

Répartition verticale des communautés de plantes aquatiques en fonction des variations de niveau du Saint-Laurent

Christiane Hudon, Jean-Pierre Amyot et Céline Plante
Section Recherche sur les Écosystèmes Fluviaux
Centre Saint-Laurent, Environnement Canada

Rapport remis à la Commission Mixte Internationale
Groupe technique sur l'environnement
Étude des niveaux du Lac Ontario et du Saint-Laurent

Mars 2003

COMMENTAIRES DES LECTEURS

Veillez adresser vos commentaires sur le contenu du présent rapport au Centre Saint-Laurent, Section Recherche sur les écosystèmes fluviaux, Environnement Canada – Région du Québec, 105, rue McGill, 7^e étage, Montréal (Québec), H2Y 2E7.

On devra citer la publication comme suit :

Hudon, C., J.-P., Amyot et C., Plante. 2003. Répartition verticale des communautés de plantes aquatiques en fonction des variations de niveau du Saint-Laurent. Environnement Canada - Région du Québec, Section Recherche sur les écosystèmes fluviaux, Centre Saint-Laurent. Rapport scientifique remis à la Commission Mixte Internationale, Groupe de travail sur l'environnement, Étude des niveaux du Lac Ontario et du Saint-Laurent, 20476 pages.

© Ministre des Travaux publics et Services gouvernementaux Canada 2003

N° de catalogue En 00

ISBN 0

Perspective de gestion

Ce rapport décrit les résultats et la méthodologie d'échantillonnage de 15 milieux humides du Saint-Laurent (entre Cornwall et le Lac Saint-Pierre) qui ont fait l'objet d'études en 1999, 2000, 2001 et 2002. Les bas niveaux extrêmes observés en 1999 et 2001 ont donné lieu à de fortes variations des communautés de plantes, dont on a tiré profit dans l'analyse. Les résultats identifient six communautés de plantes situées entre les milieux plus « terrestres » (prairie humide) et les plus « aquatiques » (herbier submergé), constituant la frange de végétation la plus sensible aux variations de niveau. Les communautés de plantes ont ensuite été liées quantitativement aux différentes variables hydrologiques déterminant leur présence, permettant de modéliser leur abondance et leur distribution, qui représentent des habitats importants des espèces animales. Enfin, ces connaissances permettront d'évaluer les effets environnementaux de différents scénarios de régularisation des débits sortants du Lac Ontario vers le Saint-Laurent.

Management Perspective

This report describes the results and sampling methodology of 15 St. Lawrence River wetlands (between Cornwall and Lake St. Pierre), which were surveyed in 1999, 2000 and 2001. Extreme low water levels recorded in 1999 and 2001 generated strong variations in wetlands plant communities, which were highlighted in the analyses. Results identify 6 plant communities located between the most « terrestrial » (wet meadow) to the most « aquatic » (submerged aquatic vegetation), which constitute the wetland fringe most susceptible to water level variations. Plant communities were then quantitatively linked to the different hydrologic variables determining their occurrence. These information allow to model the abundance and spatial distribution of the major plant communities comprised in wetlands, which represent key habitats for different faunal groups. This will lead to the assessment of the environmental effects of different water level scenarios resulting from the management of Lake Ontario water outflow into the St. Lawrence.

Remerciements

Nous tenons à remercier le personnel du Centre Saint-Laurent et les étudiants qui ont participé aux activités de terrain et de laboratoire : Alain Armellin, Michel Arseneau, Fanny Delisle, Martin Jean, Stéphane Légaré, Cedric Lemay, Alain Patoine, Dominique Poulin, Karen Sundberg et Chantal Vis.

L'aide de Martin Jean et les conseils de Pierre Gagnon ont grandement facilité l'analyse statistique des données. Guy Létourneau et Martin Jean nous ont aimablement fait partager leurs connaissances de la distribution des peuplements végétaux du fleuve. Plusieurs diagrammes ont été patiemment dessinés par Denise Seguin.

Résumé

Les années 1999 à 2002 constituent une période très particulière du point de vue de l'hydrologie si on la compare avec la moyenne des 10 ou des 40 années précédentes (figure 4, tableau 3). Les saisons 1999 et 2001 ont été exceptionnellement sèches tandis que le niveau des saisons 2000 et 2002 étaient près des valeurs moyennes (1960-2002) (tableau 3). La comparaison avec les patrons journaliers des 10 années précédentes (figure 4) révèle la très faible amplitude des crues printanières et les étiages extrêmes de fin d'été des années 1999-2002 (figure 5). Ces conditions ont engendré un assèchement marqué des milieux humides du Saint-Laurent en comparaison avec les périodes précédentes. Notons que les faibles débits de 1999 et 2001 sont du même ordre de grandeur que ceux anticipés par les scénarios de changements climatiques pour le Saint-Laurent et les Grands Lacs, avec une réduction chronique du débit de l'ordre de 40% et une baisse d'un mètre du niveau moyen (Mortsch 1998; Lofgren *et al.* 2002; NRC 2002). En relation avec les objectifs fixés, ce rapport apporte les résultats suivants :

IDENTIFIER LES GROUPES DE PLANTES RIVERAINES DU SAINT-LAURENT

- a) Au cours des 4 années d'études de terrain, 207 espèces de plantes ont été recensées entre Cornwall et Trois-Rivières (15 sites, 630 quadrats).
- b) Le nombre total d'espèces et la diversité H sont plus faibles en 1999 et 2000 qu'en 2001 et 2002, indiquant que les grands écarts inter-annuels de niveau ont engendré une augmentation générale de diversité à tous les sites. Cette tendance reflète la diminution des espèces obligatoires au profit des espèces facultatives des milieux humides en réponse aux bas niveaux de 1999 et 2001.
- c) Parmi les 76 taxa les plus fréquents, on distingue 4 catégories de plantes, dont l'abondance relative et/ou la distribution varient (ou non) en fonction des variations inter-annuelles de niveau (tableau 14, figure 28, annexe 7).
- d) Sept communautés de plantes correspondant à un gradient continu de profondeur et d'élévation ont été identifiées à partir de l'analyse de groupement, correspondant à (1) la prairie humide, (2) à une zone de transition d'espèces annuelles entre les conditions sèches et mouillées, (3) aux marais peu profonds, (4) aux marais profonds, (5) à une zone de transition dénudée, (6) à un herbier à plantes à feuilles flottantes et (7) à un herbier de plantes submergées (tableau 15, figures 29 et 30).

COMPARER LES GROUPES DE VÉGÉTATION ACTUELS AVEC LES ASSOCIATIONS DÉCRITES AVANT LA RÉGULARISATION

- a) Nos résultats correspondent avec les connaissances qualitatives des milieux humides décrites par les nombreux travaux des naturalistes oeuvrant sur les milieux littoraux, du fleuve Saint-Laurent et d'ailleurs.
- b) Avant la régularisation, les assemblages de plantes littorales à différents sites de la vallée du Saint-Laurent ont été décrits en rapport avec les variations saisonnières de niveau d'eau par Cléonique-Joseph (1936), Marie-Victorin (1934, 1943a, b), Rouleau (1945) et Dansereau (1945, 1959), avec abondance de commentaires sur l'écologie des espèces principales (tableau 16, figure 31, annexe 8).
- c) La comparaison des associations végétales de la vallée du Saint-Laurent avant 1959 et dans les conditions actuelles révèle :
 - La disparition de peuplements typiques dominés autrefois par *Calamagrostis canadensis*, *Spartina pectinata*, *Zizania aquatica*, *Equisetum* spp. Ces peuplements semblent avoir été déplacées ou remplacés par *Phalaris arundinacea*, *Lythrum salicaria*, *Schoenoplectus lacustris*.
 - Aucune différence marquante n'est perceptible dans les peuplements dominants de marais et d'herbiers à feuilles flottantes.
 - La prolifération de *Myriophyllum* spp., d'algues filamenteuses et de plusieurs espèces de *Potamogeton* dans les herbiers submergés pourrait résulter de l'eutrophisation du milieu aquatique.
 - Certaines associations végétales nouvelles sont apparues, en relation avec l'usage des îles comme pâturage estival pour les animaux domestiques et en réponse aux bas niveaux extrêmes des années 1999 et 2001.

ÉVALUER L'IMPORTANCE RELATIVE DES AUTRES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES

- a) Les caractéristiques des sédiments varient entre les sites et entre les années (annexe 10), mais n'expliquent que 11,5 % de la variance totale entre les groupes de quadrats (tableau 17). Les herbiers submergés et les marais profonds correspondent aux zones sablonneuses tandis que les marais peu profonds et les prairies humides coïncident avec les zones de sédiments plus fins et plus riches en matière organique (figure 32A).
- b) Les précipitations cumulées étaient inversement corrélées avec l'ensoleillement et le nombre de degré-jours cumulés; ces variables expliquaient le mieux les différences

entre les herbiers submergés et les groupes de plantes appartenant aux zones de transitions (prédominantes au cours de années de bas niveaux extrêmes) (figure 32B).

- c) Les milieux abrités et de faible clarté de l'eau coïncidaient avec les groupes dominés par les plantes flottantes. Cependant, les variables environnementales expliquaient seulement 9,6% de la variance totale, et n'exerçaient donc qu'un effet marginal sur les communautés de plantes.

MODÉLISER LES RELATIONS ENTRE CHAQUE GROUPE DE VÉGÉTATION ET LES VARIABLES HYDROLOGIQUES

- a) Neuf variables hydrologiques (tableau 17) parmi les 51 variables initialement calculées (tableau 10) ont été identifiées comme ayant un effet explicatif des communautés végétales.
- b) Les conditions d'immersion des quadrats expliquent 45% de la variance expliquée par le modèle : l'élévation moyenne du mois de juillet, le nombre de jours d'immersion à moyen (saison précédente), court (49 jours) et très court (14 jours) termes, la profondeur moyenne de la saison précédente y sont principalement corrélés. Cet axe distingue le mieux entre les groupes de végétation des milieux secs (prairie humide) et les herbiers constamment submergés.
- c) La variabilité du niveau, incluant plusieurs valeurs d'écart-type de profondeur et d'élévation (tableau 17) explique 24% de la variance. Cet axe définit les différences entre les assemblages de plantes de faible profondeur, étant caractérisés par de faibles (marais profonds) ou de fortes (transition dénudée) variations saisonnières et inter-annuelles de niveau (figure 32C).
- d) Une fois enlevé l'effet des variables environnementales (10%), les variables hydrologiques expliquent 24% de la variance totale des données.
- e) Des neuf variables hydrologiques précédemment identifiées, quatre ressortent de l'analyse hiérarchique comme facteurs définissant le mieux les groupes de végétation : l'élévation de juillet, la profondeur de la saison précédente, l'écart-type de la profondeur de la saison en cours et le nombre de jours submergés de la saison précédente (figure 33).
- f) La performance du modèle hiérarchique CART à classier adéquatement chaque groupes de végétation variait selon les groupes : la prairie humide (71% bien classifié), la transition annuelle (70%), la transition dénudée (79%), les marais profonds (58%) et peu profonds (45%), les herbiers à feuilles flottantes (84%) et les herbiers submergés (24%).

- g) Un examen rapide des variations inter-annuelles des 4 variables identifiées dans notre modèle pour la période 1913-2002 à Montréal (figure 34) suggère que les milieux humides ont subi d'importantes modifications au cours du XXI^{ème} siècle. Par exemple, un quadrat situé à une élévation de 0,5 m ZC aurait pu, selon les époques, supporter un marais ou une prairie humide.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Plusieurs des très nombreuses altérations imposées par l'homme au Saint-Laurent sont appelées à demeurer une partie intégrante de la réalité fluviale. Les milieux humides que nous observons maintenant sont le résultat de la somme de toutes les pressions qui ont agi au cours de années : modification aux rives et au lit du fleuve, le contrôle des embâcles, la régularisation du niveau, les espèces introduites, les apports de contaminants et d'éléments nutritifs. Néanmoins, les données hydrologiques à long terme (tableau 1, section 1.2), les descriptions des effets majeurs des embâcles dans le passé (annexe 9) et la description détaillée des associations végétales antérieures à la régularisation (annexe 8, section 5.7) permettent de reconstituer ce que les milieux humides du Saint-Laurent ont déjà été et de les comparer avec leur état actuel.

À l'avenir, nous pourrions envisager les différents facteurs qui influencent les milieux humides du point de vue de notre capacité à les contrôler et à les modifier, de façon à favoriser certaines caractéristiques environnementales perçues comme étant « désirables », parmi lesquelles se trouvent « des milieux humides diversifiés et en santé, ». On peut distinguer 3 grands types de facteurs intervenant dans les conditions environnementales passées et futures influençant (directement ou indirectement) les milieux humides du Saint-Laurent :

- L'ensemble des modifications aux rives et au lit du fleuve faites jusqu'à présent, telles que le chenal de navigation et les empiétements actuels aux rives, qui font désormais partie intégrantes de l'environnement fluvial et avec lesquels on devra composer à l'avenir;
- Les facteurs qui sont impossibles à gérer ou à prévoir de façon certaine (à date) tel que le bilan des apports hydriques à moyen et à long terme du bassin Saint-Laurent-Grands-Lacs, incluant les changements climatiques;
- Les facteurs qui peuvent être « gérés » (quoique parfois à un coût très élevé), parmi lesquels se placent la régularisation du débit et des niveaux, la demande en eau, les apports d'éléments nutritifs et de contaminants et les propositions pour continuer le dragage et accroître la capacité de la Voie Maritime.

Ces facteurs ne peuvent pas être traités séparément puisqu'ils interagissent les uns avec les autres, particulièrement en conditions de faibles apports hydriques au bassin. Pour les décennies à venir, les changements climatiques sont fortement susceptibles d'affecter le niveau moyen et le marnage saisonnier du Lac Ontario et du Saint-Laurent et, par voie de conséquences, de leurs milieux humides (Mortsch 1998). Dans ce contexte, la régularisation prend un poids d'autant plus grand qu'elle devient l'outil principal par lequel seront amplifiés ou mitigés les effets d'une pénurie d'eau, tel que prévus dans les scénarios de changements climatiques. Par exemple, en condition de faibles apports hydrologiques et d'évapotranspiration élevée, la régularisation du Lac Ontario pourrait être utilisée pour réduire, voire éliminer, la crue du Saint-Laurent au printemps pour maintenir artificiellement un niveau d'étiage plus élevé dans le fleuve en automne. Cette pratique contribuerait à réduire encore davantage l'amplitude saisonnière des niveaux sur le Saint-Laurent, tout en stabilisant autant que possible le niveau du Lac Ontario, avec des répercussions néfastes pour les milieux humides en amont comme en aval. D'autre part, si le mode de régularisation permettait au niveau du Lac Ontario de baisser pendant les périodes de faibles apports hydriques au bassin, la pression pour retenir l'eau « en réserve » en amont au printemps serait d'autant diminuée. Pour les milieux humides, les variations de niveau imposées par les apports naturels nets au bassin, en condition non régularisées, restent cependant le meilleur mode de gestion environnemental.

Abstract

The years 1999 to 2002 represent a very particular period from the standpoint of hydrological characteristics in comparison with the conditions observed for the previous 10 or 40 years (figure 4, table 3). The seasons 1999 and 2001 were exceptionally dry whereas water levels of the seasons 2000 and 2002 were close to long-term average (1960-2002) (table 3). Comparison with daily levels of the previous 10 years (figure 4) reveal the very small amplitude of spring floods and the low water levels in late summer for the years 1999-2002 (figure 5). These conditions generate an overall drying out of St. Lawrence River wetlands in comparison with past periods. It is noteworthy that the low discharge observed in 1999 and 2001 are in the same order of magnitude as the chronically low average conditions anticipated by climate change scenarios for the Great Lakes-St. Lawrence Basin, with a reduction of about 40% of annual discharge and a 1 m drop of average water level (Mortsch 1998; Lofgren *et al.* 2002; NRC 2002). According to the initial objectives, this study highlights the following results :

IDENTIFY ST. LAWRENCE RIVERINE PLANT ASSEMBLAGES

- a) Over the 4 field seasons, 207 plant species were identified between Cornwall and Trois-Rivières (15 sites, 630 quadrats).
- b) Species richness and diversity H were lower in 1999 and 2000 than in 2001 and 2002, indicating that large inter-annual differences of water levels brought a general increase in diversity at all sites. This tendency reflects a decrease in obligatory wetland species number and an increase in facultative wetland, particularly as a response to low levels of 1999 and 2001.
- c) Among the 76 most frequent taxa ($> 1\%$ of all observations), 4 plant categories can be distinguished according to their response (or lack of) to inter-annual variations of water level, either or in terms of relative abundance or in terms of distribution (table 14, figure 28, annex 7).
- d) Seven plant assemblages corresponding to a continuous gradient of elevation and water depth were identified from a cluster analysis : (1) wet meadow, (2) a transition zone dominated by annual species, (3) shallow marshes, (4) deep marshes, (5) a barren transition zone (6) submerged vegetation with floating leaves and (7) submerged vegetation (table 15, figures 29 and 30).

COMPARE CURRENT WITH PRE-REGULATION PLANT ASSEMBLAGES

- a) Our results correspond with previously acquired qualitative studies of littoral riverine plant assemblages documented for the St. Lawrence and other temperate environments.
- b) Pre-regulation plant associations for various locations in the St. Lawrence valley were described in relation with seasonal water level variations by Cléonique-Joseph (1936), Marie-Victorin (1934, 1943a, b), Rouleau (1945) and Dansereau (1945, 1959), providing numerous information on major species composition and ecology (table 16, figure 31, annex 8).
- c) Comparison of St. Lawrence River major plant assemblages before and after 1959 reveals :
 - The disappearance of several plant assemblages commonly observed in the past, characterized by *Calamagrostis canadensis*, *Spartina pectinata*, *Zizania aquatica*, *Equisetum* spp, respectively. These assemblages appear to have been displaced or replaced by *Phalaris arundinacea*, *Lythrum salicaria*, *Schoenoplectus lacustris*.
 - No difference of dominant species assemblages are perceptible for marshes and floating leaves vegetation.
 - Proliferation of *Myriophyllum* spp., filamentous algae and of several species of *Potamogeton* in submerged vegetation could result from eutrophication.
 - Previously undocumented species assemblages were observed in recent data, probably as a result of the use of islands as summer pasture for domestic animals and of extreme low levels observed in 1999 and 2001.

EVALUATE THE RELATIVE IMPORTANCE OF OTHER ENVIRONMENTAL VARIABLES

- a) Sediment characteristics varied among sites and years (annex 10), but explained only 11,5 % of total variance between plant assemblages (table 17). Submerged plants and deep marshes corresponded to more sandy substrates whereas shallow marshes and wet meadows coincided with zones of finer sediments, with a higher organic matter contents (figure 32A).
- b) Cumulative precipitation were inversely correlated with sunshine and cumulative degree-days ; these variables explained best the differences between submerged vegetation (constantly wet) and plants belonging to transition zones which predominated over dry years (figure 32B). Sheltered areas and with low water clarity coincided with groups dominated by floating leave vegetation. However,

environmental variables explained only 9,6% of total variance, suggesting they exerted a marginal effect on plant assemblages.

MODEL RELATIONSHIPS BETWEEN PLANT ASSEMBLAGES AND HYDROLOGY

- a) Nine hydrological variables (table 17) out of the 51 variables initially computed (table 10) were identified as having a relationship with plant assemblages.
- b) Immersion conditions of quadrats explain 45% of total variance of the model : average elevation in July, the number of days of immersion in the medium (previous season), short (49 days) and very short (14 days) term, the average depth of the previous growth season are particularly correlated. This axis distinguishes best between wet meadows (dried early in the season) from that of submerged plants (constantly wet).
- c) Water level variability, including several measurements of standard deviation of depth and elevation (table 17) explain 24% of the variance of the model. This axis defines differences between shallow water plant assemblages, which are characterized either by small (deep marshes) or large (barren transition zone) seasonal and inter-annual variations of water level (figure 32C).
- d) Once the effect of environmental variables (10%) is removed, hydrological variables explain 24% of total variance in observations.
- e) Of the nine previously identified hydrological variables, four are highlighted in the CART hierarchical analysis as factors defining best the plant associations : elevation in July, depth of the previous growth season, the standard deviation of the current season and the number of days submerged during the previous growth season (figure 33).
- f) The performance of the CART model to classify adequately each plant association varied among groups : wet meadows (71% properly classified), transition zone of annual species (70%), barren zone transition (79%), deep (58%) and shallow (45%) marshes, floating leaved (84%) and submerged vegetation (24%).
- g) A rapid examination of the inter-annual variations of the 4 variables identified in the CART model for the 1913-2002 interval at Montreal (figure 34) suggested that wetlands were subjected to important modifications during the XXth century. For example, a quadrat located at an elevation of 0,5 m CD could have supported, at different times, support a marsh or a wet meadow.

GENERAL CONCLUSION

Many of the numerous alterations imposed by humans on the St. Lawrence River fluvial environment are there to stay. The wetlands we observe now are the product of the various cumulative pressures whose effects have been at play over several years: alterations to river bed and shorelines, control of ice jams, water level regulation, exotic species introduction, inflow of nutrients and contaminants. Nevertheless, long-term hydrological records (table 1, section 1.2), reports on the huge effects of past ice jams (annex 9) and descriptions of pre-regulation plant assemblages (annex 8, section 5.7) allow to reconstitute what St. Lawrence River wetlands once were, and to compare it with their current state.

In the future, we could envisage the various factors influencing wetlands from the standpoint of our ability to control and modify them, so as to favour “desirable” environmental characteristics, including “healthy, diversified wetland habitats”. Factors influencing St. Lawrence River wetlands (directly or indirectly) can be divided amongst three major categories :

- The sum of all alterations made to the shorelines and river bed until the present time, such as the navigation channel, impingements on the floodplain and landfills, which have now become an integral part of the fluvial environment and will remain in the foreseeable future;
- Factors which cannot be managed or reliably forecasted in the long term (yet), such as the hydric balance of the Great-Lakes-St. Lawrence watershed, including climate change;
- Factors that can be managed (albeit sometimes at a great cost), among which are found level-discharge regulation, water demands, inflow of contaminants and nutrients, proposals for further dredging and increasing the capacity of the Seaway.

These factors obviously cannot be treated in isolation from each other since they interact with each other, especially under low water supply conditions. In the next decades, climate changes are very likely to reduce the average level and seasonal amplitude of Lake Ontario and St. Lawrence River, and consequently to affect wetlands (Mortsch 1998, this study). In this context, regulation takes on a higher importance in that it become the main tool by which the effects of low water supplies will be amplified or mitigated. For example, under low supply conditions, Lake Ontario regulation could be used to reduce (or eliminate) St. Lawrence River spring flood in order to temporarily store water to sustain late summer discharge. This practice would further reduce the seasonal amplitude of water levels in the river, while stabilizing as

much as possible Lake Ontario level, both of which have negative effects on wetlands upstream and downstream. Alternately, if regulation allowed Lake Ontario level to drop during periods of low supply to the basin, the pressure to store water upstream in the spring would be reduced, with benefits for wetlands. For the environment in general, and wetlands in particular, the closest approximation to natural (unaltered) discharge and flow regime remains the most environmentally-sound management measure.

Table des matières

RÉSUMÉ	V
ABSTRACT	X
LISTE DES FIGURES	XX
LISTE DES TABLEAUX	XXIII
DÉFINITIONS	XXV
1 INTRODUCTION	1
1.1 Contrôle hydrologique des communautés riveraines	1
1.1.1 Marécages	2
1.1.2 Prairie humide	3
1.1.3 Marais	3
1.1.4 Plantes submergées	4
1.2 Effets hydrologiques et environnementaux cumulatifs subis par le Saint-Laurent fluvial au cours du XX ^{ième} siècle	4
1.3 Objectifs	7
2 AIRE D'ÉTUDE	8
2.1 Description du milieu	8
2.1.1 Morphologie des rives	8
2.1.2 Masses d'eaux	10
2.1.3 Variations saisonnières de niveau	11
2.1.4 Conditions climatiques	11
2.1.4.1 Ensoleillement, degré-jour de croissance et précipitations	15
2.1.4.2 Indice d'assèchement	18
3 MATÉRIEL ET MÉTHODES	21
3.1 Méthodologie sur le terrain	21
3.2 Choix des sites	21
3.3 Positionnement des transects et des quadrats	22
3.3.1 Système de référence géographique	25
3.3.2 Systèmes de positionnement	25
3.4 Élévations, profil vertical et zone de rivage	26
3.5 Relevé de la végétation	26
3.6 Caractérisation des sols et des sédiments	28
3.6.1 Échantillonnage	28
3.6.2 Traitement des échantillons en laboratoire	29
3.6.3 Analyse granulométrique	29
3.6.4 Analyse de la teneur en matière organique	33
3.6.5 Analyse du pH	34

3.6.6	Analyse du phosphore total	34
3.6.7	Analyse de l'azote organique Kjeldahl	34
3.6.8	Contrôle de qualité des analyses chimiques et granulométriques	35
3.7	Caractérisation hydrologique	35
3.8	Localisation des transects et profil vertical	36
4	DESCRIPTION DES SITES D'ÉCHANTILLONNAGE	53
4.1	Lac Saint-François	53
4.1.1	Lac Saint-François – pointe Dupuis	53
4.1.2	Lac Saint-François – pointe Mouillée	54
4.2	Lac des Deux Montagnes	55
4.2.1	Lac des Deux Montagnes – île Hay	56
4.2.2	Lac des Deux Montagnes – baie des Indiens	56
4.3	Fleuve Saint-Laurent – Région montréalaise	56
4.3.1	Fleuve Saint-Laurent – Boucherville	57
4.3.2	Fleuve Saint-Laurent – Pointe-aux-Trembles	58
4.3.3	Fleuve Saint-Laurent – île aux Cerfeuil	59
4.3.4	Fleuve Saint-Laurent – Verchères	60
4.4	Lac Saint Pierre	61
4.4.1	Rive nord du Lac Saint-Pierre : Rivière-du-Loup et Pointe-du-Lac	62
4.4.2	Rive sud du Lac Saint-Pierre : Zone de la Défense Nationale	62
4.5	Analyses des données	63
5	RÉSULTATS ET DISCUSSION	68
5.1	Condition hydrologique et météorologiques au cours de la période d'étude	68
5.2	Distribution verticale des plantes émergentes et submergées	69
5.3	Diversité spécifique	69
5.4	Abondance des plantes émergentes et submergées	71
5.5	Réponse des espèces de plantes aux variations de niveau	74
5.5.1	Les plantes dont l'abondance relative et la distribution verticale ne varient pas	74
5.5.2	Les plantes dont seule la distribution verticale varie entre les années	76
5.5.3	Les plantes dont l'abondance relative et la distribution verticale varient entre les années	76
5.6	Identification des communautés de plantes	78
5.6.1	Prairie humide	82
5.6.2	Transition espèces annuelles	82
5.6.3	Marais peu profond et marais profond	83
5.6.4	Zone de transition dénudée	83
5.6.5	Herbiers à plantes flottantes	84
5.6.6	Herbiers submergés	84

		xvii
5.7	Zonation des communautés de plantes en fonction des variations de niveau d'eau	85
5.7.1	Conditions actuelles	85
5.7.2	Conditions pré-régularisation	85
5.8	Identification des variables expliquant les différences entre les communautés de plantes	89
5.8.1	Caractéristiques des sédiments	89
5.8.2	Variables climatiques et environnementales	90
5.8.3	Variables hydrologiques	90
5.9	Modèles prédictifs des communautés de plantes à partir de l'hydrologie	92
6	CONCLUSION ET ÉTAPES SUBSÉQUENTES	100
6.1	Identifier les groupes de plantes riveraines du Saint-Laurent	100
6.2	Comparer les groupes de végétation actuels avec les associations décrites avant la régularisation	101
6.3	Évaluer l'importance relative des autres variables environnementales	101
6.4	Modéliser les relations entre chaque groupe de végétation et les variables hydrologiques;	102
6.5	Conclusions générales	103
6.6	Prochaines étapes	104
	RÉFÉRENCES	106
	ANNEXES	113
	1a Niveaux d'eau et caractéristiques climatiques prévalant entre le début de la saison de croissance des plantes* et le moment où le site à été échantillonné en 1999	114
	1b Niveaux d'eau et caractéristiques climatiques prévalant entre le début de la saison de croissance des plantes* et le moment où le site à été échantillonné en 2000	115
	1c Niveaux d'eau et caractéristiques climatiques prévalant entre le début de la saison de croissance des plantes* et le moment où le site à été échantillonné en 2001	116
	1d Niveaux d'eau et caractéristiques climatiques prévalant entre le début de la saison de croissance des plantes* et le moment où le site à été échantillonné en 2002	117
	2 Localisation et caractéristiques des transects	118
	3a Répartition des transects échantillonnés en 1999 pour la zonation verticale des plantes dans les herbiers	121
	3b Répartition des transects échantillonnés en 2000 pour la zonation verticale des plantes dans les herbiers	122
	3c Répartition des transects échantillonnés en 2001 pour la zonation verticale des plantes dans les herbiers	123

3d Répartition des transects échantillonnés en 2002 pour la zonation verticale des plantes dans les herbiers	124
4 Élévations standardisées au zéro des cartes (ZC) et en rapport au niveau d'eau du jour (observée) pour l'ensemble des espèces végétales pour les quatre années	125
5 Recouvrement et hauteur de l'ensemble des espèces végétales pour les quatre années	132
6 Variations inter-annuelles (1999-2002) de la richesse spécifique, du nombre d'espèces facultatives et obligatoires ainsi que de l'indice de diversité H en fonction de la distance le long des transects	141
6a Lac Saint-François – Pointe Dupuis	142
6b Lac des Deux-Montagnes – île Hay	143
6c Lac des Deux-Montagnes – baie des Indiens	144
6d Région Montréalaise – Boucherville	145
6e Région Montréalaise – Pointe-aux-Trembles	146
6f Région Montréalaise – île aux Cerfeuil	147
6g Région Montréalaise – Verchère	148
7a Patron de variation d'abondance et d'élévation pour les 44 espèces présentant aucune variation significative d'abondance et d'élévation entre les années. La valeur p du test Kruskal-Wallis est indiqué aux axes	149
7b Patron de variation d'abondance et d'élévation pour les 8 espèces présentant des variation significative d'abondance seulement entre les années. La valeur p du test Kruskal-Wallis est indiqué aux axes	157
7c Patron de variation d'abondance et d'élévation pour les 8 espèces présentant des variation significative d'élévation seulement entre les années. La valeur p du test Kruskal-Wallis est indiqué aux axes	159
7d Patron de variation d'abondance et d'élévation pour les 7 espèces présentant des variation significative d'abondance et des variations significatives d'élévation entre les années. La valeur p du test Kruskal-Wallis est indiqué aux axes	161
8 Comparaison des groupes et associations d'espèces végétales recensées sur les rives du Saint-Laurent AVANT la régularisation par Cléonique-Joseph (1936 : espèces en italiques soulignées : associations au Lac Saint-Pierre), Dansereau (1959 : espèces en italique et commentaires sur les associations dans l'ensemble de la Vallée du Saint-Laurent) et les groupes identifiés dans le conditions actuelles (notre étude) (1999-2002)	163
9 Interactions entre l'effet des glaces, les embâcles, les conditions de niveau, l'érosion et la végétation	172
10a Caractéristiques des sédiments de 2000. Moyennes et (écart-type) des fractions granulométriques, solides volatiles, N organique, P total et pH. Les variables sont décrites aux tableaux 9 et 17	175

		xix
10b	Caractéristiques des sédiments de 2001. Moyennes et (écart-type) des fractions granulométriques, solides volatiles, N organique, P total et pH. Les variables sont décrites au tableaux 9 et 17	176

Liste des figures

1	Portion du fleuve Saint-Laurent à l'étude et localisation des sites échantillonnés	9
2	Identification et localisation des stations hydrométriques de référence	12
3	Niveaux d'eau (ZC) à 5 stations hydrométriques de référence entre les mois d'avril et octobre	13
4	Variations journalières (1 ^{er} janvier 1990 au 30 septembre 2002) du niveau d'eau selon le zéro des cartes à la Jetée no 1 de Montréal	16
5	Variations inter-annuelles du niveau d'eau selon le zéro des cartes à la Jetée no 1 de Montréal durant la période d'étude (1999-2002) et niveau moyen à moyen terme (1960 à 2002)	17
6	Localisation des stations météorologiques de référence	19
7	Cumul des heures d'ensoleillement, degré-jours de croissance, précipitations et assèchement au cours de la saison de croissance des plantes (1999-2002)	20
8	Identification des sites d'échantillonnage dans la zone d'exclusion de la Défense Nationale (secteur sud du Lac Saint-Pierre).	22
9	Positionnement le long du transect et dimension du quadrat d'échantillonnage	24
10	Projection géographique de type Mercator	25
11	Profil d'une station hydrométrique. Élévation du point X en fonction de A) niveau d'eau, B) niveau ZC, C) niveau SRIGL85. Élévation ZC (D) et SRIGL85 (E) du repère de nivellement de la station hydrométrique.	27
12	Coupe schématique d'un transect où A représente la distance horizontale de la zone de rivage et B le dénivélé entre les niveaux moyen à long terme du mois de juin (haut niveau) et septembre (bas niveau)	27
13	Localisation et profil vertical du transect à la pointe Dupuis du Lac Saint-François	38
14	Localisation et profil vertical du transect à la pointe Mouillée du Lac Saint-François. Le trait pâle indique le recul de la rive de 18 m entre 2001 et 2002	39
15	Localisation et profil vertical de transect à l'île Hay du Lac des Deux Montagnes	40
16	Localisation et profil vertical du transect à la baie des Indiens du Lac des Deux Montagnes	41
17	Localisation et profil vertical du transect à Boucherville	42
18	Localisation et profil vertical du transect à Pointe-aux-Trembles	43
19	Localisation et profil vertical du transect à l'île aux Cerfeuil	44
20	Localisation et profil vertical du transect à l'îles de Verchères	45

21 Localisation des transects au Lac Saint-Pierre et limite des plantes émergentes formant un couvert continu (ligne noire continue) et formant un couvert éparé (ligne noire pointillée) à la fin de l'été 2000	46
22 Localisation et profil vertical du transect à la Rivière du Loup du Lac Saint-Pierre	47
23 Localisation et profil vertical du transect à la pointe Lussaudière du Lac Saint-Pierre	48
24 Localisation et profil vertical du transect à la pointe d'Henri du Lac Saint-Pierre	49
25 Localisation et profil vertical du transect à la Baie-du-Febvre du Lac Saint-Pierre	50
26 Localisation et profil vertical du transect à Pointe-du-Lac du Lac Saint-Pierre	51
27 Localisation et profil vertical du transect à la pointe aux Raisins du Lac Saint-Pierre	52
28 Exemples des patrons de variations inter-annuelles d'élévation et d'abondance relative observées pour quatre espèces des milieux humides du Saint-Laurent. A) <i>Lythrum salicaria</i> , dont l'élévation l'abondance relative ne varient pas entre les années ; B) <i>Phragmites australis</i> , dont seule l'abondance varie entre les années ; C) <i>Solanum dulcamara</i> , dont seule l'élévation varie entre les années ; D) <i>Juncus</i> spp., dont l'élévation et l'abondance relative varient entre les années	75
29 Caractérisation des 7 communautés de plantes à partir de A) l'élévation mesurée (Intervalle de confiance à 95%) et B) l'élévation mise au zéro des cartes des 4 espèces de plantes les plus fréquemment observées (%) dans chaque groupe. Le code d'abréviation des espèces est indiqué au tableau 13	81
30 Schéma général montrant la localisation des communautés végétales selon les conditions de niveau moyen (2000 et 2002) ou bas (1999 et 2001)	86
31 Schéma général montrant la localisation des associations végétales au Lac Saint-Louis (tiré de Dansereau 1945). Les diverses espèces ne sont pas à l'échelle. Les lignes ondulées indiquent le niveau de l'eau : a) en mai; b) en juin; c) en novembre; d) en juillet-août-septembre; e) à la fin de septembre et au début d'octobre. Les espèces typiques de chaque association sont énumérées au tableau 16.	88
32 Analyse canonique des correspondances reliant A) les variables sédimentaires, B) les variables environnementales et C) les variables hydrologiques une fois l'effet des variables environnementales prélevé au sept groupements végétales	95
33 Système hiérarchique permettant de reconstituer les principales communautés de plantes des rives du Saint-Laurent à partir des conditions hydrologiques affectant chaque parcelle de territoire	96
34 Valeurs à long terme (1913 à 2002) des quatre variables utilisées dans l'arbre décisionnel pour une parcelle dont l'élévation (ZC) est de 50 cm. Les limites de division de l'arbre sont indiquées par un trait discontinu avec leur valeur dans la marge droite	99

35 Représentation schématique des phases de l'évolution récente des rives, en fonction des effet cumulatifs et des interactions entre le niveau, les embâcles dues à la glace et l'érosion.

