibles au développement de la mariculture, l'ensemble des contraintes spatiales a été identifié. Ces contraintes, limitant l'élargissement des surfaces maricoles, pouvaient être de plusieurs types : (1) contraintes physiques (ex: bathymétrie, glace), (2) restrictions légales (ex : loi

sur la protection des voies de navigation), (3) conflits d'usages (ex: activités de pêche).

Sept types de contraintes spatiales ont été identifiés :

- **La navigation.** La loi sur la protection des eaux navigables vise principalement à éviter que des activités de tout genre ne constituent un obstacle à la navigation. C'est pourquoi, dans notre étude, les principaux voies et chenaux de navigation ont été identifiés et exclus de la zone d'étude. Il s'agit essentiellement des routes des traversiers de la compagnie CTMA et du chenal de la Grande-Entrée utilisé par les cargos transporteurs de sel. La route des traversiers de la CTMA part du port de Cap-aux-Meules, traverse la Baie de Plaisance et contourne l'Îles d'Entrée avant de prendre soit la direction de l'Île du Prince-Édouard soit la direction de la péninsule gaspésienne. Quant au chenal de la Grande-Entrée, il traverse la lagune de Grande-Entrée du nord-est de la Dune du Nord (quai de la mine) jusque dans le golfe, en passant par la Passe de la Grande-Entrée. Pour les activités comme la pêche ou la navigation de plaisance, il était beaucoup plus difficile d'identifier des voies de navigation clairement définies. Ces dernières peuvent couvrir, jusqu'à un certain point, l'ensemble des zones côtières (Scarrat, 1993). Cependant, afin de considérer une partie du trafic maritime reliée à ces types de navigation, un périmètre d'un kilomètre de rayon autour de chaque port et marina a été inclus dans les zones d'exclusion.

- **La pêche.** Aux Îles-de-la-Madeleine, la pêche constitue la principale activité économique. Elle est pratiquée dans les eaux côtières comme dans les lagunes. Or, la mariculture, par sa nature, se développe dans les mêmes types d'habitat que la pêche (Stephenson, 1990) et est donc susceptible de rentrer en conflit pour l'espace avec les activités de pêche. Cependant, exclure de notre étude l'ensemble des zones de pêches des

Îles-de-la-Madeleine reviendrait à exclure l'ensemble des eaux côtières et lagunaires. C'est pourquoi seules les activités pouvant rentrer directement en compétition avec la mariculture ont été prises en considération. Il s'agit de la pêche au homard et la pêche au hareng atlantique. Ainsi, les zones où l'effort de pêche au homard se concentre, les zones de fraie du hareng atlantique et les zones de positionnement des trappes à hareng ont été incluses dans les zones d'exclusions.

- Les activités récréo-touristiques. Les pratiques de la voile, du kayak, du canotage et de la baignade ne sont que saisonnières aux Îles-de-la-Madeleine. Cependant, l'industrie touristique constitue la deuxième activité économique d'importance après la pêche. Les principaux secteurs utilisés par ces activités se situent dans les lagunes et la Baie de Plaisance et ont donc été exclus de notre étude. Par ailleurs, dans le cas de la Baie de Plaisance, les activités récréo-touristiques se réalisent généralement dans une zone comprise entre la ligne de plage et l'isobathe de 15 m. Cette localisation ne serait donc pas en conflit avec un éventuel développement maricole dans la Baie de Plaisance qui se produirait dans des secteurs plus au large (cf. contraintes bathymétriques).

- Les sites d'immersion en mer. Au Canada, l'immersion en mer de déblais de dragage ou de résidus de poisson est une activité réglementée en vertu de la loi canadienne sur la protection de l'environnement (environnement Canada, LCPE, 1999). Les différents sites d'immersion des Îles-de-la-Madeleine ont été identifiés et exclus. Par précaution, un périmètre de 1 km de rayon autour de chaque site a été inclus dans ces zones d'exclusion.

- Le câble sous-marin. Un câble de fibre optique traverse le Golfe du Saint-Laurent, reliant la Gaspésie et les Îles-de-la-Madeleine. Les sites d'atterrissement du câble sont

situés près du brise-lames du port de l'Anse-à-Beaufils, en Gaspésie, et à l'Anse-à-Bourgot, aux Îles-de-la-Madeleine. Bien que ce câble ne constitue pas un obstacle apparent dans la mesure où il est enfoui dans le substrat à un mètre de profondeur, les zones situées à moins d'1 km du trajet de celui-ci ont été incluses dans les zones d'exclusion.

- La pollution. La pollution aquatique provenant des rejets domestiques, industriels et agricoles pourrait avoir des effets négatifs sur la mariculture. Un périmètre de 1 km de rayon autour de tous les secteurs connus, où ce type de rejet d'eaux usées a lieu, a été inclus aux zones d'exclusion. Les ports et marinas constituent aussi des sources de pollution potentielle susceptible d'affecter la mariculture. Ces derniers ont cependant déjà été classés zones d'exclusion en tant que secteur de trafic maritime. Enfin, la pollution microbiologique causée par les colonies d'oiseaux (cormorans et goélands) et de phoques a été prise en compte. Les surfaces à l'intérieur d'un périmètre de 1 km de rayon autour des principales colonies ont été incluses dans les zones d'exclusion.

- Les glaces. L'importante accumulation de glace sur la côte ouest des Îles-de-la-Madeleine représente une contrainte environnementale empêchant toute installation de structures d'élevage en suspension. En effet, ces dernières seraient systématiquement détruites par les glaces dérivantes durant l'hiver. La côte ouest de l'archipel a donc été jugée impraticable pour l'élevage en suspension et inclue aux zones d'exclusion du nord jusqu'au sud. Par contre, ce type de contrainte ne s'applique pas à l'ensemencement de pétoncles qui implique l'habitat benthique.

- La bathymétrie. La profondeur de l'eau est à considérer lors de l'installation de tout type d'élevage en suspension. En milieu lagunaire, la profondeur minimum requise est

de 4 m pour de telles installations. Cette profondeur a été établie par les mariculteurs comme étant la profondeur minimale pour permettre les opérations aquacoles. Les secteurs lagunaires ayant moins de 4 m de fond ont donc été exclus de l'étude. En milieu ouvert, toutes les zones d'une bathymétrie inférieure à 15 m ont été exclues de la zone d'étude. En effet, une couche d'eau de surface de 5-6 m doit être prévue afin d'éviter les dommages pouvant être causés par les glaces dérivantes aux filières conchyliques. Il faut ensuite ajouter la couche d'eau occupée par les structures en suspension (environ 8 m). L'isobathe de 50 m a été jugée comme étant la limite technique pour installer des structures conchyliques en suspension (Communication personnel, François Bourque, MAPAQ). De plus, dans le cas des Îles-de-la-Madeleine, l'isobathe de 50 m se trouve à une distance de la ligne de côte (>30 km) qui ferait augmenter excessivement les coûts opérationnels. La bathymétrie est aussi à considérer lors de l'ensemencement de pétoncle en milieu ouvert. A moins de 10 m de profondeur, le taux de survie des pétoncles ensemencés est pratiquement nul en raison du fort brassage houleux dû au vent (voir annexe 3). La zone évaluée pour ce type d'activité étaient donc comprise entre l'isobathe de 10 m et l'isobathe de 50 m, qui représente la limite du haut fond des Îles-de-la-Madeleine (figure2).

Tableau 3: Liste des contraintes

Zones d'exclusion			
Type de contraintes	Période	Localisation	Source
Pêche :			
Trappe à hareng	Printemps	Côte S-E de la Lagune de Grande-Entrée	Pêches et Océans Canada, 2004
Zone de fraie du hareng atlantique	Printemps	Lagune de Grande-Entrée	Information recueillie auprès de pêcheurs, 2001
Zone de distribution du homard d'Amérique	Printemps, été	Pourtour des îles-de-la-Madeleine. Principalement les substrats rocheux	SIGHAP, 1995
Zone de concentration de l'effort de pêche aux homards (casiers)	Printemps, été	Pourtour des îles-de-la-Madeleine. Principalement les substrats rocheux	SIGHAP, 1995
Activités récréo-touristiques :			
Kayak / Canotage	Printemps, été, automne	Plans d'eau intérieurs et Baie de Plaisance	Comité ZIP des îles-de-la-Madeleine, 2002
Voile			
Baignade			
Navigation :			
Voies de navigation des traversiers	Printemps, été, automne	Baie de plaisance, Sud Sud-ouest des îles	Groupe CTMA, 2004
Chenal de la Grande-Entrée	Printemps, été, automne	Lagune de Grande-Entrée	Carte marine du SHC
Pollution :			
Rejets d'eaux usées domestiques	À l'année	À proximité des secteurs coquilliers fermés ou ouverts sous conditions	Comité ZIP des îles-de-la-Madeleine, 2001
Port de pêche et marinas	À l'année	Ensemble du territoire des îles de la Madeleine (cf cartes)	Ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources du Canada
Colonies d'oiseaux marins		Côte des îles et plans d'eau intérieurs	Service Canadien de la Faune, 2000 et Société de la Faune et des Parcs du Québec, 1994
Colonies de phoques gris et commun	Hiver	Lagune de Grande-Entrée et Havre-aux-Maisons, Côte des îles	SIGHAP, 1995
Site d'immersion en mer	À l'année	Plans d'eau intérieurs et milieu ouvert	Environnement Canada, 2005
Câble à fibre optique sous marin	À l'année	Anse-à-Bourgot (EDN) en direction nord-ouest (Gaspésie)	Réseau intégré de communications électroniques des îles-de-la-Madeleine (RICEIM), 2005
Site aquacole et de recherche	À l'année	Plans d'eau intérieurs et Baie de Plaisance	MAPAQ, 2004
Bathymétrie :			
<i>Elevage en suspension</i>			
Zones de moins de 4m de profondeur		Lagune de Grande-Entrée et Havres-aux-Maisons	Comité ZIP des îles-de-la-Madeleine, 2004, Pêches et Océans Canada, 2004
Zones de moins de 15 m de profondeur et de plus de 50 m de profondeur		Milieu ouvert (pourtour des îles de la Madeleine)	Carte marine du Service hydrographique du Canada, Pêches et Océans Canada, 2004
<i>Ensemencement</i>			
Zone de moins de 10 m de profondeur et de plus de 50 m de profondeur		Milieu ouvert (pourtour des îles de la Madeleine)	
Glace	Hiver	Côte ouest des îles de la Madeleine	Communication personnelle (Gaudet, 2005)

3.2.2 Cartographie des zones d'exclusion

Les données spatiales des différentes contraintes ont ensuite été numérisées et cartographiées selon un format booléen* ayant les valeurs alternatives suivantes:

0 = zones présentant des contraintes spatiales (zones d'exclusion)

1 = zones exemptes de contraintes spatiales

La cartographie de ces contraintes a ainsi permis d'identifier et de visualiser les secteurs concernés par l'évaluation du potentiel maricole.

3.2.3 L'analyse hiérarchique multicritère

3.2.3.1 Sélection des critères d'évaluation

La sélection des critères d'évaluation constituait la base de l'évaluation du potentiel maricole. Pour chacune des deux espèces et techniques maricoles étudiées, le choix des critères d'évaluation s'est basé sur une revue de littérature et sur la consultation d'experts (professionnels de l'industrie et chercheurs).

Les critères d'évaluation retenus étaient essentiellement des caractéristiques biophysiques et d'accessibilité (Tableau 4 et Annexes 2 et 3) permettant de déterminer la faisabilité de l'élevage d'une espèce sur un site particulier (Gharbi et Millot, 2000).

-
- Booléen : Qualifie une opération conforme aux règles de l'algèbre de Boole, dans laquelle les opérandes et le résultat prennent chacun l'une ou l'autre de deux valeurs distinctes.

Tableau 4 : Critères d'évaluation

Critères d'évaluation	Élevage en suspension de moules et de pétoncles	Ensemencement de pétoncles (milieu ouvert)
Température	√	√
Salinité	√	√
Courant	√	√
Disponibilité alimentaire	√	√
Type de substrat	√	√
Bathymétrie	√	
Accessibilité (distance)	√	
Accessibilité (mois/année)	√	

- Température de l'eau

La température de l'eau a une influence importante sur la physiologie des organismes marins, notamment en ce qui concerne la reproduction et le taux de croissance. Lors de l'évaluation du potentiel biophysique d'un secteur, il est donc primordial de s'assurer que les sites retenus présentent l'optimum de température de l'espèce que l'on souhaite cultiver afin d'optimiser le taux de croissance et le cycle de production des organismes cultivés. De plus, l'optimum de température peut varier entre les différents stades du cycle de vie des bivalves (larves pélagiques, juvéniles et adultes sexuellement matures) (Bayne *et al.*, 1976 ; Mallet, 1989). Dans cette étude, l'objectif étant d'identifier des secteurs propices au grossissement d'individus juvéniles jusqu'à la taille commerciale, seuls les optima de température aux stades juvénile et adulte ont été appliqués pour chacune des deux espèces.

- La salinité de l'eau

En milieu côtier marin, la salinité varie localement principalement en fonction des phénomènes d'évaporation, de précipitations et d'apports fluviaux. D'un point de vue physiologique, la salinité conditionne l'osmorégulation des espèces aquatiques. Pour limiter

les dépenses énergétiques liées au maintien de l'équilibre osmotique, il est donc important de choisir des sites dont la salinité se maintient dans l'intervalle optimal pour l'espèce cultivée durant toute l'année.

- La disponibilité alimentaire

Les mollusques filtreurs, dont font partie les moules et les pétoncles, se nourrissent de la matière particulaire en suspension. Leur principale source de nourriture est constituée par le phytoplancton bien que d'autres sources de matière organique, tel que le détritus organiques, les bactéries et le microzooplancton, peuvent faire partie de leur régime alimentaire (Bordon, 1928 ; Stevenson, 1936; Cabanas *et al.*, 1979 ; Rodhouse *et al.*, 1985; Newell et Hidu, 1986 ; Shumway *et al.*, 1987 ; Grant et Cranford, 1991). La disponibilité alimentaire inclut ici seulement la quantité de nourriture et non la capacité de régénération du milieu (e.g. la production primaire).

- Le courant

L'intensité du courant joue un rôle important dans les opérations en mer et dans la résistance offerte par les structures mouillées. Les forts courants engendrés par les vents ou les marées peuvent endommager les structures d'élevage en suspension (Laing et Spencer, 1997 ; Laing, 2002). De plus, les courants trop élevés peuvent engendrer des réponses physiologiques ayant des conséquences négatives sur la croissance des mollusques suspensivores. Les courants trop forts ont des effets inhibiteurs sur l'alimentation des bivalves (Bricelj et Shumway, 1991; Wildish et Saulnier, 1992; Wildish et Saulnier, 1993; Newell et Wildish, 2001).

- La bathymétrie

Dans le cas des élevages en suspension en milieu ouvert, la bathymétrie est à la fois une contrainte d'exclusion et un critère d'évaluation. En effet, pour des raisons technico-économiques les sites les moins profonds, dans la zone comprise entre 15 et 50 m en milieu ouvert (cf contrainte bathymétrique) sont d'avantage recherchés pour installer des structures en suspensions. Dans les lagunes, la bathymétrie ne constitue pas un critère pondérable. Elle n'a pas été prise en compte pour évaluer les sites. En effet, hors des zones exclus par ce critère (< 4m), la bathymétrie est idéale pour l'installation de filière en suspension (< 10m).

- Le type de substrat

Dans le cas des élevages en suspension, la qualité de l'ancrage des structures d'élevage dépend de la nature des fonds. Les fonds meubles (e.g. vaseux et/ou sablonneux) sont recherchés pour l'installation des structures en suspension, d'une part parce qu'ils sont favorables aux ancrages et d'autre part parce qu'ils sont généralement peu exploités par les activités de pêche aux Îles-de-la-Madeleine. Dans le cas des ensemencements de pétoncles, les caractéristiques du fonds ont une influence sur plusieurs processus biologiques importants tels que la croissance et la mortalité (Giguère *et al.*, 2004). Le substrat est donc déterminant pour assurer le succès des ensemencements. Chez le pétoncle géant, un substrat défavorable peut aussi entraîner la dispersion des individus (Bourgeois, 2004). Les juvéniles cherchent en effet la plupart du temps à se fixer (Caddy, 1972; Hatcher *et al.*, 1996). Si le substrat ne leur convient pas, les juvéniles vont adopter un comportement de

nage et se disperser vers des sites favorables à leur fixation. Ceci peut être une cause de perte des organismes ensemencés.

