

État des connaissances
sur la végétation de la rive
sud du lac Saint-Pierre

État des connaissances sur la végétation de la rive sud du lac Saint-Pierre

Sophie Lalonde

et

Brigitte Cusson et Darcy Longpré
Interventions et restauration

Publié avec l'autorisation du ministre de l'Environnement
©Travaux publics et Services gouvernementaux, 2003
No de catalogue En154-6/2003F
ISBN 0-662-88562-7

Résumé

La portion sud lac Saint-Pierre a été le site de tests effectués par le Centre d'Essais et d'Expérimentation en Munitions (CEEM) de Nicolet du ministère de la Défense nationale (MDN). Environ 300 000 projectiles seraient toujours présents dans le lac, dont 8000 potentiellement dangereux. Pour des raisons de sécurité, un projet d'enlèvement des munitions de la zone de tir est actuellement en développement. De tels travaux engendreraient fort probablement des effets environnementaux sur les milieux humides du secteur visé. Des connaissances préalables de l'état de la végétation sont donc nécessaires, mais les données historiques et récentes sur les herbiers et les marais sont rares en raison des restrictions d'accès au site. Une mise à jour des connaissances montre que *Vallisneria americana* domine les herbiers et que la diversité végétale est plus grande à proximité des rives. Les marais sont constitués d'assemblages diversifiés où, toutefois, les grands marais à scirpes semblent moins dominants que ce qui a été décrit lors d'inventaires plus anciens. Des grandes superficies demeurent encore non couvertes par des inventaires récents. Les données présentées sont donc très fragmentaires, particulièrement en ce qui concerne la progression des espèces envahissantes et les espèces rares. Il existe peu d'études sur les effets des détonations et de la circulation de véhicules sur la végétation des milieux humides d'eau douce. Il est cependant essentiel de connaître les modes de reproduction et de régénération des espèces typiques pour évaluer les réactions des espèces aux perturbations. Les espèces submergées du lac Saint-Pierre persistent et se régénèrent végétativement par divers types d'organes qui colonisent le milieu plus ou moins rapidement. Les espèces émergentes persistent surtout sous forme de rhizomes. Leur régénération est rapide quand les structures souterraines ne sont pas perturbées. Lorsque les sédiments et les racines sont atteints en profondeur, la composition végétale est modifiée, les ouvertures persistent longtemps et peuvent constituer des voies d'entrée pour les espèces envahissantes. De fait, les résultats de la première étude de terrain sur les effets de la circulation dans le secteur d'intérêt montrent que sur sols humides, le chemin, plus creux, ne s'est pas refermé, alors que sur sols plus fermes, la régénération est meilleure même si les plantes sont moins hautes. Des recommandations pour le suivi environnemental d'éventuels travaux d'enlèvement de munitions sont formulées.

Abstract

The southern portion of Lake St. Pierre was the test site for the Department of National Defence's Nicolet Munitions Experimentation Training Centre (METC). Approximately 300 000 projectiles remain in the lake today, of which 8000 are potentially dangerous. For security reasons, a munitions removal project is under development. Such a project could generate environmental effects in the wetlands of the target sector. Although prior knowledge regarding the state of vegetation in this sector is necessary, little historical and recent data is available for this sector owing to the restricted access to the site. A revision and update of our knowledge of the vegetation on the site shows that *Vallisneria americana* is the dominant aquatic bed species and that plant diversity is higher close to shore. The emergent wetlands are composed of diverse assemblages of species, however, the vast bulrush marshes described in previous inventories were not identified through this study. Large areas remain uncovered by recent inventories. The data presented is therefore fragmentary, particularly regarding the progression of rare and invasive species. Few studies exist that describe the effects of detonations and vehicle traffic in freshwater wetlands. In order to evaluate the reaction of different species to perturbations it is essential that the reproductive and regenerative strategies of the different species be known. The submerged species found in Lake St. Pierre ensure their persistence through vegetative regeneration via various types of organs that can colonize bare spaces at varying rates. Emergent plant species normally persist via their rhizomes. Therefore regeneration of these species is generally rapid when belowground structures are not disturbed. Deep sediment and root disturbances modify plant composition and the subsequent openings in the vegetative cover can persist for long periods creating a colonisation opportunity for invasive species. In fact, results from the first field study indicate that disturbances in wet, softer sediment created a deeper path that did not recover within one year whereas disturbances on firmer sediment did not lead to openings although vegetation was shorter than elsewhere. Recommendations for the environmental monitoring of future work involving the removal of projectiles will be discussed.

Équipe de projet

Comité scientifique

Sophie Lalonde	Direction de la protection de l'environnement, Environnement Canada
Brigitte Cusson	Direction de la protection de l'environnement, Environnement Canada
Darcy Longpré	Direction de la protection de l'environnement, Environnement Canada
Vincent Jarry	Direction de la protection de l'environnement, Environnement Canada
Alain Armellin	Centre Saint-Laurent, Environnement Canada
Martin Jean	Centre Saint-Laurent, Environnement Canada
Caroline Savage	Centre Saint-Laurent, Environnement Canada

Remerciements

La réalisation de ce projet a largement bénéficié de la collaboration de nombreuses personnes. Marc Leblanc, Raymond Gagnon et le capitaine Roger Blanchard du Centre d'Essais et d'Expérimentation en Munitions (CEEM) de Nicolet ont grandement facilité les déplacements et l'échantillonnage sur le territoire de la Défense nationale.

Les auteurs tiennent à remercier les scientifiques du Centre Saint-Laurent d'Environnement Canada qui ont aimablement fourni des données récentes sur la végétation des milieux humides de la rive sud du lac Saint-Pierre : Christiane Hudon et Jean-Pierre Amyot, Martin Jean et Guy Létourneau. Il faut souligner la collaboration de Guy Létourneau qui a aussi réalisé la carte des milieux humides de la rive sud du lac Saint-Pierre ainsi que la carte du site d'étude.

Les auteurs remercient également Jean Morin du Service météorologique du Canada (Hydrologie, Environnement Canada) pour avoir mis à leur disposition la carte des plantes submergées du lac Saint-Pierre.

Jacques Labrecque et Guy Jolicoeur (Centre de données sur le patrimoine naturel du Québec, Gouvernement du Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction du patrimoine écologique et du développement durable) ont fourni les données mises à jour sur les espèces végétales susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables dans la région du lac Saint-Pierre.

Il faut également souligner l'apport significatif de Jean-François Bélanger (bibliothécaire de référence, Environnement Canada) à la recherche bibliographique ainsi que la collaboration de Carmen Joseph (documentaliste, Environnement Canada) pour la recherche des documents. Les auteurs remercient aussi Marc Provencher (Direction de la protection de l'environnement, Environnement Canada) qui a réalisé la carte du lac Saint-Pierre et Michel Arseneault (Centre Saint-Laurent, Environnement Canada) pour le prêt de matériel d'échantillonnage.

Nous remercions Alan Willsie pour avoir porté à notre attention l'existence d'une référence sur les effets d'un bombardement dans des herbiers marins ainsi que pour ses judicieux commentaires qui ont contribué à améliorer ce rapport.

Table des matières

RÉSUMÉ	v
ABSTRACT	vi
ÉQUIPE DE TRAVAIL	vii
REMERCIEMENTS	viii
LISTE DES FIGURES	xiii
LISTE DES TABLEAUX	xv
LISTE DES ABRÉVIATIONS	xvi
DÉFINITIONS	xvii
1 INTRODUCTION	1
2 DESCRIPTION DU SITE	5
2.1 LOCALISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE	5
2.2 MILIEU PHYSIQUE	8
2.2.1 Dépôts de surface	8
2.2.2 Hydrologie et hydrodynamique	8
2.2.3 Vents et vagues	9
2.2.4 État des rives	9
2.2.5 Sédiments et dynamique sédimentaire	10
2.2.6 Qualité de l'eau	11
2.2.7 Glaces	11
2.2.8 Plaine de débordement	14
3 ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LA VÉGÉTATION DU LAC SAINT-PIERRE	17
3.1 DÉFINITIONS	17
3.2 SUPERFICIE DES MILIEUX HUMIDES SUR LA RIVE SUD DU LAC SAINT-PIERRE	18
3.3 DONNÉES HISTORIQUES	23
3.4 DONNÉES RÉCENTES	24
3.5 HERBIERS AQUATIQUES	26

3.5.1	Données historiques	26
3.5.2	Données récentes	27
3.5.3	Tendances - herbiers aquatiques	29
3.6	MARAIS PROFONDS ET PEU PROFONDS	31
3.6.1	Données historiques	31
3.6.1.1	Marais profonds	31
3.6.1.2	Marais peu profonds	31
3.6.2	Données récentes	33
3.6.3	Tendances - marais	34
3.7	PRAIRIES HUMIDES	35
3.7.1	Données historiques	35
3.7.2	Données récentes	36
3.7.3	Tendances - prairies humides	36
3.8	MARÉCAGES	37
3.8.1	Données historiques	37
3.8.2	Données récentes	37
3.8.3	Tendances - marécages	38
3.9	PLANTES INTRODUITES ET ENVAHISSANTES	38
3.10	PLANTES RARES, VULNÉRABLES OU MENACÉES	41
3.11	BILAN	42
4	PERTURBATIONS PHYSIQUES ET RÉGÉNÉRATION VÉGÉTALE DANS LES MILIEUX HUMIDES - REVUE DE LITTÉRATURE	45
4.1	INTRODUCTION	45
4.2	MÉTHODOLOGIE	45
4.3	TYPES DE PERTURBATIONS APPRÉHENDÉES DANS LA ZONE DE TIR	45
4.4	IMPACTS DE LA CIRCULATION DE VÉHICULES SUR LES SOLS ET LA VÉGÉTATION	46
4.4.1	Effets sur les sols	46
4.4.2	Effets sur la végétation	47
4.5	EFFETS DES EXPLOSIONS DANS L'EAU ET À L'AIR LIBRE	48
4.5.1	Effets des explosions subaquatiques sur les plantes	49

4.5.2	Colonisation des cratères d'explosion	50
4.5.3	Mesures d'atténuation des impacts sous l'eau	51
4.6	PERTURBATIONS PHYSIQUES	52
4.7	MODES DE RÉGÉNÉRATION NATURELLE	54
4.7.1	Macrophytes submergés	57
4.7.2	Plantes émergentes	60
4.8	SOURCE DE PROPAGULES – MODES DE COLONISATION	63
4.8.1	Colonisation de zones dénudées - herbiers submergés	65
4.8.2	Colonisation de zones dénudées - plantes émergentes	68
4.9	BILAN	71
5	IMPACT DE L'ENLÈVEMENT DE MUNITIONS SUR LA VÉGÉTATION DES MILIEUX HUMIDES DE LA RIVE SUD DU LAC SAINT-PIERRE	73
5.1	CONTEXTE ET OBJECTIFS	73
5.2	MATÉRIEL ET MÉTHODES	74
5.2.1	Choix des sites d'échantillonnage	74
5.2.2	Échantillonnage de la végétation	76
5.2.3	Caractéristiques des transects	77
5.2.4	Analyses des données	78
5.3	RÉSULTATS ET DISCUSSION	78
5.3.1	Description des transects	78
5.3.2	Diversité végétale	79
5.3.3	Nombre d'espèces	85
5.3.4	Recouvrement de la végétation	87
5.3.4.1	Espèces exotiques et envahissantes	91
5.3.4.2	Cas spécifiques	95
5.3.5	Hauteur et abondance de la végétation	96
5.3.5.1	Cas spécifiques	98
5.4	BILAN	99
6	CONCLUSIONS	103
7	RECOMMANDATIONS	105

RÉFÉRENCES	109
ANNEXES	121
1 Liste des noms latins, français et anglais de plantes	123
2 Liste des espèces répertoriées par Hudon et Amyot (CSL, EC)	125
3 Espèces répertoriées en 2000 sur la rive sud du lac Saint-Pierre par Jean et Létourneau (CSL, EC)	129
4 Espèces récoltées en octobre 1999 et 2000 dans le cadre de l'étude de caractérisation des sédiments du secteur sud du lac Saint-Pierre	131
5 Méthodologie de recherche bibliographique	133
6 Protocole d'échantillonnage	136
7 Feuille de terrain type utilisée pour effectuer les relevés de végétation	138
8 Données brutes de l'échantillonnage de la végétation le long du chemin	141

Liste des figures

Figure 1	Carte du lac Saint-Pierre présentant les limites de la zone de tir, des terres du ministère de la Défense nationale, du refuge d'oiseaux migrateurs et de la zone d'étude (été 2002)	6
Figure 2	Carte bathymétrique du lac Saint-Pierre	7
Figure 3	Hydrosère typique des milieux humides du Saint-Laurent (figure tirée de Gauthier, 1997)	20
Figure 4	Carte des milieux humides de la rive sud du lac Saint-Pierre (image MEIS-II, septembre 2000) et limites de la zone de tir (Létourneau, 2002)	22
Figure 5	Carte de la répartition des espèces de plantes submergées dominantes au lac Saint-Pierre en 2000 et localisation des transects permanents de Hudon et Amyot	30
Figure 6	Localisation des six transects échantillonnés le long du chemin reliant le P.O. 6 et le P.O. 5, à l'est de la Longue Pointe, territoire du CEEM (MDN)	75
Figure 7	Nombre d'espèces de plantes (moyenne \pm intervalle de confiance à 95 %)/quadrat et nombre moyen d'espèces exotiques et envahissantes/quadrat	85
Figure 8	Nombre moyen d'espèces végétales/quadrat qui accompagnent les espèces exotiques et envahissantes lorsqu'elles sont présentes	86
Figure 9	Recouvrement moyen (%) (\pm intervalle de confiance 95 %)/quadrat	89
Figure 10	Pourcentage de recouvrement total des plantes émergentes/quadrat pour les six transects en fonction de la distance par rapport au centre du chemin	90
Figure 11	Rapport recouvrement spécifique/recouvrement total pour 5 espèces exotiques et envahissantes, à chacune des distances par rapport au centre du chemin	93
Figure 12	Fréquence relative (%) des classes de recouvrement pour les six espèces exotiques et envahissantes	94
Figure 13	Recouvrement de quatre espèces en fonction de la distance du centre du chemin	95
Figure 14	Hauteur moyenne (cm) (\pm intervalle de confiance 95 %)/quadrat des plantes à diverses distances par rapport au centre du chemin reliant le P.O. 6 et le P.O. 5	96
Figure 15	Hauteur moyenne (cm) des plantes/quadrat à diverses distances par rapport au centre du chemin pour les six transects échantillonnés	97

Figure 16 Abondance moyenne (\pm intervalle de confiance 95 %)/quadrat des plantes à
diverses distances par rapport au centre du chemin reliant le P.O. 6 et le P.O. 5 97

Figure 17 Hauteur (cm) de quatre espèces en fonction de la distance du centre du chemin 98

Liste des tableaux

Tableau 1	Superficies des milieux humides sur la rive sud du lac Saint-Pierre	21
Tableau 2	Liste des espèces végétales susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables au lac Saint-Pierre	43
Tableau 3	Principaux modes de propagation des espèces de macrophytes submergés et de plantes émergentes susceptibles d'être retrouvées dans les herbiers aquatiques et les marais du lac Saint-Pierre	55
Tableau 4	Cote et classes de recouvrement utilisées pour estimer la superficie occupée par les diverses espèces retrouvées dans les quadrats	77
Tableau 5	Localisation des six transects échantillonnés	77
Tableau 6	Caractéristiques des six transects	79
Tableau 7	Liste des espèces répertoriées le long du chemin reliant le P.O. 5 et le P.O. 6, à l'est de la Longue Pointe, territoire du MDN au lac Saint-Pierre	80
Tableau 8	Nombre total d'espèces et nombre d'espèces exotiques et envahissantes par transect	81
Tableau 9	Recouvrement, hauteur et abondance des 36 espèces de plantes répertoriées, présentés en ordre décroissant de constance	83
Tableau 10	Recouvrement moyen (%) de chaque espèce par transect et effectif (n). Les valeurs en caractères gras indiquent les espèces présentes à tous les transects	84

Liste des abréviations

CEEM	Centre d'Essais et d'Expérimentation en Munitions de Nicolet
CSL	Centre Saint-Laurent
DPE	Direction de la protection de l'environnement
EC	Environnement Canada
MDN	Ministère de la Défense nationale
SCF	Service canadien de la faune
SMC	Service météorologique du Canada

Définitions

Alluvion : Argile, limon, sable, gravier, cailloux ou autres matériaux détritiques déposés par l'eau.

Anthropique : Dont la formation résulte essentiellement de l'action humaine, en parlant d'un paysage, d'un sol, etc.

Étiage : Niveau le plus bas d'un cours d'eau.

Extirpée : Se dit d'une espèce disparue d'un endroit donné, mais encore présente ailleurs.

Hélophyte : Plante des marais enracinée et bourgeonnant dans la vase du fond de l'eau, mais dont le sommet émerge à l'air libre, telle que la quenouille, la sagittaire, divers roseaux.

Hydrophyte : Espèce végétale vivant en permanence dans un milieu humide, pouvant être partiellement ou totalement immergée, enracinée dans le fond d'un plan d'eau ou flottant librement à sa surface.

Hydrosère : Sur un site donné, ensemble des écosystèmes aquatiques, semi-aquatiques, marécageux et terrestres qui suivent le gradient allant de l'eau libre jusqu'à la forêt humide.

Hygrophile : Se dit d'une plante qui se développe mieux dans les lieux humides.

Macrophyte : Grandes plantes aquatiques.

Multiplication végétative : Type de reproduction dans laquelle différentes parties d'une plante peuvent donner séparément naissance à une plante entière.

Propagule : Fragment d'individu, produit sexuellement (graines) ou végétativement (fragments, boutures, bourgeons, tubercules, bulbes), susceptible de redonner un individu complet.

Riparienne : Se dit de tout ce qui est situé sur les rives d'un cours d'eau ou d'une étendue d'eau.

Rhizome : Tige souterraine vivace émettant des racines et des tiges aériennes.

Stolon : Nouvelle pousse rampante qui naît à la base d'une tige, émet des racines et sert à la multiplication de la plante.

Tubercule : Renflement souterrain de la tige ou de la racine.

Tubérifère : Qui porte des tubercules.

Turion : Bourgeons hivernaux qui se développent à la fin de la saison de croissance et se détachent lorsque la plante se décompose à l'automne.

Vasculaire : Se dit des plantes qui renferment des vaisseaux, c'est-à-dire des tubes destinés à la circulation des liquides.

1 Introduction

Le lac Saint-Pierre, immense élargissement du fleuve Saint-Laurent, est reconnu pour ses milieux humides propices au développement d'une flore et d'une faune abondantes et diversifiées. Sur la rive sud du lac se trouve le Centre d'Essais et d'Expérimentation en Munitions (CEEM) de Nicolet du ministère de la Défense nationale (MDN). Depuis 1952, le CEEM effectue des tests d'homologation qui ont conduit au tir de près de un demi-million de projectiles. On estime à 300 000 le nombre de ces projectiles tirés dans le lac Saint-Pierre. En effet, jusqu'au 1^{er} janvier 2000, les tirs étaient dirigés vers le lac et tombaient dans l'eau ou sur la glace. Le MDN a procédé à la récupération des projectiles lorsque c'était possible, sur la glace ou sur les rives, mais pas au fond de l'eau. Parmi ces projectiles, un nombre maximum de 8000 seraient potentiellement dangereux parce qu'ils n'ont pas détoné ou qu'ils contiennent des composantes énergétiques. Un projet d'enlèvement des munitions de la zone de tir, qui couvre tout le lac au sud de la voie maritime, est actuellement en développement par le MDN pour des raisons de sécurité.

Un programme d'enlèvement de munitions d'une telle envergure peut difficilement se faire sans effets sur l'environnement, particulièrement sur les plantes aquatiques et de rivages qui jouent un rôle clé dans la structure et le fonctionnement de l'écosystème du lac Saint-Pierre. La recherche et l'enlèvement de munitions dans une portion aussi vaste du lac va sans doute nécessiter la création de nombreux chemins et sentiers pour le transport des équipes de travail, ainsi que pour le ratissage des secteurs ciblés. Aussi, environ 8000 cratères de détonation de taille variable pourrait être produits par la destruction *in situ* des munitions jugées dangereuses.

La richesse de cet écosystème est reconnue tant au plan local, national qu'international. Son inscription sur la liste de la Convention de Ramsar depuis mai 1998 confère à ses milieux humides un statut d'importance internationale. De plus, le lac Saint-Pierre a été désigné Réserve de la biosphère par l'Unesco (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture) en novembre 2000, grâce aux intervenants de la région qui se sont mobilisés en faveur de ce projet susceptible de contribuer au développement durable de cette portion du fleuve particulièrement riche sur le plan de la diversité biologique (*Le Fleuve*, 2001). La population riveraine du lac Saint-Pierre compte au-delà de 85 000 habitants et plusieurs activités humaines sont menées sur le territoire : agriculture, chasse, pêche, aménagements

fauniques, villégiature, navigation de plaisance et marchande, commerce et industrie légère (*Le Fleuve*, 2001). En raison de la présence du champ de tir et de l'inaccessibilité aux terres du CEEM (propriété du MDN), ces dernières ont fait l'objet de nettement moins d'aménagements que le reste des rives du lac Saint-Pierre et constituent, paradoxalement, un site peu perturbé par les activités humaines. Les milieux humides des berges du CEEM (marais, prairies humides et marécages) forment un ensemble de sites relativement intacts et des plus représentatifs du fleuve Saint-Laurent.

Le travail présenté dans le cadre du présent document fait suite à une recommandation du groupe de travail « environnement » du Comité directeur pour l'enlèvement des munitions du champ de tir du lac Saint-Pierre. Le groupe a en effet souligné l'importance de bien faire le point sur les connaissances actuelles de la végétation aquatique et riparienne de façon à pouvoir, si nécessaire, combler les lacunes et définir les besoins sur le plan des futures études à réaliser. Le groupe a également réitéré sa position sur la nécessité d'effectuer un suivi des travaux de ratissage menés en berge afin d'évaluer les impacts de ces activités.

Pour évaluer les effets potentiels des perturbations humaines sur la végétation des milieux humides de la rive sud du lac Saint-Pierre, il faut déterminer l'état actuel du milieu et plus particulièrement de la végétation aquatique et riparienne, élément structurant majeur de cet écosystème. Il faut aussi tenir compte des modes de reproduction et de propagation des espèces présentes dans la zone d'intérêt afin d'évaluer leurs réactions éventuelles aux perturbations physiques ainsi que leurs capacités de régénération et de colonisation des ouvertures.

Les perturbations naturelles sont un phénomène connu de la dynamique des écosystèmes, les façonnant et contribuant à leur diversité biologique. Les milieux humides du Saint-Laurent ne font pas exception et sont particulièrement exposés à de nombreuses perturbations naturelles, saisonnières ou annuelles. La création soudaine d'ouvertures permet l'établissement d'espèces végétales qui ne peuvent s'installer parmi des plantes très denses et de ce fait contribue au maintien de la diversité végétale. Cependant, elle constitue aussi une occasion propice à la colonisation par les plantes exotiques et envahissantes.

Malgré la très grande importance des milieux humides pour la diversité biologique et les activités humaines, on dispose de très peu de données récentes pour ce secteur du lac Saint-Pierre en raison des restrictions d'accès au site et des dangers potentiels liés à la présence de munitions non explosées. Il devient donc primordial de colliger et d'acquérir, avant les travaux, des

connaissances de terrain ainsi que de la littérature portant sur l'effet des perturbations physiques et la capacité des plantes à y réagir.

Ce rapport a donc pour objectifs la mise à jour des connaissances sur la végétation du lac Saint-Pierre, la réalisation d'une synthèse bibliographique sur les modes de régénération des espèces présentes dans la portion sud du lac, sur les effets des perturbations physiques sur les milieux humides ainsi que sur la colonisation des milieux perturbés, et enfin, la présentation des activités d'échantillonnage réalisées à l'été 2002 ainsi que l'analyse des données. Des recommandations seront formulées quant aux modalités de nettoyage du champ de tir et des mesures d'atténuation des effets seront suggérées le cas échéant.

2 Description du site

2.1 LOCALISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Situé entre Sorel et Trois-Rivières, le lac Saint-Pierre est le dernier grand élargissement du fleuve Saint-Laurent avant l'estuaire. Il couvre environ 480 km² et se divise en deux secteurs : un archipel composé d'une centaine d'îles en amont et un vaste lac peu profond en aval, lui-même séparé en sections nord et sud par la voie maritime (figure 1) (Benoît *et al.*, 1987; Langlois *et al.*, 1992).

La zone de tir du Centre d'Essais et d'Expérimentation en Munitions de Nicolet (CEEM) utilisée par le MDN occupe pratiquement toute la partie du lac située au sud de la voie maritime (environ 23 km par 7 km; Burton, 1991) et les limites de cette zone, désignée CYR 606, sont illustrées à la figure 1. Cette portion du fleuve n'est pas la propriété du MDN. Les terres du CEEM occupent une bande d'environ 20 km de longueur par un km de largeur (environ 1950 ha) le long de la rive sud, entre la rivière Nicolet et la Longue Pointe (Langlois *et al.*, 1992). Ces terres, de tenure publique, sont d'accès limité.

Afin d'assurer la sécurité des personnes et de protéger la faune, les terres du CEEM ainsi qu'une bande s'étendant de l'embouchure de la rivière Nicolet à la Longue Pointe, large de un km à partir de la ligne des hautes eaux (rivage), ont été désignées refuge d'oiseaux migrateurs (figure 1), territoire protégé en vertu de la *Loi sur les oiseaux migrateurs* et de la *Loi sur la défense nationale* (Benoît *et al.*, 1988; *Le Fleuve*, 2001). Le refuge d'oiseaux migrateurs de Nicolet couvre une superficie de 2835 ha (SCF, 2002).

Il existe plusieurs synthèses des connaissances bio-physiques du lac Saint-Pierre (Benoît *et al.*, 1987, 1988; Hardy *et al.*, 1991; Langlois *et al.* 1992; Sylvestre *et al.*, 1992; Cusson et Latreille, 2003). Dans ce chapitre, les caractéristiques physico-chimiques qui influencent particulièrement la végétation des milieux humides seront résumées. Puisque le projet d'enlèvement de munitions au lac Saint-Pierre vise essentiellement la zone de tir (CYR 606), ce résumé portera surtout sur les renseignements relatifs à la portion du lac située au sud de la voie maritime. Les lecteurs désireux d'approfondir certains aspects pourront consulter les diverses publications citées en référence.

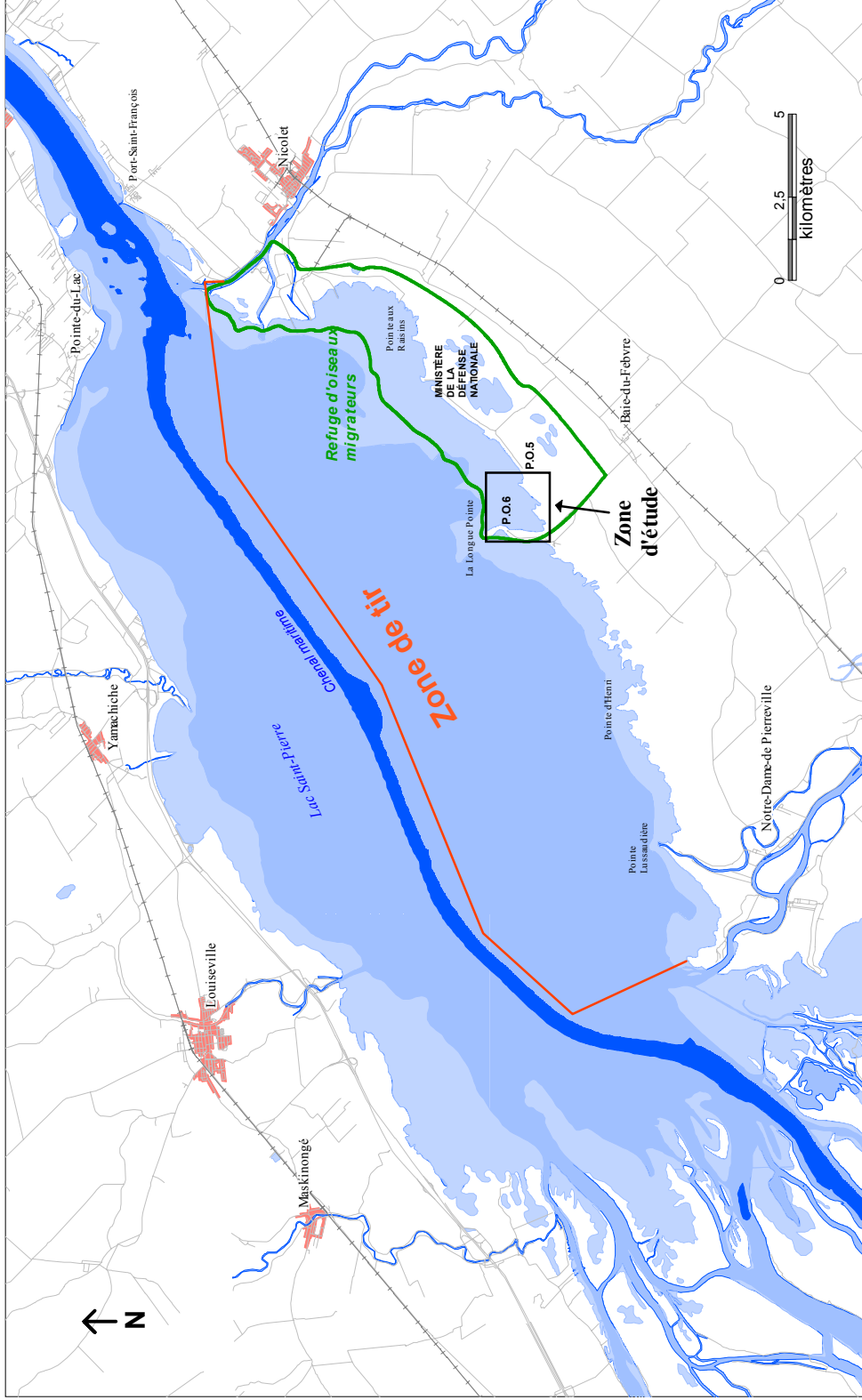
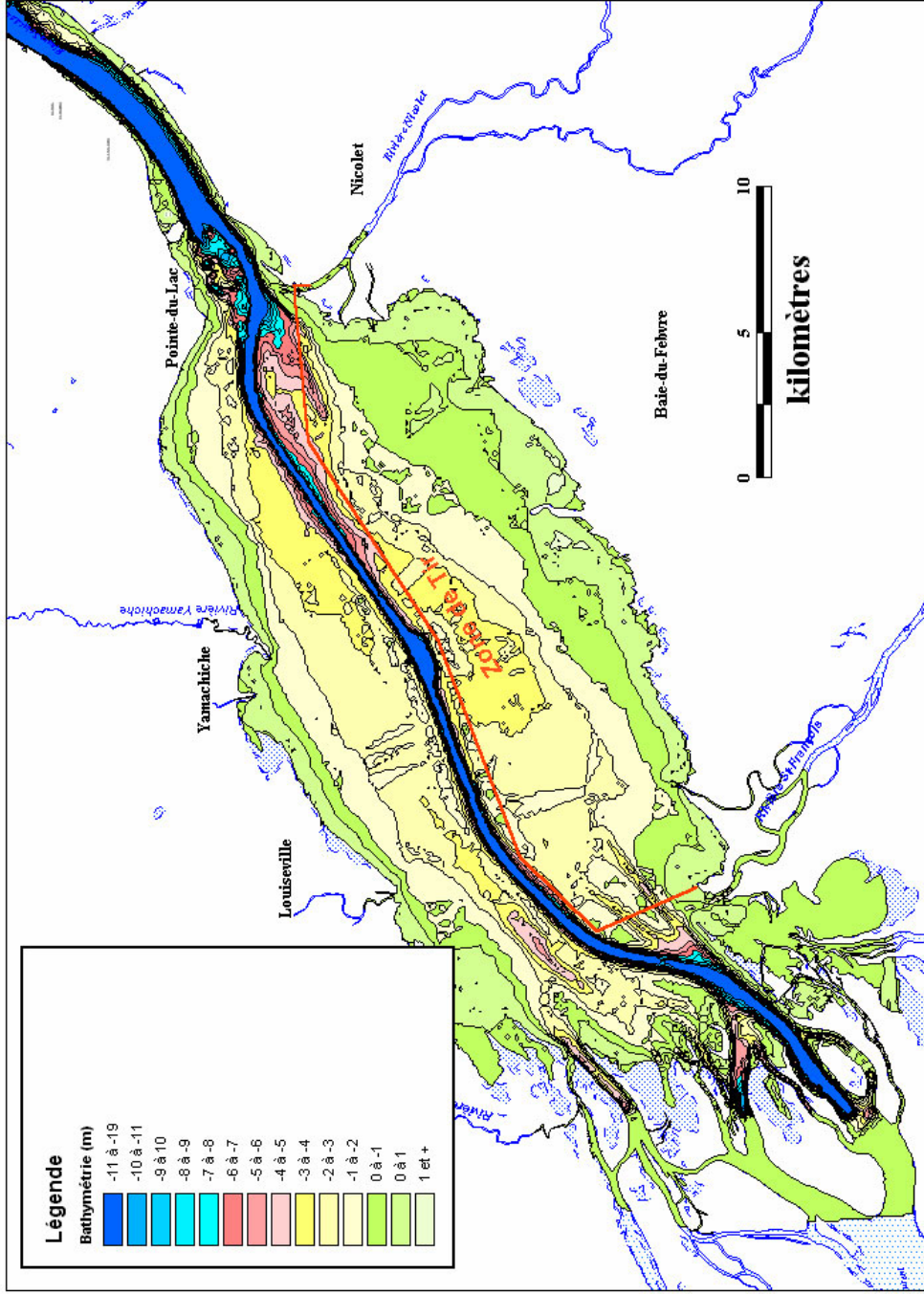


Figure 1 Carte du lac Saint-Pierre présentant les limites de la zone de tir, des terres du ministère de la Défense nationale, du refuge d'oiseaux migrants et de la zone d'étude (été 2002)




 Equipement
 Canada

Equipement
 Canada

Figure 2 Carte bathymétrique du lac Saint-Pierre

2.2 MILIEU PHYSIQUE

2.2.1 Dépôts de surface

La région du lac Saint-Pierre fait partie de l'unité physiographique des basses terres de la vallée du Saint-Laurent, bordée par les Laurentides au nord et par les Appalaches au sud (Benoît *et al.*, 1987). Selon Gratton *et al.* (1998), elle appartient à la région naturelle de la plaine du Haut-Saint-Laurent et les rives du lac se situent dans l'ensemble physiographique de la cuvette du lac Saint-Pierre qui correspond à la plaine inondable au relief très peu accidenté. La rive sud et la presque totalité des terres du CEEM se composent d'alluvions sableuses et vaseuses récentes recouvrant l'argile de la mer de Champlain (Gratton *et al.*, 1998).

2.2.2 Hydrologie et hydrodynamique

La profondeur du lac Saint-Pierre est généralement inférieure à trois mètres, sauf dans la voie maritime où elle atteint 11 m (figure 2). La vitesse du courant varie tout au long du fleuve en fonction de la morphologie du lit et des berges. Ainsi, dans le lac lui-même, les macrophytes présents en abondance en été entravent l'écoulement des eaux et la vitesse du courant y est inférieure à 0,3 m/s, alors que les vitesses les plus élevées sont associées aux grandes profondeurs du chenal maritime et varient autour de 1 m/s (Sylvestre *et al.*, 1992; Boudreau *et al.*, 1994). Par sa profondeur et la vitesse plus élevée du courant, la voie maritime constitue une barrière hydrodynamique au mélange des eaux entre les deux rives (Boudreau *et al.*, 1994).

Les eaux du lac Saint-Pierre ne sont pas homogènes car lorsqu'un affluent atteint le fleuve, ses eaux sont rabattues le long des rives et se mélangent graduellement, ce qui entraîne l'existence de masses d'eau d'origines différentes. Les eaux peu minéralisées (< 50 mg/L CaCO₃) de la partie nord résultent du mélange partiel des eaux de la rivière des Outaouais (par le biais des rivières des Prairies et des Mille-Îles) et des rivières de l'Assomption, Maskinongé et du Loup avec celles du fleuve. Dans la partie sud, les eaux très alcalines (> 75 mg/L CaCO₃) du fleuve se mélangent lentement aux eaux des rivières Richelieu, Yamaska, Saint-François et Nicolet, quatre importants affluents du fleuve. Au centre du lac, dans la voie maritime, le flot rapide et unidirectionnel du fleuve en provenance des Grands Lacs empêche le mélange avec les masses mixtes au nord et au sud (Sylvestre *et al.*, 1992).

Les quatre effluents de la rive sud sont les principaux responsables de l'augmentation du débit du fleuve (Sylvestre *et al.*, 1992). De plus, de nombreux ruisseaux drainant les terres

agricoles (utilisation dominante des terres dans toute la région) ont été creusés et redressés jusqu'au lac. Ils présentent un régime hydraulique très variable, avec des débits forts au printemps et faibles à nuls en été (Cusson et Latreille, 2003). Le fleuve présente aussi des fluctuations mensuelles de débits, les plus élevés se produisant en avril et en mai et les plus faibles en janvier et février. La grande fluctuation des débits des tributaires constitue l'événement hydrologique dominant, surtout près des rives, dans les zones d'influence des affluents. Ces variations peuvent aussi influencer l'importance des zones de sédimentation, les crues de printemps pouvant remettre en suspension les sédiments accumulés durant le reste de l'année (Frenette *et al.*, 1989).

2.2.3 Vents et vagues

Le fleuve est aussi sous l'influence des vents, surtout lorsqu'ils soufflent dans l'axe le plus long du lac. Lors de tempêtes, les vents peuvent générer des vagues de 0,6 m à 1,1 m dans le lac et de près de 2 m dans le chenal. Ces vagues peuvent créer des courants de fond importants dans les zones de faibles profondeurs et éroder les sédiments. Cette érosion peut se faire sentir jusqu'à des profondeurs d'eau de 2,5 m dans le cas des fonds de limon et jusqu'à 1,8 m dans le cas de ceux de sable (Frenette *et al.*, 1989). L'impact des vagues sur la remise en suspension des sédiments est particulièrement important au printemps et en automne (Morin, 2002), alors qu'en été la présence abondante de macrophytes submergés contribue à absorber l'énergie des vagues, diminuant ainsi leur formation et leur potentiel d'érosion des rives.

2.2.4 État des rives

D'après l'étude de Dryade (1980), le lac Saint-Pierre compte la plus forte proportion (60 p. 100) de rives en végétation de tout le fleuve (Picard *et al.*, 1997). Selon l'étude de Argus (1996), il ne resterait que 29 p. 100 de rives naturelles stables entre Cornwall et l'île d'Orléans, contre 26 p. 100 de rives naturelles en érosion et 45 p. 100 de rives anthropiques. Sur la rive sud du lac Saint-Pierre, plus spécifiquement dans le secteur de la zone de tir (à l'exception des installations du CEEM), les rives sont presque entièrement naturelles (en végétation) et stables. Elles constituent donc une des portions du fleuve comportant le plus de rives non perturbées (Argus, 1996).

Les vagues peuvent être d'origine naturelle, créées par le vent, ou d'origine anthropique, engendrées par le batillage des bateaux commerciaux et de plaisance. Les berges de la rive sud du lac Saint-Pierre sont peu soumises à ce type d'érosion en raison de la grande distance entre la voie maritime et la rive sud (Argus, 1996; SCF-SLV2000, 2002) et de la présence des macrophytes qui ralentissent le courant et l'impact des vagues.

Les principales modifications physiques ayant affecté ce secteur sont le dragage et le dépôt de matériel dragué en eau profonde, près de la voie maritime. De plus, il y a eu dragage et remblayage du côté ouest de la Longue Pointe, affectant localement herbiers et marais. Il y a aussi eu assèchement et remblayage sur les îles Lozeau et Bougainville pour les installations du CEEM (Langlois *et al.*, 1992). De façon générale, les modifications physiques subies par les berges du lac Saint-Pierre, particulièrement sur la rive sud, sont donc moins sévères que dans les autres secteurs du fleuve (Langlois *et al.*, 1992). Ces derniers soulignent toutefois que l'intégrité de ces milieux n'est pas assurée pour autant et que leur protection nécessite une attention particulière.

2.2.5 Sédiments et dynamique sédimentaire

Selon Frenette *et al.* (1989), la région des îles de Berthier-Sorel constitue une zone de dépôts de sédiments fins. D'après une étude réalisée par la Direction des eaux intérieures en 1986 (Hardy *et al.*, 1991), le sable domine (60 p. 100) tandis que les particules fines (limon et argile) constituent environ 40 p. 100 des sédiments dans le secteur nord du lac.

Les sédiments de la zone de tir du CEEM ont été échantillonnés en 1999-2000 par la Direction de la protection de l'environnement (DPE) d'Environnement Canada. Pour la majeure partie de cette zone, les sédiments sont plutôt sablonneux (63 à 91 p. 100 de sable, pour 9 à 37 p. 100 d'argile et de limon), alors que la zone située le plus près de Nicolet, tout juste à l'ouest de l'embouchure de la rivière, présente des sédiments plus fins et plus organiques (31 p. 100 de sable et 69 p. 100 d'argile et de limon) (Cusson et Latreille, 2003).

Malgré l'importance des apports sédimentaires du fleuve lui-même et des rivières de la rive sud, le lac Saint-Pierre ne constitue pas un important bassin de sédimentation puisque la majorité des sédiments en ressort (Sylvestre *et al.*, 1992). La faible profondeur, l'hydrodynamique, les glaces, les vents violents et les vagues qu'ils génèrent (surtout à l'automne et au printemps, périodes de vents et de courants forts et d'absence de végétation) concourent au

phénomène d'entraînement ou de remise en suspension de la charge sédimentaire fine dans le lac Saint-Pierre (Frenette *et al.*, 1989; Morin, 2002).

2.2.6 Qualité de l'eau

La qualité de l'eau influence aussi le développement des plantes aquatiques. La croissance des macrophytes est particulièrement affectée par la transparence de l'eau et la teneur en éléments nutritifs. Les nutriments ne sont cependant pas limitants au lac Saint-Pierre. Les trois affluents majeurs influençant directement la zone d'intérêt, soit les rivières Richelieu, Saint-François et Yamaska, sont des sources importantes de pollution urbaine, industrielle et agricole (Sylvestre *et al.*, 1992; Gingras, 1997) et ont une influence significative sur la qualité physico-chimique de l'eau (couleur, turbidité, matières en suspension, éléments nutritifs, contaminants inorganiques et organiques). L'enrichissement du lac par les éléments nutritifs, provenant en majorité des fertilisants et des effluents municipaux et industriels, favorise le développement des algues et des macrophytes et ce, malgré la charge élevée en matière en suspension et les conditions variables de transparence de l'eau. Ceci est possible en raison de la faible profondeur du lac.

2.2.7 Glaces

Dans le Saint-Laurent fluvial, les glaces sont généralement présentes de la mi-décembre au début avril. Les brise-glaces maintiennent la voie maritime ouverte à la navigation toute l'année jusqu'à Montréal (Argus, 1996). Au lac Saint-Pierre, dès le début du mois de mars, la Garde côtière canadienne effectue des opérations de déglacage pour briser le couvert de glace, afin d'éviter la formation d'embâcles et les inondations.

Comme le vent, les vagues et les crues, les glaces sont un facteur d'érosion important dans le fleuve et peuvent affecter le régime de sédimentation par leur action mécanique le long des berges et sur les fonds (Frenette *et al.*, 1989; Argus, 1996). Elles sont aussi un agent de perturbation de la végétation aquatique et riparienne (Scrimgeour *et al.*, 1994).

Dans l'estuaire du Saint-Laurent soumis aux marées, les glaces de batture se fixent au fond et atteignent des épaisseur considérables. Lors des grandes marées de printemps, ces glaces se détachent et emportent avec elles une quantité considérable de sédiments, de végétation et même d'enrochements de fortes dimensions (Bernard, 1976). Dans ce secteur, de nombreux

travaux ont mis en évidence le rôle des glaces d'estrans dans le transport de millions de tonnes de sédiments pour l'ensemble de l'estuaire (p. ex. Dionne, 1969, 1984; Sérodes et Troude, 1984).

Dans la partie fluviale du fleuve, non soumise à l'effet de la marée, le couvert de glace a généralement un effet protecteur sur les rives pendant l'hiver. Il peut quand même y avoir érosion s'il y a accumulation des glaces de dérives produites par les brise-glaces pour maintenir les voies de navigation ouvertes pendant tout l'hiver. Toutefois, l'érosion survient surtout au printemps, lors des périodes de débâcle en période de hautes eaux. Les glaces de dérive, poussées par les vents et les vagues, frottent alors contre les berges. De plus, il y a formation d'embâcles qui érodent berges et fonds, quand les brise-glaces ne suffisent pas pour maintenir les glaçons en dérive dans le courant (Bernard, 1976; Argus, 1996). L'ampleur de l'érosion des berges par les glaces n'a toutefois pas été quantifiée dans le fleuve non soumis aux marées. Il semble cependant qu'elle soit chose courante, notamment dans le delta de Sorel (Frenette *et al.*, 1989).

L'importance de la glace comme perturbation destructrice de la végétation de rivage et comme agent de dispersion des fragments et graines de plantes a été décrite par Marie-Victorin (1934, 1995) :

« Les mouvements de la glace, au moment de la consolidation à l'entrée de l'hiver, et surtout au moment de la débâcle au printemps, exercent des actions mécaniques puissantes qui sont, pour la flore riparienne, une cause importante d'élimination et de dispersion. Soumis à des pressions latérales formidables, les blocs de glaces labourent les battures et les îles argileuses, détruisent la végétation superficielle, découvrent et dispersent rhizomes et tubercules. D'un autre côté, la glace, au moment de sa formation à l'automne, a enrobé dans sa masse la végétation riparienne d'arrière-saison avec ses fruits, graines, bourgeons, bulbilles, stolons tubérifiés, etc. Au moment de la débâcle, ces blocs, véritables poudingues organiques à matrice temporaire, s'en vont au fil de l'eau, disséminant, au fur et à mesure de la fusion, une multitude de débris végétaux capables de s'implanter sur les rivages de l'aval. »

Scrimgeour *et al.* (1994) soulignent l'influence potentielle de la débâcle sur la distribution et l'abondance des macrophytes submergés et des plantes ripariennes. La résistance des macrophytes et des plantes annuelles aux pressions des glaces serait moindre que celle des arbres et arbustes. Le succès de colonisation des rives par les plantes après la débâcle et la crue dépend de l'abondance et de la survie des organes de réserve et de propagation (rhizomes, tubercules et stolons), ainsi que de leur importation à partir des zones non perturbées. Ils citent une seule étude ayant spécifiquement évalué l'effet d'un embâcle inhabituel sur les macrophytes submergés du lac Saint-Clair (Nichols *et al.*, 1989). Ces derniers attribuent le retard de croissance des plantes à la luminosité réduite causée par le couvert de glace prolongé, plutôt qu'à l'embâcle qui n'aurait

pas labouré les fonds. À la fin de l'été, l'abondance de macrophytes était égale à celle des années précédentes et l'embâcle n'a pas eu d'effet permanent. Selon Shipley *et al.* (1991) et Nilsson *et al.* (1989), l'action décapante des glaces sur les rives crée des zones dénudées et modifie le substrat. L'intensité de l'action des glaces est très variable dans l'espace et dans le temps. Une intensité et une fréquence moyenne de perturbations entraînent la création d'une mosaïque d'ouvertures et de taches de végétations à divers stades de succession, ce qui favorise une plus grande diversité en espèces.