173

Liste des tableaux

1	Nombre de jours pour chaque tranche de 50 cm de niveau pour chaque période de 10 ans au Port de Montréal (Jetée no 1)	5
2	Stations hydrométriques de référence, identification, codes et élévation du repères de nivellement	14
3	Niveau d'eau estival* (ZC) pour les années 1999, 2000, 2001 et 2002 et niveau moyen à long terme (1960 à 2002)	15
4	Fréquence d'échantillonnage et nombre d'espèces végétales identifiées à chaque site	23
5	Cotes de recouvrement et surface d'occupation correspondante utilisées dans l'estimation de l'abondance des espèces de plantes	29
6	Estimation des hauteurs des espèces végétales submergées aux différents sites	30
7	Regroupement des espèces similaires	32
8	Nombre d'échantillons de sol et sédiments récoltés pour la caractérisation granulométrique, physique et chimique	33
9	Méthodes analytiques et limite de détection utilisées pour la caractérisation des sédiments	35
10	Variables décrivant l'historique hydrologique de chaque quadrat échantillonné	37
11	Sommaire des principales caractéristiques de chaque herbier	64
12	Résultats des ANOVA sur les résidus de la richesse en espèces, du nombre d'hydrophytes obligatoires, facultatives et de la diversité H. L'utilisation des résidus permet d'extraire l'effet inter-site sur ces mesures. Les différences par paires d'années ont été analysées par le test Tukey. Les moyennes associées à des lettres semblables ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$)	70
13	Occurrence et abondance relative des 76 taxa regroupés les plus fréquemment retrouvés (>1 % des quadrats) échantillonnés en 1999, 2000, 2001 et 2002. Le code désignant chaque taxon est utilisé dans les figures	72
14	Caractérisation du patron de variation de l'abondance relative et de la distribution verticale des espèces. Seules les 67 espèces présentes aux quatre années sont représentées	77
15	Description des communautés de plantes dominantes identifiées par l'analyse de groupement. Pour chaque groupe, on indique les 10 espèces apparaissant le plus fréquemment en identifiant si elles varient ou non entre les années la gamme d'élévation mesurée lors de l'échantillonnage et la gamme d'élévation par rapport au zéro des cartes (ZC)	79

- 16 Description des espèces formant les associations végétales du Lac Saint-Louis, avant les modifications anthropiques majeures. Les lettres de chaque groupe réfèrent à la figure 31 87
- 17 Résultats des analyse des correspondances. Variable dépendante = présence/ absence des 7 communautés de plantes. Trois modèles sont présentés : ACC1 variables des sédiments seulement , ACC2 = variables environnementales autres qu'hydrologiques et sans variables des sédiments, et ACC3 = variables hydrologiques 92

Définitions

Angle de direction. - Angle horizontal mesuré à partir d'un point situé sur une ligne de direction connue jusqu'à une autre ligne issue du même point d'observation. Cet angle est compté à partir du Nord dans le sens des aiguilles d'une montre (sens horaire) ou dans le sens inverse (sens antihoraire). Pour le navigateur et l'arpenteur, la direction est mesurée selon le quadrant et n'est jamais supérieure à 90°. Les angles peuvent se compter à partir du nord géographique, du nord du quadrillage ou du nord magnétique. Les termes «angle de direction» et «cap» ont à peu près le même sens, sauf que le premier est mesuré à partir d'un point fixe, tandis que le cap désigne la direction dans laquelle se déplace un objet.

Chart Datum. - représentant le niveau de référence auquel sont rapportées les profondeurs inscrites sur une carte maritime. Est appelé zéro des cartes en français.

Déclinaison magnétique. - Angle entre le nord géographique et le nord magnétique (direction de l'aiguille d'une boussole) au lieu d'observation. Cet angle varie dans l'espace et dans le temps, en raison du phénomène de la migration du pôle nord magnétique.

Géocodage. - Opération qui consiste à mettre en relation des données représentées par des coordonnées cartésiennes sur une carte plane avec des coordonnées géographiques connues.

GPS. - Système de positionnement global. Méthode de positionnement fondée sur l'observation d'une constellation de 24 satellites en orbite géostationnaire au-dessus de la Terre. Un récepteur spécialement conçu à cette fin, stationné sur un point de la surface terrestre, mesure la distance entre ce point et trois ou plusieurs satellites. Les coordonnées de ce point sont déterminées au moyen de calculs géométriques basés sur le principe de la triangulation. Le système GPS peut fournir des données géodésiques précises sur n'importe quel point de la surface terrestre.

NAD 83. - Système de référence nord-américain de 1983. Le NAD 83 est un nouveau système de référence basé sur un nouveau sphéroïde (GRS80); il s'agit d'un système géocentrique sans point origine ni direction initiale, qui remplace le système de référence nord-américain de 1927. Les canevas et les cartes sont actuellement révisés pour être convertis au NAD 83.

Nivellement. - Opération de levé qui consiste à déterminer l'altitude de points ou d'objets par rapport à un niveau de référence déterminé (ici le zéro des cartes maritimes)

Repère de nivellement. - Disque de laiton ou de bronze portant des inscriptions, de forme généralement arrondie, fixé dans une base en béton, dans le substratum rocheux ou dans toute autre structure permanente, et qui sert à matérialiser un point dont on a mesuré avec précision la hauteur par rapport à une surface de référence reconnue (SRIGL85).

SRIGL85. Le Système de Référence International des Grands Lacs (1985), indique l'élévation des points de référence (ou du niveau de l'eau en un point donné) par rapport au niveau moyen de la mer, tels que mesuré en 1985 (IGLD85- International Great Lakes Datum 1985).

UTM. - Système de quadrillage métrique qui permet d'attribuer une paire de coordonnées unique à n'importe quel point de la surface terrestre compris entre 84° de latitude Nord et 80° de latitude Sud. Basé sur la projection transverse de Mercator, il est couramment utilisé sur la plupart des

cartes topographiques civiles et militaires à grande échelle. Les coordonnées UTM d'un point peuvent être exprimées à un mètre près par une valeur alphanumérique à 15 caractères, mais elles sont généralement déterminées avec une précision de 100 mètres. Ce quadrillage découpe le globe en 60 fuseaux de 6° de largeur, numérotés de 1 à 60 vers l'est à partir du méridien de 180°. Chaque fuseau est lui-même découpé de 22 bandes horizontales de 8° de hauteur, qui ont reçu les lettres C à X du sud au nord. Dans chaque fuseau, on calcule une projection transverse de Mercator et on fixe un méridien central. Dans chacun on superpose un quadrillage kilométrique ayant pour origine le point d'intersection de l'équateur et du méridien central. Ce quadrillage mesure 1 000 000 mètres dans l'axe est-ouest et 20 000 000 mètres dans l'axe nord-sud, le méridien central coïncident avec la ligne de 500 000 mètres. Dans chaque zone, la forme et la dimension des carrés du quadrillage sont constantes (d'où le qualificatif «universel»). Les coordonnées des points ont la forme suivante : numéro du fuseau (de 1 à 60) flanqué de la lettre correspondant à la bande (C à X), suivis de deux lettres désignant le carré de 100 kilomètres le plus proche, suivies à leur tour des valeurs d'abscisse et d'ordonnée mesurées à partir du coin sud-ouest du carré de 100 km. On emploie un rapporteur de coordonnées pour faciliter la détermination de ces valeurs. Selon l'échelle de la carte, les coordonnées peuvent être exprimées à un mètre près. Par exemple, pour exprimer des coordonnées à ce niveau de précision, on peut utiliser la notation suivante : «11U NF 84000/55400», où 11U désigne le fuseau et la bande, NF le carré de 100 kilomètres, 84000 l'abscisse et 55400 l'ordonnée (les éléments se lisent toujours dans cet ordre). Pour déterminer la position d'un point situé dans une région polaire non couverte par le quadrillage UTM, on peut utiliser le système de quadrillage universel polaire stéréographique (UPS).

Zone de rivage. - Zone d'influence des fluctuations saisonnières des niveaux d'eau (voir aussi Section 3.4).

1 Introduction

1.1 CONTRÔLE HYDROLOGIQUE DES COMMUNAUTÉS RIVERAINES

L'hydrologie est de loin le facteur déterminant de la structure et de la composition des communautés de plantes riveraines et a été reconnu comme tel de très longue date (Marie-Victorin 1934, 1943a, Dansereau 1945, 1959). Dans le cas du Saint-Laurent comme pour de nombreux cours d'eau des régions tempérées, la régularisation a engendré une hausse des minima estivaux (pour maintenir la navigation commerciale) et une baisse des maxima de la crue printanière (pour minimiser les inondations des riverains) (Hudon 1997). L'amplitude des variations saisonnières de niveau joue un rôle majeur dans la détermination des communautés ripariennes, dont la distribution peut changer substantiellement en réponse aux changements des niveaux minimum et maximum, même si le niveau annuel moyen reste stable entre les années (Auble *et al.* 1994). Selon leur étagement sur le littoral, les communautés végétales sont plus ou moins sensibles aux niveaux maximum de crue printanière (plantes ligneuses et émergentes herbacées) ou minimum d'étiage estival (plantes submergées).

La composition spécifique de la végétation est couramment utilisée pour délimiter la ligne des hautes eaux (Reed 1988), qui fait l'objet de réglementation provinciale (Gauthier 1997) et dont l'usage a été maintes fois utilisé dans le passé dans un cadre légal (A. Bouchard, Dép. des Sciences Biologiques, Université de Montréal, communication personnelle). Bien que les relations entre l'hydrologie et les communautés aient été abondamment décrites de manière qualitative, il existe relativement peu d'études quantitatives permettant de prédire les communautés de plantes à partir de certaines caractéristiques précises de l'hydrogramme (par exemple, la durée, le moment ou la hauteur de la crue ou de l'étiage) (Painter et Keddy 1992; Bedford 1996; Toner et Keddy 1997). Ces relations sont pourtant essentielles pour évaluer les impacts de différentes méthodes de gestion des débits-niveaux des cours d'eau.

Les variations de niveau à échelle saisonnière, inter-annuelle et décennale déterminent la position verticale de chacun des groupes de végétation qui forment des bandes parallèles le long du rivage (Herdendorf *et al.* 1981). Selon les conditions de niveau, ces bandes se déplacent vers le haut (haut niveau) ou vers le bas (bas niveau), occupant une superficie qui varie selon le profil et la pente du rivage. La « migration » des marécages vers des élévations plus élevées en

conditions de haut niveau ne peut évidemment se faire qu'en l'absence de modifications humaines empiétant sur le rivage naturel et la plaine inondable, ce qui se produit fréquemment au cours des périodes de bas niveaux précédant une hausse. Avec le temps, la zone disponible pour le développement des milieux humides se trouve par conséquent de plus en plus confinée vers le bas de pente, comme par exemple, dans le cas des rivages urbanisés du Lac Saint-Louis.

1.1.1 Marécages

Les marécages arborés et arbustifs sont des milieux qui sont inondés suffisamment longtemps pour tuer les espèces typiquement terrestres, mais pas assez longtemps pour tuer les espèces tolérantes (Keddy 2000). Ces peuplements regroupent un nombre d'espèces de plantes ligneuses relativement faible mais très caractéristiques, telles que *Acer saccharinum*, *Acer rubrum*, *Populus deltoides*, *Salix* spp., *Alnus* spp. En raison de ces contraintes, la durée, le timing et le nombre de crues sont les variables déterminantes de ces peuplements. En amont d'Ottawa sur la Rivière des Outaouais, Toner et Keddy (1997) ont déterminé que la présence d'un couvert ligneux (marécages arborés et arbustifs) était corrélé négativement avec la durée de la première crue (en utilisant soit le dernier jour de la première crue ou la fraction de la période de croissance en crue, qui sont corrélés à $r = 0,83$, $p < 0,001$) et positivement avec le début de la seconde crue survenant au cours de la saison de croissance. Plus la période d'inondation printanière était prolongée, plus faible était la probabilité de survie des arbres, avec une survie pratiquement nulle au delà de 80 jours d'inondation (41-43% de la période de croissance). Sur l'Outaouais, les crues ne sont pas restreintes à la période printanière de la fonte des neiges et peuvent se produire au cours de la saison de croissance. Cette gamme est en accord avec les résultats de Hall et Smith (1955) qui indiquent que les crues persistantes pour plus de 40-45% de la saison de croissance (1^{er} avril-1^{er} octobre) empêchent la croissance des espèces d'arbres les plus tolérantes de leur étude (*Planera aquatica*, *Salix nigra*, *Quercus lyrata*). De plus, Toner et Keddy (1997) démontrent que la survie des arbres est meilleure en maximisant la durée de l'intervalle entre la première et la seconde crue (ou mieux, quand il n'y a pas de seconde crue durant la saison de croissance). En bref, le couvert arborescent et arbustif est favorisé par les crues hâtives, de courtes durées, voire leur absence complète.

1.1.2 Prairie humide

Les prairies humides remplacent les marécages aux élévations plus faibles, là où les conditions d'inondations ne permettent pas la survie des plantes ligneuses (Keddy 2000). Les prairies humides sont les milieux littoraux où on trouve la plus grande richesse spécifique, avec une grande abondance de graminées et de plantes annuelles qui dépendent de la banque de graines pour germer. Pour la plupart des espèces, les graines ne peuvent germer sous l'eau et requièrent que l'eau se soit retirée pour germer et compléter leur cycle vital dans le court intervalle entre le retrait estival des eaux, le déclin de température et de la durée du jour (Keddy et Reznicek 1986, van der Valk et Davis 1978). En l'absence prolongée de crue ou d'autres perturbations telle que les feux ou l'érosion des glaces, cette zone se fait envahir en quelques années par les plantes ligneuses; ceci a été observé en particulier après la stabilisation du niveau au Lac Saint-François (Jean et Bouchard 1991).

1.1.3 Marais

Alors que les prairies humides ne sont inondés qu'au printemps et s'assèchent pour le plus clair de l'été, les plantes de marais sont inondées pour la plus grande partie de la saison de croissance. Les conditions de niveau dans lesquelles on retrouve chaque espèce ont été inventoriées en détail dans la revue de Kelsall et Leopold (2002). Les émergentes de grande taille tolèrent les sols saturés d'eau et affichent une réponse positive à l'accroissement de la profondeur jusqu'à un optimum qui varie entre 1 cm et 2 m selon l'espèce. Les émergentes robustes sont pour la plupart dotées d'un système souterrain suffisamment développé pour leur permettre de tolérer l'émersion et la sécheresse pour une saison de croissance. Par ailleurs, l'accroissement de profondeur au delà de l'optimum réduit la capacité de transport de l'oxygène jusqu'aux racines et accroît le stress imposé par l'anoxie des racines, jusqu'à une profondeur au delà de laquelle les plantes émergentes ne peuvent survivre. L'accroissement du niveau d'eau pour des périodes plus ou moins prolongées (allant de quelques mois à quelques années) constitue donc une méthode efficace pour éliminer les plantes émergentes robustes à fort développement clonal, telles que *Typha* spp.

Dans les milieux où les niveaux varient naturellement, la superficie couverte par *Typha* est aussi contrôlée par le rat musqué, qui se nourrit abondamment de cette plante ainsi que des autres émergentes de grande taille qui partagent le même habitat (van der Valk et Davis 1978).

En l'absence de variations de niveau, *Typha* spp. a tendance à former un couvert dense et continu sur le littoral, excluant les autres espèces de plantes; cette situation est particulièrement fréquente dans les secteurs abrités et enrichis d'éléments nutritifs. La prolifération de *Typha* spp. ou d'autres espèces d'émergentes de grande taille à croissance clonale agressive (telle que *Phragmites australis*) réduit en outre la diversité du couvert végétal pour la faune.

1.1.4 Plantes submergées

L'assèchement ou la diminution du niveau d'eau constitue une manière très efficace de contrôler la biomasse des plantes submergées croissant le long du rivage (Cooke 1980). Alors que les plantes émergentes robustes peuvent tolérer l'exondation en raison de leur système souterrain très élaboré, les plantes submergées ne peuvent résister à l'exondation au delà de quelques jours. Le contrôle des plantes est d'autant plus efficace si la baisse de niveau se produit en hiver, puisque les structures souterraines et propagules des plantes aquatiques gèlent en profondeur avec le sol, ce qui ralentit leur re-colonisation du littoral une fois le niveau revenu à la moyenne. L'effet combiné du gel et la hausse brusque du niveau constitue une autre méthode de contrôle rapide des plantes submergées, permettant d'arracher les plantes lorsque le couvert de glace se soulève par la hausse du niveau (Nichols 1991). Si le niveau moyen reste stable pendant plusieurs années, la biomasse des plantes submergées s'accroît progressivement, avant d'atteindre la biomasse maximale au bout de 1-2 ans.

1.2 EFFETS HYDROLOGIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX CUMULATIFS SUBIS PAR LE SAINT-LAURENT FLUVIAL AU COURS DU XX^{ÈME} SIÈCLE

Les sections précédentes décrivent la place prépondérante occupée par l'hydrologie parmi les facteurs environnementaux ainsi que la complexité des variables intervenant dans la définition des communautés végétales du Saint-Laurent. Cependant, les effets de l'hydrologie en général, et de la régularisation, en particulier, doivent être évalués de façon précise pour déterminer l'impact réel de différents modes de gestion sur les milieux humides du Saint-Laurent.

Un examen sommaire, par tranche de 10 ans et de 50 cm d'élévation, des conditions journalières de niveau du Saint-Laurent dans la région de Montréal (Port de Montréal, Jetée no 1) entre 1913 et 2002 (tableau 1) permet de constater que l'amplitude des variations de niveau a considérablement diminué au cours de la période de mesure. Dans la décennie 1913-1922, le

niveau de l'eau était > 5,5 m au dessus du zéro des cartes bathymétriques (ZC) pour 166 jours, soit environ 2 semaines par année. Ces niveaux ont rarement été dépassés pendant les périodes sèches des années 1933-1942 et 1963-1972, après laquelle l'inondation maximale a chuté à 4,5 m ZC en 1973-1982. Depuis 1983, l'inondation ne dépasse pas le seuil de 3,5 m ZC.

Par ailleurs, la fréquence des bas niveaux s'est accrue notablement au cours de la même série, affichant des niveaux < 0 m ZC pour 131 jours au cours de la décennie 1953-1962 et > 395 jours pour les décennies 1963-1972 et 1993-2002.

Tableau 1
Nombre de jours pour chaque tranche de 50 cm de niveau pour chaque période de 10 ans au Port de Montréal (Jetée no 1)

Niveau ZC	de à	1913	1923	1933	1943	1953	1963	1973	1983	1993
		1922	1932	1942	1952	1962	1972	1982	1992	2002
de	à									
8	8,5	1	1							
7,5	8	2	5		1					
7	7,5	7	5		7	4				
6,5	7	13	16	2	17	12				
6	6,5	45	48	10	32	28				
5,5	6	98	69	8	79	57	4			
5	5,5	184	108	27	103	81	12			
4,5	5	176	189	60	139	87	31			
4	4,5	178	191	92	156	116	31	5		
3,5	4	225	189	205	244	81	43	32		
3	3,5	132	168	242	228	127	71	75	7	19
2,5	3	171	161	289	118	142	93	208	70	81
2	2,5	178	144	282	150	204	192	408	188	171
1,5	2	277	332	242	304	289	552	598	521	362
1	1,5	501	571	299	727	562	660	1394	1200	811
0,5	1	864	796	556	993	905	966	815	1194	1111
0	0,5	600	660	1338	355	809	558	117	461	693
-0,5	0	0	0	0	0	131	440	0	10	396

Les facteurs pouvant être invoqués pour expliquer la diminution de l'amplitude des variations de niveau sont nombreux :

- L'excavation du chenal principal a été faite de façon progressive et s'est particulièrement intensifiée au cours du XXI^{ème} siècle. En 1907, le chenal de navigation entre Québec et Montréal mesurait 9,1 m de profondeur et 140 m de largeur. En 1952, ce même chenal avait été approfondi à 10,7 m et élargi à 150 m (Lasserre 1980). En 2003, le chenal mesure 11,3 m de profondeur par 245 m de largeur;
- les niveaux sortants du Lac Ontario sont régularisés depuis 1958;
- le chenal de navigation est maintenu libre de glace pendant l'hiver jusqu'à Montréal et les embâcles sont contrôlées par la Garde Côtière Canadienne depuis le début des années 1960;
- les variations climatiques naturelles (température, précipitations, couvert de glace, évaporation) font en sorte que les apports hydriques nets au bassin Grands-Lacs–Saint-Laurent varient entre des conditions d'apports élevés et faibles, sur des intervalles d'environ 30 ans (Moulton et Cuthbert 1987, Mortsch 1998, Lofgren et al. 2002).

Les effets cumulatifs de tous ces facteurs font en sorte que le marnage saisonnier du Saint-Laurent a été réduit de moitié au cours du XX^{ème} siècle, avec des conséquences potentiellement importantes sur les milieux humides du Saint-Laurent. Plusieurs auteurs (Marie-Victorin 1934, Dansereau 1945, Desrosiers et Bégin 1992) soulignent en outre le rôle majeur que jouaient les embâcles de glace sur la végétation littorale du Saint-Laurent ainsi que la complexité des interactions entre les conditions climatiques, les interventions humaines et les milieux humides (annexe 9).

L'évaluation des impacts de différentes méthodes de gestion des débits-niveaux doit être faite en rapport avec une « condition de référence » des communautés de plantes, telles qu'elles auraient été en l'absence de modification hydrologique, mais en tenant compte de tous les autres facteurs d'influence (climatique, chimique, biologique, édaphique) des communautés végétales. Outre les facteurs hydrologiques énumérés ci-dessus, de nombreux changements environnementaux ont pris place dans le Saint-Laurent depuis le début du XXI^{ème} siècle :

- Les apports d'éléments nutritifs et de contaminants ont varié de façon importante au cours des 50 dernières années, affichant (pour plusieurs substances) un accroissement généralisé dans le temps avec des valeurs maximales au cours des années 1970 et une diminution subséquente (Carignan et al. 1994). Des diminutions notables des teneurs en phosphore et en contaminants sont perceptibles dans les études plus récentes (Cossa et al. 1998);

- De très nombreuses espèces exotiques ont été introduites dans le système Saint-Laurent–Grands Lacs au fil des années (de Lafontaine et Costan 2002). Plusieurs espèces de plantes des milieux humides, telles que le Butome à ombelles, la salicaire pourpre et le *Myriophyllum exalbescens* sont établies depuis assez longtemps pour faire partie intégrante des communautés fluviales (Marie-Victorin 1995);
- Il est fort probable que des changements notables de flux de sédiments ont eu lieu au fil des ans en réponse aux modifications des rives et du lit du fleuve ainsi qu'en fonction des modifications de l'usage des terres dans le bassin (Désilets et Langlois 1989, Bérubé 1992, Primeau 1996). Le changement des flux de sédiments résultant de l'intensification des activités agricoles s'accompagne en outre de changements dans les flux de pesticides et de phosphore (Cossa et al. 1998).

Il est donc essentiel de discerner les changements qui sont dus principalement à la modification de l'hydrologie de ceux résultant des autres facteurs confondants, même s'il s'agit d'effets complexes et prenant place simultanément.

1.3 OBJECTIFS

Les objectifs de cette étude sont de :

1. Identifier les groupes de plantes riveraines correspondant à chaque strate de végétation le long des rives du Saint-Laurent;
2. Comparer les groupes de végétation observés dans notre étude avec les associations décrites dans les études datant de la période antérieure à la régularisation;
3. Évaluer l'importance relative des différentes variables environnementales (climat, exposition, clarté de l'eau, type de sédiments) pour la définition des groupes de végétation;
4. Quantifier/modéliser les relations entre chaque groupe de végétation et les variables hydrologiques;
5. Identifier les étapes subséquentes du travail requis pour l'étude Lac Ontario-Saint-Laurent de la CMI.

2 Aire d'étude

2.1 DESCRIPTION DU MILIEU

La portée géographique de l'étude couvre le tronçon fluvial allant de Cornwall à Trois-Rivières, en incluant le secteur du Lac des Deux Montagnes (figure 1). La variété morphologique des milieux riverains, la présence de masses d'eaux distinctes affichant des variations de niveau saisonnières et inter-annuelles importantes sont des caractéristiques distinctives du Saint-Laurent. Ces caractéristiques combinées aux facteurs météorologiques régionaux affectent les milieux humides différemment selon leur localisation dans le système du Saint-Laurent.

2.1.1 Morphologie des rives

L'alternance de Lacs fluviaux et de corridors plus étroits constitue une caractéristique qui accroît grandement la diversité des habitats riverains du Saint-Laurent. Les Lacs fluviaux possèdent une pente très douce qui se prête à la formation d'une plaine d'inondation saisonnière importante dans les secteurs du fleuve où le débit n'est pas entièrement régularisé. En raison de leur vaste superficie et de leur profondeur moyenne relativement faible, les Lacs fluviaux présentent des rives très vulnérables à l'effet des vagues générées par le vent, particulièrement dans l'axe nord-est–sud-ouest, qui représente l'axe du corridor principal du fleuve. La zone de rivage, délimitée verticalement par la différence entre les hauts niveaux de juin et l'étiage de septembre (Keddy et Reznicek, 1986), représente une étendue horizontale considérable qui s'avère très sensible aux fluctuations de niveaux. L'effet du courant et des vagues engendrées par la navigation (batillage) ne se font, par contre, pratiquement pas sentir dans ces secteurs.

En contraste, les tronçons fluviaux possèdent des rives plus abruptes et mieux définies, réduisant d'autant l'étendue horizontale correspondant à la zone verticale de rivage et les superficies inondées au printemps. Les nombreuses îles dans le tronçon fluvial permettent cependant la croissance d'herbiers aquatiques de part et d'autres des chenaux abrités et peu profonds qui les séparent. La faible largeur du tronçon fluvial permet aux herbiers littoraux de croître à l'abri du vent, quoiqu'ils subissent en revanche les effets de la vitesse de courant plus élevée et de l'érosion des rives dues aux vagues provenant du batillage et aux mouvements des glaces.

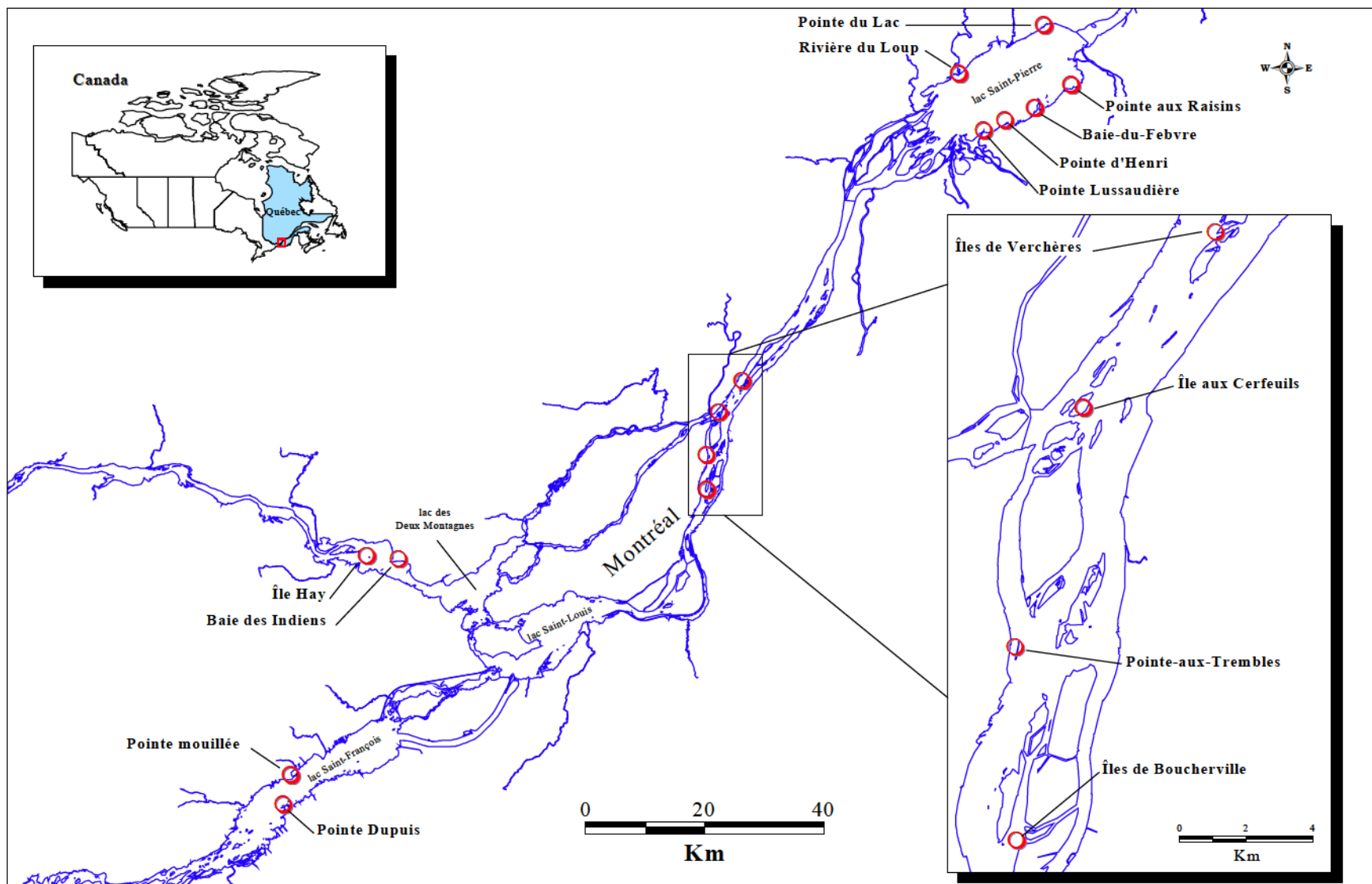


Figure 1 Portion du fleuve Saint-Laurent à l'étude et localisation des sites échantillonnés

2.1.2 Masses d'eaux

Selon leur localisation dans le tronçon à l'étude, les sites subissent l'influence de différentes masses d'eau. Les eaux du Lac Saint-François proviennent presque entièrement des Grands Lacs. Le bassin des Grands Lacs est composé en grande partie de roches carbonatées relativement solubles, ce qui engendre des concentrations relativement élevées de matières dissoutes. Ces minéraux dissous et les argiles très fines en suspension donnent à ces eaux leur couleur verte caractéristique. Ces eaux d'une très grande clarté sont pauvres en phosphore et témoignent de la réduction considérable des charges de cet élément dans le bassin des Grands Lacs depuis les années 1970 (Carignan *et al.* 1994).

Les eaux du Lac des Deux Montagnes proviennent de la rivière des Outaouais et drainent le Bouclier Canadien qui est composé de roches ignées et métamorphiques peu solubles. En outre, l'abondance de carbone organique dissous et de matière en suspension dans ces eaux leur confère une coloration brune qui les distingue des eaux vertes provenant des Grands Lacs. Par ailleurs, les eaux brunes sont moins dures et ont une conductivité plus faible que les eaux vertes. De plus, les activités agricoles dans le bassin et la présence d'agglomérations urbaines importantes, telles qu'Ottawa-Hull (Primeau, 1996), apportent des quantités appréciables d'éléments nutritifs à ces eaux brunes naturellement pauvres, les rendant plus riches en phosphore total que les eaux du Lac Saint-François (Cossa *et al.* 1998). Le Lac des Deux Montagnes reçoit en outre les eaux de la rivière du Nord qui se déverse en aval du barrage de Carillon (Bérubé, 1992).

Dans la région de Montréal, on observe la confluence des eaux vertes (lac Saint-François) et des eaux brunes (lac des Deux Montagnes). Une partie des eaux du Lac des Deux Montagnes pénètre dans le Lac Saint-Louis par le canal Sainte-Anne, longeant la rive nord du Lac en se mélangeant progressivement à la masse d'eau principale (Désilets et Langlois, 1989; Fortin, 1995). Les eaux brunes du Lac des Deux Montagnes alimentent aussi les rivières des Prairies et des Mille Îles, qui se jettent dans le Saint-Laurent en aval de l'île de Montréal (Repentigny) où elles continuent à longer la rive nord du fleuve.

Dans la plus grande partie du cours du Saint-Laurent, le type d'écoulement des eaux ne permet pas un mélange transversal important. Chaque masse d'eau garde ses caractéristiques physico-chimiques propres, quoiqu'on retrouve, dans la portion centrale du tronçon, des eaux mixtes constituées du mélange des deux masses d'eau principales. Les eaux mixtes possèdent des

caractéristiques physico-chimiques intermédiaires, variant selon l'importance de chacun des constituants. Ce gradient transversal de la chimie des eaux se forme à la confluence avec l'Outaouais dans l'archipel d'Hochelaga et se poursuit au-delà du Lac Saint-Pierre, limite est du secteur à l'étude. À cet endroit, la charge en matières en suspension et en éléments nutritifs est enrichie dans la région sud du Lac par un apport considérable provenant des eaux des rivières Richelieu, Yamaska et Saint-François dont les bassins abritent une activité agricole intense.

2.1.3 Variations saisonnières de niveau

Plusieurs stations hydrométriques enregistrent les niveaux d'eau du fleuve en permanence. Cinq stations hydrométriques ont été utilisées (figure 2 ; tableau 2) pour décrire les patrons saisonniers des niveaux d'eaux dans l'ensemble du territoire (figure 1). La variation saisonnière des niveaux d'eaux diffère le long de l'axe amont-aval du fleuve (figure 3). Le niveau du Lac Saint-François, stabilisé depuis 1958 à 46,7 m au-dessus du niveau de la mer (SRIGL85) par les barrages de Moses-Saunders (en amont) et de Beauharnois (en aval), subit un marnage saisonnier $< 0,30$ m. Par contraste, le Lac des Deux Montagnes (Rivière des Outaouais) présente un niveau moyen de 22,1 m (SRIGL85) et affiche un marnage saisonnier de l'ordre de 2 m. À partir de Montréal, les variations de niveaux du Saint-Laurent résultent de l'influence combinée de la rivière des Outaouais et des nombreux tributaires dont les débits s'ajoutent à celui du fleuve au fur et à mesure que l'on se déplace vers l'aval (MPO, 1996), (figure 3 ; tableau 3). On observe de plus des fluctuations temporelles appréciables de niveau autant à échelle journalière et saisonnière (figure 4) qu'à échelle inter-annuelle (figure 5).

2.1.4 Conditions climatiques

Les basses terres du Saint-Laurent se situent entre les bordures méridionales et septentrionales du Bouclier Canadien (au nord) dont les sommets culminent à quelque 900 m d'altitude et la région montagneuse des Appalaches (au sud) avec une altitude moyenne de 400 m. Du point de vue climatique, le bassin du Saint-Laurent, sous l'influence des Grands Lacs et de la région nord des États-Unis, est soumis à une circulation prédominante des vents d'ouest où alterne le passage de systèmes de haute et de basse pression. A l'occasion, les systèmes météorologiques apportent des conditions nuageuses, fraîches et humides en provenance de l'Atlantique Nord et entrant dans la province via le Labrador. Les écarts de températures entre les

mois chauds et froids sont très marqués à l'intérieur des terres. La période hivernale dans la région sud du Québec se prolonge sur un peu plus de 4 mois avec une accumulation des précipitations sous forme de neige atteignant de 200 à 400 cm. Par contre, la région sud présente des étés doux sans saison sèche proprement dite. Les précipitations totales annuelles peuvent cumuler à plus de 1 200 mm sur les reliefs bordant le Saint-Laurent alors que l'ensoleillement moyen annuel s'élève à quelque 2 000 heures (Bergeron *et al.* 1997).