- L'accessibilité (distance du port d'attache)

Afin de minimiser les coûts opérationnels liés aux déplacements en bateau, l'accès au site doit être le plus rapide possible. La distance entre le site maricole et le port d'attache est donc un facteur important.

- L'accessibilité (période de couverture glaciée)

La période d'accessibilité inclut la présence des glaces dérivantes et des glaces fixes. Les premières dérivent au grès des vents, des courants et des marées. Dans certains secteurs des Îles-de-la-Madeleine (e.g. secteur nord-ouest), elles limitent toute activité sécuritaire durant l'hiver. Les glaces fixes se retrouvent dans les lagunes et demeurent en place pour une partie de l'hiver. Elles offrent donc temporairement un couvert de glace stable où des activités de récolte peuvent être réalisées durant la période hivernale.

3.2.3.2 Pondération des critères d'évaluation

La méthode d'analyse hiérarchique multicritère (analytic hierarchy process) utilisée dans cette étude a été développée par le mathématicien Thomas Saaty (1977). Le but de cette analyse multicritère est d'aider le décideur à affiner son processus de décision en examinant la cohérence et la logique de ces préférences. Elle permet en fait de quantifier et hiérarchiser les critères d'évaluation préalablement sélectionnés. Basé sur la comparaison par paires des critères, la méthode de Saaty (1977) consiste à attribuer à chaque critère un poids relatif reflétant son importance selon une approche en cinq étapes:

1) **Choix d'experts à interviewer.** Pour chaque type d'activité maricole, un ensemble d'experts (mariculteurs et chercheurs) a été sélectionnés afin de pondérer l'importance de chaque critère. Six répondants pour l'élevage de moules en suspension, quatre pour l'élevage de pétoncle en suspension et cinq pour l'ensemencement de pétoncles ont été consulté.

2) **Évaluation comparée** et codification des réponses de chaque paire de critères. Celle-ci peut se faire par l'intermédiaire de questions posées aux experts : « Quelle est l'importance du critère A par rapport au critère B ? » La codification des réponses est par la suite réalisée par des combinaisons binaires suivant l'échelle suivante :

Tableau 5 : Échelle numérique et verbale d'évaluation comparée des critères.

Échelle numérique	Échelle verbale
1	Importance égale des deux critères
3	Un critère est un peu plus important que l'autre
5	Un critère est plus important que l'autre
7	Un critère est beaucoup plus important que l'autre
9	Un critère est absolument plus important que l'autre
2, 4, 6, 8	Valeurs intermédiaires utilisées pour affiner le jugement

3) **Construction d'une matrice de pondération.** Si l'on a, par exemple, trois critères et que A apparaît comme plus important que B (valeur de l'échelle numérique = 5), que A est considéré absolument plus important que C (valeur de l'échelle numérique = 9) et B un peu plus important que C (valeur de l'échelle numérique = 3), et que l'on attribue à la paire inverse la valeur réciproque, la matrice de comparaison sera :

Tableau 6 : Matrice de comparaison (exemple)

	A	B	C
A	1	5	9
B	1/5	1	3
C	1/9	1/3	1

À noter que chaque critère comparé à lui-même obtient la valeur de 1, puisqu'il est égal à lui-même.

4) Calcul des pondérations pour chacun des critères. La méthode de Saaty (1977) utilise des calculs complexes reposant sur l'algèbre matricielle, mais une bonne approximation peut cependant être obtenue de la façon suivante (UQAM, 2004)

- On calcule la moyenne géométrique de chaque ligne de la matrice ;
- On somme les moyennes géométriques ;
- On divise la moyenne de chaque ligne par la moyenne totale obtenue.

Ainsi, à partir de la matrice du tableau 6, les pondérations obtenues seraient les suivantes :

Tableau 7 : Calcul des pondérations (exemple)

Critères	Moyenne géométrique	Poids
A	$(1 \times 5 \times 9)^{1/3} = 3,56$	$3,56 / 4,73 = 0,75$
B	$(1/5 \times 1 \times 3)^{1/3} = 0,84$	$0,84 / 4,73 = 0,17$
C	$(1/9 \times 1/3 \times 1)^{1/3} = 0,33$	$0,33 / 4,73 = 0,07$
Somme	4,7	1

5) **Contrôle de la cohérence des jugements.** Les réponses obtenues présentent souvent un certain degré d'incohérence. Si la méthode AHM n'exige pas que les jugements soient parfaitement cohérents ni transitifs, Saaty a tout de même défini un indice de cohérence (IC) qui permet de vérifier si les pondérations attribuées aux critères par les intervenants sont acceptables. Plus l'indice de cohérence est élevé, plus les jugements de l'intervenant sont incohérents et vice versa. Le IC est défini par la formule suivante :

$$\text{IC} = (\lambda - n) / (n-1)$$

où

λ = valeur de cohérence moyenne

n = nombre de critères

La valeur de cohérence (λ) est obtenue en multipliant les valeurs de chaque ligne de la matrice de pondération par le score respectif de chaque colonne et en divisant le total par le score de la ligne :

Tableau 8 : Calcul de la valeur de cohérence (λ)

	A	B	C	Poids	λ , valeur de cohérence
A	1	5	9	0.75	$\lambda A = (1*0.75+5*0.17+9*0.07)/0.75 = 3.02$
B	1/5	1	3	0.17	$\lambda B = (0.2*0.75+1*0.178+3*0.07)/0.17 = 3.02$
C	1/9	1/3	1	0.07	$\lambda C = (0.11*0.75+0.33*0.17+1*0.07)/0.07 = 3$

Si le décideur est parfaitement cohérent la valeur de cohérence doit être égale au nombre de critères comparés.

L'IC est ensuite comparé à des valeurs critiques obtenues par simulation. Saaty a défini un ratio de cohérence (RC) comme étant le rapport de l'indice de cohérence et de l'indice aléatoire (IA). Ce dernier dépend du nombre de critères utilisés :

Tableau 9 : Valeur des indices aléatoires (d'après Saaty, 1977)

Nombre de critères	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Le ratio de cohérence est donc donné par la formule suivante :

$$\mathbf{RC = IC / IA}$$

Ce ratio de cohérence peut être interprété comme la probabilité que la matrice soit complétée aléatoirement. La cohérence globale du jugement de l'intervenant est évaluée au moyen de ce ratio de cohérence RC. Toujours selon Saaty, la valeur de ce dernier doit être inférieure ou égale à 10 %. Dans le cas où cette valeur dépasse 10 %, les appréciations émises dans la matrice initiale doivent subir des révisions. Des changements doivent être apportés aux réponses données à l'étape 3) et les pondérations des critères doivent être recalculées à nouveau.

Reprenons l'exemple précédent pour illustrer ces dernières lignes :

$$\lambda_m = (3.6+3.02+3)/3 = 3.013, \text{ où } \lambda_m \text{ est la valeur de cohérence moyenne}$$

$$\text{donc : } IC = (3.013-3)/(3-1) = 0.0065$$

$$\text{et : } RC = 0.0065/0.58 = 0.011$$

Soit $RC = 1,1\%$, ce qui nous indique que la matrice de comparaisons n'est pas à réviser et que les jugements sont cohérents et les pondérations acceptables.

3.2.4 Standardisation des critères d'évaluation

Après avoir identifié les zones d'exclusion et avoir sélectionné et pondéré les critères d'évaluation pour les secteurs restants, la quatrième étape de la méthodologie consiste à attribuer un niveau d'aptitude à chaque secteur par rapport aux différents critères d'évaluation. Il s'agit de standardiser les valeurs de chaque critère selon une échelle d'appréciation permettant de normaliser les données brutes:

Tableau 10 : Échelle d'appréciation des facteurs d'évaluation

Score	Interprétation
1	Inapproprié
2	Moyennement approprié
3	Approprié
4	Très approprié

Cette échelle d'appréciation reflète l'échelle de convenance appliquée par le FAO en plus d'avoir été déjà utilisée avec succès en aquaculture (Kapetsky, 1994 ; Kapetsky et Nath, 1997 ; Aguilar-Manjarrez, 1996).

L'attribution des scores d'appréciation pour chaque critère d'évaluation à chacun des secteurs d'intérêt a été guidée par une interprétation des exigences écologiques de l'espèce conchylicole visée et des données scientifiques disponibles pour chaque critère. Conformément à l'échelle de standardisation, il s'avérait nécessaire, dans la mesure du possible, d'identifier des seuils au sein des critères, pour permettre d'attribuer un niveau d'appréciation (Tableau 11). A ce sujet, une revue de la littérature sur l'écologie de la moule bleue (*M. edulis*) et du pétoncle géant (*P. magellanicus*) a été réalisée (voir annexe 2 et 3).

Concernant les informations disponibles pour assister notre interprétation des caractéristiques biophysiques des différents secteurs, la figure 6 montre les secteurs pour lesquels nous disposons de données scientifiques pour la température, la salinité, la vitesse du courant et la disponibilité alimentaire (Chlorophylle a et seston). Dans les secteurs pour lesquels nous ne disposons pas de données publiées pour ces critères, les scores ont été attribués à partir des connaissances empiriques du milieu. Les données de substrat et de bathymétrie en milieu ouvert ont été tirées de Provencher *et al.*, (1997) ainsi que de cartes marines du service hydrographique utilisées via le logiciel Nobeltec. Les données de bathymétries des lagunes sont issues de travaux de recherche de Tita G. (non publié).

Tableau 11 : Tableau de correspondance des scores pour chaque critère

Critères	Scores			
	1	2	3	4
Température	< -1°C > 21°C	0°C à >20°C (légèrement sous 0°C)	0°C à 20°C	10 à 15°C
Salinité	≤ 17 ppt ≥ 37 ppt	17 à 22 ppt 35 à 37 ppt	22 à 26 ppt 32 à 35 ppt	26 à 32 ppt
Courant	< 0,5 cm/s > 15 cm/s	0,5 à 15 cm/s	1 à 12 cm/s	2 à 10 cm/s
Disponibilité alimentaire (µg Chl.a.l ⁻¹)	min ≤ 0,1 max ≤ 1	min 0,1 max 1-2	min 0,2 max 2-4	min 0,5 max 5
Bathymétrie hors lagunes	> 50 m < 15 m	30 à 50 m	20 à 30 m	15 à 20 m
Substrat (élevage en suspension)	Rocheux	Graveleux	Sableux	Vaseux / Argileux
Substrat (ensemencement de pétoncles)	Sable fin – Sable très fin	Sable graveleux – Sable moyen	Gravier – Gravier sableux	Substrat hétérogène (gravier, coquillage, roche, sable)
Accessibilité (distance)	> 30 km (> 90 min)	15 à 30 km (45 à 90 min)	5 à 15 km (15 à 45)	< 5 km (< 15 min)
Accessibilité (mois/an sans couverture glaciée)	≤ 6	7 à 9	9 à 11	≥ 11

3.2.5 Évaluation qualitative et cartographie des sites

Pour l'ensemble des secteurs évalués, chaque critère d'évaluation s'est vu attribuer un score compris entre 1 et 4 (étape 3 : standardisation des critères) ainsi qu'un poids relatif compris entre 0 et 1. Ce poids correspondant à la moyenne des poids obtenus par les entrevues aux différents experts ayant participé à l'étude. À partir d'un calcul simple englobant ces deux éléments, nous avons pu obtenir un indice d'évaluation (ID) reflétant la qualité des différents secteurs basé sur l'ensemble des critères d'évaluation:

$$ID = (S_a \times P_a) + (S_b \times P_b) + (S_c \times P_c) \quad \text{où :}$$

S : score du critère

P : poids relatif du critère

a, b, c: critères

A noter que dans la mesure où la somme des poids est égale à 1 et que les notes des critères varient entre 1 et 4 alors les indices d'évaluation des différents sites seront eux-mêmes compris entre 1 et 4. Notre étude propose d'interpréter ces indices d'évaluation de la manière suivante :

Tableau 12 : Échelle d'interprétation des indices d'évaluation

Score	Interprétation
> 3.5	Très approprié
3 - 3.5	Approprié
2.5 - 3	Moyennement approprié
2 – 2.5	Peu approprié
< 2	Inapproprié

Précisons qu'un site pourra se voir qualifié d'inapproprié même si son indice d'évaluation est supérieur à 2. Ce cas se vérifie lorsque un ou plusieurs des critères d'évaluation ont un score de 1 (i.e. inapproprié) pour un site donné. Il s'ensuit que la condition pour accepter un indice d'évaluation ayant une valeur >2 est qu'aucun critère d'évaluation ait un score égal à 1.

En dernier lieu, les indices d'évaluation ont été combinés au SIG pour réaliser les cartes permettant d'identifier les différents secteurs selon leur niveau d'appréciation.

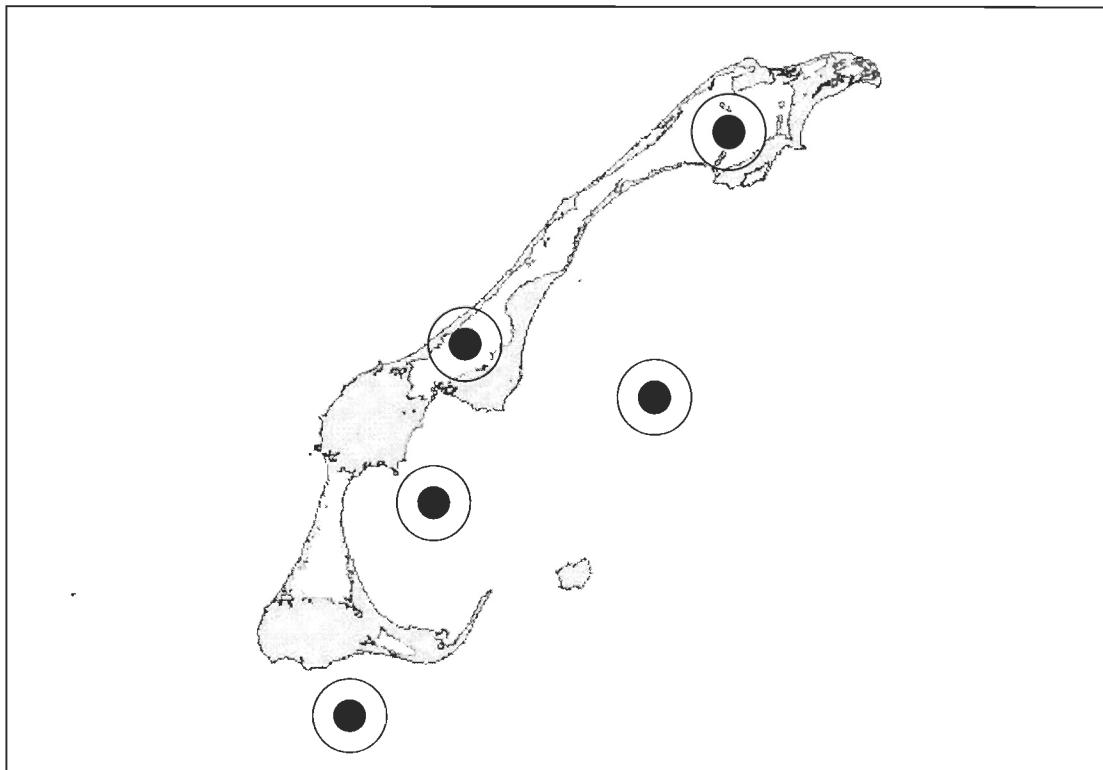


Figure 6: Secteurs des Îles-de-la-Madeleine pour lesquels des données scientifiques pour la température, la salinité, la vitesse du courant et la disponibilité alimentaire (Chlorophylle a et seston) étaient disponibles.

CHAPITRE IV

4. RESULTATS

4.1 Critères d'exclusion

Les contraintes spatiales sont variées et réparties sur l'ensemble des côtes et plans d'eau intérieurs de l'archipel pour les deux types d'activités (Tableau 3). Cependant, dans le cas de l'élevage en suspension de moules et de pétoncles, les contraintes physiques (bathymétrie et glace) représentent les contraintes spatiales touchant le plus de superficie. En effet, la bathymétrie limite pour des raisons techniques l'expansion de l'élevage de bivalve en suspension aux secteurs ayant une profondeur comprise entre 15 et 50 m en milieu ouvert (communication personnelle, F. Bourque, MAPAQ-STMIM, 2005) et aux secteurs d'au moins 4 m de profondeur dans les lagunes. De plus, en hiver, l'accumulation importante de glace dérivante et les forts courants empêchent l'installation de structures d'élevage permanentes sur l'ensemble de la côte ouest de l'archipel (Figure 7). Celles-ci seraient systématiquement détruites et c'est pourquoi l'ensemble de cette zone a été considéré inutilisable pour l'élevage de bivalves en suspension.