Dans le cas du Saint-Laurent, l'effet des glaces sur les communautés végétales a été plus souvent décrit pour l'estuaire que pour le fleuve (p. ex. Gauthier et Goudreau, 1983; Bélanger et Bédard, 1994). Dans le fleuve lui-même, l'effet des glaces a été mentionné comme agent créateur d'ouvertures (Tessier *et al.* 1984), agent perturbateur des rives (Tessier *et al.*, 1981) ou facteur de transport de matériel végétal (Marie-Victorin, 1934, 1995; Dansereau, 1945). De même, Dionne (1970) mentionne la présence de « radeaux de végétation » sur la rivière Chaudière. Les quantités et la nature des matériaux transportés ainsi que l'intensité et l'étendue des perturbations sur les plantes n'ont toutefois été ni étudiées ni quantifiées dans le Saint-Laurent et ses lacs fluviaux.

L'effet des glaces a cependant été observé au lac Saint-Pierre (Morin, 2002; Dumont, 2002; Leblanc, 2002). En décollant du fond, des blocs de glace transportent avec eux sédiments et matériel végétal qui dérivent puis sont déposés plus loin. Ce phénomène expliquerait, par exemple, la présence de petits groupes isolés de plantes émergentes dans le marais (Morin, 2002).

Les dommages en rive semblant moindres depuis l'utilisation des brise-glaces et la mise en place d'estacades vers les années soixante (Dumont, 2002), on peut se demander si les effets observés par Marie-Victorin dans les années trente ont la même intensité maintenant.

Les divers facteurs d'érosion mentionnés dans ces sections exercent leur plus grande influence sur les fonds au printemps et à l'automne. En zone submergée, les grands herbiers aquatiques sont absents à ces époques et ne peuvent alors atténuer l'effet du vent, des vagues et des courants (sections 2.2.2. et 2.2.3). Lors de leur décomposition, ces grands herbiers ne conservent pas non plus de grands réseaux de racines qui auraient pu consolider les sédiments. On peut donc se demander si le potentiel de ces forces naturelles d'érosion pour racler les fonds et remettre les sédiments en suspension pourrait contribuer à niveler les cratères creusés lors des détonations de munitions dangereuses retrouvées, et ainsi participer à l'atténuation de ces effets, ou alors s'ajouter aux perturbations d'origine humaine et avoir un effet combiné plus grand.

En rive, cependant, les rhizomes robustes des plantes émergentes persistent en hiver, retiennent les sols et résisteraient même à l'action abrasive des glaces (Marie-Victorin, 1934, 1995). La destruction de ces rhizomes lors de la détonation *in situ* de munitions pourrait constituer un autre facteur d'accélération de l'érosion locale. Tout comme en zone submergée, l'addition de perturbations naturelles en rives, comme le passage des glaces (perturbations localisées), pourrait contribuer à « réduire » les effets des perturbations induites par le ratissage et les détonations ou encore, à amplifier les perturbations déjà subies dans un secteur donné. Un niveau moyen de perturbation crée des ouvertures et favorise une mosaïque d'habitats et une plus grande diversité en espèces. L'addition de perturbations crée cependant plus d'ouvertures et les milieux anthropisés présentent généralement plus d'espèces typiques de milieux perturbés, soit une augmentation de la présence d'annuelles au détriment des vivaces (Nilsson *et al.*, 1989) et une possibilité accrue d'introduction d'espèces exotiques et envahissantes.

2.2.8 Plaine de débordement

L'immensité de la plaine de débordement du lac Saint-Pierre confère un caractère unique à ces espaces riverains. Il s'agit de la plus grande plaine inondable d'eau douce au Québec (18 000 ha), constituant 20 p. 100 des milieux humides du fleuve Saint-Laurent (Langlois *et al.*, 1992). Ce milieu subit d'importantes variations annuelles et interannuelles du niveau d'eau (Argus, 1996; Morin et Bouchard, 2001; Hudon et Amyot, 2002a). La crue printanière submerge une grande partie des terres à partir de la mi-avril, pour une période variant généralement de cinq à neuf semaines (Benoît *et al.*, 1987; Langlois *et al.*, 1992). À l'exception des terrasses plus élevées près de la rivière Nicolet, les plus importantes superficies inondées sous les hautes eaux printanières à récurrence de deux ans se retrouvent sur les terres du MDN (au nord de la route 132, jusqu'à la Longue Pointe), dans le secteur compris entre la Longue Pointe et la Pointe Lussaudière et dans les baies de Lavallière et Saint-François (Benoît *et al.*, 1987; Langlois *et al.*, 1992).

L'amplitude des inondations et l'immensité des superficies touchées sont donc responsables de la quantité et de la diversité des milieux humides sur les rives du lac Saint-Pierre et ont des répercussions importantes sur l'écologie des espèces végétales et animales, ainsi que sur les activités humaines qui y ont cours (Benoît *et al.*, 1987; Langlois *et al.*, 1992). De plus, dans la partie aquatique du lac, la présence de dépôts fins et d'alluvions, de courants faibles, de

rives à pente presque nulle, d'eaux peu profondes et de teneurs élevées en éléments nutritifs favorise le développement de vastes superficies d'herbiers submergés.

Ces milieux sont soumis à des conditions de niveaux d'eau très variables d'une année à l'autre, ainsi qu'à des perturbations naturelles causées par les crues, les glaces, les vents et les vagues. L'intensité de ces perturbations et leurs effets sur la végétation du lac Saint-Pierre ne sont toutefois pas bien connus.

3 État des connaissances sur la végétation du lac Saint-Pierre

3.1 DÉFINITIONS

La notion de milieux humides s'applique à la zone de transition entre les écosystèmes franchement aquatiques et les écosystèmes purement terrestres (Jacques et Hamel, 1982; Buteau *et al.*, 1994). Les milieux humides sont définis comme des lieux saturés d'eau pendant une période suffisamment longue pour influencer les composantes du sol et de la végétation (Couillard et Grondin, 1986; Gratton et Dubreuil, 1990; Buteau *et al.*, 1994). Les végétaux qui s'y installent sont des plantes hygrophiles ou à tout le moins des espèces tolérant des inondations périodiques (Gratton et Dubreuil, 1990). L'endroit où l'on passe d'une prédominance de plantes aquatiques à une prédominance de plantes terrestres correspond à la ligne naturelle des hautes eaux (*Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables*, Gouvernement du Québec, dans Gauthier, 1997) et serait équivalente à la limite des inondations de récurrence de deux ans.

La figure 3 illustre la séquence typique des milieux humides du fleuve Saint-Laurent le long du gradient d'humidité partant de l'eau vers la terre (hydrosère). On y distingue les herbiers aquatiques, les marais et les marécages. La partie supérieure du marais (haut marais), dominée par les plantes émergées à l'étiage (basses eaux estivales), correspond à la prairie humide dans le système de classification de Jacques et Hamel (1982). Ce système a été largement utilisé dans les études sur les milieux humides du Québec (p. ex. Gratton, 1983; Jacques, 1986; Aménatech, 1991, 1992; Hudon et Amyot, 2002a; Lalonde et Létourneau, 1996; Létourneau et Jean, 1996; Gratton *et al.*, 1998). Différentes classes de milieux humides sont définies dans cette classification. La dominance de végétation submergée, à feuilles flottantes ou algale caractérise l'herbier aquatique. Lorsqu'elles y sont présentes, les plantes émergentes couvrent moins de 25 p. 100 de la superficie. Le marais profond est dominé par des plantes émergentes croissant dans 15 cm à 1 m d'eau calme ou stagnante. Le marais peu profond se caractérise par la dominance de plantes émergentes et par une profondeur de l'eau pouvant atteindre 1 m pendant la crue, mais ne dépassant généralement pas 15 cm pendant la saison de croissance. La prairie humide se caractérise par une végétation herbacée fermée, dominée par les graminées, présentant peu ou pas

d'ouvertures remplies d'eau. Le marécage arbustif est une terre humide dominée par les arbustes dont le pourcentage de recouvrement est supérieur à 25 p. 100; les arbres y occupent moins de 25 p. 100. Dans le cas des marécages arborés, les arbres dominent avec un pourcentage de couverture de plus de 25 p. 100 (Jacques et Hamel, 1982).

Les plantes aquatiques ont été définies de nombreuses façons. Pour Gauthier (1997), les plantes hydrophytes comprennent les plantes submergées, à feuilles flottantes, émergentes ainsi que les plantes herbacées et ligneuses émergées caractéristiques de l'herbier aquatique, du marais et des marécages (figure 3). Jacques et Hamel (1982) précisent que les hydrophytes sont des plantes qui croissent normalement dans l'eau, pouvant accomplir au moins une partie de leur cycle vital complètement submergées ou émergées. Les héliophytes, quant à elles, croissent sur des substrats humides ou saturés d'eau. La figure 3 illustre les étages hydrophytique et héliophytique. La terminologie adoptée pour le présent document est la suivante : les plantes vivant entièrement sous l'eau sont désignées macrophytes submergés et les plantes qui émergent de l'eau, en tout ou en partie, sont dites plantes émergentes, ripariennes ou de rivage.

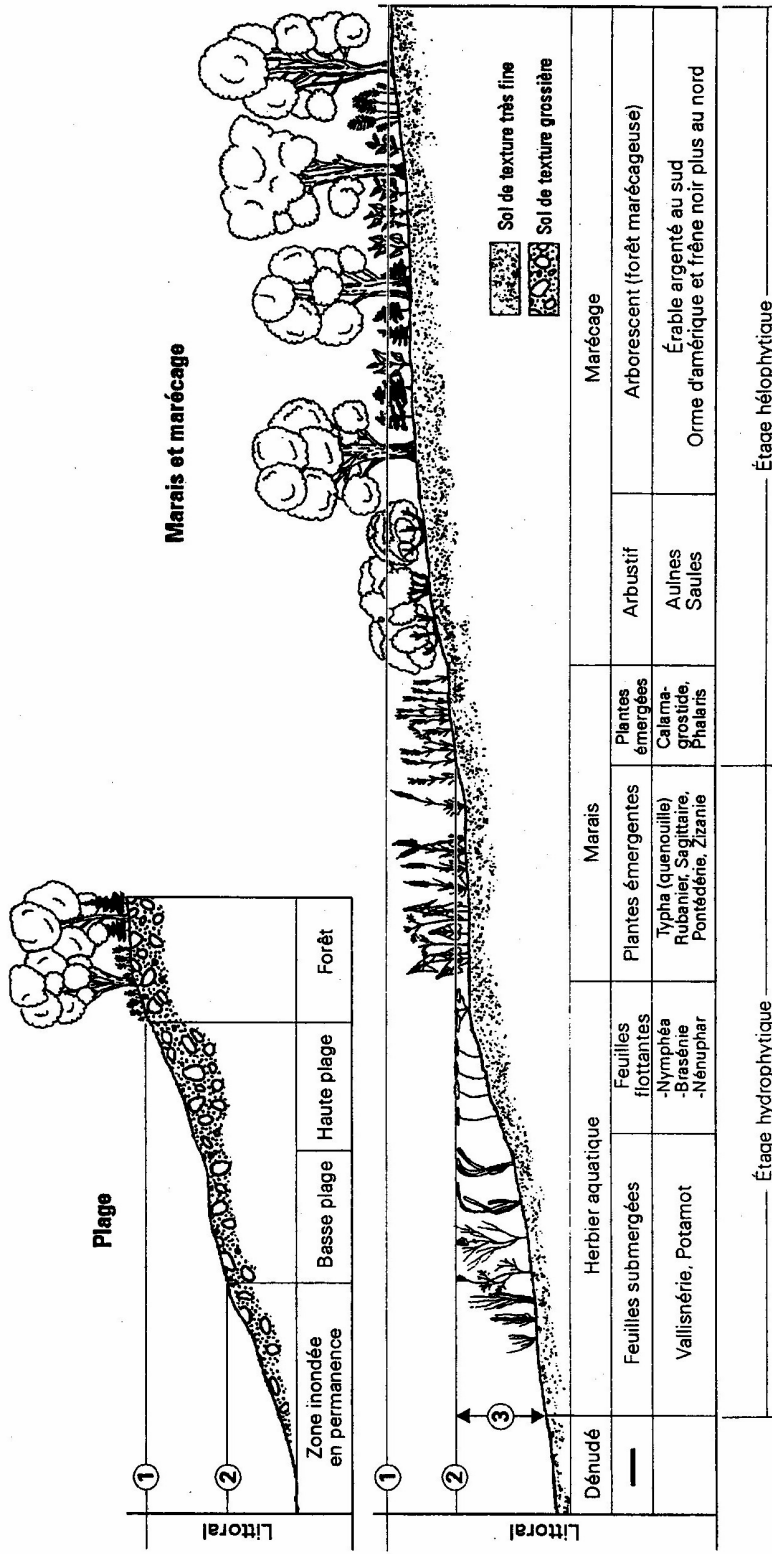
3.2 SUPERFICIE DES MILIEUX HUMIDES SUR LA RIVE SUD DU LAC SAINT-PIERRE

La superficie couverte par les milieux humides sur les rives de la portion fluviale est estimée à plus de 63 000 ha, soit 79 p. 100 de tous les milieux humides du Saint-Laurent (estuaire et golfe inclus). Le lac Saint-Pierre se distingue avec plus de 30 000 ha de milieux humides (plaine inondable et herbiers inclus) (Gratton et Dubreuil, 1990). Selon les résultats de Jacques (1986), la rive sud (entre les rivières Nicolet et Saint-François) présente les plus grandes superficies de marais et d'herbiers de même que d'importantes zones de prairies humides et de marécages et ce, particulièrement sur les terres du MDN qui comptent parmi les moins perturbées de cette grande région agricole.

Les estimations de la superficie des milieux humides varient selon les études. Ceci provient de différents facteurs : inclusion, en partie ou en tout, des herbiers aquatiques dans les estimations, délimitation de la zone humide, méthodes de cartographie utilisées (p. ex. photo-interprétation, analyse d'images Meis-II, Landsat, etc.), niveaux d'eau au moment de l'échantillonnage ou de l'acquisition des images (Jacques, 1986; Aménatech 1991, 1992; Lalonde et Létourneau, 1996; Létourneau et Jean, 1996).

Le tableau 1 résume les données de superficies des principales catégories de milieux humides pour l'ensemble du lac Saint-Pierre (total) et pour la rive sud seulement. Ces données ont été compilées spécifiquement pour la zone de tir lorsque c'était possible (Lalonde et Létourneau, 1996). Les valeurs de Jacques (1986) pour la rive sud (compilées dans Benoît *et al.*, 1987 et Langlois *et al.*, 1992) incluent la baie de Lavallière, ce qui explique qu'on y retrouve des valeurs supérieures de prairies humides et de marécages arbustifs comparativement à celles estimées à partir de l'image Landsat (Lalonde et Létourneau, 1996). Les différences les plus grandes sont liées aux herbiers qui n'ont pas été entièrement cartographiés par Jacques (1986). Ces données mettent en évidence l'importance, en superficie et en diversité, des milieux humides de la rive sud du lac Saint-Pierre, particulièrement l'importance qu'y prennent les marais profonds.

Une nouvelle carte des milieux humides de la rive sud du lac Saint-Pierre a été élaborée à partir de la classification des images MEIS-II obtenues lors du survol du fleuve de Cornwall à Trois-Pistoles en 2000. Elle dresse le portrait de la végétation des milieux humides en date du 19 septembre 2000 (figure 4; Létourneau, 2002). Le trait rouge délimite ici la zone de tir CYR 606 ainsi que la bande de rivage incluses dans le calcul des superficies occupées par les grandes catégories de milieux humides. Ces superficies sont indiquées dans le tableau 1. Les marais occupent toujours les plus grandes proportions des milieux humides de la rive sud. Cependant, en raison de problèmes d'analyse des images, les surfaces couvertes par les herbiers submergés n'ont pu être classifiées, de même que certaines parties des marais (Létourneau, 2002). Toute la surface au-delà des marais, normalement occupée par les herbiers submergés et l'eau libre, est indiquée en bleu et les zones non traitées sont en noir. Ceci explique les plus faibles surfaces occupées par les marais comparativement aux données obtenues dans les études antérieures (tableau 1). Les marécages occupent toujours de vastes superficies dans la portion est de la rive sud et sur les terres du MDN. Les marécages arborés et les prairies humides semblent cependant avoir perdu du terrain au profit des marécages arbustifs.



① Ligne naturelle des hautes eaux ② Basses eaux estivales ③ Présence de végétation fonction de la turbidité de l'eau

Figure 3 Hydrosère typique des milieux humides du Saint-Laurent (figure tirée de Gauthier, 1997)

Tableau 1 Superficies des milieux humides sur la rive sud du lac Saint-Pierre

Type	Cartographie (photos et terrain)		Classification d'images Landsat		Classification d'images MEIS-II		Classification d'images MEIS-II	
Auteurs	Jacques (1986)		Lalonde et Létourneau (1996)		Létourneau et Jean (1996)		Létourneau (2002)	
Date	Été 1985 (4,6-4,8 m*)		13 août 1987 (4,7 m*)		Juillet et août 1990 (4,86-4,69 m*)		19 septembre 2000	
Habitat (ha)	Rive sud		CYR 606		Total		CYR 606	
Herbiers	2 693**	6 217**	7 650	14 390	12 605	Non déterminé		
Marais profonds	2 930	5 448	3 065	5 762	3 700	2 242		
Marais peu profonds	952	2 913	270	3 555	4 694			
Prairies humides	1 403	4 270	909	4 100	3 268	693		
Marécages arbustifs	648	2 281	212	3 176	865	976		
Marécages arborés	1 873	5 941	1 984	5 542	2 962	1 525		
Total	10 499	27 070	14 090	36 525	28 094	5 437		

* Niveau de l'eau à Sorel.

** Les herbiers du centre du lac ne sont pas cartographiés; données compilées tirées de Langlois *et al.*, (1992).

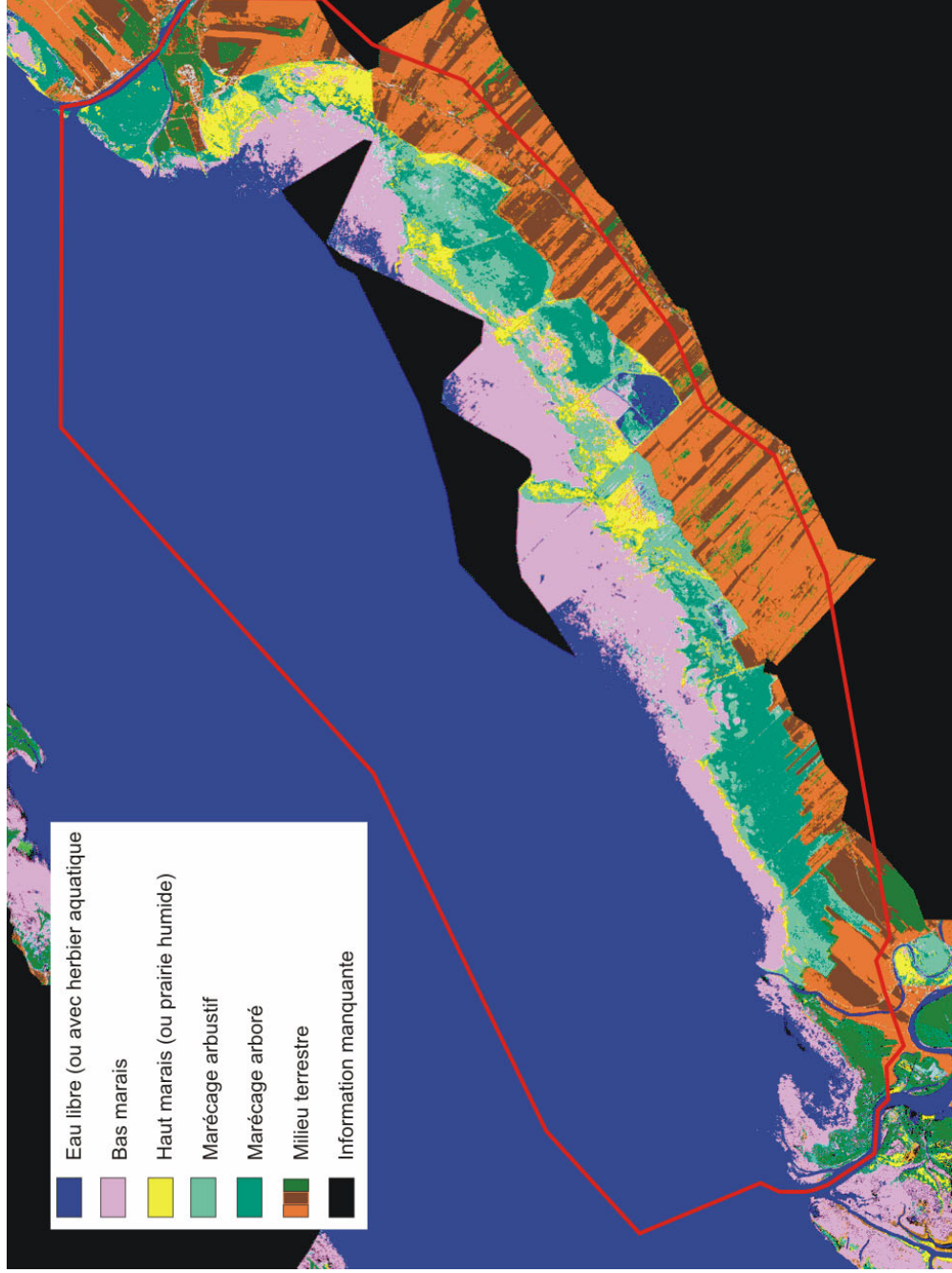


Figure 4 Carte des milieux humides de la rive sud du lac Saint-Pierre (image MEIS-II, septembre 2000) et limites de la zone de tir (Létourneau, 2002)

3.3 DONNÉES HISTORIQUES

Déjà dans son *Esquisse générale de la flore laurentienne* (1995) et dans d'autres publications (1934, 1943), Marie-Victorin brosse un portrait général de la végétation de la section alluviale du Saint-Laurent, entre Montréal et Trois-Rivières. Toutefois, la première synthèse des connaissances sur la végétation des milieux humides du Québec, lac Saint-Pierre compris, n'a été effectuée qu'en 1986 par Couillard et Grondin. Au lac Saint-Pierre, les îles de Berthier-Sorel (archipel des Cent-Îles) ont fait l'objet de plus d'études (Tessier, 1979; Pilon *et al.*, 1981; Tessier *et al.*, 1981), que la rive nord (Tessier et Caron, 1981) ou la rive sud (Gratton, 1983, secteur de Baie-du-Febvre). De plus, Tessier *et al.* (1984) ont étudié la distribution et la biomasse des espèces végétales le long du gradient de profondeur à divers sites autour du lac. Plusieurs autres synthèses des connaissances sur les communautés végétales ont ensuite été produites par Benoît *et al.* (1987, 1988), Gratton et Dubreuil (1990), Langlois *et al.* (1992), Saint-Cyr *et al.* (1992) et Gratton *et al.* (1998).

Ce n'est qu'en 1986 que fut produit le premier portrait du lac Saint-Pierre dans son entier, lorsque Jacques (1986) a effectué la classification de la végétation de tous les milieux humides du lac Saint-Pierre, afin d'approfondir les connaissances des milieux naturels de cette région et de mieux évaluer les impacts des activités et aménagements qui les touchent. Cependant, les immenses herbiers du centre du lac n'ont pas été cartographiés. La cartographie du secteur de Baie-du-Febvre par Gratton (1983) a été incorporée à celle de Jacques (1986). Encore maintenant, ces données constituent la base de référence des connaissances de la végétation du lac Saint-Pierre. Après le vaste travail de cartographie de Jacques (1986), et jusqu'à récemment, peu de données de terrain se sont ajoutées, en particulier pour tout le secteur situé au sud de la voie maritime, en raison des restrictions d'accès et des dangers liés au champ de tir. Seuls Gratton *et al.* (1998) ont, en 1995 et en 1996, échantillonné la végétation et la flore des marécages et des prairies humides du MDN de façon plus détaillée. En 1996, leurs inventaires visaient la recherche de plantes susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables. Ils n'ont cependant pas couvert les marais et les herbiers. Leurs travaux ont toutefois permis de constater que la cartographie de Jacques (1986) était encore très actuelle dix ans plus tard.

En 1990, afin d'évaluer leur rôle dans l'accumulation des contaminants, Saint-Cyr *et al.* (1992) ont échantillonné les macrophytes submergés du lac, y compris à quelques stations (10) au sud de la voie maritime. Leurs données de biomasse des macrophytes ont aussi servi à valider des

travaux de modélisation de la distribution et de la biomasse des plantes submergées par échosondage (Fortin *et al.*, 1993) et par télédétection (capteur MEIS-II, Lavoie *et al.*, 1991). Ces travaux ont permis de compléter et de raffiner le peu de connaissances issues des cartographies précédentes (Gratton, 1983; Jacques, 1986) concernant les herbiers submergés.

En parallèle, dans un but de suivi temporel et spatial des milieux humides du Saint-Laurent, le Centre Saint-Laurent d'Environnement Canada a acquis et analysé des images de divers types : images Meis-II (capteur aéroporté, survol de 1990; Aménatech, 1991, 1992; Létourneau et Jean, 1996) et images satellitaires Landsat (Lalonde et Létourneau, 1996). Dans ces cas, il n'y a pas eu de validation au sol (terrain) et la cartographie de Jacques (1986) a généralement servi de document de référence pour guider la classification des images.

3.4 DONNÉES RÉCENTES

La recherche de données récentes sur la végétation au lac Saint-Pierre a essentiellement ciblé le secteur de la rive sud, compte tenu du peu d'informations disponibles en raison de l'accessibilité restreinte au champ de tir du MDN et du manque critique de connaissances pour l'évaluation des effets de perturbations sur le milieu.

Des spécialistes du Centre Saint-Laurent d'Environnement Canada (Hudon et Amyot, 2002b) ont effectué de 1999 à 2002 des relevés de végétation (plantes aquatiques submergées et émergentes) le long de quatre transects sur la rive sud (tous dans la zone CYR 606) et de deux transects sur la rive nord. La localisation des transects permanents (les mêmes de 1999 à 2002) et leur longueur relative sont indiquées à la figure 5 (carrés jaunes). Pour des raisons évidentes de sécurité, l'échantillonnage sur la rive sud n'a pu se faire à pied et a dû être effectué en hydroglisseur. Puisque l'utilisation de l'hydroglisseur requiert la présence d'au moins quelques centimètres d'eau, la récolte d'informations a été limitée au marais, jusqu'à environ 1 m de profondeur. Prairies humides et marécages n'ont pas été couverts par cet échantillonnage.

En ce qui concerne la végétation submergée de l'ensemble de la zone de tir, la cartographie modélisée par le Service météorologique du Canada (SMC) d'Environnement Canada (Morin, 2002), présentée à la figure 5, constitue l'information la plus complète à ce jour sur ce type de communautés. Cette carte nous indique la répartition en 2000 des diverses espèces submergées dominantes à l'extérieur de la bande discontinue de marais indiquée par la zone quadrillée. Ces données ont été obtenues par des relevés d'échosondage couplés à des prises

d'images vidéo sous l'eau. De plus, des travaux d'échantillonnage de la biomasse des plantes ont été effectués par des plongeurs en dehors de la zone de tir afin de valider les données d'échosondage (figure 5, carrés rouges). La trop faible profondeur de l'eau constitue la limite d'échantillonnage en bateau vers les berges, ce qui laisse tout un secteur non échantillonné entre les herbiers submergés et les marais.

Dans le cadre du suivi des milieux humides du Saint-Laurent effectué par le Centre Saint-Laurent d'Environnement Canada, des images MEIS-II (capteur aéroporté) ont été acquises en 2000, lors d'un survol en avion des milieux humides du fleuve, de Cornwall à Trois-Pistoles (Létourneau, 2002). Une campagne d'échantillonnage a été réalisée en 2000 et en 2001 pour valider la classification de ces images (Jean et Létourneau, 2002), ce qui n'avait pas été fait pour le survol de 1990 (Létourneau et Jean, 1996). Ces relevés de végétation ont couvert les marais, prairies humides et marécages en divers points autour du lac Saint-Pierre. Les sites visités sur la rive sud du lac incluent la baie des Îlets, la Pointe de la Petite Commune (tout juste à l'ouest de la limite de la zone de tir), la Pointe de la Grande Commune (là où commence la zone de tir à l'ouest), la Pointe Lussaudière ainsi que l'île Moras (extrémité est de la zone de tir) (Jean et Létourneau, 2002).

Des échantillons de macrophytes submergés et de plantes émergentes ont également été récoltés de façon non quantitative, à titre indicatif, dans le cadre de l'étude de caractérisation des sédiments du secteur sud du lac Saint-Pierre réalisée en 1999 et 2000 (Cusson, 2002; Cusson et Latreille, 2003).

De ces diverses études, on peut dégager un certain portrait de la végétation du lac Saint-Pierre. Pour plus de détails sur les listes d'espèces rapportées dans les diverses études, le lecteur pourra se référer aux publications originales. Pour des raisons pratiques, les noms latins des plantes seront utilisés dans le texte. Les noms français et anglais des espèces mentionnées dans ce rapport sont indiqués à l'annexe 1 (à l'exception de celles mentionnées dans le tableau 2). Pour visualiser la répartition spatiale des diverses classes de milieux humide, il est recommandé de consulter la figure 4.

3.5 HERBIERS AQUATIQUES

3.5.1 Données historiques

Les immenses herbiers submergés du lac Saint-Pierre couvrent pratiquement toute la surface du lac à l'exception de la voie maritime et de deux chenaux secondaires dépourvus de végétation, appelés passage nord et passage sud, mis en évidence par Lavoie *et al.* (1991), Fortin *et al.* (1993), Lalonde et Létourneau (1996) et Létourneau et Jean (1996). En face de Baie-du-Febvre, les herbiers sont dominés par *Vallisneria americana* et *Heteranthera dubia* et se retrouvent jusqu'à 3 km de la rive et 2,5 m de profondeur (Gratton, 1983). Cette dernière souligne toutefois qu'ils s'étendent probablement jusqu'à la voie maritime. Jacques (1986) n'a cartographié que 24 p. 100 des herbiers, les submergés étant essentiellement dominés par *Vallisneria americana* et ceux à feuilles flottantes par *Nymphaea tuberosa*. De grands groupements à *Vallisneria americana* ont aussi été rapportés en aval des îles de Berthier-Sorel (Tessier *et al.*, 1981).

En août et octobre 1990, Saint-Cyr *et al.* (1992) ont procédé à l'échantillonnage des macrophytes submergés du lac Saint-Pierre à 39 stations, dont 10 situées au sud de la voie maritime dans la zone de tir (sans toutefois s'approcher de la rive). Ces travaux confirment la nette dominance de *Vallisneria americana* dans toute cette zone, accompagnée le plus fréquemment par *Potamogeton richardsonii*, suivi d'*Heteranthera dubia*. *Potamogeton richardsonii* est la seconde espèce en importance dans le lac et forme quelques herbiers denses au sud de la voie maritime. L'algue macroscopique *Nitella* sp. forme de grands tapis près de la voie maritime et des passages nord et sud. Les autres espèces retrouvées dans la zone de tir sont *Elodea canadensis* et des masses d'algues filamenteuses. Des herbiers denses à *Potamogeton pectinatus* sont également présents au sud-ouest du lac. Ce potamot est un représentant typique des milieux eutrophes (Saint-Cyr *et al.*, 1992) et alcalins (Faubert, 2000). Il est accompagné de *Vallisneria americana*, d'*Heteranthera dubia*, de *Potamogeton richardsonii*, d'*Elodea canadensis*, d'algues filamenteuses, et d'un peu de *Potamogeton crispus* et de *Myriophyllum spicatum*. En 1990, *Myriophyllum spicatum* était nettement plus abondant autour des îles de Berthier-Sorel et à quelques points sur la rive nord (Saint-Cyr *et al.*, 1992). Ces herbiers sont situés à proximité de l'embouchure des rivières Yamaska et Saint-François, ce qui favorise le développement de certaines espèces (*Elodea canadensis*, *Heteranthera dubia* et *Myriophyllum*

spicatum) qui, comme *P. pectinatus*, sont plus tolérantes aux fortes concentrations en éléments nutritifs que ne l'est *Vallisneria americana* (Fleurbec, 1987; Langlois *et al.*, 1992).

Il faut souligner que lors de l'échantillonnage d'automne, Saint-Cyr *et al.* (1992) ont constaté une perte de biomasse végétale supérieure à 90 p. 100 entre août et octobre 1990 dans la majorité des herbiers aquatiques. À l'automne, les plantes meurent, se décomposent et des amas de débris végétaux flottent vers l'aval, emportés par le courant. Lavoie *et al.* (1991) ont estimé la biomasse végétale submergée du lac Saint-Pierre par télédétection et il semble que les valeurs de biomasse soient supérieures au sud de la voie maritime.

3.5.2 Données récentes

En ce qui concerne les macrophytes submergés, les données du Service météorologique du Canada (Morin, 2002) (figure 5) pour l'été 2000 constituent la référence récente la plus complète pour la zone de tir entre la bande de plantes émergentes et la voie maritime. Seules les espèces dominantes sont indiquées sur cette carte (figure 5). Les données des transects permanents du Centre Saint-Laurent (Hudon et Amyot, 2002b) constituent la source d'information pour les herbiers qui accompagnent le marais émergent, en bordure de la rive (zone quadrillée sur la figure 5). Toutes les espèces répertoriées par Hudon et Amyot (2002b) sur la rive sud figurent à l'annexe 2.

Vallisneria americana demeure l'espèce dominante dans toute la zone de tir. Le long de la rive sud, succédant à la bande continue de plantes émergentes (zone quadrillée délimitée par Hudon et Amyot, 2002b, figure 5), on retrouve une bande mixte (ocre), où *V. americana* est accompagnée de nombreuses espèces indigènes typiques du Saint-Laurent, soit *Alisma gramineum*, *Potamogeton richardsonii*, *Heteranthera dubia*, *Elodea canadensis* ainsi que de l'espèce introduite *Myriophyllum spicatum*. Une autre bande (orange) lui succède, où *V. americana* se retrouve avec *H. dubia*, *M. spicatum* et *P. richardsonii*.

Ensuite, le reste du lac (jusqu'à la voie maritime) présente de vastes zones à *V. americana*, *H. dubia* et *P. richardsonii* (rouge), et de plus petites à *V. americana* et *P. richardsonii* (vert foncé) et à *V. americana* seule (jaune). De plus, à l'ouest, près de la Pointe Lussaudière, on retrouve une autre zone mixte (vert pâle et vert foncé) qui rappelle celle décrite par Saint-Cyr *et al.* (1992).

En résumé, *V. americana* domine, accompagnée principalement de *P. richardsonii*, de *H. dubia* et, dans une moindre mesure, de *M. spicatum* et de *A. gramineum*. Les grands herbiers à *Potamogeton* apparaissent plus tôt au début de l'été. En ce qui concerne *M. spicatum*, il n'occupe qu'une fraction des superficies et on ne retrouve que quelques zones localisées où il présente un recouvrement élevé (Morin, 2002).

Près des berges, les résultats de l'échantillonnage des transects dans la zone peu profonde (environ 1 m et moins) indiquent que *V. americana* semble moins dominante que dans le reste du lac (Hudon et Amyot, 2002b, annexe 2). Elle y est accompagnée de nombreuses espèces, particulièrement au transect de la Pointe aux Raisins (T5), à l'est du lac, où se retrouvent *P. richardsonii*, *M. spicatum*, *H. dubia*, *E. canadensis* et *Utricularia vulgaris*, dans des proportions variables selon les années (annexe 2).

Au transect situé du côté ouest de la Longue Pointe (T4), la composition est variable entre les années et *V. americana* semble peu présente (annexe 2). En 1999, les algues (*Chara*, *Cladophora* et algues filamenteuses) sont les plus fréquentes. En 2000, les macrophytes flottants (algues et *Ceratophyllum demersum*), ceux à feuilles flottantes (*Nuphar*, *Nymphaea*, *Lemna*) et *Utricularia vulgaris* sont les plus fréquents. En 2002, *Myriophyllum spicatum*, *Elodea canadensis* dominant, accompagnés de plusieurs espèces, dont *V. americana* et *Potamogeton* sp.

Aux transects de la Pointe Lussaudière (T2) et de la Pointe d'Henri (T3), plus à l'ouest, la composition est aussi variable entre les années (annexe 2). À la Pointe Lussaudière (T2), en 2000, *E. canadensis* était le plus fréquent, alors qu'on ne le retrouvait à aucune station en 2001 (bas niveaux) et qu'il dominait à nouveau en 2002. À T3, les herbiers étaient moins variés, *E. canadensis*, *H. dubia*, *V. americana* et *P. richardsonii* étant les plus fréquents, selon les années.

Le peu d'espèces submergées et flottantes répertoriées par Jean et Létourneau (2002, annexe 3) dans le cadre du suivi des milieux humides du Saint-Laurent reflète l'échantillonnage plus haut sur le rivage, dans les marais, prairies humides et marécages surtout (annexe 3). *V. americana* n'est pas présente en sous-étage aux sites visités près des berges. Les espèces de plantes submergées accompagnant les plantes émergentes en eau peu profonde, comme *Myriophyllum spicatum*, *Utricularia vulgaris*, *Lemna minor* présentent une certaine tolérance aux eaux méso-eutrophes (Fleurbec, 1987). *Myriophyllum spicatum* est présent dans la baie des Îlets et à la Pointe Lussaudière.

En 1999 et 2000, selon les données récoltées dans le secteur sud lors du projet de caractérisation des sédiments de la zone de tir, il semble que la végétation submergée est dominée surtout par *H. dubia*, *V. americana* et des algues filamenteuses, accompagnées de *M. spicatum*, *E. canadensis* et, dans une moindre mesure, de *P. richardsonii* et *A. gramineum* (Cusson, 2002, annexe 4).

3.5.3 Tendances - herbiers aquatiques

L'ensemble des études consultées montre que *Vallisneria americana* demeure l'espèce dominante des herbiers aquatiques du lac Saint-Pierre. Cette espèce peut croître dans diverses conditions de substrat, de lumière, de pH, de vitesse de courant et dans des profondeurs variant de 0,3 à 7 m (Catling *et al.*, 1994). Elle constitue une importante composante des écosystèmes aquatiques, offre support aux invertébrés, abri et zone de frai aux poissons et est reconnue comme une ressource alimentaire de qualité pour l'avifaune (Catling *et al.*, 1994 ; Knapton et Petrie, 1999).

Dans le secteur à l'étude, elle est accompagnée de plusieurs espèces et la diversité spécifique semble augmenter en s'approchant de la rive. On peut difficilement déterminer si des espèces plus tolérantes que *V. americana* à l'eutrophisation du milieu, comme *M. spicatum*, tendent à la supplanter en raison du manque de données historiques pour le secteur.

M. spicatum est une espèce potentiellement importante pour tout milieu aquatique, car cette plante exotique a un comportement envahissant (Aiken *et al.*, 1979; Knapton et Petrie, 1999). Selon la cartographie des macrophytes submergés (figure 5), *M. spicatum* serait présent surtout dans les îles et sur la rive sud. Sa présence en abondance autour des îles de Berthier-Sorel a été rapportée fréquemment (Tessier *et al.*, 1981; Couillard et Grondin, 1986; Saint-Cyr *et al.*, 1992). Même si, d'après Morin (2002), il domine rarement sur de grandes superficies, les données de Hudon et Amyot (2002b, annexe 2) indiquent qu'il est présent à tous les transects de la rive sud, particulièrement aux transects 4 (en 2002) et 5 où il domine ou co-domine la strate submergée (annexe 2). De plus, on en retrouve une forte concentration dans une zone d'environ 2 km² au large de la Pointe aux Pois (Amyot, 2002), soit dans la zone de forte présence de munitions dans le lac (Cusson et Latreille, 2003).

Lac Saint-Pierre - 2000

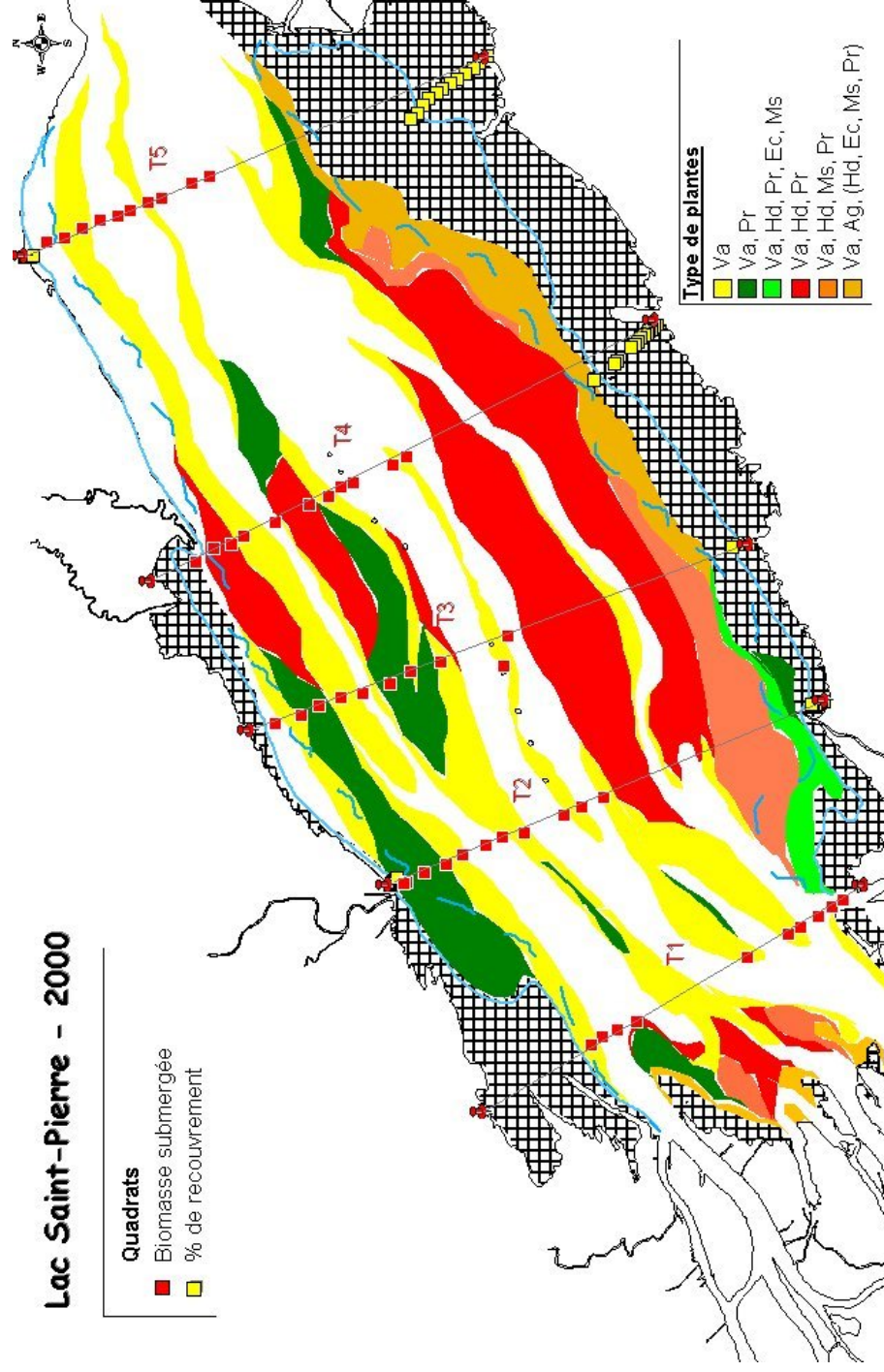


Figure 5 Carte de la répartition des espèces de plantes submergées dominantes au lac Saint-Pierre en 2000¹ et localisation des transects permanents de Hudon et Amyot (2002b)²

Légende : Va : *Vallisneria americana*, Pr : *Potamogeton richardsonii*, Hd : *Heteranthera dubia*, Ec : *Elodea canadensis*, Ms : *Myriophyllum spicatum*, Ag : *Alisma gramineum*.

Sources : ¹ Jean Morin (Service météorologique du Canada, Environnement Canada)

² Christiane Hudon et Jean-Pierre Amyot (Centre Saint-Laurent, Environnement Canada). Transects permanents : même localisation de 1999 à 2002.

Il est cependant difficile de quantifier son importance et son évolution temporelle dans la portion sud du lac. En effet, l'absence de données historiques dans ce secteur ne nous permet pas de savoir à quel point sa répartition s'est étendue, ni dans la portion sud, ni dans le lac en général. Il faut aussi retenir la grande variabilité interannuelle de ces communautés très sensibles aux importantes variations du niveau d'eau qui ont cours dans le fleuve d'une année à l'autre.

3.6 MARAIS PROFONDS ET PEU PROFONDS

3.6.1 Données historiques

3.6.1.1 Marais profonds

Les marais profonds ceinturent les rives nord et sud du lac Saint-Pierre et constituent la classe de milieux humides qui occupe les plus grandes superficies (tableau 1). De vastes communautés de plantes émergentes occupent donc tout le littoral de la rive sud. Comme pour les herbiers, les connaissances sur les marais de ce secteur viennent de Gratton (1983) et de Jacques (1986). Ce dernier ne fournit toutefois pas de statistiques propres à la rive sud dans son rapport, mais présente ses résultats de façon générale pour tout le lac. Il fait parfois mention de particularités propres à des secteurs précis, dont ceux sur la rive sud.

Schoenoplectus lacustris (anciennement *Scirpus lacustris*) et *Schoenoplectus pungens* (anciennement *Scirpus americanus*) dominent ces marais. En eau plus profonde, les marais ouverts sont en contact avec les herbiers. En 1983, *S. pungens* semble coloniser les eaux moins profondes et occupe de vastes étendues accompagné de *V. americana*. Il forme des colonies monospécifiques ou des groupements avec *S. lacustris*. Ce dernier forme des marais au couvert végétal plus ouvert. Dans la partie est de la rive sud, on le retrouve surtout avec *Bolboschoenus fluviatilis* (anciennement *Scirpus fluviatilis*), alors qu'ailleurs, *V. americana* l'accompagne généralement. *Typha angustifolia* et *Zizania aquatica* sont également présents (Gratton, 1983).