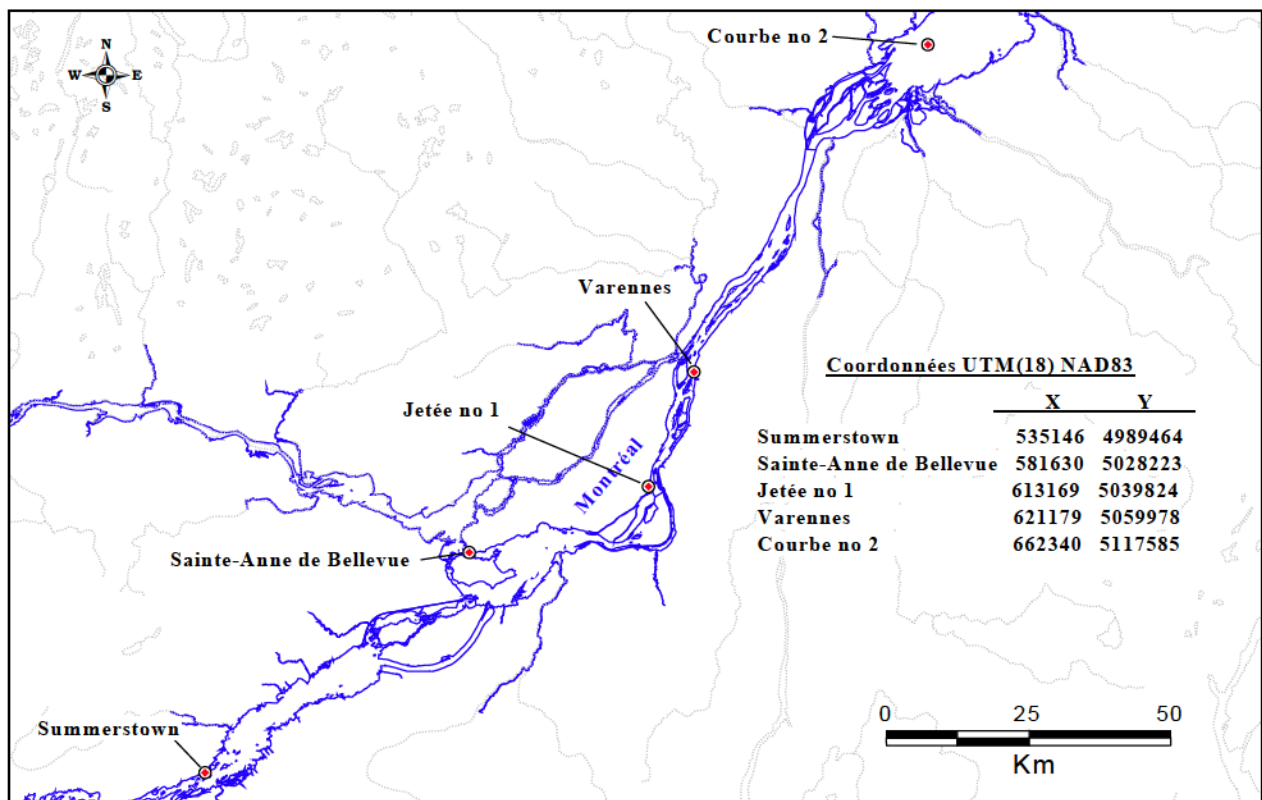


Figure 2 Identification et localisation des stations hydrométriques de référence

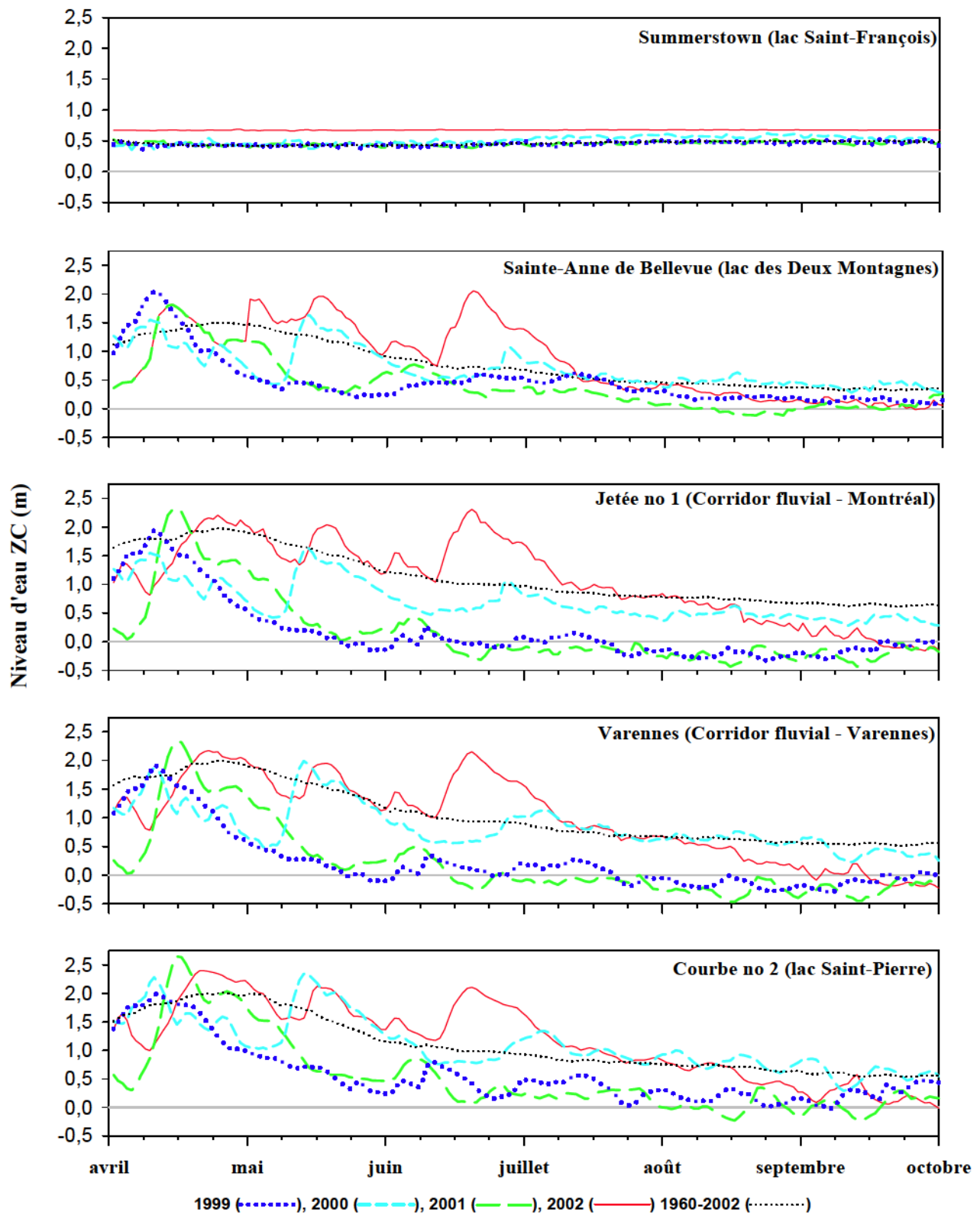


Figure 3 Niveaux d'eau (ZC) à 5 stations hydrométriques de référence entre les mois d'avril et octobre

Tableau 2
Stations hydrométriques de référence, identification, codes
et élévation du repères de nivellement

Secteur	Station hydrométrique		
	Localisation no, (code HYDAT)	Élévation SRIGL85 (m)	
		Repère de nivellement	Zéro des cartes*
Lac Saint-François	Summerstown	50,738	46,240
– Pointe Dupuis (SFPD)	14940, (Ø2MCØ23)		
– Pointe Mouillée (SFPM)			
Lac des Deux Montagnes	Ste-Anne de Bellevue	26,487	21,336
– Île Hay (DMIH)	16005, (Ø2OAØ13)		
– Baie des Indiens (DMBI)			
Corridor fluvial – Montréal	Jetée no 1	13,259	5,564
– Boucherville (BOUC)	15520, (Ø2OAØ46)		
– Pointe-aux-Trembles (PATR)			
Corridor fluvial – Varennes	Varennes	13,557	4,836
– Île aux Cerfeuil (IACE)	15660, (Ø2OAØ50)		
– Verchères (VERC)			
Lac Saint-Pierre	Courbe no 2	9,980	3,383
– Louiseville (SP2N)	15975, (Ø2OCØ16)		
– Pointe Lussaudière (SP2S)			
– Pointe d’Henri (SP3S)			
– Baie-du-Febvre (SP4S)			
– Pointe-du-Lac (SP5N)			
– Pointe aux Raisins (SP5S)			

Source : - données tirées de HYDAT (Environnement Canada) pour l'ensemble des stations pour les années 1960 à 1997

- données tirées de Pêches et Océans Canada sauf pour les stations Ste-Anne de Bellevue pour les années 1998 à 2002

- données tirées du Service météorologique du Canada pour la station de Ste-Anne de Bellevue de 1998 à 2001.

* L'élévation du zéro des cartes *régional* selon la référence SRIGL85 (niveau moyen de la mer mesuré en 1985).

Tableau 3
Niveau d'eau estival* (ZC) pour les années 1999, 2000, 2001 et 2002
et niveau moyen à long terme (1960 à 2002)

Secteur (station)	Niveau d'eau ZC (m)				
	1999 moyen (min., max.)	2000 moyen (min., max.)	2001 moyen (min., max.)	2002 moyen (min., max.)	(1960-2002) moyen (min., max.)
Lac Saint-François (Summerstown)	0,45 (0,36, 0,52)	0,51 (0,35, 0,62)	0,45 (0,38, 0,52)	0,67 (0,65, 0,68)	0,45 (0,09, 0,85)
Lac des Deux Montagnes (Sainte Anne de Bellevue)	0,48 (0,08, 2,04)	0,70 (0,27, 1,63)	0,41 (-0,12, 1,81)	0,84 (-0,01, 2,05)	0,77 (-0,12, 3,02)
Corridor fluvial – Montréal (Jetée no 1)	0,17 (-0,33, 1,95)	0,89 (0,10, 1,94)	0,18 (-0,44, 2,35)	1,07 (-0,16, 2,31)	1,11 (-0,48, 4,31)
Corridor fluvial - Varennes (Varennes)	0,23 (-0,31, 1,91)	0,84 (0,23, 1,99)	0,20 (-0,47, 2,34)	0,99 (-0,23, 2,17)	1,05 (-0,46, 4,33)
Lac Saint-Pierre (Courbe no 2)	0,56 (-0,03, 2,00)	1,09 (0,29, 2,34)	0,52 (-0,24, 2,65)	1,17 (-0,01, 2,39)	1,09 (-0,45, 3,95)

* Les niveaux sont calculés à partir des moyennes journalières disponibles entre le 1^{er} avril et le 30 septembre.

2.1.4.1 Ensoleillement, degré-jour de croissance et précipitations

L'activité photosynthétique est fonction de la lumière et de la température ambiante. La mesure de la lumière nécessite la quantification de l'ensoleillement effectif qui représente le nombre d'heures d'ensoleillement quotidien sans nuage. Les données de température journalière estivale de l'air sont relativement uniformes à l'échelle des secteurs couverts par l'étude, puisqu'elles correspondent aux grands patrons de circulation régionale des masses d'air. Le degré-jour constitue la mesure de la température effective en rapport avec la croissance des plantes, se référant à la différence algébrique entre la température moyenne quotidienne et une température de référence de 5 °C (Grandtner, 1966). Un degré-jour de croissance est compté pour chaque degré de température moyenne quotidienne se trouvant au-dessus de 5 °C.

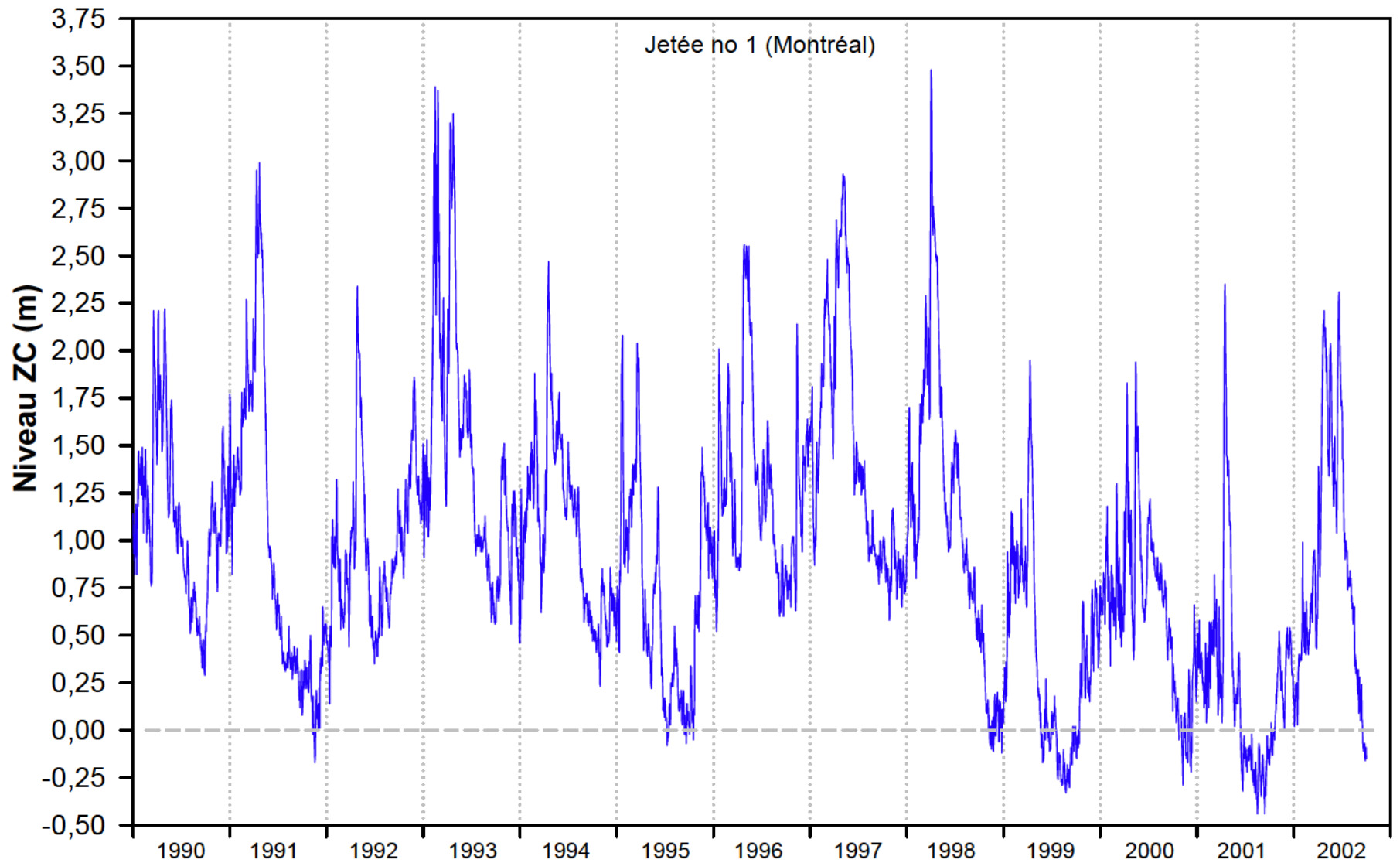


Figure 4 Variations journalières (1^{er} janvier 1990 au 30 septembre 2002) du niveau d'eau selon le zéro des cartes à la Jetée no 1 de Montréal

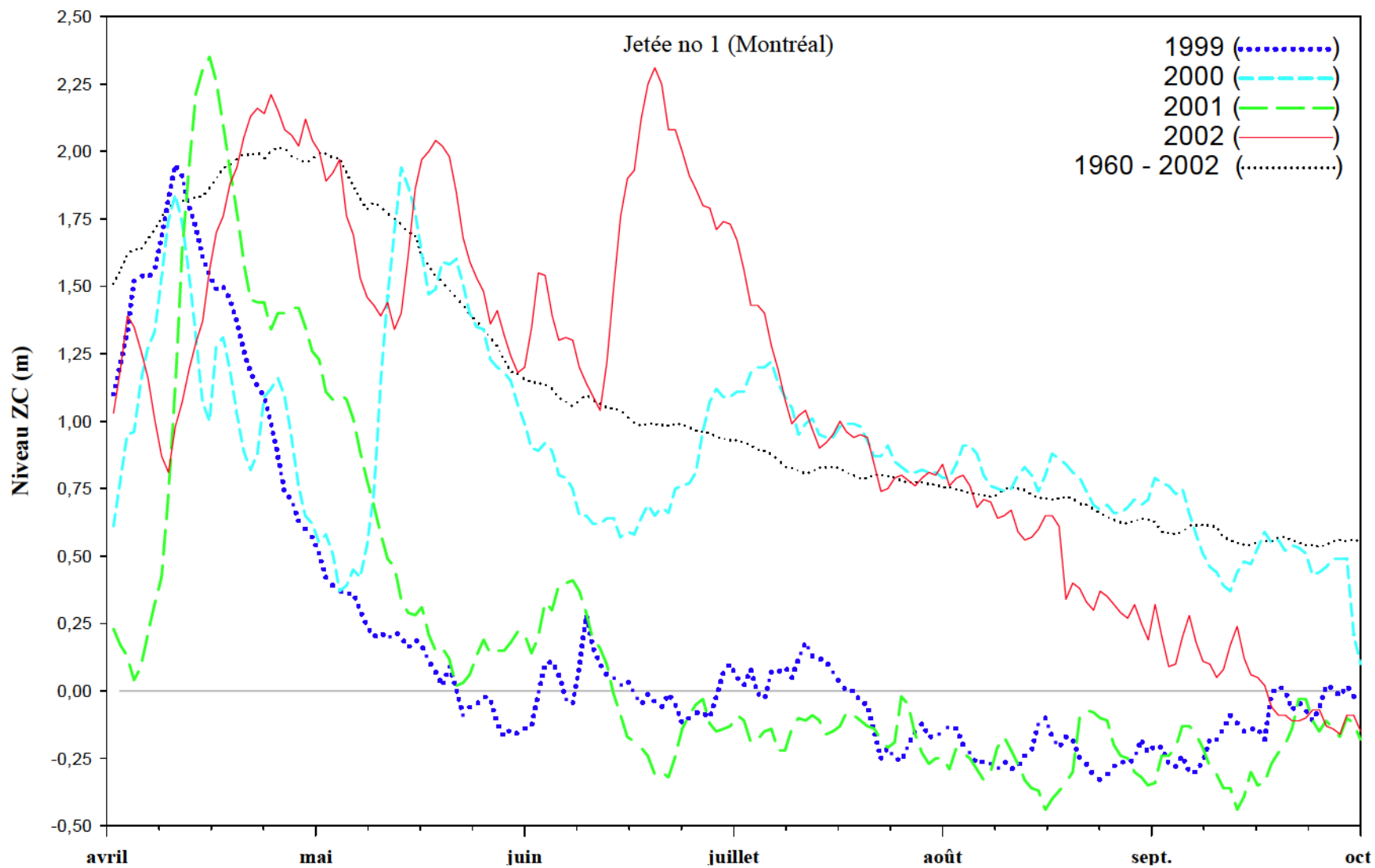


Figure 5 Variations inter-annuelles du niveau d'eau selon le zéro des cartes à la Jetée no 1 de Montréal durant la période d'étude (1999-2002) et niveau moyen à moyen terme (1960 à 2002)

Ces données sont disponibles dans les sommaires météorologiques mensuels du Service Météorologique du Canada (Environnement Canada). La station météorologique de Saint-Hubert (figure 6) a été sélectionnée en raison de sa position géographique au centre du secteur d'étude. De cette station provient l'ensemble des données météorologiques, à l'exception des données d'ensoleillement pour les années 2001 et 2002, qui étaient mesurées à la station météorologique de Dorval (figure 6) située à 26 km plus à l'ouest.

2.1.4.2 Indice d'assèchement

Le degré d'humidité du sol compte parmi les facteurs les plus importants dans l'établissement des différentes espèces de plantes le long des berges. Il conditionne la croissance et le maintien des plantes selon les caractéristiques d'adaptation particulières à chaque espèce. Les statistiques pluviométriques saisonnières locales ont été utilisées pour calculer un indice d'assèchement durant la période comprise entre le 1^{er} avril et le 30 septembre, correspondant à la saison de croissance.

Fréquemment utilisé dans la gestion des feux de forêts aux États-Unis, le *Keetch-Byram Drought Index* (KBDI) a été l'indice d'assèchement retenu (Keetch et Byram, 1968). Simple d'utilisation et directement interprétable, le KBDI requiert les valeurs de précipitations à l'échelle régionale (moyenne annuelle et cumul journalier), de température maximale journalière ainsi que du cumul des jours sans précipitation. Cet indice renseigne sur le niveau d'assèchement du sol à un jour donné en indiquant la quantité d'eau nécessaire pour saturer le sol en eau.

Les valeurs de niveaux d'eau et les conditions climatiques à chacun des sites entre le début de la saison de croissance et le moment où ceux-ci furent échantillonnés diffèrent fortement entre 1999, 2000, 2001 et 2002 (voir annexe 1a à 1d). Le patron saisonnier de l'ensoleillement, de degré-jours de croissance, des précipitations et du niveau d'assèchement du sol est présenté à la figure 7.

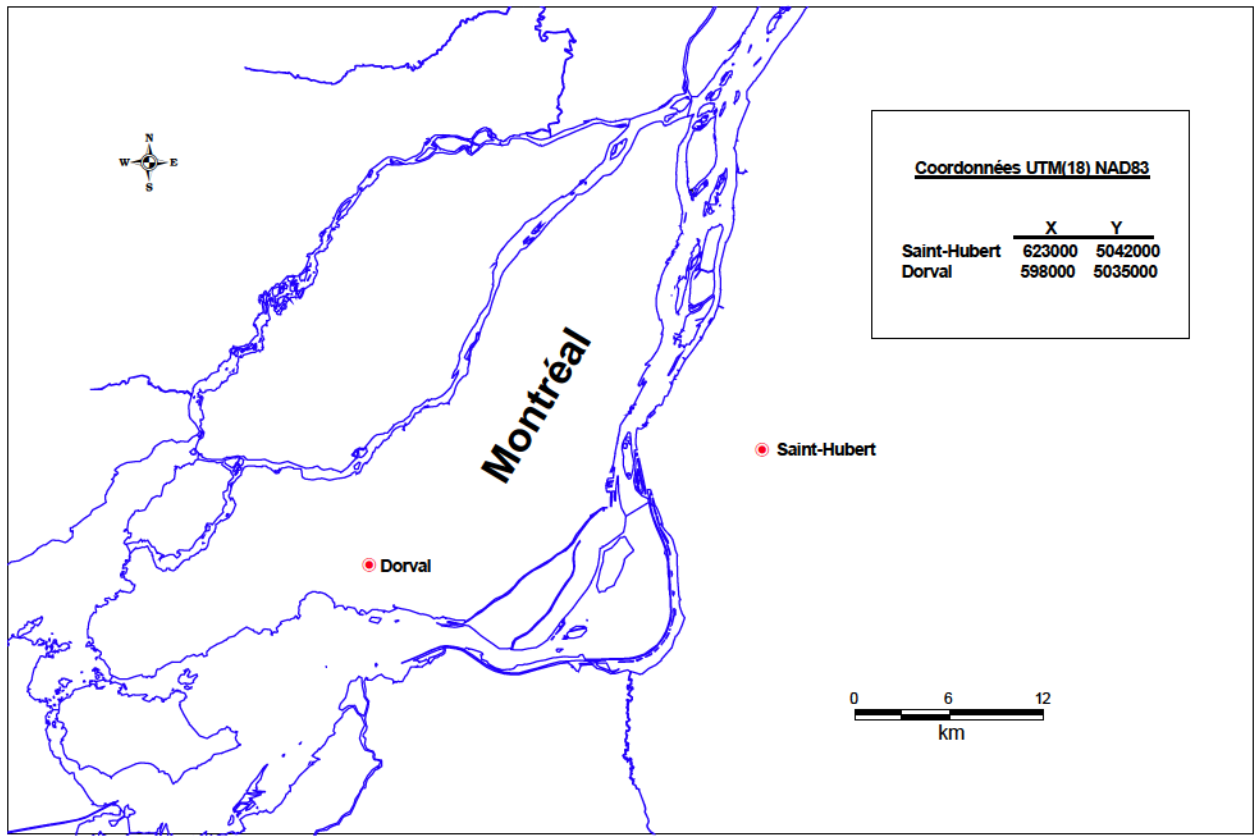


Figure 6 Localisation des stations météorologiques de référence

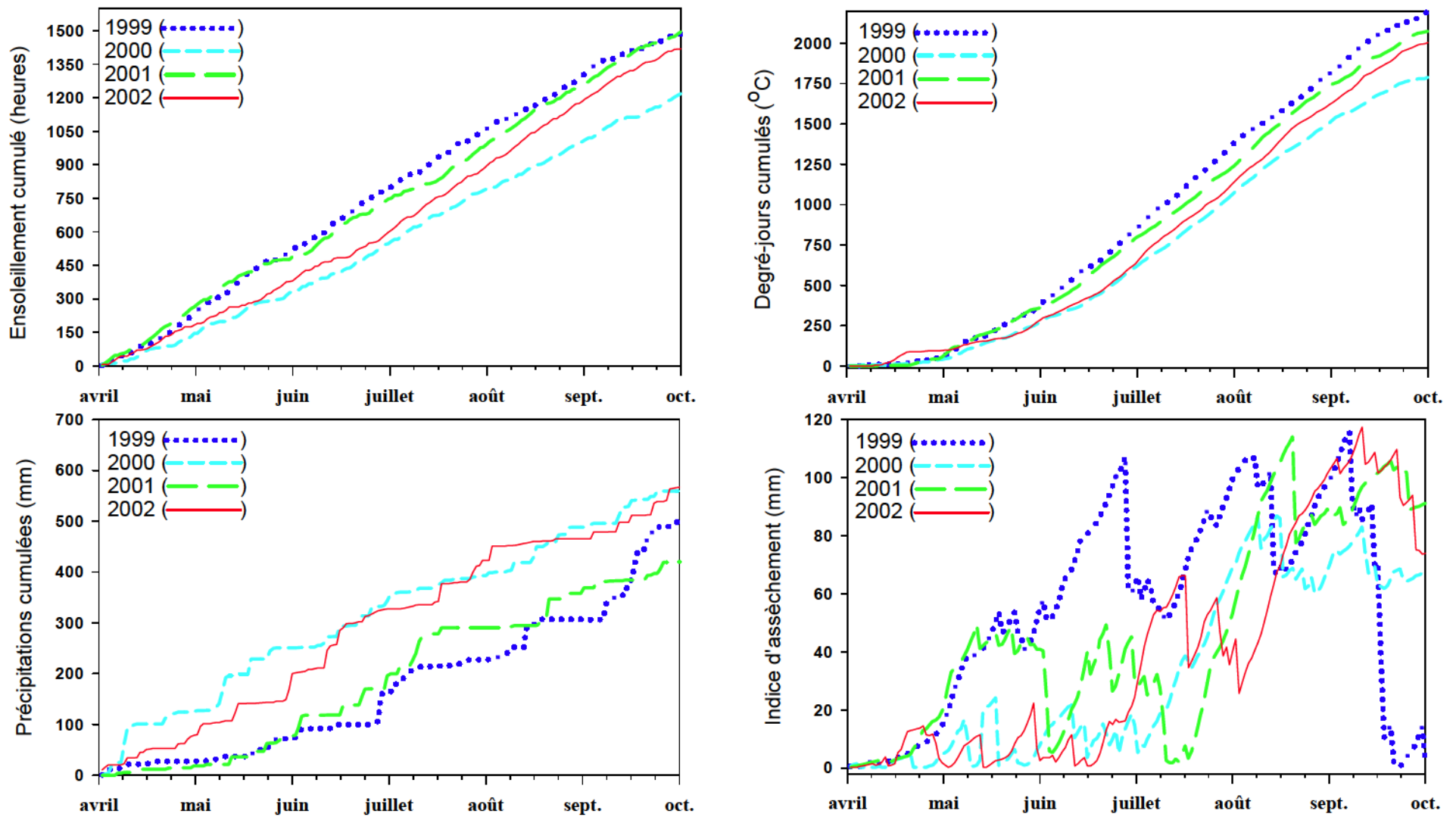


Figure 7 Cumul des heures d'ensoleillement, degré-jours de croissance, précipitations et assèchement au cours de la saison de croissance des plantes (1999-2002)

3 Matériel et Méthodes

3.1 MÉTHODOLOGIE SUR LE TERRAIN

Les cahiers de terrain constituent le registre détaillé des observations et des mesures lors de l'échantillonnage. Les campagnes d'échantillonnage se sont déroulées durant la période de maturité et d'abondance maximale des plantes soit du 13 juillet au 5 octobre (1999), du 25 juillet au 13 septembre (2000), du 23 juillet au 5 septembre (2001) et du 29 juillet au 12 septembre (2002). Selon le site et la disponibilité, différents véhicules et embarcations du Centre Saint-Laurent (le *Courant*, le *Pedro*) ou du Service Canadien de la Faune (hydroglisseur) ont servi de moyen de transport.

Les relevés de végétation ont été accomplis à pied partant du haut de la rive vers le large en eau peu profonde ($\approx 1\text{m}$) à l'exception de la zone d'exclusion de la Défense Nationale du secteur sud du Lac Saint-Pierre (figure 8), où l'ensemble des mesures ont été prises à bord de l'hydroglisseur. Dans cette zone, les consignes de sécurité de la Défense Nationale requièrent que l'échantillonnage se fasse sans aucun contact avec le fond, en raison de la présence d'obus et de projectiles dans tout le secteur. Cette contrainte fait en sorte que de vastes secteurs deviennent inaccessibles lors des périodes de bas niveau, même en faisant usage d'un hydroglisseur (tirant d'eau de 5 cm environ).

3.2 CHOIX DES SITES

Afin d'obtenir une image représentative de la composition spécifique des communautés végétales et des diverses conditions et caractéristiques environnementales, une série de milieux humides a été sélectionné le long du tronçon Cornwall–Trois-Rivières (tableau 4). Ces milieux humides sont situés au Lac Saint-François (pointe Dupuis et pointe Mouillée), au Lac des Deux Montagnes (île Hay et baie des Indiens), dans la région Montréalaise (îles de Boucherville et Pointe-aux-Trembles) et le corridor fluvial du Saint-Laurent (île aux Cerfeuil et îles de Verchères) de même qu'au Lac Saint-Pierre (rive nord : Rivière du Loup et Pointe-du-Lac ; rive sud : pointe Lussaudière, pointe d'Henri, Baie-du-Febvre, et pointe aux Raisins) (figure 1). A noter que seuls les transects situés à la pointe d'Henri et pointe-aux-Raisins de la rive sud ont été visités en 2001,

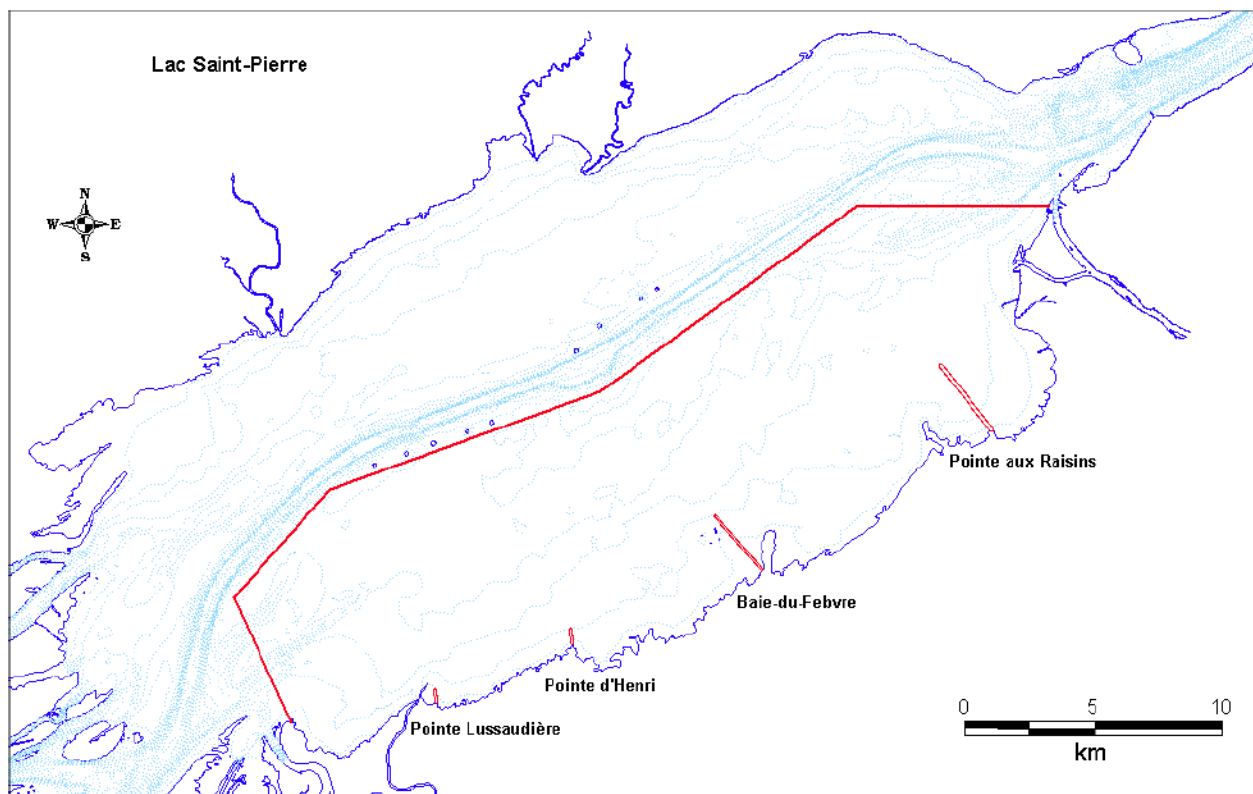


Figure 8 Identification des sites d'échantillonnage dans la zone d'exclusion de la Défense Nationale (secteur sud du Lac Saint-Pierre).

ceux de la Pointe Lussaudière et Baie-du-Febvre, n'étaient pas accessibles en raison des bas niveaux (tableau 3).

La description des herbiers a été faite systématiquement de l'amont vers l'aval, même si cette organisation ne suit pas la chronologie des activités d'échantillonnage. Le type d'herbier retrouvé à chacun des sites possède une combinaison de propriétés physiques, chimiques et morphologiques qui leur confère une identité unique.

3.3 POSITIONNEMENT DES TRANSECTS ET DES QUADRATS

Depuis 1999, l'utilisation systématique du GPS, combinée à la mise en place d'un jalon de bois (0,05 x 0,05 x 1,8 m) pour marquer le point d'origine de chacun des transects ont apporté un caractère permanent à ceux-ci, facilitant leur repérage ultérieur. Pour des raisons de sécurité,

Tableau 4
Fréquence d'échantillonnage et nombre d'espèces végétales identifiées à chaque site.

Secteurs	Années			
	1999	2000	2001	2002
Lac Saint-François				
– Pointe Dupuis	X	X	X	X
– Pointe Mouillée	X	X	X	
Lac des Deux Montagnes				
– Île Hay	X	X	X	X
– Baie des Indiens	X	X	X	X
Corridor fluvial				
– Boucherville	X	X	X	X
– Pointe-aux-Trembles	X	X	X	X
– Île aux Cerfeuil	X	X	X	X
– Verchères	X	X	X	X
Lac Saint-Pierre				
– Rivière du Loup		X	X	X
– Pointe Lussaudière*		X		X
– Pointe d'Henri*		X	X	X
– Baie-du-Febvre*	X	X		X
– Pointe-du-Lac		X	X	X
– Pointe aux Raisins*		X	X	X
Nombre d'espèces identifiées	124	156	189	189
Total		207		

* Sites dans le secteur de la Défense Nationale

les transects situés à l'intérieur de la zone d'exclusion de la Défense Nationale du secteur sud du Lac Saint-Pierre sont dépourvus de jalon marqueur (figure 8).

Pour tous les sites, à l'exception de ceux du Lac Saint-Pierre, l'étendue des transects couvrait approximativement la distance séparant la limite supérieure des eaux lors de la crue printanière jusqu'à une profondeur d'environ 1 m, profondeur limite pour un échantillonnage à pied. Puis, à l'aide d'un ruban à mesurer étendu perpendiculairement à la rive partant du marqueur permanent, les quadrats étaient disposés à intervalles réguliers (de 5 à 20 m) le long du ruban (transect). Selon le niveau d'eau et la pente du littoral, les transects mesuraient de 60 à 200 m de longueur totale, comprenant de 7 à 24 quadrats. Le Lac Saint-Pierre étant très peu profond et de pente très douce, la longueur totale des transects variait entre 240 m et 2,5 km et l'intervalle entre

les quadrats pouvait varier de 5 m à 250 m. Le secteur sud du Lac n'étant accessible qu'en hydroglisseur, le positionnement des quadrats s'est fait en utilisant les coordonnées géographiques du GPS.

L'unité d'échantillonnage consistait en un quadrat démontable fait de tuyau de PCVC de 1m x 2m déposé transversalement sur la ligne de transect (figure 9).



Figure 9 Positionnement le long du transect et dimension du quadrat d'échantillonnage

La longueur des transects étant inégale, l'effort d'échantillonnage a été pondéré en ajustant la distance entre les quadrats de façon à obtenir un nombre raisonnable de quadrat échantillonnable en une journée (maximum de 24 quadrats). À chacun des quadrats, les coordonnées géographiques du centre du quadrat, l'élévation par rapport au niveau d'eau du moment et le relevé complet et systématique de l'ensemble de la végétation ont été soigneusement notés.

3.3.1 Système de référence géographique

Afin de se conformer aux nouvelles normes du Système National de Référence du Canada (SNRC), le système de projection géographique nord-américain UTM NAD27 (ellipsoïde de référence de Clarke, 1866) a été remplacé par le système de référence UTM NAD83 avec référence géocentrique GRS80 équivalent à WGS84. La référence UTM NAD83 représente un système géocentrique sans point d'origine ni direction initiale utilisant un quadrillage métrique universel transverse de Mercator (UTM) (figure 10), dans lequel le positionnement géographique est présenté par une coordonnée X et Y précis à un mètre près.

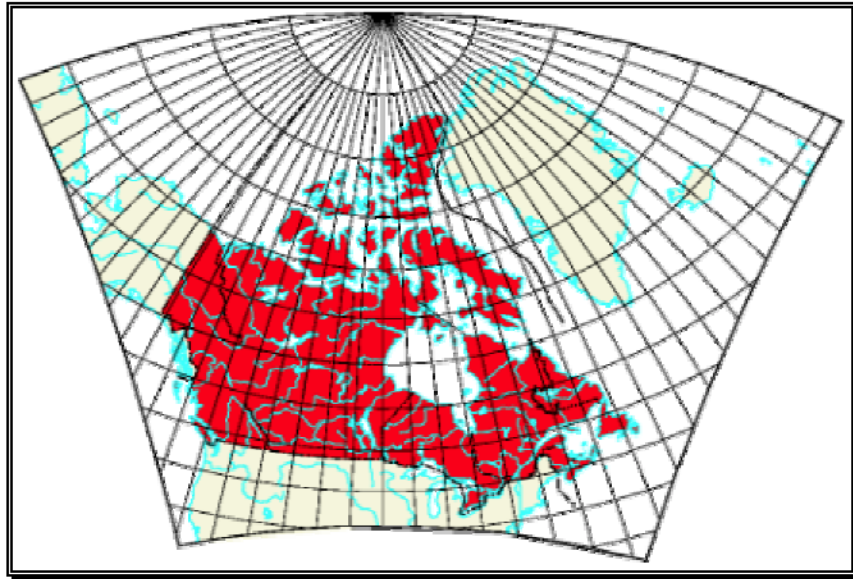


Figure 10 Projection géographique de type Mercator

3.3.2 Systèmes de positionnement

En 1999, le positionnement géographique des quadrats s'est fait à l'aide d'un GPS Marconi Northstar (CMT 8900) opérant en mode différentiel et affichant une précision¹ de 1,8 m RMS² ce qui signifie que la position affichée se retrouve 68 % du temps à 1,8 m ou moins de la position réelle. Toutefois, depuis le 1^{er} mai 2000, date à laquelle l'armée Américaine a débrouillé les signaux civils émis par leurs satellites de positionnement, la précision moyenne d'un GPS sans

¹ Voir le site internet : <http://pasture.ecn.purdue.edu/~abegps/>

² RMS = Root Mean Square, décrit la distribution de l'erreur horizontale. RMS \cong 1 écart-type.

correction différentielle est passée de 20,3 m à 3,8 m RMS. L'amélioration substantielle de la précision a permis d'utiliser un GPS simple à 12 canaux (Garmin - eTREX) pour le positionnement géographique des échantillons de la saison 2000. Un post-traitement à l'aide du logiciel MapInfo a été appliqué sur ces données afin de s'assurer de leur précision. L'ajout d'un récepteur Garmin-GBR21 au GPS Garmin eTREX en 2001 a ramené ce dernier en mode différentiel (précision moyenne de 2,2 m RMS) éliminant du coup les procédures de post-traitement.