Toutefois, il est important de mentionner que dans un même secteur plusieurs critères d'exclusion peuvent se superposer dans un même secteur.

4.2 Pondération des critères d'évaluation

Lors de l'analyse hiérarchique multicritère, l'importance attribuée aux différents critères d'évaluation n'était pas la même d'un individu à l'autre du panel d'experts. Les

pondérations attribuées aux critères variaient donc d'un expert à l'autre. Cependant, le ratio de cohérence (RC) du jugement de chaque expert était inférieur à 10 %, ce qui suggère que les pondérations attribuées aux critères étaient tous acceptables et aptes à être moyennés selon la procédure de l'AHM (Tableau 13).

Cette disparité entre les réponses des experts dépendrait de plusieurs facteurs ayant une influence sur la perception de chaque répondant envers "ce qui est plus important". Par ailleurs, l'AHM prévoit cette disparité de perceptions en assumant que la moyenne de ces dernières représente une forme de "sagesse collective" résument les différentes expertises. Il est donc important d'avoir un panel d'experts constitué du plus grand nombre possible d'individus.

4.2.1 Élevage en suspension

Dans le cas de la moule bleue, *Mytilus edulis*, la disponibilité alimentaire et la température apparaissent comme étant les deux critères les plus importants lors du choix d'un site (Tableau 13). Par contre, la salinité apparaît comme le critère le moins important.

Dans le cas du pétoncle, *Placoplecten magellanicus*, le classement des critères d'évaluation est sensiblement le même que celui obtenu pour la moule, bien que les coefficients de pondération soient différents. Seule la salinité change son classement.

4.2.2 Ensemencement de pétoncles

Concernant l'ensemencement de pétoncles en milieu ouvert, l'AHM a classé encore une fois en première position la disponibilité alimentaire, suivi par le type de substrat. Le critère jugé le moins important est le courant.

Tableau 13: Pondération et classement hiérarchique des critères d'évaluation

Élevage de moule en suspension							
Critères d'évaluation	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Expert 5	Expert 6	Poids moyens
Disponibilité alimentaire	0,085	0,371	0,064	0,16	0,12	0,252	0,175
Température	0,061	0,192	0,093	0,393	0,12	0,193	0,175
Accessibilité (mois/a)	0,137	0,079	0,138	0,145	0,158	0,22	0,146
Bathymétrie	0,106	0,137	0,179	0,028	0,187	0,05	0,115
Courant	0,207	0,035	0,138	0,074	0,12	0,061	0,106
Accessibilité (distance)	0,126	0,06	0,12	0,075	0,113	0,128	0,104
Substrat	0,197	0,046	0,138	0,032	0,12	0,046	0,097
Salinité	0,082	0,079	0,131	0,093	0,062	0,05	0,083
Indice de cohérence (IC)	3,69 %	9,60 %	3,30 %	6,10 %	7,40 %	4,70 %	

Élevage de pétoncle en suspension					
Critères d'évaluation	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Poids moyens
Disponibilité alimentaire	0,256	0,353	0,356	0,119	0,271
Température	0,256	0,262	0,091	0,09	0,175
Accessibilité (mois/a)	0,111	0,027	0,214	0,237	0,147
Salinité	0,256	0,038	0,091	0,157	0,136
Bathymétrie	0,02	0,125	0,143	0,237	0,131
Courant	0,053	0,121	0,02	0,069	0,066
Accessibilité (distance)	0,032	0,058	0,057	0,052	0,050
Substrat	0,017	0,017	0,028	0,04	0,026
Indice de cohérence (IC)	9,90 %	8,20 %	9,20 %	9,90 %	

ensemencement de pétoncle						
Critères d'évaluation	Expert 1	Expert 2	Expert 3	Expert 4	Expert 5	Poids moyens
Disponibilité alimentaire	0,37	0,39	0,37	0,37	0,05	0,31
Substrat	0,07	0,06	0,36	0,28	0,51	0,26
Température	0,23	0,29	0,11	0,07	0,11	0,16
Salinité	0,15	0,22	0,13	0,11	0,11	0,14
Courant	0,19	0,04	0,03	0,17	0,23	0,13
Indice de cohérence (IC)	0,80 %	5 %	6,30 %	9,10 %	3,90 %	

4.3 Évaluation globale du potentiel maricole

L'utilisation combinée du SIG et de l'AHM a permis d'obtenir des cartes illustrant le potentiel maricole des Îles-de-la-Madeleine pour (i) l'élevage en suspension de moules et de pétoncles et (ii) l'ensemencement de pétoncles en milieu ouvert.

Pour synthétiser l'information, une fiche descriptive, comprenant le nom du site, sa superficie, son indice d'évaluation, le type de mariculture évalué, et l'échelonnage de 1 à 4 des différents critères d'évaluation, a été réalisée pour chaque secteur identifié sur les cartes (voir annexe 4).

4.3.1 Élevage de bivalves en suspension

Les évaluations du potentiel d'élevage en suspension de la moule et du pétoncle ont été réalisées distinctement. Cependant, les résultats obtenus aboutissaient, dans les deux cas, à la délimitation des mêmes sites et à la même appréciation de ces sites. Seul l'indice d'évaluation calculé différait légèrement (voir fiches d'évaluation à l'annexe 4). C'est pourquoi les résultats obtenus pour les deux types d'activités ont été illustrés par les mêmes cartes (Figures 7, 8, 9).

- Milieu ouvert

Les résultats de l'évaluation du potentiel d'élevage en suspension de la moule et du pétoncle en milieu ouvert indiquent que 2,9 % (23 942 ha) de la zone évaluée sont appropriés, contre 7,4 % (61 659 ha) jugés moyennement approprié, 28,3 % (234 238 ha) moyennement approprié à inapproprié et 5,9 % (48 939 ha) inapproprié (Figure 7). De manière générale, les facteurs les plus favorables à l'élevage de bivalve en milieu ouvert

sont la salinité, la température et la disponibilité alimentaire, alors que les facteurs les plus contraignant sont le courant, l'accessibilité en distance et en mois/année et le type de substrat. Plus précisément, on notera que le secteur S a obtenu la mention inappropriée malgré son indice d'évaluation compris entre 2 et 3 qui aurait dû lui valoir la mention "moyennement approprié". Ceci est dû au critère d'évaluation "courant", jugé inapproprié, qui discrédite l'indice d'évaluation obtenu. En effet, la présence de fort courant dans ce secteur ne permet pas d'envisager la mise en place de filière d'élevage au niveau de technologie actuel. Notons de plus que l'incertitude concernant le facteur courant dans le secteur SE a poussé à attribuer la mention moyennement appropriée à inappropriée. Globalement, ce secteur est jugée moyennement appropriée (indice d'évaluation compris entre 2 et 3), mais, suite à une éventuelle caractérisation environnementale plus approfondie, certaines zones pourraient s'avérer être inappropriées à cause du courant.

- Lagunes

Concernant les deux lagunes évaluées, peu d'espace reste disponible pour l'expansion des activités d'élevage en suspension. En effet, après la détermination des zones d'exclusion, seulement 10,2 % (305 ha) de la superficie totale de la lagune de Havre-aux-Maisons et 22,3% (1 297 ha) de celle de la lagune de Grande-Entrée ne présentaient pas de contraintes d'exclusion. La totalité de ces superficies (305 ha et 1297 ha) encore disponibles dans ces deux lagunes ont été jugée approprié pour l'élevage en suspension de moules ou de pétoncles (Figures 8 et 9). Les facteurs les plus limitant pour l'élevage en suspension dans les lagunes étaient l'accessibilité (mois/année) au site, impossible durant la formation et le dégel du couvert de glace et la température de l'eau, qui peut excéder les 21°C en été.

Or au-delà de 20°C, la température est susceptible de causer du stress métabolique chez la moule bleue, *Mytilus edulis* (Bayne, 1973 ; Bayne *et al.*, 1977 ; Incze *et al.*, 1980; Mallet, 1989 ; Widdows, 1973) (Voir annexe 4, fiches 1 à 7).

4.3.2 Ensemencement de pétoncles en milieu ouvert

Concernant l'évaluation du potentiel d'ensemencement de pétoncles en milieu ouvert, 26,1 % (215 589 ha) des secteurs disponibles apparaissent appropriés, contre 21,3 % (177 076 ha) jugés appropriés à moyennement appropriés et 52,6 % (435 840 ha) moyennement approprié (Figure 15). Les facteurs les plus importants faisant varier l'indice d'évaluation d'un secteur à l'autre étaient le type de substrat et la vitesse du courant. Tous les autres facteurs ont obtenu un score constant sur l'ensemble de la zone d'étude. La salinité et la bathymétrie ont été jugées très appropriées, alors que la température et la disponibilité alimentaire ont été jugées appropriées (Voir annexe 4, fiches 8 à 15). Le 26,1 % de la zone d'étude jugée appropriée correspond à quatre secteurs. Le plus grand de ces secteurs se situe au nord de l'archipel en périphérie de l'île Brion et couvre une superficie de 71 866 ha. La deuxième plus grande zone est située à l'opposée au sud-ouest de l'archipel et couvre 56 997 ha. Les deux autres secteurs se situent respectivement au sud et à l'ouest de l'archipel, couvrant respectivement 43 160 ha et 43 563 ha.

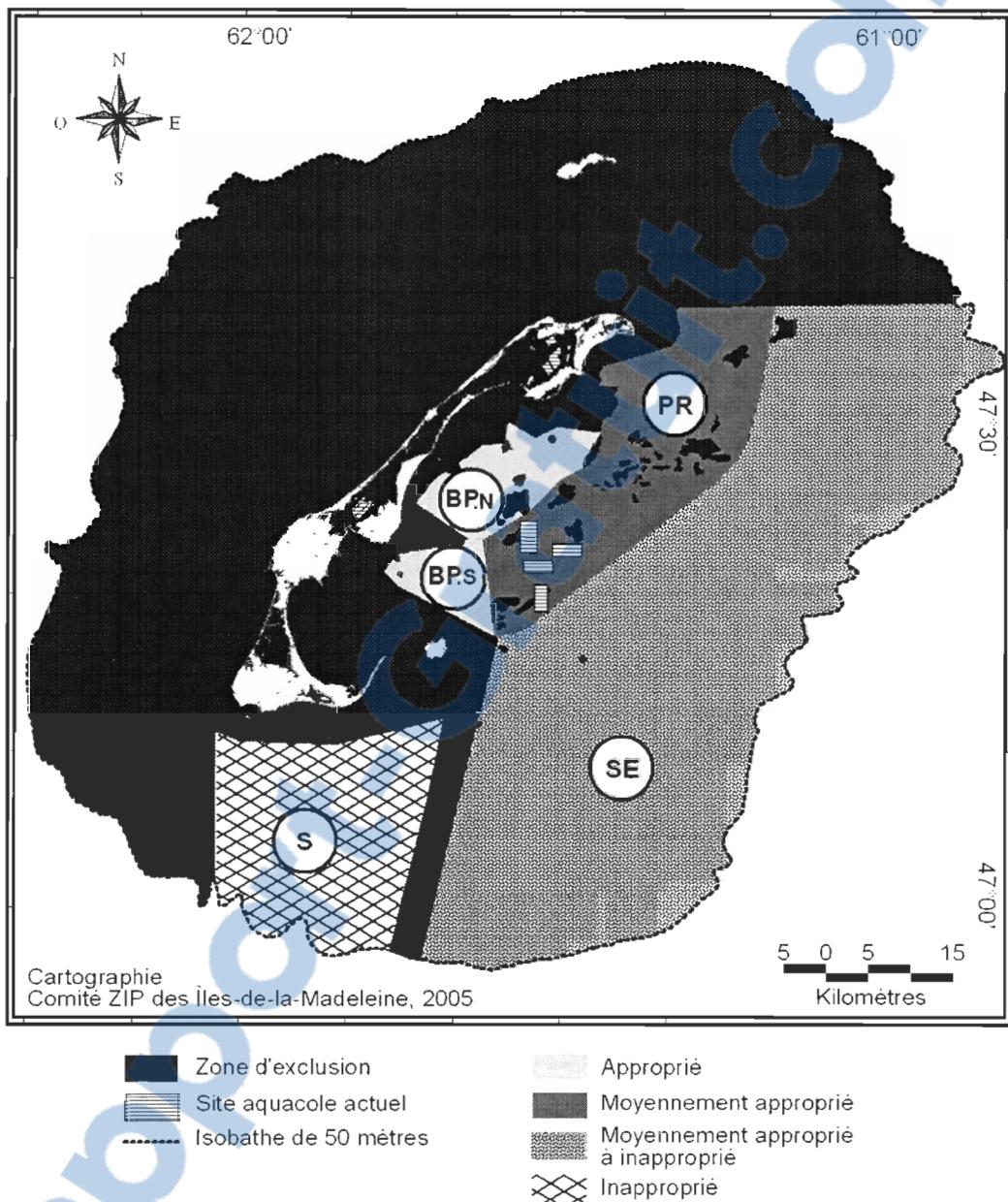
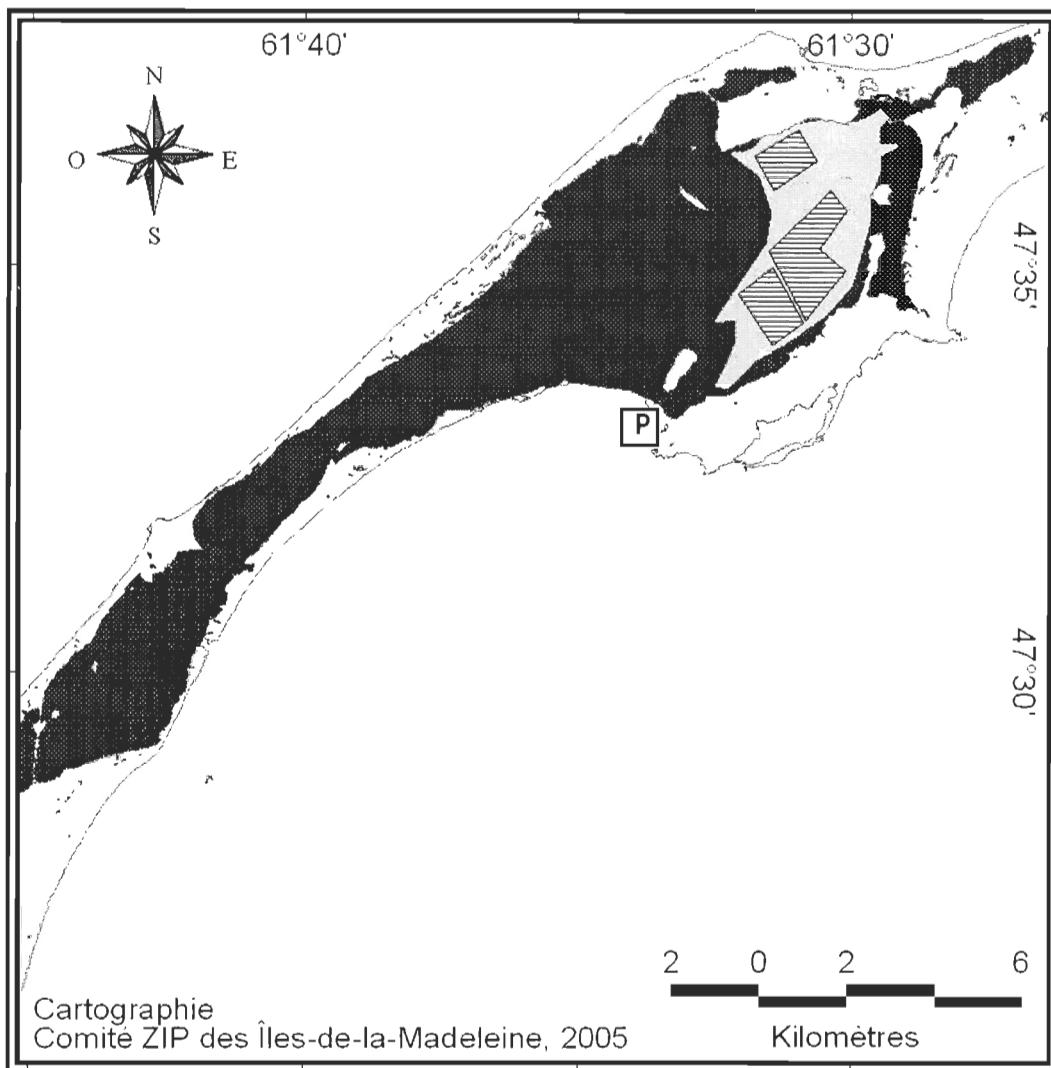