Dans leur étude écologique des terres du MDN, Gratton *et al.* (1998) reconnaissent que la cartographie de Jacques (1986) était encore très actuelle en 1996 et décrivent les marais profonds des terres du MDN comme de vastes communautés dominées par diverses combinaisons de plantes émergentes dont *S. lacustris*, *S. pungens* et *B. fluviatilis*, suivies de *Typha angustifolia*, *Pontederia cordata*, *Eleocharis smallii* et, plus rarement, *Zizania palustris*, *Sagittaria latifolia* et *Sagittaria rigida*.

3.6.1.2 Marais peu profonds

Les marais peu profonds occupent de plus faibles superficies. En 1983, Gratton en reconnaît deux types dans la moitié est de la rive sud. Présente d'une extrémité à l'autre du territoire, la première bande de végétation en bordure du plan d'eau qui succède au marais profond est dominée par *Eleocharis smallii* et *Sium suave*. Selon Jacques (1986), les sous-dominantes communes à ce type de marais sont, entre autres, *Equisetum fluviatile* et *Bolboschoenus fluviatilis*.

D'après Gratton (1983), les autres marais peu profonds de la rive sud occupent des dépressions humides un peu plus haut vers le rivage. La dominance y est parfois difficile à établir, puisqu'ils sont généralement constitués d'assemblages en proportions différentes de *Sparganium eurycarpum* associé à *Typha angustifolia*, à *Potentilla palustris*, à *Salix nigra* ou à *Bolboschoenus fluviatilis*, accompagnés d'un cortège d'espèces herbacées, dont *Butomus umbellatus* et *Sagittaria rigida* (Gratton, 1983).

Jacques (1986) précise que, dans la partie plus profonde de ces marais, les sous-dominantes sont des espèces de marais profond (p. ex. *Schoenoplectus* spp., *Sagittaria* spp., *Typha* spp.). À mesure qu'on remonte dans la zone riveraine, la profondeur diminue et les sous-dominantes sont représentées par des espèces du marais peu profond et de la prairie humide. Ceci souligne bien que les communautés ripariennes constituent un gradient plutôt que des groupes aux frontières bien définies.

De même, Gratton *et al.* (1998) résument la composition de ces marais à des groupements principalement composés de *Eleocharis smallii*, de *Equisetum fluviatile*, de *Sparganium eurycarpum*, *Typha angustifolia* et de *Bolboschoenus fluviatilis*. On y retrouve aussi fréquemment *Schoenoplectus pungens*, *Sagittaria latifolia*, *Sagittaria rigida*, *Butomus umbellatus* et *Nymphaea tuberosa*. Des plantes herbacées caractéristiques des zones plus élevées des milieux humides, comme *Calamagrostis canadensis*, *Phalaris arundinacea* et *Lythrum salicaria* partagent parfois la dominance (Gratton *et al.*, 1998).

Lorsqu'il y a des ouvertures remplies d'eau dans ces marais, elles sont colonisées par des espèces submergées ou à feuilles flottantes (Jacques, 1986).

3.6.2 Données récentes

Les données de Hudon et Amyot (2002b), récoltées le long de quatre transects permanents sur la rive sud entre 1999 et 2002 (annexe 2), constituent les données les plus complètes et les plus récentes pour cette région. Ce résumé est établi surtout à partir des données de 2000 et 2002, années pour lesquelles le niveau d'eau a permis l'échantillonnage des quatre transects (annexe 2).

Les transects ont une longueur variant de 300 à 2500 m environ, à partir d'un point de repère fixe en rive (limite des basses eaux à l'étiage) (Hudon et Amyot, 2002b). Leur emplacement est indiqué à la figure 5 (carrés jaunes). Ce sont les mêmes transects permanents qui sont échantillonnés chaque année, lorsque le niveau d'eau le permet. On remarque que leur longueur couvre la zone continue d'émergentes (ligne bleue). La portion quadrillée au-delà de la ligne bleue indique la zone où les émergentes ne forment plus un couvert continu, mais sont présentes en abondance variable. À Baie-du-Febvre, la bande de plantes aquatiques émergentes peut atteindre jusqu'à 5 km de largeur, formant une mosaïque complexe composée de plusieurs espèces (Hudon et Amyot, 2002a).

Aux transects de la Longue Pointe (T4) et de la Pointe aux Pois (T5), les plantes émergentes sont nettement dominées par *Schoenoplectus lacustris* et *Bolboschoenus fluviatilis*. À T4, on retrouve aussi, du marais moins profond au marais plus profond, *Acorus calamaus*, *Sparganium eurycarpum*, *Butomus umbellatus*, *Typha angustifolia*, *Sagittaria latifolia*, *Eleocharis* spp., accompagnés occasionnellement de *Equisetum fluviatile* et *Pontederia cordata*. À T5, toutes ces espèces compagnes ont une fréquence beaucoup plus faible (annexe 2). *Schoenoplectus pungens* est peu présent dans ce secteur du lac.

Butomus umbellatus n'est présent qu'à ces deux transects, particulièrement à T4. Ce transect, situé immédiatement du côté ouest de la Longue Pointe, suit un chenal de navigation de plaisance. La présence plus grande de *Butomus* à ce site indique peut-être que l'ouverture d'une voie dans le marais et l'herbier a pu favoriser sa propagation.

Aux transects de la Pointe Lussaudière (T2) et de la Pointe d'Henri (T3), tous deux situés dans la moitié ouest de la rive sud, la dominance de *Schoenoplectus lacustris* et *Bolboschoenus fluviatilis* est moins nette et *Schoenoplectus pungens* est plus fréquent. Un cortège d'espèces s'y retrouve, en proportions différentes et variables entre les années. Du moins profond au plus profond, les espèces codominantes rencontrées sont *Schoenoplectus pungens*, *Sium suave*, *Sagittaria latifolia*, *Bolboschoenus fluviatilis* et *Schoenoplectus lacustris*. *Sparganium*

eurycarpum et *Pontederia cordata* y sont peu fréquents et *Typha angustifolia* n'a pas été répertorié dans ce secteur (annexe 2).

D'après la nouvelle classification des milieux humides du lac Saint-Pierre, élaborée à partir des images MEIS-II acquises en septembre 2000 (figure 4), les marais de la rive sud occupent toujours de vastes superficies (tableau 1) et sont dominés par *Schoenoplectus lacustris*, accompagné de *Typha* sp. et de *Eleocharis* sp. (Létourneau, 2002). Les résultats des relevés de terrains effectués en 2000 dans le cadre du suivi des milieux humides du Saint-Laurent (Jean et Létourneau, 2002, annexe 3) font ressortir les mêmes codominances que les données de Hudon et Amyot (2002b, annexe 2). On retrouve essentiellement *Bolboschoenus fluviatilis*, *Sparganium eurycarpum*, *Schoenoplectus lacustris* et *Typha angustifolia* qui dominent les marais à tour de rôle. Ceux de la Pointe Lussaudière semblent plus diversifiés. Un marais à *Schoenoplectus pungens* a été répertorié à l'île Moras. *Lythrum salicaria* est très fréquente aux trois sites où elle a été identifiée.

3.6.3 Tendances - marais

Tout au long de la rive sud, on retrouve des assemblages différents des mêmes espèces de plantes dominantes et sous-dominantes de marais profonds et peu profonds, présentes en des proportions variables. Les fortes variations naturelles des conditions de niveau d'eau peuvent entraîner des différences interannuelles parfois marquées. Ces fluctuations de niveau contribuent, entre autres, à la diversité des communautés végétales du secteur à l'étude.

Sur la base des données actuelles, il est difficile de décrire des tendances claires depuis les cartographies produites il y a près de 20 ans par Gratton (1983) et Jacques (1986). Cependant on peut remarquer que dans la partie ouest de la rive sud, les grands marais semblent plus diversifiés et hétérogènes que les grandes zones à *Schoenoplectus pungens* et *Schoenoplectus lacustris* traditionnellement décrites. Il en est de même dans la portion est (terrains du MDN), où *Schoenoplectus lacustris* et *Bolboschoenus fluviatilis* se partagent la dominance. *Schoenoplectus pungens* semble donc avoir perdu du terrain par rapport aux descriptions plus anciennes de la rive sud (p. ex. Marie-Victorin, 1995; Gratton, 1983). Il est toutefois possible qu'il se trouve dans la zone qui demeure inaccessible pour les études de terrain et pour laquelle on ne possède pas de données récentes, soit la zone de marais au delà des transects échantillonnés par le Centre Saint-Laurent (Hudon et Amyot, 2002b, figure 5 et annexe 2). Il demeure donc encore de grandes

superficiers de marais non couvertes par les inventaires de végétation, pour lesquelles on ne possède pas de connaissances récentes.

3.7 PRAIRIES HUMIDES

3.7.1 Données historiques

En 1983, le long de la rive sud à l'est de la Longue Pointe, la prairie humide occupe de vastes superficies concentrées surtout dans la moitié ouest de cette zone (Gratton, 1983). Les trois principales espèces caractéristiques sont alors *Calamagrostis canadensis*, *Lythrum salicaria* et *Phalaris arundinacea*, dont les différentes combinaisons constituent un peu plus de 90 p. 100 de la surface totale occupée par les prairies humides. *Phalaris* occupe toutefois peu de superficie en tant que dominant dans cette portion de la rive sud. Cependant, Jacques (1986) souligne qu'il s'agit en général de l'espèce dominante au lac Saint-Pierre et que le secteur du MDN compte d'importantes superficies de prairies à *Phalaris arundinacea* ou à *Calamagrostis canadensis*. Notons qu'en 1986, *Phragmites communis* est une espèce peu fréquente au lac Saint-Pierre et n'est retrouvée que dans la baie de Lavallière.

Selon Gratton *et al.* (1998), les prairies humides des terres du MDN se composent de denses communautés de *Phalaris arundinacea* et de *Calamagrostis canadensis*. Chacune de ces espèces dominantes est accompagnée de diverses combinaisons d'espèces, parmi lesquelles on retrouve des plantes émergentes (p. ex. *Eleocharis smallii*, *Equisetum fluviatile*, *Bolboschoenus fluviatilis* et *Typha angustifolia*), mais surtout d'autres herbacées telles que les *Carex* sp., *Lythrum salicaria*, *Convolvulus sepium* et *Lycopus americanus*. Lorsqu'ils sont présents, les arbustes occupent moins de 25 p. 100 du couvert végétal et sont dominés par *Salix petiolaris*, *Salix eriocephala*, *Alnus rugosa*, *Spiraea latifolia* et *Ilex verticillata* (Gratton *et al.*, 1998).

Sur les terres du MDN, les communautés dominées ou codominées par *Lythrum salicaria* ne se retrouvent que près de la Longue Pointe, mais elles y occupent peu de superficie en comparaison avec le secteur voisin de Baie-du-Febvre où cette espèce prolifère. Ainsi, *Lythrum salicaria* qui était déjà une espèce dominante à l'ouest de la Longue Pointe en 1983 (Gratton, 1983) le demeure en 1998 (Gratton *et al.*, 1998), alors qu'elle est nettement moins abondante sur le territoire du MDN.

3.7.2 Données récentes

Il existe peu de travaux récents sur les prairies humides de la rive sud du lac Saint-Pierre. Les principaux types de prairies identifiés en 2000 sont dominés par *Phalaris arundinacea*, accompagné de *Lythrum salicaria* qui est très fréquente aux trois sites où elle a été identifiée (Jean et Létourneau, 2002, annexe 3). Hudon et Amyot (2002b, annexe 2), n'ont pu obtenir des données un peu plus haut dans le marais que lorsque le niveau d'eau assez élevé permettait l'accès en hydroglisseur (en 2000 et en 2002). Ces travaux ne couvrent toutefois qu'une faible proportion des prairies humides. On remarque que *Lythrum salicaria* est présente dans la partie supérieure de tous les transects en 2000 et à trois transects sur quatre en 2002. Cependant, elle n'est fréquente qu'à la Pointe Lussaudière (T2) en 2002. Les autres espèces les plus fréquentes sont *Phalaris arundinacea*, *Rorippa amphibia*, *Calamagrostis canadensis*, et *Lycopus americanus*. *Phragmites australis* a été localisé seulement à la Pointe de la Grande Commune (annexe 3) et sa présence au lac Saint-Pierre est marginale (Jean, 2002).

La comparaison de l'image MEIS-II de 2000 (figure 4, tableau 1) avec des images antérieures (Lalonde et Létourneau, 1996; Létourneau et Jean, 1996) montre qu'à l'ouest de la Longue Pointe les prairies humides semblent avoir perdu du terrain au profit surtout des marécages arbustifs. Le statut de protection de certaines zones de ce secteur (Langlois *et al.*, 1992) et les années de bas niveau d'eau pourraient expliquer la progression des arbustes au sein de la prairie humide.

3.7.3 Tendances - prairies humides

À la lumière des données récentes très fragmentaires, *Phalaris arundinacea* semble avoir maintenu (terres du MDN) ou augmenté (ouest de la Longue Pointe) sa dominance sur la rive sud du lac Saint-Pierre, bien que les prairies humides semblent couvrir de plus faibles superficies dans le second cas. *Lythrum salicaria* demeure dominante à l'ouest de la Longue Pointe et beaucoup moins importante à l'est (territoire du MDN). La présence d'un territoire protégé (refuge d'oiseaux migrateurs) et l'inaccessibilité au site du MDN ont réduit les pressions et les aménagements d'origine humaine sur ce site et ont ainsi pu y limiter la propagation de cette espèce réputée pour ses capacités d'envahissement. Il faudra surveiller étroitement sa progression lors des travaux d'enlèvement de munitions.

3.8 MARÉCAGES

3.8.1 Données historiques

Les marécages occupent de vastes superficies dans la portion ouest de la rive sud et sur les terres du MDN. En 1983, dans la portion ouest, les marécages arborescents sont largement dominés par les érablières à *Acer saccharinum*. En bordure de l'eau, elles sont accompagnées de *Salix nigra* puis, vers les terres, on retrouve l'érablière argentée à *Onoclea sensibilis*, suivie de celles à *Ulmus americana* ou à *Fraxinus pennsylvanica*.

Les marécages arbustifs les plus fréquents sont dominés par *Salix nigra* et *Acer saccharinum* (Gratton, 1983). Sur le territoire du MDN, Jacques (1986) souligne la présence de grands marécages arbustifs à *Alnus rugosa* parmi lesquels s'insère un grand marécage à *Myrica gale* et *Spiraea latifolia*.

Gratton *et al.* (1998) ont observé, sur le bourrelet riverain sableux des terres du MDN, que les marécages arbustifs sont dominés par *Salix petiolaris*, *Salix nigra* et *Salix eriocephala* alors que les marécages arborescents sont dominés par *Salix nigra*, accompagné de *Acer saccharinum*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Ulmus americana* ou *Populus deltoides*. Les basses terres derrière le bourrelet riverain sont occupées par une mosaïque de marécages arborescents et arbustifs. L'érablière à *Acer saccharinum* et *Fraxinus pennsylvanica* domine, accompagnée de *Ulmus americana* ou *Populus deltoides* dans la strate arborescente. L'érablière à *Acer rubrum* se rencontre dans les dépressions mal drainées, en retrait du rivage. Selon Jacques (1986), ce dernier type de marécage est le plus fréquemment retrouvé sur la rive sud du lac Saint-Pierre, particulièrement sur le territoire du MDN.

3.8.2 Données récentes

L'échantillonnage de Gratton *et al.* (1998) en 1995 et 1996 constitue la plus récente récolte de données sur les marécages de la rive sud, exception faite des données provenant de trois marécages échantillonnés en 2000 à la Pointe Lussaudière (Jean et Létourneau, 2002, annexe 3). Le marécage à Érablière argentée à *Laportea* se caractérise par une dominance de *Acer saccharinum*, accompagné des espèces arborescentes *Salix nigra* et *Fraxinus pensylvanica* et des espèces herbacées *Laportea canadensis* et *Calamagrostis canadensis*. Les marécages à Saulaie noire se caractérisent par une dominance de *Salix nigra*, accompagné dans un des cas par *Acer saccharinum*. La strate herbacée est dominée par *Calamagrostis canadensis*, suivi de

Lythrum salicaria, *Bolboschoenus fluviatilis* et *Sagittaria latifolia*. Ces communautés correspondent à la description faite par Gratton en 1983.

Le rapport de Gratton *et al.* (1998) fait très bien ressortir le caractère exceptionnel des marécages des terres du MDN. Les inventaires de 1995 et 1996, loin d'être exhaustifs, confirment la présence de plusieurs espèces de plantes susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables dans les érablières à érable argenté et dans les érablières à érable rouge.

3.8.3 Tendances - marécages

Ces communautés ont été peu échantillonnées récemment et les informations, trop fragmentaires, ne permettent pas de se prononcer sur l'évolution des marécages. La coupe forestière constitue généralement la principale cause de diminution des superficies boisées en zone humide. De plus, des années de hauts niveaux d'eau répétés peuvent faire mourir les arbres et réduire les superficies de cette classe de milieux humides. Cependant, il semble que les marécages arbustifs se soient étendus dans la partie à l'ouest de la Longue Pointe (section 3.7.2, figure 4), en augmentant leur emprise sur la prairie humide. Et le statut de protection des terres du MDN et de plusieurs hectares à l'ouest de la Longue Pointe (Langlois *et al.*, 1992) permet la conservation des marécages arbustifs et arborés existants.

3.9 PLANTES INTRODUITES ET ENVAHISSANTES

Les plantes étrangères, introduites d'une autre région ou d'un autre pays, ne sont pas toujours du type envahissant : seules certaines possèdent la capacité de prospérer au détriment de la flore indigène régionale. Peu de problèmes d'envahissement se présentent dans les régions naturelles qui sont essentiellement non perturbées (White *et al.*, 1993). Les plus graves problèmes se produisent dans les régions naturelles situées près des centres urbains, perturbées par plusieurs facteurs d'origine humaine. Les habitats naturellement perturbés, comme les littoraux, font exception. Aussi, les habitats aquatiques et semi-aquatiques pourraient être les plus vulnérables à l'envahissement puisque les perturbations naturelles telles que les crues printanières, la baisse du niveau de l'eau en été et l'action mécanique des glaces peuvent suffire à rendre possible la colonisation de ces milieux naturels par bien des espèces étrangères (White *et al.*, 1993). Les invasions par les espèces introduites, de même que les pertes d'habitats constituent les deux principales causes de diminution de la diversité biologique.

Les espèces envahissantes des milieux humides présentes au lac Saint-Pierre et généralement reconnues comme problématiques sont *Myriophyllum spicatum*, *Butomus umbellatus*, *Lythrum salicaria* et *Phalaris arundinacea*.

M. spicatum est une espèce introduite envahissante qui s'est rapidement répandue dans certains lacs et cours d'eau du Canada depuis les années 60. Il envahit habituellement rapidement les sites qu'il colonise (Aiken *et al.*, 1979; White *et al.*, 1993). Par exemple, au lac George (NY, É.-U.), sa répartition est passée de trois stations en 1985 à 110 en 1994 (Eichler *et al.*, 1995). Son expansion au lac Saint-Pierre ne semble pas avoir été aussi fulgurante. *M. spicatum* se reproduit principalement par fragmentation végétative. Les perturbations physiques qui provoquent la production de nombreux fragments tendent donc en général à favoriser sa propagation (Aiken *et al.*, 1979; White *et al.*, 1993). Même lorsqu'il est très répandu, *M. spicatum* semble avoir peu de valeur alimentaire (Aiken *et al.*, 1979) et ne constitue qu'une faible proportion des plantes consommées par les canards (p. ex. Long Point (Ontario), Knapton et Petrie, 1999).

On reconnaît depuis longtemps que la présence de *Butomus umbellatus* et *Lythrum salicaria* a pu modifier la flore du Saint-Laurent (Marie-Victorin, 1934, 1943, 1995). En Amérique du Nord, c'est le long du Saint-Laurent, à Laprairie près de Montréal, que *Butomus umbellatus* été vu pour la première fois en 1897 (Marie-Victorin, 1995; White *et al.* 1993). Il était déjà présent jusqu'à Nicolet en 1918. Marie-Victorin (1943, 1995) explique son expansion rapide par l'abondance de ses graines, par sa multiplication végétative au moyen de bulbilles et de rhizomes ainsi que par l'action de la glace qui enrobe les rhizomes superficiels et les transporte au loin au moment de la débâcle. Le peu de connaissances actuelles empêche de statuer sur l'état exact de ces populations au lac Saint-Pierre. Quoique fréquent, *B. umbellatus* semblait peu dominant sur la rive sud d'après les données citées précédemment (section 3.6.2).

Originnaire d'Eurasie et introduite en Amérique du Nord vers 1800, *Lythrum salicaria* est présente depuis longtemps tout au long du Saint-Laurent, y compris au lac Saint-Pierre (Marie-Victorin, 1934, 1995). Cette herbacée vivace produit énormément de graines et se propage également de façon végétative grâce à des rejets et des racines adventives provenant de tiges coupées, piétinées ou enterrées (White *et al.* 1993). On souligne déjà, en 1934, qu'elle forme d'immenses colonies pures tout le long de la section alluviale du Saint-Laurent (Marie-Victorin, 1934). Les faibles abondances observées sur les terres du MDN (Gratton *et al.*, 1998) seraient peut-être le reflet d'un milieu moins soumis aux perturbations d'origine humaine que ne l'est le

reste de la rive sud. La présence de cette plante est généralement reconnue comme problématique, certains attribuant même à cette exotique la perturbation de plus de milieux humides que n'en causent les aménagements anthropiques (Mal *et al.*, 1992).

Phalaris arundinacea est formé de l'espèce indigène et de cultivars commerciaux rapportés d'Europe (White *et al.*, 1993). Cette plante herbacée vivace se reproduit par graines et par voie végétative grâce à la croissance abondante de rhizomes vigoureux. Elle tend à éliminer les autres et à former des colonies pures. Elle est effectivement l'espèce dominante des prairies humides du lac Saint-Pierre.

Phragmites australis, qui est reconnu pour son comportement envahissant (Galatowitsch *et al.*, 1999), n'est pas encore présent le long de la rive sud du lac Saint-Pierre. Il a cependant été répertorié dans les baies de Lavallière et Saint-François ainsi qu'à une station de la Pointe de la Grande Commune (Jean et Létourneau, 2002, annexe 3). La colonisation d'ouvertures artificielles par cette espèce serait problématique, car elle est très envahissante une fois installée. Cependant, sa répartition ne semble pas s'être étendue sur la rive sud, puisque les données récentes rapportent sa présence seulement dans la baie de Lavallière et à son embouchure, alors qu'en 1986, Jacques ne la signalait aussi que dans cette même baie.

Une étude récente sur les plantes exotiques et envahissantes des milieux humides du Saint-Laurent (Lavoie *et al.*, 2003) montre cependant que *Lythrum salicaria* ne semble pas être un problème aussi grand qu'on le croyait, notamment en comparant la situation au Québec par rapport à d'autres régions du Nord-Est américain. La présence de *Butomus* et *Lythrum* aurait moins d'impact sur la diversité en espèces indigènes qu'on ne le croyait au départ. Ces espèces sont en effet accompagnées d'une certaine diversité d'espèces indigènes qui ne sont pas nécessairement éliminées au profit de grandes formations monospécifiques de *Lythrum* ou de *Butomus*. Par contre, *Phragmites australis* et *Phalaris arundinacea* tendent à envahir complètement le milieu qu'ils colonisent. Ils dominent le couvert végétal et bloquent la succession, ce qui se traduit par un nombre inférieur d'espèces indigènes compagnes en leur présence (Lavoie *et al.*, 2003).

L'enlèvement de la végétation, les perturbations au site ainsi que les activités favorisant la dispersion (comme l'ouverture de chemins) sont les causes les mieux connues d'invasions par les plantes. De plus, les habitats ouverts comme les marais et les prairies humides seraient plus

susceptibles aux invasions que les marécages arborés (White *et al.*, 1993; Detenbeck, *et al.*, 1999; Galatowitsch *et al.*, 1999).

3.10 PLANTES RARES, VULNÉRABLES OU MENACÉES

Dans leur synthèse de 1992, Langlois *et al.* établissaient, à partir de la liste de Lavoie (1992), à 27 le nombre d'espèces végétales susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables au lac Saint-Pierre. Dans le but de parfaire les connaissances sur les plantes menacées ou vulnérables de ce secteur, Gratton *et al.* (1998) ont échantillonné les marécages et les prairies humides du territoire de la Défense nationale, entre la Longue Pointe et l'île Moras en 1995 et 1996. Pour la rive sud du lac Saint-Pierre, il n'existe pas d'inventaire plus récent des plantes rares que celui présenté dans leur rapport. Leurs résultats, combinés aux données mises à jour par le *Centre de données sur le patrimoine naturel du Québec* (CDPNQ) (Labrecque et Jolicoeur, 2002), ainsi qu'à la consultation de Labrecque et Lavoie (2002, mise à jour de Lavoie, 1992) sont présentés au tableau 2.

Le CDPNQ a fourni une liste des espèces susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables pour tout le lac Saint-Pierre, de l'entrée du lac, au début de l'archipel, jusqu'à sa sortie, à Port-Saint-François. Un total de 34 espèces a été tiré de leur banque de données. Parmi ces espèces, 16 se retrouvent sur le littoral de la zone de tir, soit sur la rive sud entre les rivières Saint-François et Nicolet. Les espèces dont la mention de localisation dans la banque de données était « Nicolet » ont été incluses avec la rive sud, malgré l'imprécision de l'information. Il est primordial de noter que la majeure partie de ces mentions sont historiques, c.-à-d. que la mention la plus récente date de plus de 25 ans. De plus, la précision de la localisation de la mention (souvent à partir de spécimens d'herbiers) est souvent de 8 km, le lieu de récolte n'étant pas connu de façon plus précise.

Ainsi, à l'exception des quatre espèces inventoriées par Gratton *et al.* (1998) sur le territoire du MDN en 1995 et 1996 (marquées de *** dans le tableau 2), aucune des 12 autres mentions d'espèces rapportées pour la rive sud dans les limites de la zone de tir n'est récente. Ces auteurs soulignent, à juste titre, le manque de connaissances sur les plantes rares en général, et plus particulièrement celles des marais et des herbiers submergés de ce secteur. Ce problème est critique puisque la zone ciblée pour l'enlèvement des munitions se situe en milieu aquatique, donc dans ces deux zones.

Les différences entre ce bilan et la liste établie par Langlois *et al.* (1992) tiennent essentiellement au fait que certaines espèces ont été retirées de la liste (quatre espèces) et que le territoire visé n'a pas exactement les mêmes limites (responsable de l'ajout de 12 espèces) et que de nouvelles mentions sont ajoutées (trois espèces). Dans la mise à jour de Lavoie (1992) (Labrecque et Lavoie, 2002), des espèces ont été retirées, d'autres ont été ajoutées et certains noms ont changés (v. annexe 1, Labrecque et Lavoie 2002).

3.11 BILAN

L'actuel portrait de la végétation du lac Saint-Pierre fait ressortir les ressemblances avec les synthèses précédentes (Couillard et Grondin, 1986; Gratton et Dubreuil, 1990; Langlois *et al.*, 1992). L'ajout de données récentes a aussi permis d'actualiser ce portrait et permettra éventuellement de déceler certaines tendances, comme l'augmentation possible de la répartition de *Myriophyllum*, de *Butomus* et de *Phalaris*. Le caractère exceptionnel de ces milieux a été souligné par Gratton *et al.* (1998), non seulement pour la présence d'espèces végétales susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables, mais aussi parce qu'il s'agit d'un des secteurs du fleuve où les rives sont les moins artificialisées (rives naturelles stables). Des hydrosères intactes, c.-à-d. des portions de territoires qui conservent, en continu, toute la séquence des habitats humides non perturbés, de la terre vers l'eau, y ont été identifiées par Gratton *et al.* (1998). Ces derniers suggèrent que ces secteurs soient protégés en priorité. Picard *et al.* (1997) identifient aussi ces hydrosères intactes comme une priorité de conservation au lac Saint-Pierre (234 ha entre la Pointe du fer à Cheval et la Longue Pointe; 703 ha entre la Longue Pointe et Nicolet).

La principale constatation demeure l'importance des milieux humides de la zone de tir du lac Saint-Pierre en termes de superficie, de diversité et d'habitats fauniques. Le présent rapport met aussi en évidence le peu de données disponibles et la nécessité d'acquérir des connaissances portant plus spécifiquement sur la végétation de ce secteur avant d'entreprendre des opérations de ratissage et d'enlèvement de projectiles qui pourraient mener à la détonation éventuelle de munitions.

Tableau 2 Liste des espèces végétales susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables au lac Saint-Pierre

Nom latin	Nom français (si connu)	Rive sud (CYR 606)	Statut au Québec	Dernière récolte**	Précision	Qualité
<i>Allium tricoccum</i>	ail des bois	Nicolet*	vulnérable	1949	8 km	Extirpée
<i>Amelanchier sanguinea</i> var. <i>grandiflora</i>			susceptible	1944	1,5 km	Historique
<i>Arabis laevigata</i>		Nicolet	susceptible	1981	8 km	Existante, à déterminer
<i>Arisaema dracontium</i>	arisème dragon		menacée	1999	150 m	Excellente
<i>Arethusa bulbosa</i>	aréthuse bulbeuse	Nicolet	susceptible	1974	8 km	Historique
<i>Bartonia virginica</i>	bartonie de Virginie	Oui	susceptible	1974	8 km	Historique
<i>Bidens discoides</i>		Oui***	susceptible	1995	150 m	Faible
<i>Botrychium rugulosum</i>	botryche à limbe rugueux		susceptible	1928	1,5 km	Historique
<i>Carex folliculata</i>		Oui***	susceptible	1995	150 m	Passable
<i>Celtis occidentalis</i>	micocoulier occidental		susceptible	2001	150 m	Bonne
<i>Claytonia virginica</i>	claytonie de Virginie		susceptible	1932	8 km	Historique
<i>Cyperus lupulinus</i> subsp. <i>macilentus</i>		Oui	susceptible	1935	8 km	Historique
<i>Cypripedium reginae</i>	cyripède royal	Nicolet	susceptible	1875	8 km	Historique
<i>Echinochloa walteri</i>	échinochloé de Walter		susceptible	1943	8 km	Historique
<i>Eragrostis hypnoides</i>		Oui***	susceptible	1995	150 m	Faible
<i>Goodyera pubescens</i>	goodyerie pubescente		susceptible	1939	1,5 km	Historique
<i>Ionactis linariifolius</i>	aster à feuilles de lin	Nicolet	susceptible	1948	8 km	Historique
<i>Iris virginica</i> var. <i>shrevei</i>	iris de Virginie variété de Shreve	Oui***	susceptible	1996	150 m	Passable
<i>Juncus greenii</i>	jonc de Greene		susceptible	1947	8 km	Historique
<i>Lycopus virginicus</i>	lycope de Virginie		susceptible	1991	150 m	Faible
<i>Lysimachia hybrida</i>	lysimaque hybride	Oui	susceptible	1947	1,5 - 8 km	Historique
<i>Peltandra virginica</i>	peltandre de Virginie		susceptible	1943	8 km	Historique
<i>Platanthera flava</i> var. <i>herbiola</i>	platanthère à gorge tuberculée variété petite-herbe	Nicolet	susceptible	1933	8 km	Historique
<i>Polygonum hydropiperoides</i> var. <i>hydropiperoides</i>	renouée faux-poivre-d'eau variété faux-poivre-d'eau		susceptible	1940	8 km	Historique
<i>Ranunculus flabellaris</i>	renoncule à éventails	Oui	susceptible	1943	8 km	Historique
<i>Rubus flagellaris</i>			susceptible	1949	8 km	Historique
<i>Schoenoplectus heterochaetus</i>		Oui	susceptible	1935	8 km	Historique
<i>Schoenoplectus torreyi</i>	scirpe de Torrey		susceptible	1932	8 km	Historique
<i>Selaginella eclipes</i>			susceptible	1957	8 km	Historique
<i>Sparganium androcladum</i>			susceptible	1931	8 km	Historique
<i>Strophostyles helvula</i>			susceptible	1997	150 m	Existante
<i>Torreyochloa pallida</i> var. <i>pallida</i>			susceptible	1967	8 km	Historique
<i>Veronica anagallis-aquatica</i>		Oui	susceptible	1927	8 km	Historique
<i>Woodwardia virginica</i>	woodwardie de Virginie		susceptible	1940	8 km	Historique

* Lorsque cette mention du lieu de récolte (Nicolet), sans plus de précision, données incluses dans la zone de tir et dans le tableau

** Quand présente dans la zone de tir et ailleurs, données pour la zone de tir seulement incluses dans le tableau

*** Mention récente par Gratton *et al.* (1998)

4 Perturbations physiques et régénération végétale dans les milieux humides - revue de littérature

4.1 INTRODUCTION

Cette revue de la littérature scientifique et technique, ainsi que le bilan des connaissances sur la végétation et la flore du lac Saint-Pierre présenté au chapitre précédent, constituent la base nécessaire à l'élaboration du protocole d'échantillonnage de la végétation des milieux humides des terres du CEEM soumis à des perturbations par la circulation de véhicules dans le marais lors des activités de ratissage de 2001. Cette revue traite de l'effet des explosions subaquatiques sur les plantes, de l'effet de la circulation de véhicules dans les milieux humides, des stratégies de propagation des plantes des milieux humides d'eau douce et de la réaction des espèces et des écosystèmes aux perturbations physiques.

4.2 MÉTHODOLOGIE

La recherche de documents de référence a été effectuée en plusieurs étapes. Après l'élaboration d'une liste de mots clés à partir des sujets de recherche, il y a eu consultation de banques de données bibliographiques. À partir des listes de titres et de résumés de publications obtenus par ces recherches, les documents à commander ont été sélectionnés. De nombreuses recherches de documents ont aussi été effectuées à l'aide d'Internet.

Des informations plus détaillées sur cette démarche, dont les listes de mots clés utilisés pour la recherche bibliographique, sont présentées à l'annexe 5.

4.3 TYPES DE PERTURBATIONS APPRÉHENDÉES DANS LA ZONE DE TIR

La mise en œuvre éventuelle du projet d'enlèvement des projectiles qui reposent au fond de la zone de tir du MDN causera vraisemblablement des perturbations physiques aux milieux humides, principalement aux herbiers aquatiques et aux marais, là où se concentre la présence de ces projectiles. Deux types de perturbations sont appréhendées. Premièrement, le ratissage de la zone de tir entraînera la création de routes d'accès et de sentiers à la suite du passage fréquent de véhicules pour le déplacement des équipes de travail, la recherche des munitions et le transport des munitions retrouvées vers le CEEM. Deuxièmement, la destruction sur place des munitions

jugées dangereuses, retrouvées tant en rive que dans l'eau, produira des cratères de détonation de taille variable selon le calibre du projectile et la charge utilisée pour le détruire.

4.4 IMPACTS DE LA CIRCULATION DE VÉHICULES SUR LES SOLS ET LA VÉGÉTATION

La circulation de véhicules, tout terrain, ou autres, dans les milieux humides d'eau douce ou estuariens est généralement liée aux activités de prospection minière, gazifière et sismique, à la construction (p. ex. pipelines, ponts, digues), aux manœuvres militaires, à la gestion de réserves naturelles (p. ex. gestion des populations de moustiques, Hannaford et Resh, 1999) et à l'utilisation de véhicules tout terrain récréatifs.

Il existe plus d'études rapportant les conséquences du passage de véhicules dans les milieux forestiers, désertiques et arctiques qu'en milieux humides (Hannaford et Resh, 1999). Les diverses études portant sur les effets de la circulation de véhicules en milieux humides arrivent à peu près toutes aux mêmes conclusions quant aux effets sur les sols (Braunack et Williams, 1993; Bass, 1996, 1997; Blionis et Woodin, 1999; Hannaford et Resh, 1999; Milchunas *et al.*, 1999; Hirst *et al.*, 2000). Les effets directs sur le sol incluent le creusage d'ornières et le compactage par les roues et les chenilles des véhicules. Les effets directs sur la végétation se traduisent soit par la destruction complète, soit par des réductions de hauteur, de recouvrement et de biomasse et, éventuellement, par des modifications de la composition.

4.4.1 Effets sur les sols

L'intensité de l'effet sur les sols sera fonction du type de véhicule. Un véhicule plus léger aura un impact moins grand (pression au sol moindre) (Hannaford et Resh, 1999). Selon qu'il est équipé de roues ou de chenilles ou qu'il fonctionne sur coussin d'air, les effets seront aussi différents (Bass, 1996). Tout passage de véhicules entraîne le compactage des sols. Le compactage entrave la régénération en augmentant la résistance du sol à la pénétration par les racines (Blionis et Woodin, 1999). Cependant, ce sont les passages répétés et les virages qui brisent la surface des sols et creusent des ornières de profondeur variable (Milchunas *et al.*, 1999).

Le contenu initial en eau du sol est aussi très important pour déterminer leur résistance à la pression et, par conséquent, l'impact des perturbations. Les sols les plus humides sont plus meubles et forment les ornières les plus profondes. Toutefois, la profondeur des ornières et les

perturbations du sol augmentent surtout avec le nombre de passages et de tournants (Braunack et Williams, 1993). La présence de véhicules tout terrain dans les milieux humides entraîne aussi le risque de fuites (même mineures) d'huiles et autres produits chimiques provenant des véhicules eux-mêmes.

4.4.2 Effets sur la végétation

Les effets du passage de véhicules sont très différents selon l'humidité du sol, les communautés végétales présentes et le type de véhicule utilisé. Les perturbations subies par les communautés végétales couvrent une gamme allant simplement de la végétation écrasée jusqu'aux dommages graves aux racines, lorsque des ornières sont creusées en profondeur.

Il y a généralement réduction de la hauteur et du recouvrement de la végétation ainsi que diminution de la diversité en espèces dans les traces des véhicules, effets qui persistent parfois pendant des années (Polasek, 1997; Blionis et Woodin, 1999). Cependant, certaines espèces à croissance rapide, comme *Salicornia*, ont montré la capacité de récupérer rapidement dans les traces de véhicules légers (de type Argo) faites dans un marais salé (Hannaford et Resh, 1999). Lorsque les structures souterraines et les sols ne sont pas trop perturbés, c.-à-d. que les ornières ne sont pas trop creuses, la reprise végétale est meilleure.

Les véhicules amphibies chenillés qui circulent dans les marais et herbiers peu profonds creusent aussi des ornières tout en écrasant et en arrachant la végétation sur leur passage. La production d'ornières profondes par la circulation de véhicules tels que des barges avec grues et des véhicules amphibies chenillés utilisés pour la construction de pipelines dans des marais côtiers du Texas et de la Louisiane a entraîné l'ouverture du milieu. Après un an, le milieu n'avait que partiellement récupéré et, dans de nombreux cas, des ouvertures ont persisté pendant plusieurs années (Tabberer *et al.*, 1985; Bass, 1996, 1997; Polasek, 1997). Ces ouvertures du milieu peuvent aussi constituer des voies potentielles d'introductions d'espèces envahissantes.

Il est généralement admis que même un seul passage de véhicule endommage la végétation et qu'il est préférable de limiter, sinon interdire, la circulation en milieux humides. Il est recommandé de procéder à pied lorsque c'est possible et d'éviter l'usage de véhicules lourds à chenilles de métal (Hannaford et Resh, 1999). Lorsque l'utilisation de véhicules est inévitable, l'application de mesures d'atténuation contribuent généralement à limiter les dommages. Selon Bass (1997), les restrictions imposées lors de travaux dans des marais côtiers de Louisiane

auraient contribué à minimiser les impacts. Par exemple, le nombre de passage d'un véhicule amphibie transportant tout l'équipement a été limité à un seul aller jusqu'au site de travail, et les aller-retour pour le transport du personnel ont été effectués en hydroglisseur. Dans ce cas, l'hydroglisseur devait être le moins chargé possible et éviter de réutiliser le même chemin plus d'une fois (Bass, 1997).

La circulation dans l'eau de véhicules et de plongeurs de même que les explosions peuvent aussi avoir d'autres effets tels que la remise en suspension des sédiments. L'augmentation de la matière en suspension diminue la transparence de l'eau, un des principaux facteurs limitant de la croissance des plantes aquatiques. Ainsi, il a été observé que la biomasse totale des bourgeons d'hiver (turions) de *Vallisneria americana*, privée de lumière pendant 14 jours au milieu de la saison de croissance, a été réduite. Ceci pourrait limiter la propagation et l'abondance de *Vallisneria americana* (Korschgen *et al.*, 1997). Ces résultats soulèvent la possibilité d'une réduction de la capacité de reproduction chez d'autres espèces de plantes aquatiques lorsque les conditions de luminosité locale sont altérées.

4.5 EFFETS DES EXPLOSIONS DANS L'EAU ET À L'AIR LIBRE

Que ce soit en eau douce ou en milieu marin, les explosifs sont utilisés sous l'eau à de nombreuses fins : entraînement militaire, tests de munitions, élimination de munitions, destruction de structures (piliers de ponts, digues, barrages), exploration sismique. Ils peuvent même être utilisés pour créer des aménagements fauniques dans des marais (Martin et Marcy, 1989). Il n'existe que quelques synthèses des connaissances sur les effets des explosions en milieu marin (Lewis, 1996) et en milieu d'eau douce (Keevin et Hempen, 1997).

En milieu riverain et aquatique, les explosions provoquent la destruction de la végétation et de ses structures souterraines sur une certaine surface. Elles modifient aussi la microtopographie en créant des dépressions (cratères), ce qui entraîne une augmentation locale de la profondeur de l'eau. La couche supérieure des sédiments est perturbée, ce qui en modifie la nature et la qualité et peut nuire à la colonisation éventuelle par les plantes.

Une partie du matériel végétal et des sédiments projetés dans les airs au moment de l'explosion retombe dans le cratère et en périphérie, formant un bourrelet de sédiments autour des grands cratères. Les banques de graines et de propagules végétatives contenues dans le sol, sources de régénération des plantes, sont perturbées. On ne peut cependant pas dire dans quelle

mesure elles retombent au centre et au pourtour du cratère, ni si leur viabilité en est affectée. Ce brassage les entraîne à des profondeurs de substrat différentes d'avant la perturbation.

Les impacts se font sentir dans l'eau comme dans l'air. Toutefois les explosions subaquatiques génèrent en plus une onde de pression explosive qui peut tuer les organismes vivants au-delà du cratère, y compris les plantes, dans un rayon qui est fonction de la charge explosive (Keevin et Hempen, 1997). De plus, dans l'eau, la remise en suspension des particules fines de sédiments réduit la transmission de la lumière et la photosynthèse, puis envase les plantes lors de la sédimentation (Lewis, 1996).

4.5.1 Effets des explosions subaquatiques sur les plantes

Il existe très peu d'informations sur les effets des explosions sur les plantes aquatiques. Dans leur synthèse des effets environnementaux des détonations subaquatiques, Keevin et Hempen (1997) ne recensent que deux références. Ludwig (1977) a observé les effets d'explosifs utilisés comme « herbicide » pour réduire des populations du macrophyte marin *Zostera marina* sur la Côte Est américaine. Parmi les effets observés, la détonation d'une charge simple produisant un cratère de 45 cm a entraîné la mortalité progressive de *Zostera* pendant huit semaines. Au total, une zone de 7-8 m de diamètre a été atteinte. En perturbant la structure cellulaire des racines des plantes vasculaires, l'onde de choc aurait causé leur mortalité alors que les algues n'ont pas été affectées.

Smith (1996) a étudié les effets d'explosions subaquatiques sur la biomasse et la photosynthèse de plantes vasculaires aquatiques et d'algues submergées. Pour toutes les espèces, algues incluses, une perte de biomasse ou la mortalité, d'intensités variables selon la distance de l'explosion, ont été observées. La photosynthèse des plantes a aussi été nettement réduite jusqu'à 8,5 m de la détonation. Ces résultats sont préliminaires et des travaux portant sur la relation entre l'onde de pression et les dommages subis par la végétation sont en cours (Keevin et Hempen, 1997). Les impacts directs se manifestent donc non seulement par la destruction de la végétation et la perturbation des sédiments au point d'impact (cratère), mais également par la mortalité ou l'atteinte des plantes dans un certain rayon de l'explosion. Dans ces études, il n'est pas fait mention de la régénération végétale des cratères et de leur périphérie.

4.5.2 Colonisation des cratères d'explosion

Il existe peu de références portant spécifiquement sur la régénération végétale dans des cratères produits par l'explosion de munitions. De plus, les études répertoriées rapportent des situations assez différentes de celle rencontrée au lac Saint-Pierre, tant sur le plan des espèces et que des sites étudiés. En effet, aucune recherche portant spécifiquement sur la colonisation d'ouvertures produites par des explosions par la végétation de milieux humides d'eaux douces n'a été trouvée.

En 1945, Warwick (1949) a étudié la colonisation par les mollusques d'étangs créés par le bombardement, en 1940, d'une région située dans la plaine inondable de la Tamise (Angleterre). Cinq ans après, les petits cratères étaient déjà complètement remplis de végétation. Les plus grands étangs, variant de 2 à 8 m de diamètre et d'au moins 1 m de profondeur étaient colonisés par des plantes émergentes en périphérie, dans les faibles profondeurs, et de macrophytes aquatiques au centre. Selon l'auteur, les plus grands étangs devraient persister de nombreuses années.

Karofeld (1999) a étudié la régénération de la végétation de tourbières d'une région d'Estonie soumise à l'entraînement militaire soviétique pendant plus de 20 ans. Les cratères aux pentes escarpées ont entre 0,6 et 1,3 m de diamètre et une profondeur moyenne de 34 cm. La plupart des cratères sont dépourvus de végétation, bien que les plus récents datent d'au moins 4-5 ans. Les conditions du sol et la monopolisation du fond des cratères par des algues empêchant le développement des autres plantes peuvent, entre autres, expliquer ce phénomène.

Posidonia oceanica est une plante marine submergée formant de vastes herbiers en Méditerranée. Au large des côtes françaises, Meinesz et Lefèvre (1984) ont étudié la régénération d'un site, 40 ans après sa destruction par une bombe lors de la Seconde Guerre mondiale. Situé entre 6 et 25 m de profondeur, cet herbier a été détruit sur une surface circulaire d'un rayon de 85 m (environ 22 700 m²). *P. oceanica* se régénère essentiellement par l'accroissement des rhizomes, car sa floraison est rare dans cette région. Après 40 ans, le cratère n'était pas encore complètement revégétalisé. La vitesse moyenne de régénération naturelle, intégrant 40 ans de bonnes et de moins bonnes années de croissance, a été évaluée à 3,75 cm/an et le rythme de colonisation par bouturage naturel, à 3 nouvelles boutures/an/ha.