3.4 ÉLÉVATIONS, PROFIL VERTICAL ET ZONE DE RIVAGE

À chaque transect, on déterminait l'élévation relative de chaque quadrat en référence au niveau d'eau du moment. L'élévation des quadrats en zone inondée était obtenue en mesurant la profondeur d'eau à l'aide d'une règle graduée alors que l'élévation des quadrats en zone exondée était mesurée avec un niveau d'arpentage (Sokkia E32). Les élévations brutes ainsi obtenues ont été converties à la référence zéro des cartes maritimes (ZC) aussi appelé zéro hydrographique (Chart Datum, en anglais) (figure 11). Cette transformation se fait grâce aux enregistrements de niveau d'eau horaires provenant des stations hydrométriques de référence (figure 2; tableau 2). L'élévation des quadrats de chaque transect, une fois convertie selon la référence ZC, standardise les élévations à une échelle régionale permettant d'établir un profil vertical fixe dans le temps. Ce profil sert entre autre à délimiter la zone de rivage (figure 12), c'est-à-dire l'étendue horizontale où des variations saisonnières de niveau d'eau ont une très grande influence sur la végétation durant la saison de croissance. Sous nos latitudes, cette étendue correspond à la différence entre le niveau moyen (1960 à 2000 par exemple) du mois de juin, haut niveau prévalent lors de l'établissement des plantes saisonnières et le niveau moyen à long terme du mois de septembre, période d'étiage estival (Keddy et Reznicek, 1986). Les caractéristiques de la zone de rivage étant propre à chaque transect, le profil vertical devient l'élément fondamental d'un suivi à long terme de l'évolution des communautés végétales de rivages.

3.5 RELEVÉ DE LA VÉGÉTATION

La structure et la composition de la communauté végétale de chaque herbier ont été minutieusement décrites le long des transects en identifiant et dénombrant la totalité des espèces végétales retrouvées à l'intérieur de chaque quadrat. L'identification jusqu'à l'espèce a été

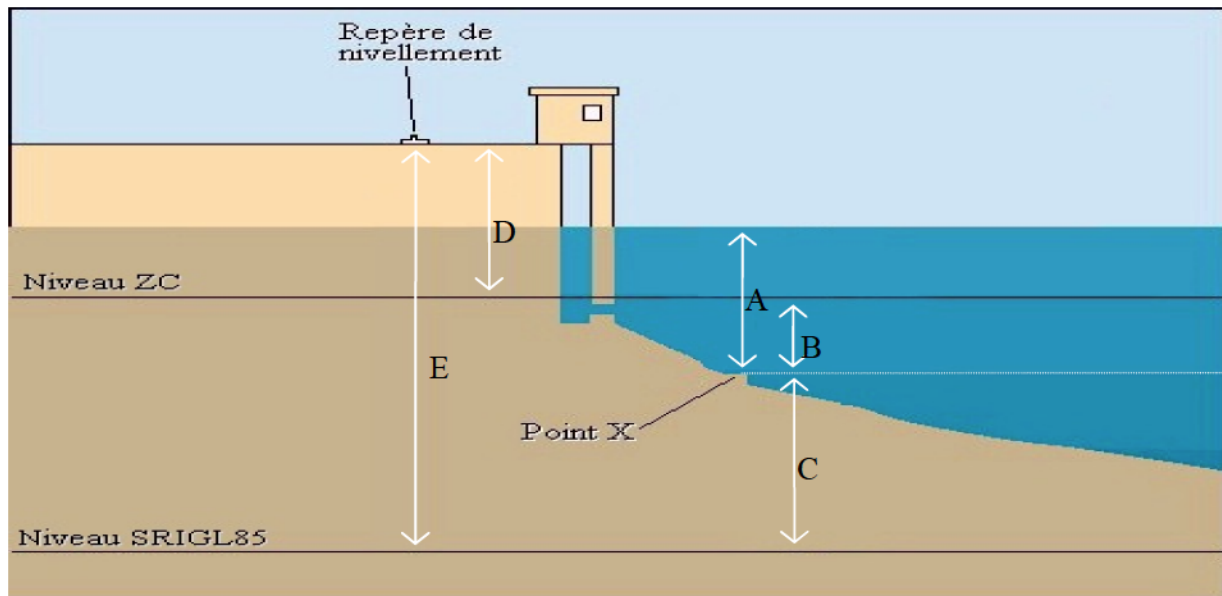


Figure 11 Profil d'une station hydrométrique. Élévation du point X en fonction de A) niveau d'eau, B) niveau ZC, C) niveau SRIGL85. Élévation ZC (D) et SRIGL85 (E) du repère de nivellement de la station hydrométrique.

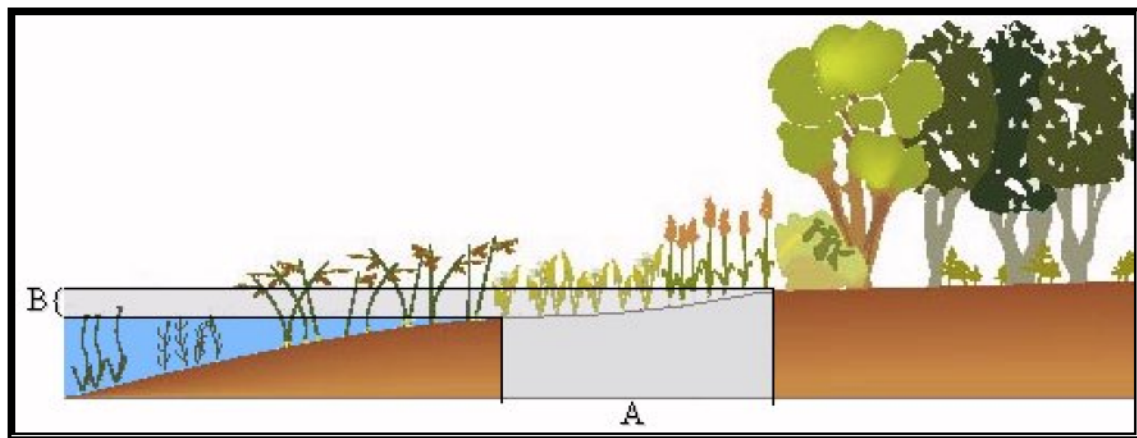


Figure 12 Coupe schématique d'un transect où A représente la distance horizontale de la zone de rivage et B le dénivelé entre les niveaux moyen à long terme du mois de juin (haut niveau) et septembre (bas niveau)

réalisée sur le terrain à l'aide de : *Flore Laurentienne* (Marie-Victorin, 1995) et *Plantes Sauvages des Lacs, Rivières et Tourbière* (Fleurbec, 1987). Les spécimens dont l'identification était incertaine ont été rapportés humides au laboratoire pour fins d'identification approfondie à l'aide des ouvrages suivants : *A Field Guide to Wildflowers of Northeastern and North-central North America* (Peterson et McKenny, 1968), *An Illustrated Flora of the Northern United States*

and Canada, vol.1 (Britton et Brown, 1970), *Gray's Manual of Botany* (Fernald, 1970), *Aquatic Plants of the United States* (Muenscher, 1976), *The Flora of Canada* (Scoggan, 1978), *Shrubs of Ontario* (Soper et Heimburger, 1982), *Guide des Fleurs Sauvages de l'est de l'Amérique du Nord* (Newcomb, 1983), *The Pocket Guide to Wild Flowers of North America* (Forey, 1998) et *The Pocket Guide to Trees of North America* (Mitchell, 1998).

Pour chaque espèce, on estimait la fraction de la surface qu'elle occupait en projection verticale dans le quadrat, en se servant d'un système de cote divisé en sept classes d'abondance. À ces cotes correspondent un pourcentage de recouvrement de la surface totale du quadrat (tableau 5). Chaque valeur de recouvrement était accompagnée de la hauteur moyenne mesurée (cm) de chaque espèce. La hauteur des espèces à feuilles flottantes ou submergées était estimée en proportion de la profondeur de l'eau (hauteur = % de la profondeur) ou avec une valeur fixe (pour les espèces de petite taille) (tableau 6), pour éviter le biais induit par une variation récente du niveau d'eau. Afin de minimiser la perte d'information servant à la description systématique des communautés végétales, les espèces rares appartenant à un même genre et partageant un niveau élevé de similarités écologiques ont été regroupées (tableau 7).

3.6 CARACTÉRISATION DES SOLS ET DES SÉDIMENTS

Le substrat sur lequel croissent les plantes a été caractérisé en y mesurant la teneur en matière organique, la granulométrie, le pH et le dosage de phosphore total et de l'azote organique.

3.6.1 Échantillonnage

Les échantillons de sol et de sédiments ont été récoltés lors de relevés de végétation des transects de 2000 et de 2001, excluant ceux du secteur sud du Lac Saint-Pierre (Défense Nationale), ainsi que lors de la récolte de biomasse de plantes submergées effectuée pour une étude complémentaire (tableau 8). Pour chaque quadrat hors de l'eau, le substrat a été débarrassé des plantes mortes et de la litière superficielle avant de prélever une carotte de sédiments (5,5 cm de diamètre par 11 cm de profondeur) déposée dans un bocal de plastique (250 ml) étiqueté. Pour chaque quadrat mouillé, le prélèvement des sédiments se faisait, soit en utilisant la même procédure que pour les quadrats secs, soit en enfouissant directement le bocal de plastique dans les sédiments lorsque le substrat était suffisamment malléable. L'excédent d'eau était décanté directement sur le terrain.

Tableau 5
Cotes de recouvrement et surface d'occupation correspondante
utilisées dans l'estimation de l'abondance des espèces de plantes

Cote	Surface d'occupation du quadrat	Médiane
1	< 1 %	0,5
2	1 - 5 %	3
3	6 - 10 %	8
4	11 - 25 %	18
5	26 - 50 %	37,5
6	51 - 75 %	63
7	> 75 %	87,5

3.6.2 Traitement des échantillons en laboratoire

Au laboratoire, les bocaux étaient laissés ouverts à l'abri de la poussière pour le séchage des sédiments à l'air libre. Une fois séchés, les sédiments ont été homogénéisés grossièrement par brassage manuel à l'aide d'un pilon et mortier. Des sous-échantillons ont été prélevés pour les analyses de granulométrie, de la teneur en matière organique, du pH et du dosage du phosphore total et de l'azote organique. Les références analytiques et la limite de détection pour les analyses de sols et sédiments sont présentées au tableau 9.

3.6.3 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique des sédiments a été effectuée par le personnel du Département de Géographie de l'Université du Québec à Montréal sous la responsabilité de Dr Mireille Bouchard [bouchard.mireille@uqam.ca]. Le pré-traitement des échantillons a consisté à sécher les sédiments au four (< 100°C) suivi d'un broyage au mortier à faible pression. La granulométrie de la fraction > 250µm s'est fait par tamisage à sec conventionnel tandis que la fraction fine des sédiments (< 250µm) a été évaluée à l'aide d'un sédigraphe à diffraction laser (Fritsch - A22 Compact), muni d'une unité de dispersion liquide. La préparation des échantillons de sédiments fins a nécessité l'élimination de la matière organique par ajout d'H₂O₂ à 30% à chaud, puis la neutralisation des carbonates par l'ajout d'HCl concentré. Enfin du pyrophosphate de sodium (50g/l) a été ajouté pour une période variant entre 12 et 16 heures avant l'analyse au sédigraphe.

Tableau 6
Estimation des hauteurs des espèces végétales submergées aux différents sites

La hauteur estimée représente une fraction (%) de la colonne d'eau								
Espèces	Secteurs, sites et transects							
	<u>Lac Saint-François</u>	<u>Lac des Deux Montagnes</u>	<u>Région Montréalaise</u>				<u>Lac Saint-Pierre</u>	
	SFPD	DMIH	DMBI	BOUC	PATR	IACE	VERC	Tout
<i>Elodea canadensis</i>	40	40	80	75	90	75	50	75
<i>Elodea nuttallii</i>	40	40	40	40	40	40	40	40
<i>Heteranthera dubia</i>	30	30	50	50	50	50	50	40
<i>Myriophyllum sp</i>	40	30	80	90	80	80	80	80
<i>Najas flexilis</i>	25	25	25	25	25	25	25	25
<i>Nitella</i>	25	25	25	25	25	25	25	25
<i>Nuphar variegatum</i>	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Nymphaea tuberosa</i>	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Potamogeton amplifolius</i>	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Potamogeton bupleuroides</i>	50	50	50	50	50	50	50	50
<i>Potamogeton epihydrus</i>	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Potamogeton Friesii</i>	90	90	90	90	90	90	90	90
<i>Potamogeton gramineus</i>	90	90	90	90	90	90	90	90
<i>Potamogeton oakesianus</i>	90	90	90	90	90	90	90	90
<i>Potamogeton pectinatus</i>	50	50	50	75	75	75	75	80
<i>Potamogeton pusillus</i>	50	50	50	75	75	75	75	80
<i>Potamogeton Richardsonii</i>	20	20	50	50	50	50	50	50
<i>Potamogeton robinsii</i>	20	20	50	50	50	50	50	50
<i>Potamogeton zosteriformis</i>	20	20	50	50	50	50	50	50
<i>Ranunculus longirostris</i>	15	30	30	45	45	45	45	45
<i>Utricularia vulgaris</i>	50	50	50	50	50	50	50	50
<i>Vallisneria americana</i>	20	20	20	50	50	50	20	20

T.6 (suite)

La hauteur estimée représente une hauteur fixe (cm)

Espèces	Secteurs, sites et transects							
	<u>Lac Saint-François</u>	<u>Lac des Deux Montagnes</u>	<u>Région Montréalaise</u>				<u>Lac Saint-Pierre</u>	
	SFPD	DMIH	DMBI	BOUC	PATR	IACE	VERC	Tout
algue	2	2	5	5	2	2	2	2
<i>Ceratophyllum demersum</i>	15	30	30	45	45	45	45	45
<i>Chara</i> sp.	10	5	5	5	5	5	5	10
<i>Lemna minor</i>	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Lemna trisulca</i>	1	1	1	1	1	1	1	1
mousse	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Spirodela polyrhisa</i>	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Tillaea aquatica</i>	5	5	5	5	5	5	5	5

Tableau 7
Regroupement des espèces similaires

Regroupement	Espèces échantillonnées composant les nouveaux groupes
Arborescent	
<i>Acer</i> spp.	<i>Acer pensylvanicum</i> , <i>-rubrum</i> , <i>-saccharinum</i>
Arbustif	
<i>Alnus</i> spp.	<i>Alnus viridis</i> , <i>-incana</i>
<i>Salix</i> spp.	<i>Salix fragilis</i> , <i>-exigua</i>
Prairie humide	
<i>Aster</i> spp.	<i>Symphotricum ontarione</i> , <i>Aster lanceolatum</i>
<i>Bidens</i> spp.	<i>Bidens cernua</i> , <i>-comosa</i> , <i>-frondosa</i>
<i>Chenopodium</i> spp.	<i>Chenopodium glaucum</i> , <i>-polyspermum</i>
<i>Convolvulus</i> spp.	<i>Convolvulus arvensis</i> et <i>Calystegia sepium</i>
<i>Echinochloa</i> spp.	<i>Echinochloa Crus-galli</i> , <i>-muricata</i>
<i>Epilobium</i> spp.	<i>Epilobium ciliatum</i> , <i>-palustre</i>
<i>Eupatorium</i> spp.	<i>Eupatorium maculatum</i> , <i>-perfoliatum</i>
<i>Galium</i> spp.	<i>Galium boreale</i> , <i>-palustre</i> , <i>-trifidum</i>
<i>Hypericum</i> spp.	<i>Hypericum ellipticum</i> , <i>-mutilum</i> , <i>-perforatum</i> , <i>-punctatum</i> , et <i>Triadenum fraseri</i>
<i>Lactuca</i> spp.	<i>Lactuca biennis</i> , <i>-serriola</i>
<i>Lycopus</i> spp.	<i>Lycopus americanus</i> , <i>-uniflorus</i>
<i>Lysimachia</i> spp.	<i>Lysimachia terrestris</i> , <i>-thyrsiflora</i>
<i>Panicum</i> spp.	<i>Panicum capillare</i> , <i>-flexile</i> , <i>-tuckermani</i>
<i>Polygonum</i> spp.	<i>Polygonum aviculare</i> , <i>-lapathifolium</i> , <i>-pensylvanicum</i> , <i>-persicaria</i> , <i>-sagittatum</i>
<i>Rumex</i> spp.	<i>Rumex verticillatus</i> , <i>-mexicanus</i>
<i>Scutellaria</i> spp.	<i>Scutellaria galericulata</i> , <i>-parvula</i>
<i>Trifolium</i> spp.	<i>Trifolium aureum</i> , <i>-pratense</i> , <i>-repens</i>
Marais	
<i>Carex</i> spp.	<i>Carex aquatilis</i> , <i>-crinita</i> , <i>-cumulata</i> , <i>-sparganoides</i> , <i>-trichocarpa</i> , <i>-tuckermanii</i>
<i>Cyperus</i> > 10 cm spp.	<i>Cyperus dentatus</i> , <i>-diandrus</i> , <i>-esculentus</i>
<i>Eleocharis palustris</i>	<i>Eleocharis erythropoda</i> , <i>-obtusata</i> , <i>-smallii</i>
<i>Equisetum</i> spp.	<i>Equisetum fluviatile</i> , <i>-litorale</i> , <i>-palustre</i>
<i>Juncus</i> spp.	<i>Juncus articulatus</i> , <i>-articus</i> , <i>-brevicaudatus</i> , <i>-canadensis</i> , <i>-compressus</i> , <i>-dudleyi</i> <i>-filiformis</i> , <i>-nodosus</i>
<i>Typha</i> spp.	<i>Typha angustifolia</i> , <i>-latifolia</i>
Submergées à f. flottantes	
<i>Lemna</i> spp.	<i>Lemna minor</i> , <i>-triselva</i> et <i>Spirodela polyrrhiza</i>
<i>Potamogeton flottant</i>	<i>Potamogeton amplifolius</i> , <i>-epiphydrus</i> , <i>-gramineus</i> , <i>-oakesianus</i>
Submergées	
<i>Algue</i>	<i>Algues filamenteuses</i> , <i>Cladophora</i> sp, et <i>Nitella</i>
<i>Elodea</i> spp.	<i>Elodea canadensis</i> , <i>-nuttallii</i>
<i>Potamogeton linéaire</i>	<i>Potamogeton friesii</i> , <i>-pusillus</i> , <i>-zosteriformis</i> , et <i>Stuckenia pectinata</i> ,
<i>Potamogeton richardsonii</i>	<i>Potamogeton richardsonii</i> , <i>-bupleuroides</i> , <i>-robinsii</i>

Tableau 8
Nombre d'échantillons de sol et sédiments récoltés pour
la caractérisation granulométrique, physique et chimique

Secteur	Projet	2000		2001	
		Date	Échantillons	Date	Échantillons
Lac Saint-François					
– Pointe Dupuis	Recouvrement	13 sept.	11	27 août	12
– Pointe Mouillée	Recouvrement	13 sept.	4	27 août	5
Lac des Deux Montagnes					
– Île Hay	Recouvrement	6 sept.	13	5 sept.	17
– Baie des Indiens	Recouvrement	6 sept.	14	5 sept.	14
Lac Saint-Louis					
– Secteur - ouest	Biomasse	-	-	7 août	7
– Secteur - est	Biomasse	-	-	23 août	15
Corridor fluvial					
– Boucherville - protégé	Recouvrement	1 août	14	8 août	24
– Boucherville - exposé	Biomasse	29 août	9	1 août	8
– Pointe-aux-Trembles	Recouvrement	16 août	13	14 août	14
– Île aux Cerfeuil	Recouvrement	14 août	12	16 août	19
– Verchères	Recouvrement	16 août	11	21 août	14
Lac Saint-Pierre					
– Rivière du Loup	Recouvrement	17 août	13	11 sept.	9
– Pointe-du-Lac	Recouvrement	9 août	13	31 juillet	16
– SP1Ca (Plongeurs)	Biomasse	10 août	8	9 et 13 août	27
– SP1Cb (Plongeurs)	Biomasse	28 août	9	-	-
– SP2Ca (Plongeurs)	Biomasse	21 août	11	13 août	10
– SP2Cb (Plongeurs)	Biomasse	-	-	15 août	11
– SP3C (Plongeurs)	Biomasse	15 août	10	6 sept.	25
– SP4C (Plongeurs)	Biomasse	24 août	11	29 août	10
– SP5C (Plongeurs)	Biomasse	22 août	10	29 août	15

Les résultats (pas encore disponibles) sont présentés par une courbe granulométrique exprimant le pourcentage de particules en fonction de leur diamètre.

3.6.4 Analyse de la teneur en matière organique

La teneur en matière organique des sédiments a été mesurée par la perte de masse d'un échantillon après combustion. Un sous-échantillon homogène d'environ 13 g sec était pesé après

1 heure à l'étuve à 105°C et repesé après avoir passé 2 heures au four à 550°C (APHA 19th ed. Method 2540 E. Fixed and volatile solids ignited at 550°C, P. 2-57).

3.6.5 Analyse du pH

L'analyse du pH des sédiments a été effectuée au laboratoire Bodycote (Technitrol Inc. Division Envirolab, 1818 rte de l'Aéroport, Ste-Foy, G2G 2P8 (418) 871-8722). La procédure consiste à plonger une électrode à pH dans une solution contenant 2 parties d'eau pour 1 partie de sédiment (Méthode d'analyse des sols, des fumiers et des tissus végétaux, Conseil des productions végétales du Québec, AGDEX 533, Gouvernement du Québec, Ministère de l'Agriculture des pêcheries et de l'Alimentation) (APHA 19th ed. Method 4500 H+ B. pH value. Electrometric method., p. 4-65).

3.6.6 Analyse du phosphore total

L'analyse du phosphore total des sédiments a été effectuée au laboratoire Bodycote (Technitrol Inc. Division Envirolab, 1818 rte de l'Aéroport, Ste-Foy, G2G 2P8 (418) 871-8722). La procédure consiste à digérer l'échantillon dans un mélange de H₂SO₄ / K₂SO₄ / CuSO₄ suivi d'une analyse colorimétrique à l'acide ascorbique (analyse manuelle). (CAEQ. Ministère de l'Environnement du Québec. Détermination de l'azote total Kjeldahl et du phosphore total, digestion acid. MA 300 NTPT 1.0, 1999-03-02) (APHA 19th ed. Method 4500 P.E Ascorbic acid method, p.4-113).

3.6.7 Analyse de l'azote organique Kjeldahl

L'analyse de l'azote organique Kjeldahl des sédiments a été effectuée au laboratoire Bodycote (Technitrol Inc. Division Envirolab, 1818 rte de l'Aéroport, Ste-Foy, G2G 2P8 (418) 871-8722). La procédure consiste à transformer l'azote organique en ammonium par addition d'un mélange de H₂SO₄ / K₂SO₄ / CuSO₄ (APHA 19th ed. Method 4500 N_{org} B. Macro-Kjeldahl method, p.4-92), suivi du dosage de l'ammonium après distillation (APHA 19th ed. Method 4500 N_{org} C. Semi Micro-Kjeldahl method, p.4-94) à l'aide d'un digesteur Tecator 1990.09.05 ASN 140-01/90. (CAEQ. Ministère de l'Environnement du Québec. Détermination de l'azote total Kjeldahl et du phosphore total, digestion acide. MA 300, NTPT 1.0, 1999-03-02) (APHA 19th ed. Method 4500 H+ B. pH value. Electrometric method, P. 4-65).

3.6.8 Contrôle de qualité des analyses chimiques et granulométriques

Dix pourcent des échantillons de sédiments prélevés en 2000 et 2001 ont été fragmentés et analysés sous forme de duplicata non identifiés, pour effectuer un contrôle de qualité des analyses chimiques et granulométriques. Lorsque disponibles, ces résultats permettront d'évaluer la performance analytique et la réplicabilité des résultats des différents laboratoires auxquels des analyses ont été confiées.

Tableau 9
Méthodes analytiques et limite de détection utilisées pour la caractérisation des sédiments

Analyse	APHA 19 ^{ième} édition - Méthode et n°	Limite de détection
Granulométrie	Diffraction au laser (théorie de Fraunhofer et Mie)	0,3 à 300 µm
Matière organique	2540 E. Fixed and volatile solids ignited at 550°C, p. 2-57	
pH	4500 H+ B. pH value. Electrometric method, p. 4-65	n.a.
Phosphore total (mg P kg ⁻¹ sec)	4500 P.E. Ascorbic acid method, p. 4-113 - CAEQ MA 300, NTPT 1.0, 1999-03-02	< 20 mg P kg ⁻¹
Azote organique Kjeldahl (mg N kg ⁻¹ sec)	4500 N _{org} B. Macro-Kjeldahl method, p. 4-94 et 4500 N _{org} C. Semi Micro-Kjeldahl method, p.4-94 - CAEQ MA 300, NTPT 1.0, 1999-03-02	< 200 mg N kg ⁻¹

3.7 CARACTÉRISATION HYDROLOGIQUE

L'ensemble des données de niveau (moyenne journalière) de 1960 à 1997 pour toutes les stations hydrométriques sélectionnées (tableau 3) proviennent du CD-ROM Hydat d'Environnement Canada, fourni par Greenland International Consulting Inc. (7880 Keele Street, Suite 100, Concord, Ontario, L4K 4G7 (905) 738-1818). Pour les données non-compilées sur CD-ROM (1998 à 2002), le Service des données sur le milieu marin (SDMM) du ministère canadien des Pêche et des Océans (MPO) a fourni les données de niveaux des stations : Summerstown, Jetée no 1, Varennes et Courbe no 2. Les données de niveaux de la station de Sainte-Anne de Bellevue proviennent du groupe d'Observation atmosphérique et relevés hydrologiques du Service Météorologique du Canada (SMC), Environnement Canada.

Cinquante et une variables décrivant l'histoire hydrologique ont été calculées pour chaque quadrat, à partir de son élévation et des données quotidiennes de niveau. Les variables ont été calculées pour la saison courante et la saison précédente à la date d'échantillonnage. Ces variables concernent la durée des inondations, les moyennes et écart-type de l'élévation ZC et de

la profondeur d'eau ainsi que le nombre de transition air-eau à l'emplacement de chaque quadrat. Elles ont été calculées pour trois types de périodes : pour chaque intervalle multiple d'une semaine précédant l'échantillonnage, par mois de la saison de l'échantillonnage, pour la saison entière et la saison de croissance précédente (tableau 10). La saison de croissance a été arbitrairement fixée à l'intervalle entre le 1^{er} Avril et le 30 Septembre. L'ensemble de ces variables permet de décrire avec précision tous les aspects des variations de niveaux d'eau qu'ont subi chaque quadrat au cours des 4 saisons d'échantillonnage, ayant donné naissance aux communautés de plantes qui y ont été observées.

Pour les sites du Lac St-Pierre, les niveaux horaires ont été considérés pour le calcul du nombre de jours où le quadrat a été inondé vue l'existence de marées significatives. Pour une journée donnée, un quadrat était considéré inondé s'il avait été submergé une heure ou plus.

3.8 LOCALISATION DES TRANSECTS ET PROFIL VERTICAL

Une série de photographie aérienne (1:5000, 31 août 1999) des sites du Lac Saint-François, Lac des Deux Montagnes et de la région Montréalaise aident à visualiser l'emplacement des différents transects pour chaque herbier (figures 13 à 20). N'ayant pas de survol aérien pour le secteur du Lac Saint-Pierre, le même exercice a été fait à l'aide d'un agrandissement de la carte marine géoréférencée (figure 21) sur laquelle on a indiqué l'emplacement précis des quadrats de chacun des transects (figures 22 à 27).

Une représentation en coupe latérale des transects se révèle un complément d'information visuelle important. En effet l'amplitude et la forme de la pente de chaque transect est une caractéristique distinctive permettant à une échelle fine de mieux localiser les zones sensibles et ainsi d'obtenir une meilleure compréhension des associations végétales retrouvées dans les différents secteurs.

Tableau 10
Variables décrivant l'historique hydrologique de chaque quadrat échantillonné.

Période	Durée (<i>t</i>)	Variable	Symbole	nombre de variables
Jours précédant l'échantillonnage:	(7)	Nombre de jours où le quadrat est submergé	js_j_t	7
	(14)	Moyenne de l'élévation ZC	Em_j_t	7
	(21)	Écart-type de l'élévation ZC	Esd_j_t	7
	(28)			
	(35)			
	(42)			
	(49)			
(56)				
Saison de l'échantillonnage:	(<i>sai</i>)	Nombre de jours où le quadrat est submergé	js_t	2
1 avril à la date d'échantillonnage		Moyenne de l'élévation ZC	Em_t	2
		Moyenne de la profondeur de l'eau	Zm_t	2
Saison précédant l'échantillonnage :	(<i>pre</i>)	Écart-type de la profondeur de l'eau	Zsd_t	2
1 avril au 30 septembre de l'année précédant l'échantillonnage		Écart-type de l'élévation ZC	Esd_t	2
		nb de transitions air-eau ou eau-air	tr_t	2
Avril de la saison de l'échantillonnage	(4)	Moyenne de l'élévation ZC	Emois_t	4
Mai de la saison de l'échantillonnage	(5)	Écart-type de l'élévation ZC	Esd_t	4
Juin de la saison de l'échantillonnage	(6)			
Juillet de la saison de l'échantillonnage	(7)			
Avril de la saison précédente	(4)	Moyenne de l'élévation ZC	E_p_t	5
Mai de la saison précédente	(5)	Écart-type de l'élévation ZC	Esd_p_t	5
Juin de la saison précédente	(6)			
Juillet de la saison précédente	(7)			
Août de la saison précédente	(8)			
				total =51

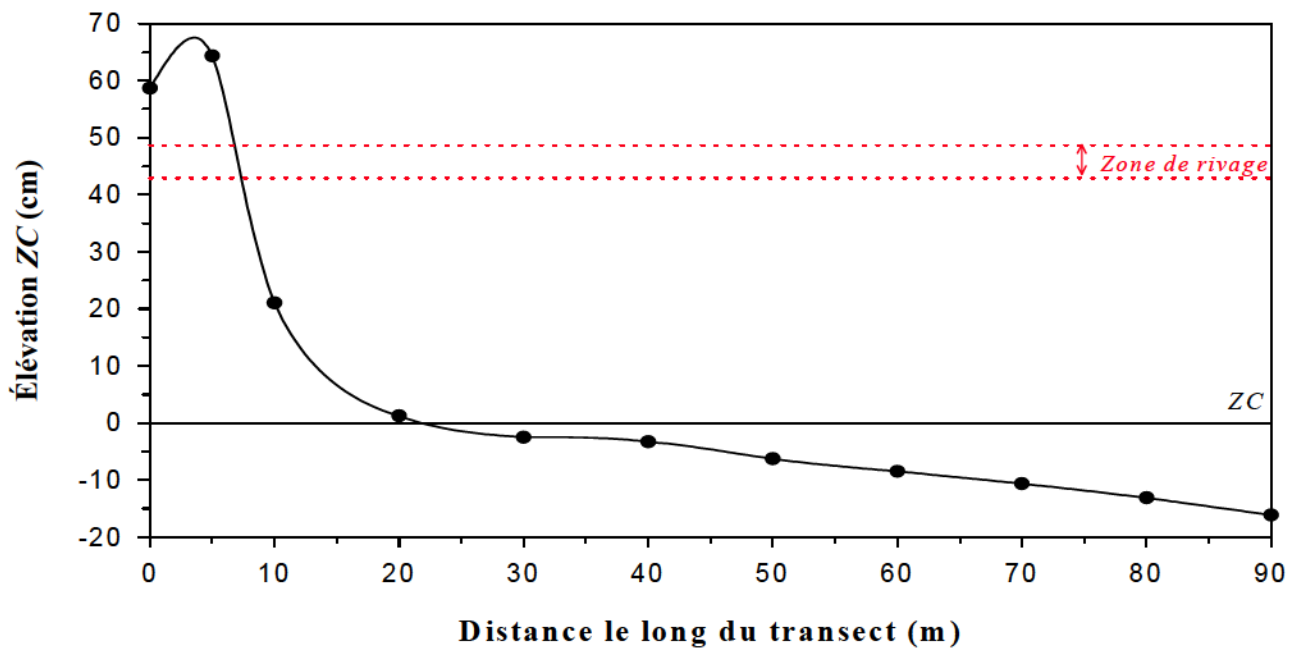


Figure 13 Localisation et profil vertical du transect à la pointe Dupuis du Lac Saint-François

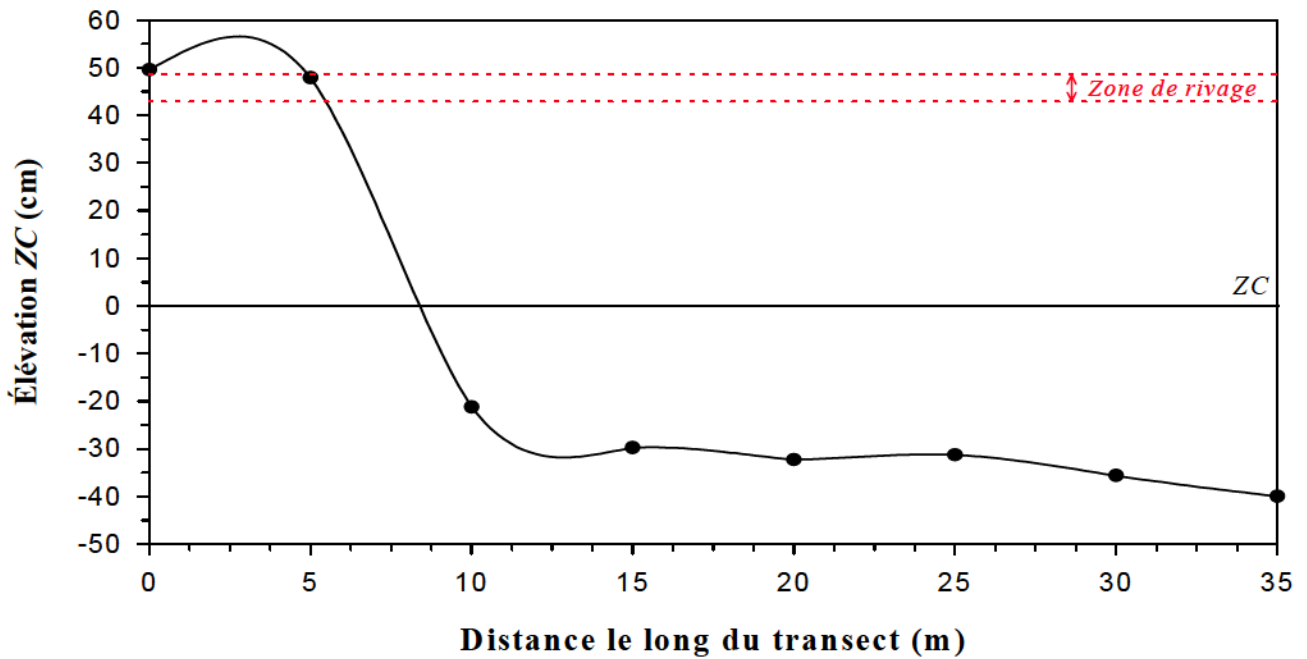


Figure 14 Localisation et profil vertical du transect à la pointe Mouillée du Lac Saint-François. Le trait pâle indique le recul de la rive de 18 m entre 2001 et 2002

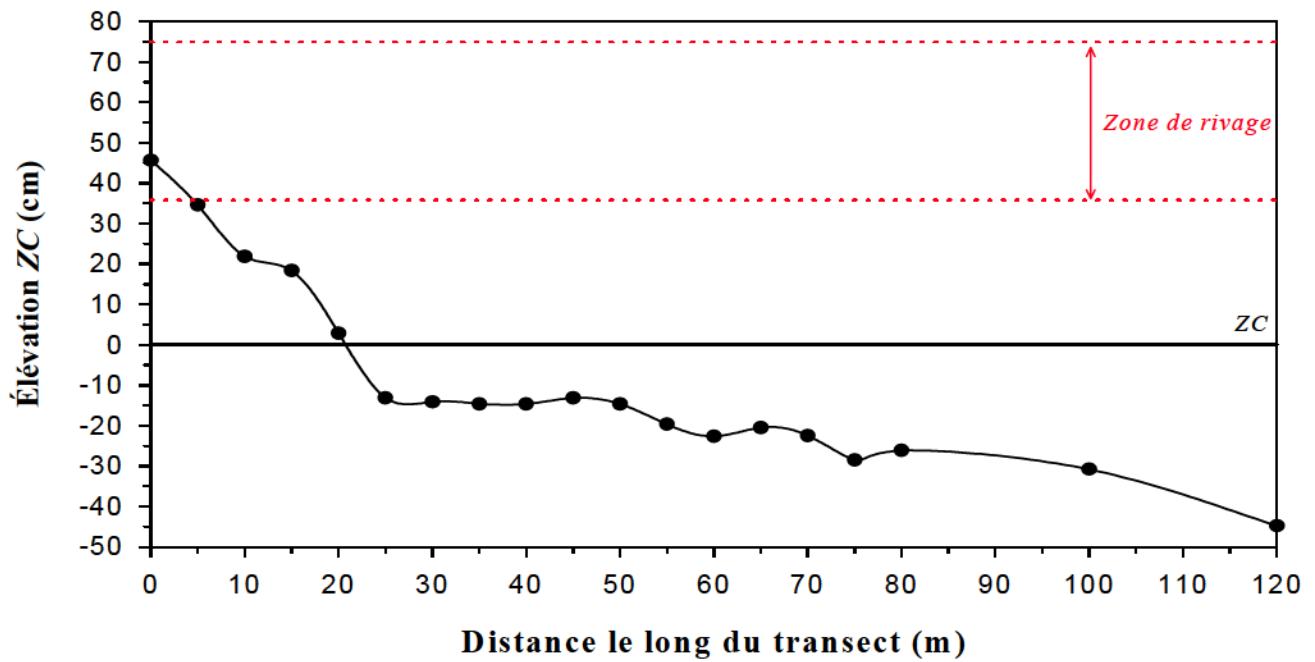


Figure 15 Localisation et profil vertical de transect à l'île Hay du Lac des Deux Montagnes