Figure 7 : Potentiel pour l'élevage en suspension de moules et de pétoncles en milieu ouvert aux Îles-de-la-Madeleine



[P] Quai, marina, port de pêche Zone d'exclusion
[Diagonal hatching] Site aquacole actuel Approprié

Figure 8 : Potentiel pour l'élevage en suspension de moules et de pétoncles dans la lagune de Grande-Entrée

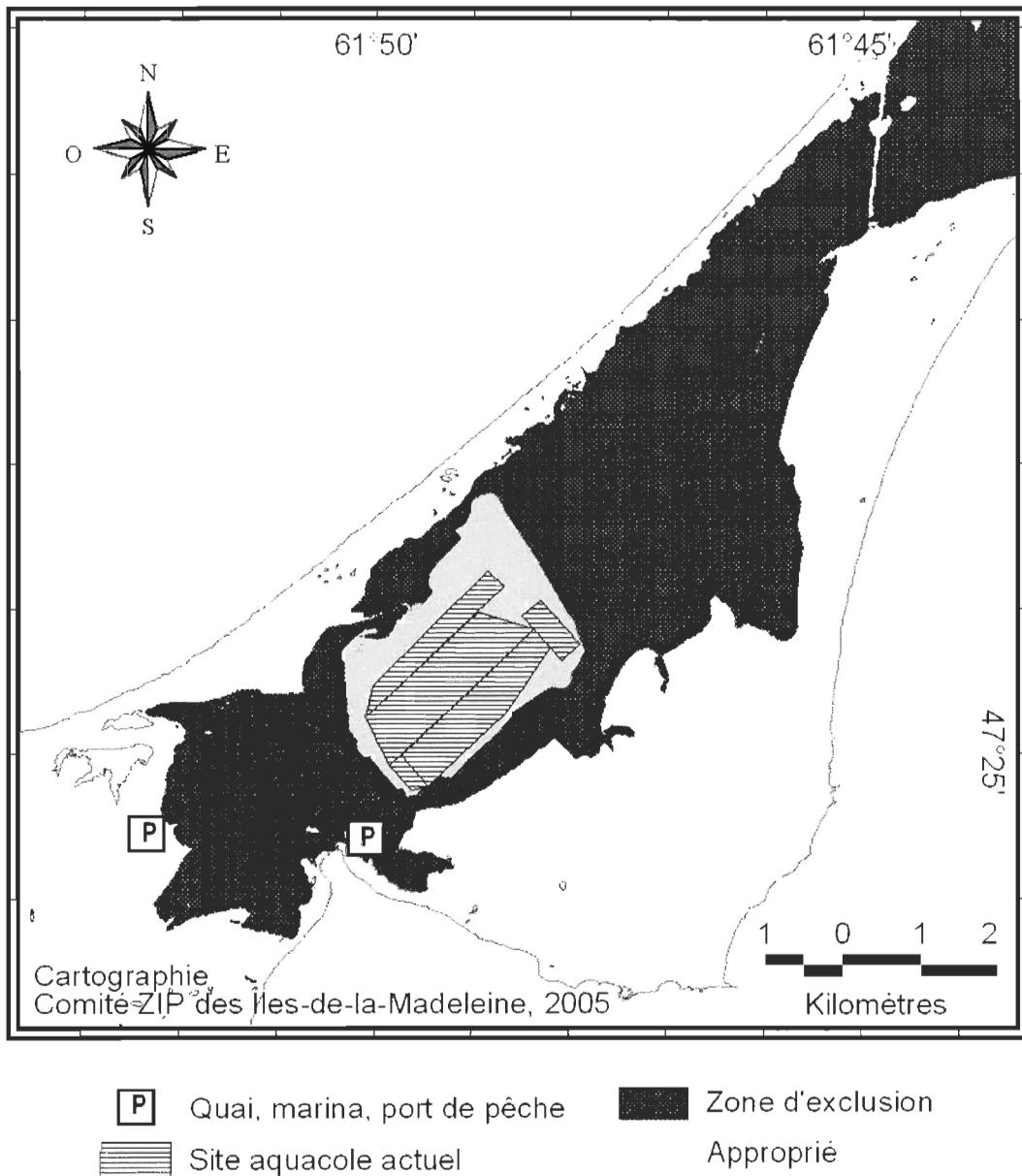


Figure 9 : Potentiel pour l'élevage en suspension de moules et de pétoncles dans la lagune du Havre-aux-Maisons

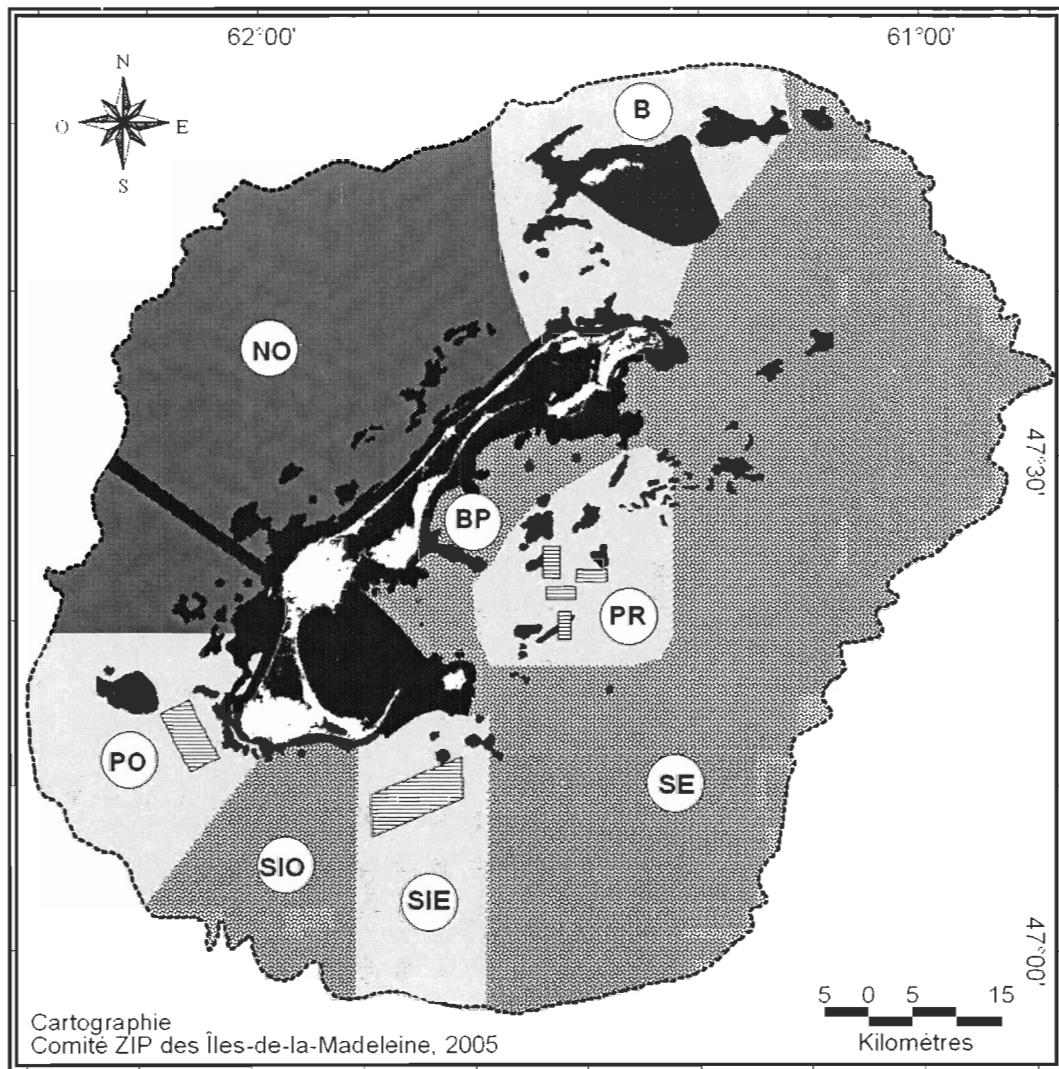


Figure 10 : Potentiel pour l'ensemencement de pétoncles aux îles-de-la-Madeleine

CHAPITRE V

5. DISCUSSION

5.1 Élevage en suspension de moules et de pétoncles

Aux Îles-de-la-Madeleine, les activités d'élevage en suspension de la moule bleue, *Mytilus edulis*, et du pétoncle géant, *Placopecten magellanicus*, sont concentrées dans les deux principaux plans d'eau intérieurs. Des surfaces de 482 ha dans la lagune de Grande-Entrée (LGE) et 355 ha dans la lagune du Havres-aux-Maisons (LHAM) sont alloués à ce type d'activités (MAPAQ, 2005). La mariculture s'est développée dans ces lagunes d'une part pour la proximité des sites et d'autre part pour l'environnement abrité que représentent ces plans d'eau. Les résultats de la présente étude ont montré que des surfaces additionnelles de 1 297 ha dans la LGE et de 305 ha dans la LHAM pourraient être utilisées pour l'élevage en suspension de moules ou de pétoncles. Ces secteurs sont situés en périphérie des installations aquacoles déjà existantes, dans les zones profondes des lagunes (profondeur ≥ 4 m). Ainsi, il serait envisageable, par les producteurs actuels de moules et de pétoncles, d'augmenter leurs surfaces d'exploitation en lagune. À ce sujet, il est importante de mentionner qu'une étude récente (Grant et al., 2007) montre que les activités mytilicoles présentes dans la lagune de Grande-Entrée sont d'intensité bien inférieure à la capacité de support de la lagune.

Par contre, les températures estivales des lagunes pourraient constituer un inconvénient auquel les producteurs devraient faire face. Au delà de 20°C, la température constitue un facteur de stress pour les moules et les pétoncles, et engendre une diminution

de la croissance et une augmentation de la mortalité des organismes (Bayne et *al.*, 1973; Incze et *al.*, 1980; Stewart et Arnold, 1994). Par ailleurs, les températures élevées semblent avoir été un des facteurs responsables de la mortalité massive de moules observée en été dans les deux lagunes (Myrand, 1991). Or, depuis le milieu des années '90, la température estivale de l'eau des lagunes tend à augmenter pour atteindre des valeurs supérieures à 20 °C pendant plusieurs jours, dans le mois d'août (Tita G., communication personnelle). De plus, bien qu'il soit possible de faire de la récolte hivernale sous glace, les lagunes sont tout de même inaccessibles durant une partie de l'année. Aucune activité ne peut être entreprise lors de la formation et le dégel de la couche de glace recouvrant ces plans d'eau en hiver. Dans les dernières années, on a observé un raccourcissement de la période de couvert glaciaire et un amincissement de la couche de glace.

Pour surmonter les problèmes d'espace, de température de l'eau trop élevée et d'accessibilité à la ressource sur une base régulière dans les lagunes, se tourner vers de nouveaux espaces serait une alternative envisageable. C'est pourquoi l'utilisation des zones côtières en milieu ouvert (hors des lagunes) représente une opportunité intéressante. Des projets pilotes vont d'ailleurs dans ce sens au niveau de la mytiliculture. Des biologistes du Centre maricole des Îles-de-la Madeleine du MAPAQ tentent d'établir les paramètres et les techniques de production mytilicole en milieu ouvert dans la baie de Plaisance (Bourque et *al.*, 2005). Deux études de caractérisation et d'évaluation environnementales (Tita *et al.*, 2004; Tita et Bourque, 2007) suggèrent que la Baie de Plaisance constitue une zone propice à la mytiliculture en suspension.

À ce sujet, cette étude a permis d'identifier les secteurs les plus adéquats pour l'élevage en suspension en milieu ouvert. Il en ressort que 2,9 % de la zone côtière de l'archipel ont été jugés appropriés. En termes d'espace, ces secteurs correspondent à une superficie de 23 942 ha. Cela représente plus de dix fois la surface totale utilisable pour l'élevage en suspension dans les lagunes de Grande-Entrée et de Havre-aux-Maisons. Ces secteurs sont situés à l'est de l'archipel, au large des côtes de l'île du Havre-aux-Maisons, ainsi que le long de la dune du sud et au sud de l'île de la Grande-Entrée (figure 7). Une bonne accessibilité à ces sites est garantie par la proximité de ports et par une couverture glacière réduite en période hivernale. Il est intéressant de noter que le site expérimental mytilicole en milieu ouvert est situé dans la partie sud de la zone jugée appropriée par notre étude et que les deux premières années d'expérimentation ont donné des résultats très encourageants. En effet, la croissance obtenue en milieu ouvert est équivalente à celle obtenue en lagune (Bourque, 2005). Toutefois, puisque la ponte des moules en milieu ouvert est décalée d'environ 3-5 semaines par rapport à celle des moules en lagune, le rendement en chair demeure élevé pendant plus longtemps. Cette constatation pourrait constituer un atout intéressant pour les producteurs qui pourraient approvisionner le marché estival avec des moules de haute qualité pendant plus longtemps.

Concernant les autres secteurs jugés moyennement appropriés et inapproprié, c'est principalement le niveau technologique actuel pour l'élevage en suspension de bivalves qui a conduit à leur appréciation. En effet, ces secteurs sont situés à des distances relativement éloignées et présentent des profondeurs allant de 20 à 50 mètres. Or des filières d'élevage en suspension dans ces secteurs devraient pouvoir résister aux houles et aux courants ainsi

qu'aux tempêtes occasionnelles et ne nécessiter que peu d'entretien pour limiter les coûts liés aux déplacements. Cependant, ces vastes secteurs, ne présentant pas de contraintes spatiales, ne sont pas dépourvus d'intérêts pour le développement de la mariculture dans le futur, étant donné l'évolution et l'amélioration constantes des techniques d'élevage. Des expérimentations concluantes d'élevage en suspension de moules en eau profondes ont d'ailleurs été réalisées au large de la Nouvelle-Angleterre par des chercheurs du Woods Hole Oceanographic Institut (Paul, 2000). Des filières en suspensions pour l'élevage de la moule, *Mytilus edulis*, installées à 42 mètres de profondeur ne présentaient pas de dommages particuliers après 19 mois passés en mer, indiquant que l'installation de filières à long terme dans cette zone pourrait être satisfaisant pour l'élevage de la moule (Paul, 2000).

5.2 Ensemencement de pétoncles

Cette étude a permis d'identifier quatre vastes secteurs appropriés pour l'ensemencement de pétoncles entre les isobathes de 10 et de 50 mètres. Le type de substrat, facteur primordial qui influence la survie et la croissance des pétoncles, a été le critère clé permettant d'identifier ces quatre secteurs lors de l'évaluation. La présence de substrat grossier et hétérogène, notamment de gravier sablonneux ou de sable graveleux entrecoupés de fonds rocheux, sur lesquelles se retrouvent généralement les concentrations de pétoncles géant (Langton et Robinson, 1990; Thouzeau *et al.*, 1991a,b; Stokebury et Himmelman, 1993; Stewart et Arnold, 1994; Stokebury et Himmelman, 1995) était le principal atout des secteurs jugés appropriés. Le taux de survie des juvéniles serait aussi

plus important sur le gravier que sur le sable (Stokesbury et Himmelman, 1995) et le taux de croissance plus rapide (Bourne, 1964). De plus, la position des secteurs appropriés peut en partie être soutenue par la répartition des concentrations de pétoncles aux Îles-de-la-Madeleine. En effet, les principaux fonds de pêche de pétoncles des Îles-de-la-Madeleine (MPO, 2005) sont situés pour la majorité dans les zones qui ont été définies comme appropriées pour l'ensemencement. La présence à l'état indigène de pétoncles, *Placopecten magellanicus*, renforce donc l'idée que ces secteurs sont appropriés.