Meehan et West (2000) rapportent des rythmes de régénération similaires pour *Posidonia australis*, autre macrophyte marin submergé qui a été étudié dans 11 ouvertures circulaires (470 à

1200 m²) causées par la détonation d'explosifs lors d'explorations sismiques en Australie. En 25 ans (de 1972 à 1997), les espaces dénudés ont diminué de seulement 56 p. 100. La colonisation par *Posidonia* s'est faite graduellement et lentement, de la périphérie vers le centre, par une croissance moyenne des rhizomes de 21 cm par an. Encore une fois, aucune trace de germination de semis (c.-à-d. issus de graines) n'a été observée. Les auteurs ont estimé qu'à ce rythme, les ouvertures devraient être complètement revégétalisées d'ici 2071. Pour d'autres espèces marines submergées, ils rapportent de nombreuses valeurs de croissance de rhizome qui vont de 2,3 cm à 132 cm, selon les espèces et les milieux.

Les explosifs ont aussi été utilisés pour la création d'ouvertures à des fins d'aménagements fauniques pour la sauvagine (Martin et Marcy, 1989). La présence de petits plans d'eau libre au sein de marais est favorable à la reproduction (élevage et alimentation des jeunes) et à l'alimentation de la sauvagine. Ce rapport présente les justifications et les techniques employées pour créer des ouvertures au moyen d'explosifs dans un marais. Les étangs peu profonds (< 30 cm) se revégétalisent plus rapidement que les profonds. De plus, des trouées artificielles présentent encore des portions ouvertes 20 ans après leur création à l'aide d'explosifs, alors que leur profondeur a été réduite de moitié.

Cependant, les espèces submergées visées par les études ci-dessus possèdent des modes de régénération qui ne sont pas nécessairement les mêmes que ceux des plantes dominantes des herbiers du lac Saint-Pierre. On peut donc présumer que la vitesse de régénération des plantes pourrait y être différente de celles observées dans ces études. De plus, les habitats et les sources de régénération sont différents de ce qu'on retrouve au lac Saint-Pierre.

Les études portant spécifiquement sur l'évolution de la colonisation de cratères de détonation par la végétation n'abondent donc pas. Les connaissances sur la revégétalisation d'ouvertures de diverses natures seront tirées d'études portant sur les effets d'autres types de perturbations physiques (ayant toutefois des impacts similaires) sur la régénération naturelle de la végétation des milieux humides.

4.5.3 Mesures d'atténuation des impacts sous l'eau

Lorsque l'utilisation d'explosifs sous l'eau est inévitable, les travaux doivent être planifiés en fonction de la réduction des effets sur l'environnement. L'évaluation des impacts et l'élaboration de stratégies d'atténuation reposent sur trois aspects : la connaissance des explosifs

afin d'optimiser la conception des opérations et minimiser la charge utilisée, la compréhension des impacts environnementaux des explosions subaquatiques et la connaissance des techniques d'atténuation des effets. Ainsi, la collaboration entre les responsables des travaux d'explosion et les organismes gouvernementaux responsables de la protection de l'environnement est essentielle pour mettre en pratique ces trois aspects afin de minimiser les effets néfastes et bien protéger les espèces tant végétales qu'animales (Keevin et Hempen, 1997; Keevin, 1998).

Les recherches portant sur les effets des explosions sur les organismes vivants ont avant tout mené au développement de mesures d'atténuation des effets sur les poissons. Ces travaux ont montré l'efficacité de certaines techniques pour minimiser l'onde de pression et réduire la mortalité des poissons. Par exemple, la mise en place d'un « rideau de bulles » s'est avérée efficace, mais coûteuse et complexe à installer et à déplacer (Keevin et Hempen, 1997). Il a aussi été suggéré d'utiliser des techniques qui chassent les poissons de la zone de travail avant la détonation (p. ex. le bruit). Ces techniques devraient être tout aussi efficaces pour protéger la végétation de l'onde de pression. Dans le cas des plantes, cependant, comme elles sont fixes, seules les mesures basées sur la présence d'une barrière physique (p. ex. rideau de bulles) pour minimiser l'onde de pression les protégeraient de façon efficace.

4.6 PERTURBATIONS PHYSIQUES

Les écosystèmes fluviaux sont soumis à des régimes de perturbations naturelles récurrentes qui les dynamisent et influencent leur composition. Une perturbation est tout événement destructeur ou toute fluctuation des conditions environnementales qui désorganise la structure des populations, des communautés ou des écosystèmes et modifie les ressources, le substrat disponible ou l'environnement physique. Les perturbations produisent des ouvertures dans l'écosystème, formant des mosaïques végétales à diverses étapes de colonisation et contribuant ainsi à l'hétérogénéité du milieu (Bélangier et Bédard, 1994; Henry *et al.*, 1996).

Les espèces végétales qui se maintiennent dans les écosystèmes aquatiques naturellement perturbés doivent posséder des caractéristiques leur permettant de survivre et de coloniser les sites dépourvus de végétation. À nos latitudes, par exemple, on retrouve après l'hiver des rives dénudées qui sont affectées par les crues, les vagues ou les glaces. Il existe en plus nombre de perturbations physiques d'origine anthropique qui peuvent provoquer la destruction du couvert

végétal, des racines et des sédiments. Les principaux types de perturbations physiques (autres que les explosions et la circulation de véhicules) sont :

- Érosion par le vent, les vagues
- Érosion par les glaces (création d'ouvertures) (Bélanger et Bédard, 1994)
- Broutage par les oies, les canards et autres animaux (Bélanger et Bédard, 1994; Knapton et Petrie, 1999)
- Crues importantes (Henry *et al.*, 1996)
- Dragage, entretien de chenaux, excavation à diverses fins (Henry et Amoros, 1996; Sabbatini et Murphy, 1996; Combroux *et al.*, 2002)
- Bateaux (végétation fauchée par les hélices)
- Création d'ouvertures artificielles à des fins d'aménagements fauniques pour la sauvagine (Harvey et Brunelle, 1996)
- Études sur la régénération par élimination expérimentale de la végétation (Shumway et Bertness, 1994; Eichler *et al.*, 1995; Kotanen, 1997; Rollon *et al.*, 1998; Morrison, 2002)

Les perturbations physiques des milieux naturels entraînent trois types d'impacts sur la végétation :

- *Perturbation non létale* : seule la végétation est fauchée, les structures souterraines (racines, rhizomes, etc.) demeurent intactes. La régénération est généralement bonne, en fonction des conditions environnementales, surtout la profondeur et la qualité de l'eau.
- *Perturbation létale* : la végétation et les structures souterraines sont détruites, sans perturbation majeure du substrat. La régénération dépend des sources de propagules.
- *Perturbation létale et bouleversement des fonds* : il y a destruction de la végétation et des structures souterraines, excavation ou labourage des sédiments, augmentation de la profondeur et création de mares. La colonisation dépend alors de l'état des sédiments et des sources de propagules, mais aussi de leur tolérance à la submersion. Les espèces retrouvées dans les mares ne sont généralement pas les mêmes que celles se développant autour.

Les impacts sont donc plus importants et durables lorsque les sols et les organes souterrains sont affectés en profondeur, ce qui se produit, par exemple, lors du creusage d'ornières profondes, de détonations ou de travaux de dragage. En comparaison, les impacts

seront moindres et transitoires dans les situations où les sols ne sont pas perturbés jusqu'au niveau des racines ou des rhizomes, par exemple, lorsque la végétation est écrasée (passages de véhicules, de piétons), fauchée (hélices de bateaux, plongeurs) ou broutée (sauvagine). Les structures végétatives et les banques de graines demeurent alors intactes et la régénération naturelle se fait plus rapidement.

4.7 MODES DE RÉGÉNÉRATION NATURELLE

La réaction des écosystèmes aux perturbations environnementales ou à la perte d'espèces dépend des caractéristiques propres aux espèces et de leurs interactions au sein d'une communauté. La régénération végétale dépend des espèces présentes à proximité des sites perturbés. Le succès de colonisation des ouvertures dépend de leur mode de reproduction, qu'il soit sexué (par graines) ou asexué (végétative), de leurs capacités de multiplication végétative, des sources de propagules (graines ou portions végétatives) et des agents de dispersion de ces propagules (eau, air ou animaux, p. ex. sauvagine) (Barrat-Segretain, 1996).

La colonisation se fera donc en fonction des stratégies de reproduction et de dispersion des espèces et de l'état du milieu (sol, profondeur de l'eau). La capacité de coloniser les trouées rapidement constitue une caractéristique cruciale pour plusieurs espèces.

Les écosystèmes ciblés par le projet d'enlèvement de munitions dans la zone de tir du lac Saint-Pierre par le MDN sont essentiellement les herbiers aquatiques et les marais. Ces milieux subiront des perturbations lors des activités de ratissage, de récupération des munitions et de destruction *in situ* des projectiles identifiés comme trop dangereux pour être déplacés. La présente section traitera donc essentiellement des plantes aquatiques et émergentes d'eau douce.

Les plantes émergentes et les macrophytes submergés sont des plantes vasculaires à fleurs, à l'exception des algues (p. ex. *Chara* sp., *Nitella* sp. et les algues filamenteuses). La prépondérance de la multiplication végétative (reproduction asexuée) chez les plantes aquatiques est remarquable, comparativement à l'importance de la floraison et de la production de graines chez les plantes terrestres (Barrat-Segretain, 1996). Le tableau 3 répertorie les principaux modes de multiplication des espèces communes des herbiers et des marais du lac Saint-Pierre. Dans ce tableau, l'absence de mention de reproduction sexuée (par graines) ne

Tableau 3 Principaux modes de propagation des espèces de macrophytes submergés et de plantes émergentes susceptibles d'être retrouvées dans les herbiers aquatiques et les marais du lac Saint-Pierre

Espèce	Nom français	Statut de l'espèce	Cycle vital	Mode principal de reproduction et de propagation (organes de dormance en hiver ⁶)
Plantes émergentes				
Prairie humide				
<i>Calamagrostis canadensis</i>	Calamagrostis du Canada	Indigène	Vivace	Rhizomes
<i>Lycopus uniflorus</i>	Lycope à une fleur	Indigène	Vivace	Stolons tubérifères (tubercules)
<i>Lysimachia terrestris</i>	Lysimaque terrestre	Indigène	Vivace	Bulbilles
<i>Lysimachia thyrsiflora</i>	Lysimaque thyrsiflore	Indigène	Vivace	Racines et graines
<i>Lythrum salicaria</i>	Salicaire pourpre	Introduite	Vivace	Graines abondantes, germination rapide et abondante
<i>Mimulus ringens</i>	Mimule à fleurs entrouvertes	Indigène	Vivace	Système racinaire (bourgeons racinaires)
<i>Penthorum sedoides</i>	Penthorum faux-orpin	Indigène	Vivace	Rhizome
<i>Phalaris arundinacea</i>	Phalaris roseau	Envahissante	Vivace	Rhizomes et stolons
<i>Polygonum lapathifolium</i>	Renouée à feuilles de patience	Introduite	Annuelle	Rhizomes
<i>Siium suave</i>	Berle douce	Indigène	Vivace	Graines
Marais				Rhizomes et graines, germination lente
<i>Acorus calamus</i>	Acorus roseau	Indigène	Vivace	Longs rhizomes
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	Alisma plantain-d'eau	Indigène	Vivace	Bulbe et graines
<i>Bolboschoenus fluviatilis</i>	Scirpe des rivières	Indigène	Vivace	Rhizomes, parfois tubéreux et graines
<i>Butomus umbellatus</i>	Butome à ombelle	Introduite	Vivace	Gros rhizomes, bulbilles et graines
<i>Eleocharis smallii</i>	Éléocharide de Small	Indigène	Vivace	Rhizomes et graines
<i>Equisetum fluviatile</i>	Prêle fluviatile	Indigène	Vivace	Rhizomes creux, peu profonds, qui s'étendent beaucoup
<i>Pontederia cordata</i>	Pontédérie à feuilles en cœur	Indigène	Vivace	Rhizomes robustes
<i>Sagittaria cuneata</i>	Sagittaire à feuilles en coin	Indigène	Vivace	Rhizomes tubérifères et graines (tubercules)
<i>Sagittaria latifolia</i>	Sagittaire à feuilles larges	Indigène	Vivace	Rhizomes tubérifères et graines (tubercules)
<i>Sagittaria rigida</i>	Sagittaire dressée	Indigène	Vivace	Rhizomes tubérifères et graines (tubercules)
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	Scirpe des étangs	Indigène	Vivace	Rhizomes robustes et graines
<i>Schoenoplectus pungens</i>	Scirpe américain	Indigène	Vivace	Longs rhizomes robustes (bourgeons hivernaux sur rhizomes)
<i>Sparganium americanum</i>	Rubanner d'Amérique	Indigène	Vivace	Graines produites, peu de germination
<i>Sparganium eurycarpum</i>	Rubanner à gros fruits	Indigène	Vivace	Rhizomes
<i>Typha angustifolia</i>	Typha à feuilles étroites	Indigène	Vivace	Rhizomes et stolons, grosses graines lourdes
<i>Typha latifolia</i>	Typha à feuilles large	Indigène	Vivace	Petites graines, dispersées par le vent
<i>Zizania palustris</i>	Zizanie des marais	Indigène	Annuelle	Rhizomes
Plantes à feuilles flottantes				Graines, germination rapide, abondante, semis vigoureux
<i>Nuphar variegata</i>	Grand nénuphar jaune	Indigène	Vivace	Gros rhizome

Espèce	Nom français	Statut de l'espèce	Cycle vital	Mode principal de reproduction et de propagation (organes de dormance en hiver*)
<i>Nymphaea odorata</i>	Nymphaée odorante	Indigène	Vivace	Gros rhizome
<i>Lemna minor</i>	Lenticule mineure	Indigène	Vivace	Turions
Plantes submergées				
<i>Ceratophyllum demersum</i>	Cornifle nageante	Indigène	Vivace	Fragments flottants (turions)
<i>Elodea canadensis</i>	Élodée du Canada	Indigène	Vivace	Fragments, gros bourgeons hivernaux (turions)
<i>Heteranthera dubia</i>	Hétéranthère litigieuse	Indigène	Vivace	Graines produites, mais germination rare
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Myriophylle à épi	Introduite	Vivace	Stolons, fragments (collet** en hiver)
<i>Potamogeton gramineus</i>	Potamot graminioïde	Indigène	Vivace	Auto-fragmentation, stolons (collet en hiver)
<i>Potamogeton pectinatus</i>	Potamot pectiné	Indigène	Vivace	Graines abondantes, mais pas de germination observée <i>in situ</i>
<i>Potamogeton richardsonii</i>	Potamot de Richardson	Indigène	Vivace	Rhizomes
<i>Utricularia vulgaris</i>	Utriculaire vulgaire	Indigène	Vivace	Rhizomes et graines (tubercules)
<i>Vallisneria americana</i>	Vallisnerie américaine	Indigène	Vivace	Rhizomes (boutures issues du rhizomes, persistant tout l'hiver)
Algues				
<i>Chara</i> sp.	Chara	Indigène	Vivace	Turion
				Stolons (turions)
				Production de graines, mais peu de germination observée <i>in situ</i>

* Lorsque les structures de propagation et de dormance (hiver) sont différentes, ces dernières sont indiquées entre parenthèses.

** Jonction tige - racine.

signifie pas que ces espèces ne fleurissent pas ou ne produisent pas de graines, mais bien que celles-ci contribuent peu à la propagation de l'espèce. Les informations proviennent de Fleurbec (1987), de Marie-Victorin (1995), du site Web *PLANTS Database* (USDA, NRCS, 2002) et de plusieurs autres références spécifiques (Aiken, *et al.*, 1979; Nichols et Shaw, 1986; Shipley *et al.*, 1989; Mal *et al.*, 1992; Knapton et Petrie, 1999; Smart et Dick, 1999).

4.7.1 Macrophytes submergés

Les plantes aquatiques sont adaptées à la vie sous l'eau. Ainsi, leur reproduction sexuée s'y est aussi adaptée, même si dans la majorité des cas les fleurs doivent se retrouver hors de l'eau pour la pollinisation (Barrat-Segretain, 1996). La production de fleurs et de graines est souvent abondante chez les espèces submergées, mais le succès de germination est généralement faible (Aiken *et al.*, 1979).

Les parties végétatives des macrophytes submergés sont souvent fragiles. Les tiges de *Ceratophyllum*, *Elodea* et *Myriophyllum* se brisent facilement en fragments sous l'action des animaux, du courant, des bateaux, ou de toute autre perturbation. Dans ce cas, les fragments de ces espèces deviennent des organes non spécialisés de multiplication végétative.

Plusieurs espèces aquatiques développent des organes végétatifs spécialisés persistants qui servent à la multiplication végétative, à la dispersion et comme organes de réserve et de dormance (repos) pour l'hiver. On retrouve les rhizomes, les stolons, les tubercules et les turions.

Les espèces traitées dans cette section et au tableau 3 sont essentiellement les espèces dominantes ou sous-dominantes caractéristiques du lac Saint-Pierre, certaines retenant l'intérêt en raison d'une particularité, comme un comportement envahissant problématique.

- **Fragments non spécialisés :**

Myriophyllum spicatum, espèce introduite envahissante, est reconnue pour sa grande capacité à se propager par d'innombrables fragments végétatifs et à coloniser rapidement un site (Knapton et Petrie, 1999). Bien que la production de graines soit abondante, peu de semis ont été retrouvés en nature. Chez *Myriophyllum*, la reproduction asexuée domine nettement la reproduction sexuée. Durant l'été, les tiges libèrent des fragments qui flottent, développent des racines, puis s'ancrent pour établir de nouveaux plants. La structure de dormance hivernale est le

collet (jonction tige-racine), duquel se détachent de petits bourgeons axillaires qui germent rapidement au printemps (Aiken *et al.*, 1979).

Elodea canadensis a des tiges fragiles qui cassent facilement. Comme *Myriophyllum*, elle se propage par dispersion de fragments. L'apport des graines à la régénération est comparativement peu importante. Les structures de persistance sont des bourgeons hivernaux (turions) (Spicer et Catling, 1988; Barrat-Segretain, 1996).

Il semble que *Heteranthera dubia* se multiplie aussi par fragments (Smart et Dick, 1999). *Ceratophyllum demersum* n'est pas enraciné et flotte librement, se propageant surtout par fragments et par formation de turions. Ses fleurs sont petites et la production de fruits, rare (Marie-Victorin, 1995).

- **Rhizomes** : tiges souterraines qui portent des racines. Ils servent à la propagation et à la persistance de la plante d'une saison à l'autre. Selon leur rythme de croissance, ils s'étendent et colonisent un milieu. Ils persistent aussi durant l'hiver et germent au printemps. Les fragments brisés comportant des bourgeons peuvent aussi germer (p. ex. *Potamogeton pectinatus*).
- **Stolons** : tiges poussant près de la surface du sédiment, permettant une propagation rapide. À l'extrémité de chaque stolon est produit un bourgeon, à partir duquel se forme une nouvelle pousse qui se sépare éventuellement de la plante-mère quand les stolons se décomposent. Ils constituent donc plutôt des structures de propagation plutôt que de persistance. Ce type de croissance clonale est très important chez *Vallisneria americana* qui, comme d'autres plantes submergées, produit aussi des fleurs et des graines, bien que le succès de germination observé en nature soit faible (Catling *et al.*, 1994; Titus et Hoover, 1991).
- **Tubercules** : renflements souterrains de la tige, du rhizome ou de la racine. Ils persistent à l'automne quand les autres structures se décomposent et germent au printemps pour donner naissance à un nouveau plant. C'est le principal type de propagule végétative de *Potamogeton pectinatus* dont les rhizomes produisent des boutures tubéreuses en abondance.
- **Turions** : bourgeons hivernaux qui se développent à la fin de la saison de croissance et se détachent lorsque la plante se décompose à l'automne. C'est l'organe de persistance et de

dormance de *Vallisneria americana*. Ils sont produits au bout des stolons, se détachent parfois et flottent, ce qui contribue à leur dispersion (aussi chez *Ceratophyllum demersum*, *Elodea canadensis*).

Il y a donc prépondérance de la propagation par organes végétatifs chez les plantes submergées (tableau 3). En hiver, de nombreux organes de dormance spécialisés subsistent dans les sédiments. La multiplication végétative présente également un avantage lorsque le moment d'une perturbation ne coïncide pas avec la saison de production ou de germination des graines (Combroux *et al.*, 2002).

Des perturbations répétées comme des explosions et la circulation de véhicules et de plongeurs pourraient, en plus d'augmenter les matières en suspension (v. section 4.4.2), favoriser la production de fragments de plantes en abondance, favorisant celles qui se régénèrent facilement et rapidement de cette façon, comme *Elodea* et *Myriophyllum*. Chez ce dernier toutefois, il semble que la survie et la croissance des fragments produits naturellement seraient supérieures à celles des fragments produits artificiellement (Nichols, 1991). Ce fait laisse penser que l'impact de travaux dans les zones dominées par cette espèce pourrait être moindre que ceux appréhendés *a priori*. En plus d'être reconnu pour coloniser rapidement les sites libres, *Myriophyllum spicatum* présenterait une croissance explosive après des perturbations majeures naturelles (p. ex. tempêtes et ouragans dans la baie de Chesapeake et au lac Cayuga), ou humaines (p. ex. dragage ou eutrophisation aux lacs Mendota et Lilly) (Nichols et Shaw, 1986). Les populations de *M. spicatum* présentent parfois des déclin 20-30 ans après l'infestation, bien qu'il soit difficile d'en expliquer les raisons (Nichols et Shaw, 1986). Il est souvent rapporté que l'arrivée de cette plante aquatique provoque de grands changements de la composition en espèces dans les herbiers (Knapton et Petrie, 1999).

Les plantes envahissantes, ainsi que certains potamots (*P. pectinatus*, p. ex.) se caractérisent par une importante multiplication végétative et une croissance rapide au printemps afin d'occuper rapidement l'espace, avant les espèces qui attendent le milieu de l'été pour se développer (*V. americana*, p. ex.).

Les espèces submergées du lac Saint-Pierre se propagent généralement moins par rhizomes que les espèces marines (section 4.5.2). Bien qu'il n'existe pas d'études spécifiques sur ce sujet, on peut présumer que des détonations en milieu aquatique d'eau douce auraient plus

d'impact sur certaines espèces, selon leur mode principal de reproduction. Contrairement aux plantes émergentes, la majorité des macrophytes ne produisent pas de grosses structures souterraines et se régénèrent à partir de la banque de propagules *in situ* ou provenant de l'amont. Elles sont adaptées à coloniser un environnement variable comme le fleuve. On ne connaît ni l'effet des détonations sur la viabilité des propagules *in situ*, ni la distance sur laquelle s'étend cet effet. Son impact sur la revégétalisation dépend donc de l'apport de propagules à partir des sites non affectés et de la vitesse de propagation des espèces. Les espèces se propageant rapidement, par fragments ou autres, comme les espèces envahissantes pourraient être favorisées et l'état des populations végétales submergées doit faire l'objet d'un suivi pendant et après les travaux d'enlèvement de munitions.

4.7.2 Plantes émergentes

Chez les plantes émergentes, la reproduction sexuée prend plus d'importance. Plusieurs espèces produisent des graines en abondance (*Typha* spp., *Lythrum salicaria*), mais, comme chez les submergées, les organes végétatifs sont aussi très importants pour la propagation et la persistance dans le milieu (tableau 3). Le succès de germination des graines est aussi très variable entre les espèces (Bélanger et Bédard, 1994; Clevering, 1995).

L'importance des plantes à rhizomes dans les marais du lac Saint-Pierre est frappante (tableau 3). Les rhizomes persistent pendant l'hiver et germent au printemps. C'est le cas de *Schoenoplectus pungens*, *Schoenoplectus lacustris*, *Bolboschoenus fluviatilis*, *Typha* spp., *Butomus umbellatus*, *Sparganium eurycarpum*, *Pontederia cordata*, *Equisetum fluviatile*, *Eleocharis smallii*, *Phalaris arundinacea* et *Calamagrostis canadensis*.

Les plantes vivaces à rhizomes investissent beaucoup d'énergie dans la production des parties souterraines permanentes (Hudon, 1997). Les rhizomes sont plus ou moins gros et poussent plus près de la surface (p. ex. *Acorus calamus*) ou plus profondément (p. ex. *Schoenoplectus pungens*, *Typha* spp., *Phalaris arundinacea*) selon l'espèce (Shiple et al., 1989). Ceci permet à des espèces comme *S. pungens* de mieux résister aux perturbations telles que l'érosion (vent, vagues) et même l'action des glaces (Marie-Victorin, 1934, 1995).

Schoenoplectus pungens (= *Scirpus americanus*) se propage peu par graines. Dans l'estuaire du Saint-Laurent, Giroux et Bédard (1988) ont observé que moins de 1 p. 100 des nouvelles pousses proviennent de germination de graines. Ces semis apparaissent plus tard et

restent plus petits que les nouvelles pousses issues de rhizomes. Les semis sont toujours plus sensibles aux conditions environnementales que les adultes plus compétitifs (Shipley *et al.*, 1989; Mauchamp *et al.*, 2001), ce qui explique en partie la faible propagation sexuée chez les espèces émergentes malgré la production abondante de graines, particulièrement dans un milieu changeant comme un fleuve. Au moment de la germination, les variations du niveau de l'eau, entre autres, peuvent inhiber la croissance des semis.

Typha spp. est reconnue pour ses capacités à se propager rapidement et à former de vastes peuplements monospécifiques par la production de nombreux rhizomes. Selon Marie-Victorin (1995), la multiplication végétative de ces plantes conquérantes est formidable, grâce à l'aptitude des rhizomes à former un réseau qui s'empare vite d'un sol neuf. De plus, la production de petites graines, dispersées par le vent et les animaux, est abondante.

Sagittaria spp. pousse en rosettes et ses racines forment des tubercules à la fin de la saison de croissance (tableau 3). Le reste de la plante meurt, les tubercules passent l'hiver, germent au printemps pour former de nouveaux individus, puis se décomposent. La plante croît ensuite avec un système racinaire semblable à celui des annuelles. *Lycopus uniflorus* et *Penthorum sedoides*, quant à eux, se répandent par stolons.

Lythrum salicaria est très compétitive et se propage par émission de tiges à partir de la souche, de tiges couchées au sol et de bourgeons racinaires (Mal *et al.*, 1992; Marie-Victorin, 1995). C'est aussi une excellente colonisatrice qui produit des quantités innombrables de graines très viables pouvant constituer de grandes banques (Mal *et al.*, 1992; Morrison, 2002).

Les annuelles sont des plantes qui se reproduisent par graines seulement. Toute la plante meurt à l'automne et elle ne développe pas de structures souterraines élaborées comme les vivaces à robustes rhizomes. Elles ont la particularité d'occuper rapidement les espaces ouverts disponibles, pourvu que le substrat adéquat soit présent. On retrouve peu d'annuelles dans les marais et herbiers aquatiques du lac Saint-Pierre (tableau 3). C'est le cas de *Zizania* spp. qui produit des graines en abondance, avec un haut taux de dispersion, ce qui lui permet de coloniser rapidement certaines ouvertures (Bélangier et Bédard, 1994). *Polygonum lapathifolium* autre annuelle, tend aussi à s'installer rapidement sur la vase dénudée (Marie-Victorin, 1995). Les annuelles profitent typiquement des épisodes de bas niveau d'eau pour coloniser les grandes zones de vase nue (Hudon, 1997; Hudon et Amyot, 2002).

Les ouvertures parmi la végétation et les périodes de basses eaux favorisent la présence de sol nu et offrent des conditions où la compétition est minimale. Ceci permet la colonisation du substrat par des espèces dont la germination des propagules végétatives et des graines est habituellement inhibée par la densité du couvert formé de plantes adultes plus compétitives. Les espèces peu compétitives, tant annuelles que vivaces, peuvent alors être d'efficaces colonisatrices (Hudon, 1997). Par exemple, Tessier *et al.* (1984) mentionnent que *Equisetum* et *Eleocharis* profitent des ouvertures au sein de marais denses à *Sparganium eurycarpum* et à *Bolboschoenus fluviatilis* pour s'installer.

Les espèces exotiques compétitives, à multiplication végétative abondante comme *Butomus umbellatus*, profitent aussi grandement de ces ouvertures. Marie-Victorin (1943) rapporte qu'une exceptionnelle baisse de niveau du Saint-Laurent en 1931 a favorisé l'invasion des rives par cette espèce, au détriment de *Equisetum* (Hudon, 1997). *Butomus* profite d'une abondante production de graines, de longs rhizomes et de bulbilles abondamment dispersées par le courant pour se propager et envahir efficacement les sites disponibles.

Les espèces aquatiques envahissantes se caractérisent effectivement par une croissance rapide, souvent hâtive et par la capacité de se régénérer par fragmentation ou par des organes hibernants végétatifs, ce qui en fait souvent les premiers colonisateurs des écosystèmes aquatiques et humides. Une fois en place, une abondante propagation végétative les favorise. Beaucoup d'espèces indigènes font de même : une fois établies, elles ont une grande capacité à se maintenir et à s'étendre par des rhizomes résistants. Les espèces de rivières sont adaptées à un régime de perturbations naturelles fréquentes, ce qui favorise souvent la diversité des milieux humides. L'addition de perturbations d'origine humaine fréquentes et de tailles variables aux perturbations naturelles et anthropiques déjà subies par cet écosystème pourraient cependant avoir des effets sur la végétation indigène impossible à prédire à partir de la dynamique naturelle actuelle.

La création de chemins et la détonation de projectiles auront des impacts plus ou moins grands selon la taille des zones affectées et de la capacité des plantes à y réagir. La persistance de structures souterraines élaborées chez la majorité des espèces émergentes devrait leur permettre de coloniser assez rapidement les ouvertures quand ces structures et les sols sont peu affectés (chemins). Dans le cas des détonations, la capacité de régénération à partir des fragments de rhizomes, ou autre, dépend de la viabilité de ces propagules après avoir subi l'onde de choc et

s'être retrouvées à des profondeurs variables dans le sol. La régénération dépend aussi de la vitesse de croissance des rhizomes des espèces résiduelles autour des cratères. Puisqu'il n'existe pas d'étude spécifique sur l'effet des explosions sur la viabilité des propagules végétatives et qu'il existe peu de données sur la vitesse de croissance latérale des plantes émergentes d'eau douce, il est difficile de spéculer sur le rythme de revégétalisation des cratères par les principales espèces présentes au lac Saint-Pierre. Ce rythme semble toutefois inférieur à celui des macrophytes submergés. La revégétalisation des ouvertures dans le marais émergent serait vraisemblablement plus lente dans les marais que dans les herbiers aquatiques. Si les ouvertures ne sont pas colonisées rapidement, il y a augmentation du risque de dominance par les espèces envahissantes, favorisées par leur mode de propagation relativement agressif. Il est donc primordial d'effectuer le suivi des impacts des chemins et des cratères sur la végétation des milieux humides du lac Saint-Pierre.

La profondeur de l'eau constitue un des principaux facteurs influençant l'établissement des plantes émergentes qui ont des tolérances très différentes aux variations de niveau (Hudon, 1997; Hudon et Amyot, 2002). Les variations naturelles de niveaux d'eau ont un impact déterminant pour les communautés végétales ripariennes. Ces variations interannuelles sont déterminantes pour l'établissement de la végétation dans les ouvertures l'année suivant les perturbations. Le temps de réaction de la végétation émergente aux changements du niveau de l'eau est fortement lié à la persistance des structures souterraines comme les rhizomes (Hudon, 1997). De plus, une augmentation artificielle de la profondeur locale de l'eau (cratères et ornières) affecterait la colonisation de ces ouvertures par les espèces qui y prévalaient avant la perturbation et favoriserait les espèces plus tolérantes à l'immersion et les macrophytes submergés.

4.8 SOURCE DE PROPAGULES – MODES DE COLONISATION

En rivière, la colonisation par la végétation après une perturbation devrait s'effectuer à partir de la périphérie ou des rives non perturbées et progresser vers le centre de l'ouverture. La régénération peut aussi se faire à partir des banques de propagules restées en place ou des propagules provenant de l'amont, entraînées par le courant ou déposées en rives lors des crues (Brookes, 1987; Henry et Amoros, 1996; Henry *et al.*, 1996).

Ainsi, selon l'étendue des dommages, trois scénarios de sources de propagules ou de régénération sont possibles :

- Les sols peu perturbés conservent des banques de propagules, graines et structures de multiplication végétative et de dormance (hiver) (fragments, rhizomes, tubercules, bulbes, turions). La régénération par des espèces déjà en place est généralement bonne.
- Lorsque les sols sont très perturbés, la colonisation se fait à partir de la végétation non perturbée située en périphérie de l'ouverture, par la croissance des rhizomes, stolons et racines.
- Dans tous les cas, la régénération peut être issue de la dispersion de propagules par l'eau, le vent et les animaux. La colonisation se fait alors au hasard dans le secteur perturbé. De nouvelles espèces ont alors l'occasion de s'établir dans les trouées.

Les espèces qui se propagent essentiellement de façon végétative colonisent les ouvertures par la croissance de leurs structures souterraines (rhizomes) à partir de la périphérie vers le centre. S'il y a une banque de propagules en place ou des apports par le courant, la colonisation aléatoire de l'ouverture est également possible, ce qui accélère la revégétalisation naturelle. Ainsi, le patron de colonisation du substrat nu peut indiquer la provenance des propagules. La combinaison de dispersion par le vent, l'eau et l'apport des animaux peut contribuer à la diversification des propagules avec le temps (Rollon, *et al.* 1998; Shafroth *et al.*, 2002).

Des études portant sur l'érosion des rives d'une rivière par des inondations majeures, ainsi que sur la simulation de ces événements par dragage, ont permis de constater que la végétation émergente colonise en premier les berges moins perturbées (Henry et Amoros, 1996; Henry *et al.*, 1996). Les macrophytes submergés qui se sont rétablis sur les bords et au centre du chenal perturbé indiquent la présence d'une banque de propagules dans les sédiments. De plus, la présence de nouvelles espèces au centre du chenal indique l'immigration de propagules avec le courant. Dans les deux types de situations, les transects échantillonnés ont été entièrement colonisés par les macrophytes deux saisons de croissances après la perturbation (Henry et Amoros, 1996; Henry *et al.*, 1996).

En milieu aquatique, contrairement au milieu terrestre, des perturbations naturelles comme les crues ont non seulement des effets destructeurs résultant en la création d'ouvertures où les plantes sont brisées et arrachées, mais elles ont aussi un effet positif par l'apport de nouvelles propagules (Barrat-Segretain, 1996).

L'importance relative de l'apport des banques de graines comparativement à l'apport des réserves de propagules végétatives a fait l'objet de diverses études (Brown, 1998; Combroux *et al.*, 2001, 2002; Henry et Amoros, 1996; Lundholm et Simser, 1999). Le dragage effectué pour restaurer un bras de rivière a causé la destruction de la végétation, y compris les structures souterraines. Les propagules végétatives, les rhizomes et les fragments produits par la perturbation se sont avérées importantes pour la régénération de la végétation (Combroux *et al.*, 2002). La disponibilité des propagules dépend aussi de la période à laquelle a lieu la perturbation. Par exemple, en juin, les plantes produisent de nouveaux plants et rhizomes à grand potentiel de croissance en cas de fragmentation, alors que la production de graines n'a pas encore eu lieu. La régénération végétative est donc particulièrement importante après une perturbation impliquant le dragage des sédiments en pleine saison de croissance ou à la suite de l'érosion par de grandes crues (Combroux *et al.*, 2001, 2002).

4.8.1 Colonisation de zones dénudées - herbiers submergés

Les études qui font état de la colonisation des herbiers et des marais soumis à diverses perturbations physiques présentent des résultats très différents selon l'environnement touché et surtout selon les espèces en place et la taille des ouvertures.

On retrouve peu de données sur la croissance latérale des plantes vers la zone dénudée. La régénération de sites perturbés est plus souvent rapportée en termes de biomasse, de production et de recouvrement. Puisque ces études présentent la progression de la colonisation en ces termes, que les résultats sont forts variables et que peu de données spécifiques ont été trouvées sur la vitesse de croissance des espèces présentes au lac Saint-Pierre, il est difficile de prévoir à quelle vitesse se revégétaliseraient des secteurs perturbés à la suite de détonations ou de la création de chemins d'accès. Cependant, la connaissance des modes de propagation des espèces végétales présentes peut servir à envisager des scénarios.

Myriophyllum spicatum se propage essentiellement par fragments produits naturellement ou lorsque la plante est brisée. Lors d'une expérience d'élimination de cette espèce sur une surface de 4 m² dans une zone densément peuplée, il fut observé que plus de 80 individus issus de fragments s'étaient déjà enracinés après 2 mois (Aiken *et al.*, 1979). Dans un milieu plus diversifié, le contrôle des populations de *Myriophyllum* a été fait par l'élimination complète de la végétation sur des portions de sédiments qui ont été recouvertes de toiles pendant un ou deux ans.

Ces travaux ont permis la colonisation des nouveaux espaces dénudés par des espèces indigènes. Les structures souterraines présentes sous les toiles sont toutes mortes, sauf les graines d'annuelles. Les sédiments n'y étaient pas perturbés. La colonisation s'est donc surtout faite à partir de l'extérieur des quadrats. Après deux saisons de croissance, *Myriophyllum* colonisait 71 p. 100 des quadrats étudiés et comptait pour 14 p. 100 du recouvrement qui atteignait au total une moyenne de 74 p. 100. La colonisation des trouées par *Myriophyllum* est donc rapide, particulièrement lorsqu'elles se situent à proximité de grands peuplements de cette espèce (Eichler *et al.*, 1995).

Il est surprenant que *Myriophyllum spicatum* ne semble pas plus dominant au lac Saint-Pierre, puisque qu'il prospère en eaux méso-eutrophes, plutôt turbides, à des profondeurs allant de 0,5 à 3 m (Aiken *et al.*, 1979; Knapton et Petrie, 1999) et que ces conditions prévalent dans le secteur sud du lac. De plus, le début des essais de munitions en 1952 coïncide avec l'époque d'introduction de cette espèce dans le fleuve et a pu suffisamment perturber le site pour favoriser sa dispersion. Malgré les données récentes de Hudon et Amyot (2002) et de Morin (2002), le manque de données pour le secteur de concentration des essais rend impossible d'établir avec certitude la répartition et l'abondance de cette espèce. Les contraintes d'échantillonnage dans cette zone à accès restreint de même que la faible profondeur font en sorte qu'une portion du territoire située entre la zone couverte par les transects de Hudon et Amyot (2002) et celle couverte par les relevés d'échosondage et d'images vidéo de Morin (2002) demeure méconnue (figure 5).

Les turions sont les seules structures de *Vallisneria americana* persistant pendant l'hiver puisque toutes les rosettes de feuilles et les stolons les reliant se décomposent à l'automne. La formation de nouvelles pousses à partir d'un seul turion pendant un été constitue donc sa production totale annuelle. En conditions expérimentales, un turion de *V. americana* a produit de 20 à 40 rosettes en une saison de croissance (Catling *et al.*, 1994). Dans une étude *in situ*, des plants de *V. americana* ont été déterrés et on a pu constater que l'étalement des plantes produites à partir d'un seul bourgeon peut atteindre en moyenne 1,66 m en un été. Des densités allant de quelques rosettes à 1000 rosettes par m² (moyennes autour de 200) ont été mesurées dans divers lacs et rivières d'Amérique du Nord. On note également que des populations de cette espèce peuvent être éliminées en conditions prolongées de turbidité élevée, mais que sa rapide

multiplication végétative associée à une dispersion efficace semble favoriser un rétablissement rapide des populations (Catling *et al.*, 1994).

La dynamique entre des espèces plus compétitives ou plus tolérantes aux perturbations changera le portrait d'une communauté après perturbation. Sabbatini et Murphy (1996) ont observé l'inversion de la dominance entre deux espèces avant et après des perturbations expérimentales. Le type de perturbation (coupe des plantes seulement ou dragage des fonds) n'a pas eu d'effet sur cette inversion. L'élimination de la végétation en juin sur des sections de canaux de 5 m a permis à une espèce tolérante aux perturbations (*Potamogeton crispus*) d'augmenter sa biomasse au cours d'une saison de croissance et ce, au détriment d'une espèce plus compétitive en absence de stress (*Callitriche stagnalis*). Dans le site contrôle, *C. stagnalis* occupe tout l'espace en surface, limitant la lumière nécessaire à la croissance de *P. crispus* (Sabbatini et Murphy, 1996). De la même façon, *M. spicatum* tend à occuper tout l'espace lorsqu'il pousse jusqu'à la surface de l'eau. Il limite donc la lumière disponible pour les plantes de sous-étage et, par le fait même, leur croissance (Aiken *et al.*, 1979; Knapton et Petrie, 1999).

Tel qu'il a déjà été mentionné à la section 4.5.3, chez des espèces marines de plantes submergées (*Posidonia oceanica* et *P. australis*), la colonisation de grands cratères d'explosion (22 700 m² et 470 à 1200 m² respectivement) se fait très lentement par l'accroissement des rhizomes. La germination de graines n'a pas été observée aux sites étudiés (Meinesz et Lefevre, 1984; Meehan et West, 2000).

En milieu marin, la création expérimentale de petites ouvertures (0,25 m²), a permis d'observer leur colonisation par cinq espèces de macrophytes submergés présentant des stratégies différentes, allant du colonisateur rapide aux espèces compétitrices qui s'installent lentement puis dominant les autres. Il a fallu de 2 à 10 ans pour que les ouvertures se referment et, encore une fois, la dominance de la propagation végétative a été observée. De plus, la saison à laquelle se produit la perturbation n'a pas eu d'effet sur la revégétalisation des espaces perturbés (Rollon *et al.*, 1998).

Dans le cadre du suivi de la végétation aquatique submergée de la baie de Chesapeake (É.-U.), l'acquisition et l'analyse régulière de photos aériennes a permis d'observer l'apparition inhabituelle d'ouvertures circulaires (29 m à 120 m de diamètre) causées par la destruction de la végétation par l'utilisation d'engins de pêches qui labourent les fonds (Moore et Orth, 1997; Orth *et al.*, 1998). Une modification de la législation a permis d'exclure les zones d'herbiers des

territoires de pêche, permettant ainsi leur protection ainsi que l'étude de la reprise végétale dans les ouvertures. Les herbiers de *Zostera marina* se régénèrent par la croissance latérale des rhizomes qui a été estimée à environ 25 cm par année (Orth *et al.*, 1998). Ces herbiers se montrent très résistants aux dommages causés aux plantes, mais ils sont vulnérables à l'excavation des sédiments qui détruit les structures de propagation. La récupération des secteurs perturbés dépend de la taille des cicatrices et de l'état des sédiments. De plus, les activités de recherche de nourriture par des raies dans les ouvertures endommagent encore plus les fonds et ralentit la reprise végétale. Considérant tous ces facteurs, il a été estimé qu'une période de 5 à plus de 20 ans pourrait être nécessaire avant que ces ouvertures ne se revégétalisent (Orth *et al.*, 1998).

La colonisation de substrats dénudés est donc très différente d'un milieu à l'autre, en fonction du comportement des espèces, de la taille des perturbations et de l'atteinte plus ou moins profonde des sédiments. Il est probable que l'augmentation de la profondeur locale par l'explosion de munitions ne nuise pas à l'établissement de nombreuses espèces submergées communes du lac Saint-Pierre, celles-ci pouvant croître dans une gamme de profondeurs relativement grande, produisent beaucoup de propagules végétatives et dépendent moins des rhizomes en place, comme les espèces marines ou estuariennes, pour leur propagation.

Contrairement aux espèces marines, les espèces de macrophytes d'eau douce semblent donc coloniser les nouveaux substrats plus rapidement. *V. americana* semble avoir la capacité de se propager assez rapidement à partir de ses propagules végétatives, tout comme *M. spicatum* et la plupart des espèces submergées. Elles sont adaptées à coloniser le milieu au printemps, après avoir subi la perte de toute leur biomasse à l'automne. En milieu fluvial, en plus de la banque de propagules présentes dans les sédiments, il y a apport régulier de l'amont et lors des crues. Il s'agit avant tout de savoir à quel point les explosions détruisent ces banques de propagules, les enterrent à des profondeurs inadéquates pour leur éventuelle germination et modifient la qualité des sédiments.

4.8.2 Colonisation de zones dénudées - plantes émergentes

La régénération par d'importantes structures persistantes telles que les rhizomes est plus fréquente chez les plantes émergentes que chez les submergées (tableau 3). Certaines espèces se propagent plus lentement, alors que de nombreuses autres prolifèrent rapidement et ce, sur de

grandes distances pour coloniser ou monopoliser un environnement (p. ex. *Typha* sp., *Butomus umbellatus*, *Phalaris arundinacea*, *Phragmites australis*, *Lythrum salicaria*). Chez les espèces émergentes, tout comme chez les plantes submergées, il existe peu d'études mesurant l'allongement des rhizomes et la vitesse de colonisation de trouées nouvelles et ce, tant pour les plantes émergentes en général que pour les espèces dominantes du lac Saint-Pierre.

La croissance latérale des rhizomes de *Scirpus lacustris* et de *Scirpus maritimus* a été étudiée dans des plantations expérimentales aux Pays-Bas. Selon les sites, l'allongement moyen en 14 mois des rhizomes varie de 46 à 53 cm chez *S. lacustris* et de 19 à 130 cm chez *S. maritimus* (Clevering et van Gulik, 1997). De plus, dans ces expériences de restauration, le broutage répété par la sauvagine a sérieusement compromis l'établissement des plantations de *Scirpus*.

Chez *S. maritimus*, on observe que des perturbations peuvent provoquer l'arrêt de la dormance des bourgeons, ce qui stimule la colonisation post-perturbation (Charpentier *et al.*, 1998).

Bélangier et Bédard (1994) ont aussi observé que le broutage par les oies diminuait la productivité de *Schoenoplectus pungens* dans les ouvertures causées par les glaces. En absence de broutage, la reprise végétale dans les sites érodés par les glaces montrait une production similaire à celle des sites non perturbés, alors que la végétation des sites broutés avait une production de moitié moindre.

Dans les marais, la détonation éventuelle de projectiles risque de créer des trous qui ne seront pas nécessairement nivelés rapidement par les facteurs d'érosion des berges (vent, vagues et glace). Ainsi, une augmentation de la profondeur de 0,5 à 1 m dans ces trouées créera des mares et aura de grandes conséquences sur les espèces qui s'y établiront, puisque la répartition des plantes émergentes est fortement influencée par la profondeur de l'eau (Hudon, 1997; Hudon et Amyot, 2002). Lorsqu'elles sont inondées, ces mares seront colonisées par des espèces submergées et à feuilles flottantes et entourées de plantes émergentes en bordure, si ces dernières ne peuvent tolérer de plus grandes profondeurs d'eau. Ce patron rappelle la répartition des plantes le long d'un gradient d'humidité (figure 3). Au lac Saint-Pierre, les ouvertures remplies d'eau au sein d'un marais sont généralement colonisées par des macrophytes submergés et à feuilles flottantes (Jacques, 1986).

Ainsi, toute trouée est éventuellement colonisée, la question étant de savoir par quelles espèces et à quelle vitesse. Ce ne sont pas nécessairement les espèces présentes avant la perturbation qui s'installent en premier, particulièrement si les conditions d'immersion ne sont plus les mêmes. En effet, les variations naturelles des conditions environnementales peuvent avoir des effets confondants sur les patrons de colonisation observés. Il peut être alors difficile d'attribuer la présence d'un assemblage particulier d'espèces aux perturbations anthropiques ou aux conditions environnementales différentes de celles prévalant l'année précédente.