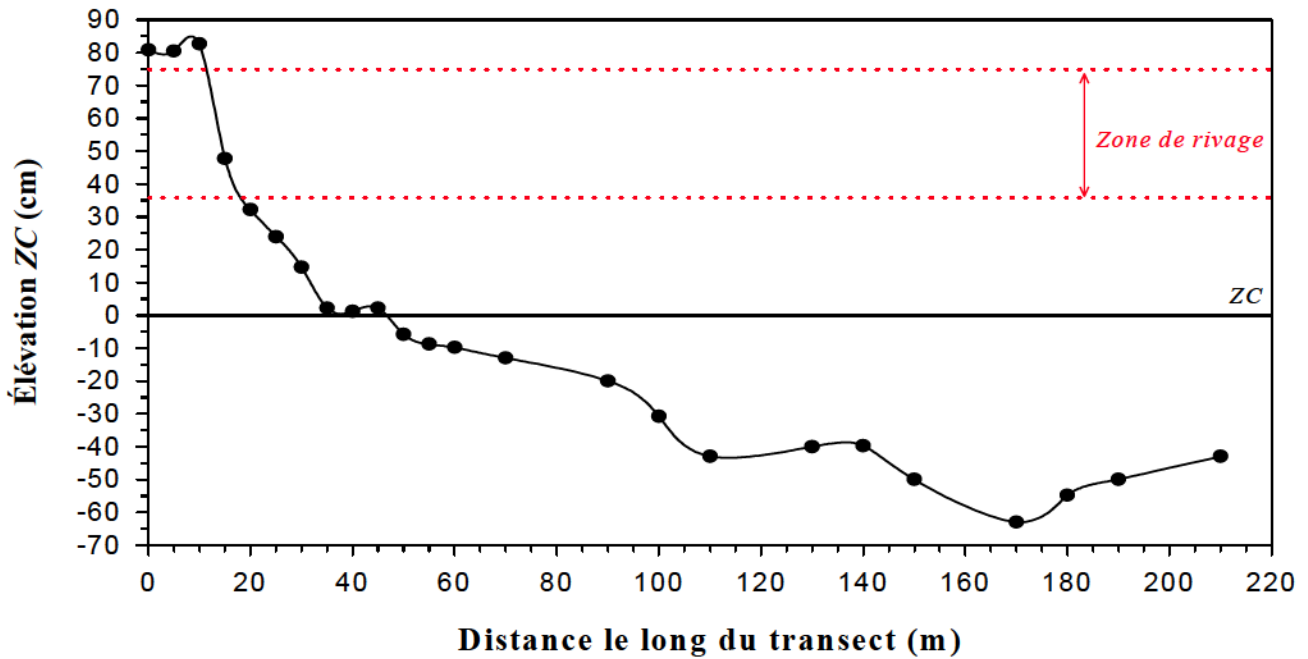


Figure 16 Localisation et profil vertical du transect à la baie des Indiens du Lac des Deux Montagnes

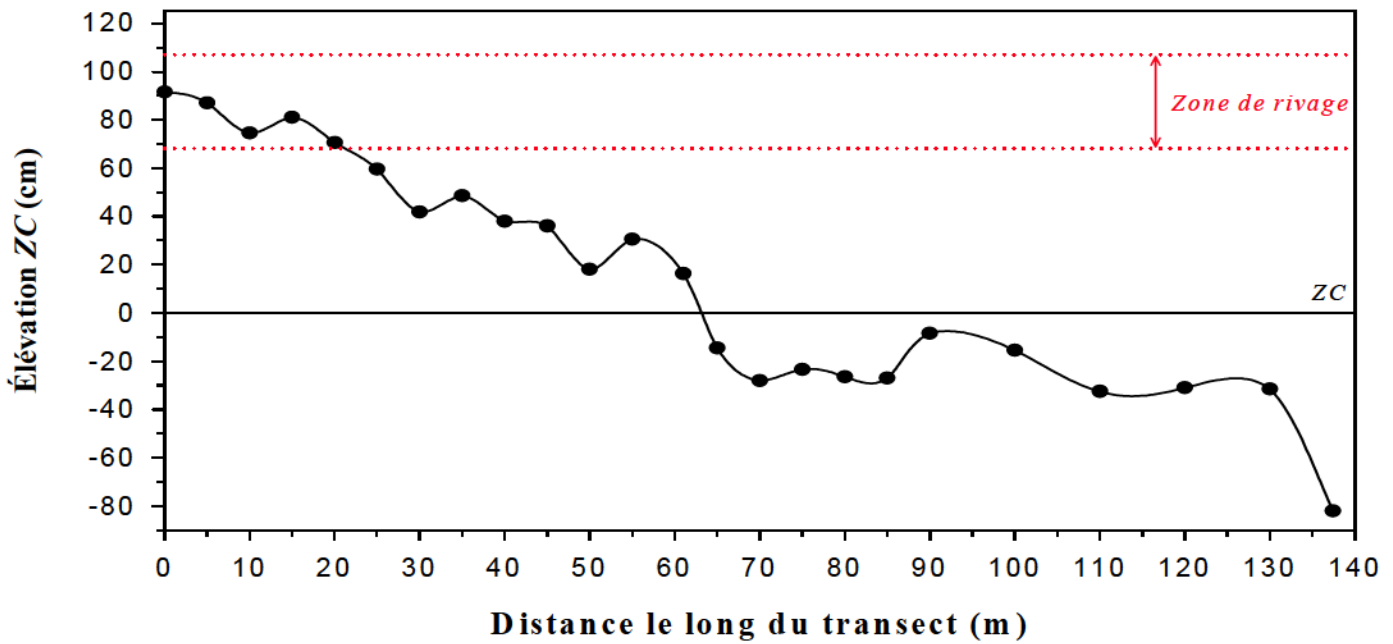


Figure 17 Localisation et profil vertical du transect à Boucherville

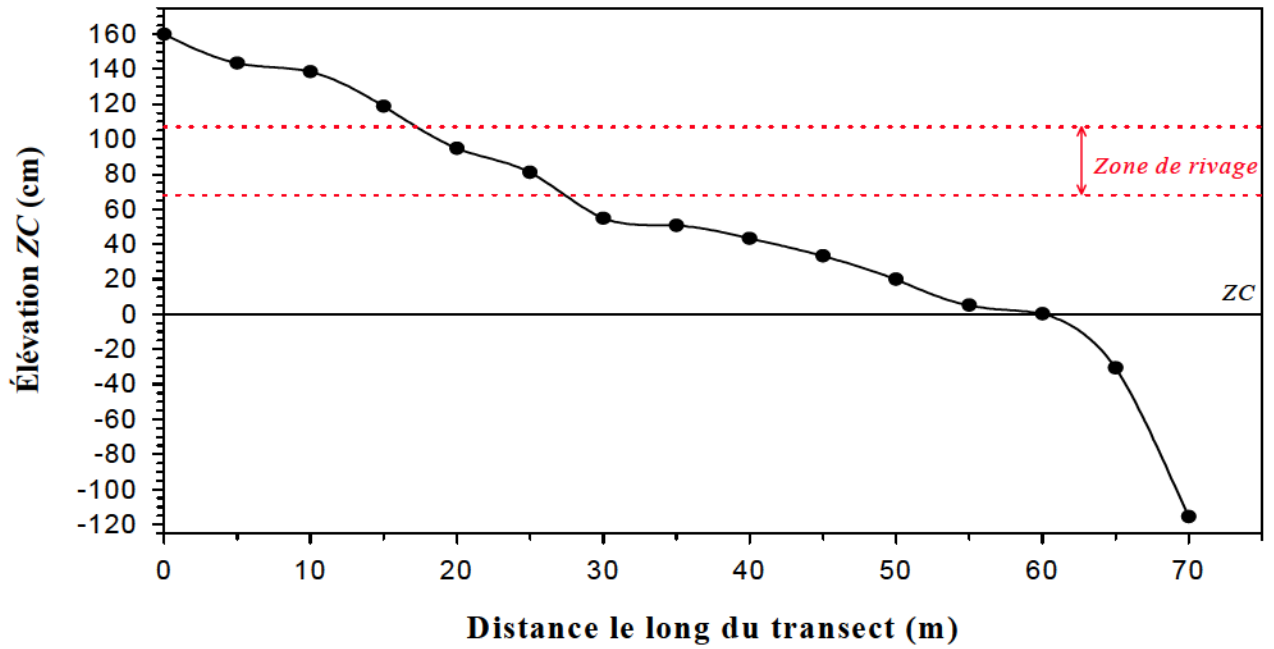


Figure 18 Localisation et profil vertical du transect à Pointe-aux-Trembles

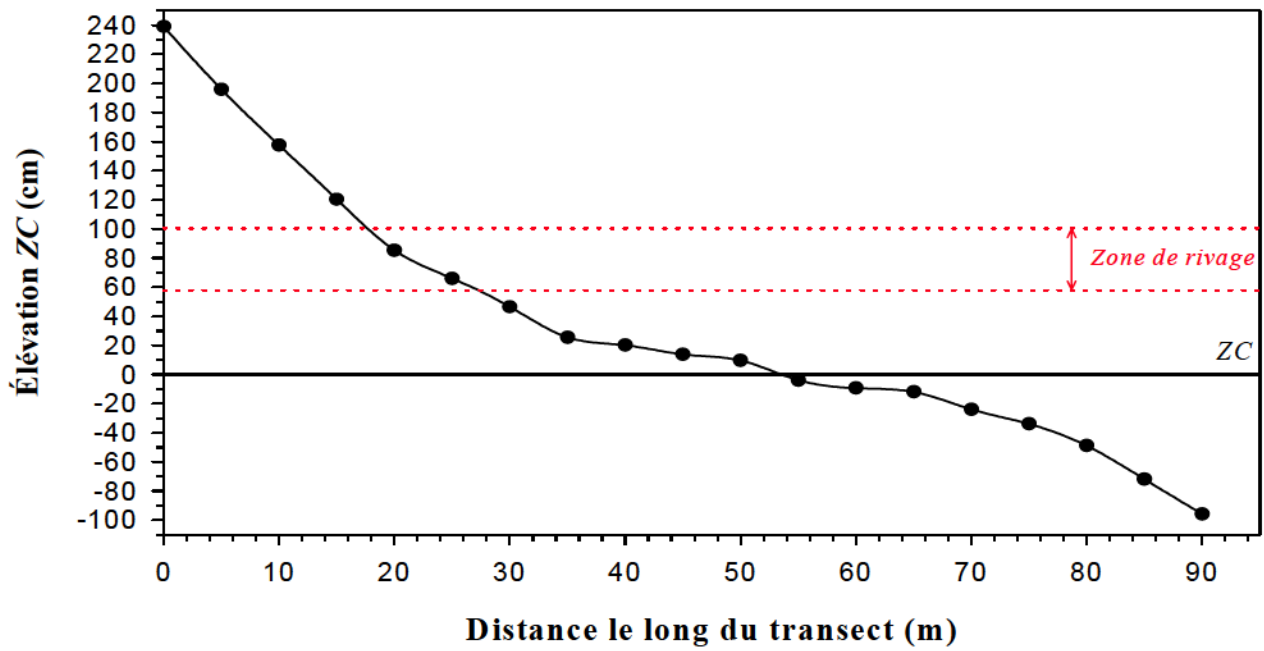


Figure 19 Localisation et profil vertical du transect à l'île aux Cerfeuilis

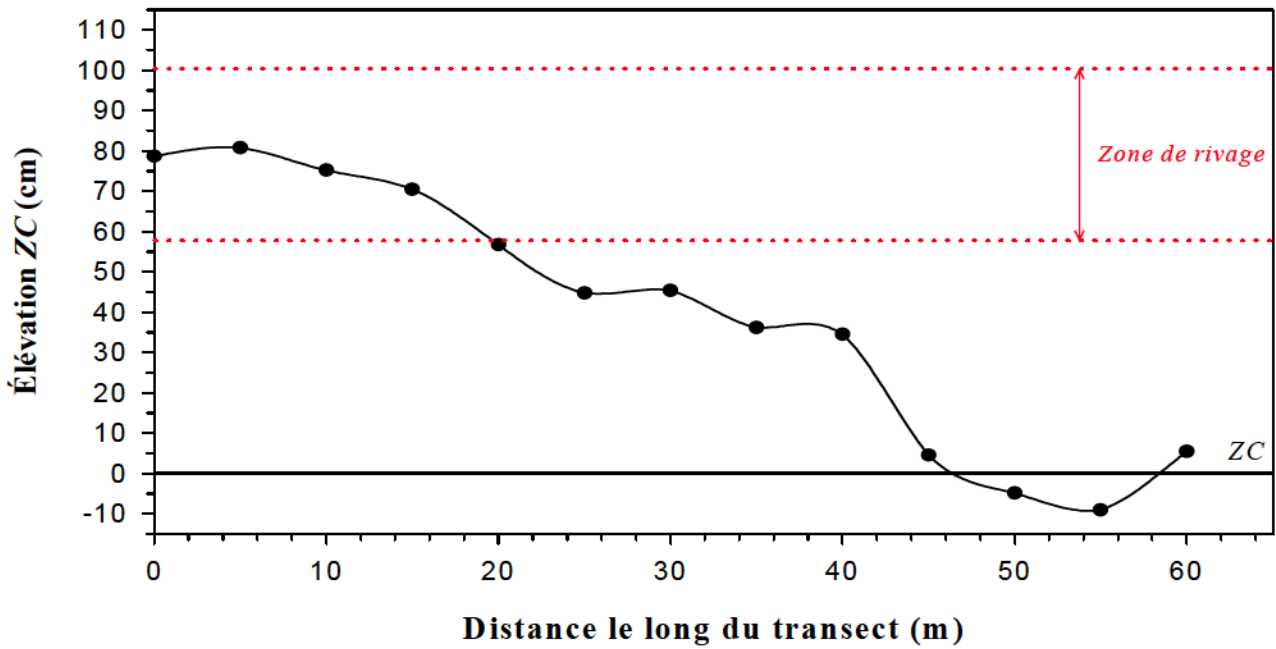


Figure 20 Localisation et profil vertical du transect à l'îles de Verchères

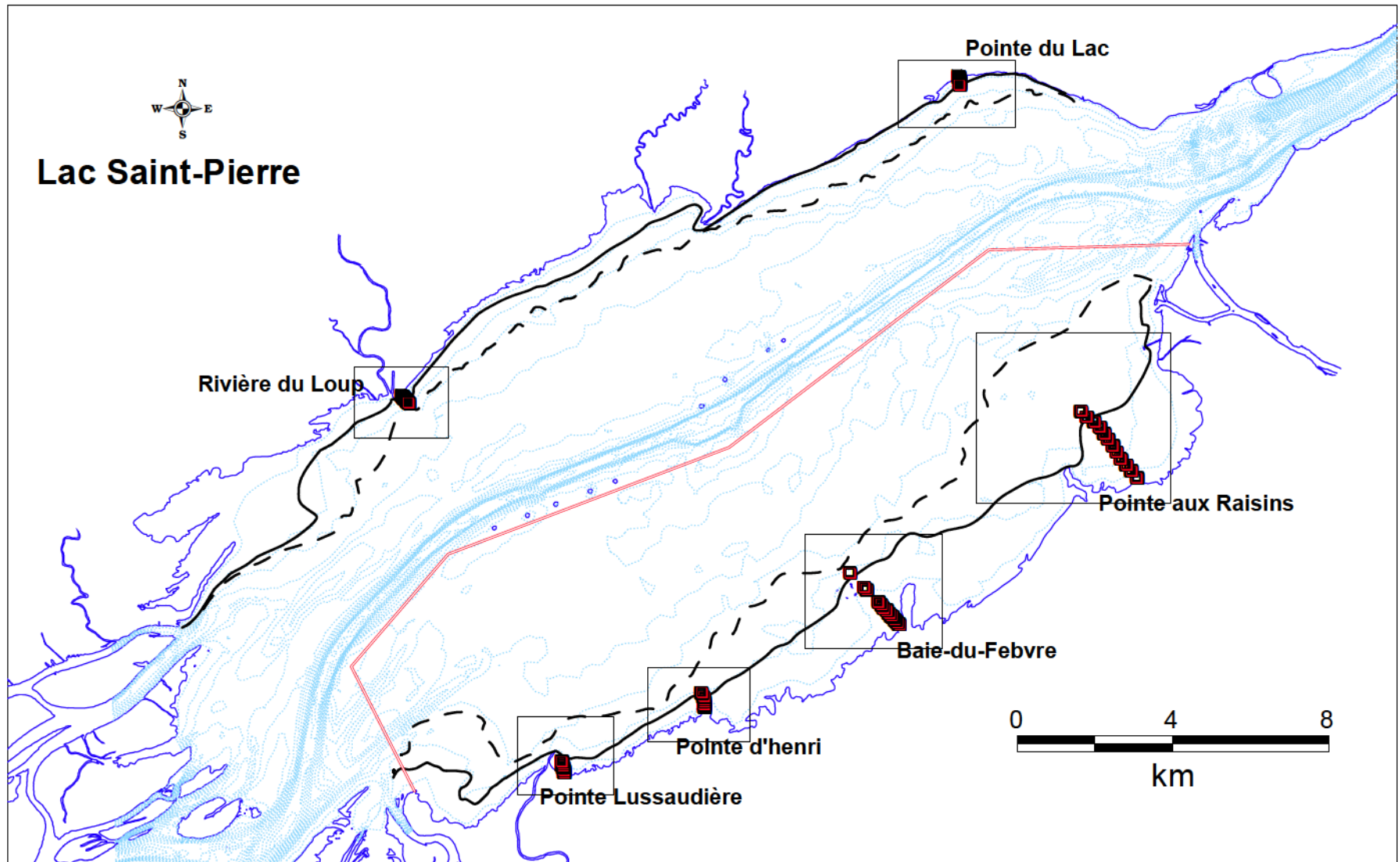


Figure 21 Localisation des transects au Lac Saint-Pierre et limite des plantes émergentes formant un couvert continu (ligne noire continue) et formant un couvert épars (ligne noire pointillée) à la fin de l'été 2000

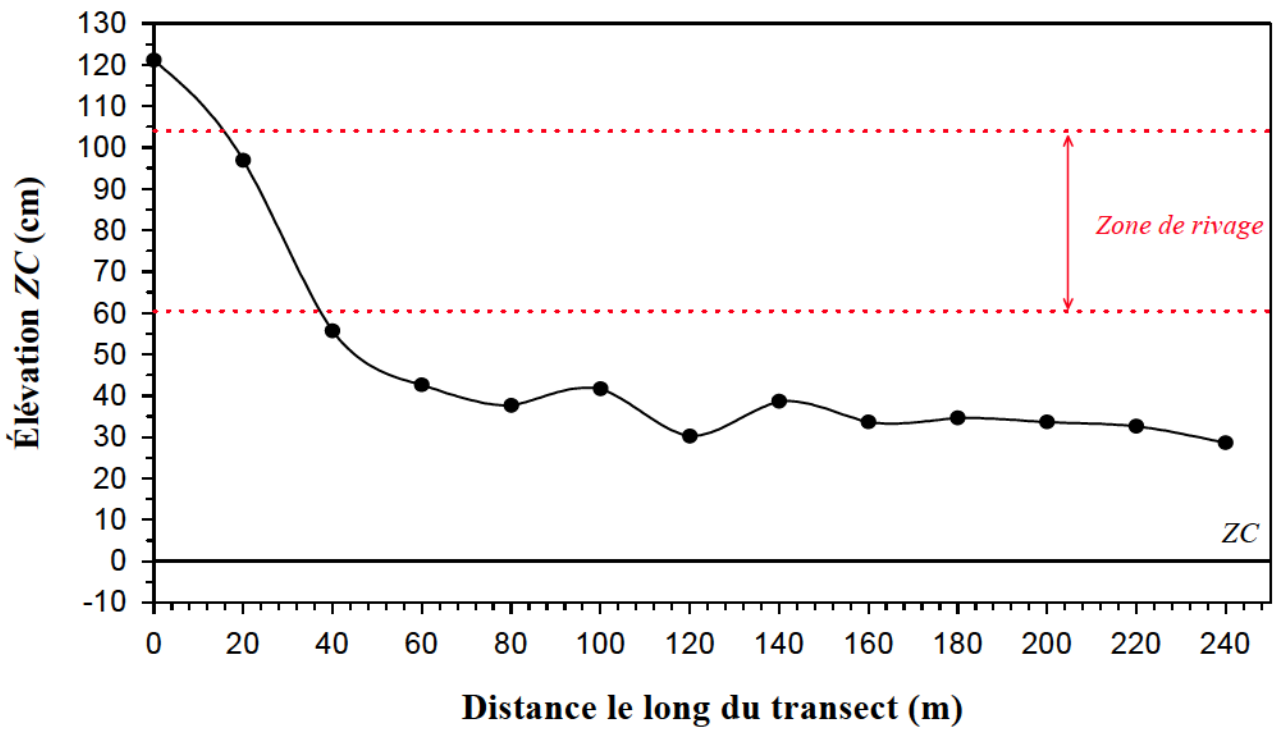
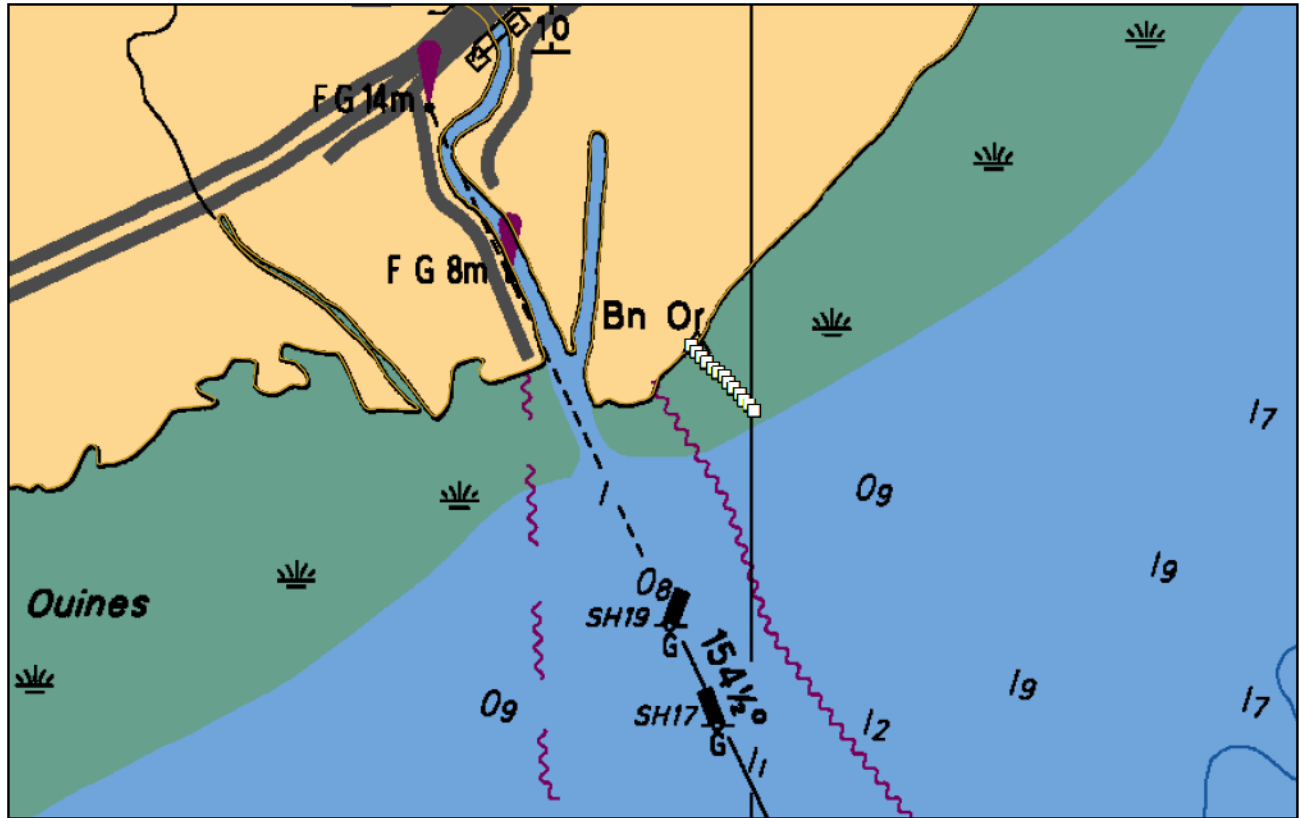


Figure 22 Localisation et profil vertical du transect à la Rivière du Loup du Lac Saint-Pierre

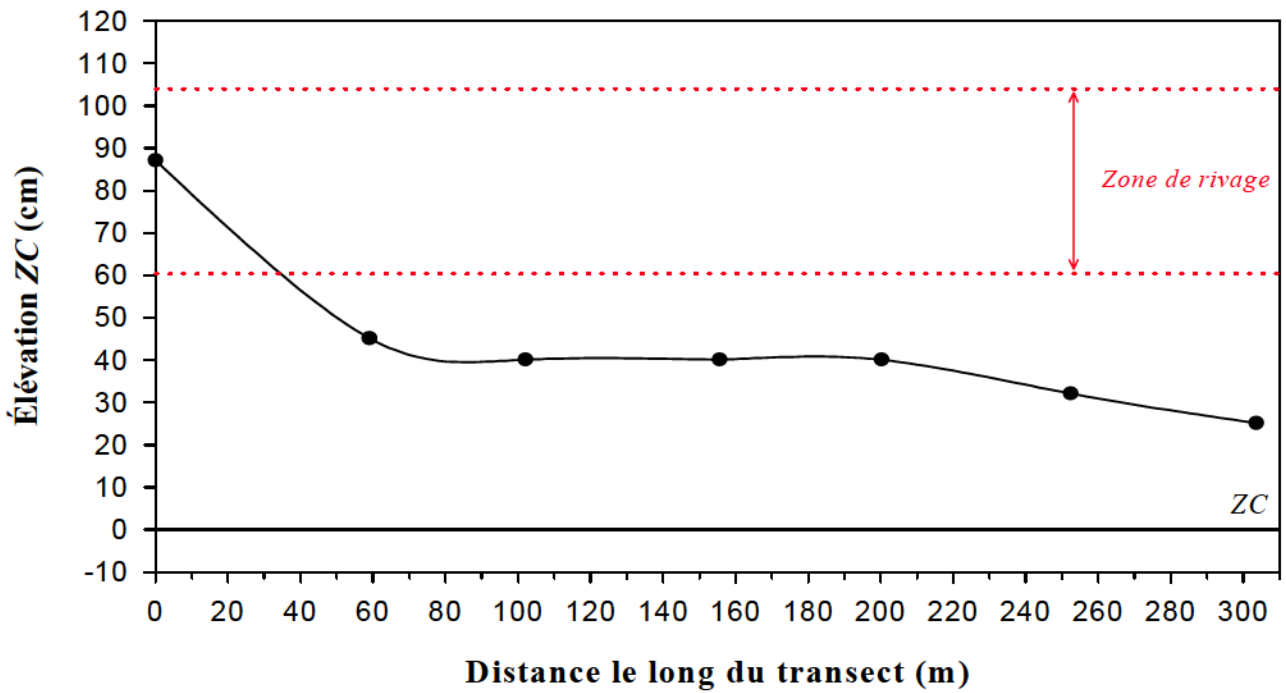
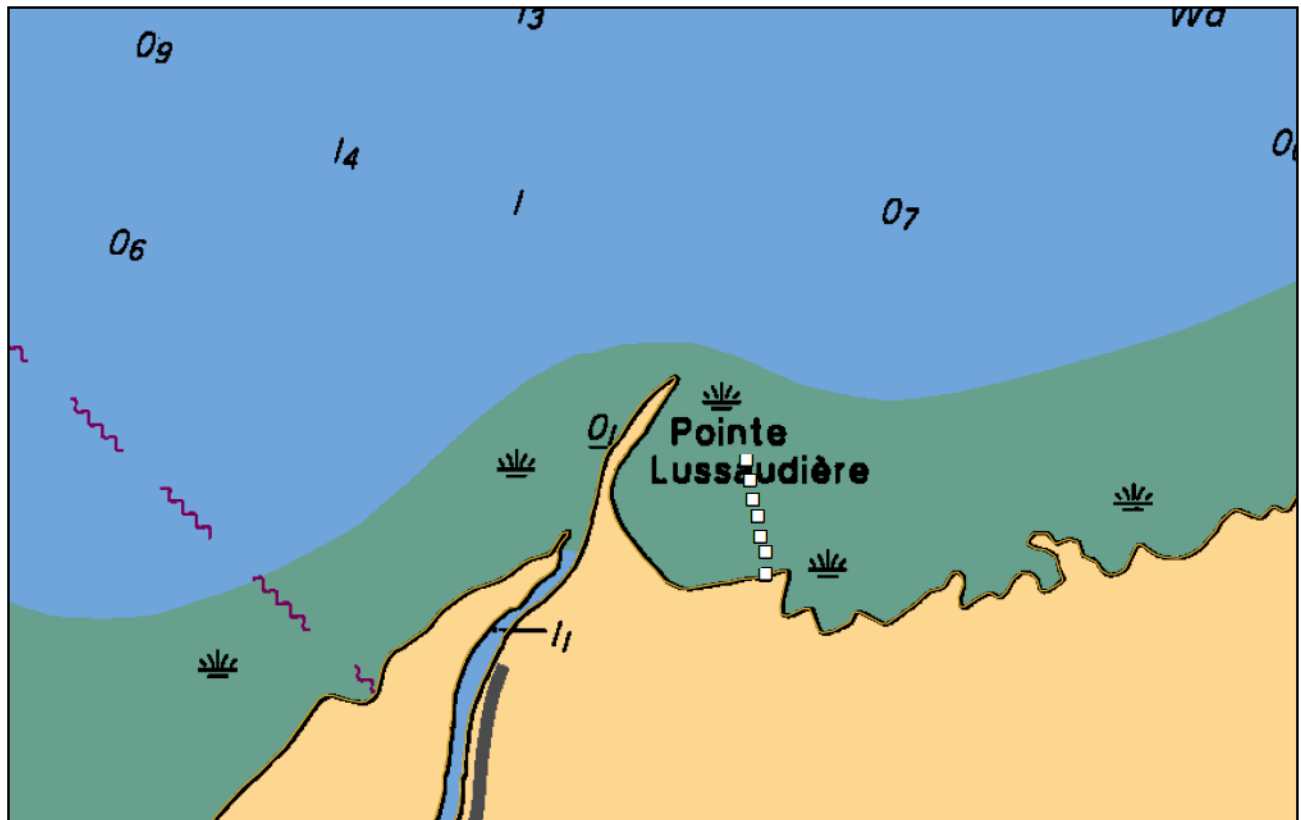


Figure 23 Localisation et profil vertical du transect à la pointe Lussaudière du Lac Saint-Pierre

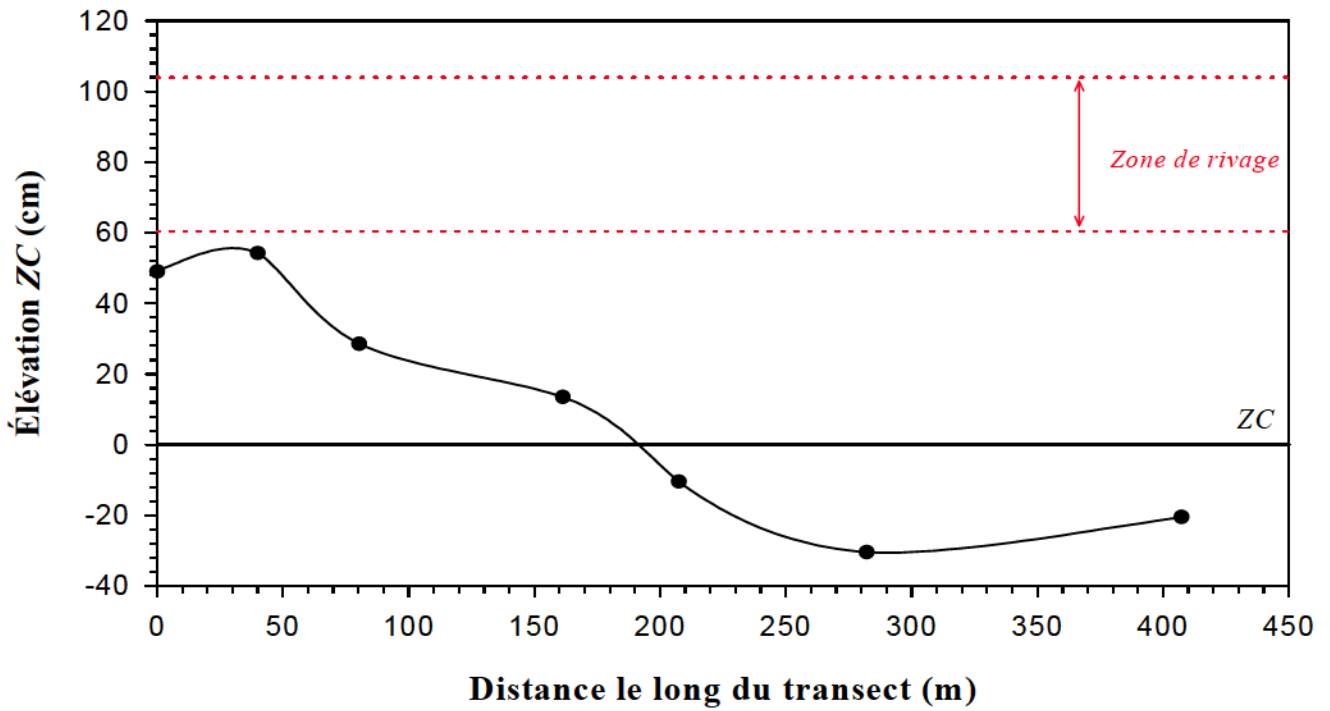
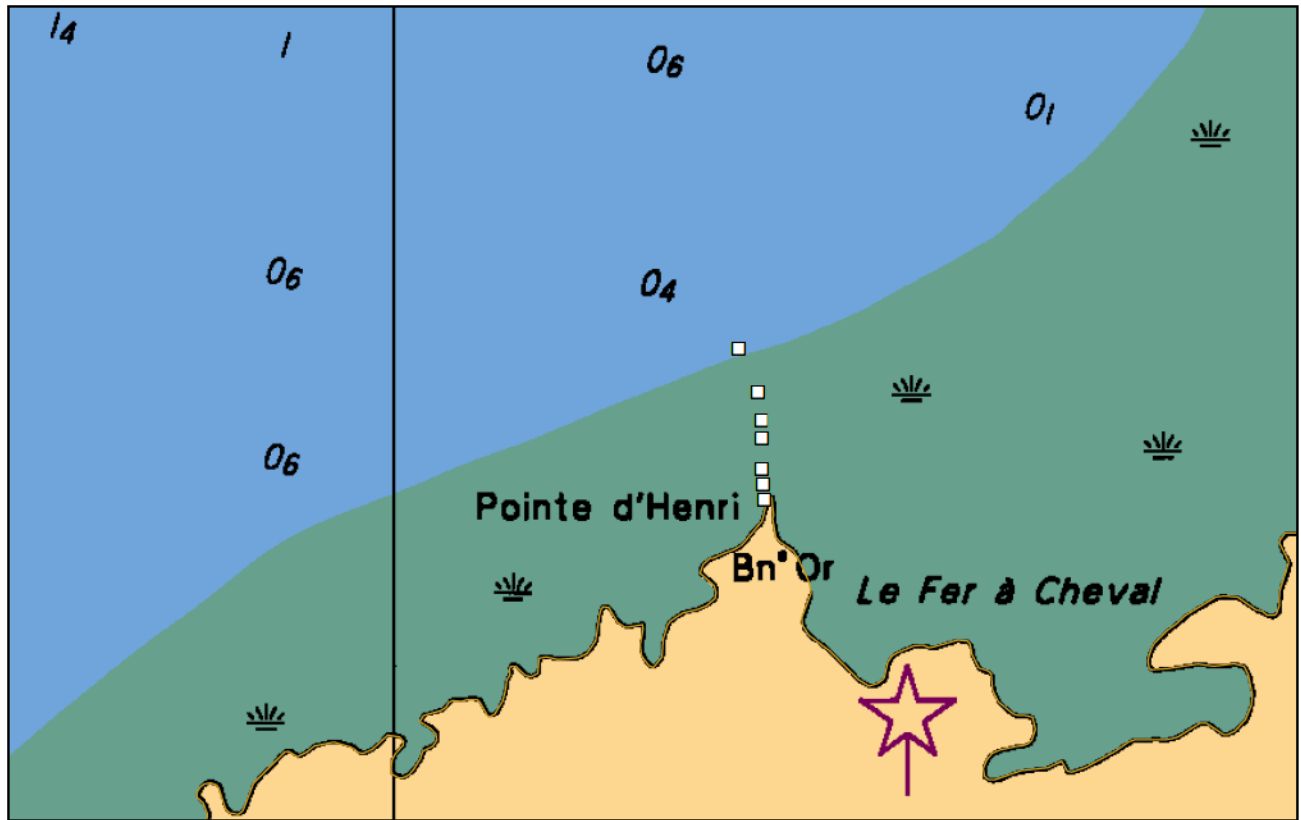


Figure 24 Localisation et profil vertical du transect à la pointe d'Henri du Lac Saint-Pierre