Jusqu'au printemps 2006, une seule entreprise réalisait des activités d'ensemencement de pétoncles géant aux Îles-de-la-Madeleine. Cette entreprise possédait deux sites sous baux aquacoles : le site de la Chaîne-de-la-Passe (4 840 hectares), depuis 2000, et le site de la Pointe-du-Ouest (2 677 hectares), depuis 2002. Récemment, une étude qui s'intéressait spécifiquement à la caractérisation de quatre anciens fonds de pêches aux pétoncles des Îles-de-la-Madeleine a identifié 7 590 ha adéquats pour ce type d'activité (Giguère *et al.*, 2004). Les secteurs jugés appropriés par notre étude, qui s'intéressait à l'ensemble des eaux côtières de l'archipel entre les isobathes de 10 et 50 m, correspondent eux à 215 589 ha. Ils sont repartis tout autour de l'archipel et englobent par ailleurs les 7 950 ha de l'étude précédente. Des perspectives d'extension des activités d'ensemencement de pétoncles aux Îles-de-la-Madeleine sont donc envisageables. Cependant, en considérant l'extension très importante de telles superficies, il est important qu'un plan de gestion global des espaces côtiers entourant l'archipel soit développé avant d'envisager toute utilisation extensive de ces espaces.

5.3 Critique de la méthode analytique

L'utilisation combinée du système informatique géographique (SIG) et de l'analyse hiérarchique multicritère (AHM) a permis de réaliser une évaluation qualitative du potentiel d'expansion spatial des activités maricoles aux Îles-de-la-Madeleine. L'AHM a constitué un bon outil d'identification et de pondération des critères d'évaluation, tandis que le SIG a permis d'obtenir des cartes traduisant l'information numérique en un support visuel. De plus, l'intégration du point de vue d'un ensemble d'expert de la mariculture (mariculteurs et chercheurs) rendait objectif les pondérations attribuées aux critères d'évaluation. En ce sens, le zonage des secteurs à potentiel constitue la base d'une approche planifiée du développement de la mariculture aux Îles-de-la-Madeleine. Les résultats de cette étude, comme d'autres études similaires (Steele et Norris, 1995 ; Aguilar-Manjarrez, 1996, Perez *et al.*, 2005) doivent permettre aux décideurs de convaincre l'ensemble des utilisateurs de s'en servir pour présenter les différentes stratégies d'utilisation de la ressource, et de discuter et considérer les impacts de chaque alternative. Une telle approche serait d'autant plus utile qu'aux Îles-de-la-Madeleine l'élevage en suspension de moule en milieu ouvert et l'ensemencement de pétoncle sont des activités relativement récentes et que la sélection de site aquacole constitue une première étape importante. Un autre avantage de cette méthode est sa grande flexibilité. Dans l'avenir, il sera en effet possible d'affiner les résultats obtenus aujourd'hui en ajoutant et/ou supprimant des critères, ainsi qu'en complétant les bases de données qui supportent l'AHM.

Cependant, la méthode présente aussi ses limites. La première est liée aux données utilisées pour les différents critères d'évaluation. Il est clair que, bien que l'application du

SIG et de l'AHP constitue un outil efficace permettant de combiner et visualiser un grand nombre de données, le résultat du processus est dépendant de la validité et de la représentativité des données utilisées (Thapa et Bossley, 1992). La présente étude a intégré l'ensemble des informations disponibles pour l'analyse. Cependant, le processus d'évaluation pourrait être amélioré avec des informations additionnelles. En effet, le manque de données pour certains critères d'évaluation dans certains secteurs a réduit la robustesse de la méthode. La deuxième source d'inexactitude concerne l'évaluation des critères. Celle-ci est directement liée à l'avis exprimé par les experts consultés (mariculteurs et chercheurs). Il est donc primordial de s'assurer de la pertinence des expertises des personnes sélectionnées afin de ne pas biaiser l'évaluation. De plus, il peut être légitime de s'interroger sur la valeur intrinsèque de l'indice d'évaluation calculé. Quelle différence y a-t-il entre un site ayant obtenu la note de 2,4 et un autre ayant obtenu la note de 2,8 par exemple, dans la mesure où ils obtiendront tous les deux la même appréciation « moyennement approprié » ? Cette question est délicate. Il serait en fait intéressant de disposer de « sites références » dont on connaît déjà le potentiel réel et pour lesquels on disposeraient de toute l'information pour les critères d'évaluation. Ainsi, il serait possible de calculer avec précision l'indice d'évaluation de ces secteurs et de s'en servir comme indices étalons. Dans notre étude, les indices d'évaluation des secteurs ayant obtenu la même appréciation peuvent être utilisés principalement à titre comparatif. Ils permettent cependant de nuancer le degré d'imprécision qu'aurait une évaluation comparative. Ce qui a priori pouvait sembler être une limite peut finalement s'avérer être un avantage.

Un autre point discutable de cette étude est que l'évaluation du potentiel conchylicole s'est restreinte aux zones non conflictuelles. Or il est vrai que d'empêcher la conchyliculture de faire du tort à d'autres activités revient finalement à faire du tort à la conchyliculture. La vraie question à résoudre est en fait : doit-on laisser la conchyliculture nuire une autre activité ou une autre activité nuire la conchyliculture ? La réponse à apporter est loin d'être évidente, à moins de connaître la valeur de ce que l'on obtient et la valeur de ce que l'on sacrifie pour l'obtenir. Sans la connaissance de la valeur d'une activité, il est impossible de déterminer quelle utilisation ou quelle combinaison d'utilisations sera la plus efficace. Quand une activité est traduite monétairement, il est possible de prendre une décision économiquement efficace. Cependant, il est souvent difficile de traduire en valeur monétaire certaines activités (e.g. pêche récréative, navigation de plaisance, concurrence aquaculture – pêche traditionnelle). Des modèles relativement complexes, tentent d'attribuer des valeurs monétaires à ces activités. Toutefois, certains auteurs doutent de leur réelle utilité dans le réglage de conflits d'usage (Van Kooten, 1993). L'analyse ne peut donc pas porter que sur des comparaisons de la valeur de production mesurées par le marché. En effet, il est souhaitable que le choix entre les différentes options sociales destinées à résoudre les problèmes économiques soit intégré dans le processus d'évaluation des usages envisagés, ainsi que l'ensemble des effets de ces options dans tous les domaines de la vie (Coase, 1960). L'intégration dans la présente étude de critères économiques et sociaux aurait permis d'inclure les zones conflictuelles à l'évaluation, mais aurait cependant augmenté considérablement les efforts nécessaires à sa réalisation. L'étude s'est donc limitée aux zones non conflictuelles afin de proposer une

évaluation rigoureuse et visant à servir de support de décision aux gestionnaires des zones côtières des Îles-de-la-Madeleine. Des études ultérieures devraient intégrer dans leur démarche analytique des critères d'ordre économique qui permettraient une évaluation comparative des différentes alternatives d'usage des espaces.

CHAPITRE VI

6. CONCLUSION

Aux Îles-de-la-Madeleine, la mariculture est une activité relativement récente qui se développe depuis maintenant une vingtaine d'années. La production maricole se limite à l'élevage de trois espèces de mollusque bivalve: la moule bleue (*Mytilus edulis*), le pétoncle géant (*Placopecten magellanicus*) et la mye commune (*Mya arenaria*). Les deux principales lagunes des Îles-de-la-Madeleine (Grande-Entrée et Havre-aux-Maisons), où se concentrent les activités maricoles, offrent des conditions environnementales favorables pour l'élevage de ces trois espèces. Aucune activité maricole n'est entreprise dans les zones côtières en milieu ouvert (hors des lagunes), hormis les activités d'ensemencement de pétoncles réalisées jusqu'en 2005 pour soutenir la pêche visant cette espèce.

La méthode originale mise en place dans cette étude qui combine l'utilisation d'un système d'information géographique (SIG) et d'une analyse hiérarchique multicritère (AHM) a servi à évaluer le potentiel d'élevage en suspension de la moule et du pétoncle ainsi que le potentiel d'ensemencement du pétoncle aux Îles-de-la-Madeleine. La cartographie des zones d'exclusion, c'est-à-dire de l'ensemble des contraintes spatiales pouvant limiter le développement de la mariculture, a permis d'identifier les sites disponibles pour la mariculture. L'AHM permettait ensuite d'assister l'évaluation qualitative des sites retenus à partir d'un ensemble de critères biophysiques. Cette méthode s'est révélée un outil efficace et objectif pour évaluer le potentiel des sites identifiés.

En premier lieu, il ressort de cette étude que le développement de l'industrie maricole est possible aux Îles-de-la-Madeleine dans un contexte de gestion intégrée des zones côtières. Plusieurs zones sont susceptibles de soutenir le développement de la mariculture, sans que celle-ci ne rentre en compétition pour l'espace avec d'autres activités telles que la pêche ou l'industrie touristique. A ce jour, 305 ha dans la lagune du Havre-aux-Maisons et 1297 ha dans la lagune de Grande-Entrée sont encore disponibles et jugés appropriés pour l'élevage en suspension de moules et de pétoncles. Cependant, les lagunes étant des espaces réduits à capacité de support limitée, présentant périodiquement des périodes de températures trop élevées et des problèmes d'accès à la ressource, l'intérêt d'utiliser les zones côtières en milieu ouvert pour le développement des activités d'élevage en suspension est pleinement justifié. Les résultats de cette étude sont en ce sens positif. En effet, une surface totale de 23 942 ha facilement accessible et ne présentant aucune contrainte spatiale a été jugée appropriée pour l'élevage en suspension. De plus, les deux premières années d'investigation, menées par les biologistes de la station technologique maricole des Îles-de-la-Madeleine (STMIM) sur un site expérimental situé dans cette zone, révèle que le rendement en chair des moules en milieu ouvert possède un intérêt certain pour la commercialisation estivale des moules aux Îles-de-la-Madeleine (Bourque, 2004). L'expansion des activités d'élevage en suspension de moules sera donc dans l'avenir d'avantage confrontée à des contraintes économiques de commercialisation de produits qu'à des problèmes d'espaces. Concernant l'ensemencement de pétoncle en milieu ouvert, l'étude a identifié quatre vastes secteurs appropriés entre les isobathes de 10 et 50 mètres allant d'une superficie de 43 563 à 71 866 ha.

Cette étude expose donc les potentialités de développement de l'élevage en suspension de bivalve et d'ensemencement de pétoncle en se basant sur les données disponibles en terme de qualité physiques des sites, de technologie et des restrictions légales qui régissent l'émission de baux aquacoles en milieu côtier. Une expansion des activités d'élevage en suspension de moule et de pétoncle et d'ensemencement de pétoncle devra cependant être précédé par un plan de gestion global des espaces côtiers de l'archipel. La planification du développement de la mariculture devra porter attention à d'autres facteurs essentiels comme :

- la prise en compte des facteurs environnementaux liés à la capacité de support du milieu, aussi bien au niveau initial qu'après développement des activités de production ;
- l'acceptation socio-économique des projets, qui constitue souvent un facteur de retard à niveau des procédures administratives d'installations ;
- le comportement des marchés à moyen et long termes, tant au niveau des prix que de la qualité des produits.

En l'état actuel des choses, le développement de la mariculture aux Îles-de-la-Madeleine est donc confronté à deux principaux types de contraintes: (1) des contraintes directement liées à l'amélioration des performances d'élevage, qui nécessite des efforts ultérieurs de recherche en biologie, pathologie, génétique et ingénierie, et (2) des contraintes d'intégration de ces activités par rapport aux vastes espaces qu'elle peut valoriser mais dans lesquels elle pourrait être en compétition avec d'autres formes d'usage (pêche, réserve marine, croissance du tourisme...).

Après avoir réalisé ce zonage des sites à potentiel, il est maintenant nécessaire d'établir les bases d'une planification de ces espaces. À travers la gestion intégrée des zones côtières, la mariculture doit devenir une activité adaptée écologiquement au milieu dans lequel elle s'exerce, acceptable socialement et viable économiquement.

Dans l'avenir, les objectifs d'une planification du développement de l'aquaculture dans ces zones devraient inclure les éléments suivants :

- permettre l'optimisation de la production aquacole à travers la recherche appliquée.

Pour cela il est primordial d'intégrer les résultats des projets pilotes réalisés par les biologistes du Centre maricole des Îles-de-la-Madeleine concernant l'élevage de moule en milieu ouvert et l'ensemencement de pétoncle et de continuer à soutenir la filière maricole via ce type de projets de recherche et développement.

- évaluer la capacité de l'écosystème côtier à soutenir le développement de la mariculture, en encourageant la recherche concernant les interactions de l'aquaculture avec les écosystèmes côtiers.

- intégrer la mariculture dans un plan stratégique de développement durable local.

Cette démarche serait importante pour promouvoir l'acceptabilité sociale de ce secteur industriel.

- contribuer à l'amélioration de la mise sur le marché des produits maricoles des Îles-de-la-Madeleine, afin d'assurer la viabilité des entreprises maricoles et d'améliorer leurs retombées sociales et économiques locales.

Parallèlement à la planification du développement de la conchyliculture en suspension et des activités d'ensemencement, la diversification des activités maricoles

constitue l'autre défi majeur pour la mariculture aux Îles-de-la-Madeleine. A ce jour, l'espèce qui nourrit le plus d'espoir est la mye commune, *Mya arenaria*, qui fait l'objet de recherche depuis maintenant plus de cinq ans aux Îles-de-la-Madeleine. Le projet MIM (Myiculture aux Iles-de-la-Madeleine) tente d'établir les bases des techniques d'élevage qui permettraient d'établir une myiculture rentable. Seule une entreprise réalise l'élevage de la mye commune à l'échelle pré-commerciale. Bien que certaines incertitudes demeurent, beaucoup de connaissances ont été acquises sur l'ensemble des étapes de production.

BIBLIOGRAPHIE

- Aguilar-Manjarrez, J. 1996. Development and evaluation of GIS-based models for planning and management of coastal aquaculture: a case study in Sinaloa, Mexico. Thèse de doctorat. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland, UK. 364 p.
- Aguilar-Manjarrez, J. and S.S. Nath, 1998. A strategic assessment of fish farming potential in Africa. CIFA Tech. Pap. No.32, FAO, Rome, 170 p.
- Aguilar-Manjarrez, J. et L.G. Ross. 1995. Geographical information system (GIS) environmental models for aquaculture development in Sinaloa State, Mexico. *Aqua. Int.* 3: 103–115.
- Alarcon, J.F. et M.L. Villanueva. 2001. Using Geographic Information Systems as a site selection tool for aquaculture. Dans *Aquaculture 2001: Book of Abstracts* (ed. by J.M. Parker). Baton Rouge, LA: World Aquaculture Society. 7 p.
- Arnold, W.S. et H.A. Norris. 1998. Integrated resource management using GIS: Shellfish aquaculture in Florida. *J. Shellfish Res.* 17(1): 318-327.
- Arnold, W.S., M.W. White, H.A. Norris et M. E. Berrigan. 2000. Hard clam (*Mercenaria spp.*) aquaculture in Florida, USA: Geographic information system applications to lease site selection. *Aquacult. Eng.* 23: 203–231.
- Auclair, J.C. 1977. Contribution à l'étude de la productivité primaire des lagunes des îles de la Madeleine. Thèse de doctorat, université d'Aix-Marseille, Marseille. 156 p.
- Azam, F., T. Fenchel, J.G. Field, J.S. Gray, L.A. Meyer-Reil et F. Thingstad, 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 10: 257-263.
- Baudinet, D., E. Alliot, B. Berland, C. Grenz, M. Plante-Cuny, R. Plante et C. Salen-Picard. 1990. Incidence of mussel culture on biogeochemical fluxes at the sediment-water interface. *Hydrobiologia* 207: 187-196.
- Bayne, B.L. 1973. Physiological changes in *Mytilus edulis* L. induced by temperature and nutritive stress. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 53: 39–58.
- Bayne, B.L., J. Widdows et R.J. Thompson. 1976. Physiological integrations. In *Marine mussels: their ecology and physiology* (ed. B.L. Bayne), Cambridge University Press. International Biological Programme 10. p. 261-299.