Les conditions offertes aux espèces colonisatrices sont très différentes selon que les perturbations majeures sont suivies d'une année de bas ou de haut niveau d'eau. L'étendue couverte par les prairies humides et les marais résulte largement des fluctuations de niveau d'eau (perturbations naturelles) qui favorisent également la diversité des types de végétation et des espèces. Les épisodes de haut niveau d'eau tuent des espèces dominantes (p. ex. *Typha* spp.) et créent des ouvertures que d'autres espèces peuvent coloniser durant les périodes de bas niveau (Keddy et Reznicek, 1986). La présence occasionnelle de ces conditions favorables à la germination contribue au maintien de la diversité. En effet, les épisodes de bas niveaux d'eau permettent à de nombreuses espèces de se régénérer à partir des banques de graines (Keddy et Reznicek, 1986).

La colonisation des ouvertures par les plantes émergentes semble cependant nettement plus lente quand le sol est affecté en profondeur. La création de nombreuses ouvertures par des perturbations à répétition, comme les détonations et l'orniérage profond, pourrait alors favoriser les espèces envahissantes.

De façon générale, s'il n'existe pas de barrières à la dispersion des espèces, et c'est le cas au lac Saint-Pierre, la régénération naturelle des sites perturbés semble être privilégiée (Galatowitsch et van der Valk, 1996; Kellogg et Bridgham, 2002). Si les secteurs perturbés sont entourés de milieux humides diversifiés, peu ou pas perturbés, les sources de propagules sont présentes et la régénération naturelle est aussi efficace que la restauration par plantation (Galatowitsch et van der Valk, 1996). Seul un suivi environnemental peut justifier la pertinence de recourir à la plantation en situation de perturbations répétées qui mènent à l'envahissement par les espèces exotiques.

4.9 Bilan

Les herbiers sont dominés par les espèces de macrophytes vivaces qui persistent grâce à une diversité d'organes végétatifs présents dans les sédiments, quand la biomasse verte est perdue l'automne. Ce milieu est soumis aux vents et aux vagues, ainsi qu'à l'action des glaces. Dans les marais, les structures souterraines des plantes émergentes sont beaucoup plus résistantes que celles des espèces submergées. La plupart des espèces sont vivaces et se propagent par rhizomes robustes et par production de graines, bien que la germination soit rare. Compte tenu de leur localisation plus haut sur la rive, hors de la zone de tir, les marécages de la rive sud ne devraient pas faire l'objet d'activités de ratissage. Toutefois, puisqu'il s'agit d'écosystèmes de grande valeur abritant des espèces rares, il serait important d'assurer leur conservation (section 3.11).

Les perturbations naturelles sont un phénomène connu de la dynamique des écosystèmes : elles les façonnent et contribuent à leur diversité biologique. Les milieux humides du Saint-Laurent ne font pas exception et sont particulièrement exposés à de nombreuses perturbations naturelles locales, saisonnières ou annuelles. Les fluctuations saisonnières des niveaux d'eau (crues printanières), la perte totale de la biomasse aquatique et émergente à l'automne, le passage des glaces qui érodent berges et fonds, les forts vents, vagues et courants du printemps et de l'automne, tous ces facteurs constituent des éléments perturbateurs dynamisant ces écosystèmes. La création d'ouvertures dans un écosystème, qu'elles soient naturelles ou d'origine anthropique, a fait l'objet de nombreuses recherches. La création soudaine d'ouvertures permet l'établissement d'espèces végétales peu compétitives qui ne peuvent pas s'installer parmi des plantes très denses et, de ce fait, contribue au maintien de la diversité végétale. Cependant, cela peut également constituer une occasion de colonisation par les plantes exotiques (p. ex. *Lythrum salicaria*, *Butomus umbellatus*) ou envahissantes (*Phalaris arundinacea*, *Phragmites australis*, *Typha* spp.), particulièrement si les perturbations sont répétées. On peut s'interroger sur l'effet de l'addition de perturbations anthropiques dans un milieu naturellement dynamisé par les perturbations. Les perturbations naturelles peuvent atténuer l'effet des perturbations anthropiques ou, au contraire, amplifier leurs effets cumulés et d'avoir des conséquences non prévisibles.

5 Impact des activités d'enlèvement de munitions sur la végétation des milieux humides de la rive sud du lac Saint-Pierre

5.1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

Les chapitres précédents ont clairement fait ressortir l'importance des immenses superficies de milieux humides du lac Saint-Pierre, particulièrement ceux de la rive sud, pour le maintien de la diversité végétale du fleuve Saint-Laurent. Le manque de connaissances sur ces habitats a toutefois été souligné à plusieurs reprises. Le besoin d'acquérir de nouvelles données sur la végétation de ce secteur, spécialement dans les marais et herbiers aquatiques de la zone de tir, devient donc primordial afin de permettre une meilleure évaluation des conséquences d'éventuels travaux d'enlèvement de munitions sur ces milieux.

L'objectif initial de cette étude était de caractériser la végétation dans et aux abords 1) des chemins d'accès utilisés lors des travaux de ratissage et d'enlèvement de munitions de 2001, 2) des cratères de détonation issus de ces travaux, 3) des nouveaux sentiers et cratères engendrés par les activités prévues pour l'été 2002, ainsi que 4) des cratères dits « historiques » dont les coordonnées géographiques sont connues. Les niveaux d'eau, significativement plus élevés à l'été 2002 qu'en 2001, ont eu plusieurs conséquences : 1) l'échantillonnage de la végétation le long des sentiers de ratissage utilisés en 2001, de même qu'autour des cratères a été impossible dans la majorité des cas, 2) en 2002, les activités d'enlèvement de munitions ont été généralement restreintes aux secteurs terrestres, plus secs, et n'ont pu être faites en milieu humide qu'en septembre (du 4 au 27) et, 3) les cratères historiques sont restés submergés toute la saison et n'ont pas pu être visités. La présence d'un bas niveau d'eau était nécessaire pour des raisons pratiques de faisabilité de l'échantillonnage à pied, de même que pour des raisons de sécurité (repérage visuel des munitions). Les projectiles retrouvés en 2002 n'ont, en aucun cas, nécessité de détonation *in situ*.

Lorsque le niveau de l'eau a commencé à baisser à la fin d'août, le chemin reliant le point d'observation (P.O.) 6 et le P.O. 5, à l'est de la Longue Pointe (figures 1 et 6) est devenu praticable et a pu être échantillonné. Il traverse une zone de marais généralement émergés à l'étiage. D'une longueur de 1,8 km, ce chemin a été créé en 2001 et utilisé de façon intensive

pour transporter les projectiles devant être ramenés au CEEM à partir de la Longue Pointe (P.O. 6). Il n'a pas été utilisé en 2002. Le véhicule qui y a circulé était un BV206 (*Hägglunds Vehicule*), véhicule tout terrain amphibie chenillé tirant une remorque munie aussi de chenilles. La pression au sol de la partie avant du véhicule est de 11,8 kPa, alors que celle de la remorque est de 13,8 kPa. L'intensité de la circulation était relativement considérable puisque le chemin a été emprunté deux fois par jour (un aller-retour/jour) du 5 septembre au 17 octobre 2001, soit six semaines de cinq jours, pour un total de 30 jours ou 60 passages. De plus, des tournées de reconnaissance ont débuté dès la mi-juillet. On peut donc évaluer que ce chemin a servi de façon irrégulière pendant six semaines pour la reconnaissance, et de façon intensive durant six autres semaines pour les activités de ratissage des berges (Lessard, 2002). Le véhicule empruntait toujours le même trajet, à moins que le risque de s'embourber ne soit trop grand (ornières creuses, sols trop meubles, etc.), auquel cas le BV206 devait passer à côté, ce qui avait alors pour conséquence d'élargir la zone affectée. Bien que le chemin n'ait pas servi depuis un an, on pouvait encore le distinguer nettement sur une image satellitaire Ikonos prise le 13 août 2002 (figure 6, Létourneau, 2002).

Le principal objectif de cette campagne d'échantillonnage a donc été d'évaluer si la circulation intensive de véhicules entraîne des modifications de la végétation riparienne en testant l'hypothèse que, après une saison d'utilisation intensive (2001) suivie d'une année sans circulation de véhicules, soit une saison complète de croissance sans perturbation, la végétation dans le chemin n'est pas différente de celle de part et d'autre du chemin et ce, tant en termes de nombre d'espèces, de recouvrement que de hauteur des plantes.

5.2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

5.2.1 Choix des sites d'échantillonnage

Les activités d'échantillonnage ont eu lieu du 27 au 30 août 2002. Le protocole d'échantillonnage, élaboré en collaboration avec des spécialistes du Centre Saint-Laurent, est inclus à l'annexe 6. Dans le présent rapport, seule la partie concernant la caractérisation des chemins d'accès s'applique, puisque l'échantillonnage des cratères a été impossible.

En raison des dangers inhérents à la présence de munitions non explosées dans le secteur visité, un représentant du MDN a accompagné l'équipe de terrain en tout temps afin de sécuriser les sites d'échantillonnage à l'aide d'un détecteur de métal. Entre les transects, le transport de

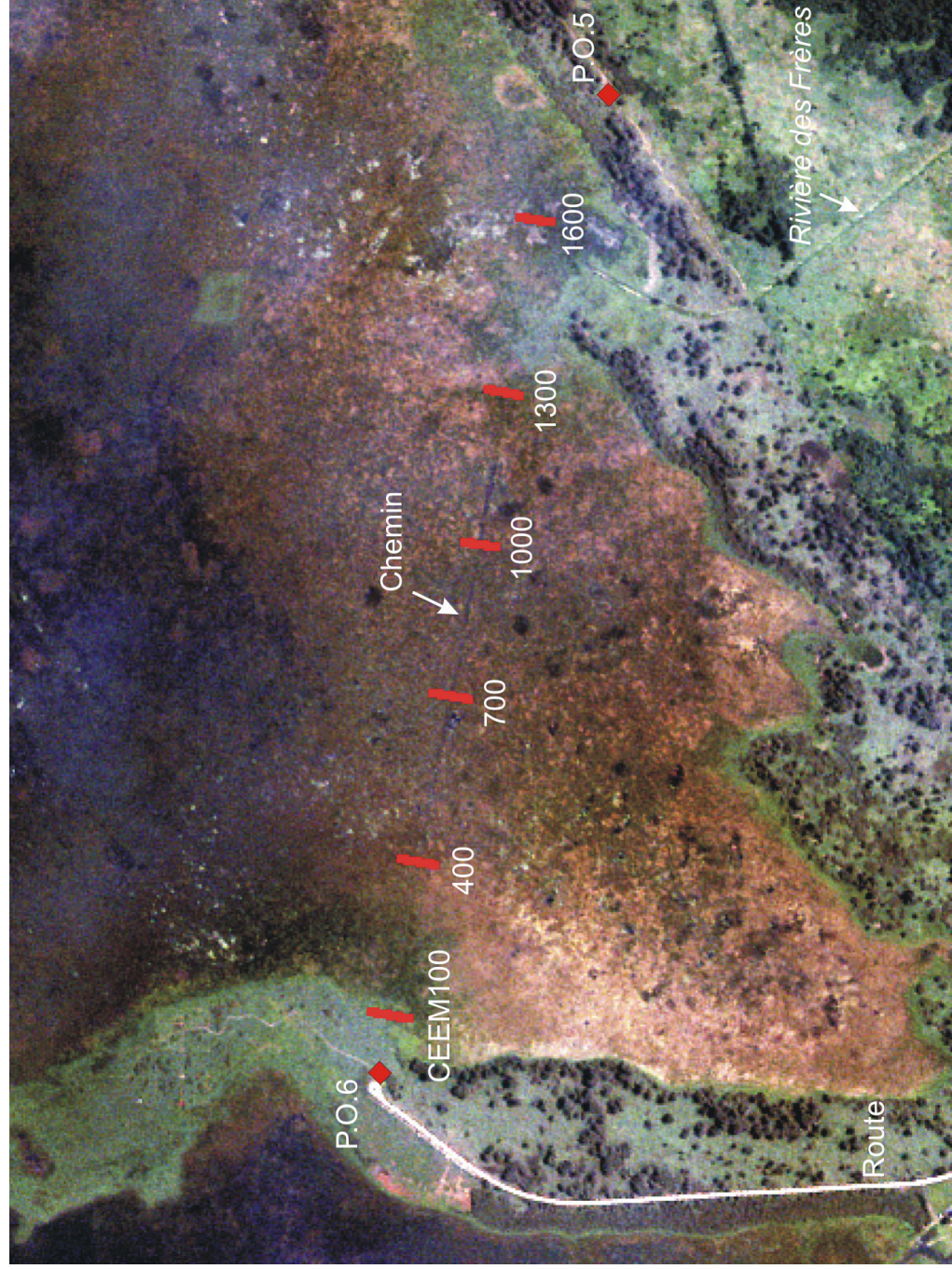


Figure 6 Localisation des six transects échantillonnés le long du chemin reliant le P.O. 6 et le P.O. 5, à l'est de la Longue Pointe, territoire du CEEM (MDN). La longueur des transects n'est pas à l'échelle pour mieux les visualiser sur la figure. Image satellitaire Ikonos du 13 août 2002 (Létourneau, 2002)

l'équipe et du matériel s'est fait à bord d'un véhicule tout terrain amphibie de marque Argo^{MD} (*Conquest 8X8*, pression au sol de 4,6 kPa), équipé de chenilles en raison de la présence d'eau dans le marais. Les relevés de végétation ont été effectués à pied. Le passage de l'Argo a écrasé la végétation le long d'un chemin parallèle au chemin principal, sans creuser d'ornières.

L'observation de l'hétérogénéité des diverses communautés végétales présentes tout au long du chemin entre le P.O. 6 et le P.O. 5 a permis de déterminer le nombre de transects à échantillonner et la distance entre chacun d'eux. La caractérisation de la végétation a donc été effectuée le long de six (6) transects espacés de 300 m et disposés perpendiculairement au chemin. Chaque moitié de transect, de part et d'autre de ce chemin (au nord-est et au sud-ouest), devait correspondre à cinq fois la largeur du chemin principal (protocole, annexe 6). Puisque cette dernière variait généralement de 2 m à 2,5 m, la longueur de chaque demi transect a été établie à 12 m, le long duquel six quadrats de 1 m² étaient disposés à 2 m d'intervalle (mesuré du centre d'un quadrat au centre du quadrat suivant). La végétation a donc été échantillonnée dans 13 quadrats (1 au centre, 6 au S-O et 6 au N-E du chemin) disposés le long de six transects de 24 m chacun (figure 6 et annexe 6), pour un total de 78 quadrats.

5.2.2 Échantillonnage de la végétation

Toutes les espèces de plantes présentes dans les 78 quadrats ont été répertoriées et identifiées à l'aide du guide des *Plantes sauvages des lacs, rivières et tourbières* de Fleurbec (1987) et de la *Flore laurentienne* de Marie-Victorin (1995). Les spécimens dont l'identification posait des problèmes ont été rapportés au laboratoire et conservés au frais pour être identifiés par une spécialiste en écologie végétale à l'aide de sources spécialisées, en plus de celles déjà citées (Newmaster *et al.*, 1997; Crow et Hellquist, 2000a, 2000b).

Pour chacune des espèces présentes dans chaque quadrat, la hauteur moyenne (cm) des plantes a été mesurée à l'aide d'une perche graduée. Le pourcentage de recouvrement de chacune des espèces présentes a été évalué par l'attribution d'une cote entre 1 et 7 (tableau 4). Chaque cote correspond à une classe de recouvrement qui constitue une estimation visuelle de la superficie occupée par chaque espèce dans le quadrat de 1 m². La médiane de chaque classe de recouvrement est utilisée pour le calcul des statistiques de base. Le recouvrement total (toutes espèces réunies) du quadrat, l'espèce dominante et l'espèce co-dominante ont aussi été notés.

Un indice de l'abondance de chacune des espèces a été calculé en multipliant la hauteur (en cm) par le recouvrement (en %) mesurés dans chaque quadrat. Cette mesure accorde un plus grand poids aux espèces de grande taille que ne le fait le recouvrement seul.

Tableau 4 Cote et classes de recouvrement utilisées pour estimer la superficie occupée par les diverses espèces retrouvées dans les quadrats

Cote de recouvrement	Classe de recouvrement (%)	Médiane de la classe (%)
1	< 1	0,5
2	1 - 5	3
3	6 - 10	8
4	11 - 25	18
5	26 - 50	38
6	51 - 75	63
7	> 75	88

5.2.3 Caractéristiques des transects

Les coordonnées géographiques de chaque transect au milieu du chemin ont été obtenues avec un GPS (Garmin 12XL). La précision de la position (en m) n'était pas indiquée par cet appareil, mais la comparaison avec un autre GPS (Garmin) le premier jour de la campagne d'échantillonnage a permis de constater que les deux appareils donnaient des lectures similaires et que la précision de ce dernier appareil variait de 2 à 5 m. Puisque la distance entre chaque quadrat est égale ou inférieure à la précision du GPS, leur position géographique n'a pas été prise. L'orientation du chemin et des transects a été plutôt mesurée avec une boussole (tableau 5). Pour chacun des transects, la présence de mares à proximité a été notée. Pour chacun des quadrats, le type de substrat, la profondeur de l'eau, ainsi que la surface occupée par la vase ou l'eau libre ont été notés. Toutes les mesures et observations de terrain ont été prises sur des fiches de terrain « type », dont un exemple est inclus en annexe (annexe 7).

Tableau 5 Localisation des six transects échantillonnés

Transect	Latitude (UTM*)	Longitude (UTM*)	Distance** (m)	Orientation	
				Chemin	Transect
CEEM100	673762	5115463	100	108°	198°
CEEM400	674053	5115405	400	104°	194°
CEEM700	674367	5115444	700	104°	194°
CEEM1000	674650	5115288	1000	96°	186°

Transect	Latitude (UTM*)	Longitude (UTM*)	Distance** (m)	Orientation	
				Chemin	Transect
CEEM1300	674935	5115239	1300	106° ***	196° ***
CEEM1600	675262	5115183	1620	106° ***	196° ***

* Système NAD 23.

** Distance entre le transect et le début du chemin, au P.O. 6.

*** Valeur estimée, mesure non notée sur le terrain.

5.2.4 Analyses des données

Des statistiques descriptives de base (constance, moyenne, écart-type) ont été calculées.

La constance est la fréquence relative de la présence de chaque espèce sur le site, calculée ainsi :
(effectif de l'espèce X / 78) * 100

où 78 correspond au nombre total de quadrats échantillonnés.

L'observation des tendances dans les données a été effectuée à l'aide de graphiques.

5.3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

5.3.1 Description des transects

Les six transects disposés perpendiculairement au chemin ne présentent pas tous les mêmes caractéristiques (tableau 6). Les transects CEEM100 (près de la Longue Pointe) et CEEM1300 (près d'une pointe de terre), situés plus haut dans le marais, sont plus secs et présentent un sol plutôt ferme. Près des quatre autres transects, on peut observer la présence de mares de taille variable. Ces transects, bien que généralement exondés au moment de l'échantillonnage, sont caractérisés par la présence d'eau à des niveaux variables et un substrat nettement plus meuble, saturé d'eau et plus affecté par le passage des véhicules (tableau 6).

Les différences quant aux effets du passage répété du véhicule sur les deux types de substrat sont marquées. Les effets sont nettement plus visibles sur les sols meubles saturés d'eau. Le creusage d'ornières plus profondes (remplies d'eau le cas échéant) a forcé les véhicules à utiliser de nouveaux chemins en parallèle afin de ne pas s'embourber, élargissant ainsi la zone d'impact. Le couvert végétal semble moins dense sur les sols meubles que sur les sols fermes où le recouvrement plus dense et plus uniforme rend le chemin à peine visible. Ces différences peuvent être observées sur l'image satellitaire Ikonos (figure 6). À la hauteur des transects CEEM100 et 1300, on distingue à peine le chemin, alors qu'il est bien visible encore, un an après la fin de son utilisation intensive, vis-à-vis les transects CEEM400, 700, 1000 et 1600.

Tableau 6 Caractéristiques des six transects

Transect	Type de sol	Substrat	Profondeur de l'eau (cm)	Présence de mares à proximité
CEEM100	Argile + débris végétaux	Ferme et sec	0	Non
CEEM400	Argile + débris végétaux	Meuble et humide	0-25	Oui
CEEM700	Argile + débris végétaux	Meuble et humide	0-30	Oui
CEEM1000	Argile + débris végétaux	Meuble et humide	0-20	Oui
CEEM1300	Argile + humus	Ferme et sec	0	Non
CEEM1600	Argile + débris végétaux	Meuble et humide	0-35	Oui

5.3.2 Diversité végétale

L'échantillonnage effectué en août 2002, bien qu'il n'ait couvert qu'un secteur limité, a permis l'acquisition de données sur une portion du territoire du MDN rarement décrite, pour les raisons d'accessibilité restreinte au champ de tir déjà énoncées. Cette zone de marais peu profonds est inaccessible en bateau ou en hydroglisseur, et l'échantillonnage de 1995 de Gratton *et al.* (1998) n'a pas couvert les marais, comme il en été fait mention au chapitre 3.

Toutes les données brutes sont présentées en annexe (annexe 8).

L'échantillonnage des 78 quadrats a permis l'identification de 36 espèces de plantes (tableau 7) représentatives des marais peu profonds de ce secteur du Saint-Laurent (chapitre 3; Jacques, 1986). La majorité de ces espèces sont qualifiées d'hydrophytes obligatoires (Gauthier, 1997). Les plantes émergentes de marais dominant, accompagnées, selon le transect, d'espèces caractéristiques des prairies humides, alors que les plantes submergées sont peu représentées, ce qui s'explique par le fait que la zone ciblée est normalement exondée à l'étiage, tout comme elle l'était au moment de l'échantillonnage.

La majorité des espèces sont vivaces, comme c'est fréquemment le cas chez les plantes aquatiques et ripariennes. La plupart des espèces répertoriées se reproduisent et se propagent surtout de façon végétative, par des organes de réserve et de persistance d'hiver comme des rhizomes, stolons, tubercules ou turions (chapitre 4, tableau 3). Pour leur part, *Zizania palustris* et *Polygonum lapathifolium* sont des annuelles qui persistent sous forme de graines. *Barbarea vulgaris* est une bisannuelle, c.-à-d. qu'elle persiste un an, fleurit la deuxième année, puis meurt et se régénère par graines.

Quatre espèces de plantes introduites (ci-après appelées exotiques) ont été répertoriées : *Barbarea vulgaris*, *Polygonum lapathifolium*, *Lythrum salicaria* et *Butomus umbellatus*. Comme il a été mentionné à la section 3.9, seules ces deux dernières sont habituellement considérées comme des espèces envahissantes pouvant représenter un problème (White *et al.*, 1993).

Tableau 7 Liste des espèces répertoriées le long du chemin reliant le P.O. 5 et le P.O. 6, à l'est de la Longue Pointe, territoire du MDN au lac Saint-Pierre

Espèce	Nom français	Code d'espèce	Statut de l'espèce	Type d'hydrophyte	Cycle vital
Plantes émergentes					
Prairie humide					
<i>Barbarea vulgaris</i>	Barbarée vulgaire	Bavu	Introduite	Facultative	Bisannuelle
<i>Galium palustre</i>	Gaillet palustre	Gapa	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Lycopus uniflorus</i>	Lycopé à une fleur	Lyun	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Lysimachia terrestris</i>	Lysimaque terrestre	Lyte	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Lysimachia thyrsoflora</i>	Lysimaque thyrsofleure	Lyth	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Lythrum salicaria</i>	Salicaire pourpre	Lysa	Introduite	Facultative	Vivace
<i>Mimulus ringens</i>	Mimule à fleurs entrouvertes	Miri	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Penthorum sedoides</i>	Penthorum faux-orpin	Pese	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Phalaris arundinacea</i>	Phalaris roseau	Phar	Envahissante	Facultative	Vivace
<i>Polygonum lapathifolium</i>	Renouée à feuilles de patience	Pola	Introduite	Facultative	Annuelle
<i>Sium suave</i>	Berle douce	Sisu	Indigène	Obligatoire	Vivace
Marais					
<i>Acorus calamus</i>	Acorus roseau	Acca	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	Alisme plantain-d'eau	Altr	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Bolboschoenus fluviatilis</i>	Scirpe des rivières	Bofl	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Butomus umbellatus</i>	Butome à ombelle	Buum	Introduite	Obligatoire	Vivace
<i>Eleocharis smallii</i>	Éléocharide de Small	Elsm	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Equisetum fluviatile</i>	Prêle fluviatile	Eqfl	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Pontederia cordata</i>	Pontédérie à feuilles en cœur	Poco	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Sagittaria cuneata</i>	Sagittaire à feuilles en coin	Sacu	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Sagittaria latifolia</i>	Sagittaire à feuilles larges	Sala	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Sagittaria rigida</i>	Sagittaire dressée	Sari	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	Scirpe des étangs	Scla	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Sparganium americanum</i>	Rubanier d'Amérique	Spam	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Sparganium eurycarpum</i>	Rubanier à gros fruits	Speu	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Typha angustifolia</i>	Typha à feuilles étroites	Tyan	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Zizania palustris</i>	Zizanie des marais	Ziaq	Indigène	Obligatoire	Annuelle
Macrophytes à feuilles flottantes					
<i>Nuphar rubrodisca</i>	Nénuphar à disque rouge	Nuru	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Nymphaea odorata</i>	Nymphée odorante	Nyod	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Lemna minor</i>	Lenticule mineure	Lemi	Indigène	Obligatoire	Vivace
Macrophytes submergés					
<i>Elodea canadensis</i>	Élodée du Canada	Elca	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Heteranthera dubia</i>	Hétéranthère litigieuse	Hedu	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Utricularia vulgaris</i>	Utriculaire vulgaire	Utvu	Indigène	Obligatoire	Vivace
<i>Potamogeton gramineus</i>	Potamogeton graminioïde	Pogr	Indigène	Obligatoire	Vivace
Algues					
<i>Chara</i> sp.	Chara	Char	Indigène	Obligatoire	algue
Algues filamenteuses	Algues filamenteuses	Algu	Indigène	Obligatoire	algue
Mousses					
<i>Sphagnum</i> sp.	Sphaigne	Spha	Indigène	Obligatoire	Vivace

Phalaris arundinacea, constitué de l'espèce indigène et de cultivars agricoles européens, est reconnu comme une plante envahissante (chapitre 3). De plus, *Typha* spp., bien qu'indigène, est reconnu comme une espèce pouvant devenir envahissante lorsque des conditions appropriées telles que la baisse des niveaux d'eau ou la création d'ouvertures, se présentent. (Grace et Harrison, 1986; Marie-Victorin, 1995; Hudon et Amyot, 2002a). Ces deux espèces seront donc considérées comme envahissantes pour le reste de la présentation des résultats. Il est à noter que *Phragmites australis* est absent du secteur, ce qui corrobore les résultats de Hudon et Amyot (2002b) pour le sud du lac (annexe 2). Il semble donc que sa répartition ne se soit pas étendue depuis les secteurs des baies de Lavallière et Saint-François et de la Pointe de la Grande Commune, où Jean et Létourneau (2002) l'ont répertorié en 2000 (annexe 3).

Entre 11 et 20 espèces de plantes (sur 36 au total) ont été identifiées à chaque transect, dont 1 à 3 espèces exotiques et 1 ou 2 espèces envahissantes selon le cas (tableau 8). *Butomus umbellatus* (Buum, n=70) est la seule espèce exotique présente à tous les transects. Il est à noter que *Phalaris arundinacea* (Phar, n=2) et *Polygonum lapathifolium* (Pola, n=4) ne se retrouvent qu'au transect CEEM100, alors que *Lythrum salicaria* (Lysa, n=5) n'a été répertorié qu'au transect CEEM1300. *Barbarea vulgaris* (Bavu, n=25) est plus commun dans tout le site que les précédentes, mais il se retrouve surtout à CEEM100. De fait, *Barbarea vulgaris*, *Polygonum lapathifolium*, *Lythrum salicaria* et *Phalaris arundinacea* sont des hydrophytes facultatives, caractéristiques de milieux un peu moins humides. La faible présence de *Lythrum* et *Phalaris* dans les échantillons est probablement due au fait que le chemin se situe dans le marais peu profond alors qu'ils sont plus typiques de la prairie humide (haut marais). *Typha angustifolia* (Tyan; n=9), pour sa part, est présent à quatre transects, mais il n'y est pas très fréquent.

Tableau 8 Nombre total d'espèces et nombre d'espèces exotiques et envahissantes par transect

Transect	Nombre total d'espèces	Nombre d'espèces exotiques (code d'espèce*)	Nombre d'espèces envahissantes (code d'espèce*)
CEEM100	12	3 (Bavu, Buum, Pola)	2 (Phar, Tyan)
CEEM400	11	2 (Bavu, Buum)	1 (Tyan)
CEEM700	15	1 (Buum)	1 (Tyan)
CEEM1000	18	1 (Buum)	0
CEEM1300	20	3 (Bavu, Buum, Lysa)	0
CEEM1600	16	2 (Bavu, Buum)	1 (Tyan)
Tout le site	36	4 (Bavu, Buum, Pola, Lysa)	2 (Phar, Tyan)

*Voir tableau 7.

Des 36 espèces identifiées, cinq seulement ont une constance supérieure à 50 p. 100 (tableau 9), c.-à-d. qu'elles sont présentes dans plus de la moitié des 78 quadrats (*Butomus umbellatus*, *Bolboschoenus fluviatilis*, *Sagittaria rigida*, *Schoenoplectus lacustris*, *Sparganium eurycarpum*). *Butomus umbellatus* est l'espèce dont la constance est la plus élevée dans l'ensemble du site échantillonné (n=70, 90 p. 100). Six espèces présentent une constance entre 20 et 50 p. 100 (*Sagittaria latifolia*, *Eleocharis smallii*, *Zizania palustris*, *Barbarea vulgaris*, *Equisetum fluviatile*, *Sparganium americanum*), 12 espèces entre 5 et 20 p. 100, dont *Lythrum salicaria* (n=5, 6 p. 100) et, enfin, 13 espèces sont présentes dans moins de 5 p. 100 des quadrats, dont *Phalaris arundinacea* (n=2, 3 p. 100).

Bien que la composition spécifique varie entre les transects (tableau 10), en général le même groupe d'espèces, composé de *Bolboschoenus fluviatilis*, *Butomus umbellatus* et *Sparganium eurycarpum* dans des proportions variables, domine le marais, accompagné principalement de *Schoenoplectus lacustris* et de *Sagittaria* sp. Seuls ces cinq taxons (si on regroupe les *Sagittaria*) sont présents à tous les transects. Ce type de dominance est représentatif du marais peu profond du lac Saint-Pierre décrit par Jacques (1986) et plusieurs autres (chapitre 3). Cependant, *Butomus umbellatus* semble avoir étendu sa dominance car, alors qu'il ne dominait que quelques hectares en 1983 (Gratton, 1983), il constitue l'espèce la plus fréquente en 2002. Il semble que ceci se soit fait au détriment de *Eleocharis smallii*, espèce plus dominante avant, selon Gratton (1983), Jacques (1986) et Gratton *et al.* (1998) (voir section 3.6.1.2).

La présence en proportions variables des autres espèces sous-dominantes pourrait indiquer des conditions différentes du milieu, comme les espèces de prairie humide qui se retrouvent presque seulement dans les transects CEEM100 et 1300 (tableau 10). *Sagittaria rigida* est plus fréquente dans les sites plus humides et certaines espèces ont des effectifs élevés seulement dans certains transects, comme *Barbarea vulgaris* (CEEM100 et 1600), *Equisetum fluviatile* (CEEM100 et 1300), *Acorus calamus* (CEEM1300) et *Eleocharis smallii* (CEEM1000 et 1300).

Tableau 9 Recouvrement, hauteur et abondance des 36 espèces de plantes répertoriées, présentés en ordre décroissant de constance

Espèces	n (sur 78)	Constance (%)	Recouvrement (%) Moyenne (min – max)	Hauteur (cm) Moyenne (min – max)	Abondance* Moyenne (min-max)
Constance > 50 %					
<i>Butomus umbellatus</i>	70	90	24,5 (0,5 – 88)	89 (50 – 140)	2217 (35 – 9240)
<i>Bolboschoenus fluviatilis</i>	68	87	16,3 (0,5 – 63)	113 (60 – 150)	2008 (40 – 8190)
<i>Sagittaria rigida</i>	45	58	3,0 (0,5 – 8)	66 (25 – 100)	214 (17,5 – 800)
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	45	58	5,4 (0,5 – 63)	159 (120 – 195)	874 (60 – 10710)
<i>Sparganium eurycarpum</i>	44	56	26,4 (0,5 – 88)	133 (75 – 180)	3859 (45 – 15840)
De 20 à 50 %					
<i>Sagittaria latifolia</i>	29	37	7,4 (0,5 – 38)	77 (50 – 110)	592 (35 – 3040)
<i>Eleocharis smallii</i>	27	35	20,6 (0,5 – 88)	104 (70 – 120)	2060 (52,5 – 8800)
<i>Zizania palustris</i>	27	35	3,2 (0,5 – 18)	122 (30 – 250)	540 (15 – 4500)
<i>Barbarea vulgaris</i>	25	32	29,7 (0,5 – 88)	44 (5 – 70)	1482 (2,5 – 5720)
<i>Equisetum fluviatile</i>	25	32	7,4 (0,5 – 38)	92 (65 – 140)	746 (32,5 – 4180)
<i>Sparganium americanum</i>	17	22	8,0 (0,5 – 63)	120 (80 – 140)	1011 (40 – 8190)
De 5 à 20 %					
<i>Acorus calamus</i>	14	18	48,7 (3 – 88)	124 (90 – 160)	6105 (270 – 10560)
<i>Chara</i> sp.	11	14	13,0 (3 – 88)	20 (10 – 30)	341 (30 – 2640)
<i>Galium palustre</i>	10	13	3,5 (0,5 – 18)	38 (10 – 60)	150 (5 – 720)
<i>Typha angustifolia</i>	9	12	21,1 (0,5 – 88)	182 (110 – 220)	4506 (70 – 19360)
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	7	9	3,0 (0,5 – 8)	61 (40 – 85)	206 (20 – 680)
<i>Lysimachia terrestris</i>	7	9	14,1 (0,5 – 63)	69 (40 – 100)	1065 (30 – 5040)
<i>Lemna minor</i>	6	8	0,9 (0,5 – 3)	1 (1 – 1)	1 (0,5 – 3)
<i>Lythrum salicaria</i>	5	6	5,0 (0,5 – 18)	82 (50 – 130)	581 (25 – 2340)
<i>Mimulus ringens</i>	5	6	1,5 (0,5 – 3)	58 (5 – 130)	117 (2,5 – 390)
<i>Nymphaea odorata</i>	4	5	1,8 (0,5 – 3)	39 (30 – 50)	69 (15 – 150)
<i>Polygonum lapathifolium</i>	4	5	6,8 (3 – 18)	70 (60 – 80)	435 (195 – 1080)
<i>Pontederia cordata</i>	4	5	4,3 (3 – 8)	90 (80 – 100)	383 (240 – 720)
< 5%					
Algues filamenteuses	3	4	2,2 (0,5 – 3)	1 (1 – 1)	2 (0,5 – 3)
<i>Lycopus uniflorus</i>	3	4	3,8 (0,5 – 8)	73 (70 – 80)	295 (35 – 640)
<i>Lysimachia thyrsoflora</i>	3	4	3,8 (0,5 – 8)	53 (50 – 60)	193 (30 – 400)
<i>Potamogeton gramineus</i>	3	4	1,3 (0,5 – 3)	12 (5 – 15)	10 (7,5 – 15)
<i>Sium suave</i>	3	4	1,3 (0,5 – 3)	52 (20 – 90)	101 (10 – 270)
<i>Nuphar rubrodiscum</i>	2	3	5,5 (3 – 8)	63 (60 – 65)	338 (195 – 480)
<i>Penthorum sedoides</i>	2	3	0,5 (0,5 – 0,5)	33 (30 – 35)	16 (15 – 17,5)
<i>Phalaris arundinacea</i>	2	3	75,5 (63 – 88)	105 (100 – 110)	7865 (6930 – 8800)
<i>Sphagnum</i> sp.	2	3	1,8 (0,5 – 3)	3 (3 – 3)	5 (1,5 – 9)
<i>Utricularia vulgaris</i>	2	3	5,5 (3 – 8)	23 (20 – 25)	130 (60 – 200)
<i>Elodea canadensis</i>	1	1	0,5 (0,5 – 0,5)	10 (10 – 10)	5 (5 – 5)
<i>Heteranthera dubia</i>	1	1	0,5 (0,5 – 0,5)	5 (5 – 5)	3 (2,5 – 2,5)
<i>Sagittaria cuneata</i>	1	1	3,0 (3 – 3)	50 (50 – 50)	150 (150 – 150)

*Abondance = hauteur x recouvrement

Tableau 10 Recouvrement moyen (%) de chaque espèce par transect et effectif (n). Les valeurs en caractères gras indiquent les espèces présentes à tous les transects

Espèce	Pourcentage (%) de recouvrement moyen (n*)					
	CEEM100	CEEM400	CEEM700	CEEM1000	CEEM1300	CEEM1600
<u>Prairie humide</u>						
<i>Barbarea vulgaris</i>	40,5 (13)	2,2 (3)			5,5 (2)	28,4 (7)
<i>Equisetum fluviatile</i>	3,8 (12)				10,7 (13)	
<i>Galium palustre</i>					3,5 (10)	
<i>Lycopus uniflorus</i>					3,8 (3)	
<i>Lysimachia terrestris</i>					14,1 (7)	
<i>Lysimachia thyrsiflora</i>	3,8 (3)					
<i>Lythrum salicaria</i>					5,0 (5)	
<i>Mimulus ringens</i>				0,5 (1)	3,0 (2)	0,5 (2)
<i>Penthorum sedoides</i>					0,5 (2)	
<i>Phalaris arundinacea</i>	75,5 (2)					
<i>Polygonum lapathifolium</i>	6,8 (4)					
<i>Sium suave</i>					1,3 (3)	
<u>Marais</u>						
<i>Acorus calamus</i>	5,5 (2)			63,0 (1)	55,3 (11)	
<i>Alisma plantago-aquatica</i>			3,0 (2)	2,2 (3)		4,3 (2)
<i>Bolboschoenus fluviatilis</i>	38,6 (13)	3,8 (9)	21,5 (13)	16,7 (13)	3,0 (10)	5,0 (10)
<i>Butomus umbellatus</i>	7,3 (7)	29,9 (13)	25,7 (13)	17,2 (12)	18,4 (12)	39,5 (13)
<i>Eleocharis smallii</i>			7,5 (5)	31,3 (10)	17,2 (12)	
<i>Pontederia cordata</i>		5,5 (2)		3,0 (2)		
<i>Sagittaria cuneata</i>					3,0 (1)	
<i>Sagittaria latifolia</i>	9,3 (13)	3,0 (2)	8,0 (3)	8,0 (6)		3,0 (5)
<i>Sagittaria rigida</i>		2,8 (10)	3,0 (8)	3,3 (10)	2,7 (8)	3,3 (9)
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	4,4 (7)	2,0 (5)	2,3 (11)	5,3 (12)	12,4 (9)	0,5 (1)
<i>Sparganium americanum</i>					11,8 (8)	4,7 (9)
<i>Sparganium eurycarpum</i>	4,7 (6)	23,4 (13)	15,2 (9)	88,0 (3)	8,0 (4)	44,1 (9)
<i>Typha angustifolia</i>	3,0 (2)	75,5 (2)	2,2 (3)			13,0 (2)
<i>Zizania palustris</i>		0,5 (1)	4,4 (7)	4,4 (7)	2,3 (7)	1,5 (5)
<u>Plantes à feuilles flottantes</u>						
<i>Lemna minor</i>						0,9 (6)
<i>Nuphar rubrodiscum</i>			3,0 (1)	8,0 (1)		
<i>Nymphaea odorata</i>			1,8 (2)	3,0 (1)		0,5 (1)
<u>Macrophytes submergés</u>						
<i>Elodea canadensis</i>				0,5 (1)		
<i>Heteranthera dubia</i>						0,5 (1)
<i>Potamogeton gramineus**</i>					1,3 (3)	
<i>Utricularia vulgaris</i>			8,0 (1)	3,0 (1)		
<u>Algues</u>						
<i>Chara</i> sp.		3,0 (2)	25,5 (4)	7,0 (5)		
Algues filamenteuses			3,0 (1)			1,8 (2)
<u>Mousses</u>						
<i>Sphagnum</i> sp.				1,8 (2)		
Nombre total d'espèces/transect	12	11	15	18	20	16

* Nombre de quadrats sur 13 où cette espèce est présente

**Forme à feuilles dressées en zone exondée

5.3.3 Nombre d'espèces

La figure 7 illustre que la richesse en espèces (nombre moyen/quadrat) est légèrement inférieure (6 en moyenne) au centre du chemin et qu'elle tend à augmenter lorsqu'on s'en éloigne. Le nombre d'espèces retrouvées au centre du chemin est un peu plus variable que les valeurs obtenues entre 2 et 12 m du centre.

En ce qui concerne le nombre d'espèces exotiques et envahissantes, il y en a peu en moyenne par transect (1 à 2) et elles ne sont pas plus présentes au centre du chemin (0 m) ou en bordure (2 m) qu'au fur et à mesure qu'on s'en éloigne (figure 7). De plus, à l'exception de *Butomus umbellatus* et *Barbarea vulgaris*, leur constance est faible (tableau 9). Elles constituent 14 p. 100 des espèces présentes (5 exotiques/36 espèces, avec *Phalaris*, mais sans *Typha*). Ces valeurs sont similaires aux estimations de la proportion d'espèces exotiques obtenues pour la région du lac Saint-Pierre (Jean, 2002) où elles constituent 14,7 p. 100 du nombre total de taxons et 27,1 p. 100 en termes de couvert végétal. White *et al.* (1993) rapportent que les espèces exotiques constituent environ 27 p. 100 de la flore de l'Ontario et Haber (1997) évalue ce nombre à 30 p. 100 pour le Canada.

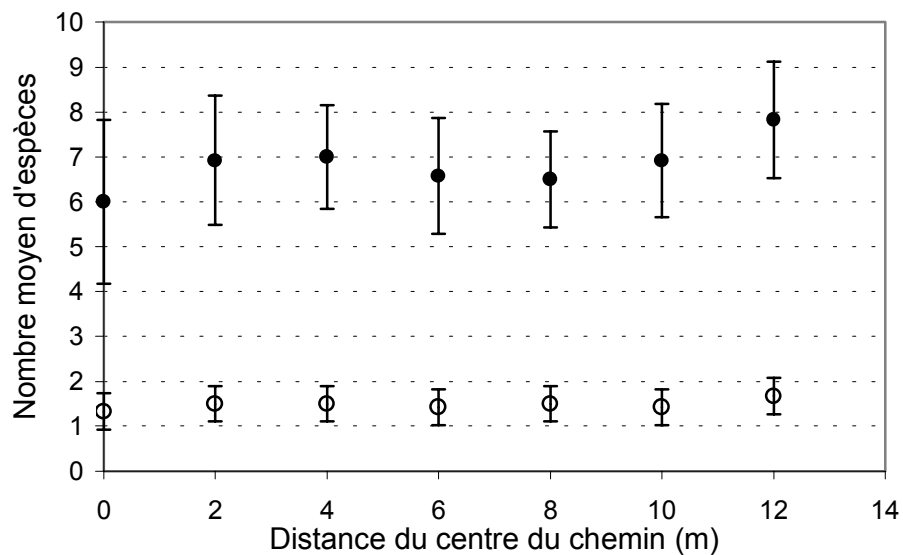


Figure 7 Nombre d'espèces de plantes (moyenne \pm intervalle de confiance à 95 %)/quadrat et nombre moyen d'espèces exotiques et envahissantes/quadrat. ● : toutes les espèces; ○ : espèces exotiques et envahissantes. (n=12 partout, sauf à 0 m où n=6)

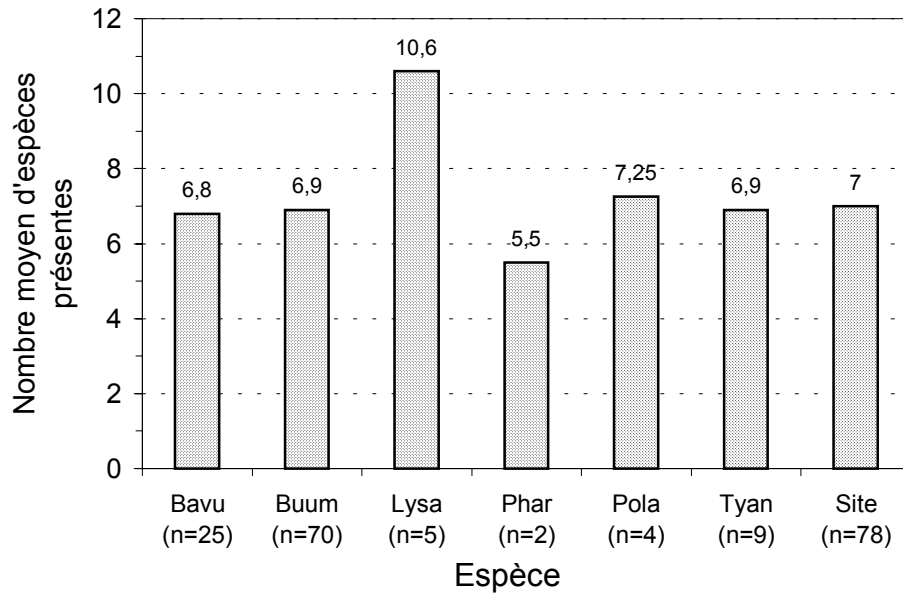


Figure 8 Nombre moyen d'espèces végétales/quadrat qui accompagnent les espèces exotiques et envahissantes lorsqu'elles sont présentes. Site = nombre moyen d'espèces indigènes et introduites/quadrat pour tout le site

Si l'ouverture du chemin rendait le site propice à l'établissement d'espèces agressives nouvelles (exotiques ou non), on pourrait s'attendre à une augmentation du nombre total d'espèces. Par contre, ce nombre pourrait diminuer si le site était envahi par quelques espèces agressives seulement au détriment des autres espèces. Comme la tendance observée n'apparaît pas significative (figure 7), la présence du chemin ne semble pas favoriser l'envahissement systématique par ces espèces, du moins pas un an après la fin de la perturbation, ni à l'échelle d'observation des présents travaux.

Effectivement, contrairement à la perception générale, la diversité végétale n'est pas systématiquement moindre lorsque des espèces exotiques envahissantes comme *Butomus umbellatus* et *Lythrum salicaria* sont présentes (figure 8), mais elle l'est en présence de *Phalaris arundinacea* (5,5 espèces \pm 0,7). On ne peut tester cette tendance puisque l'effectif de cette dernière est trop faible (n=2). Par contre, le nombre moyen d'espèces par quadrat pour tout le site étant de $7 \pm 2,2$ (v. aussi la figure 7), on peut croire que la tendance ne serait pas significative ici.