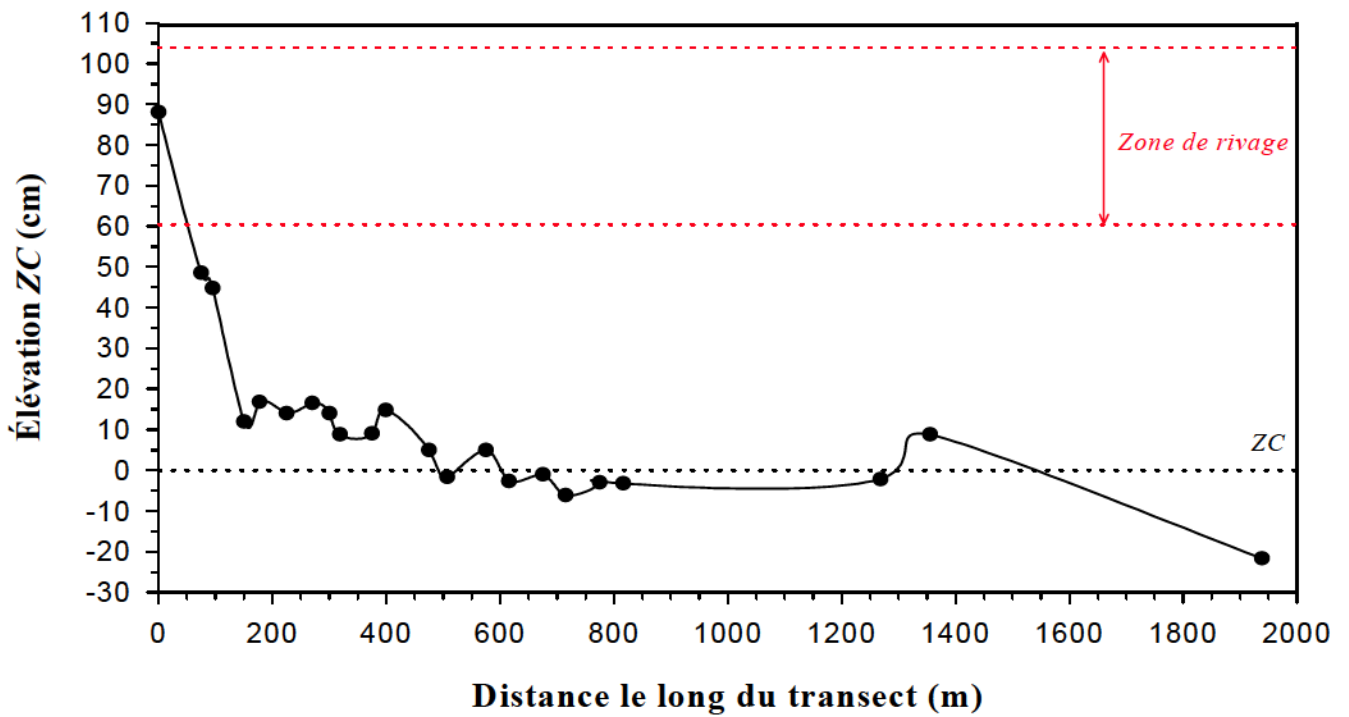
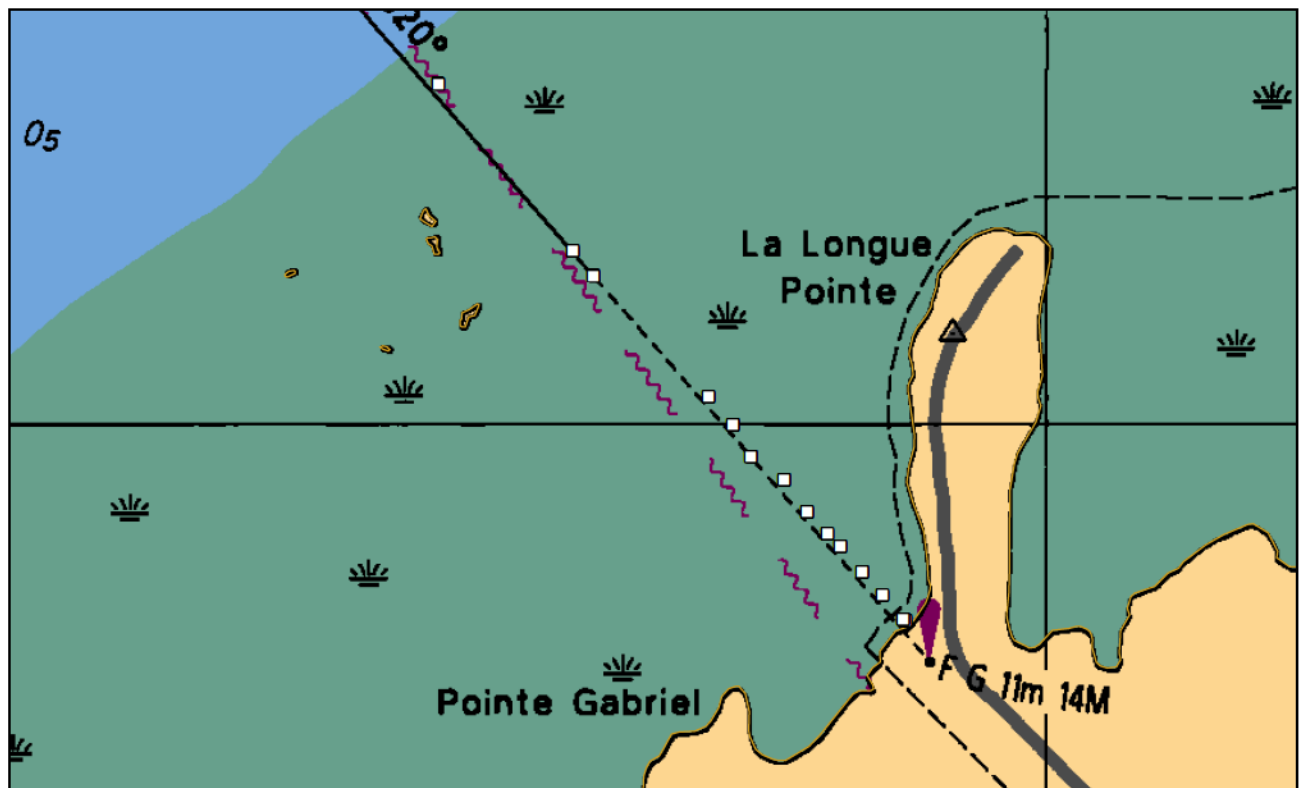


Figure 25 Localisation et profil vertical du transect à la Baie-du-Febvre du Lac Saint-Pierre

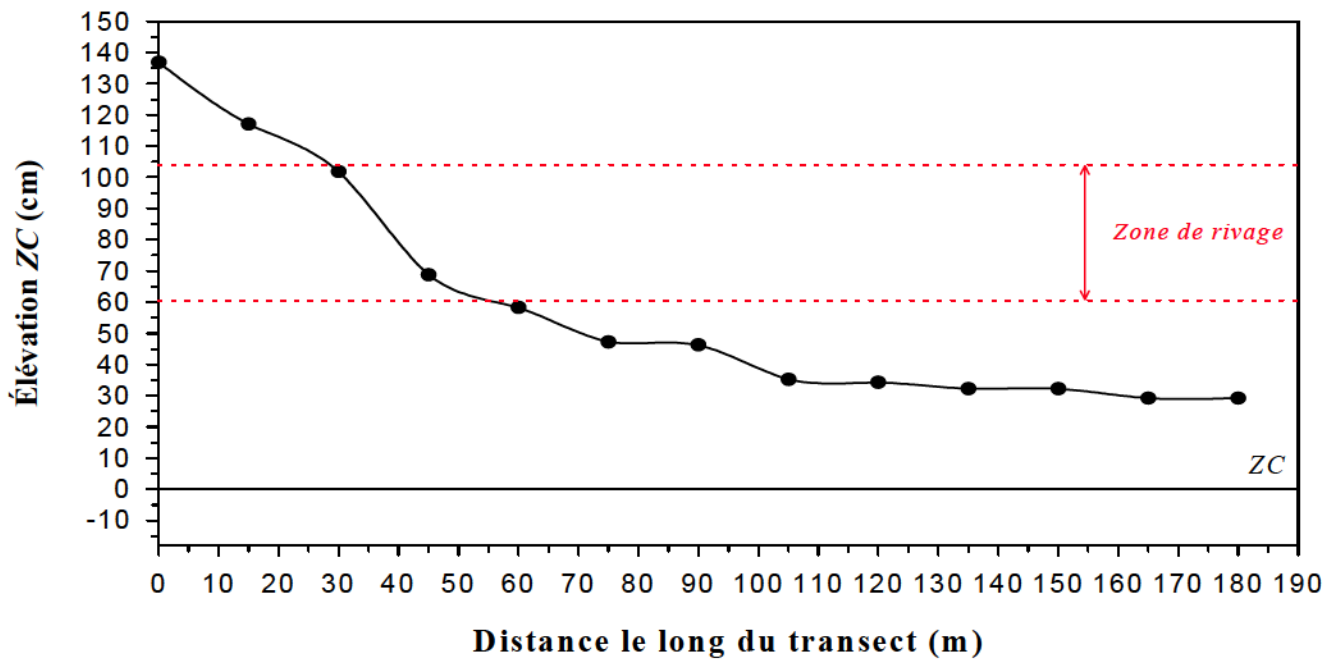
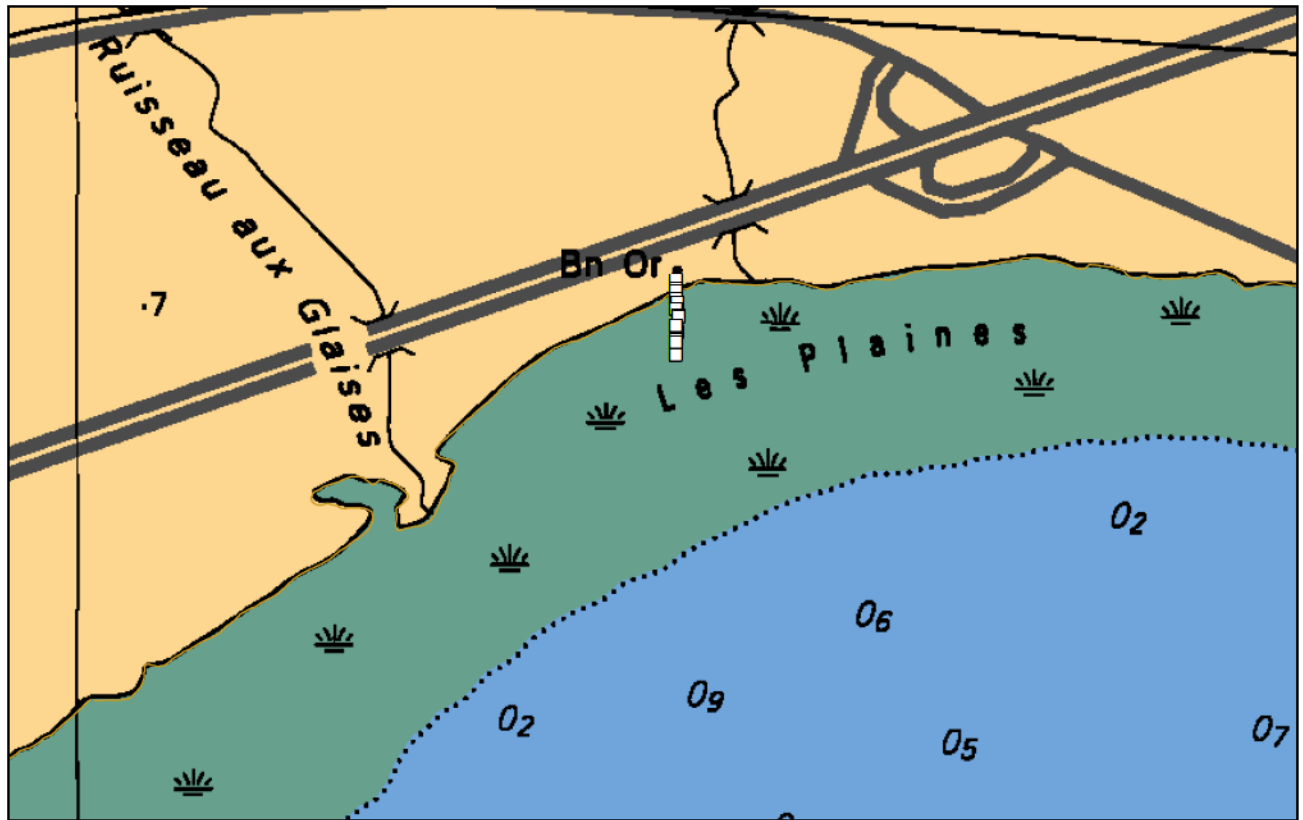


Figure 26 Localisation et profil vertical du transect à Pointe-du-Lac du Lac Saint-Pierre

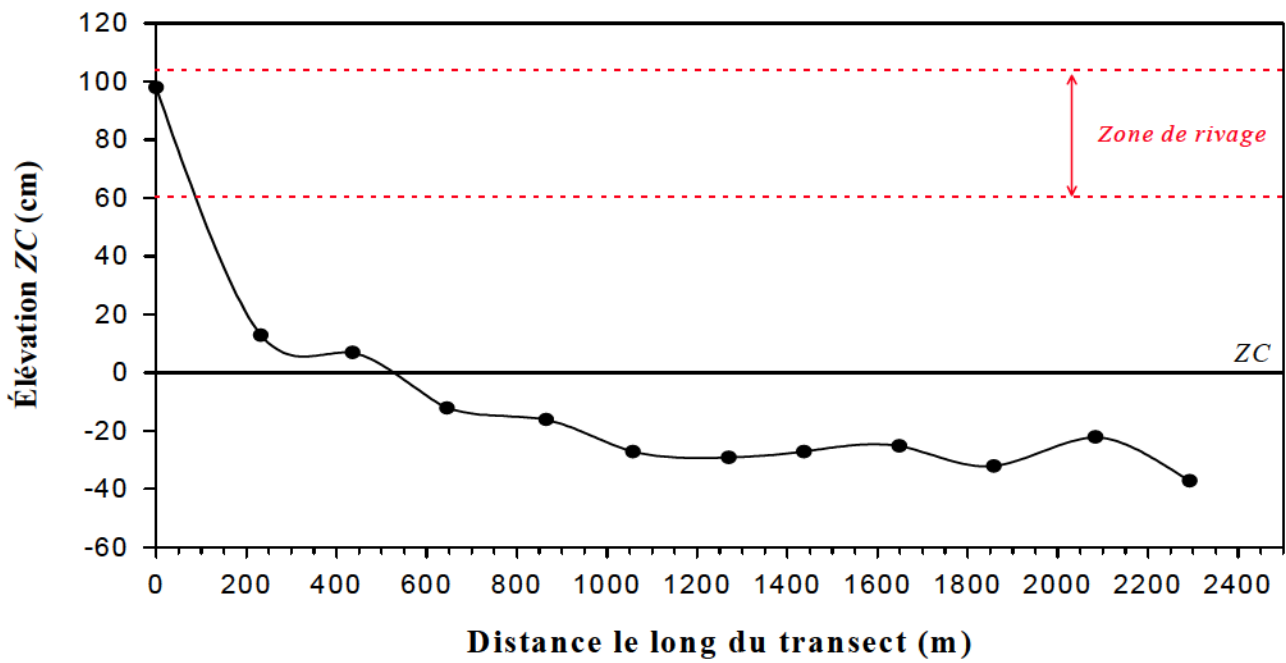
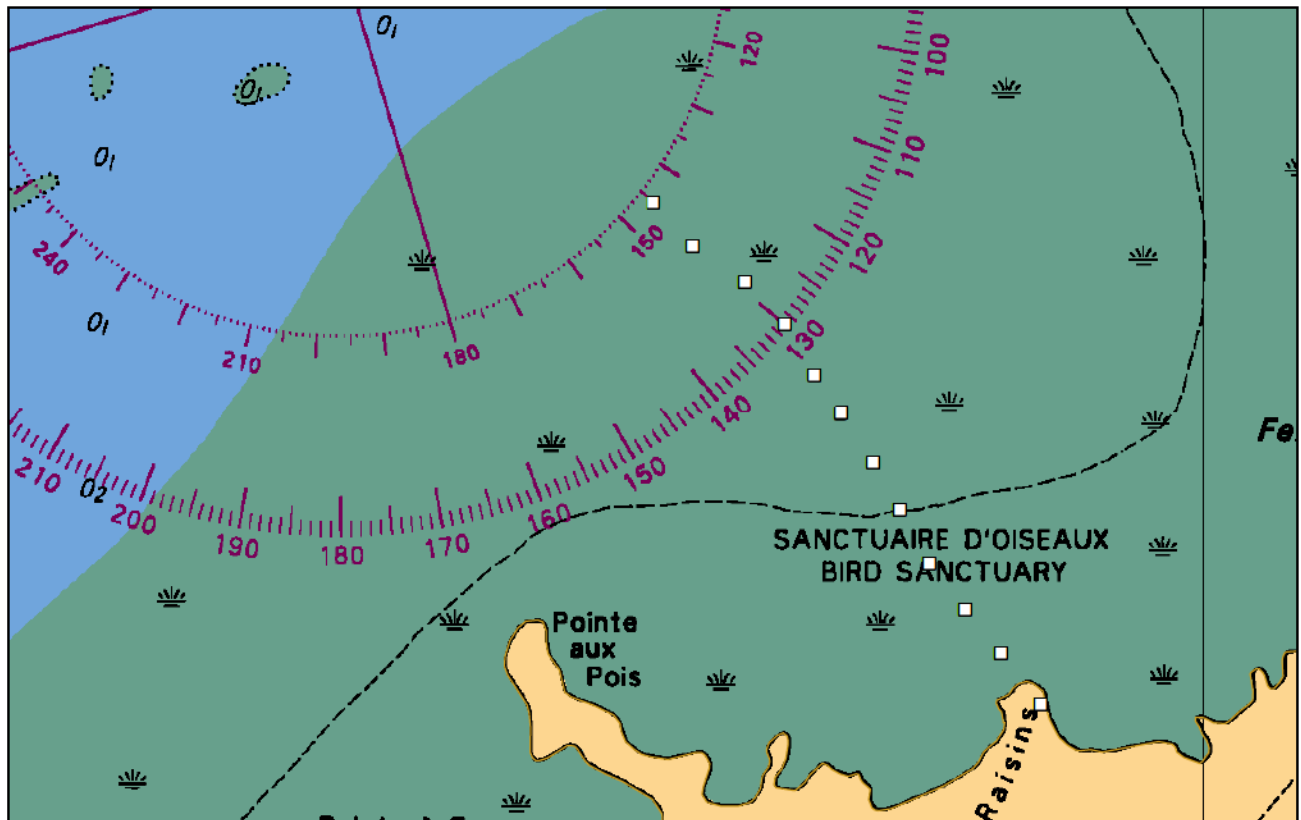


Figure 27 Localisation et profil vertical du transect à la pointe aux Raisins du Lac Saint-Pierre

4 Description des sites d'échantillonnage

4.1 LAC SAINT-FRANÇOIS

Les herbiers du Lac Saint-François sont exposés aux eaux vertes dont la conductivité est forte ($>300 \mu\text{S}/\text{cm}$), la transparence, élevée (Secchi $> 5 \text{ m}$, $k < 0,33 \text{ m}^{-1}$), et le contenu en éléments nutritifs, faible. Le niveau de ce Lac ayant été stabilisé à un marnage de $\pm 10 \text{ cm}$ annuellement, les herbiers ne sont pas sujets à une variation saisonnière de niveau comme dans les autres secteurs du fleuve. En l'absence de variations saisonnières importantes de niveau au Lac Saint-François, on s'attend à ce que la végétation de ces sites varie peu entre les années et indique les seuls effets des différences inter-annuelles de climat (précipitation, sécheresse, ensoleillement, vent). Les herbiers choisis sont situés sur chacune des rives du Lac et permettent d'étudier l'effet de l'exposition au vent, puisque ce Lac est situé dans l'axe nord-est-sud-ouest correspondant aux vents dominants durant la période libre de glace. Dans ces secteurs exposés à des fetch de plus de 10 km par rapport au sud-ouest, on s'attend à ce que l'impact des vagues dues au vent soit très prononcé sur la zonation verticale et la biomasse des plantes aquatiques. L'effet du vent est indiqué par la faible épaisseur des sédiments meubles (de moins de 10 cm à 85 cm) et par leur proportion élevée de sable (71 à 90 p. 100).

4.1.1 Lac Saint-François – pointe Dupuis

L'herbier de la pointe Dupuis représente l'un des rares secteurs exempts de développement domiciliaire sur la rive sud du Lac Saint-François. La pointe Dupuis s'avance dans le Lac vers le nord et est exposée à l'axe des vents dominants du sud-ouest (Frenette *et al.* 1989), avec une minime protection offerte par de petites îles (îles Minguy, Dupuis, Cherry et Lanouette). La pointe représente un point de repère naturel; une paire d'amers de la Garde côtière s'y trouve d'ailleurs pour aider à la navigation. Comme pour l'ensemble de la côte sud du Lac, les fonds à proximité de la pointe Dupuis sont sablonneux à rocheux, assez compactés (Lorrain *et al.* 1992). En raison de la stabilisation du niveau du Lac, la plaine d'inondation est peu développée, étant plutôt constituée de marais semi-permanents situés derrière une bande de terre surélevée qui forme une barrière au niveau de la frange de la rive. Le rivage comme tel est

constitué d'une plate-forme surélevée de 30 à 50 cm qui fait une transition abrupte entre le milieu terrestre et la zone immergée, constituant la rive du Lac depuis la stabilisation du niveau. Le fond de la zone submergée suit une pente douce (0,4 cm/m), atteignant 1 m de profondeur à près de 200 m du rivage. Étant baigné par les eaux provenant des Grands Lacs, ce secteur est caractérisé par une grande transparence. L'exposition au vent, le fond sablonneux en pente douce et la clarté des eaux confèrent à ce site ses caractéristiques particulières.

4.1.2 Lac Saint-François – pointe Mouillée

Située sur la rive opposée (nord) du Lac Saint-François, la pointe Mouillée s'avance vers le sud. Ce site est caractérisé par une forte exposition aux vents dominant (> 16 km) et présente des sédiments dont la texture est beaucoup plus fine. On note aussi dans l'herbier la présence de sédiments meubles de nature organique qui laissent fréquemment échapper des bulles de gaz lorsqu'on les remue. L'épaisseur et le peu de compaction des sédiments littoraux de la pointe Mouillée rendent les déplacements difficiles, contrastant fortement avec le sable compact observé au site précédent. Comme à la pointe Dupuis, le rivage est formé d'un talus abrupt (30 cm de dénivellation) entre les macrophytes émergentes robustes et le niveau des eaux. Le littoral submergé descend en pente douce, atteignant 1 m de profondeur à 80 m du littoral. Tout comme dans le cas de la pointe Dupuis, ce secteur baigné par les eaux vertes est caractérisé par une transparence de l'eau supérieure à 5 m.

À ce site on a noté, entre les années 1999-2001, la présence de troncs d'arbres adultes (environ 0,5 m de diamètre) submergés sous environ 1,3 m d'eau, laissant présumer à des restes de végétation riveraine présente avant l'augmentation du niveau du Lac. Cependant la rive de ce site a subi une profonde transformation entre 2001 et 2002, montrant une érosion de 18 m de la rive, peuplée les années précédentes d'espèces arbustives bien développées et robustes. Cette érosion résulte possiblement de l'influence des glaces de l'hiver 2001-2002, couplé à la forte exposition au vent caractérisant ce site. Ce recul, mesuré par DGPS, est représenté par un trait pâle sur la photo aérienne de 1999 (figure 14). Les données provenant de ce transect, très fortement perturbé, ont été exclues des analyses.

4.2 LAC DES DEUX MONTAGNES

Bien que ne faisant pas partie à proprement parler du Saint-Laurent, nous avons choisi d'effectuer un échantillonnage au Lac des Deux Montagnes afin de comparer des milieux humides en eaux vertes en provenance des Grands Lacs avec des milieux humides influencés par les eaux brunes en provenance du Bouclier Canadien. Étant situés en aval du bassin de la Rivière des Outaouais, ces milieux humides subissent d'importantes variations saisonnières de niveau. Le débit de la rivière subit des modifications liées au remplissage et à l'opération de vastes réservoirs situés en tête de bassin. De plus, les activités agricoles dans le bassin et la présence de l'agglomération urbaine d'Ottawa-Hull apportent des quantités appréciables d'éléments nutritifs à ces eaux brunes naturellement pauvres, les rendant plus riches que les eaux du Lac Saint-François. Les sites choisis au Lac des Deux Montagnes sont parmi les rares herbiers à être situés sur un substrat meuble. En effet, ce Lac comprend une très grande proportion de son littoral composé d'amas de blocs et de cailloux, formant un substrat extrêmement hétérogène pour l'échantillonnage des plantes. Ces dernières s'enracinent probablement dans les rares dépôts meubles accumulés dans les anfractuosités de ces blocs et sont présentes partout dans le Lac des Deux Montagnes, peu importe la nature du substrat. Cependant, pour faciliter la comparaison avec les autres sites, nous avons choisi des herbiers croissant sur des sédiments meubles.

Contrairement aux deux sites précédents, les eaux du Lac des Deux Montagnes sont peu minéralisées (conductivité $< 70 \mu\text{S/cm}$) et de faible transparence (Secchi $< 2 \text{ m}$). Ces conditions favorisent la croissance des plantes émergées au détriment des plantes submergées. Même en eau peu profonde (0,5 m), ces dernières sont densément couvertes de périphyton et de dépôts de matières organiques flocculantes, ce qui leur donne un aspect velouté et brunâtre. Cette particularité du Lac des Deux Montagnes résulte de la forte concentration d'éléments nutritifs provenant de la rivière des Outaouais (de l'ordre de $30 \mu\text{g/L}$, Primeau, 1996) et de la rivière du Nord (Bérubé, 1992), qui favorisent la prolifération du périphyton en eau peu profonde. Le périphyton utilise les macrophytes submergées comme substrat pour maximiser son exposition à la lumière, en en réduisant du même coup la disponibilité pour la croissance des macrophytes. Les herbiers de l'île Hay et de la baie des Indiens sont tous deux exposés sur une distance d'environ 5 km aux vents du sud-ouest qui dominant au cours de la période estivale.

En résumé, les macrophytes croissant au Lac des Deux Montagnes sont exposées au vent et aux vagues ainsi qu'à de faibles intensités lumineuses, qui sont réduites de surcroît par la croissance importante du périphyton.

4.2.1 Lac des Deux Montagnes – île Hay

L'île Hay a été choisie parce qu'elle représente un secteur de sédiments meubles non affecté par le développement urbain ou d'autres altérations (remblayage) du rivage, des conditions relativement rares au Lac des Deux Montagnes. À l'île Hay, la présence d'un grand nombre d'arbres endommagés, d'un plateau peu profond autour de l'île, ainsi que la prédominance de saules sur l'île témoignent des rigueurs imposées au milieu par la glace, l'érosion et les variations saisonnières de niveau. Les sédiments de l'herbier de l'île Hay sont meubles, bien compactés (20-70 cm d'épaisseur) et comportent une forte proportion de sable fin. Le site d'étude est orienté face à l'ouest, ce qui se rapproche de l'axe principal du courant et des vents dominants dans le Lac des Deux Montagnes. La plaine d'inondation se prolonge graduellement, sans bris de pente notable, dans le marais colonisé par les plantes aquatiques émergentes et submergées. La profondeur atteint 1 m à environ 100 m du rivage.

4.2.2 Lac des Deux Montagnes – baie des Indiens

Comme son nom l'indique, l'herbier de la baie des Indiens est abrité du vent au fond d'une baie située à proximité de la réserve amérindienne de Kanesatake (Oka). Les sédiments présents dans cette baie sont meubles et comportent une forte proportion de sable. Tout comme dans le cas de l'île Hay, on observe une importante colonisation du périphyton sur la partie immergée de la tige des plantes émergentes, ainsi que sur les feuilles des plantes submergées. Dans cette baie, le périphyton atteint toutefois un développement tel qu'il forme par endroit des masses flottantes vertes et gélatineuses, agglutinées avec des bulles de gaz indicatrices d'une production primaire intense. Par contraste avec l'île Hay, l'herbier de la baie des Indiens est abrité au fond d'une baie et semble plus à l'abri des vagues et des embâcles de glace. La pente très douce à ce site (1,2 cm/m), permet à l'herbier de se développer jusqu'à près de 1 km de la rive, malgré la faible transparence des eaux.

4.3 FLEUVE SAINT-LAURENT – RÉGION MONTRÉALAISE

Quatre herbiers ont été sélectionnés dans la région montréalaise pour tenir compte de la diversité des types d'herbiers, de l'origine des masses d'eau ainsi que des sources possibles de contamination. On a ainsi choisi deux herbiers littoraux situés en bordure d'îles (Pointe-aux-

Trembles et île aux Cerfeuil) et deux herbiers se développant dans un réseau de canaux plus ou moins complexes entre des îles (Boucherville et Verchères).

4.3.1 Fleuve Saint-Laurent – Boucherville

Les îles de Boucherville sont essentiellement sous l'influence des eaux vertes du fleuve provenant du Lac Saint-François et qui s'écoulent dans le chenal maritime et le long de la rive sud (Fortin, 1995). L'herbier étudié est situé entre les îles Charron, Sainte-Marguerite, Saint-Jean et les Grandes battures Tailhandier.

Ce site complexe comprend une bordure de plantes aquatiques émergentes et submergées entourant les îles et les hauts-fonds, dont le profil en pente douce s'interrompt brusquement pour former un talus à pente raide (4 cm/m) à l'approche du secteur dragué du port de Montréal (voie maritime). À l'exception de la zone draguée, l'herbier couvre l'ensemble des fonds de l'archipel, y compris celle d'un chenal sinueux et peu profond (5,5 m maximum) (la Grande Rivière) dans lequel circulent les embarcations de plaisance de faible tirant d'eau. Outre ce chenal qui demeure plus ou moins ouvert tout l'été, toute la colonne d'eau de moins de 2 m de profondeur est occupée par un couvert dense de plantes aquatiques flottant jusqu'à la surface. Ces plantes supportent d'importants dépôts de carbonate de calcium, de périphyton et de matières en suspension. Ces dépôts sont particulièrement notables en bordure de l'herbier en face de la zone portuaire et s'accompagnent de nombreux détritiques accrochés dans les plantes. À l'intérieur de l'herbier, les secteurs dénués de courant permettent l'accumulation de sédiments fins, tandis que les secteurs qui font face au port, influencés par les courants et les vagues de la voie maritime, comportent des sédiments plus grossiers. De même, on observe un accroissement de la clarté de l'eau (Secchi de 2,5 à 3 m) au fur et à mesure qu'elle chemine vers l'intérieur de l'herbier de Boucherville et se débarrasse des matières en suspension. La configuration complexe de l'herbier de Boucherville lui confère une grande diversité d'habitats pour les plantes aquatiques, ce qui souligne l'importance du phénomène d'hétérogénéité à très petite échelle spatiale, fréquemment observé dans les herbiers.

Contrairement aux sites des Lacs fluviaux, seule la portion extérieure de l'herbier de Boucherville est fortement exposée au vent sud-ouest (fetch de 7,5 km). L'herbier n'a pas la structure classique des herbiers littoraux décrits précédemment, puisqu'il comprend de vastes zones d'eau peu profonde situées entre plusieurs îles. Le fort degré de protection de cet herbier permet aux plantes submergées (particulièrement *Myriophyllum sp* et *Elodea canadensis*) de

persister en grande abondance sous le couvert de glace (Hudon, observation personnelle) à l'entrée de l'herbier. Le type de colonisation et la zonation des plantes dépendent donc de la bathymétrie, des chenaux par où passe le courant et du degré de protection des sites en fonction de leur distance au sein de l'herbier. Il s'agit donc d'un milieu hétérogène et complexe, au travers duquel l'eau s'écoule en partie au travers des plantes submergées et en partie par le canal plus profond qui traverse l'herbier.

4.3.2 Fleuve Saint-Laurent – Pointe-aux-Trembles

L'herbier de Pointe-aux-Trembles est baigné par les eaux de mélange qui longent la rive sud de l'île de Montréal et traversent la zone portuaire et industrielle située immédiatement en amont de l'herbier. L'herbier de Pointe-aux-Trembles entoure l'île du même nom (aussi appelé La Batture), qui comprend, dans sa partie aval, un vaste plateau peu profond (< 2 m), résultant probablement de l'érosion des rives de l'île. Le canal situé entre l'île de la pointe aux Trembles et l'île de Montréal est en partie obstrué par un haut-fond (< 1 m) situé immédiatement en amont, qui protège l'herbier du courant et des vagues. La partie ouest de l'île, où se situe la zone d'échantillonnage, est très protégée des vents sud-ouest (fetch d'environ 1 km). Situé en aval du port de Montréal, ce secteur a longtemps été contaminé par les rejets du port, avant qu'ils ne soient peu à peu raccordés au collecteur de la station d'épuration de la CUM. Jusqu'à 1994, le port de Montréal recevait à la fois les rejets d'eaux usées domestiques et les rejets industriels des compagnies pétrochimiques concentrées dans l'est de Montréal (Fortin, 1995).

Les eaux mixtes et la présence de sources de pollution expliquent les valeurs de conductivité (228 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et de clarté (Secchi 0,8 m) intermédiaires à celles documentées précédemment pour les eaux vertes et brunes échantillonnées en amont de Montréal. La rive ouest de l'île borde la marina des plaisanciers de Pointe-aux-Trembles, tandis que la rive sud fait face à la zone portuaire commerciale. Cette île de faible relief possède une zone littorale relativement étroite (100 m) qui descend en pente douce jusqu'à une profondeur d'environ 1,5 m (pente de 3 cm/m), au-delà de laquelle un talus abrupt mène au secteur plus profond où circulent les eaux du fleuve. Comme dans le cas du site de Boucherville, l'accroissement de profondeur au talus coïncide avec une augmentation de la vitesse du courant. Les plantes submergées croissant sur le talus en eau peu profonde jouissent ainsi d'un milieu très abrité, particulièrement sur la rive ouest de l'île. Les sédiments de ce secteur sont donc très épais (de 22 à > 150 cm d'épaisseur,

selon les observations) et généralement fins. De plus, leur brassage laisse échapper des bulles de gaz et de fortes quantités d'huile qui s'agglomèrent aux plantes aquatiques submergées ou se concentrent à la surface de l'eau pour y former un film épais. Cet herbier est très abrité du vent et des vagues et représente un exemple typique du profil (plate-forme, talus, chenal) des herbiers du tronçon fluvial.

4.3.3 Fleuve Saint-Laurent – île aux Cerfeuils

L'herbier de l'île aux Cerfeuils constitue un cas particulier parmi les sites d'études puisqu'il est situé près de la confluence des rivières des Prairies et des Mille-Îles avec le Saint-Laurent. Selon les saisons, l'herbier de l'île aux Cerfeuils est baigné soit par les eaux de la rivière des Outaouais transportées par les rivières des Mille-Îles et des Prairies (pendant la crue printanière de la rivière des Outaouais), soit par un mélange d'eaux vertes et brunes, qui longent la rive sud de l'île de Montréal (pendant le reste de l'année). Les valeurs de conductivité (239 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et de clarté (coefficient d'extinction $k = 0,73\text{-}0,87 \text{ m}^{-1}$) mesurées à l'île aux Cerfeuils sont intermédiaires à celles documentées précédemment pour les eaux vertes et brunes échantillonnées en amont de Montréal.

L'herbier de l'île aux Cerfeuils possède des caractéristiques morphologiques très similaires à celui de Pointe-aux-Trembles puisqu'il est constitué de bandes de plantes émergentes et submergées entourant une île dotée d'un relief peu accusé. Une plate-forme littorale d'environ 200 m descend en pente très douce (1 cm/m) jusqu'à 1,5 m de profondeur, suivie d'un talus abrupt jusqu'à un chenal plus profond (3 à 5 m) où un courant est perceptible ($< 0,5 \text{ m/s}$). Le site de l'île aux Cerfeuils diffère cependant de celui de Pointe-aux-Trembles par son exposition légèrement plus grande (fetch d'environ 1 km) à l'influence du vent, des vagues et de la glace, puisqu'il s'agit de la rive sud-est de l'île. Malgré la distance de plus de 1 km qui sépare cet herbier de la voie maritime, le passage de grands porte-conteneurs dans la voie maritime suscite une onde de déplacement des eaux suffisamment forte pour générer un courant qui fait plier les macrophytes émergentes (*Schoenoplectus*) sous l'eau, d'où elles remontent chargées de feuilles de Vallisnérie après le passage du navire. L'exposition de ce site se traduit par la prédominance de sable compacté dans les sédiments de cet herbier et l'absence de matières organiques. En bordure de l'herbier, on note que les plantes submergées atteignant la surface sont couvertes de particules ayant été « filtrées » par l'herbier, tout comme à Boucherville, alors que celles

croissant à l'intérieur de l'herbier, sur la plate-forme en eau peu profonde, jouissent d'un milieu plus abrité et sont isolées de la circulation des eaux.

L'herbier de l'île aux Cerfeuil est donc similaire à celui de Pointe-aux-Trembles, avec cependant des conditions moins abritées et une intensité lumineuse plus variable selon qu'il est influencé par les eaux de la rivière des Prairies ou les eaux qui longent la rive sud de l'île de Montréal.

4.3.4 Fleuve Saint-Laurent – Verchères

L'herbier le plus en aval est celui situé à l'extrémité sud des îles de Verchères, dans la Grande Passe, entre l'île Desmarais, l'île Amyot et l'Îlet. Le chenal de navigation de plaisance et la voie maritime bordent les îles à l'ouest et à l'est, respectivement. Ces îles sont entourées des eaux vertes du fleuve (conductivité de 286 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et comportent des canaux qui sont protégés des vents. « L'entrée » ouest de l'herbier de Verchères est située à environ 300 m du panache de l'effluent de la station d'épuration de la Communauté urbaine de Montréal, dont l'émissaire est situé à 11,2 km en amont. Par ailleurs, la « sortie » est de l'herbier se situe à moins de 200 m de la voie maritime. Le batillage y génère des vagues qui érodent la rive des îles et remettent en suspension des argiles fines qui réduisent la transparence de l'eau et lui donnent une couleur laiteuse. L'extrémité est de l'herbier possède donc une eau moins transparente et des sédiments plus fins que son extrémité ouest. Ces différences dans les caractéristiques physiques sont susceptibles d'engendrer des différences dans la biomasse des plantes (lumière) et la contamination par les métaux (granulométrie).