- Bayne, B.L., J. Widdows et C. Corwall. 1977. Some temperature relationships in the physiology of two ecologically distinct bivalve populations. In: *Physiological responses of marine biota to pollutants*, p. 375-400. Ed. by F. J. Vernberg, A. Calabrese, F. Thuberg and W. Vernberg. New York: Academic Press 1977.
- Bergman, C., J. Parsons et C. Couturier. 1996. Tolerance of the giant sea scallop, *Placopecten magellanicus*, to low salinity. *Bull. Aquacul. Assoc. Can.* 96-3: 62-64.
- Beveridge, M. 1996. Cage aquaculture. Fishing News Book, Great Britain, 346 p.
- Bœuf, G. 2002. L'aquaculture dans le monde. Quel avenir ? Cycles de conférences 2001-2002. Quel avenir pour l'homme ?
http://www.univ-perp.fr/perspectives/article.php3?id_article=18
- Bonn, F. (2003) Écologie physique des bassins versants (GEO 400), chapitre 8 : Érosion et pollution diffuse.
<http://www.callisto.si.usherb.ca/%7Efbonn/PageFB/GEO400/Chap8/Chap8.html>
- Bordon, M.A. 1928. A contribution to the study of the giant scallop, *Placopecten grandis* (Solander). Fish. Res. Board Can. Manuscr. Rep. Biol. Stn., No. 350. 27 p.
- Bourque F., B. Myrand et G. Tita. 2005. Open-sea culture of mussels (*Mytilus edulis*) in Îles-de-la-Madeleine: A promising avenue. Aquaculture Canada 2004 – Proceedings of the Contributed Papers of the 21st Annual Meeting of the Aquaculture Association of Canada, Quebec City (Oct 17-20, 2004), AAC Spec. Publ. 9: 56-59
- Bricelj V.M et S.E. Shumway. 1991. Physiology: energy acquisition and utilization. In: Shumway SE (ed) Scallops: biology, ecology and aquaculture. Elsevier, New York, p. 305–346.
- Bulleid. E.R. et D.M . Steven. 1972. Measurements of primary and secondary production in the gulf of Saint-Lawrence. McGill Univ. Mar. Sci. Centre, MS Rep. 21: 1-111.
- Cabanas, J.M., J.J. Gonzalez, J. Marino, A. Pérez et G. Roman. 1979. Estudio del mejillón y de su epifauna en los cultivos flotantes de la Ria de Arosa. III Observaciones previas sobre la retención de particular y la biodeposición de una batea. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 5: 45-50.
- Caddy, J.F. 1972. Progressive loss of byssus attachment with size in the sea scallop, *Placopecten magellanicus* (Gmelin). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 9: 179-190.
- Cardinal, A. 1990. Les algues marines benthiques macroscopiques. *Dans* : État des connaissances sur les algues marines benthiques macroscopiques, les lichens et les

briophytes du couloir du Saint-Laurent. Rapports préparés pour la direction de la conservation et du patrimoine écologique. Ministère de l'environnement. 61 p.

Clausen, I. et H.U. Riisgård. 1996. Growth, filtration and respiration in the mussel *Mytilus edulis*: no regulation of the filter-pump to nutritional needs. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 141: 37–45.

Cliche, G. et M. Giguère. 1998. Bilan du programme de recherche sur le pétoncle à des fins d'élevage et de repeuplement (REPERE) de 1990 à 1997. *Rap. Can. Ind. Sci. Hal. Aquat.* 247, 74 p.

Coase, R. 1960. The Problem of Social Cost. *Journal of Law and Economics*. 3: 1-44. In *Economics of the environment*. Ed. par R. Dorfman et N.S. Dorfman. 1972. p. 423.

Comité ZIP des Îles. 2002. Plan d'action et de réhabilitation des îles-de-la-Madeleine, Cap-aux-Meules, îles-de-la-Madeleine, juin 2002, 230 p.

Comité ZIP des Îles. 2003. Atlas et historique des ressources et usages de la lagune de Grande-Entrée, mars 2003, 33 p.

Comité ZIP des Îles. 2003. Atlas et historique des ressources et usages de la Baie de Bassin, mars 2003, 26 p.

Comité ZIP des Îles. 2003. Atlas et historique des ressources et usages de la lagune de Havre-aux-Maisons et de la baie du Cap-Vert, mars 2003, 24 p.

Comité ZIP des Îles. 2003. Atlas et historique des ressources et usages de la Baie du Havre-aux-Basques, mars 2003, 32 p.

Comité ZIP des Îles. 2003. Atlas et historique des ressources et usages du Bassin aux Huîtres, mars 2003, 14 p.

Cranford, P.J. et D.C. Gordon, Jr. 1992. The influence of dilute clay suspensions on sea scallop, *Placopecten magellanicus*, feeding activity and tissue growth. *Netherlands J. Sea Res.* 30: 107-120.

Cushing, D.H. 1989. A difference in structure between ecosystems in strongly stratified waters and in those that are only weakly stratified. *J. Plankton Res.* 11: 1–13.

De Sève, M.A., M.E. Goldstein et J. Acreman. 1978. Inventaire de la faune algologique et étude quantitative des algues d'intérêt économique dans les lagunes des îles-de-la-Madeleine. Rapport de l'Industrial Research Office de l'université McGill pour Environnement Canada. Service des Pêche et Science de la Mer. 32 p.

- De Lafontaine, Y., S. Demers et J. Runge. 1991. Pelagic food web interactions and productivity in the Gulf of St. Lawrence: a perspective. In *The Gulf of St. Lawrence: small ocean or big estuary?* Edited by J.-C. Therriault. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 113: 99-123.
- De Sève, M.A., A. Cardinal et M.E. Goldstein. 1979. Les algues marines benthiques des Îles de la Madeleine. (Québec). *Proc. N.S. Inst. Sci.*, 29: 223-233
- Dolmer, P. 2000. Feeding activity of mussels *Mytilus edulis* related to near-bed currents and phytoplankton biomass. *J. Sea Res.* 44: 221-231.
- Dubois J.M. 1992. Le paysage naturel et son évolution. *Dans Les Îles-de-la-Madeleine : un pays à découvrir*. Société des professeurs de géographie du Québec. Info Géographes, no 1: 41-46.
- Drapeau, G. 1988. Stability of tidal inlet navigation channels and adjacent dredge spoil islands. In: D. G. Aubrey and L. Weisher (Eds.) *Hydrodynamics and sediment dynamics of tidal inlets*, pp. 226-244. Lecture Notes on Coastal and Estuarine studies, Vol 29. Springer-Verlag, N.Y.
- Eastman, J.R. 1993. IDRISI version 4.1. Update Manual. Clark Laboratories for Cartographic Technology and Geographic Analysis. Clark University, Worcester, MA, USA. 120 p.
- Environnement Canada. 2001. Évaluation environnementale des projets conchylicoles: lignes directrices pour la considération d'information expert d'Environnement Canada. Direction de la protection de l'environnement Région Atlantique. (Juin 2001). 22 p.
- Environnement Canada. 2004. <http://www.ec.gc.ca/>
- Environnement Canada. 2004. Programme de salubrité des eaux coquillières. Direction de la protection de l'environnement Région du Québec. Avril 2004. 264 p.
- Epifanio, C.E. et L.C. Mootz. 1976. Culture of six species of bivalves in a recirculating seawater system, in: Persoone, G.; Jaspers, E. (Ed.) (1976). Proceedings of the 10th European Symposium on Marine Biology, Ostend, Belgium, Sept. 17-23, 1975: 1. Research in mariculture at laboratory- and pilot scale. p. 97-108
- FAO. 1987. Introduction to Aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), African Regional Aquaculture Centre, Port Harcourt, Nigeria, ARAC/REP/87/WP/11.

- FAO. 1997. Review of the state of the world fisheries resources: Marine fisheries. FAO Marine Resources Service, Fishery Resources Division. FAO Fishery circular, vol. 920. FAO, Rome. 173 p.
- FAO. 2001. Statistiques des pêches, production de l'aquaculture. *Annuaire annuel de la FAO année 1999*, 178 p.
- FAO. 2002. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2002. *FAO, Rome*. 152 p.
- Gagnon, M. 1998. Bilan régional - Îles-de-la-Madeleine. Zone d'intervention prioritaire 21. Environnement Canada- région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. 78 p.
- Gharbi, R. et L. Millot. 2000. Guide d'évaluation du potentiel biophysique des sites de mariculture au Québec. Centre Spécialisé des Pêches, Direction de l'Innovation et des Technologies, 38 p.
- Giguère, M., S. Brulotte et M. Nadeau. 2004. Caractérisation de quatre sites potentiels à l'ensemencement du pétoncle géant, *Placopecten magellanicus*, aux Îles-de-la-Madeleine, Québec. *Rapp. Tech. Can. Sci. Halieut. Aquat.* 2564. 77 p.
- Gilbert, D., P.S. Galbraith, C. Lafleur et B. Pettigrew. 2004. Physicla oceanographic conditions in the Gulf of St. Lawrence in 2003. *DFO. Can. Sci. Adv. Sec. Res. Doc. 2004/061*, 63 p.
- Grant, J. et P.J. Cranford. 1991. Carbon and nitrogen scope for growth as a function of diet in the sea scallop *Placopecten magellanicus*. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 71: 437- 450.
- Grant J., Curran K.J. Guyondet T., Tita G., Bacher C., Koutitonsky V., Dowd M. (2007). A box model of carrying capacity for suspended mussel aquaculture in Lagune de la Grande-Entrée, Îles-de-la-Madeleine, Québec. *Ecological Modelling* 200: 193-206
- Grant, J., A. Hatcher, D.B. Scott, P. Pocklington, C.T. Schafer et G.V. Winters. 1995. A multidisciplinary approach to evaluating impacts of shellfish aquaculture on benthic communities. *Estuaries* 18: 124-144.
- Grenier, A. et J.M. Dubois. 1992. L'évolution des côtes aux Îles-de-la-Madeleine. *Dans Les Îles-de-la-Madeleine : un pays à découvrir*. Société des professeurs de géographie du Québec. Info géographes, no 1: 59-64.
- Grey, S.J. 2002. Aquaculture — Why Another Moratorium? Mimeo. Nelson, NZ: M.S. Sullivan & Associates.

- Grita, F. 1998. GIS analysis for the assessment of fish farming potential in the Caribbean. Copescal Tech: Paper No. 10, FAO, Rome, 41 p.
- Hatcher, A, J. Grant et B. Schofield. 1994. The effects of suspended mussel culture (*Mytilus* spp.) on sedimentation, benthic respiration, and sediment nutrient dynamics in a coastal bay. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 115: 219-35.
- Hatcher, B.G., R.E. Scheibling, M.A. Barbeau, A.W. Hennigar, L.H. Taylor et A.J. Windust. 1996. Dispersion and mortality of a population of sea scallop (*Placopecten magellanicus*) seeded in a tidal channel. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53: 38-54.
- Heggberget T.G., B.O. Johnsen, K. Hindar, B. Jonsson, L.P. Hansen, N.A. Hvidsten et A.J. Jensen. 1993. Interactions between wild and cultured Atlantic Salmon - a review of the Norwegian experience. *Fish. Res.* 18: 123-146.
- Hickman, R.W., R.P. Waite, J. Illingworth, J.L. Meredyth-Young et G. Payne. 1991. The relationship between farmed mussels, *Perna canaliculus*, and available food in Pelorus Kenepuru Sound, New Zealand, 1983-1985. *Aquaculture* 99: 49-68
- Hickman, R.W. 1992. Mussel Cultivation. Dans: E. M. Gosling, ed. The mussel *Mytilus*: ecology, physiology, genetics, and culture. Amsterdam: Elsevier Science Publishers. pp. 465-510.
- Hildreth, D. I., 1976. The influence of the water flow rate on pumping rate in *Mytilus edulis* using a refined direct measurement apparatus. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 56: 311-319.
- Holmer, M., P. Lassus, J.E. Stewart et D.J. Wildish. 2001. ICES Symposium on environmental effects of mariculture. *ICES J. Mar. Sci.* 58: 363-368.
- Incze L.S., R.A. Lutz et L. Watling. 1980. Relationships between effects of environmental temperature and seston on growth and mortality of *Mytilus edulis* in a temperate northern estuary. *Mar. Biol.* 57:147-156.
- Kapetsky, J.M., L. McGregor et N.E. Herbert. 1987. A geographical information system and satellite remote sensing to plan for aquaculture development: a FAO-UNEP/GRID cooperative study in Costa Rica. FAO Fish. Tech. Pap. No. 287, FAO, Rome, 51 p.
- Kapetsky, J. M. 1994. A strategic assessment of warm-water fish farming potential in Africa. Tech. Pap. No. 27. FAO, Rome, 67 p.
- Kapetsky, J.M. et S.S. Nath. 1997. A strategic assessment of the potential for freshwater fish farming in Latin America. COPESCAL Tech. Pap. No. 10, FAO, Rome, 128 p.

- Kaspar H., P. Gillespie, I. Boyer et A. MacKenzie. 1985. Effects of mussel aquaculture on the nitrogen cycle and benthic communities in Kenepuru Sound, Marlborough Sounds, New Zealand. *Mar. Biol.* 85: 127-136.
- Kitada,S.(1999) Effectiveness of Japan's stock enhancement programs: current perspectives. In "Stock enhancement and sea ranching", Eds., B. R. Howell, E. Moksness et T. Svasand, Fishing News Books, Blackwell. p. 103-131.
- Koutitonsky, V.G. et D. Booth. 1996. Modélisation numérique de la circulation dans les lagunes de Grande-Entrée, de Havre-aux-Maisons et Le Bassin aux Îles-de-la-Madeleine, Golfe du Saint-Laurent. Contrat INRS-Océanologie pour le MAPAQ, 37 p + 2 Atlas en couleur.
- Koutitonsky, V.G. et G.L. Bugden. 1991. The physical oceanography of the Gulf of St. Lawrence: a review with emphasis on the synoptic variability of the motion. In The Gulf of St. Lawrence: small ocean or big estuary? Edited by J.-C. Therriault. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 113: 57-90.
- Koutitonsky, V.G. et G. Tita. 2006. Temps de renouvellement des eaux dans la lagune de Grande-Entrée, Îles-de-la-Madeleine. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), Rapport de Recherche-Développement, 151, 73 p.
- Laing, I. et B.E. Spencer. 1997. Bivalve cultivation: criteria for selecting a site. Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science (CEFAS), Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA). UK. 41 p.
- Laing, I. 2002. Scallop cultivation in the UK: a guide to site selection. Centre for Environment, Fisheries and Aquaculture Science (CEFAS), Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA). UK. 25 p.
- Langton, R.W. et W.E. Robinson. 1990. Faunal associations on scallop grounds in the western Gulf of Maine. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 144: 157-171.
- Loring, D.H. et J.G. Nota. 1973. Morphology and sediment of the Gulf of Saint-Lawrence. *Bull. Fish. Res. Board of Canada.* Bull. 182, 147 p.
- MacKenzie, C.L., Jr., A.S. Merrill et F.M. Serchuk. 1978. Sea scallop resources off the northeastern U.S. coast, 1975. *Mar. Fish. Rev.* 40: 19-23.
- Maillet, J. 1992. Le sous-sol et les ressources minérales. Dans Les Îles-de-la-Madeleine : un pays à découvrir. Société des professeurs de géographie du Québec. Info géographes, no 1: 37-40.