Ces tendances corroborent les résultats obtenus par Lavoie *et al.* (2003) dans le cadre du programme de suivi des milieux humides du fleuve Saint-Laurent, rapportés à la section 3.9. Ils ont observé qu'en présence de *Butomus umbellatus* et *Lythrum salicaria*, le nombre d'espèces indigènes les accompagnant demeure élevé, alors que la présence d'espèces envahissantes comme *Phalaris arundinacea* et *Phragmites australis* empêchent l'établissement des autres espèces.

5.3.4 Recouvrement de la végétation

Le tableau 9 présente les valeurs moyennes du pourcentage de recouvrement, de la hauteur et de l'abondance, ainsi que les valeurs minimales et maximales pour chaque variable, pour toutes les espèces de plantes recensées. Le tableau 10 présente les valeurs moyennes de recouvrement pour toutes les espèces, transect par transect, ce qui permet d'évaluer l'importance des espèces qui s'y retrouvent.

Les espèces les plus fréquentes (tableau 9) dominent aussi souvent en terme de recouvrement, particulièrement lorsqu'elles sont présentes dans la majorité des quadrats d'un transect, bien que ce soit très variable (tableau 10). Cependant, peu d'espèces présentent de très forts recouvrements, ce qui est le reflet d'un marais relativement hétérogène et indique qu'elles dominent à tour de rôle (p. ex. *Bolboschoenus fluviatilis* et *Butomus umbellatus*). Ceci correspond aussi à la description des marais peu profonds de la rive sud par Gratton (1983). De plus, nombre d'espèces fréquentes ont une forme de croissance dressée, à feuilles étroites qui occupe peu de surface (p. ex. *Schoenoplectus lacustris*, *Equisetum fluviatile*).

Les espèces submergées et les algues sont tributaires de la présence d'eau et d'une certaine ouverture du milieu pour permettre à la lumière d'atteindre cette strate de végétation. Ainsi, *Chara* sp. atteint un recouvrement moyen assez élevé au centre du chemin (0 m; 36 p. 100) (dont 88 p. 100 au CEEM700, annexe 8), car le couvert des plantes émergentes y est en général moins dense (figures 9 et 10). Il présente toutefois de faibles recouvrements (3 à 5,5 p. 100) partout ailleurs le long des transects CEEM400, 700 et 1000. Aucune autre espèce submergée ou flottante ne couvre de surfaces importantes (toutes < 8 p. 100) et ce, tout au long des transects, ce qui s'explique évidemment par la présence limitée de l'eau en général dans le site, à la suite de la baisse du niveau en août.

Les espèces annuelles profitent habituellement des ouvertures et des substrats dénudés pour s'installer. *Polygonum lapathifolium* est peu fréquente (n=4, CEEM100) et ne couvre pas de grandes superficies (tableau 10). Selon Hudon et Amyot (2002a), cette espèce est abondante en conditions de bas niveau d'eau, mais elle est rare en conditions de niveau moyen, ce qui a été le cas à l'été 2002. L'ouverture du chemin n'a donc pas favorisé l'implantation de cette espèce. La germination des annuelles est habituellement favorisée par la présence de substrat nu, humide mais non couvert d'eau.

Bien qu'elle n'occupe pas une grande proportion de la superficie, *Zizania palustris* est présente à cinq quadrats sur six et à toutes les distances par rapport au centre du chemin. Dans ce cas, cette hydrophyte obligatoire annuelle a pu profiter des ouvertures et des niveaux d'eau moyens durant l'été 2002 pour germer.

La figure 9 montre la même tendance que la figure 7 : le recouvrement moyen des plantes par quadrat est moindre au centre du chemin et augmente dès qu'on s'en éloigne et ce, dès la bordure du chemin, à 2 m du centre. Cependant, dans ce cas-ci, la différence semble plus marquée et la valeur de cette caractéristique est nettement plus variable au centre du chemin, ce qui laisse penser que la circulation répétée du BV a ralenti ou affecté la reprise et la croissance de la végétation dans le chemin, ralentissement traduit par un milieu plus ouvert, de recouvrement plus faible. Cette figure illustre une tendance nette, mais compte tenu de la taille des effectifs (n=6 et 12), un test statistique (p. ex. analyse de variance) n'a pas été effectué.

Cependant, l'observation des graphiques représentant le recouvrement total des plantes émergentes estimé pour chacun des 13 quadrats, aux 6 transects, (figure 10) explique la grande variabilité des valeurs au centre du chemin observée à la figure 9. Les deux transects sur sol sec et ferme (CEEM100 et 1300) présentent un couvert uniformément dense et fermé, même au centre du chemin, alors que les quatre autres montrent un couvert végétal nettement plus variable. Ainsi, la végétation au centre du chemin (0 m) y est plus ouverte. De plus, les transects CEEM400, 700 et 100 présentent effectivement les plus importantes traces d'utilisation de chemins secondaires, parallèles au chemin principal, utilisés pour éviter les ornières creusées au centre en conditions de sol meuble. Sur le terrain, la présence de ces chemins a été notée et est indiquée par des flèches sur les graphiques (figure 10) (à 6 m au nord [+6] et à 2 et 4 m au sud [-2 et -4] du transect CEEM400, à 4 m au sud [-4] du CEEM700 et à 4 m au sud [-4] du CEEM1000).

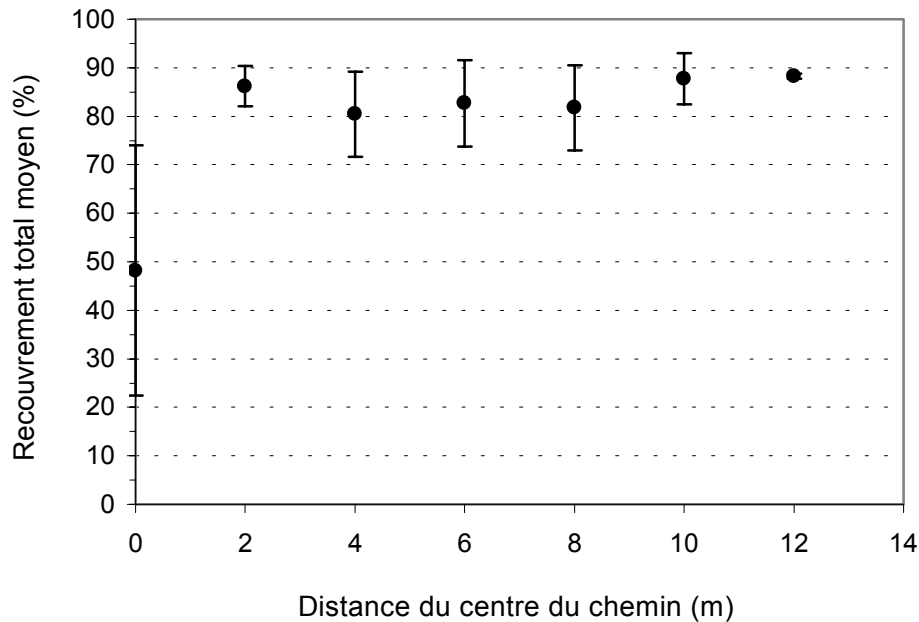


Figure 9 Recouvrement moyen (%) (\pm intervalle de confiance 95 %)/quadrat. (n=12 partout, sauf à 0 m où n=6)

Ces chemins parallèles présentent généralement des zones plus ouvertes, de recouvrement plus faible (figure 10). De plus, au centre du transect CEEM700, la présence d'un milieu très ouvert favorise les plantes submergées et *Chara* sp. y atteint son plus fort recouvrement (88 p. 100). Il n'y a pas de relation claire entre le recouvrement et le niveau d'eau noté à chaque quadrat. Il existe cependant une relation entre la présence d'eau, donc de sols saturés, meubles et plus sensibles à l'orniérage, et la présence de plusieurs chemins en parallèle, visibles en raison du couvert végétal moindre qui se traduit par l'ouverture plus grande du milieu. La surface occupée par le substrat nu (vase) est de fait supérieure au centre du chemin qu'aux autres distances.

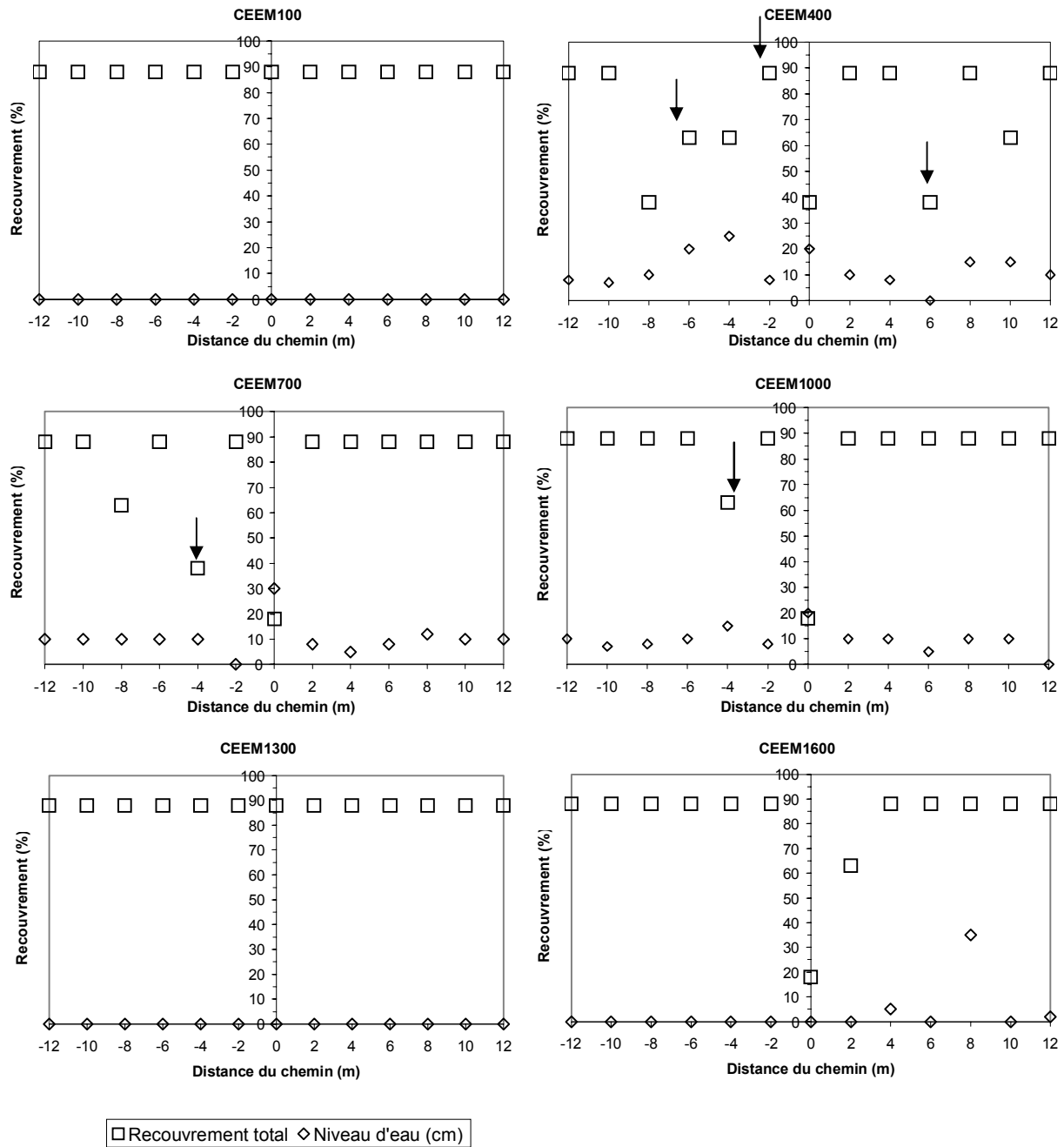


Figure 10 Pourcentage de recouvrement total des plantes émergentes/quadrat pour les six transects en fonction de la distance par rapport au centre du chemin. —▶ Autres chemins. ◇ Niveau d'eau (cm).

5.3.4.1 Espèces exotiques et envahissantes

La figure 11 illustre, pour cinq espèces exotiques ou envahissantes, les valeurs individuelles moyennes du rapport entre leur recouvrement et le recouvrement total du quadrat où elles sont présentes. La figure 12 montre la distribution des fréquences de recouvrement des six espèces exotiques et envahissantes afin de voir à quel point ces espèces occupent, voire monopolisent l'espace quand elles sont présentes.

Barbarea vulgaris, bien qu'assez fréquente (32 p. 100 des quadrats, tableau 9), se retrouve surtout aux transects CEEM100 et 1600, soit à chaque extrémité du chemin où elle peut couvrir une forte proportion de la surface près du sol, sous les hautes émergentes, particulièrement à CEEM100 (tableau 10). On la retrouve tout au long de ces deux transects au couvert plus fermé et non seulement au centre du chemin. Au centre du chemin, elle occupe une plus faible proportion de la surface qu'ailleurs le long des transect (figure 11), où elle peut occuper jusqu'à plus de 80 p. 100. Elle occupe cependant moins de 50 p. 100 de la surface en général. Cette tendance est aussi montrée à la figure 12. Cette espèce eurasiatique se retrouve généralement aux bord des ruisseaux, fossés et près des lieux habités (Marie-Victorin, 1995), ce qui expliquerait qu'on la retrouve surtout à proximité de sites perturbés. Le transect CEEM100 est situé le plus près de la route qui mène au P.O. 6 sur la Longue Pointe (figure 6) et le transect CEEM1600 est situé vis-à-vis la rivière des Frères, petit cours d'eau redressé qui draine des terres agricoles. Ces deux types de voies constituent des possibilités d'introduction pour les espèces de milieux ouverts ou anthropisés et pour les espèces envahissantes. L'ouverture du chemin aurait donc pu favoriser la propagation de *Barbarea vulgaris* à ses deux extrémités. Cependant, puisqu'il n'y a pas eu d'échantillonnage avant l'ouverture du chemin, on ne peut déterminer si cette perturbation a favorisé sa présence et sa dominance aux transects CEEM100 et 1600.

Butomus umbellatus, espèce la plus fréquente dans tous les transects (n=70, tableau 9), est présent à toutes les distances par rapport au centre du chemin et occupe une proportion variable de la surface qui n'est pas corrélée avec cette distance (figure 11). Il peut atteindre une forte valeur de recouvrement, mais dans 70 p. 100 des cas, il occupe moins de 25 p. 100 de recouvrement (figure 12). Comme il a déjà été mentionné à la section précédente, la répartition de *Butomus* semble avoir augmenté non seulement en fréquence, mais aussi en surface couverte, par rapport à ce qui était rapporté par Gratton (1983). Ces données ne permettent pas de dire si la présence généralisée de cette espèce dans le secteur est liée à sa propagation depuis 20 ans ou si

elle a été favorisée localement par l'ouverture du chemin. Les données de Hudon et Amyot (2002b, annexe 2, tableaux 2 et 4) en montrent une plus forte fréquence le long du chenal de navigation de plaisance situé tout juste à l'ouest de la Longue Pointe. Si tel est aussi le cas ici, il faudrait élargir la zone échantillonnée de part et d'autre du chemin, afin de s'assurer que les zones de contrôle comprennent bel et bien les secteurs non affectés par les perturbations.

Lythrum salicaria, bien que présent partout au lac Saint-Pierre (chapitre 3; Marie-Victorin, 1934; Gratton, 1983; Jacques, 1986), n'a été répertorié qu'au transect CEEM1300, en faible abondance (6 p. 100 des quadrats, n=5, tableau 9). Cette espèce se retrouve plutôt dans le haut marais ce qui expliquerait sa faible présence dans nos relevés de végétation. Elle se trouve en petits groupes et ne présente pas de valeurs de recouvrement élevées ni de dominance du couvert végétal (tableau 10, figures 11 et 12). Cette espèce n'a pas été observée en grandes formations monospécifiques, contrairement à ce qui a souvent été rapporté dans la littérature (Marie-Victorin 1934, 1995; Mal *et al.*, 1992). Gratton *et al.* (1998) ont aussi observé qu'elle occupe peu d'importance sur le territoire du MDN en comparaison avec le secteur voisin de Baie-du-Febvre (à l'ouest de la Longue Pointe) où elle est abondante, comme l'avait déjà constaté Gratton en 1983. Il est possible que l'accès restreint au refuge d'oiseaux migrateurs ait contribué à y limiter les perturbations et à réduire l'étendue de *Lythrum salicaria*.

Polygonum lapathifolium, peu fréquent, n'occupe pas de grandes superficies (tableau 10, figures 11 et 12), contrairement à *Phalaris arundinacea* qui était peu représenté (n=2). Mais il est à noter que, lorsqu'il est présent, ce dernier tend à occuper presque tout l'espace (63 et 88 p. 100, figures 11 et 12), ce qui correspond à la situation fréquemment rapportée pour cette espèce, comme il a été mentionné dans ce rapport.

Ces résultats, malgré le faible effectif, corroborent ceux de Lavoie *et al.* (2003) pour le Saint-Laurent, résumés au chapitre 3. Lorsqu'ils sont présents, *Butomus* et *Lythrum* n'envahissent pas plus le centre du chemin que ses abords et n'y atteignent pas systématiquement de très fortes valeurs de recouvrement qui empêchent l'établissement d'autres espèces, même dans le cas de *Butomus* qui est dominant en nombre et en recouvrement, contrairement à *Phalaris arundinacea*.

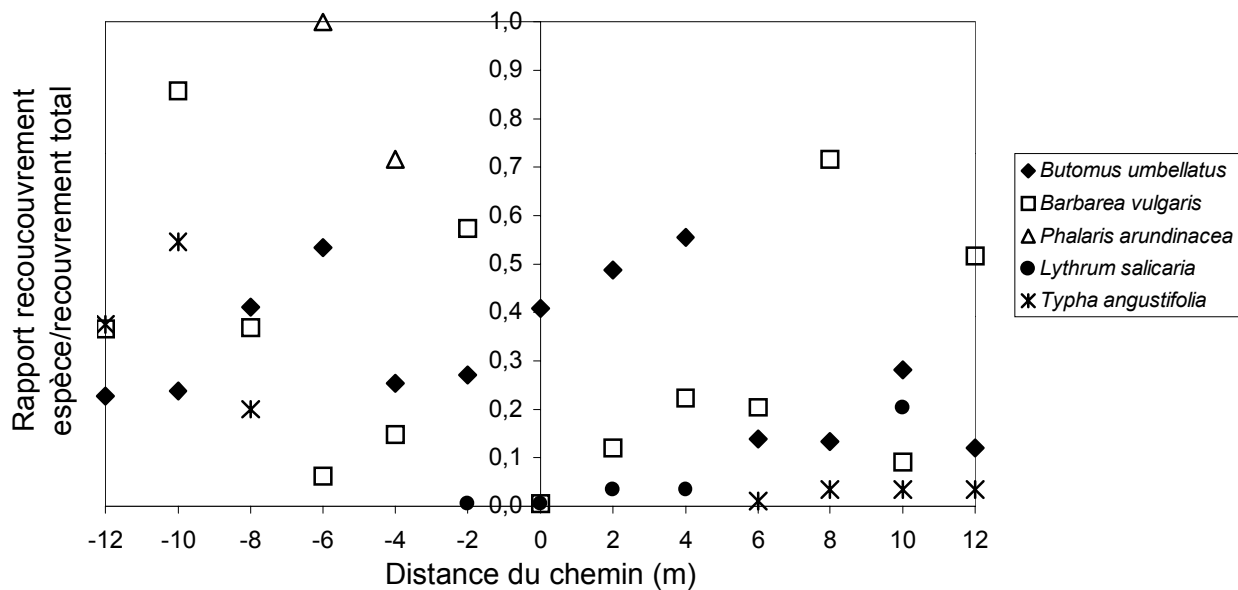


Figure 11 Rapport recouvrement spécifique/recouvrement total pour 5 espèces exotiques et envahissantes, à chacune des distances par rapport au centre du chemin

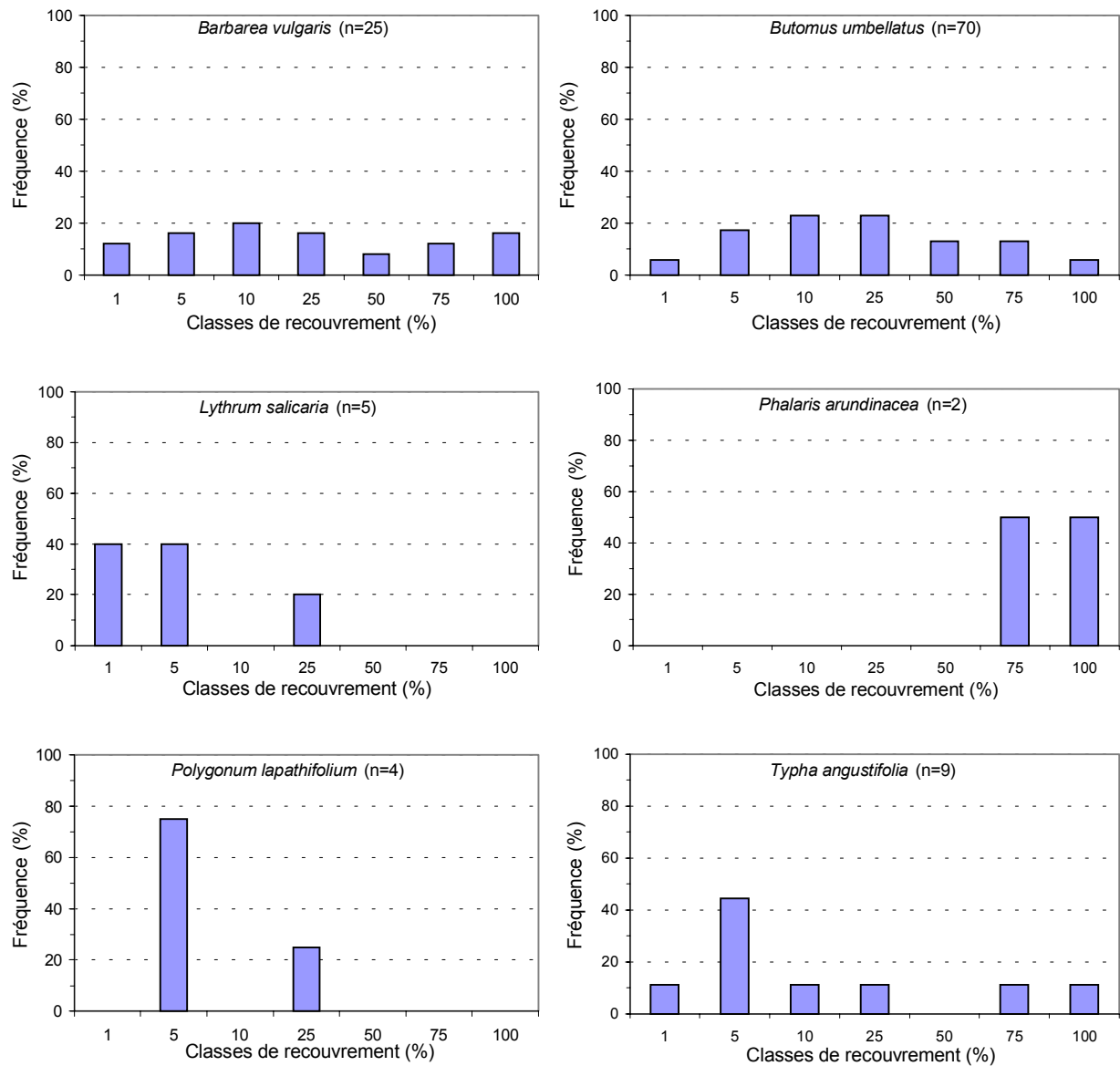


Figure 12 Fréquence relative (%) des classes de recouvrement pour les six espèces exotiques et envahissantes. Les classes sont identifiées par la valeur de la limite supérieure de chaque classe. À noter les effectifs très différents d'une espèce à l'autre

5.3.4.1 Cas spécifiques

Le recouvrement de certaines des espèces les plus fréquentes en fonction de la distance du centre du chemin a été observé plus spécifiquement (figure 13) afin de comparer avec les tendances générales (figures 9 et 10). Dans deux de ces cas (*Schoenoplectus lacustris*, *Sagittaria rigida*), le recouvrement est assez faible, alors que les deux autres cas (*Bolboschoenus fluviatilis*, *Sparganium eurycarpum*) présentent des valeurs de recouvrement assez variables. *Sparganium eurycarpum* présente la chute de recouvrement la plus marquée au centre du chemin.

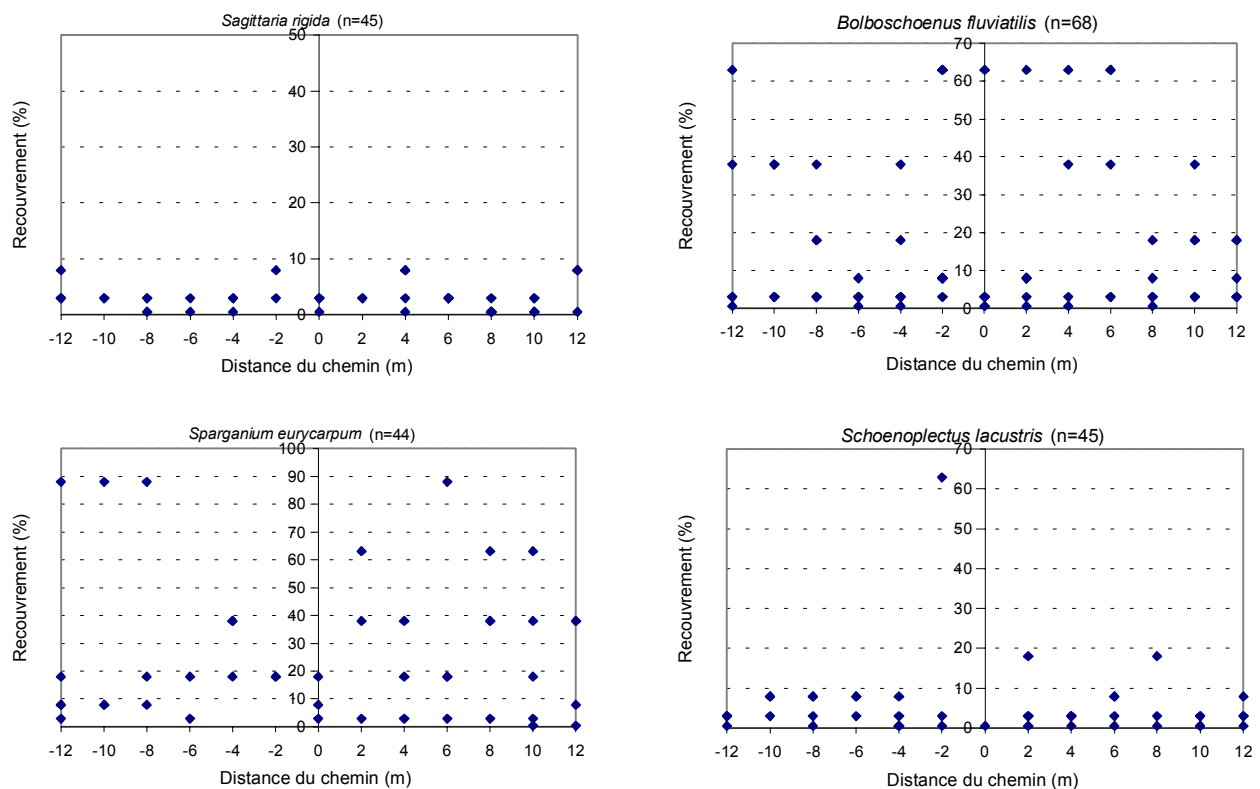


Figure 13 Recouvrement de quatre espèces en fonction de la distance du centre du chemin

5.3.5 Hauteur et abondance de la végétation

La figure 14 montre une tendance similaire à ce qui est observé pour le nombre d'espèces et le recouvrement de la végétation en fonction de la distance du centre du chemin (figures 7 et 9). La hauteur moyenne des plantes au centre du chemin est inférieure aux valeurs retrouvées lorsqu'on s'en éloigne et elle est aussi plus variable (plus grand intervalle de confiance). La figure 15 illustre la variabilité de ces caractéristiques transect par transect.

Dans le cas de l'abondance des plantes au centre du chemin, on retrouve encore la même tendance, la valeur au centre du chemin étant cependant nettement plus faible ici et moins variable (figure 16).

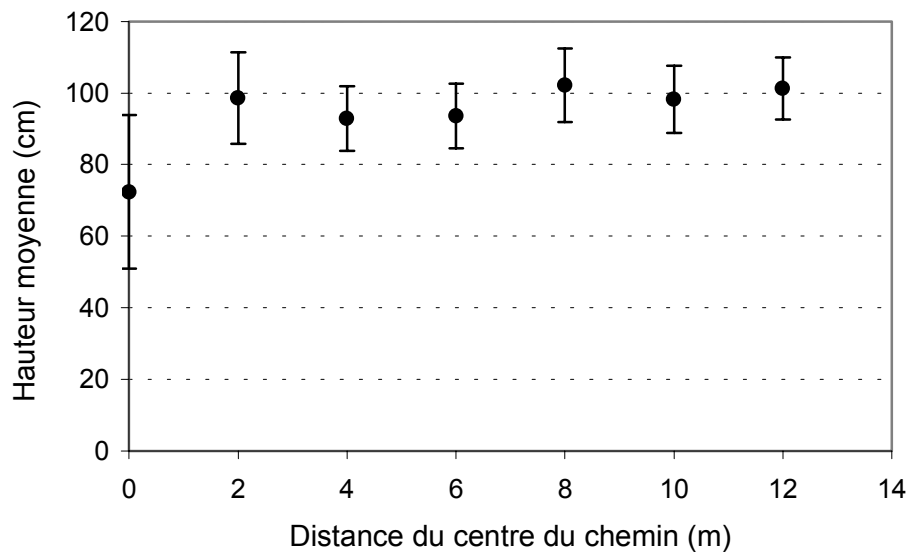


Figure 14 Hauteur moyenne (cm) (\pm intervalle de confiance 95 %)/quadrat des plantes à diverses distances par rapport au centre du chemin reliant le P.O. 6 et le P.O. 5. (n=12 partout, sauf à 0 m où n=6)

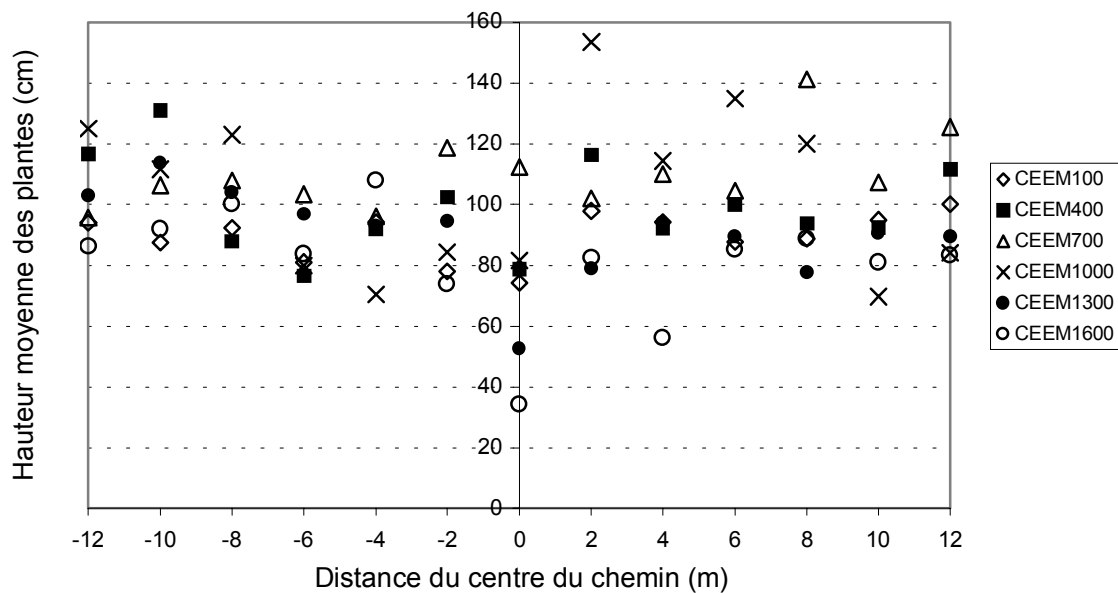


Figure 15 Hauteur moyenne (cm) des plantes/quadrat à diverses distances par rapport au centre du chemin pour les six transects échantillonnés

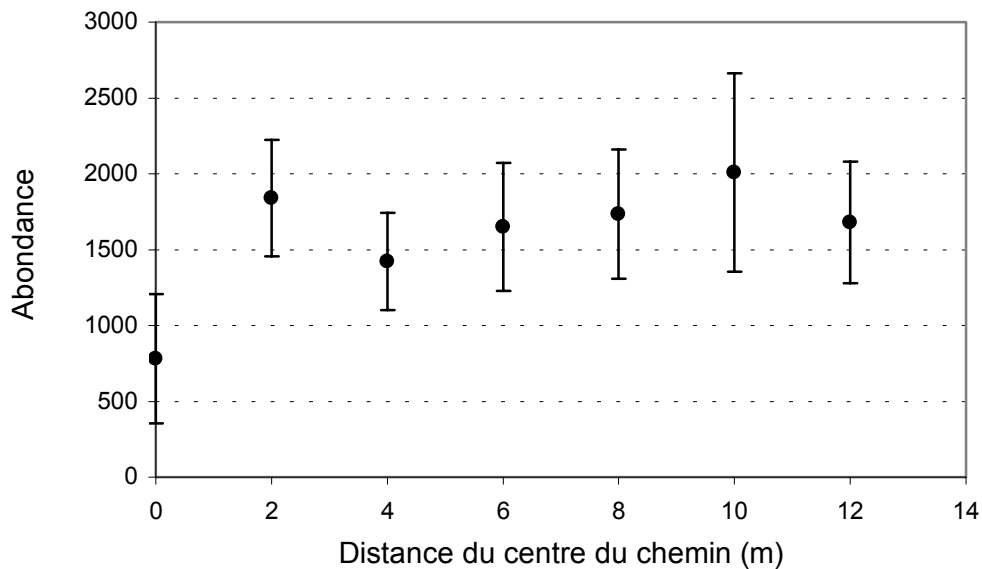


Figure 16 Abondance moyenne (\pm intervalle de confiance 95 %)/quadrat des plantes à diverses distances par rapport au centre du chemin reliant le P.O. 6 et le P.O. 5. (n=12 partout, sauf à 0 m où n=6)

5.3.5.1 Cas spécifiques

Comme dans le cas des valeurs de recouvrement (figure 13), les valeurs de la hauteur de quatre espèces en fonction de la distance du centre du chemin ont été mises en graphique (figure 17) afin de comparer avec les tendances générales (figure 14). Seuls *Sparganium eurycarpum* et *Schoenoplectus lacustris* semblent montrer une diminution de hauteur au centre du chemin, quoique les valeurs soient très variables pour toutes les espèces.

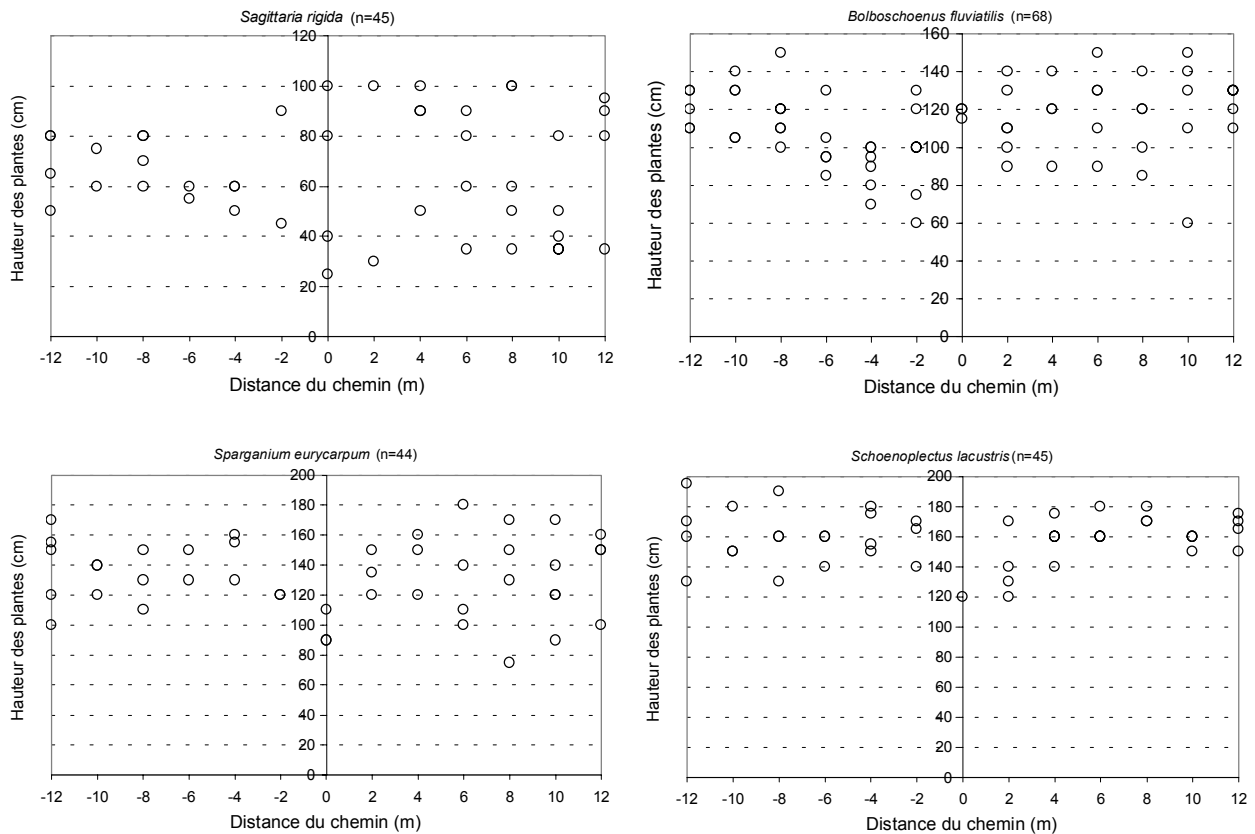


Figure 17 Hauteur (cm) de quatre espèces en fonction de la distance du centre du chemin

5.4 BILAN

La zone d'étude a été limitée au chemin reliant le P.O. 6 et le P.O. 5 en raison des conditions de niveaux d'eau moyens qui n'ont pas permis l'accès aux autres sites pressentis (chemins de ratissages de 2001 et 2002, cratères). Les données acquises lors de cet échantillonnage serviront à des fins de comparaison pour le suivi environnemental lors des travaux de nettoyage du champ de tir. Elles sont particulièrement importantes puisqu'elles constituent les premières données récentes pour ce secteur.

Même si la présence du chemin entraîne la présence d'une zone plus ouverte dont la végétation est moins diversifiée, moins haute et moins dense, elle ne semble pas favoriser l'établissement de plusieurs espèces exotiques (*Lythrum salicaria*, *Butomus umbellatus*) ou envahissantes (*Phragmites australis*, *Phalaris arundinacea*, *Typha angustifolia*), du moins pas un an après la perturbation.

La zone d'impact causée par la circulation intensive d'un véhicule à chenille est plus large et persistante aux sites à sols humides et meubles. En effet, un an après la fin des perturbations, la végétation a entièrement recouvert le chemin étudié aux transects CEEM100 et 1300, bien qu'elle y soit encore moins haute qu'en dehors du chemin (figure 15). Aux autres sites, la végétation ne s'est pas encore entièrement rétablie, tant en termes de recouvrement, de hauteur que d'abondance, comme on peut le voir sur l'image satellite (figure 6). La circulation d'un seul véhicule en milieu humide pendant toute une saison de croissance a donc des effets persistants sur la végétation.

Il est également possible que l'échantillonnage ait sous-estimé les zones ouvertes ou remplies d'eau caractéristiques du chemin dans les sites humides sujets à l'orniérage. En effet, le quadrat étant placé au centre du chemin, la caractérisation était faite sur la butte entre les ornières. De plus, l'écart de 2 m entre les quadrats faisait en sorte qu'ils se retrouvaient souvent de chaque côté des ornières, les évitant ainsi. Puisque le présent échantillonnage a quand même permis de montrer la plus grande ouverture de la végétation à ces sites (figure 10), il est possible que la situation réelle soit pire que celle reflétée par ces résultats. Le protocole d'échantillonnage devrait donc être modifié pour en tenir compte (annexe 6).

Les résultats obtenus dans cette étude convergent avec ce qui existe dans la littérature sur l'effet de la circulation de véhicules en milieux humides (chapitre 4). Les dommages à la surface du sol, la destruction de la végétation, la profondeur des ornières, la compaction des sols

s'aggravent généralement avec la quantité d'eau dans le sol, le nombre de passages, le nombre de virages effectués et la pression au sol du véhicule.

L'ouverture du milieu est causée par le creusage d'ornières, donc la modification de la micro-topographie. La colonisation du milieu variera selon le niveau d'eau l'année suivant une perturbation. Par exemple, si le niveau est haut, le site sera colonisé par des espèces submergées et si le niveau est bas, par des annuelles. Si le sol est ferme, la végétation est détruite au moment de la perturbation, mais s'il n'y a pas d'atteinte profonde du sol et des racines, la régénération se fera par les organes persistants des plantes vivaces, principalement des rhizomes dans le cas des plantes de marais peu profonds. La reprise est ainsi meilleure et le couvert plus fermé dès l'année suivant la perturbation. Par contre, sur les sites plus atteints, les modifications à la micro-topographie ne s'estompent pas en un an. La sédimentation, couplée au passage des glaces, aux forts vents et courants de l'automne et du printemps ne nivellent pas suffisamment le terrain, empêchant ainsi le milieu de se refermer à une telle échelle temporelle (un an). Le couvert végétal reste donc ouvert et la présence d'eau favorisera des espèces submergées, flottantes et de marais profond. Ces changements contribuent à la diversité du milieu en autant que ce sont des espèces indigènes qui colonisent les sites perturbés.

Même si la présence plus marquée de certaines espèces envahissantes au centre de la zone perturbée n'a pas été observée, elles sont tout de même présentes dans le tout le site, certaines en abondance. Il ne faut donc pas présumer que des perturbations répétées et sur de grandes superficies n'auraient pas d'effet sur la diversité végétale. Par exemple, des espèces comme *Butomus umbellatus* y sont bien implantées depuis un siècle, et *Lythrum salicaria* qui est plus abondante à l'ouest des terres du MDN pourrait profiter des perturbations répétées pour y accroître sa superficie. Le fait que le territoire ait été jusqu'à présent relativement protégé des perturbations en raison de l'interdiction d'accès liée à la sécurité des personnes et à la présence du refuge d'oiseaux migrateurs a probablement limité la propagation d'espèces comme *Lythrum salicaria*. Aucune espèce de plantes rares n'a été trouvée lors de ces travaux, ce qui s'explique par la stratégie d'échantillonnage qui n'était pas dirigée vers la recherche de ces espèces. Ces résultats ne signifient surtout pas qu'elles sont absentes du territoire, mais soulignent plutôt la grande importance de l'acquisition de telles données pour tout le secteur de la rive sud, particulièrement les marais et les herbiers aquatiques, comme le soulignaient Gratton *et al.* (1998).

Le suivi environnemental des impacts des travaux de nettoyage de la zone de tir sera particulièrement important afin d'évaluer la récupération des écosystèmes et la nécessité d'intervenir ou non dans le processus de colonisation naturelle. La vitesse de colonisation par la végétation devrait faire l'objet d'études suivant trois scénarios de perturbations, soit les chemins, les trous issus de détonations et les trous issus de perturbations naturelles, et ce, tant en zone submergée qu'en rive. Ces données sont essentielles pour évaluer le rythme de fermeture des zones perturbées et le changement en composition qui y a court ou non.

À la lumière des résultats de cette étude et sur la base de leur importance dans le milieu ou de leur sensibilité aux perturbations, les espèces indicatrices à retenir pour les marais peu profonds sont *Butomus umbellatus*, *Sparganium eurycarpum* et *Bolboschoenus fluviatilis*. Une augmentation marquée de *B. umbellatus* au détriment d'espèces indigènes communes comme *B. fluviatilis* et *S. eurycarpum*, cette dernière semblant plus sensible, indiquerait que des perturbations répétées affectent les communautés végétales.

Dans le cas des marais profonds, malgré l'absence de données récentes pour la majeure partie de ce type de marais situé dans la zone de concentration de munitions, on peut considérer que des espèces historiquement dominantes comme *Schoenoplectus lacustris* (anc. *Scirpus lacustris*) et *Schoenoplectus pungens* (anc. *Scirpus americanus*) constituent les espèces à surveiller. Leur décroissance et leur remplacement par d'autres espèces seraient symptomatiques d'impacts sur le milieu. Dans le cas des marais, le niveau de l'eau exerce une influence majeure sur les espèces qui s'y installent et doit être considéré lors de l'évaluation des effets de perturbations importantes.

En ce qui concerne les herbiers aquatiques, les données historiques et récentes indiquent que *Vallisneria americana* et *Myriophyllum spicatum* sont les principales espèces à suivre. *Vallisneria americana*, espèce dominante des herbiers, a déjà été suggérée comme espèce indicatrice de, par exemple, l'accumulation de contaminants (Catling *et al.*, 1994; Hudon, 1998; Saint-Cyr *et al.*, 1992) ou l'état de l'environnement (Potter et Lovett-Doust, 2001). Dans le cas présent, la diminution de l'abondance de cette espèce à grande valeur faunique serait indicative de probables effets négatifs des perturbations sur les herbiers. La progression éventuelle de *Myriophyllum spicatum*, au détriment des espèces indigènes comme *V. americana*, doit donc être suivie afin d'évaluer sa capacité à coloniser et à monopoliser les nouvelles ouvertures créées par

les activités d'enlèvement de munitions, ce qui pourra orienter les mesures d'atténuation à prendre pendant les travaux.

Toute modification à la composition spécifique du marais pourrait constituer un indice d'atteinte à l'intégrité de l'écosystème. Toutes les espèces végétales n'ont pas la même valeur en tant qu'habitat et nourriture pour la faune. Des changements dans la végétation, tant en termes de composition qu'en termes de recouvrement, pourraient nuire aux espèces fauniques associées à la présence de communautés végétales particulières à ce secteur du Saint-Laurent. La composition des communautés végétales des milieux humides est cependant naturellement très variable. Le principal changement observable et attribuable à des perturbations anthropiques répétées serait surtout l'augmentation de la couverture des espèces exotiques et envahissantes. Il faut donc impérativement suivre l'évolution des populations d'espèces envahissantes comme *M. spicatum*, *B. umbellatus*, *L. salicaria* et *P. arundinacea*.