L'herbier des îles de Verchères est un exemple simple d'herbier situé entre des îles et dont les bandes riveraines sont placées de part et d'autre d'un canal. Sa plus petite superficie, sa faible profondeur moyenne (< 1 m) et la présence d'un chenal linéaire sur toute sa longueur le rendent donc moins complexe que l'herbier de Boucherville. De plus, contrairement à ce dernier où l'eau circule dans le canal principal pendant tout l'été, la circulation des eaux au travers de l'herbier de Verchères est interrompue dès que le niveau des eaux est inférieur à 0,55 m (ZC), ce qui se produit généralement en août et septembre. Le centre de cet herbier devient donc isolé du reste du fleuve pendant toute la période de croissance des plantes. Cependant, en 1995, en 1999 et 2001, cet herbier est resté à sec pendant toute la période de juin à octobre. Sa position en fait de

plus un milieu très abrité du vent et de l'effet des glaces, permettant aux plantes submergées de se maintenir sous la glace.

À l'entrée, l'herbier de Verchères comprend la bordure de plantes aquatiques émergentes et submergées bordant l'île Amyot et l'Îlet, qui s'interrompt brusquement lorsque la profondeur s'accroît pour former un talus à pente raide, comme aux trois autres sites précédemment décrits dans la région montréalaise. L'herbier couvre l'ensemble du fond du chenal, occupant toute la colonne d'eau d'un couvert dense de plantes aquatiques qui flottent jusqu'à la surface, sauf dans la partie la plus profonde (> 2 m) située à la sortie de l'herbier. Outre les différences de profondeur, les plantes croissant à l'entrée supportent des dépôts de carbonate de calcium, de périphyton, de particules et de détritits d'origine anthropique (matières plastiques) nettement plus importants qu'à la sortie de l'herbier. Par contre, la transparence des eaux est nettement plus élevée à l'entrée (Secchi de 2 m) qu'à la sortie, en raison de la présence d'argile en suspension qui accroît le coefficient d'extinction ($> 1 \text{ m}^{-1}$), réduit la profondeur de Secchi (0,5 m) et entraîne la présence de sédiments plus fins. L'herbier de Verchères possède une complexité qui s'apparente à celle de l'herbier de Boucherville, illustrant bien certains problèmes particuliers d'hétérogénéité spatiale à petite échelle.

4.4 LAC SAINT PIERRE

Les herbiers du Lac Saint-Pierre représentent de loin les plus importantes superficies de milieu humide d'eau douce du Saint-Laurent. Étant situé en aval de Montréal et sous l'influence de plusieurs tributaires de grande taille, les herbiers du Lac Saint-Pierre sont sujets à des eaux de qualité différente selon leur localisation. Les herbiers situés le long de la rive nord sont influencés par les eaux provenant (d'amont en aval) des rivières des Outaouais, l'Assomption, Maskinongé, du Loup, Yamachiche, qui drainent le Bouclier Canadien. Ces eaux ont une conductivité faible, des teneurs élevées en carbone organique dissous et des teneurs en éléments nutritifs variables selon l'intensité des activités agricoles dans chaque bassin. La zone centrale du Lac Saint-Pierre et de l'archipel de Berthier Sorel est sous l'influence des eaux vertes provenant des Grands Lacs ; ces eaux ont une conductivité plus élevée, peu de carbone organique dissous et des teneurs en éléments nutritifs mixtes faibles à modérées, selon le degré d'influence des eaux usées de la région montréalaise. Enfin, les herbiers de la rive sud du Lac sont influencés (d'amont en aval) par les eaux des rivières Chateauguay, Richelieu, Yamaska, Saint-François et Nicolet, dont les

activités agricoles intenses accroissent la conductivité, la couleur et les éléments nutritifs de façon notable.

En raison de l'influence combinée de ces nombreux tributaires, le niveau du Lac Saint-Pierre est sujet à d'importantes variations saisonnières de niveau (de l'ordre de 2 m). Les rives en pente douce du Lac et sa faible profondeur moyenne à l'extérieur du chenal maritime (< 3 m par rapport au zéro des cartes) font en sorte que les variations saisonnières de niveau permettent l'inondation printanière de larges superficies du rivage. La plaine inondable du Lac Saint-Pierre a principalement été développée pour l'agriculture, qui cohabite avec les milieux naturels dans la plaine inondable ; par exemple, un certain nombre de marais y ont été aménagés pour la production de sauvagine et de poissons par Canard Illimités, en utilisant des digues pour accroître le temps de rétention des eaux de fonte et de crue sur certaines terres agricoles.

4.4.1 Rive nord du Lac Saint-Pierre : Rivière-du-Loup et Pointe-du-Lac

Mis à part les grands herbiers protégés situés dans les îles de Berthier Sorel et dans les grandes baies abritées de Maskinongé et de Yamachiche, les herbiers de la rive Nord du Lac Saint-Pierre sont exposés de plein fouet aux vents du sud-ouest qui prédominent dans cette région au cours de l'été. Cette exposition au vent et aux vagues se traduit par une largeur de la bande des émergentes de l'ordre de 0,5 à 1,7 km du rivage, ce qui est nettement supérieur à ce qui est observé aux sites du corridor fluvial, mais bien en deçà de la largeur de la zone des émergentes sur la rive sud du Lac Saint-Pierre. Les sédiments du rivage sont de sable fin avec une mince couche de limon ; les eaux peu profondes et en aval des tributaires sont fréquemment turbides. Le rivage descend en pente très douce (de l'ordre de 2 m par km).

4.4.2 Rive sud du Lac Saint-Pierre : Zone de la Défense Nationale

La partie sud du Lac comporte une zone réservée ayant servi depuis des décennies à des exercices de tir par la Défense Nationale. L'accès à cette zone est restreint en raison de la présence de quantités importantes de débris métalliques et d'obus non explosés. Cette zone abrite en outre le sanctuaire d'oiseau de Baie-du-Febvre, qui abrite d'importantes populations de sauvagine en migration printanière et automnale. Les oiseaux tirent profit des très importantes superficies de marais qui sont présentes dans ce secteur très abrité. À Baie-du-Febvre, la largeur

de la bande de plantes aquatiques émergentes peut atteindre jusqu'à 5 km de largeur, formant une mosaïque complexe comprenant plusieurs espèces de macrophytes.

Les quatre transects situés dans cette zone ont été échantillonnés de façon irrégulière, puisque l'accès y est restreint aux embarcations de faible tirant d'eau ; pour des raisons de sécurité, la partie terrestre et en eau peu profonde (< 20 cm) de chaque transect n'est donc jamais échantillonnée, ce qui fait que l'accessibilité des transects est inversement liée au niveau d'eau de fin d'été. Cette limitation peut être majeure en conditions de bas niveaux extrêmes, puisque la pente du rivage est de l'ordre de 0,5 m par km.

Un résumé des principales caractéristiques des herbiers est présenté au tableau 11 alors que l'annexe 2 présentent les caractéristiques physiques de chacun des transects.

4.5 ANALYSES DES DONNÉES

Au cours des saisons d'échantillonnage 1999, 2000, 2001 et 2002, quelques 207 espèces de plantes émergentes et submergées ont été identifiées dans 630 quadrats.

Les premières analyses ont porté sur la distribution verticale (élévation ZC) et sur l'élévation par rapport au niveau de l'eau observé, de même que sur le recouvrement et la hauteur des 207 espèces, à l'aide de statistiques descriptives : moyenne, écart-type, minimum et maximum. Pour chaque quadrat, quatre paramètres ont été compilés soit le nombre total d'espèces, le nombre d'espèces hydrophytes obligatoires ou facultatives, de même que l'indice de diversité de Shannon (H) (Legendre et Legendre 2000), appliqué sur les recouvrements (équation 1) :

$$H = \frac{1}{2} \sum_{n=i}^q - (\log ni - \log n) ni \quad \text{Équation 1}$$

où n = somme des recouvrements de toutes les espèces
 ni = somme des recouvrements des espèces (de 1 à q)

Des analyses de variance (ANOVA) ont été employées pour rechercher des différences dans ces quatre paramètres entre les années échantillonnées et les divers sites.

Tableau 11
Sommaire des principales caractéristiques de chaque herbier

Secteurs	Type d'herbier	Exposition vent et vagues	Fetch (m)*	Masse d'eau**	Clarté des eaux
Lac Saint-François					
– Pointe Dupuis	Littoral	Exposé	650	V	Élevée
– Pointe Mouillée	Littoral	Exposé	16 100	V	Élevée
Lac des Deux Montagnes					
– Île Hay	Littoral	Exposé	2 410	B	Faible
– Baie des Indiens	Littoral	Exposé	3 400	B	Faible
Corridor fluvial					
– Boucherville - Protégée	Canal	Abrité	510	V	Moyenne
– Pointe-aux-Trembles	Littoral	Abrité	320	M	Moyenne
– Île aux Cerfeuil	Littoral	Modéré	0	V, M, B	Moyenne
– Verchères	Canal	Abrité	4 040	V	Moyenne
Lac Saint-Pierre					
– Rivière du Loup	Littoral	Exposé	8 560	B	Faible
– Pointe Lussaudière	Littoral	Faible	470	V, Ag	Moyenne
– Pointe d'Henri	Littoral	Modéré	1 790	V, Ag	Moyenne
– Baie-du-Febvre	Littoral	Modéré	5 240	V, Ag	Moyenne
– Pointe-du-Lac	Littoral	Exposé	38 320	B	Faible
– Pointe aux Raisins	Littoral	Abrité	1 980	V, Ag	Moyenne

* Le fetch est la distance d'exposition au vent provenant du sud-ouest sans tenir compte de la protection des herbiers flottants avoisinants

** V : verte. B : brune. M : mixte. Ag : influence agricole locale.

Étant donné la diversité des milieux échantillonnés, plusieurs espèces ont une occurrence faible, c'est à dire qu'elles ne sont présentes que dans très peu de quadrats. Pour cette raison, certains regroupements taxonomiques ont été faits avant d'analyser les données plus avant. Les indices d'abondances de certaines espèces de même genres ont ainsi été additionnées (tableau 7). Ces regroupements ont permis de passer de 207 espèces à 133 taxa et donc de réduire le nombre d'espèces rares qui sont habituellement exclues de l'analyse multidimensionnelle.

Pour chaque espèce présente dans un quadrat, on a calculé un indice d'abondance relative, en faisant le produit de la valeur médiane de la classe de recouvrement et de la hauteur moyenne (en cm). Pour les espèces aquatiques submergées ou à feuilles flottantes, la hauteur

moyenne a été évaluée selon l'espèce soit en fonction de la fraction occupée dans la colonne d'eau, soit par une valeur variant selon le site échantillonné (tableau 6). L'usage d'un indice d'abondance relative permet de raffiner l'importance de chaque espèce observée en un lieu donné. Par exemple, une même espèce recouvrant plus de 75% de la superficie d'un quadrat (cote de recouvrement = 7, donnant une valeur médiane de 87,5%), pourrait obtenir un indice d'abondance relative de 8 750, s'il s'agissait de plusieurs grands individus de 100 cm de hauteur ou un indice d'abondance relative de 175, s'il s'agissait de très nombreuses petites pousses de 2 cm de hauteur.

Le reste de l'analyse s'est concentré sur les données d'abondance des taxa regroupés ayant été observés dans un minimum de 7 des 630 quadrats (> 1% du total), dont on a en premier lieu calculé des statistiques descriptives. Les 56 taxa observés à moins de 7 reprises feront l'objet d'analyses séparées, lors de travaux ultérieurs traitant spécifiquement de la diversité des communautés des milieux humides du Saint-Laurent.

Pour chacun de ces 76 taxa les plus fréquents, on a ensuite examiné le patron d'abondance relative en fonction de la position sur le transect (élévation ZC) des quadrats, contrastant d'une part les 4 années d'échantillonnage, et d'autre part les années de bas et hauts niveaux. Les mêmes comparaisons ont été effectuées avec les élévations observées de chaque taxon. Les différences d'abondance et d'élévation moyennes ont été testées à l'aide d'un test non paramétrique de rang (Kruskal-Wallis). Ces comparaisons entre années ont été répétées dans une étape ultérieure avec les communautés végétales résultant de l'analyse de groupement décrite ci-après.

Des groupes de quadrats dans lesquels on retrouvait une même communauté de plante ont été identifiés à partir d'une analyse de groupement. La matrice des données constituée des 630 quadrats et des abondances relatives des 76 taxa a été transformée en matrice de dissimilarité (quadrat x quadrat) pour permettre une analyse de groupement (méthode Lance and William à liens flexible, $\beta = -0,25$). La méthode de groupement permet d'identifier de façon objective les principales communautés végétales observables dans le Saint-Laurent au cours des 4 années d'échantillonnage. L'indice de similarité de Steinhaus, transformé en indice de dissimilarité en soustrayant les valeurs de 1, a été choisi en raison de son comportement cohérent vis-à-vis des doubles zéros et des données d'abondances relative (Legendre et Legendre 2000).

L'analyse de groupement a été faite en deux étapes : sur les quadrats échantillonnés aux années de bas niveaux (1999, 2001) d'une part, et d'autre part sur le reste des quadrats qui

correspondent à des années de niveaux moyens (2000, 2002). Cette manière de procéder a permis de faire ressortir un type de végétation de type transition presque exclusif aux années de bas niveaux, et difficile à identifier en considérant la totalité des quadrats dans l'analyse de groupement. Les 14 groupes obtenus par les 2 analyses (bas niveaux et niveaux moyens) ont été réunis quand leurs contenus en espèces s'avéraient similaires, laissant 2 groupes distincts dans le sous-ensemble bas niveaux. Certains quadrats de ces derniers ont été redistribués dans un des autres groupes pour les rendre plus uniformes quant à la végétation de transition qu'ils représentent. Ainsi les 630 quadrats ont finalement été divisés en sept groupes représentant des communautés de plantes écologiquement homogènes.

La validité des sept groupes a ensuite été vérifiée à l'aide d'une analyse des correspondances (AC ; CANOCO (ter Braak et Smilauer, 1998)) sur la matrice quadrats versus l'abondances des espèces. Ceci a permis de positionner dans un premier temps les taxa puis les groupements sur les principaux gradients correspondant aux deux premiers axes.

On a exploré les relations entre les 7 communautés végétales et les variables décrivant le milieu, grâce à l'analyse de correspondance canonique (ACC et ACC partielle ; CANOCO). L'ACC constitue une méthode d'ordination adaptée aux données de présence-absence, correspondant ici la présence ou l'absence d'un groupe (ter Braak et Smilauer, 1998). Les ordinations obtenues indiquent à la fois l'importance et la direction de l'effet des variables explicatrices continues. L'ACC partielle permet d'extraire l'effet des certaines variables en orientant les axes de l'ordination de façon à être des combinaisons linéaires de celles-ci (ter Braak et Smilauer, 1998).

Trois analyses ont été faites pour différents sous-ensemble de variables : Les variables décrivant la qualité des sédiments (2000 et 2001 seulement), les variables environnementales mesurées à l'ensemble des sites (climatiques, masse d'eau et fetch), et enfin, les variables hydrologiques, après avoir extrait l'influence des variables environnementales à l'aide d'une ACC partielle. Ces analyses permettent d'identifier les variables expliquant le mieux les différences entre les groupes de plantes. Dans tous les cas, seules les variables affichant un F ($p < 0,05$) et étant raisonnablement indépendantes (Inflation factor < 20) ont été conservées dans les modèles (ter Braak et Smilauer 1998).

Enfin, on a effectué une synthèse des résultats en traçant sous forme d'arbre décisionnel illustrant les caractéristiques hydrologiques requises pour en arriver à chacune des sept

communautés végétales à l'aide de la méthode CART (Breiman *et al.* 1984) de Statistica (release 5,5) et utilisant comme variables explicatives les variables identifiées par l'ACC partielle. De cette manière, il sera possible de prédire la communauté végétale la plus susceptible de coloniser une surface donnée de la zone riveraine du Saint-Laurent, à partir des conditions hydrologiques qui y ont prévalu au cours de la saison de croissance en cours ou de la saison précédente. Deux autres arbres décisionnels ont aussi été élaborés avec les variables environnementales autres qu'hydrologique et les variables des sédiments.

5 Résultats et discussion

5.1 CONDITION HYDROLOGIQUE ET MÉTÉOROLOGIQUES AU COURS DE LA PÉRIODE D'ÉTUDE

Les années 1999 à 2002 constituent une période très particulière du point de vue de l'hydrologie si on la compare avec la moyenne des années précédentes (figure 5, tableau 3). Pour tous les tronçons du fleuve, à l'exception des Lacs Saint-François et des Deux-Montagnes, le niveau moyen au cours de la saison de croissance a fluctué de façon importante entre les années. Les saisons 1999 et 2001 ont été exceptionnellement sèches tandis que le niveau des saisons 2000 et 2002 étaient près des valeurs moyennes (1960-2002) (tableau 3). La comparaison avec les patrons journaliers des 10 années précédentes (figure 4) révèle la très faible amplitude des crues printanières et les étiages extrêmes de fins d'été des années 1999-2002. Ces conditions ont induit un assèchement important des milieux humides du Saint-Laurent par rapport aux périodes précédentes. Ces changements de débit sont dans le même ordre de grandeur que ceux anticipés par les scénarios de changements climatiques pour le Saint-Laurent et les Grands Lacs, avec une réduction chronique du débit de l'ordre de 40% et une baisse d'un mètre du niveau moyen (Lofgren *et al.* 2002; NRC 2002)

Au point de vue météorologique, la période d'étude a coïncidé avec une alternance de saisons de croissance chaudes, sèches et ensoleillées (1999 et 2001) et des saisons plus fraîches et plus humides (2000 et 2002) (Annexe 1). Par exemple, les précipitations cumulées entre le 1^{er} avril et la première semaine de septembre égalaient 338 mm (1999), 496 mm (2000), 381 mm (2001) et 479 mm (2002). Pour les mêmes périodes, le nombre de degrés jours (> 5°C) cumulés était de 1945 (1999), 1578 (2000), 1797 (2001) et 1775 (2002). La combinaison de faibles précipitations et de fortes températures a généré des conditions généralement plus sèches en 1999 et 2001 qu'en 2000 et 2002. L'analyse des groupements végétaux doit donc se faire en tenant compte des variations hydrologiques mais aussi des facteurs climatiques.

5.2 DISTRIBUTION VERTICALE DES PLANTES ÉMERGENTES ET SUBMERGÉES

La compilation des taxons observés dans les 630 quadrats a permis d'énumérer 207 espèces de macrophytes. La zone du littoral colonisée par chaque espèce de plante a été identifiée en examinant son élévation par rapport au niveau de référence des cartes (ZC). Par ailleurs, la tolérance de chaque espèce à l'inondation et sa préférence pour une gamme de profondeur ont été évaluées avec l'élévation par rapport à l'eau (négatif lorsque dans l'eau) mesurée le jour de l'échantillonnage. Pour ces deux mesures, les minima, maxima, moyennes et écart-types sont présentés à l'annexe 4. Les informations fournies par ces deux variables sont complémentaires, l'élévation ZC permet de comparer la distribution d'une même espèce à un même endroit au fil des années, tandis que l'élévation observée indique ses préférences écologiques. Par exemple, le Myriophylle (MYRSP) a été observé dans une vaste gamme d'élévation mise au zéro des cartes (de -1,27 à + 0,63 m) au cours des quatre années d'échantillonnage. Cependant, l'examen des élévations observées révèle que cette espèce a toujours été retrouvée sous l'eau (de -1,25 à -0,02 m) si on exclut trois observations extrêmes de quelques fragments de cette plante observés hors de l'eau, probablement suite à une baisse récente de niveau.

5.3 DIVERSITÉ SPÉCIFIQUE

La diversité des plantes présentes à chaque site et dans chaque quadrat a été caractérisée à l'aide de du nombre total d'espèces, du nombre d'espèces facultatives et obligatoire ainsi que de l'indice de diversité de Shannon (H). Toutes ces valeurs affichent des différences significatives selon les sites et entre les années (ANOVA, $p < 0,001$). Les comparaisons de diversité inter-sites ont été faites avec le sous-ensemble de sites ayant été visités à chacune des quatre années, ce qui exclut le Lac Saint-Pierre de la comparaison. Les sites de l'île aux Cerfeuil, Verchères et baie des Indiens (lac Des Deux-Montagnes) montrent les plus hautes valeurs de diversité H et de richesse spécifique. Les sites de Pointe-aux-Trembles et de Boucherville, recèlent le moins d'espèces hydrophytes obligatoires. Les espèces hydrophytes facultatives se retrouvent en plus grand nombre à l'île aux Cerfeuil. Au sein d'un même site, aucun patron particulier de variation systématique de richesse ou de diversité n'apparaît en fonction de la distance le long de chaque transect, ni en fonction des années (annexe 6).

Afin d'éliminer les effets des différences de richesse entre les sites et d'augmenter l'effectif, les comparaisons inter-annuelles ont été faites à l'aide d'ANOVA sur les valeurs

résiduelles (moyenne des 4 années – valeurs observées). Ces analyses (tableau 12), montrent que la richesse totale et la diversité H sont plus faibles en 1999 et 2000 qu'en 2001 et 2002, indiquant que les grands écarts inter-annuels de niveau ont engendré une augmentation générale de diversité à tous les sites. Par contre, quand on sépare les espèces en deux types d'hydrophytes, il ressort que le nombre d'espèces facultatives est plus grand (≈ 1 espèce par quadrat) durant les années de bas niveaux que durant les années de niveau moyen. La tendance inverse est observée pour le nombre d'espèces obligatoires, qui sont plus nombreuses lorsque le niveau est moyen (2000-2002).

Tableau 12
Résultats des ANOVA sur les résidus de la richesse en espèces, du nombre d'hydrophytes obligatoires, facultatives et de la diversité H . L'utilisation des résidus permet d'extraire l'effet inter-site sur ces mesures. Les différences par paires d'années ont été analysées par le test Tukey. Les moyennes associées à des lettres semblables ne sont pas significativement différentes ($p < 0,05$)

Variable/année	1999	2000	2001	2002	F	p de F
	bas niveau moyenne (É.-T.)	niveau moyen moyenne (É.-T.)	bas niveau moyenne (É.-T.)	niveau moyen moyenne (É.-T.)		
Richesse	-0,58 ^a (1,81)	-0,60 ^a (1,97)	0,81 ^b (2,91)	0,36 ^b (2,22)	8,4	<0,0001
spp. obligatoires	-0,78 ^a (1,40)	0,21 ^{b c} (1,35)	-0,05 ^b (1,45)	0,63 ^c (1,36)	15,9	<0,0001
spp. facultatives	0,26 ^a (1,12)	-0,73 ^b (1,20)	0,79 ^a (1,91)	-0,32 ^b (1,37)	18,9	<0,0001
Diversité H	-0,08 ^a (0,31)	-0,11 ^a (0,30)	0,11 ^b (0,36)	0,09 ^b (0,31)	11,1	<0,0001

Ces résultats correspondent avec les résultats présentés dans la littérature, soulignant la difficulté de détecter des variations significatives de diversité spécifique en rapport avec les conditions environnementales. Nilsson et Keddy (1988) ont observé une corrélation positive entre la richesse spécifique et l'abondance pour la flore riparienne d'un réservoir en Suède. La durée de l'inondation était la variable la plus importante, quoique les modèles n'expliquent qu'une faible proportion de la variance totale ($r^2 < 0,33$). Sur la Rivière des Outaouais en amont d'Ottawa, Day *et al.* (1988) rapportent que la richesse en espèce était maximale juste au dessus de la limite des

eaux d'étiage (fin août), dans le groupe de végétation dominé par *Eleocharis smallii*, caractérisé par un faible enrichissement, une biomasse intermédiaire (250 g m^{-2}) et de faibles valeurs (30 g m^{-2}) de litière. Les plus faibles valeurs de diversité coïncidaient avec les biomasses les plus élevés ($> 400 \text{ g m}^{-2}$) dues à l'envahissement par *Typha*, qui prolifère en conditions de niveau stable. Les 3 principaux facteurs contrôlant la composition de la végétation étaient la profondeur de l'eau, la crue comme mécanisme d'enlèvement de la litière, ainsi que le gradient de fertilité généré par l'exposition aux vagues et aux courants.

En arrachant la végétation émergente, la glace et les vagues créent des ouvertures dans le couvert des plantes et accroissent l'hétérogénéité spatiale des milieux humides (annexe 9). L'hétérogénéité du couvert, de la hauteur et de la composition des plantes sont fortement liés à la diversité des habitats disponibles pour la faune. Les espaces libres ainsi ouverts permettent la germination de nouvelles espèces végétales formant des taches au sein du couvert dominant, plus stable, des émergentes à croissance végétative clonale qui dominent habituellement les marais (Marie-Victorin 1934; Dansereau 1945; Desrosiers et Bégin 1992).

5.4 ABONDANCE DES PLANTES ÉMERGENTES ET SUBMERGÉES

Outre la distribution et la richesse des espèces le long du rivage, l'abondance de chacune d'entre elles peut être caractérisée par les valeurs de recouvrement et de hauteur moyenne des plantes (annexe 5). Les valeurs d'abondance relative des taxa les plus abondants (espèces regroupées) ont été calculées par le produit de leur recouvrement médian et de leur hauteur (tableau 13). Parmi les 76 taxa considérés, 6 présentent des abondances relatives particulièrement importantes : *Phragmites australis*, *Typha* spp., *Phalaris arundinacea*, *Bolboschoenus fluviatilis*, *Polygonum amphibium* et *Sparganium eurycarpum* ; notons que ces valeurs élevées sont dues à la combinaison de fortes cotes de recouvrement conjuguées à des plantes de grande taille. D'autres espèces affichent des cotes de recouvrement importantes à l'occasion, mais ne représentent jamais de fortes abondances relatives du fait que celles-ci étaient généralement de petite taille ; il s'agit des Algues, Mousses, *Lemma* spp., *Eleocharis acicularis*, *Alisma plantago-aquatica* et *Onoclea sensibilis*. Enfin, la majorité des autres espèces étaient observées régulièrement sans toutefois atteindre de fortes abondances relatives puisqu'elles n'occupaient qu'une faible superficie de recouvrement dans les quadrats.

Tableau 13
Occurrence et abondance relative des 76 taxa regroupés les plus fréquemment retrouvés
(>1 % des quadrats) échantillonnés en 1999, 2000, 2001 et 2002.
Le code désignant chaque taxon est utilisé dans les figures

Code	Type*	Espèce	Occurrence	Abondance relative
	d'hydrophyte			Médiane (min-max)
BOLFL	OBL	vivace <i>Bolboschoenus fluviatilis</i>	212	2295 (5 - 20125)
SAGLA	OBL	vivace <i>Sagittaria latifolia</i>	206	255 (2 - 8820)
SCHLA	OBL	vivace <i>Schoenoplectus Lacustris</i>	190	623 (5 - 26250)
ELEPA	OBL	vivace <i>Eleocharis palustris</i>	164	720 (0,5 - 7875)
ELOSP	OBL	vivace <i>Elodea</i> spp.	159	105 (0,5 - 5103)
VALAM	OBL	vivace <i>Vallisneria americana</i>	147	105 (0,5 - 4375)
SCHPU	OBL	vivace <i>Schoenoplectus pungens</i>	134	880 (4 - 14875)
ALGUE	OBL	annuelle Algues	121	36 (1 - 525)
HETDU	OBL	annuelle <i>Heteranthera dubia</i>	98	42 (0,5 - 1875)
TYPSP	OBL	vivace <i>Typha</i> spp.	96	3645 (2,5 - 23625)
MYRSP	OBL	vivace <i>Myriophyllum</i> spp.	93	160 (1 - 8575)
SPAEU	OBL	vivace <i>Sparganium eurycarpum</i>	91	1520 (8,5 - 18375)
BUTUM	OBL	vivace <i>Butomus umbellatus</i>	90	640 (1,5 - 12250)
ELEAC	OBL	annuelle <i>Eleocharis acicularis</i>	90	38 (0,5 - 1050)
ALIPL	OBL	vivace <i>Alisma plantago-aquatica</i>	90	36 (0,5 - 4125)
POTRI	OBL	vivace <i>Potamogeton Richardsonii</i>	89	93 (0,5 - 8820)
LEEOR	OBL	vivace <i>Leersia oryzooides</i>	85	180 (2,5 - 12250)
NYMOD	OBL	vivace <i>Nymphaea odorata</i>	75	448 (0,5 - 8837,5)
CHARA	OBL	annuelle <i>Chara</i>	70	251 (2,5 - 875)
NUPVA	OBL	vivace <i>Nuphar variegata</i>	69	972 (0,5 - 5775)
LEMSP	OBL	vivace <i>Lemma</i> spp.	63	1 (0,5 - 87,5)
PONCO	OBL	vivace <i>Pontederia cordata</i>	62	248 (14 - 3375)
SPAPE	OBL	vivace <i>Spartina pectinata</i>	56	1100 (27,5 - 15750)
SIUSU	OBL	vivace <i>Sium suave</i>	47	160 (1 - 2205)
HYPSP	OBL	vivace <i>Hypericum</i> spp.	41	45 (2,5 - 2205)
BIDSP	OBL	annuelle <i>Bidens</i> spp.	41	25 (3 - 3000)
LYCSP	OBL	vivace <i>Lycopus</i> spp.	36	53 (2 - 915)
ACESP	OBL	vivace <i>Acer</i> spp.	35	45 (1 - 450)
EQUSP	OBL	vivace <i>Equisetum</i> spp.	32	36 (2,5 - 720)
MIMRI	OBL	vivace <i>Mimulus ringens</i>	31	75 (2,5 - 2160)
POPDE	OBL	vivace <i>Populus deltoides</i>	31	21 (2,5 - 945)
UTRVU	OBL	vivace <i>Utricularia vulgaris</i>	27	240 (5 - 2520)
RUMSP	OBL	vivace <i>Rumex</i> spp.	26	210 (16 - 3000)

Code	Type*	Espèce	Occurrence	Abondance relative
	d'hydrophyte			Médiane (min-max)
LINDU	OBL	annuelle <i>Lindernia dubia</i>	26	12 (0,5 - 180)
CERDE	OBL	vivace <i>Ceratophyllum demersum</i>	24	23 (7,5 - 562,5)
JUNSP	OBL	vivace <i>Juncus</i> spp.	23	405 (7,5 - 2625)
RORPA	OBL	annuelle <i>Rorippa palustris</i>	22	20 (0,5 - 3150)
CARSP	OBL	vivace <i>Carex</i> spp..	21	240 (6 - 3562,5)
POTSP	OBL	vivace <i>Potentilla</i> spp.	21	40 (1,5 - 450)
LYSSP	OBL	vivace <i>Lysimachia</i> spp.	19	150 (2,5 - 640)
POTLI	OBL	vivace <i>Potamogeton linéaire</i>	16	37 (9,5 - 1026)
ERAHY	OBL	annuelle <i>Eragrostis hypnoides</i>	16	30 (0,5 - 126)
DULAR	OBL	vivace <i>Dulichium arundinaceum</i>	14	150 (7,5 - 990)
POTFL	OBL	vivace <i>Potamogeton flottant</i>	14	134 (15 - 1987,5)
POLAM	OBL	annuelle <i>Polygonum amphibium</i>	13	2813 (40 - 4500)
ACOCA	OBL	vivace <i>Acorus calamus</i>	12	368 (52,5 - 1980)
ZIZAQ	OBL	annuelle <i>Zizania aquatica</i>	10	228 (20 - 1920)
RANAQ	OBL	vivace <i>Ranunculus aquatilis</i>	7	27 (0,5 - 152)
LYTGR	FAC	vivace <i>Lythrum</i> >=20 cm	173	1080 (5 - 15312,5)
PHAAR	FAC	vivace <i>Phalaris arundinacea</i>	143	2700 (2,5 - 15750)
POLSP	FAC	annuelle <i>Polygonum</i> spp.	113	90 (0,5 - 15750)
LYTPE	FAC	vivace <i>Lythrum</i> <20 cm	79	40 (0,5 - 1750)
URTDI	FAC	vivace <i>Urtica dioica</i>	43	420 (1 - 13230)
CYPGR	FAC	vivace <i>Cyperus</i> spp. > 10 cm	41	105 (0,5 - 3150)
PANSP	FAC	annuelle <i>Panicum</i> spp.	40	165 (2,5 - 5355)
ONOSE	FAC	vivace <i>Onoclea sensibilis</i>	39	150 (2,5 - 5250)
PHRAU	FAC	vivace <i>Phragmites australis</i>	37	4500 (35 - 28000)
ECHSP	FAC	annuelle <i>Echinochloa</i> spp.	31	90 (2,5 - 9420)
GALSP	FAC	vivace <i>Galium</i> spp.	28	75 (1 - 937,5)
IMPCA	FAC	annuelle <i>Impatiens capensis</i>	24	280 (1 - 5062,5)
SALSP	FAC	vivace <i>Salix</i> spp.	24	60 (3 - 1350)
CYPPE	FAC	annuelle <i>Cyperus</i> spp. < 10 cm	20	7 (0,5 - 630)
PLAMA	FAC	vivace <i>Plantago major</i>	19	15 (1 - 80)
GNAUL	FAC	annuelle <i>Gnaphalium uliginosum</i>	19	7 (1 - 630)
CALCA	FAC	vivace <i>Calamagrostis canadensis</i>	16	473 (10 - 4687,5)
PILPU	FAC	annuelle <i>Pilea pumila</i>	14	30 (4 - 150)
TRISP	FAC	vivace <i>Trifolium</i> spp.	14	21 (1 - 156)
CALSP	FAC	vivace <i>Calystegia</i> sp.	12	960 (40 - 5625)
MENAR	FAC	vivace <i>Mentha arvensis</i>	12	33 (7 - 135)
ACARH	FAC	annuelle <i>Acalypha rhomboidea</i>	11	24 (2,5 - 180)

Code	Type*	Espèce	Occurrence	Abondance relative Médiane (min-max)
AMBAR	FAC	annuelle <i>Ambrosia artemisiifolia</i>	7	60 (2,5 - 440)
CHESP	FAC	annuelle <i>Chenopodium</i> spp.	7	5 (1 - 180)
OXAST	UPLAND	vivace <i>Oxalis stricta</i>	17	15 (0,5 - 162)
MOUSS	-	- mousses	73	8 (0,5 - 87,5)
GRASP	-	- Graminée spp.	23	375 (0,5 - 3062,5)
VICCR	-	vivace <i>Vicia Cracca</i>	13	75 (7,5 - 900)

* OBL = obligatoire, FAC = facultative

5.5 RÉPONSE DES ESPÈCES DE PLANTES AUX VARIATIONS DE NIVEAU

Pour chacune des espèces les plus fréquentes, on a examiné le patron d'abondance relative en fonction de l'élévation des quadrats, en fonction de chaque année d'échantillonnage. Ces analyses ont permis de distinguer 4 catégories d'espèces, selon que leur abondance relative et/ou leur distribution varie entre les années sujettes à de fortes variations de niveau (tableau 14, figure 28, annexe 7). Les grandes tendances des variations inter-annuelles d'abondance relative et de distribution verticale de chaque espèce doivent cependant être interprétées à la lumière de l'ensemble de leurs caractéristiques écologiques : plantes vivaces ou annuelles, hydrophytes obligatoires ou facultatives, submergées ou émergentes, algues, mousse ou vasculaires, prairie humide ou marais, indigènes ou exotiques.

5.5.1 Les plantes dont l'abondance relative et la distribution verticale ne varient pas

Ce groupe de 44 espèces comprend des espèces agressives présentes en grande abondance (*Lythrum salicaria*, *Phalaris arundinacea*), une graminée (*Spartina pectinata*) et deux fougères (*Onoclea sensibilis*, *Thelypteris palustris*) présentes en faible abondance aux élévations supérieures des milieux humides. On y retrouve aussi de nombreuses espèces typiques des strates inférieures des milieux humides, incluant plusieurs plantes émergentes (*Eleocharis acicularis*, *Eleocharis palustris*, *Sium suave*, *Sparganium eurycarpum*, *Schoenoplectus pungens*) et des plantes à feuilles flottantes et submergées (*Nymphaea odorata*, *Potamogeton* flottant et linéaire) qui sont à la fois fréquentes et abondantes.