- Mallet, A.L. 1989. Culture of the Mussel *Mytilus edulis*. In A. D. Boghen ed. *Cold-Water Aquaculture in Atlantic Canada*. Canadian Institute for Research on Regional Development. p. 179-210.
- Mallet, A.L., C.E.A Carver, S.S. Coffen et K.R. Freeman. 1987. Winter growth of the blue mussel *Mytilus edulis* L.: Importance of stock and site. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 108: 217-228.
- Manzi, J.J. 1990. The role of aquaculture in the restoration and enhancement of molluscan fisheries in North America. In: Sparks AK (ed), pp. 53-56. Marine Farming and Enhancement. Proceedings of the Fifteenth U.S.-Japan Meeting on Aquaculture, Kyoto, Japan, October 22-23, 1986. NOAA Technical Report NMFS 85, U.S. Department of Commerce.
- MAPAQ. 2005. Ministère de l'agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Pêche et aquaculture commerciale. Janvier 2005. <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Peche/>
- Mayzaud, P., S. Roy, O. Roche, P. Souchu et M. Besner. 1989. Capacité de support des milieux lagunaires et côtiers en fonction du développement de la mytiliculture aux Îles-de-la-Madeleine : Évaluation des sites favorables. *Rapp. Rech. Au Cons. Rech. Pêche et Agroalimentaire Qué.* p 286-390.
- Mayzaud, P., V.G Koutitonsky, P. Souchu, S. Roy, N. Navarro et E. Gomez-Reyes. 1992. L'impact de l'activité mytilicole sur la capacité de production du milieu lagunaire des Îles-de-la-Madeleine. Rapport de recherche scientifique FP707-8-5140. INRS-Océanologique, Rimouski, Canada, 312 p.
- McRoy, C.P., R.J. Barsdate et M. Nebert. 1972. Phosphorous cycling in an eelgrass (*Zostera marina*) ecosystem. *Limnol. Oceanogr.* 17: 58-67.
- Meaden, G.J. et J.M Kapetsky. 1991. Geographical information systems and remote sensing in inland fisheries and aquaculture. *FAO Fish. Tech. Pap. No. 318*, FAO, Rome, 262 p.
- Milewski, I. 2000. Impact of salmon aquaculture on the coastal environment: a review. Document de discussion pour Marine Aquaculture and the Environment, SeaWeb. 34 p.
- MIT- Sea Grant. 2004. <http://web.mit.edu/seagrant/edu/hatchery/allaboutaqua.html#refs>

- Motnikar, S., O. Légaré, R. Vaillancourt, C. Cyr, L. Lauzier. 2006. Atelier sur l'élevage de poissons marins au Québec. 16 et 17 novembre 2004. *Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec*, 196 p.
- MPO, 2005. Évaluation des stocks de pétoncles des eaux côtières du Québec en 2004. *Secr. Can. de consult. Sci. du MPO*, Avis sci. 2005/031.
- Munro, J. et J. Therriault. 1983. Migrations saisonnières du homard (*Homarus americanus*) entre la côte et les lagunes des Îles-de-la-Madeleine. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40: 905–918.
- Myrand, B. 1991. Conditions environnementales dans les lagunes des îles de la Madeleine et paramètres biologiques de la moule bleue. Acte de l'atelier de travail sur la mortalité estivale des moules aux îles de la Madeleine, Québec, 23-25 avril 1991, Québec, Conseil de l'agriculture et de la pêche de Québec. p 47-58.
- Naidu, K.S. et J.T. Anderson. 1984. Aspects of scallop recruitment on St. Pierre Bank in relation to oceanography and implications for resource management. *Can. Atl. Fish. Sci. Adv. Comm. Res. Doc.* 84/29. 9 p.
- Nath, S.S., J.P. Bolte, L.G. Ross et J. Aguilar-Manjarrez. 2000. Applications of geographical information systems (GIS) for spatial decision support in aquaculture. *Aquacult. Eng.* 23: 233–278.
- Navarro, N. 1991. Océanographie physique descriptive de la lagune de la Grande-Entrée. Îles-de-la-Madeleine, Golfe du Saint-Laurent. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Rimouski, Canada. 143 p.
- Newell, C., D.E. Campbell et S.C. Gallagher. 1998. Development of mussel aquaculture lease site model MUSMOD: a field program to calibrate model formulations. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 219: 143–169.
- Newell, C., D.J. Wildish et B.A. MacDonald. 2001. The effects of velocity and seston concentration on the exhalant siphon area, valve gape and filtration rate of the mussel, *Mytilus edulis*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 262, pp. 91–111
- Paré, G. 1976. Les îles-de-la-Madeleine: synthèse du milieu physique. Office de planification et de développement du Québec (OPDQ), Direction des études biophysiques, Décembre 1976, 74 p.
- Paul, W. 2000. An offshore mussel aquaculture experiment. Woods Hole Oceanographic Institution: 2000 Annual Report.
http://www.whoi.edu/home/about/about_annualreport00.html

- Pereira, S. 1992. Caractéristiques climatiques et océanographiques. *Dans Les Îles-de-la-Madeleine : un pays à découvrir*. Société des professeurs de géographie du Québec. Info Géographes, n° 1: 47-50.
- Pérez, O.M., T.C Telfer et L.G. Ross. 2003. Use of GIS-Based models for integrating and developing marine fish cages within the tourism industry in Tenerife (Canaria Islands). *Coast. Manag.* 31: 355-366.
- Pérez, O.M., Telfer, T.C. et Ross, L.G. 2005. Geographical information systems-based models for offshore floating marine fish cage aquaculture site selection in Tenerife, Canary Islands. *Aqua. Res.* 36: 946-961.
- Pilditch C.A et J. Grant. 1999. Effect of temperature fluctuations and food supply on the growth and metabolism of juvenile sea scallops (*Placopecten magellanicus*). *Mar. Biol.* 134: 235-248.
- Poirier L. et B. Myrand. 1982. Élevage de la moule bleue, *Mytilus edulis*, dans les lagunes des Îles-de-la-Madeleine (Québec). Travaux Pêcheries Québec 49. 64 p.
- Provencher, L., M. Giguère et P. Gagnon. 1997. Caractérisation du substrat entre les isobathes de 10 et 50 mètres autour des Iles-de-la-Madeleine par balayage hydroacoustique et échantillonnages sédimentologiques. Évaluation du système de traitement des échos USP RoxAnn. *Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat.*, 2156, 49 p .
- Read P. et T. Fernandes. 2003. Management of environmental impacts of marine aquaculture in Europe. *Aquaculture*. 226: 139-167.
- Riisgard, H.U. 1991. Filtration rate and growth in the blue mussel, *Mytilus edulis* Linnaeus, 1758: Dependence on algal concentration. *J. Shellfish Res.* 10: 29-35.
- Rodhouse, P.G., G. M. Rodenand et T.H. Ryan. 1985. Production of mussel, *Mytilus edulis*, in suspended culture and estimates of carbon and nitrogen flow. Killary Harbour, Ireland. *J. Mar. Biol Assoc. UK* 64: 513-529.
- Rosenthal, H., J.H. Allen, M.M Helm et M. McInerney-Northcott. 1995. Aquaculture technology: its application, development, and transfer. In: Boghen, A.D., Editor, 1995. *Cold-Water Aquaculture in Atlantic Canada* (2nd ed.), Université de Moncton, New Brunswick, Canada. p. 395–448.
- Ross, L.G., Q.M. Mendoza et M.C.M. Beveridge. 1993. The application of geographical information systems to site selection for coastal aquaculture: an example based on salmonid cage culture. *Aquaculture* 112, p. 165–178.

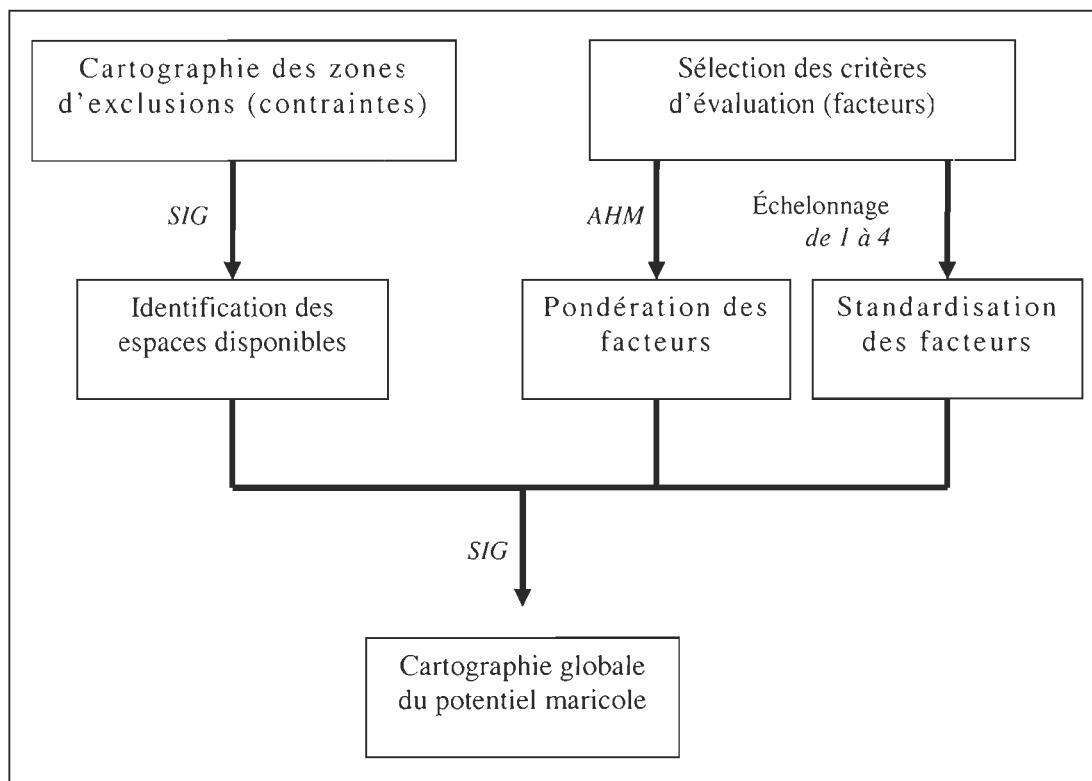
- Roy, S., P. Mayzaud et P. Souchu. 1991. Environnement physico-chimique et trophique d'un site mytilicole, Îles-de-la-Madeleine (Québec): II. Matière particulaire, composition biochimique et productivité primaire, p. 219-230. Dans J.-C. Theriault (éd.) Le golfe du Saint-Laurent: petit océan ou grand estuaire? *Publ. Spec. Can. Sci. Halieut. Aquat.* 113 p.
- Saaty, T.L., 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structure. *J. Math. Psychology* 15, 234– 281.
- Salam, A. M. et L. G. Ross. 2000. Optimising site selection for development of shrimp (*Penaeus monodon*) and mud crab (*Scylla serrata*) culture in Southwestern Bangladesh. *Proceedings of GIS'2000, 14th Annual Conference on Geographic Information Systems*. Toronto, Canada, March 2000.
- Savenkoff, C., A.F. Vézina, P.C. Smith et G. Han. 2001. Summer transports of nutrients in the Gulf of St. Lawrence estimated by inverse modelling. *Est. Coast. Shelf. Sci.*, 52: 565-587.
- Scerrat, D.J. 1993. A Handbook of Northern Mussel Culture. Montague, Island Press Ltd, 250 p.
- Scott, P.C., S. Cansado et L. G. Ross. 1998. A GIS-assisted mollusc culture potential determination for Sepetiba Bay, Brazil. *GIS PLANET 98 Annuel Conference Proceedings*, Lisbon, Portugal. September 1998.
- Scott, P. C. et L. G. Ross. 1999. GIS-based modelling for prediction of coastal aquaculture development potential and production output for Baía de Sepetiba Brazil. *Coast GIS '99 Conference*, Brest, France. September 1999.
- Serchuk, F.M., P.W. Wood, Jr. et R.S. Rak. 1982. Review and assessment of the Georges Bank, Mid- Atlantic and Gulf of Maine Atlantic sea scallop (*Placopecten magellanicus*) resources. *U.S. Natl. Mar. Fish. Serv. Northeast Fish. Cent. Woods Hole Lab. Ref. Doc.* 82-06. 132 p.
- Service hydrographique du Canada. 2005. Marées, courants et niveaux d'eau. Pêches et Océans Canada. Mars 2005. <http://marees-tides.gc.ca/>
- Shumway, S.E., R. Selvin et D.F. Schick. 1987. Food resources related to habitat in the scallop *Placopecten magellanicus* (Gmelin, 1791): a qualitative study. *J. Shellfish Res.* 6: 89-95.
- SODIM. 2002. L'état de la mariculture au Québec, édition 2002, CSMOPM, en collaboration avec le MAPAQ, le RMQ et la SODIM, 2003, 76 p.

- Souchu P., Mayzaud P. et S. Roy. 1991. Environnement physicochimique et trophique d'un site myticoles, Iles-de-la-Madeleine (Québec). I. Evolution estivale des composés de l'azote, du phosphore et du silicium. In: Therriault JC (ed) Le golfe du Saint-Laurent: petit océan ou grand estuaire? *Publ. Spec. Can. Sci. Halieut. Aquat.* 113: 209–218
- Steele, P. et H.A. Norris. 1995. Using GIS to explore shrimp management options in Florida. Abstract, American Fisheries Society 125th Annual Meeting, Tampa, Florida. p. 62.
- Stephenson, R.L. 1990. Multiuse conflicts: aquaculture collides with traditional fisheries in Canada's Bay of Fundy. *World Aquaculture*, Vol 21, No 2, pp 34-45.
- Steven, D.M. 1974. Primary and secondary production in the Gulf of St. Lawrence. *McGill Univ. Mar. Sci. Cent. Manuscrit. Rep.* No. 26. 116 p.
- Stevenson, J.A. 1936. The Canadian scallop: its fishery, life history, and some environmental relationships. Master thesis, University of Western Ontario, London. 164 p.
- Stewart, P.L. et 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: 1-36.
- Stokesbury, K.D.E. et 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: 159-168.
- Stokesbury, K.D.E. et 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.
- Thapa, K. et J. Bossler. 1992. Accuracy of spatial data used in Geographic Information System. *Photogr. Eng. Remote Sens.* 58: 835-841.
- Thouzeau, G., G. Robert et S.J. Smith. 1991a. Spatial variability in distribution and growth of juvenile and adult sea scallops *Placopecten magellanicus* (Gmelin) on eastern Georges Bank (northwest Atlantic). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 74: 205-218.
- Thouzeau, G., G. Robert et R. Ugarte. 1991b. Faunal assemblages of benthic megainvertebrates inhabiting sea scallop grounds from eastern Georges Bank, in relation to environmental factors. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 74: 61-82..

- Tita G. et Bourque F. 2007. Évaluation environnementale d'un site mytilicole expérimental dans la baie de Plaisance, Îles-de-la-Madeleine. MAPAQ-DIT, *Rapport de Recherche-Développement* n° 158, 7 p.
- Tita G., J.F. Crémer, B. Long et G. Desrosiers. 2004. Caractérisation environnementale d'un site mytilicole expérimental dans la baie de Plaisance, Îles-de-la-Madeleine (Québec). *Rap. Tech. Can. Sci. Halieut. Aquat.* 2559: 17 p
- Thompson, R.J. et B.L. Bayne. 1974. Some relationships between growth metabolism and food in the mussel, *Mytilus edulis*. *Mar. Biol.* 27: 317-326.
- Tseng, C.T, S.C. Chen, C.S. Huang et C.C Liu. 2001. GIS-assisted site selection for artificial reefs. *Fisheries Science* 67: 1015–1022.
- UQAM, 2004. Université du Québec à Montréal. Novembre 2004.
<http://www.er.uqam.ca/nobel/r20014/methodologie/AHM.PDF>.
- Van Kooten, C.R. 1993. Land resource economics and sustainable development: Economic policies and the common good. UBC Press, Vancouver. p 443.
- Widdows, J. 1973, Effect of temperature and food on the heart beat, ventilation rate and oxygen uptake of *Mytilus edulis*: *Mar. Biol.* 20: 269–276.
- Wildish, D.J. et D.D. Kristmanson. 1985. Control of suspension-feeding bivalve production by current speed. *Helgol. Wiss. Meeresunters.* 35: 237-243.
- Wildish D.J et M.P. Miyares, 1990. Filtration rate of blue mussels as a function of flow velocity: preliminary experiments. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 142: 213–219.
- Wildish D.J et A.M. Saulnier. 1993. Hydrodynamic control of filtration in *Placopecten magellanicus*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 174: 65-82.
- Wildish D.J et 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
- Winter, J.E. et R.W. Langton. 1975. Feeding experiments with *Mytilus edulis* L. at small laboratory scale. 1- The influence of the total amount of food ingested and food concentration on growth. 10th European symposium on marin biology, Ostend, Belgium, September 1975. 1: 565-581.
- Youngson A.F., A. Dosdat, M. Saroglia et W.C. Jordan. 2001. Genetic interactions between marine finfish species in European aquaculture and wild conspecifics. *J. Appl. Ichthyol.* 174: 153–162.