6 Conclusions

Ce travail de synthèse des connaissances de la végétation du lac Saint-Pierre, de revue de littérature et d'acquisition de données nouvelles sur la végétation riparienne dans le champ de tir était essentiel en raison du manque de données spécifiques à cette zone. Les herbiers et les marais du lac Saint-Pierre au sud de la voie maritime couvrent d'immenses superficies, abritent une flore et une faune abondantes et diversifiées, mais leur composition et, surtout, leur dynamique modelée par les perturbations naturelles sont mal connues. Pour les raisons maintes fois énoncées, l'accès restreint au champ de tir a grandement limité l'acquisition des connaissances dans le passé, ce qui empêche de connaître l'évolution des populations végétales en général de même que celle des plantes envahissantes. Les récents travaux de suivi des milieux humides du Saint-Laurent, tant ceux portant sur l'effet des variations du niveau d'eau sur la végétation des milieux humides, que ceux visant la modélisation hydrodynamique en présence des macrophytes contribuent à améliorer les connaissances sur ces écosystèmes.

Les plantes présentes au lac Saint-Pierre sont soumises à des perturbations naturelles récurrentes et possèdent de nombreuses adaptations pour se régénérer après une perturbation, surtout si leurs structures souterraines ne sont pas détruites. Dans le cas contraire, la taille et la profondeur des ouvertures, de même que les espèces colonisatrices présentes et les sources de régénération, influencent la vitesse de la revégétalisation. De plus, les cratères et les ornières plus profondes risquent de créer des mares persistantes qui ne se nivellent ou ne se remplissent pas rapidement. Des herbiers à plantes à feuilles flottantes et submergées s'y développent alors. On observe donc une diversification du milieu, ce qui a priori peut augmenter l'hétérogénéité du paysage et la diversité en espèces, mais constitue aussi une voie d'introduction privilégiée pour les espèces envahissantes, surtout en période de bas niveaux d'eau. Les perturbations causant la destruction de la végétation figurent parmi les principales causes d'envahissement, surtout lorsqu'elles sont répétées dans le temps et l'espace.

Les travaux d'échantillonnage réalisés à l'été 2002 montrent que la circulation d'un véhicule amphibie chenillé dans un marais du territoire du CEEM a des impacts sur la végétation encore perceptibles un an après la fin des perturbations. Cette observation est particulièrement vraie sur les sols saturés d'eau, où le chemin est encore visible, en raison de la formation de

plusieurs chemins parallèles sur sols meubles pour éviter l'enlèvement. Les ornières plus profondes qui s'y sont creusées ne sont pas nivelées après un an, ce qui entraîne la colonisation par des espèces qui tolèrent une plus grande profondeur d'eau (plantes à feuilles flottantes, submergées). Les plantes envahissantes connues au lac Saint-Pierre se retrouvent tout au long du chemin (*Butomus umbellatus* y est l'espèce la plus fréquente), mais on ne peut pas conclure que la route ainsi créée a favorisé leur présence puisqu'on ne dispose pas de données antérieures à la perturbation.

À la lumière des connaissances acquises dans le cadre du présent rapport, les plantes émergentes indigènes seraient les plus affectées et les plus lentes à coloniser le milieu après l'action de perturbations affectant les sols en profondeurs. La fermeture des ouvertures pourrait prendre plusieurs années, selon la taille et la profondeur des cratères. Dans le cas des chemins d'accès, les impacts sont aussi fonction de l'intensité de l'atteinte des sols. En zone aquatique, les diverses espèces de macrophytes submergés peuvent tolérer une certaine variation du niveau de l'eau. Leur régénération après une perturbation dépend surtout des sources de propagules et de la présence de conditions environnementales favorables à leur germination.

Malgré l'acquisition de nouvelles données et la revue de littérature, on ne peut actuellement statuer sur un nombre maximal ou acceptable de détonations possibles sur une superficie donnée en raison des informations insuffisantes sur la vitesse de colonisation des espèces en place, mais, surtout, en raison du manque de données sur l'impact des détonations au lac Saint-Pierre (p. ex. la taille des cratères et la distance réelle d'impact des détonations de projectiles détruits *in situ* sur les organismes vivants). Ces valeurs sont fonction du type de munitions et de la charge nécessaire pour les détruire. Elles sont essentielles pour déterminer un nombre de cratères « acceptable » pour une portion donnée du champ de tir qui ne mettrait pas la régénération naturelle en péril.

Un suivi environnemental des impacts du projet d'enlèvement de munitions est essentiel pour évaluer les effets et agir en fonction des dommages réels et prévisibles, afin de recommander des mesures d'atténuation. Ces mesures sont habituellement proposées à l'étape de l'évaluation environnementale. Dans le cadre du suivi, il est important de tenir compte de l'influence du niveau de l'eau sur les communautés végétales et de suivre les grands changements de composition, particulièrement des espèces exotiques et envahissantes.

7 **Recommandations**

À la lumière des travaux présentés dans le présent rapport, les recommandations suivantes sont formulées.

Chemins :

- Les zones de plantes rares connues telles que les marécages des terres du MDN devraient être évitées. Près des installations du CEEM et sur toutes les terres du MDN, seuls les chemins existants doivent être utilisés.
- Le choix des modes de transport doit faire l'objet d'une évaluation en fonction des besoins (équipement et personnel à transporter) et des effets sur l'environnement. Le choix des véhicules (à roues, à chenilles, hydroglisseur) doit également tenir compte de leur pression au sol : les plus légers devraient être favorisés. Lorsque c'est possible, en faire le plus possible à pied. Dans l'eau, un hydroglisseur ou une barge avec équipement peut être utilisé. Dans l'eau très peu profonde, un véhicule amphibie comme le BV peut être assez dommageable, puisqu'il creuse des ornières.
- S'il n'y a pas d'alternative à la circulation en milieux humides, le passage des véhicules devrait surtout se faire sur sols fermes de préférence aux sols meubles, saturés d'eau, plus fragiles.
- Le nombre de passages autorisés en fonction du type de sol doit être défini afin de minimiser les impacts et de favoriser la reprise végétale. Un seul aller retour devrait être autorisé pour chaque nouveau trajet sur sol saturé d'eau avec un véhicule amphibie, afin d'éviter la formation d'ornières et de favoriser une régénération plus rapide.

Explosions subaquatiques

- En raison des dispositions des diverses lois, règlements et politiques qui protègent les habitats ou les espèces (p. ex. *Loi sur les pêches*, *Loi sur la Convention concernant les oiseaux migrateurs*, *Règlement sur les oiseaux migrateurs*) et de la présence réelle et potentielle d'espèces végétales rares, il est difficile d'envisager l'utilisation d'explosifs dans les milieux aquatiques et humides sans inévitablement porter atteinte à des espèces menacées ou vulnérables ou dont le statut est préoccupant.

- La saison de reproduction des poissons et des oiseaux doit être évitée.
- Les travaux doivent être conçus dans le but de minimiser les impacts sur l'environnement, de concert avec les organismes gouvernementaux responsables.
- L'utilisation d'une barrière de bulles d'air (« bubble curtain ») ou de toute autre technique ou structure pour atténuer les impacts des explosions subaquatiques sur les organismes vivants est recommandée. Les besoins doivent être évalués en fonction des charges utilisées et des zones visées (connaissance de la répartition saisonnière des poissons).
- Avant une détonation, l'utilisation d'une technique d'éloignement de la faune au sein des herbiers est requise.
- Les effets potentiels de la fragmentation des plantes submergées par les explosions, mais aussi par la perturbation du milieu durant la recherche des projectiles (embarcations, plongeurs, équipement) doivent être minimisés, particulièrement dans les zones de *Myriophyllum spicatum*. L'installation d'un filet pour récupérer le maximum de fragments flottants est recommandée.
- Le ratissage devrait être effectué par secteurs (bandes, etc.) pour laisser des zones de végétation intacte pour la régénération.
- Dans le cadre du suivi, il faudrait évaluer la pertinence de niveler les dépressions et les bourrelets de sédiments des cratères. Pour les ornières, comme elles résultent du compactage, cela semble plus difficile, mais la faisabilité devrait être évaluée.

Régénération naturelle

- La régénération naturelle doit être privilégiée.
- Cependant, advenant la répétition d'années de bas niveau d'eau et l'observation de la colonisation préférentielle par des espèces indésirables, la plantation pourrait être envisagée sur sol dénudé exondé, pour éviter l'érosion ou l'envahissement. Selon l'espèce plantée, sa survie subséquente pourrait aussi dépendre du niveau de l'eau l'année suivante.
- Considérant l'ampleur des efforts et des coûts habituellement liés aux projets de restauration ou de construction de milieux humides, il faut plutôt penser à conserver ces milieux exceptionnels en limitant le plus possible les impacts lors des travaux nécessaires, plutôt que d'avoir à restaurer d'immenses superficies par la suite.

Suivi environnemental :

- L'importance d'effectuer le suivi environnemental du projet d'enlèvement de munition est primordiale. Considérant le manque de données sur ce secteur, il faut suivre les espèces qui vont coloniser les nouvelles ouvertures (cratères et chemins) et leur vitesse de colonisation, en fonction du milieu touché (marais ou herbier).
- Des études comparant la vitesse de colonisation des plantes dans trois types d'ouvertures (chemins, cratères et ouvertures naturelles) devront être élaborées et mises en œuvre dès les premiers travaux.
- Les espèces indicatrices suivantes sont recommandées pour le suivi environnemental (voir chapitre 5) :
 - Submergées : *Vallisneria americana*, *Myriophyllum spicatum*
 - Émergentes : *Schoenoplectus lacustris*, *Bolboschoenus fluviatilis*, *Butomus umbellatus*.
 - Espèces exotiques et envahissantes : en plus de *Myriophyllum spicatum* et *Butomus umbellatus*, *Lythrum. salicaria* et *Phalaris arundinacea*.
- Afin de conserver un témoin des perturbations et suivre l'évolution des ouvertures dans le couvert végétal, l'acquisition d'images satellitaires Ikonos du secteur (en collaboration avec le CSL pour profiter de leurs acquisitions de connaissances dans le cadre du suivi des milieux humides du Saint-Laurent), ou de tout autre type approprié d'images ou de photos, est recommandé.

Références

- Aiken, S.G., P.R. Newroth et I. Wile. 1979. « The biology of Canadian weeds. 34. *Myriophyllum spicatum* L. ». *Canadian Journal of Plant Science* 59 : 201-215.
- Aménatech inc. 1991. *Cartographie des milieux humides du Saint-Laurent avec le capteur MEIS-II, secteurs choisis entre Cornwall et Trois-Rivières*. Rapport final présenté au Centre Saint-Laurent.
- Aménatech inc. 1992. *Cartographie des marais, marécages et herbiers de Cornwall à Trois-Rivières pour 1 km de rive avec le capteur MEIS-II*. Rapport final présenté au Centre Saint-Laurent.
- Amyot, J.-P. 2002. *Communication personnelle*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent.
- Argus, Les consultants en environnement inc. 1996. *Restauration naturelle des rives du Saint-Laurent ... entre Cornwall et l'île d'Orléans... : Guide d'interventions*. Et *Document cartographique : Tronçon 2 : de Boucherville à Nicolet (rive sud); de Repentigny à Pointe-du-Lac (rive nord)*. Environnement Canada. 150 p.
- Bass, A. 1996. *Marsh buggy and airboat use in marsh habitats. Phase I*. Open-file series report n° 96-03. Louisiana Geological Survey, Baton Rouge, La. 48 p. + annexes.
- Bass, A. 1997. *Marsh buggy and airboat use in marsh habitats. Phase II : Surface impacts associated with three-dimensional seismic surveys on coastal marshes of the Louisiana Chenier Plain*. Open-file report n° 97-02. Louisiana Geological Survey, Louisiana State University, Baton Rouge, La. 50 p. + annexes.
- Barrat-Segretain, M.H. 1996. « Strategies of reproduction, dispersion, and competition in river plants: A review ». *Vegetatio* 123 : 13-37.
- Benoît, J., R. Bergeron, J.-C. Bourgeois, S. Desjardins et J. Picard. 1987. *Les habitats et la faune de la région du lac Saint-Pierre : synthèse des connaissances*. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Directions régionales de Montréal et de Trois-Rivières, 123 p.
- Benoît, J., J.-C. Bourgeois, S. Desjardins et J. Picard. 1988. *Plan de conservation et de mise en valeur des habitats et de la faune du lac Saint-Pierre*. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Directions régionales de Montréal et de Trois-Rivières, 116 p. et cartes.
- Bélangier, L. et J. Bédard. 1994. « The role of ice scouring and goose grubbing in marsh plant dynamics ». *Journal of Ecology* 82 (3) : 437-445.
- Bernard, M. 1976. « Les problèmes de glace du Saint-Laurent ». *L'Ingénieur*, n° 312 (mars-avril) : 28-33.

- Blionis, G.J. et S.J. Woodin. 1999. « Vehicle track damage to salt marsh soil and vegetation at Culbin Sands, NE Scotland ». *Botanical Journal of Scotland* 51 (2) : 205-220.
- Boudreau, P., M. Leclerc et G. Fortin. 1994. « Modélisation hydrodynamique du lac Saint-Pierre, fleuve Saint-Laurent : Influence de la végétation aquatique ». *Canadian Journal of Civil Engineering* 21 : 471-489.
- Braunack, M.V. et B.G. Williams. 1993. « The effect of initial soil water content and vegetative cover on surface soil disturbance by tracked vehicles ». *Journal of Terramechanics* 30 : 299-311.
- Brookes, A. 1987. « Recovery and adjustment of aquatic vegetation within channelization works in England and Wales ». *Journal of Environmental Management* 24 : 365-382.
- Brown, S.C. 1998. « Remnant seed banks and vegetation as predictors of restored marsh vegetation ». *Canadian Journal of Botany* 76 : 620-629.
- Burton, J. 1991. Le lac Saint-Pierre (Zone d'intérêt prioritaire no 11). Document d'intégration. Environnement Canada, Conservation et Protection, Centre Saint-Laurent. 98 p.
- Buteau, P., N. Dignard et P. Grondin. 1994. *Système de classification des milieux humides du Québec*. MB 94-01. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, secteur des mines, Québec. 25 p.
- Catling, P.M., K.W. Spicer, M. Biernacki et J. Lovett-Doust. 1994. « The biology of Canadian weeds. 103. *Vallisneria americana* ». *Canadian Journal of Plant Science* 74 (4) : 883-897.
- Charpentier, A., F. Mesléard et J.D. Thompson. 1998. « The effects of rhizome severing on the clonal growth and clonal architecture of *Scirpus maritimus* ». *Oikos* 83 (1) : 107-116.
- Clevering, O. 1995. « Germination and seedling emergence of *Scirpus Lacustris* L. and *Scirpus maritimus* L. with special reference to the restoration of wetlands ». *Aquatic Botany* 50 (1) : 63-78.
- Clevering, O. et W.M.G. van Gulik. 1997. « Restoration of *Scirpus Lacustris* and *Scirpus maritimus* stands in a former tidal area ». *Aquatic Botany* 55 (4) : 229-246.
- Combroux, I., G. Bornette, N.J. Willby et C. Amoros. 2001. « Regenerative strategies of aquatic plants in disturbed habitats: the role of the propagule bank ». *Arch. Hydrobiol.* 152 (2) : 215-235.
- Combroux, I.C.S., G. Bornette et C. Amoros. 2002. « Plant regenerative strategies after a major disturbance: the case of a riverine wetland restoration ». *Wetlands* 22 (2) : 234-246.
- Couillard, L. et P. Grondin. 1986. *La végétation des milieux humides du Québec*. Les publications du Québec. 400 p.

- Crow, G.E. et C.B. Hellquist. 2000a. *Aquatic and Wetland Plants of Northeastern North America: A Revised and Enlarged Edition of Norman C. Fassett's "A Manual of Aquatic Plants". Volume 1: Pteridophytes, Gymnosperms, and Angiosperms: Dicotyledons*. The University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin. 480 p.
- Crow, G.E. et C.B. Hellquist. 2000b. *Aquatic and Wetland Plants of Northeastern North America: A Revised and Enlarged Edition of Norman C. Fassett's "A Manual of Aquatic Plants". Volume 2: Angiosperms: Monocotyledons*. The University of Wisconsin Press, Madison, Wisconsin. 400 p.
- Cusson, B. 2002. *Communication personnelle*. Environnement Canada – Région du Québec, Protection de l'environnement, Interventions et restauration.
- Cusson, B. et A. Latreille. 2003. *Étude environnementale portant sur la qualité des sédiments de la portion sud du lac Saint-Pierre utilisée par le Centre d'Essais et d'Expérimentation en Munitions (CEEM) de Nicolet*. Environnement Canada – Région du Québec, Protection de l'environnement, Interventions et restauration.
- Dansereau, P. 1945. « Essai de corrélation sociologique entre les plantes supérieures et les poissons de la beine du lac Saint-Louis ». *Revue canadienne de biologie* 4 : 369-417.
- Detenbeck, N.E., S.M. Galatowitsch, J. Atkinson et H. Ball. 1999. « Evaluating perturbations and developing restoration strategies for inland wetlands in the Great Lakes Basin ». *Wetlands* 19 (4) : 789-820.
- Dionne, J.-C. 1969. « Tidal flat erosion by ice at La Pocatière, St. Lawrence Estuary ». *Journal of Sedimentary Petrology* 39: 1174-1181.
- Dionne, J.-C. 1970. *Aspects morpho-sédimentologiques du glacier, en particulier des côtes du Saint-Laurent*. Thèse de doctorat, Université de Paris. Laboratoire de recherches forestières. Service canadien des forêts, Ste-Foy. 324 p.
- Dionne, J.-C. 1984. « An estimate of ice-drifted sediments based on the mud content of the ice cover at Montmagny, middle St. Lawrence estuary. » *Mar. Geol.* 57 : 149-166.
- Dryade. 1980. *Habitats propices aux oiseaux migrateurs le long des rives de la rivière Richelieu, de la rivière des Outaouais, du fleuve Saint-Laurent, de l'estuaire du Saint-Laurent, de la Côte-Nord du golfe du Saint-Laurent, de la péninsule gaspésienne et des Îles de la Madeleine, Québec*. Rapport préparé pour le Service canadien de la faune, Environnement Canada, Québec. 68 p.
- Dumont, S. 2002. *Communication personnelle*. Garde côtière canadienne (GCC).
- Eichler, L.W., R.T. Bombard, J.W. Sutherland et C.W. Boylen. 1993. « Suction harvesting of Eurasian watermilfoil and its effect on surrounding native plant communities ». *Journal of Aquatic Plant Management* 31 : 144-148.

- Eichler, L.W., R.T. Bombard, J.W. Sutherland et C.W. Boylen. 1995. « Recolonization of the littoral zone by macrophytes following the removal of benthic barrier material ». *Journal of Aquatic Plant Management* 33 : 51-54.
- Faubert, J. 2000. « Les Potamogetonaceae du Québec méridional: identification et répartition ». *Canadian Field-Naturalist* 114 (3) : 359-380.
- Fleurbec, 1987. *Plantes sauvages des lacs, rivières et tourbières*. Groupe Fleurbec, Guide d'identification Fleurbec. Québec, 399 p.
- Fleuve, Bulletin Le. 2001. « La réserve de la biosphère du Lac-Saint-Pierre, un territoire pour expérimenter et démontrer le concept du développement durable ». *Le Fleuve, Bulletin d'information Saint-Laurent Vision 2000* 12 (5), 4 p.
- Fortin, G., L. Saint-Cyr et M. Leclerc. 1993. « Distribution of submerged macrophytes by echosounder tracings in Lake Saint-Pierre, Quebec ». *Journal of Aquatic Plant Management* 31 : 232-240.
- Frenette, M., C. Barbeau et J.-L. Verrette. 1989. *Aspects quantitatifs, dynamiques et qualitatifs des sédiments du Saint-Laurent*. Hydrotech inc. 185 p.
- Galatowitsch, S.M., N.O. Anderson et P.D. Ascher. 1999. « Invasiveness in wetland plants in temperate North America ». *Wetlands* 19 (4) : 733-755.
- Galatowitsch, S.M. et A.G. van der Valk. 1996. « The vegetation of restored and natural prairie wetlands ». *Ecological Monographs* 6 (1) : 102-112.
- Gauthier, B. 1997. *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables. Notes explicatives sur la ligne naturelle des hautes eaux*. Gouvernement du Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la conservation et du patrimoine écologique, Québec. 32 p.
- Gauthier, B. et M. Goudreau. 1983. « Mares glacielles et non glacielles dans le marais salé de l'Isle-Verte, estuaire du Saint-Laurent, Québec ». *Géographie physique et Quaternaire* 37 (1) : 49-66.
- Giroux, J.-F. et J. Bédard. 1988. « Above- and below-ground macrophyte production in *Scirpus* tidal marshes of the St. Lawrence estuary, Quebec ». *Canadian Journal of Botany* 66 : 955-962.
- Gingras, D. 1997. *Capsules-éclair sur l'état du Saint-Laurent : Le fleuve... en bref*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. 100 p.

- Grace, J.B. et J.S. Harrison. 1986. « The biology of canadian weeds. 73. *Typha latifolia* L., *Typha angustifolia* L. and *Typha xglauca* Godr. ». *Canadian Journal of Plant Science* 66 : 361-379.
- Gratton, L. 1983. *Classification des terres humides de la rive sud du lac Saint-Pierre, secteur Baie-du-Febvre*. Déry, Rocray et associés pour le ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche. Rapport technique. 26 p. et cartes 1 : 10 000.
- Gratton, L. et C. Dubreuil. 1990. *Portrait de la végétation et de la flore du Saint-Laurent*. Direction de la conservation et du patrimoine écologique, ministère de l'Environnement, Québec 56 p.
- Gratton, L., J. Labrecque et D. Bérubé. 1998. *Étude écologique des terres du ministère de la Défense nationale à Nicolet*. Gouvernement du Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la conservation et du patrimoine écologique, Québec. 32 p.
- Haber, E. 1997. *Guide to Monitoring Exotic and Invasive Plants*. Prepared for: Ecological Monitoring and Assessment Network (EMAN), Environment Canada. Site Web : <http://eqb-dqe.cciw.ca/eman/ecotools/protocols/terrestrial/exotics/intro.html>
- Hannaford, M.J. et V.H. Resh. 1999. « Impact of all-terrain vehicles (ATVs) on pickleweed (*Salicornia virginica* L.) in a San Francisco Bay wetland ». *Wetlands Ecology and Management* 7 : 225-233.
- Hardy, B., L. Champoux, H. Sloterdijk et J. Bureau. 1991. *Caractérisation des sédiments de fond du lac Saint-Pierre, fleuve Saint-Laurent*. Environnement Canada, Conservation et Protection, Centre Saint-Laurent. 74 p.
- Harvey, B.-P. et J. Brunelle. 1996. *Suivi des travaux d'aménagement de mares à la tourbière de L'Isle Verte en 1994-1995*. Rapport présenté au Service canadien de la faune, au Centre Saint-Laurent, à la Société d'énergie de la Baie James et au ministère des Transports du Québec. Les consultants en environnement Argus inc. Québec.
- Henry, C.P., C. Amoros et G. Bornette. 1996. « Species traits and recolonization processes after flood disturbances in riverine macrophytes ». *Vegetatio* 122 : 13-27.
- Henry, C.P. et C. Amoros. 1996. « Are the banks a source of recolonization after disturbance: an experiment on aquatic vegetation in a former channel of the Rhône River ». *Hydrobiologia* 330 : 151-162.
- Hirst, R.A., R.F. Pywell, P.D. Putwain et R.H. Marrs. 2000. « Ecological impacts of military vehicles on chalk grassland ». *Vegetation Management in Changing Landscapes, Aspects of Applied Biology* 58 : 293-298.
- Hudon, C. 1997. « Impact of water level fluctuations on St. Lawrence River aquatic vegetation ». *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54 : 2853-2865.

- Hudon, C. 1998. « Metal accumulation in american wild celery (*Vallisneria americana* Michx.) in the St. Lawrence River: effects of water depth and exposure to current ». *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55 (10) : 2317-2328.
- Hudon, C. et J.-P. Amyot. 2002a. *Zonation verticale des plantes aquatiques en fonction des variations de niveau du Saint-Laurent*. Environnement Canada – région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent, Rapport scientifique et technique, 101 p.
- Hudon, C. et J.-P. Amyot. 2002b. *Communication personnelle*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent.
- Jacques, D. 1986. *Cartographie des terres humides et des milieux environnants du lac Saint-Pierre*. Corporation pour la mise en valeur du lac Saint-Pierre et ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Trois-Rivières, 70 p. et cartes.
- Jacques, D. et C. Hamel. 1982. *Système de classification des terres humides du Québec*. Laboratoire d'étude des macrophytes aquatiques, Université du Québec à Montréal, pour la Direction générale de la faune, ministère du Loisir de la Chasse et de la Pêche, Québec. 131 p.
- Jean, M. 2002. *Communication personnelle*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent.
- Jean, M. et G. Létourneau. 2002. *Communication personnelle*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent.
- Karofeld, E. 1999. « Effects of bombing and regeneration of plant cover in Kõnnu-Suursoo raised bog, North Estonia ». *Wetlands Ecology and Management* 6 : 253-259.
- Keddy, P.A. et A.A. Reznicek. 1986. « Great Lakes vegetation dynamics: The role of fluctuating water levels and buried seeds ». *Journal of Great Lakes Research* 12 (1) : 25-36.
- Keevin, T.M. 1998. « A review of natural resource agency recommendations for mitigating the impacts of underwater blasting ». *Reviews in Fisheries Science* 6 (4) : 281-313.
- Keevin, T.M. et G.L. Hempen. 1997. *The environmental effects of underwater explosions with methods to mitigate impacts*. U.S. Army Corps of Engineers, St. Louis District, St. Louis, Mo. 145 p.
- Kellogg, C.H. et S.D. Bridgham, 2002. « Colonization during early succession of restored freshwater marshes ». *Canadian Journal of Botany* 80 : 176-185.
- Knapton, R.W. et S.A. Petrie. 1999. « Changes in distribution and abundance of submerged macrophytes in the Inner Bay at Long Point, Lake Erie: Implications for foraging waterfowl ». *Journal of Great Lakes Research* 25 : 783-798.

- Korschgen, C.E., W.L. Green et K.P. Kenow. 1997. « Effects of irradiance on growth and winter bud production by *Vallisneria americana* and consequences to its abundance and distribution ». *Aquatic Botany* 58 (1) : 1-9.
- Kotanen, P.M. 1997. « Effets of experimental soil disturbance on revegetation by natives and exotics in coastal Californian meadows ». *Journal of Applied Ecology* 34 : 631-644.
- Labrecque, J. et G. Jolicoeur. 2002. *Communication personnelle*. Centre de données sur le patrimoine naturel du Québec, Gouvernement du Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction du patrimoine écologique et du développement durable, Québec.
- Labrecque, J. et G. Lavoie. 2002. *Les plantes vasculaires menacées ou vulnérables du Québec*. Gouvernement du Québec, ministère de l'Environnement, Direction du patrimoine écologique et du développement durable, Québec. 200 p.
- Lalonde, S. et G. Létourneau. 1996. *Sensibilité de la télédétection spatiale pour le suivi des milieux humides*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. Rapport scientifique et technique ST-60. 102 p.
- Langlois, C., L. Lapierre, M. Léveillé, P. Turgeon et C. Ménard. 1992. *Synthèse des connaissances sur les communautés biologiques du lac Saint-Pierre*. Environnement Canada, Conservation et protection, Centre Saint-Laurent. Rapport technique, zone d'intérêt prioritaire n° 11. 236 p.
- Lavoie, A., F. Boivin, B.G. Béné et J.M. Dubois. 1991. *Cartographie quantitative des macrophytes du lac Saint-Pierre avec le capteur MEIS-II*. CARTEL, Université de Sherbrooke, rapport 91-R-19 pour le Centre Saint-Laurent, Conservation et Protection, Environnement Canada, 41 p.
- Lavoie, C., M. Jean, F. Delisle et G. Létourneau. 2003. « Exotic plant species of St. Lawrence River wetlands : a spatial and historical analysis ». Soumis à *Journal of Biogeography*.
- Lavoie, G. 1992. *Plantes vasculaires susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables au Québec*. Gouvernement du Québec, ministère de l'Environnement, Direction de la conservation et du patrimoine écologique, Québec. 180 p.
- Leblanc, M. 2002. *Communication personnelle*. CEEM, Nicolet.
- Lessard, L. 2002. *Communication personnelle*. SNC TEC, Nicolet.
- Létourneau, G. 2002. *Communication personnelle*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent.
- Létourneau, G. et M. Jean. 1996. *Cartographie des marais, marécages et herbiers aquatiques le long du Saint-Laurent par télédétection aéroportée*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. Rapport scientifique et technique ST-61. 101 p.

- Lewis, J.A. 1996. *Effects of underwater explosions on life in the sea*. Defence Science and Technology Organisation, Australia Department of Defence. Ship Structure and Materials Division, Aeronautical and Maritime Research Laboratory. 38 p.
- Ludwig, M. 1977. « Environmental assessment of the use of explosives for selective removal of eelgrass (*Zostera marina*) ». Pp. 63-68 dans S.A. Young, éd. *Proceedings of the Second Conference on the environmental effects explosives and explosions*. Naval Surface Weapons Center. NSWCEOL YT 77-36.
- Lundholm, J.T. et W. Len Simser. 1999. « Regeneration of submerged macrophyte populations in a disturbed Lake Ontario coastal marsh ». *Journal of Great Lakes Research* 25 (2) : 395-400.
- Mal, T.K., J. Lovett-Doust, L. Lovett-Doust et G.A. Mulligan. 1992. « The biology of Canadian weeds. 100. *Lythrum salicaria* ». *Canadian Journal of Plant Science* 72 : 1305-1330.
- Marie-Victorin, Fr. 1934. « Le fleuve Saint-Laurent, milieu biologique pour les plantes vasculaires ». *Transactions of the Royal Society of Canada Section V, Series III, volume 28* : 1-17.
- Marie-Victorin, Fr. 1943. « Observations botaniques sur les effets d'une exceptionnelle baisse de niveau du Saint-Laurent durant l'été de 1931 ». *Contributions de l'Institut Botanique de l'Université de Montréal* 48 : 21-28.
- Marie-Victorin, Fr. 1995. *Flore laurentienne*. 3^e édition mise à jour et annotée par Luc Brouillet et Isabelle Goulet. Presses de l'Université de Montréal, Montréal. 1083 p.
- Martin, C.O. et L.E. Marcy. 1989. *Artificial potholes--blasting techniques*: Section 5.5.4., *US Army Corps of Engineers Wildlife Resources Management Manual*. Technical report EL-89-14, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss. 45 p.
- Mauchamp, A., S. Blanch et P. Grillas. 2001. « Effects of submergence on the growth of *Phragmites australis* seedlings ». *Aquatic Botany* 69 (2-4): 147-164.
- Meehan, A.J. et R.J. West. 2000. « Recovery times for a damaged *Posidonia australis* bed in south eastern Australia ». *Aquatic Botany* 67: 161-167.
- Meinesz, A. et J.R. Lefèvre. 1984. « Régénération d'un herbier de *Posidonia oceanica* 40 années après sa destruction par une bombe dans la rade de Villefranche (Alpes Maritimes, France) ». Pp. 39-44 dans C.F. Boudouresque, A. Jeudy de Grissac et J. Olivier (éd.). *International Workshop on Posidonia oceanica beds*. GIS Posidonie Publ. Marseille.
- Milchunas, D.G., K.A. Schulz et R.B. Shaw. 1999. « Plant community responses to disturbance by mechanized military maneuvers ». *Journal of Environmental Quality* 28 : 1533-1547.

- Moore, K.A. et R.J. Orth. 1997. *Evidence of widespread destruction of submersed aquatic vegetation (SAV) from clam dredging in Chincoteague Bay, Virginia*. Report to the Virginia Marine Resources Commission. 3 p.
- Morin, J. 2002. *Communication personnelle*. Environnement Canada – Région du Québec, Service météorologique du Canada, Hydrologie, Sainte-Foy.
- Morin, J. et A. Bouchard. 2001. *Les bases de la modélisation du tronçon Montréal/Trois-Rivière*. Rapport scientifique SMC-Hydrométrie RS-100. Environnement Canada, Sainte-Foy, 56 p.
- Morrison, J.A. 2002. « Wetland vegetation before and after experimental purple loosestrife removal ». *Wetlands* 22 (1) : 159-169.
- Newmaster, S.G., A.G. Harris et L.J. Kershaw. 1997. *Wetland Plants of Ontario*. Lone Pine Publishing, Edmonton, Alberta. 240 p.
- Nichols, S.A. 1991. « The interaction between biology and the management of aquatic macrophytes ». *Aquatic Botany* 41 : 225-252.
- Nichols, S.A. et B.H. Shaw. 1986. « Ecological life histories of the three aquatic nuisance plants, *Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton crispus* and *Elodea canadensis* ». *Hydrobiologia* 131 : 3-21.
- Nichols, S.J., D.W. Schloesser et P.L. Hudson. 1989. « Submersed macrophyte communities before and after an episodic ice jam in the St. Clair and Detroit rivers ». *Canadian Journal of Botany* 67 : 2364-2370.
- Nilsson, C., G. Grelsson, M. Johansson et U. Sperens. 1989. « Patterns of plant species richness along riverbanks ». *Ecology* 70 (1) : 77-84.
- Orth, R.J., K.A. Moore, D.J. Wilcox et J.R. Fishman. 1998. *Chincoteague Bay, Virginia : Effectiveness of the SAV sanctuary and revegetation of SAV habitat disturbed by clam dredging*. Report to the Virginia Marine Resources Commission. 6 p.
- Picard, M., D. Lehoux, R. Langevin et C. Grenier. 1997. *État des rives et protection des milieux humides du fleuve Saint-Laurent : synthèse des connaissances actuelles*. Service canadien de la faune, Environnement Canada. 68 p.
- Pilon, C., J. Champagne et P. Chevalier. 1981. *Environnement biophysique des îles de Berthier-Sorel*. CREM, Université de Montréal. 203 p.
- Polasek, L.G. 1997. *Assessment of wetland habitat alterations resulting from construction of a pipeline through coastal marshes in Orange County, Texas*. Texas Parks and Wildlife Department, submitted to TI Energy Services, inc. Austin, Tex. 40 p.

- Potter, K. et L. Lovett-Doust. 2001. « Biomonitoring site quality in stressed aquatic ecosystems using *Vallisneria Americana* ». *Ecological Applications* 11(1) : 215-225.
- Rollon, R.N., E.D. de Ruyter Van Steveninck, W. Van Vierssen et M.D. Fortes. 1998. « Contrasting recolonization strategies in multi-species seagrass meadows ». *Marine Pollution Bulletin* 37 (8-12) : 450-459.
- Sabbatini, M.R. et K.J. Murphy. 1996. « Response of *Callitriche* and *Potamogeton* to cutting, dredging and shade in English drainage channels ». *Journal of Aquatic Plant Management* 34 : 8-12.
- Saint-Cyr, L., P.G.C. Campbell et K. Guertin. 1992. *Évaluation de la biomasse et du contenu en métaux traces des plantes aquatiques submergées du lac Saint-Pierre, fleuve Saint-Laurent*. Rapport scientifique (INRS-Eau), n° 356. INRS-Eau, Sainte-Foy, 230 p.
- Scrimgeour, G.J., T.D. Prowse, J.M. Culp et P.A. Chambers. 1994. « Ecological effects of river ice break-up : a review and perspective ». *Freshwater Biology* 32 : 261-275.
- Sérodes, J.-B. et J.-P. Troude. 1984. « Sedimentation cycle of a freshwater tidal flat in the St. Lawrence estuary ». *Estuaries* 7 : 119-127
- Service canadien de la faune (SCF). 2002. *Refuges d'oiseaux migrants (ROM)*. Site Internet : <http://lavoieverte.qc.ec.gc.ca/faune/faune/html/rom.html>
- Service canadien de la faune (SCF) et Saint-Laurent Vision 2000 (SLV2000). 2002. *Les rives du Saint Laurent entre Cornwall et Montmagny. Caractéristiques écologiques, problématique d'érosion et stratégies d'intervention*. Site Internet : http://slv2000.qc.ca/plan_action/phase3/navigation/cornwall_montmagny/rives_accueil_f.htm.
- Shafroth, P.B., J.M. Friedman, G.T. Auble, M.L. Scott et J.H. Braatne. 2002. « Potential responses of riparian vegetation to dam removal ». *BioScience* 52 (8) : 703-712.
- Shiple, B., P.A. Keddy, D.R.J. Moore et K. Lemky. 1989. « Regeneration and establishment strategies of emergent macrophytes ». *Journal of Ecology* 77 : 1093-1110.
- Shiple, B., P.A. Keddy, C. Gaudet, D.R.J. Moore. 1991. « A model of species density in shoreline vegetation ». *Ecology* 72 (5) : 1658-1667.
- Shumway, S.W. et M.D. Bertness. 1994. « Patch size effects on marsh plant secondary succession mechanisms ». *Ecology* 75 (2) : 564-568.
- Smart, R.M. et G.O. Dick. 1999. *Propagation and establishment of aquatic plants: a handbook for ecosystem restoration projects*. Technical Report A-99-4. US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, VA. 37 p.

- Smith, M. 1996. *Effects of underwater explosions on aquatic vegetation, submerged and emergent*. Report submitted to the U.S. Army Corps of Engineers, project DACW43-96-O-1584. Southern Illinois University, Edwardsville, Ill.
- Spicer, K.W. et P.M. Catling. 1988. « The biology of Canadian weeds. 88. *Elodea canadensis* Michx. ». *Canadian Journal of Plant Science* 68 : 1035-1051.
- Sylvestre, A., L. Champoux et D. Leclair. 1992. *Synthèse des connaissances sur les aspects physiques et chimiques de l'eau et des sédiments du lac Saint-Pierre*. Environnement Canada, Conservation et protection, Centre Saint-Laurent. Rapport technique, zone d'intérêt prioritaire n° 11. 101 p.
- Tabberer, D.K., W. Hagg, M. Coquat et C.L. Cordes. 1985. *Pipeline impacts on wetlands: final environmental assessment*. U.S. Department of the Interior, Minerals Management Service. OCS EIS/EA 85-0092. Metairie, LA. 41 p.
- Tessier, C. 1979. *Analyse écologique de la végétation et des populations larvaires de moustiques (Diptera Culicidae) dans les zones riveraines de l'archipel des Cent-Iles (Québec)*. Thèse de doctorat, Université scientifique et médicale de Grenoble, 102 p.
- Tessier, C. et P. Caron. 1981. *Cartographie écologique de la végétation de la rive nord du lac Saint-Pierre*. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Trois-Rivières. 24 p.
- Tessier, C., A. Maire et A. Aubin. 1981. « Étude de la végétation des zones riveraines de l'archipel des Cent-îles du fleuve Saint-Laurent, Québec ». *Canadian Journal of Botany* 59 : 1526-1536.
- Tessier, C., A. Aubin et D. Chenevriér. 1984. « Les facteurs élévation et distance dans la structure et la productivité d'une communauté riveraine de macrophytes ». *Canadian Journal of Botany* 62 : 2260-2266.
- Titus, J.E. et D.T. Hoover. 1991. « Toward predicting reproductive success in submersed freshwater angiosperms ». *Aquatic Botany* 41 : 111-136.
- USDA, NRCS. 2002. *The PLANTS Database, Version 3.5* (<http://plants.usda.gov>). National Plant Data Center, Baton Rouge, LA 70874-4490 USA.
- Warwick, T. 1949. « The colonization of bomb-carter ponds at Marlow, Buckinghamshire ». *Journal of Animal Ecology* 18 (2) : 137-141.
- White, D.J., E. Haber et C. Keddy. 1993. *Plantes envahissantes des habitats naturels du Canada*. Environnement Canada, Service canadien de la faune et Musée canadien de la nature. Ottawa. 136 p.

ANNEXES

Annexe 1 Liste des noms latins, français et anglais de plantes cités dans le rapport (tirés de Fleurbec, 1987; Marie-Victorin, 1995; Gratton *et al.*, 1998; Faubert, 2000; USDA, NRCS, 2002).

Espèce	Nom français	Nom anglais
Plantes émergentes		
Marécages		
<i>Acer rubrum</i>	Érable rouge	Red maple
<i>Acer saccharinum</i>	Érable argenté	Silver maple
<i>Alnus rugosa</i>	Aulne rugueux	Rough alder
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Frêne de Pennsylvanie	Green ash
<i>Ilex verticillata</i>	Houx verticillé	Common winterberry
<i>Laportea canadensis</i>	Laportée du Canada	Canadian woodnettle
<i>Myrica gale</i>	Myrique baumier	Sweetgale
<i>Onoclea sensibilis</i>	Onoclée sensible	Sensitive fern
<i>Populus deltoides</i>	Peuplier	Eastern cottonwood
<i>Salix eriocephala</i>	Saule rigide	Missouri River willow
<i>Salix petiolaris</i>	Saule pétiolé	Meadow willow
<i>Salix nigra</i>	Saule noir	Black willow
<i>Spiraea latifolia</i>	Spirée à feuilles larges	Broad-leaved meadowsweet
<i>Ulmus americana</i>	Orme d'Amérique	American elm
Prairie humide		
<i>Barbarea vulgaris</i>	Barbarée vulgaire	Winter cress
<i>Calamagrostis canadensis</i>	Calamagrostis du Canada	Blue joint
<i>Galium palustre</i>	Gaillet palustre	Marsh bedstraw
<i>Lycopus americanus</i>	Lycophe d'Amérique	American water horehound
<i>Lycopus uniflorus</i>	Lycophe à une fleur	Tuberous water horehound
<i>Lysimachia terrestris</i>	Lysimaque terrestre	Earth loosestrife
<i>Lysimachia thyrsoflora</i>	Lysimaque thyrsofloré	Tufted loosestrife
<i>Lythrum salicaria</i>	Salicaire pourpre	Purple loosestrife
<i>Mimulus ringens</i>	Mimule à fleurs entrouvertes	Squared-stemmed monkeyflower
<i>Penthorum sedoides</i>	Penthorum faux-orpin	Ditch stonecrop
<i>Phalaris arundinacea</i>	Phalaris roseau	Reed canarygrass
<i>Phragmites australis</i>	Phragmite commun	Common reed
<i>Polygonum lapathifolium</i>	Renouée à feuilles de patience	Dock-leaved knotweed
<i>Rorippa amphibia</i>	Rorippa amphibie	Great yellowcress
<i>Sium suave</i>	Berle douce	Fragrant water-parsnip
Marais		
<i>Acorus calamus</i>	Acorus roseau	Sweet flag
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	Alisme plantain-d'eau	American waterplantain
<i>Bolboschoenus fluviatilis*</i>	Scirpe des rivières	River bulrush
<i>Butomus umbellatus</i>	Butome à ombelle	Flowering rush
<i>Eleocharis smallii</i>	Eléocharide de Small	Common spikerush
<i>Equisetum fluviatile</i>	Prêle fluviatile	Water horsetail
<i>Pontederia cordata</i>	Pontédérie à feuilles en cœur	Cordate pickerelweed
<i>Sagittaria cuneata</i>	Sagittaire à feuilles en coin	Cuneate-leaved arrowhead
<i>Sagittaria latifolia</i>	Sagittaire à feuilles larges	Broad-leaved arrowhead
<i>Sagittaria rigida</i>	Sagittaire dressée	Erect arrowhead
<i>Schoenoplectus lacustris**</i>	Scirpe des étangs	Great bulrush
<i>Schoenoplectus pungens***</i>	Scirpe américain	Three-square bulrush
<i>Sparganium americanum</i>	Rubanier d'Amérique	American bur-reed
<i>Sparganium eurycarpum</i>	Rubanier à gros fruits	Giant bur-reed
<i>Typha angustifolia</i>	Typha à feuilles étroites	Narrow-leaved cattail
<i>Typha latifolia</i>	Typha à feuilles larges	Broad-leaved cattail
<i>Zizania palustris</i>	Zizanie des marais	Wild rice
Plantes à feuilles flottantes		
<i>Nuphar rubrodisca</i>	Nénuphar à disque rouge	Yellow pond-lily
<i>Nuphar variegata</i>	Grand nénuphar jaune	Variegated pond-lily
<i>Nymphaea odorata</i>	Nymphée odorante	Fragrant water-lily

Espèce	Nom français	Nom anglais
<i>Nymphaea tuberosa</i>	Nymphée tubéreuse	Tuberous water-lily
<i>Lemna minor</i>	Lenticule mineure	Common duckweed
Macrophytes submergés		
<i>Ceratophyllum demersum</i>	Cornifle nageante	Coontail
<i>Elodea canadensis</i>	Élodée du Canada	Canadian waterweed
<i>Heteranthera dubia</i>	Hétéranthère litigieuse	Dubius water-stargrass
<i>Myriophyllum spicatum</i>	Myriophylle à épis	Eurasian watermilfoil
<i>Potamogeton crispus</i>	Potamot crispé	Curly pondweed
<i>Potamogeton gramineus</i>	Potamot gramineoïde	Variable pondweed
<i>Potamogeton pectinatus</i>	Potamot pectiné	Sago pondweed
<i>Potamogeton richardsonii</i>	Potamot de Richardson	Richardson's pondweed
<i>Utricularia vulgaris</i>	Utriculaire vulgaire	Common bladderwort
<i>Vallisneria americana</i>	Vallisnérie américaine	American wild-celery
Algues		
<i>Chara</i> sp.	Chara	Musk grass
<i>Nitella</i> sp.	Nitella	Nitella
Algues filamenteuses	Algues filamenteuses	Filamentous algae
Mousses		
<i>Sphagnum</i> sp.	Sphaigne	Sphagnum moss

* Nouveau nom de *Scirpus fluviatilis*

** Nouveau nom de *Scirpus lacustris*

*** Nouveau nom de *Scirpus americanus*

Annexe 2 Liste des espèces répertoriées par Christiane Hudon et Jean-Pierre Amyot (Centre Saint-Laurent, Environnement Canada) de 1999 à 2002, le long de quatre transects situés sur la rive sud du lac Saint-Pierre (voir la figure 4 pour la localisation des transects). À noter que tous les transects n'ont pu être échantillonnés tous les ans.