ANNEXE 1

Schéma récapitulatif de la méthodologie



ANNEXE 2

Exigence écologique de la moule bleue, <i>Mytilus edulis</i>		
Paramètres	Juvénile et adulte	Références
Température	<ul style="list-style-type: none"> - Température optimale de croissance : entre 10 et 20° C - Au-dessus de 20°C, la température provoque des stress métaboliques - Intervalle de tolérance : entre 0°C et 25°C - Limite supérieur létale 27-29°C - Limite inférieur létale -10°C (exposition à l'air) 	Bayne, 1973; Widdows, 1973; Bayne <i>et al.</i> , 1976; Bayne, 1977; Incze <i>et al.</i> , 1980; Mallet, 1989.
Salinité	<ul style="list-style-type: none"> - Salinité optimale 26 ppm - Intervalle de tolérance 0 à 31 ppm - En dessous de 12,6 ppm, la croissance diminue sévèrement 	Mallet, 1987
Courant	<ul style="list-style-type: none"> - Les mesures de courant relevées sur les sites d'élevage de moules sont, en général, comprises entre 2 cm/s et 10 cm/s - Jusqu'à 4 cm/s, le courant n'a pas d'effet sur la croissance - Les courants trop forts inhibent la filtration et donc la croissance - Les courants trop faibles engendrent des déplétions locales en ressources alimentaires se traduisant en une diminution de la croissance 	Hildreth, 1976; Wildish et Kristmanson, 1985; Wildish et Miyares, 1990; Hickman, 1992; Newell et Wildish, 2001.
Disponibilité alimentaire	<ul style="list-style-type: none"> - Principale source de nourriture : phytoplancton et autre matière particulaire organique non vivante En bas d'un concentration de chlorophylle de 0,5 µg l⁻¹ on observe une diminution du taux de filtration - Le taux de croissance maximum est atteint au alentour de 5 µg Chl.a.l⁻¹ 	Clausen et Tenore, 1973; Thompson et Bayne, 1974; Winter, 1975; Cabanas <i>et al.</i> , 1979; Rodhouse, 1985; Hickman <i>et al.</i> , 1991; Riisgard, 1991; Riisgard, 1996; Newell <i>et al.</i> , 1998; Dolmer, 2000.
Bathymétrie	<ul style="list-style-type: none"> - Les élevages en suspension nécessitent d'une profondeur minimum de 4 m dans les lagunes - En milieu ouvert peut se faire entre 15 et 50 m. 	Communication personnelle (Bourque, 2005)
Type de substrat	<ul style="list-style-type: none"> - des fonds meubles sont nécessaires pour l'ancre des structures en suspension 	Communication personnelle (Bourque, 2005)

ANNEXE 3

Exigence écologique du pétoncle géant, <i>Placoplecten magellanicus</i>		
Paramètres	Juvénile et adulte	Références
Température	<ul style="list-style-type: none"> - Température optimale de croissance : entre 10 et 15°C - Limite supérieur létale : 21°C - Tolère mal les grandes variations de températures 	Stewart et Arnold, 1994, Pilditch et Grant 1999
Salinité	<ul style="list-style-type: none"> - Taux de survie optimal à des salinités caractéristiques de l'eau de mer - Seuil inférieur critique : 18 ppm - Seuil inférieur létale : 16,5 ppm - Tolère mal les grandes variations de salinités 	Stewart et Arnold, 1994; Bergman <i>et al.</i> , 1996.
Courant	<ul style="list-style-type: none"> - Vitesse optimale pour la croissance : 10 cm/s - Les courants supérieurs à 10 cm/s provoquent une inhibition de la nutrition chez les juvéniles - Le taux de filtration diminue significativement quand la vitesse du courant est inférieure à 4 cm/s ou supérieur à 10 cm/s - Les juvéniles semblent être plus affectés par l'effet inhibant du courant que les adultes 	Bricelj et Shaumway, 1991; Wildish et Saulnier, 1992; Wildish et Saulnier, 1993; Stewart et Arnold, 1994.
Disponibilité alimentaire	<ul style="list-style-type: none"> - Suspensivore se nourrissant de la matière particulaire en suspension : principalement le phytoplancton et le microzooplancton (péridinidés, tintinnides, ciliés) - La matière particulaire inorganique (MPI) à faible concentration ($\leq 0,5 \text{ mg.l}^{-1}$) semble être importante dans leur régime alimentaire pour utiliser efficacement les cellules phytoplanctoniques - A fortes concentrations, la MPI et les particules d'argiles en suspension nuisent à leur alimentation 	Bordon, 1928; Stevenson, 1936; Shumway, 1987; Grant et Cranford, 1991; Cranford et Gordon, 1992.
Bathymétrie	<p><i>Ensemencement</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Se retrouve généralement entre 18 à 110 m - Dans le Golfe du Saint Laurent, <i>P. magellanicus</i> se retrouve à des profondeurs allant de 20 à 60 m - A moins de 10 m de profondeur, le taux de survies des pétoncles ensemencés est pratiquement nul en raison du fort brassage houleux dû au vent <p><i>Élevage en suspension</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - L'élevage de pétoncle en suspension nécessite une profondeur minimum de 4 m dans les lagunes et est réalisable en milieu ouvert entre 15 et 50 m 	Mackenzie <i>et al.</i> , 1978; Serchuk <i>et al.</i> , 1982; Naidu et Anderson, 1984; Stewart et Arnold, 1994; Cliche et Giguère, 1998 (REPÈRE)
Substrat	<p><i>Ensemencement</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Se retrouve sur des substrats grossiers: principalement sur des fonds de gravier, de coquillage ou de roche - Les substrats de sable pourraient réduire la survie des juvéniles comparativement au gravier <p><i>Élevage en suspension</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - les fonds meubles sont recherchés pour installer les structures d'élevage 	Epifanio et Mootz, 1976; Mackenzie <i>et al.</i> , 1978; Langton et Robinson 1990; Thouzeau <i>et al.</i> , 1991a-b; Stewart et Arnold, 1994; Stokesbury et Himmelman, 1996.

ANNEXE 4

Fiches de synthèse par secteur

Fiche 1

Nom du secteur : Lagune du Havre-aux-Maisons

Type d'activité : Élevage de bivalve en suspension (moule/pétoncle)

Superficie : 305 ha

Évaluation : Approprié

Indice d'évaluation : 3,2 /4 (moule)

3,0 /4 (pétoncle)

Critères d'évaluation	TA (4)	A (3)	MA (2)	I (1)	Remarques
Accessibilité (distance)	+				
Accessibilité (mois/année)			+		
Bathymétrie	+				
Courant	+				
Disponibilité alimentaire		+			
Salinité	+				
Substrat	+				
Température			+		

TA : Très approprié ; A : Approprié ; MA : Moyennement approprié ; I : Inapproprié

Fiche 2

Nom du secteur : Lagune de la Grande-Entrée

Type d'activité : Élevage de bivalve en suspension (moule/pétoncle)

Superficie : 1 297 ha

Évaluation : Approprié

Indice d'évaluation : 3,2 /4 (moule)

3,0 /4 (pétoncle)

Critères d'évaluation	TA (4)	A (3)	MA (2)	I (1)	Remarques
Accessibilité (distance)	+				
Accessibilité (mois/année)			+		
Bathymétrie	+				
Courant	+				
Disponibilité alimentaire		+			
Salinité	+				
Substrat	+				
Température			+		

TA : Très approprié ; A : Approprié ; MA : Moyennement approprié ; I : Inapproprié

Fiche 3

Nom du secteur : Baie de plaisance sud (BP.S)

Type d'activité : Élevage de bivalve en suspension (moule/pétoncle)

Superficie : 9 345 ha

Évaluation : Approprié

Indice d'évaluation : 3,4 /4 (moule)

3,3 /4 (pétoncle)

Critères d'évaluation	TA (4)	A (3)	MA (2)	I (1)	Remarques
Accessibilité (distance)		+			
Accessibilité (mois/année)		+			
Bathymétrie	+				
Courant	+				
Disponibilité alimentaire		+			
Salinité	+				
Substrat	+				
Température		+			

TA : Très approprié ; A : Approprié ; MA : Moyennement approprié ; I : Inapproprié

Fiche 4

Nom du secteur : Baie de plaisance nord (BP.N)

Type d'activité : Élevage de bivalve en suspension (moule/pétoncle)

Superficie : 14 596 ha

Évaluation : Approprié *Indice d'évaluation :* 3,09 - 3,2 /4 (moule)

3,2 - 3,27 /4 (pétoncle)

Critères d'évaluation	TA (4)	A (3)	MA (2)	I (1)	Remarques
Accessibilité (distance)		+			
Accessibilité (mois/année)		+			
Bathymétrie	+				
Courant		+	+		Le manque de données scientifiques ne permet pas d'attribuer un score fixe à ce critère. Cependant, les connaissances empiriques du milieu permettent d'admettre que le courant varie de moyennement approprié à approprié dans cette zone.
Disponibilité alimentaire		+			
Salinité	+				
Substrat		+			
Température		+			

TA : Très approprié ; A : Approprié ; MA : Moyennement approprié ; I : Inapproprié

Fiche 5

Nom du secteur : Pearl Reef

Type d'activité : Élevage de bivalve en suspension (moule/pétoncle)

Superficie : 61 659 ha

Évaluation : Moyennement approprié

Indice d'évaluation : 2,7-2,8 /4 (moule)

2,84-3 /4 (pétoncle)

Critères d'évaluation	TA (4)	A (3)	MA (2)	I (1)	Remarques
Accessibilité (distance)			+		
Accessibilité (mois/année)			+		
Bathymétrie		+			
Courant			+		
Disponibilité alimentaire		+			
Salinité	+				
Substrat		+	+		D'après l'étude sur la caractérisation des fonds de Provencher <i>et al.</i> , (1997), certains secteurs de cette zone sont approprié pour l'enrage de filières, alors que d'autre ne sont que moyennement appropriés
Température		+			

TA : Très approprié ; A : Approprié ; MA : Moyennement approprié ; I : Inapproprié

Fiche 6

Nom du secteur : Sud des Îles

Type d'activité : Élevage de bivalve en suspension (moule/pétoncle)

Superficie : 48 939 ha

Évaluation : Inapproprié

Indice d'évaluation : 2,3-2,7 /4 (moule)

2,7-2,85 /4 (pétoncle)

Critères d'évaluation	TA (4)	A (3)	MA (2)	I (1)	Remarques
Accessibilité (distance)		+		+	Étant donnée la superficie de ce site, certaines zones sont situées à des distances jugées appropriées, alors que d'autres, situées à l'extrême sud, sont jugées inappropriées.
Accessibilité (mois/année)			+		
Bathymétrie	+				
Courant				+	
Disponibilité alimentaire		+			
Salinité	+				
Substrat		+		+	D'après l'étude sur la caractérisation des fonds de Provencher et al., (1997) le type de substrat sur ce site varie d'approprié à inapproprié pour l'encrage de filières.
Température		+			

TA : Très approprié ; A : Approprié ; MA : Moyennement approprié ; I : Inapproprié

Fiche 7

Nom du secteur : Sud-est

Type d'activité : Élevage de bivalve en suspension (moule/pétoncle)

Superficie : 234 238 ha

Évaluation : Moyennement approprié à inapproprié

Indice d'évaluation : 2,3-2,6 /4 (moule)

2,6-2,78 /4 (pétoncle)

Critères d'évaluation	TA (4)	A (3)	MA (2)	I (1)	Remarques
Accessibilité (distance)			+	+	Étant donnée la superficie de ce site, certaines zones sont situées à des distances jugées moyennement appropriées, alors que d'autres, situées en périphérie sont jugées inappropriées.
Accessibilité (mois/année)			+		
Bathymétrie			+		
Courant			+	+	Le manque de données scientifiques ne permet pas d'attribuer un score fixe à ce critère. Cependant, les connaissances empiriques du milieu permettent d'admettre que le courant varie de moyennement approprié à inapproprié dans cette zone
Disponibilité alimentaire		+			
Salinité	+				
Substrat	+		→ +		D'après l'étude sur la caractérisation des fonds de Provencher et al., (1997), le type de substrat varie sur ce site de très approprié à moyennement approprié pour l'enrage de filières.
Température		+			

TA : Très approprié ; A : Approprié ; MA : Moyennement approprié ; I : Inapproprié

Fiche 8

Nom du secteur : Baie de plaisance

Type d'activité : Ensemencement de pétoncle géant

Superficie : 19 484 ha

Évaluation : Moyennement approprié *Indice d'évaluation :* 2,88 /4

Critères d'évaluation	TA (4)	A (3)	MA (2)	I (1)	Remarques
Courant		+			
Disponibilité alimentaire		+			
Salinité	+				
Substrat			+		
Température		+			

TA : Très approprié ; A : Approprié ; MA : Moyennement approprié ; I : Inapproprié

Fiche 9

Nom du secteur : Pearl Reef

Type d'activité : Ensemencement de pétoncle géant

Superficie : 43 563 ha

Évaluation : Approprié *Indice d'évaluation :* 3,14 /4

Critères d'évaluation	TA (4)	A (3)	MA (2)	I (1)	Remarques
Courant		+			
Disponibilité alimentaire		+			
Salinité	+				
Substrat		+			
Température		+			

TA : Très approprié ; A : Approprié ; MA : Moyennement approprié ; I : Inapproprié

Fiche 10

Nom du secteur : Sud des Îles est

Type d'activité : Ensemencement de pétoncle géant

Superficie : 43 160 ha

Évaluation : Approprié *Indice d'évaluation :* 3,27 /4

Critères d'évaluation	TA (4)	A (3)	MA (2)	I (1)	Remarques
Courant			+		
Disponibilité alimentaire		+			
Salinité	+				
Substrat	+				
Température		+			

TA : Très approprié ; A : Approprié ; MA : Moyennement approprié ; I : Inapproprié

Fiche 11

Nom du secteur : Sud des Îles ouest

Type d'activité : Ensemencement de pétoncle géant

Superficie : 47 418 ha

Évaluation : Moyennement approprié *Indice d'évaluation :* 2,75 /4

Critères d'évaluation	TA (4)	A (3)	MA (2)	I (1)	Remarques
Courant			+		
Disponibilité alimentaire		+			
Salinité	+				
Substrat			+		
Température		+			

TA : Très approprié ; A : Approprié ; MA : Moyennement approprié ; I : Inapproprié

Fiche 12

Nom du secteur : Pointe du Ouest

Type d'activité : Ensemencement de pétoncle géant

Superficie : 56 999 ha

Évaluation : Approprié *Indice d'évaluation :* 3,01-3,27 /4

Critères d'évaluation	TA (4)	A (3)	MA (2)	I (1)	Remarques
Bathymétrie	+				
Courant			+		
Disponibilité alimentaire		+			
Salinité	+				
Substrat	+	+			D'après l'étude sur la caractérisation des fonds de Provencher <i>et al.</i> , (1997), le type de substrat varie sur ce site de très approprié à approprié pour l'ensemencement de pétoncles.
Température		+			

TA : Très approprié ; A : Approprié ; MA : Moyennement approprié ; I : Inapproprié

Fiche 13

Nom du secteur : Sud-Est

Type d'activité : Ensemencement de pétoncle géant

Superficie : 368 937 ha

Évaluation : Moyennement approprié

Indice d'évaluation : 2,5-2,88 /4

Critères d'évaluation	TA (4)	A (3)	MA (2)	I (1)	Remarques
Bathymétrie	+				
Courant		+	+		
Disponibilité alimentaire		+			
Salinité	+				
Substrat			+	(+)	D'après l'étude sur la caractérisation des fonds de Provencher <i>et al</i> (1997), le type de substrat sur ce site est principalement moyennement approprié. Cependant, quelques parcelles minimales présentent des substrats inappropriés pour l'ensemencement de pétoncles.
Température		+			

TA : Très approprié ; A : Approprié ; MA : Moyennement approprié ; I : Inapproprié

Fiche 14

Nom du secteur : Nord-Ouest

Type d'activité : Ensemencement de pétoncle géant

Superficie : 177 076 ha

Évaluation : Approprié à moyennement approprié

Indice d'évaluation : 2,5-3,14 /4

Critères d'évaluation	TA (4)	A (3)	MA (2)	I (1)	Remarques
Bathymétrie	+				
Courant		+	+		
Disponibilité alimentaire		+			
Salinité	+				
Substrat		+	+	(+)	D'après l'étude sur la caractérisation des fonds de Provencher <i>et al</i> (1997) le type de substrat varie sur ce site d'approprié à moyennement approprié pour l'ensemencement de pétoncles. De plus quelques parcelles minimes de faibles superficies ont un substrat inapproprié dans ce secteur.
Température		+			

TA : Très approprié ; A : Approprié ; MA : Moyennement approprié ; I : Inapproprié

Fiche 15

Nom du secteur : Brion

Type d'activité : Ensemencement de pétoncle géant

Superficie : 71 866 ha

Évaluation : Approprié

Indice d'évaluation : 3,27-3,4 /4

Critères d'évaluation	TA (4)	A (3)	MA (2)	I (1)	Remarques
Bathymétrie	+				
Courant		+	+		
Disponibilité alimentaire		+			
Salinité	+				
Substrat	+				
Température		+			

TA : Très approprié ; A : Approprié ; MA : Moyennement approprié ; I : Inapproprié