Tableau 1 Espèces présentes dans les 10 quadrats échantillonnés en 1999 au transect T4 sur la rive sud du lac Saint-Pierre

1999	Transect 4 (Effectif sur 10 quadrats)
Prairie humide	
Lactuca biennis	1
<i>Lythrum salicaria</i>	1
<i>Rumex verticillatus</i>	1
Marais	
<i>Acorus calamus</i>	3
<i>Butomus umbellatus</i>	3
<i>Eleocharis smallii</i>	2
<i>Equisetum fluviatile</i>	1
<i>Pontederia cordata</i>	5
<i>Bolboschoenus fluviatilis</i>	10
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	10
<i>Sparganium eurycarpum</i>	1
<i>Typha angustifolia</i>	3
<i>Zizania aquatica</i>	1
Macrophytes à feuilles flottantes	
Lemna minor	8
Macrophytes submergés	
<i>Chara</i> sp.	2
<i>Cladophora</i> sp.	5
Elodea canadensis	2
Algues filamenteuses	1
Mousses	4

Tableau 2 **Espèces présentes dans les quadrats échantillonnés en 2000 aux transect T2, T3, T4 et T5 sur la rive sud du lac Saint-Pierre**

2000 Effectif sur n quadrats	Rive sud			
	T2 (7)	T3 (7)	T4 (15)	T5 (12)
Prairie humide				
Salix exigua	1			
<i>Asclepias incarnata</i>		1		
<i>Calamagrostis canadensis</i>	1		2	1
<i>Galium palustre</i>	1			1
<i>Hypericum</i> sp		1		
<i>Leersia orysoïdes</i>		1		
<i>Lycopus americanus</i>		1	1	1
<i>Lythrum salicaria</i>	3	2	2	1
<i>Mimulus ringens</i>	1	1		
<i>Onoclea sensibilis</i>				1
<i>Phalaris arundinacea</i>	3		4	
<i>Phleum pratense</i>			1	
<i>Rorippa palustris</i>			2	1
<i>Rumex verticillatus</i>			3	
<i>Scutellaria parvula</i>				1
<i>Spartina pectinata</i>	1			2
Marais				
Acorus calamus		1	3	1
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	1			1
<i>Butomus umbellatus</i>			8	
<i>Carex tuckermanii</i>	1			
<i>Carex</i> sp.	1			
<i>Dulichium arundinaceum</i>		1		
<i>Eleocharis acicularis</i>	1			
<i>Eleocharis smallii</i>	2	1	4	3
<i>Eleocharis</i> sp.	1			
<i>Equisetum fluviatile</i>	1		2	
<i>Pontederia cordata</i>	2	1	2	
<i>Sagittaria latifolia</i>	4	2	6	1
<i>Schoenoplectus pungens</i>	5	4	1	1
<i>Bolboschoenus fluviatilis</i>	5	3	11	8
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	6	4	13	6
<i>Sium suave</i>	5	3		1
<i>Sparganium eurycarpum</i>	2		7	1
<i>Typha angustifolia</i>			2	3
Macrophytes à feuilles flottantes				
<i>Nuphar variegata</i>	1		1	2
<i>Nymphaea odorata</i>			2	2
<i>Lemna minor</i>	2		4	
<i>Lemna trisulca</i>			1	

2000	Rive sud			
	Effectif sur n quadrats	T2 (7)	T3 (7)	T4 (15)
Macrophytes submergés				
<i>Ceratophyllum demersum</i>			4	
<i>Algues filamenteuses</i>		2	9	1
<i>Elodea canadensis</i>	5	3	3	
<i>Heteranthera dubia</i>	2		1	1
<i>Myriophyllum</i> sp	2	1	1	7
<i>Potamogeton Friesii</i>				2
<i>Potamogeton richardsonii</i>	1	1	3	6
<i>Potamogeton robinsii</i>			1	1
<i>Utricularia vulgaris</i>	2	2	8	1
<i>Vallisneria americana</i>		3	2	1

Tableau 3 Espèces présentes dans les quadrats échantillonnés aux transect T3 et T5 en 2001 sur la rive sud du lac Saint-Pierre. En raison des bas niveaux d'eau, seuls deux transects ont été visités et l'accès plus haut dans le marais n'a pas été possible

2001	Rive sud		
	Effectif sur n quadrats	T3 (7)	T5 (12)
Marais			
<i>Alisma plantago-aquatica</i>			3
<i>Butomus umbellatus</i>			3
<i>Eleocharis acicularis</i>	1		
<i>Eleocharis smallii</i>	1		
<i>Pontederia cordata</i>			2
<i>Sagittaria latifolia</i>	1		1
<i>Schoenoplectus pungens</i>	1		1
<i>Bolboschoenus fluviatilis</i>	1		7
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	5		11
<i>Sparganium eurycarpum</i>			1
<i>Typha angustifolia</i>			1
Macrophytes à feuilles flottantes			
<i>Nuphar variegata</i>	1		2
Macrophytes submergés			
<i>Ceratophyllum demersum</i>			1
<i>Chara</i> sp.			1
<i>Cladophora</i> sp.	2		3
<i>Elodea canadensis</i>			6
<i>Heteranthera dubia</i>	6		8
<i>Myriophyllum</i> sp			6
<i>Potamogeton richardsonii</i>	3		6
<i>Potamogeton robinsii</i>			4
<i>Utricularia vulgaris</i>			7
<i>Vallisneria americana</i>	3		4

Tableau 4 Espèces présentes dans les quadrats échantillonnés en 2002 aux transect T2, T3, T4 et T5 sur la rive sud du lac Saint-Pierre

2002 Effectif sur n quadrats	Rive sud			
	T2 (7)	T3 (7)	T4 (15)	T5 (12)
Prairie humide				
Galium palustre				
	2			
<i>Hypericum mutilum</i>	3			
<i>Leersia orysoides</i>		2		
<i>Lysimachia terrestris</i>		1		
<i>Lythrum salicaria</i>	6	2	3	
<i>Mimulus ringens</i>	1	2		
<i>Phalaris arundinacea</i>		1	3	
<i>Polygonum lapathifolium</i>			1	
<i>Rorippa amphibia</i>	1	3	4	
<i>Spartina pectinata</i>			1	
Marais				
Acorus calamus				
			3	
<i>Alisma plantago-aquatica</i>			1	1
<i>Butomus umbellatus</i>			7	1
<i>Dulichium arundinaceum</i>		1		
<i>Eleocharis acicularis</i>		4	2	1
<i>Eleocharis smallii</i>	5	2	3	1
<i>Equisetum fluviatile</i>			1	
<i>Pontederia cordata</i>	2	2	1	1
<i>Sagittaria latifolia</i>	5	4	7	1
<i>Schoenoplectus pungens</i>	4	4	2	1
<i>Bolboschoenus fluviatilis</i>	4	2	10	8
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	4	5	7	10
<i>Sium suave</i>	5	4	2	
<i>Sparganium eurycarpum</i>	4	1	7	
<i>Typha angustifolia</i>			4	2
Macrophytes à feuilles flottantes				
<i>Nuphar variegata</i>			2	1
<i>Lemna minor</i>			1	
<i>Spirodela polyrhisa</i>			3	
Macrophytes submergés				
<i>Elodea canadensis</i>	5	4	7	5
<i>Elodea nuttallii</i>			3	2
<i>Heteranthera dubia</i>		3	1	1
<i>Myriophyllum</i> sp.		1	8	4
<i>Potamogeton richardsonii</i>		3	3	7
<i>Potamogeton robinsii</i>				2
<i>Potamogeton zosteriformis</i>			1	
<i>Utricularia vulgaris</i>	3		2	2
<i>Vallisneria americana</i>		2	4	8
Mousses	2	3	4	

Annexe 3 Espèces répertoriées en 2000 sur la rive sud du lac Saint-Pierre par Martin Jean et Guy Létourneau (Centre Saint-Laurent, Environnement Canada) dans le cadre du programme de suivi des milieux humides du Saint-Laurent (Jean et Létourneau, 2002)

Espèce	Baie des Îlets (n=8)	Pointe de la Petite Commune (n=4)	Pointe de la Grande Commune (n=7)	Pointe Lussaudière (n=10)	Île Moras (n=6)
<u>Marécages</u>					
<u>Acer saccharinum</u>					
				X	
<i>Salix exigua</i>				X	
<i>Salix nigra</i>				X	
<u>Prairies humides</u>					
<i>Apios americana</i>				X	
<i>Calamagrostis canadensis</i>				X	X
<i>Carex stricta</i>				X	
<i>Impatiens</i> sp.				X	X
<i>Laportea canadensis</i>				X	
<i>Lycopus americanus</i>				X	
<i>Lysimachia terrestris</i>					X
<i>Lysimachia thyrsoflora</i>				X	X
<i>Lythrum salicaria</i>			X	X	X
<i>Phalaris arundinacea</i>			X	X	X
<i>Phragmites australis</i>			X		
<i>Solanum dulcamara</i>				X	
<u>Marais</u>					
<i>Acorus calamus</i>				X	
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	X				
<i>Bolboschoenus fluviatilis</i>	X	X	X	X	X
<i>Butomus umbellatus</i>		X		X	X
<i>Eleocharis</i> sp.				X	
<i>Equisetum fluviatile</i>				X	X
<i>Pontederia cordata</i>	X		X	X	X
<i>Rorippa amphibia</i>				X	X
<i>Sagittaria cuneata</i>				X	
<i>Sagittaria latifolia</i>	X	X	X	X	X
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	X		X	X	X
<i>Schoenoplectus pungens</i>					X
<i>Sparganium americanum</i>					X
<i>Sparganium eurycarpum</i>	X	X	X	X	
<i>Typha angustifolia</i>	X	X	X	X	X
<i>Typha latifolia</i>	X		X		X
<u>Macrophytes à feuilles flottantes</u>					
<i>Lemna minor</i>	X	X			
<i>Nuphar variegata</i>	X		X	X	
<i>Nymphaea odorata</i>	X		X		
<u>Macrophytes submergés</u>					
<i>Myriophyllum</i> sp.	X			X	

Espèce	Baie des Îlets (n=8)	Pointe de la Petite Commune (n=4)	Pointe de la Grande Commune (n=7)	Pointe Lussaudière (n=10)	Île Moras (n=6)
<i>Najas</i> sp.				x	
<i>Potamogeton</i> sp.	x				
<i>Utricularia vulgaris</i>				x	

Annexe 4 (suite)

Tableau 2 Données d'octobre 2000

Station no EC	Longitude UTM*	Latitude UTM*	Date	Heure	Profondeur (m)	Végétation	Espèce de plante								
							Scla	Sala	Elca	Elpa	Speu	Algues	Mousse		
AA1	680380	5120523	00-10-16	13:00	0,45	9	x								
AA2	680641	5120187	00-10-18	09:30	0,28	10					x				
AA3	680622	5120394	00-10-18	10:50	0,45	10	x								x
AA4	680511	5120532	00-10-18	13:45	0,36	10	x								
AA5	680437	5120681	00-10-19	14:05	0,38	8	x								
ZZ1	663649	5110706	00-10-17	09:45	0,42	7	x		x						
ZZ2	663720	5110854	00-10-17	11:00	0,42	7	x								
ZZ3	665639	5111147	00-10-17	13:15	0,40	5	x								
ZZ4	665318	5110943	00-10-17	14:30	0,36	8	x							x	
ZZ5	663437	5110571	00-10-19	09:30	0,40	8			x		x				

*NAD 83 zone 18

CODE	Espèces
Scla	<i>Scirpus lacustris</i>
Sala	<i>Sagittaria latifolia</i>
Elca	<i>Elodea canadensis</i>
Elpa	<i>Eleocharis palustris</i>
Speu	<i>Sparganium eurycarpum</i>
Algues	Algues filamenteuses

Annexe 5 Démarche suivie pour effectuer la recherche bibliographique portant sur l'effet des perturbations physiques sur la végétation ainsi que sur l'effet des glaces sur les rives du fleuve et la végétation.

La recherche de documents de référence été effectuée par un bibliothécaire d'Environnement Canada à Hull. Après avoir pris connaissance du projet et d'une première liste de mots clés, ce dernier a élaboré deux listes pour la recherche bibliographique, soit une pour les effets des perturbations physiques de diverse nature sur la végétation aquatique et riparienne et une autre pour l'effet de l'érosion par les glaces sur les rives fluviales (sans marées) et sur la végétation (tableaux 1 et 2). De nombreuses banques de données bibliographiques gratuites ou payantes ont été consultées. Les résultats des recherches, sous forme de listes de titres (avec résumés la plupart du temps), ont été passés en revue et seuls les articles, rapports ou chapitres de livres qui semblaient les plus pertinents ont été commandés.

De plus, il y a eu consultation en ligne par l'auteur de nombreux sites Internet portant sur les milieux humides et les plantes, dont la base de données bibliographiques sur les plantes du *University of Florida Center for Aquatic and Invasive Plants (Aquatic, Wetland and Invasive Plant Information Retrieval System: aquat1.ifas.ufl.edu/welcome.html)*, et des sites de diverses revues scientifiques :

- *Aquatic Botany* (www.elsevier.com/inca/publications/store/5/0/3/3/0/3/index.htm)
- *Canadian Journal of Botany* et *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* (Presses scientifiques du Conseil national de recherches Canada : www.nrc.ca/cisti/journals/rp2_home_f.html)
- *Ecology*, *Ecological Monographs* et *Ecological Applications* (*Ecological Society of America* : www.esajournals.org/esaonline/?request=index-html)
- *Journal of Great Lakes Research* (www.iaglr.org/jglr/db/search.php)
- *Wetlands* (www.sws.org/wetlands/journalsearch.html)

Annexe 5 (suite)

Tableau 1 Mots clés utilisés pour la recherche bibliographique sur les effets des perturbations physiques de diverse nature sur la végétation aquatique et riparienne

Perturbations physiques	Milieu	Recolonisation
alteration*	vegetati*, plants, plantes, flore, flora,	recolonisation, recolonization,
perturbation*	floristi*, vegetal*, macrophyt*, herbiers,	rétablissement, renaturalisation,
disturb*	herbe, herbes, herbs, grass, grasses,	redressement, revegetat*, recover*,
trous, trouées	herbaceous, weed, weeds, weedy, reed,	reclamation, reclaim*, remediation,
hole, holes, cavities	reeds, hydrophyt*, botany, zostère,	restoration, restor*, restoring,
hollow*	zostera, communities, biota	replanting, vegetalisation, transplant*,
excavat*		invasion, biorestauration, biorestor*,
creusage	humide, riverain, rivages, aquatique,	rehabilitat*, restauration, plantation,
digging	aquatic, aquatique*, humide*,	planting, génie végétal, reintroduc*,
dredging	mouillées, freshwater, marais, vasière*,	regenerat*, propagation
crater*	marécage*, berge, berges, swamp*,	
seismic	riparian, marine, estuarine, submersed,	
dragage	submerg*, streamside, shore, shores,	
entonnoir	shoreline, shoreside, shorefront, coastal,	
explosion*	lakeshore*, lakeside, riverside,	
blasting	seashore*, banks, riverbank, marsh,	
detonat*	marshland, marshy, marshes, wetland*,	
nettoyage	bog, bogs, submergées, emergent*,	
cleanup	emerged, emerging, emerges, littoral*,	
cleaning	lotic, lentic, amphibious	
decontamination		
ornières	pioneer, pionnière*, indigen*, invasive,	
rut, ruts, tracks, wheeltrack*	invading, nonnative, envahissant*,	
mining	opportunist*, exotic, alien, indésirable*,	
construction	unwanted, undesirable, nuisance,	
road, roads, highway*, roadbuilding,	dominant, desirable, innocuous,	
chemins	noxious, pest	
recreation*		
vehicle*		
traffic		
truck*		
compaction, compacting, compacted,		
compact		
machiner*		
scoop		
off-road vehicle*, backhoes		
trench, trenching		
earthmoving		
bucket		
unexploded, munitions, ammunitions,		
shell, ordnance, bomb*, rounds		
former military		
demilitarization		
hydraulic dredge (shell fishing)		

Annexe 5 (suite)

Tableau 2 Mots clés utilisés pour la recherche bibliographique sur l'effet de l'érosion des glaces sur les rives fluviales (sans marées) et sur la végétation

Effet	Glace	Milieu	Milieu
enfouissement	glace glaces	St-Laurent	limnolog*
nivel<er, age, é>	glaciel	Saint-Laurent	lotic
racl<er, age, é>	embacle	St. Lawrence	lacustr*
rake	debacle	Outaouais	fluvial*
scrap<e,ing>	river ice	Ottawa	freshwater*
arrache<r>	fluvial ice	St-Maurice	
creuse<r,ent,age>	lake ice	Saint-Maurice	
dynamique		Richelieu	
transport		Saint-François	
scour		St-François	
vegetation		Lac Saint-Louis	
plant ecology		Lac St-Louis	
bottom		Lac Saint François	
sediments		Lac St-François	
channel		Lac Saint-Pierre	
bed		Lac St-Pierre	
disturbance*			
displacement			
transplant*			
recovery			
sediments			
deposits			
matter			
environmental			

Récupération de munitions sur la rive sud du lac Saint-Pierre : impacts sur la végétation

1.0 MESURES BIOLOGIQUES

- I. Estimation du recouvrement de toutes les espèces vasculaires à l'intérieur de quadrats de 1 m²;
- II. Estimation de la hauteur moyenne des plantes par espèce;
Estimation de la structure physionomique de la végétation;

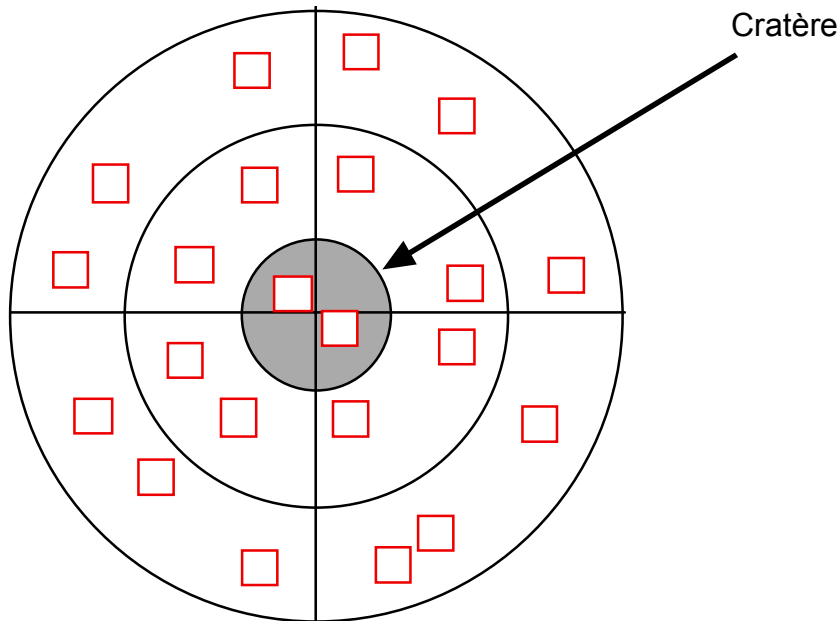
2.0 CRATERES

2.1 Évaluation avant l'explosion (À être réalisé par le personnel de SNC) :

- Projectile : calibre, nature de la charge, etc.
- Prendre les coordonnées GPS de l'obus.
- Prendre deux photos : une vue générale et un gros plan de la végétation autours de l'obus. S'assurer de la présence d'un mètre sur la photo (étalon).
- Immédiatement après l'explosion : mesurer le diamètre et la profondeur du cratère et prendre des photos : une vue générale et des gros plans du contour du cratère.

2.2 Échantillonnage de la végétation ;

- A. Répartition aléatoires des quadrats à l'intérieur de trois cercles concentriques;



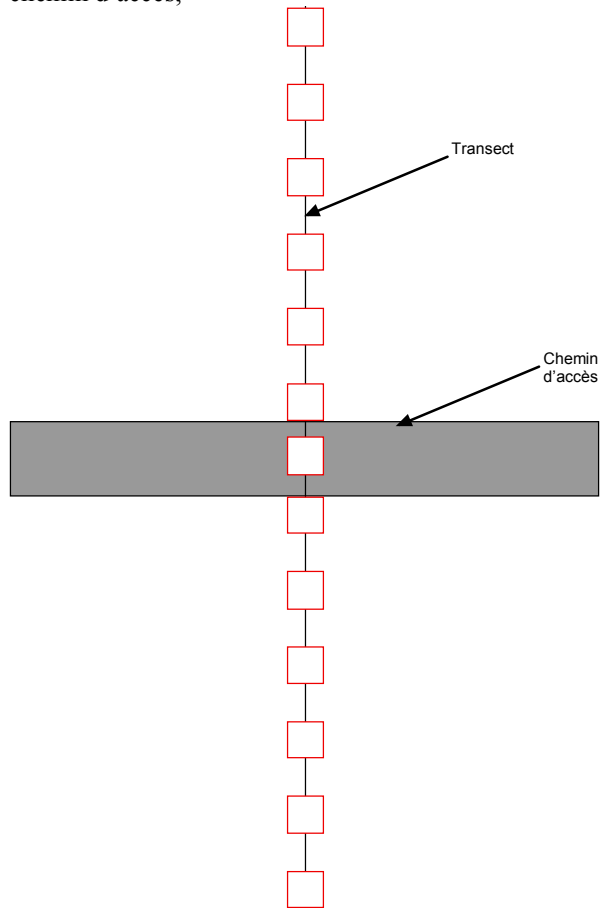
- B. Les cercles sont centrés sur le cratère. Le rayon du premier cercle correspond à celui du cratère;
- C. Le rayon du second cratère correspond à 3 fois le rayon du premier cercle (minimum 3 m);
- D. Le rayon du troisième cercle correspond à 5 fois le rayon du premier cercle (minimum 5 m);
- E. Deux quadrats de 1 m² sont utilisés pour échantillonner le cratère (si le diamètre du cratère est plus petit que 1 m, l'ensemble de la superficie du cratère est inclus dans l'échantillon);
- F. Le cercle 2 est divisé en 4 quadrants et un minimum de 2 quadrats sont disposés aléatoirement dans chaque quadrant;
- G. Le cercle 3 est aussi divisé en 4 quadrants et un minimum de 3 quadrats est disposés aléatoirement dans chaque quadrant;

- 2.3 Mesures physiques (cratère seulement)
- I. Circonférence et profondeur du cratère;
 - II. Type de substrat
drainage, profondeur de l'eau, etc.

3. CHEMINS D'ACCES

3.1 Échantillonnage des chemins d'accès;

- A. Des transects sont disposés à intervalles de 100 m ou plus, selon la longueur du chemin (minimum 1 transect par tronçon) perpendiculairement à l'axe principal du tronçon de chemin d'accès;



- B. Des quadrats de 1m² sont disposés le long de chacun des transects à une distance de 2 m entre chacun d'eux. Un minimum d'un quadrat doit être placé dans le chemin d'accès (au centre);
- C. Les quadrats sont placés à tous les 2 m (du centre du quadrat au centre de l'autre) à partir du quadrat central;
- D. Les transects s'étendent de part et d'autre du chemin d'accès sur une distance équivalente à 5 fois la largeur du chemin.

3.2 Mesures physiques

- Hétérogénéité du paysage ;
- Type de substrat, drainage, profondeur de l'eau, présence d'eau, de mares, etc.
- Mesure de compaction (à déterminer).
- Circulation : types de véhicule, fréquence, périodes, etc.

Annexe 7 Feuille de terrain type utilisée pour effectuer les relevés de végétation.
(Source : Caroline Savage et Martin Jean, Centre Saint-Laurent, Environnement Canada).

PROJET SUMI DES MILIEUX HUMIDES DU SAINT-LAURENT

Observateurs Date
 Heure
 Localité, milieu visité Distance du centre du sentier, cratère
 Numéro de transect ou cratère Coordonnées
 Station Azimut du chemin
 Azimut du transect

Description du lieu

Cratère : Profondeur : Circonférence : Chemin d'accès : Largeur : Longueur :

Utilisation du sol Milieu humide Forêt Friche Agricole Urbain Autre...

Classe Substrat dénudé Rivage (herbier) Marécage Autre _____
 Eau libre Marais

Forme Littoral non consolidé d'eau douce Marais salé
 Littoral consolidé d'eau douce Marécage salé
 Littoral non consolidé d'eau salée Marais de ruissellement
 Littoral consolidé d'eau salée Marécage de ruissellement
 Rive non consolidée Marais riverain d'eau douce sur sol minéral
 Rive consolidée Marécage riverain d'eau douce sur sol minéral
 Marais d'eau douce à marées Marais riverain d'eau douce sur sol organique
 Marécage d'eau douce à marées Marécage riverain d'eau douce sur sol organique

Sous-forme Haut Bas

Type de végétation Végétation algale Herbacées non-émergentes Arbustes bas
 Végétation muscinale Émergentes à feuilles larges Arbustes hauts
 Végétation submergée Émergentes à feuilles étroites Arbrisseaux
 Végétation à feuilles flottantes Émergentes robustes Conifères
 Végétation flottante Arbres morts Feuillus

Description géométrique

..... Carte topo
 Zone UTM
 x
 y

Observations sur la surface

.....

Photo film	Photo cliché	Photo description	Photo notes
.....
.....
.....
.....

Annexe 7 (suite)

Végétation

Description de la végétation

.....

.....

.....

.....

- Densité de la végétation
- Libre de végétation
- Très dispersé
- Dispersé
- Uniforme
- Dense
- Très dense
- Compact

	Recouvrement	Espèce dominante	Espèce co-dominante
Arbre supérieur (> 20 m)
Arbre moyen (10-20 m)
Arbre inférieur (< 10 m)
Arbustes hauts (> 5 m)
Arbustes moyens (1-5 m)
Arbustes bas (< 1 m)
Herbacées
Muscinales
Flottantes et submergées

eau libre	Vase	Classes de recouvrement :
Niveau de l'eau	Gravier, roche	
		Roc	
Présence de mares	<input type="checkbox"/> Aucune <input type="checkbox"/> Un peu <input type="checkbox"/> Beaucoup		

1 : < 1%

2 : 1-5 %

3 : 6-10%

4 : 11-25%

5 : 26-50%

6 : 51-75%

7 : > 75%

Condition végétation

Morte

Dépérissante

Endommagée

Écrasée, couchée

Non perturbée

Substrat

Argile Gravier

Limon Débris végétaux

Humus

Sable

Hétérogénéité dans la composition du marais

Très homogène Relativement hétérogène

Relativement homogène Très hétérogène

Annexe 8 Données brutes de l'échantillonnage de la végétation le long du chemin reliant le P.O. 6 au P.O. 5 en août 2002, sur les terres du ministère de la Défense nationale

Tableau 1 Caractéristiques des 78 quadrats échantillonnés du 27 au 29 août 2002

Transect	Date	Position (UTM- NAD 83) x	Position (UTM- NAD 83) y	N° de quadrat	Distance du centre du chemin (m)	Niveau de l'eau (cm)	Présence de mares (0 ou 1)**	Eau libre (% de recouvre- ment***)	Vase (% de recouvre- ment***)
CEEM100	27 août	673762	5115463	1	0	0	0	0	0
CEEM100	27 août	n.m.*	n.m.	2a	2	0	0	0	0
CEEM100	27 août	n.m.	n.m.	3a	4	0	0	0	0
CEEM100	27 août	n.m.	n.m.	4a	6	0	0	0	0
CEEM100	27 août	n.m.	n.m.	5a	8	0	0	0	0
CEEM100	27 août	n.m.	n.m.	6a	10	0	0	0	0
CEEM100	27 août	n.m.	n.m.	7a	12	0	0	0	0
CEEM100	27 août	n.m.	n.m.	2b	2	0	0	0	0
CEEM100	27 août	n.m.	n.m.	3b	4	0	0	0	0
CEEM100	27 août	n.m.	n.m.	4b	6	0	0	0	0
CEEM100	27 août	n.m.	n.m.	5b	8	0	0	0	0
CEEM100	27 août	n.m.	n.m.	6b	10	0	0	0	0
CEEM100	27 août	n.m.	n.m.	7b	12	0	0	0	0
CEEM400	28 août	674053	5115405	1	0	20	1	18	0
CEEM400	28 août	n.m.	n.m.	2a	2	10	1	0	0
CEEM400	28 août	n.m.	n.m.	3a	4	8	1	0	0
CEEM400	28 août	n.m.	n.m.	4a	6	0	1	0	0
CEEM400	28 août	n.m.	n.m.	5a	8	15	1	0	0
CEEM400	28 août	n.m.	n.m.	6a	10	15	1	0	0
CEEM400	28 août	n.m.	n.m.	7a	12	10	1	0	0
CEEM400	28 août	n.m.	n.m.	2b	2	8	1	0	0
CEEM400	28 août	n.m.	n.m.	3b	4	25	1	3	0
CEEM400	28 août	n.m.	n.m.	4b	6	20	1	8	0
CEEM400	28 août	n.m.	n.m.	5b	8	10	1	0	0
CEEM400	28 août	n.m.	n.m.	6b	10	7	1	8	0
CEEM400	28 août	n.m.	n.m.	7b	12	8	1	0	0
CEEM700	28 août	674367	5115344	1	0	30	1	38	0
CEEM700	28 août	n.m.	n.m.	2a	2	8	1	0	0
CEEM700	28 août	n.m.	n.m.	3a	4	5	1	0	0
CEEM700	28 août	n.m.	n.m.	4a	6	8	1	0	0
CEEM700	28 août	n.m.	n.m.	5a	8	12	1	0	0
CEEM700	28 août	n.m.	n.m.	6a	10	10	1	0	0
CEEM700	28 août	n.m.	n.m.	7a	12	10	1	3	0
CEEM700	28 août	n.m.	n.m.	2b	2	0	1	0	0
CEEM700	28 août	n.m.	n.m.	3b	4	10	1	3	0
CEEM700	28 août	n.m.	n.m.	4b	6	10	1	0	0
CEEM700	28 août	n.m.	n.m.	5b	8	10	1	0	0
CEEM700	28 août	n.m.	n.m.	6b	10	10	1	0	0
CEEM700	28 août	n.m.	n.m.	7b	12	10	1	0	0
CEEM1000	28 août	674650	5115288	1	0	20	1	63	0
CEEM1000	28 août	n.m.	n.m.	2a	2	10	1	0	0
CEEM1000	28 août	n.m.	n.m.	3a	4	10	1	0	0
CEEM1000	28 août	n.m.	n.m.	4a	6	5	1	0	0
CEEM1000	28 août	n.m.	n.m.	5a	8	10	1	0	0

Transect	Date	Position (UTM- NAD 83) x	Position (UTM- NAD 83) y	N° de quadrat	Distance du centre du chemin (m)	Niveau de l'eau (cm)	Présence de mares (0 ou 1)**	Eau libre (% de recouvre- ment***)	Vase (% de recouvre- ment***)
CEEM1000	28 août	n.m.	n.m.	6a	10	10	1	0	0
CEEM1000	28 août	n.m.	n.m.	7a	12	0	1	0	0
CEEM1000	28 août	n.m.	n.m.	2b	2	8	1	0	0
CEEM1000	28 août	n.m.	n.m.	3b	4	15	1	8	0
CEEM1000	28 août	n.m.	n.m.	4b	6	10	1	3	0
CEEM1000	28 août	n.m.	n.m.	5b	8	8	1	0	0
CEEM1000	28 août	n.m.	n.m.	6b	10	7	1	0	0
CEEM1000	28 août	n.m.	n.m.	7b	12	10	1	0	0
CEEM1300	29 août	674935	5115239	1	0	0	0	0	0
CEEM1300	29 août	n.m.	n.m.	2a	2	0	0	0	0
CEEM1300	29 août	n.m.	n.m.	3a	4	0	0	0	0
CEEM1300	29 août	n.m.	n.m.	4a	6	0	0	0	0
CEEM1300	29 août	n.m.	n.m.	5a	8	0	0	0	0
CEEM1300	29 août	n.m.	n.m.	6a	10	0	0	0	0
CEEM1300	29 août	n.m.	n.m.	7a	12	0	0	0	0
CEEM1300	29 août	n.m.	n.m.	2b	2	0	0	0	0
CEEM1300	29 août	n.m.	n.m.	3b	4	0	0	0	0
CEEM1300	29 août	n.m.	n.m.	4b	6	0	0	0	0
CEEM1300	29 août	n.m.	n.m.	5b	8	0	0	0	0
CEEM1300	29 août	n.m.	n.m.	6b	10	0	0	0	0
CEEM1300	29 août	n.m.	n.m.	7b	12	0	0	0	0
CEEM1600	29 août	675262	5115183	1	0	0	1	0	88
CEEM1600	29 août	n.m.	n.m.	2a	2	0	1	0	38
CEEM1600	29 août	n.m.	n.m.	3a	4	5	1	0	0
CEEM1600	29 août	n.m.	n.m.	4a	6	0	1	0	0
CEEM1600	29 août	n.m.	n.m.	5a	8	35	1	0	0
CEEM1600	29 août	n.m.	n.m.	6a	10	0	1	0	8
CEEM1600	29 août	n.m.	n.m.	7a	12	2	1	0	0
CEEM1600	29 août	n.m.	n.m.	2b	2	0	1	0	18
CEEM1600	29 août	n.m.	n.m.	3b	4	0	1	0	0
CEEM1600	29 août	n.m.	n.m.	4b	6	0	1	0	0
CEEM1600	29 août	n.m.	n.m.	5b	8	0	1	0	0
CEEM1600	29 août	n.m.	n.m.	6b	10	0	1	0	0
CEEM1600	29 août	n.m.	n.m.	7b	12	0	1	0	0

* Non mesuré

** 0=pas de mares; 1=présence de mares à proximité du transect

*** Classes de recouvrement, voir tableau 4, p. 77

Transect	No de quadrat	Pola	Poco	Pogr	Sacu	Sala	Sari	Scla	Sisu	Spam	Speu	Tyan	Ziaq	Spha	Char	Utvu	Algu Recouvrement total (émergentes)	Recouvrement global du quadrat
CEEM700	3b												0,5		3		38	41
CEEM700	4b						0,5	3			18						88	88
CEEM700	5b						0,5	8			8						63	63
CEEM700	6b							3			8		3				88	88,5
CEEM700	7b						3	3			18						88	88
CEEM1000	1						3	0,5							18		18	36
CEEM1000	2a						3	3					18				88	88
CEEM1000	3a		3				8	3					3				88	88
CEEM1000	4a					18	3	8					3				88	88
CEEM1000	5a						3	3					3				88	88
CEEM1000	6a					3	3	3					0,5		3		88	91,5
CEEM1000	7a		3				0,5	8					0,5	3	8		88	88
CEEM1000	2b					3	3	3					3		3		88	91
CEEM1000	3b						3	8					3		3	3	63	66
CEEM1000	4b						3	8					3				88	96
CEEM1000	5b					3		8			88						88	88
CEEM1000	6b					3		8			88		0,5				88	88
CEEM1000	7b				18			3			88						88	88
CEEM1300	1						0,5				3		0,5				88	88
CEEM1300	2a							18					3				88	88
CEEM1300	3a							3	0,5	8							88	88
CEEM1300	4a												3				88	88
CEEM1300	5a									3							88	88
CEEM1300	6a						0,5	3			3						88	88
CEEM1300	7a						8	3		3							88	88
CEEM1300	2b							63		3							88	88
CEEM1300	3b						0,5	3			18		0,5				88	88
CEEM1300	4b							8		3							88	88
CEEM1300	5b						3	3		3			3				88	88
CEEM1300	6b						3	8		63			3				88	88
CEEM1300	7b						3	3		3			3				88	88
CEEM1600	1						3	3		3			3				18	18
CEEM1600	2a					3		3		3	63		3				63	63
CEEM1600	3a						0,5	8		8	18					0,5	88	88
CEEM1600	4a						3	8		8	88						88	88
CEEM1600	5a					18	0,5	3		3	63						88	88
CEEM1600	6a						0,5	8		8	63						88	88
CEEM1600	7a						8			8	38					3	88	88

Transect	No de quadrat	Pola	Poco	Pogr	Sacu	Sala	Sari	Scla	Sisu	Spam	Speu	Tyan	Ziaq	Spha	Char	Utvu	Algu Recouvrement total (émergentes)	Recouvre- ment global du quadrat
CEEM1600	2b					3			0,5	18			0,5				88	88
CEEM1600	3b					3		0,5	8	38							88	88
CEEM1600	4b							0,5									88	88
CEEM1600	5b					3	3				18						88	88
CEEM1600	6b										8		0,5				88	88
CEEM1600	7b					3	8		3	8			0,5				88	88

Transect	No de Distance quadrat du chemin (m)	Acce	Alpa	Bavu	Bofl	Buum	Elsm	Elca	Eqfl	Gapa	Hedu	Lemi	Lyun	Lyte	Lyth	Lysa	Miri	Nuru	Nyod	Pese	Phar
CEEM1600	1	0				60					5	1									
CEEM1600	2a	2	40		110	60											5				30
CEEM1600	3a	4		35		100						1									
CEEM1600	4a	6				80						1									
CEEM1600	5a	8	85		100	85						1									
CEEM1600	6a	10			60	105						1									
CEEM1600	7a	12			120	90						1									
CEEM1600	2b	2		30	120	50											70				
CEEM1600	3b	4		30	100	90															
CEEM1600	4b	6		40	130	85															
CEEM1600	5b	8		45	100	80															
CEEM1600	6b	10		45	105	80															
CEEM1600	7b	12		5	110	80															

.../

Tableau 3 (suite)

Transect	No de Distance du quadrat chemin (m)	Pola	Poco	Pogr	Sacu	Sala	Sari	Scla	Sisu	Spam	Speu	Tyan	Ziaq	Spha	Char	Utvu	Algu
CEEM100	1	0				70					90						
CEEM100	2a	2				70					120						
CEEM100	3a	4				70		160			100						
CEEM100	4a	6	60			80		160			75						
CEEM100	5a	8				70		170			90						
CEEM100	6a	10	65			60		160			100	160					
CEEM100	7a	12				80		170									
CEEM100	2b	2				70											
CEEM100	3b	4				70		155									
CEEM100	4b	6	80			50											
CEEM100	5b	8	75			70		130									
CEEM100	6b	10				70											
CEEM100	7b	12				80						110			20		
CEEM400	1	0					100				110						
CEEM400	2a	2						140			135						
CEEM400	3a	4		90			90	160			120		60				
CEEM400	4a	6					60	160			110						
CEEM400	5a	8					60				130						
CEEM400	6a	10					50				120						
CEEM400	7a	12					85	175			150						
CEEM400	2b	2					90				120						
CEEM400	3b	4					60				160						
CEEM400	4b	6									130				10		
CEEM400	5b	8					80				130						
CEEM400	6b	10					75				140	220					
CEEM400	7b	12		90			80	130			100	220					
CEEM700	1	0											195		30		
CEEM700	2a	2						130					100				
CEEM700	3a	4					100	140			160						
CEEM700	4a	6					80	160			140	140					1
CEEM700	5a	8					100	180			150	200	170				
CEEM700	6a	10					80	150			120	190	190		25	25	
CEEM700	7a	12					90	150			150	185	180		20		n.a.
CEEM700	2b	2															
CEEM700	3b	4					110	165					190		20		

Transect	No de Distance du quadrat chemin (m)	Pola	Pogr	Sacu	Sala	Sari	Scla	Sisu	Spam	Speu	Tyan	Ziaq	Spha	Char	Utvu	Algu
CEEM700	4b	6				55	140			150						
CEEM700	5b	8				60	160			110						
CEEM700	6b	10					150			120		170				
CEEM700	7b	12				65	160			120						
CEEM1000	1	0				80	120							20		
CEEM1000	2a	2	100			100	170					250				
CEEM1000	3a	4				90						165				
CEEM1000	4a	6			100	90	180					185				
CEEM1000	5a	8				100	170									
CEEM1000	6a	10			95	35	160						3	20		
CEEM1000	7a	12			70	95	165					80	3	20		
CEEM1000	2b	2	80			45	140					120		20		
CEEM1000	3b	4				50	150					90		20	20	
CEEM1000	4b	6				60	160									
CEEM1000	5b	8			60		190			150						
CEEM1000	6b	10			70		180			140		60				
CEEM1000	7b	12			80		170			155		30				
CEEM1300	1	0				40				90		70				
CEEM1300	2a	2					120									
CEEM1300	3a	4					175	45	140							
CEEM1300	4a	6		50								180				
CEEM1300	5a	8				35			110							
CEEM1300	6a	10		5		35	160			140						
CEEM1300	7a	12				35		90	100							
CEEM1300	2b	2					170		120							
CEEM1300	3b	4				60	175		130			40				
CEEM1300	4b	6					160		130							
CEEM1300	5b	8				70	160		130			110				
CEEM1300	6b	10				60	150		130			100				
CEEM1300	7b	12				50	195	20	140	150		150				
CEEM1600	1	0				25						80				
CEEM1600	2a	2			80	30			130	150		190				1
CEEM1600	3a	4				50				150						
CEEM1600	4a	6				35			130	180						
CEEM1600	5a	8				50			130	170						
CEEM1600	6a	10				40			110	170						
CEEM1600	7a	12				80			130	160						1
CEEM1600	2b	2			60				90	120		50				
CEEM1600	3b	4			70		180		130	155						

Transect	No de Distance du quadrat chemin (m)	Pola	Poco	Pogr	Sacu	Sala	Sari	Scla	Sisu	Spam	Speu	Tyan	Ziaq	Spha	Char	Utvu	Algu
CEEM1600	4b	6						80									
CEEM1600	5b	8				85	80					210					
CEEM1600	6b	10										190	40				
CEEM1600	7b	12				85	80	110	170				50				

Transect	No de du quadrat	Distance du chemin (m)	Accea	Alpa	Bavu	Bofl	Buum	Elsm	Elca	Eqfl	Gapa	Hedu	Lemi	Lyun	Lyte	Lyth	Lysa	Miri	Nuru	Nyod	Pese	Phar
CEEM1300	1	0				3780	3420			600	5					25					15	
CEEM1300	2a	2			90	330	5355	6615		640	180			35		180						
CEEM1300	3a	4	8190			45	640			315	360			640		330						17,5
CEEM1300	4a	6	10560			450		1980		600	150			210	225							
CEEM1300	5a	8	6930				240	1800		4180	720				800							
CEEM1300	6a	10	10560				300	270		800					560		2340	135				
CEEM1300	7a	12	5320			330	600	1620		2520	17,5				5040							
CEEM1300	2b	2	2340			480	3420	720		720	20				30		30	390				
CEEM1300	3b	4	2160			40	270	1620		680					480							
CEEM1300	4b	6	10560			255	270	315		880	15				320							
CEEM1300	5b	8	7560			330	1620	300		800	25											
CEEM1300	6b	10	2340				800	960		960												
CEEM1300	7b	12	7560			320	390	300	960	880	7,5											
CEEM1600	1	0					480					2,5	0,5									
CEEM1600	2a	2		20		880	1080														2,5	15
CEEM1600	3a	4			1330		6300							0,5								
CEEM1600	4a	6					240							0,5								
CEEM1600	5a	8		680		50	3230						3									
CEEM1600	6a	10				180	6615							0,5								
CEEM1600	7a	12				360	3420							0,5								
CEEM1600	2b	2			1890	960	150														35	
CEEM1600	3b	4			540	1800	270															
CEEM1600	4b	6			320	390	7480															
CEEM1600	5b	8			360	300	7040															
CEEM1600	6b	10			2835	315	3040															
CEEM1600	7b	12			2,5	55	5040															

.../

Tableau 4 (suite)

Transect	No de quadrat	Distance du chemin (m)	Pola	Poco	Pogr	Sacu	Sala	Sari	Sela	Sisu	Spam	Speu	Tyan	Ziaq	Spha	Char	Utvu	Algu
CEEM100	1	0					560					1620						
CEEM100	2a	2					210					360						
CEEM100	3a	4					210		480									
CEEM100	4a	6	1080				640		1280			300						
CEEM100	5a	8					210		3060			225						
CEEM100	6a	10	195				1080		80			45	480					
CEEM100	7a	12					640		85			50						
CEEM100	2b	2					1260											
CEEM100	3b	4					35		77,5									
CEEM100	4b	6	240				150											
CEEM100	5b	8	225				560		65									
CEEM100	6b	10					210											
CEEM100	7b	12					3040						330				60	
CEEM400	1	0						300				880						
CEEM400	2a	2							70			5130						
CEEM400	3a	4		720				270	480			4560		30				
CEEM400	4a	6						180	480			1980						
CEEM400	5a	8						30				4940						
CEEM400	6a	10						25				4560						
CEEM400	7a	12					255		525			5700						
CEEM400	2b	2						720				2160						
CEEM400	3b	4					300	180				6080						
CEEM400	4b	6										390					30	
CEEM400	5b	8						40				2340						
CEEM400	6b	10						225				1120	19360					
CEEM400	7b	12		270				240	65			300	13860					
CEEM700	1	0												585				2640
CEEM700	2a	2					255	800	390					50				
CEEM700	3a	4							70			480						

Transect	No de quadrat	Distance du chemin (m)	Pola	Poco	Pogr	Sacu	Sala	Sari	Scla	Sisu	Spam	Speu	Tyan	Ziaq	Spha	Char	Utvu	Algu
CEEM700	4a	6				300	240	80				2520	70					3
CEEM700	5a	8					50	90				5700	600	510				
CEEM700	6a	10					40	75				2160		570		200	200	
CEEM700	7a	12					720	450				1200	555	3240		60		
CEEM700	2b	2				1980		82,5										
CEEM700	3b	4					27,5	420				2700		95		60		
CEEM700	4b	6					30	1280				880						
CEEM700	5b	8						450				960		510				
CEEM700	6b	10					195	480				2160						
CEEM700	7b	12					240	60								360		
CEEM1000	1	0					300	510						4500				
CEEM1000	2a	2					720							495				
CEEM1000	3a	4		300			270	1440						555				
CEEM1000	4a	6				1800		510										
CEEM1000	5a	8					300	510										
CEEM1000	6a	10					105	480							1,5	60		
CEEM1000	7a	12		240			47,5	1320						40	9	160		
CEEM1000	2b	2					135	420						360		60		
CEEM1000	3b	4					150	1200						270		60	60	
CEEM1000	4b	6					180	1280										
CEEM1000	5b	8				180		1520				13200						
CEEM1000	6b	10				210		1440				12320		30				
CEEM1000	7b	12				1440		510				13640						
CEEM1300	1	0					20					270		15				
CEEM1300	2a	2						2160						210				
CEEM1300	3a	4						525	22,5	1120								
CEEM1300	4a	6			7,5	150								540				
CEEM1300	5a	8			7,5		17,5			330								
CEEM1300	6a	10			15		105	480				420						
CEEM1300	7a	12					280		270	800								
CEEM1300	2b	2						10710		360								
CEEM1300	3b	4					30	525		2340				20				

Transect	No de quadrat	Distance du chemin (m)	Pola	Poco	Pogr	Sacu	Sala	Sari	Scla	Sisu	Spam	Speu	Tyan	Ziaq	Spha	Char	Utvu	Algu
CEEM1300	4b	6							1280		390							
CEEM1300	5b	8					210		480		390			330				
CEEM1300	6b	10					180		1200		8190			300				
CEEM1300	7b	12					150		585	10	420	1200		450				
CEEM1600	1	0					75							240				
CEEM1600	2a	2					240				390	9450		570				
CEEM1600	3a	4					25				2700							0,5
CEEM1600	4a	6					105				1040	15840						
CEEM1600	5a	8					25				390	10710						
CEEM1600	6a	10					20				880	10710						
CEEM1600	7a	12					640				1040	6080						3
CEEM1600	2b	2					180				45	2160		25				
CEEM1600	3b	4					210		90		1040	5890						
CEEM1600	4b	6									40							
CEEM1600	5b	8					255	240					3780					
CEEM1600	6b	10											1520	20				
CEEM1600	7b	12					255	640			330	1360		25				