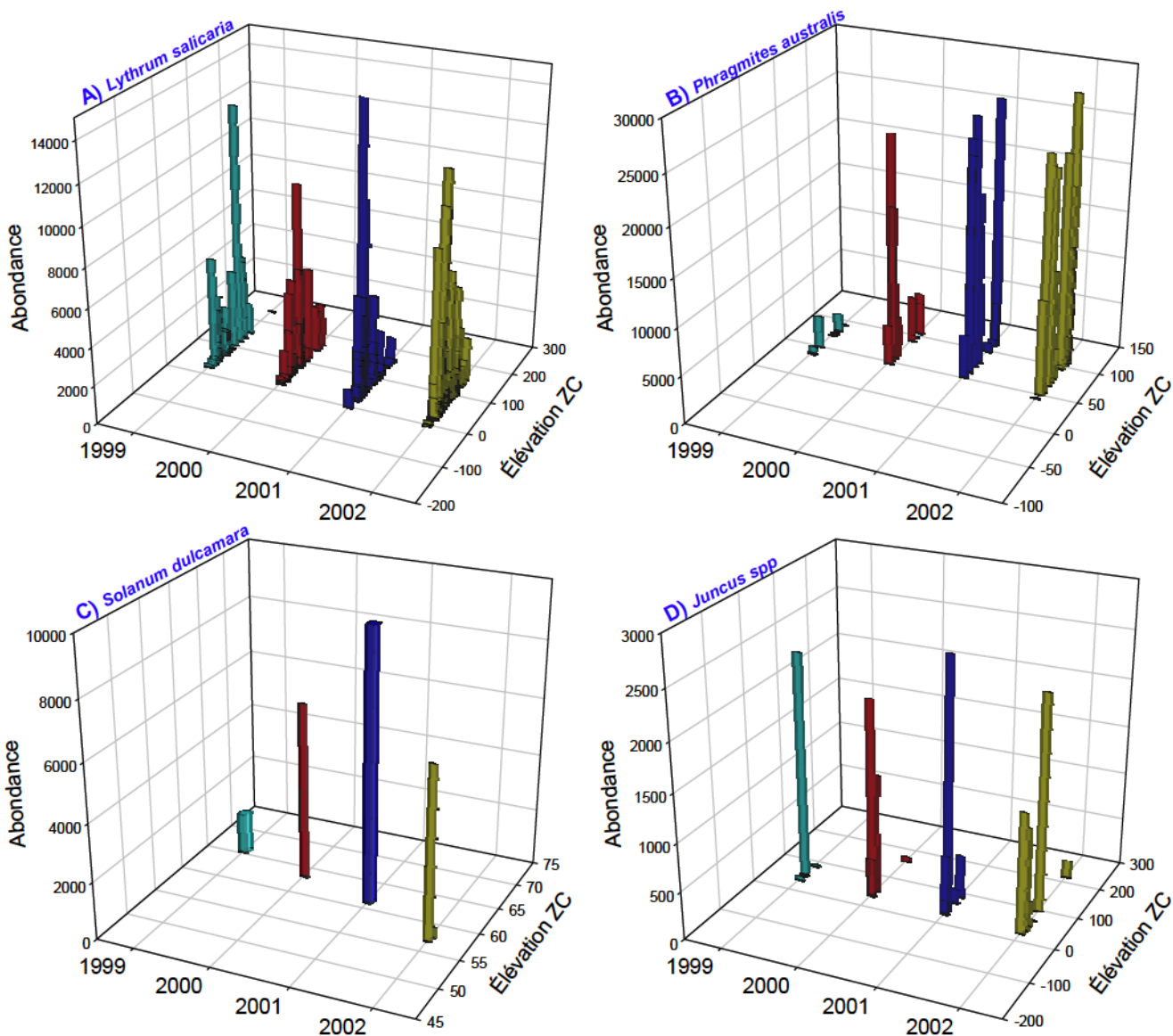


Figure 28 Exemples des patrons de variations inter-annuelles d'élévation et d'abondance relative observées pour quatre espèces des milieux humides du Saint-Laurent. A) *Lythrum salicaria*, dont l'élévation l'abondance relative ne varient pas entre les années ; B) *Phragmites australis*, dont seule l'abondance varie entre les années ; C) *Solanum dulcamara*, dont seule l'élévation varie entre les années ; D) *Juncus spp.*, dont l'élévation et l'abondance relative varient entre les années

La stabilité des cypéacées émergentes (*Eleocharis acicularis*, *Eleocharis palustris* et *Cyperus* spp.) est probablement liée à leur système souterrain bien développé et à leur position relativement basse sur le littoral, qui leur permettent de persister en période d'assèchement (1999 et 2001). Notons que l'abondance relative d'autres espèces, (Mousses, *Sparganium eurycarpum*) était sensiblement plus élevée en 2000 et 2002 (année de niveau moyen), bien que la différence n'ait pas été statistiquement significative. Cependant, l'absence de variations temporelles significative des espèces moins fréquemment observées (*Equisetum* spp., *Pilea pumila*, *Populus deltoides*) peuvent être relié au fait que les tests statistiques perdent beaucoup de leur puissance quand les effectifs sont bas.

5.5.2 Les plantes dont seule la distribution verticale varie entre les années

Les 8 plantes de ce groupe montrent une grande capacité d'adaptation aux variations inter-annuelles de niveau, en ajustant leur distribution vers le haut ou le bas selon les conditions de l'année courante. Plusieurs espèces annuelles croissant en milieu exondé (*Panicum* spp., *Cyperus* spp. < 10 cm), germent plus haut sur le talus lorsque le niveau est plus élevé (2000, 2002). Les espèces franchement aquatiques telles que *Nuphar variegata*, *Chara* spp. et *Vallisneria americana* affichent la même tendance et sont présentes plus haut sur le littoral quand l'eau est haute (2000, 2002).

Une émergente vivace à propagation végétative (*Alisma plantago-aquatica*) ainsi que de jeunes pousses de *Lythrum salicaria* (< 20 cm) montrent une tendance significative à coloniser le littoral vers le bas en conditions de bas niveaux, indiquant qu'elles seraient les premières à former les nouveaux peuplements à des élévations inférieures, si les bas niveaux se prolongeaient pour plusieurs années consécutives.

5.5.3 Les plantes dont l'abondance relative et la distribution verticale varient entre les années

Ces 7 espèces répondent avec la plus grande plasticité face aux variations inter-annuelles de niveau. Deux espèces facultatives aux milieux humides (*Urtica dioica*, *Polygonum* spp.) sont très abondantes dans la prairie humide en conditions de bas niveaux (1999, 2001) mais

Tableau 14

Caractérisation du patron de variation de l'abondance relative et de la distribution verticale des espèces. Seules les 67 espèces présentent aux quatre années sont représentées

	Variation inter-annuelle d'abondance relative (correspondant à différent niveau d'eau)			
		Pas de variation	Variation	
Variation inter-annuelle de distribution verticale dans la zone littorale (correspondant à différents niveau d'eau)	Pas de variation	<i>Acer</i> spp. <i>Ambrosia artemisiifolia</i> <i>Aster</i> spp. <i>Bidens</i> spp. <i>Calamagrostis canadensis</i> <i>Carex</i> spp. <i>Ceratophyllum demersum</i> <i>Cyperus</i> spp. (> 10 cm) <i>Dulichium arundinaceum</i> <i>Eleocharis acicularis</i> <i>Eleocharis palustris</i> <i>Equisetum</i> spp. <i>Eupatorium</i> spp. <i>Galium</i> spp. <i>Hypericum</i> spp. <i>Impatiens capensis</i> <i>Juncus</i> spp. <i>Lycopus</i> spp. <i>Lythrum</i> (> 20 cm) <i>Mentha arvensis</i> <i>mousse</i> <i>Nymphaea odorata</i>	<i>Onoclea sensibilis</i> <i>Oxalis stricta</i> <i>Phalaris arundinacea</i> <i>Pilea pumila</i> <i>Plantago major</i> <i>Polygonum amphibium</i> <i>Pontederia cordata</i> <i>Populus deltoides</i> <i>Potamogeton flottant</i> <i>Potamogeton linéaire</i> <i>Potentilla</i> spp. <i>Rorippa palustris</i> <i>Rumex</i> spp. <i>Salix</i> spp. <i>Schoenoplectus pungens</i> <i>Sium suave</i> <i>Solanum Dulcamara</i> <i>Sparganium eurycarpum</i> <i>Spartina pectinata</i> <i>Thelypteris palustris</i> <i>Trifolium</i> spp. <i>Vicia Cracca</i>	<i>Bolboschoenus fluviatilis</i> <i>Gnaphalium uliginosum</i> <i>Leersia orysoides</i> <i>Phragmites australis</i> <i>Potamogeton Richardsonii</i> <i>Sagittaria latifolia</i> <i>Schoenoplectus Lacustris</i> <i>Typha</i> spp.
	Variation	<i>Alisma plantago-aquatica</i> <i>Chara</i> spp. <i>Cyperus</i> spp. (< 10 cm) <i>Lemma</i> spp. <i>Lythrum</i> (< 20 cm) <i>Nuphar variegata</i> <i>Panicum</i> spp. <i>Vallisneria americana</i>	<i>Algues</i> <i>Butomus umbellatus</i> <i>Elodea</i> spp. <i>Heteranthera dubia</i> <i>Myriophyllum</i> spp. <i>Polygonum</i> spp. <i>Urtica dioica</i>	

deviennent rares, voire absentes en conditions de niveau moyen (2000, 2002). En conditions de bas niveaux, une plante indigène franchement aquatique (*Elodea canadensis*) croît plus bas sur le littoral, mais en moindre abondance qu'en conditions de niveau moyen alors qu'une autre (*Heteranthera dubia*) révèle une tendance à accroître son abondance tout en se déplaçant le long du littoral au gré des fluctuations de niveaux.

Enfin, les conditions de niveau bas (1999, 2001) semblent contribuer à des conditions favorables à la croissance des algues, incluant les algues vertes filamenteuses et *Chara* spp, qui sont particulièrement aptes à réagir rapidement aux changements de niveau. Les conditions climatiques (température et ensoleillement) plus chaudes de l'année 2002 pourraient aussi expliquer des abondances sensiblement plus élevées qu'en 2000 où la température était légèrement plus fraîche.

5.6 IDENTIFICATION DES COMMUNAUTÉS DE PLANTES

La répartition verticale des plantes qui occupent la bande riveraine du Saint-Laurent en conditions de niveau moyen a été décrite précédemment par de nombreux auteurs (Dansereau 1945; Pilon *et al.* 1980, 1981; Couillard et Grondin, 1986; Gratton et Dubreuil, 1990). La limite supérieure de cette bande correspond à l'extension maximale de la plaine d'inondation printanière, tandis que sa limite inférieure est située à la profondeur à laquelle l'intensité lumineuse limite la croissance des plantes submergées. Cependant, la présente étude se concentre sur la partie centrale de cette zone correspondant aux communautés situées entre la prairie humide et les eaux peu profondes (< 1 m) à l'étiage de fin d'été.

Sept communautés de plantes correspondant à un gradient continu de profondeur et d'élévation ont été identifiées à partir de l'analyse de groupement (tableau 15, figures 29 et 30), correspondant à (1) la prairie humide, (2) à une zone de transition d'espèces annuelles entre les conditions sèches et mouillées, (3) aux marais peu profonds, (4) aux marais profonds, (5) à une zone de transition dénudée, (6) à un herbier à plantes à feuilles flottantes et (7) à un herbier de plantes submergées.

Tableau 15
Description des communautés de plantes dominantes identifiées par l'analyse de
groupement. Pour chaque groupe, on indique les 10 espèces apparaissant le plus
fréquemment en identifiant si elles varient ou non entre les années la gamme d'élévation
mesurée lors de l'échantillonnage et la gamme d'élévation par rapport au zéro des cartes
(ZC).

Type de communauté	Espèces (% d'occurrence) affichant des variations inter-annuelles	Espèces (% d'occurrence) n'affichant pas de variations inter-annuelles	Élévation (cm) mesurée Moyenne ± É.T. (min.-max.)	Élévation (ZC, cm) Moyenne ± É.T. (min.-max.)
Prairie humide H=1,24* Nsp=8,7 Obl=4,3 Fac=3,6	<i>Bolboschoenus fluviatilis</i> (34)	<i>Phalaris arundinacea</i> (72)	+53,3 ± 71,3	+ 91,4 ± 47,4
	<i>Sagittaria latifolia</i> (33)	<i>Lythrum salicaria</i> (grand)(66)	(-115,0 à +242,0)	(-22,2 à +238,9)
	<i>Lythrum salicaria</i> (petit) (26)	<i>Spartina pectinata</i> (25)		
	<i>Butomus umbellatus</i> (20)	Mousses (21)		
		<i>Eleocharis palustris</i> (21)		
		<i>Onoclea sensibilis</i> (20)		
		<i>Schoenoplectus pungens</i> (20)		
Transition annuelle H=1,54* Nsp=10,5 Obl=5,3 Fac=4,4	<i>Polygonum</i> spp. (63)	<i>Lythrum salicaria</i> (grand)(43)	58,2 ± 56,8	+ 50,0 ± 46,6
	<i>Sagittaria latifolia</i> (48)	<i>Schoenoplectus pungens</i> (38)	(-51,0 à +285,0)	(-18,3 à +239,1)
	<i>Leersia oryzoides</i> (41)	<i>Eleocharis palustris</i> (36)		
	<i>Panicum</i> spp. (30)	<i>Cyperus</i> spp. (grand) (33)		
	<i>Lythrum salicaria</i> (petit) (27)	<i>Eleocharis acicularis</i> (28)		
	<i>Bolboschoenus fluviatilis</i> (27)	<i>Phalaris arundinacea</i> (27)		
Marais peu profond H=1,28* Nsp=6,9 Obl=5,5 Fac=1,2	<i>Bolboschoenus fluviatilis</i> (81)	<i>Sparganium eurycarpum</i> (37)	-9,5 ± 54,4	+ 31,9 ± 36,6
	<i>Schoenoplectus Lacustris</i> (50)	<i>Lythrum salicaria</i> (grand)(22)	(-105,0 à +135,5)	(-39,0 à +114,7)
	<i>Typha angustifolia</i> (45)			
	<i>Sagittaria latifolia</i> (45)			
	<i>Butomus umbellatus</i> (40)			
	<i>Elodea</i> spp. (26)			
	<i>Lemna</i> spp. (25)			
	<i>Phragmites australis</i> (21)			
Marais profond H=1,22* Nsp=8,1 Obl=6,5 Fac=1,22	<i>Sagittaria latifolia</i> (60)	<i>Eleocharis palustris</i> (89)	-17,0 ± 32,6	25,0 ± 22,8
	<i>Schoenoplectus Lacustris</i> (46)	<i>Schoenoplectus pungens</i> (60)	(-77,0 à 67,8)	(-30,8 à 74,3)
	<i>Bolboschoenus fluviatilis</i> (32)	<i>Eleocharis acicularis</i> (35)		
	<i>Elodea</i> spp. (30)	<i>Pontederia cordata</i> (34)		
		<i>Lythrum salicaria</i> (grand)(30)		
		<i>Sium suave</i> (22)		

T.15 (suite 1)

Type de communauté	Espèces (% d'occurrence) affichant des variations inter-annuelles	Espèces (% d'occurrence) n'affichant pas de variations inter-annuelles	Élévation (cm) mesurée Moyenne ± É.T. (min.-max.)	Élévation (ZC, cm) Moyenne ± É.T. (min.-max.)
Transition dénudée	<i>Alisma plantago-aquatica</i> (64)	<i>Potamogeton richardsonii</i> (15)	+10,8 ± 14,2	-11,2 ± 15,6
H=0,95*	<i>Heteranthera dubia</i> (45)		(-12,5 à 42,0)	(-36,5 à 30,0)
Nspp=5,3	<i>Chara</i> (42)			
Obl=4,3	<i>Algues filamenteuses</i> (42)			
Fac=0,9	<i>Polygonum</i> spp. (30)			
	<i>Vallisneria americana</i> (27)			
	<i>Elodea</i> spp. (24)			
	<i>Myriophyllum</i> spp. (24)			
	<i>Sagittaria latifolia</i> (21)			
	<i>Typha</i> spp. (15)			
	<i>Lythrum salicaria</i> (petit) (15)			
Herbier f. flottantes	<i>Vallisneria americana</i> (63)	<i>Nymphaea odorata</i> (34)	-55,0 ± 22,4	-18,7 ± 30,7
H=0,84*	<i>Schoenoplectus Lacustris</i> (50)	<i>Schoenoplectus pungens</i> (16)	(-110,0 à -10,0)	(-127,0 à + 39,7)
Nspp=4,5	<i>Nuphar variegata</i> (48)			
Obl=4,5	<i>Algues filamenteuses</i> (35)			
Fac=0,0	<i>Elodea</i> spp. (32)			
	<i>Chara</i> (31)			
	<i>Potamogeton richardsonii</i> (22)			
	<i>Heteranthera dubia</i> (20)			
Herbier submergé	<i>Vallisneria americana</i> (65)	<i>Nymphaea odorata</i> (23)	-60,7 ± 31,1	-17,8 ± 21,6
H=0,86*	<i>Elodea canadensis</i> (59)	<i>Potamogeton linéaire</i> (14)	(-130,0 à -2,5)	(-81,6 à +41,2)
Nspp=4,0	<i>Algues filamenteuses</i> (45)			
Obl=4,0	<i>Potamogeton richardsonii</i> (42)			
Fac=0,0	<i>Heteranthera dubia</i> (40)			
	<i>Myriophyllum</i> spp. (38)			
	<i>Chara</i> (23)			
	<i>Alisma plantago-aquatica</i> (13)			

*H = indice de diversité, N = nombre d'espèces total, Obl et Fac=nombre d'espèces hydrophytes obligatoires et facultatifs respectivement

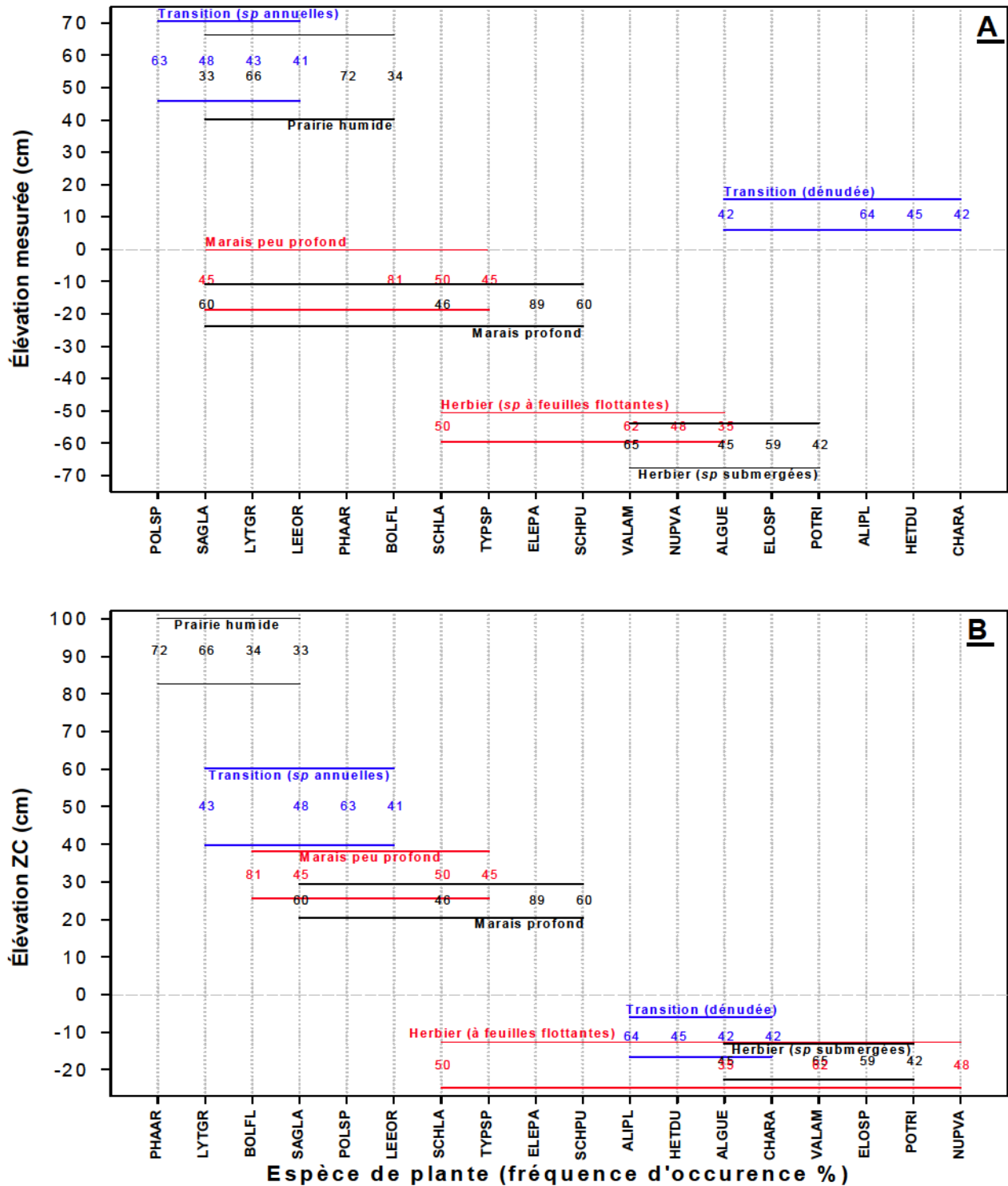


Figure 29 Caractérisation des 7 communautés de plantes à partir de A) l'élévation mesurée (Intervalle de confiance à 95%) et B) l'élévation mise au zéro des cartes des 4 espèces de plantes les plus fréquemment observées (%) dans chaque groupe. Le code d'abréviation des espèces est indiqué au tableau 13

Ces communautés forment un gradient entre les milieux plus secs et les plus mouillés, dont la composition se superpose et se succède très progressivement, ce qui est reflété par les fortes valeurs d'écart-type et la gamme importante de niveau caractérisant chacune d'entre elles. La composition spécifique des espèces dominantes suit elle aussi cette tendance, affichant les mêmes espèces dans les groupes adjacents, différant principalement en fonction de la fréquence d'observation et de l'abondance relative.

5.6.1 Prairie humide

La prairie humide représente le groupe situé dans la partie la plus élevée (et la plus sèche) de notre zone d'échantillonnage. Cette communauté située à une élévation ZC moyenne de 91 ± 47 cm est la première à être exondée au printemps. *Phalaris arundinacea* et *Lythrum salicaria*, sont les espèces dominantes de cette communauté, apparaissant dans 66 et 72% des quadrats de ce groupe (tableau 15). Ce sont des espèces dont ni l'abondance, ni la distribution n'affichent de variations annuelles significatives (tableau 14, annexe 7). Elles sont associées à plusieurs autres espèces vivaces, en particulier *Sagittaria latifolia* et *Bolboschoenus fluviatilis* dont les abondances fluctuent entre les années (tableau 14). Les peuplements comprenant *Spartina pectinata* font également partie de ce groupe, mais n'ont été observés que dans 25% des quadrats. Avec une richesse spécifique moyenne de 8,7 espèces par quadrat, ce groupe est le plus diversifié après la zone de transition des espèces annuelles (section suivante) et comporte sensiblement le même nombre d'hydrophytes obligatoires et facultatives.

5.6.2 Transition espèces annuelles

Cette communauté légèrement plus basse sur le littoral ($+50 \pm 47$ cm ZC) se caractérise par la présence de plantes qui profitent d'épisodes de bas niveaux (1999, 2001) pour étendre leur distribution. Ce sont surtout des espèces annuelles opportunistes (i.e. *Polygonum* spp. et *Panicum* spp.), accompagnées de quelques espèces vivaces (i.e. *Leersia oryzoides*, *Lythrum salicaria*). Cette dernière est d'ailleurs souvent présente sous forme des jeunes pousses (27% des quadrats). On rencontre aussi dans cette zone, des semis de *Populus* spp. et d'*Acer* spp., généralement rencontrés très haut sur le rivage. De plus, plusieurs espèces vivaces des marais tolérant les conditions temporairement sèches persistent en plus faible abondance parmi les espèces colonisatrices plus « terrestres ». Ce milieu changeant correspond au plus hautes valeurs de

l'indice de diversité et de la richesse spécifique, et au nombre le plus élevé d'espèces hydrophytes facultatives. Ces résultats confirment les observations de Keddy (2002) indiquant que la diversité maximale des espèces de milieux humides est atteinte juste au dessus de la ligne des eaux.

5.6.3 Marais peu profond et marais profond

Les marais profonds et peu profonds couvrent les secteurs qui restent saturés d'eau ou inondés au cours des basses eaux d'étiage estival, dont les profondeurs varient de 0 à 70 cm environ. Les marais peu profond ($+32 \pm 37$ cm ZC) se présentent comme des peuplements denses de plantes émergentes robustes telles que *Bolboschoenus fluviatilis*, *Schoenoplectus Lacustris* et *Typha* spp. En comparaison, le marais profond ($+25 \pm 23$ cm ZC) est dominé par des plantes émergentes dont le couvert est moins dense, telles qu'*Eleocharis palustris* associé à *Schoenoplectus pungens*. L'espèce émergente *Sagittaria latifolia* et *Pontederia cordata* sont présentes dans ces deux groupes quoique leurs fréquences s'accroissent vers le littoral plus profond. *Schoenoplectus fluviatilis*, *Butomus umbellatus* et *Sparganium eurycarpum* sont aussi présentes dans les deux types de marais, mais sont moins abondantes dans le marais profond. En raison de la coexistence d'espèces de plantes émergentes, flottantes (*Lemna* spp.) et submergées (*Elodea* spp.), les marais représentent les deux groupes comprenant le plus d'espèces hydrophytes obligatoires (moyenne de 5,5 et 6,5 espèces par quadrat respectivement).

5.6.4 Zone de transition dénudée

La zone de transition dénudée (-11 ± 16 cm ZC), situé dans la partie intermédiaire du gradient d'élévation se distingue par de fréquentes variations de niveau d'eau à court terme (< 1 mois). Fréquemment inondés et exondés (moyenne de 6 fois par saison) cette zone est assez peu diversifiée. Les plantes y ont de faibles abondances relatives, en partie parce que ce secteur est trop fréquemment mouillé pour que les plantes plus « terrestres » puissent croître, mais trop souvent exondé pour que les plantes submergées puissent y proliférer. Par conséquent, on y retrouve des algues pluricellulaires dont la croissance est rapide en eau chaude et peu profonde (algues filamenteuses et *Chara* spp.) ainsi que *Vallisneria americana* et *Elodea* spp. Certaines peuvent de plus avoir été entraînées par le vent et étaient observées mortes ou plus ou moins desséchées. La dynamique de ces différents types de plantes peut être assez complexe : par exemple, des pousses vivantes de *Vallisneria americana* ou d'*Elodea* spp. ont été observées sous

une épaisse couche d'algues filamenteuse séchées qui les protégeaient de la dessiccation pendant une période où l'eau s'était retirée. Outre ces plantes à court temps de réaction, on retrouve certaines espèces dont le cycle de vie est spécialement adapté aux variations de niveau (*Alisma plantago aquatica*), pouvant germer (et fleurir !) lorsque les sols sont saturés d'eau (*Heteranthera dubia*) ou profitant de la disponibilité de substrats nus pour germer (*Polygonum* spp., *Populus deltoides*, *Lythrum salicaria*, *Lindernia dubia*).

Alisma plantago-aquatica est l'espèce la plus fréquemment retrouvée (64% des quadrats) dans cette zone; le cycle vital de cette espèce la rend particulièrement apte à coloniser les secteurs sujets aux grandes variations de niveau d'eau (Marie-Victorin 1943, 1995). Quand le niveau d'eau est normal, « l'Alisma se tient dans 1 à 3 pieds d'eau, et ne produit que de longues feuilles molles, analogues à celles de *Vallisneria americana*, et comme celle-ci dépourvues de tissu mécanique. Lorsque le niveau de l'eau s'abaisse brusquement, on voit surgir la forme émergée caractérisée par des feuilles à limbe ferme et lancéolé-obové. » (Marie-Victorin 1995).

5.6.5 Herbiers à plantes flottantes

Comme son nom l'indique, l'herbier à feuilles flottantes est défini par une forte occurrence de *Nuphar variegata* (48 % des quadrats) et *Nymphaea odorata* (34 % des quadrats), accompagnées de plantes émergentes (*Schoenoplectus Lacustris*), submergées (*Vallisneria americana*, *Elodea* spp.) et d'algues (*Chara* spp. et algues filamenteuses) (tableau 15, figure 29). Ce groupe plus hétéroclite que les herbiers submergés proprement dits se retrouve dans des milieux dont la profondeur est légèrement inférieure (-55 ± 22 cm) et couvre une gamme plus étroite (de 10 à 110 cm d'eau) que le groupe suivant. La présence de *Schoenoplectus Lacustris* dans la moitié des observations de ce groupe reflète les communautés végétales des rives abritées du sud du Lac Saint-Pierre, où ces plantes émergentes de grande taille forment un couvert éparé sur de très grandes superficies (figure 21), en association avec des plantes submergées.

5.6.6 Herbiers submergés

L'herbier submergé, associe une variété d'espèces, surtout submergées (*Elodea canadensis*, *Myriophyllum* spp., *Potamogeton* spp., *Vallisneria americana*) ainsi que des algues. La forte occurrence de *Vallisneria americana* (> 63 % des observations dans les deux groupes) fait ressortir l'importance de cette espèce dans les herbiers du Saint-Laurent. La distribution de

certaines de ces espèces recoupe la zone de transition où cependant leur abondance restent faible. Les herbiers sont les communautés les moins diversifiées et ne contiennent évidemment que des espèces hydrophytes obligatoires, dont la majorité ajustent leur distribution verticale en réponse aux variations de niveaux d'eau. (tableau 14).

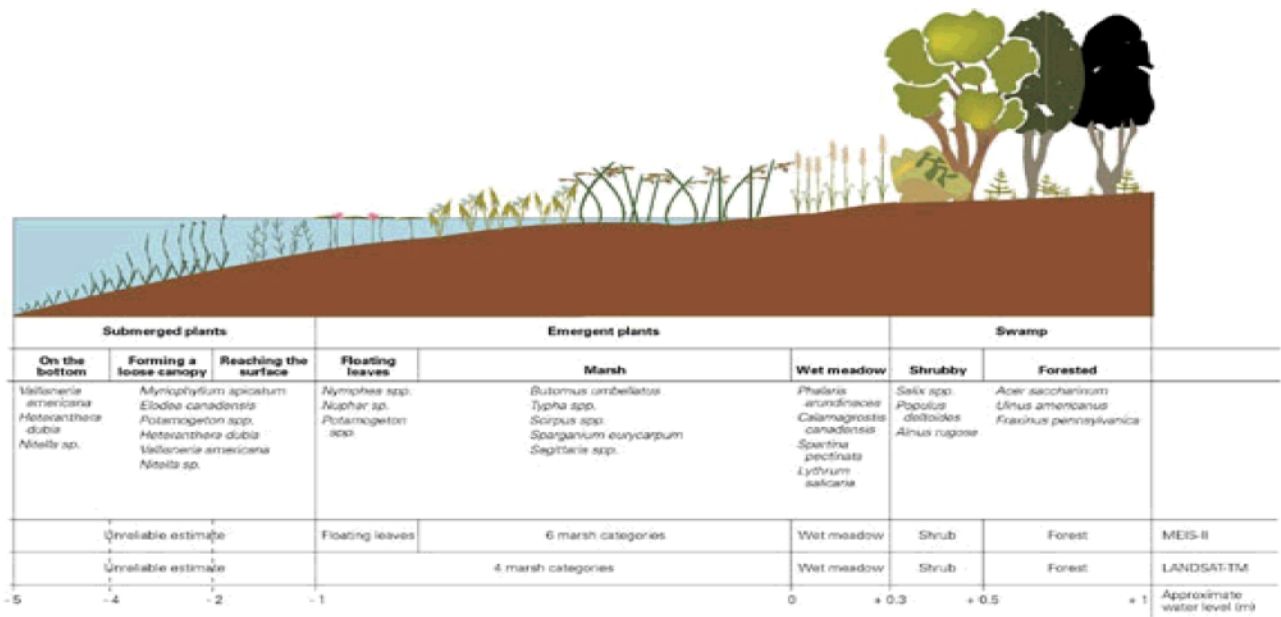
5.7 ZONATION DES COMMUNAUTÉS DE PLANTES EN FONCTION DES VARIATIONS DE NIVEAU D'EAU

5.7.1 Conditions actuelles

Le déplacement des communautés observé entre les saisons de niveau moyen (figure 30, panneau supérieur, années 2000 et 2002) et de bas niveau (figure 30, panneau inférieur, années 1999 et 2001) met en évidence la capacité d'adaptation des milieux humides du Saint-Laurent aux variations inter-annuelles de niveau d'eau. En conditions de niveau « moyen » (2000 et 2002) la prairie humide et la zone de transition émergente-submergée étaient beaucoup moins bien représentées qu'au cours des deux années de bas niveau (1999 et 2001). Par contre, les marais peu profonds et les marais profonds étaient mieux représentés en 2000. Les variations de niveau entre les années s'accompagnaient d'une variation importante de composition spécifique : par exemple, le même quadrat (à la même élévation ZC) pouvait supporter une communauté de plantes alternant entre la prairie humide (1999 et 2001) et le marais profond (2000 et 2002). Cette variabilité inter-annuelle explique la gamme très importante d'élévation et de profondeur auxquelles on peut observer chaque communauté.

5.7.2 Conditions pré-régularisation

La zonation des plantes supérieures le long du littoral du Lac Saint-Louis a été décrite de façon très détaillée par Dansereau (1945), avec l'identification des espèces dominantes (tableau 16) dans chaque strates de végétation et leur position par rapport aux variations saisonnières de niveau (figure 31). Ces associations sont particulièrement intéressantes puisqu'elles décrivent la végétation AVANT les travaux majeurs d'excavation de la Voie Maritime, AVANT le contrôle de la glace et AVANT la régularisation du débit-niveau du Saint-Laurent.



LOW WATER LEVEL (CD)

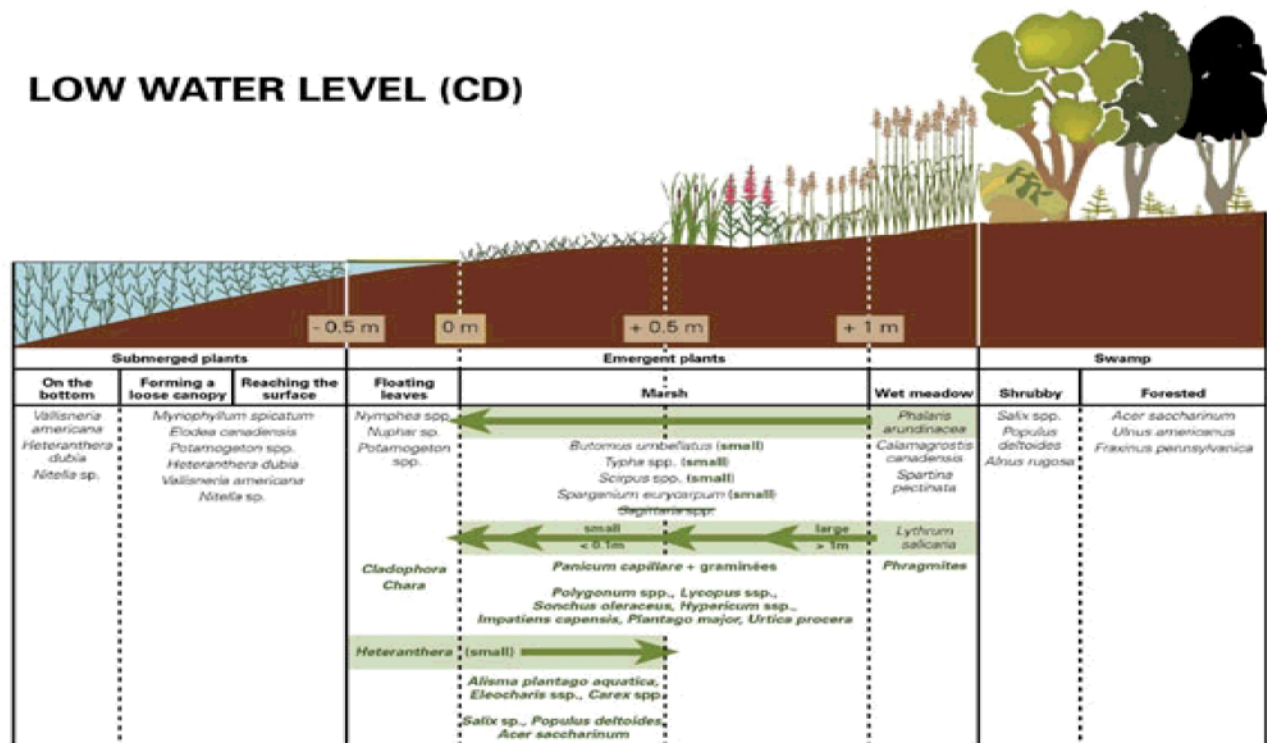


Figure 30 Schéma général montrant la localisation des communautés végétales selon les conditions de niveau moyen (2000 et 2002) ou bas (1999 et 2001)

Tableau 16
Description des espèces formant les associations végétales du Lac Saint-Louis, avant les modifications anthropiques majeures (modifié de Dansereau 1945). Les lettres de chaque groupe réfèrent à la figure 31

Groupe	Hydrologie	Composition spécifique
A	Aucune inondation	<i>Acer saccharum</i> , <i>Picea</i> spp., <i>Thuja occidentalis</i> (champs en culture)
B	Inondation en fin Avril-Mai	<i>Acer saccharinum</i> , <i>Ulmus americana</i>
C	Inondation en Mai-Juin	<i>Populus deltoides</i> , <i>Salix</i> spp.
C'		<i>Fraxinus nigra</i> , <i>F. pennsylvanica</i> , <i>Salix</i> spp.
D	Inondations en Mai-Juin et Novembre	Grève extérieure (middle beach) : <i>Desmodium canadense</i> , <i>Elymus riparus</i> , <i>Potentilla anserina</i> , <i>Andropogon furcatus</i> , <i>Sorghastrum nutans</i> (héliophiles vivaces)
D'		<i>Spartina pectinata</i> , <i>Lythrum salicaria</i>
E	Inondations en Mai-Juin et Novembre	Grève intérieure (inner beach) : <i>Xanthium pungens</i> , <i>Polygonum pennsylvanicum</i> , <i>Cyperus esculentus</i> , <i>Melilotus alba</i> , <i>Populus balsamifera</i> (annuelles)
E'		<i>Butomus umbellatus</i>
F	Sous le niveau des basses eaux de Juillet-Août-Septembre; exondé en Octobre	<i>Sagittaria</i> spp.
G	Sous le niveau des basses eaux de fin Septembre et début Octobre; rarement exondé	<i>Scirpus validus</i> , <i>Eleocharis palustris</i> var. <i>major</i>
H	Jamais exondé	<i>Vallisneria americana</i> , <i>Potamogeton</i> spp.
I	Jamais exondé (eau plus profonde)	<i>Nuphar</i> , <i>Nymphaea</i> spp.
J	Jamais exondé	Diatomées

Avant la régularisation (1958), l'hydrogramme moyen du haut estuaire montre deux étiages, l'un en été (juillet-août), l'autre moindre au milieu de l'hiver (janvier-février) (Desrosiers et Bégin 1992). Dansereau (1945, 1959) fait aussi état de deux crues, la première (et la plus importante) au printemps (fin avril- début mai) et la seconde en automne (fin septembre-début octobre). Les haut niveaux de printemps étaient cependant les seuls à atteindre les arbres. Après la crue de mai, le niveau des eaux diminuait progressivement jusqu'en septembre, exondant successivement les zones arbustives (tableau 16, groupes C et C'), les grèves supportant les prairies humides (groupes D et D', E), et les marais peu profonds (E', F et G). Les marais et les prairies humides étaient de nouveau inondés brièvement en novembre.

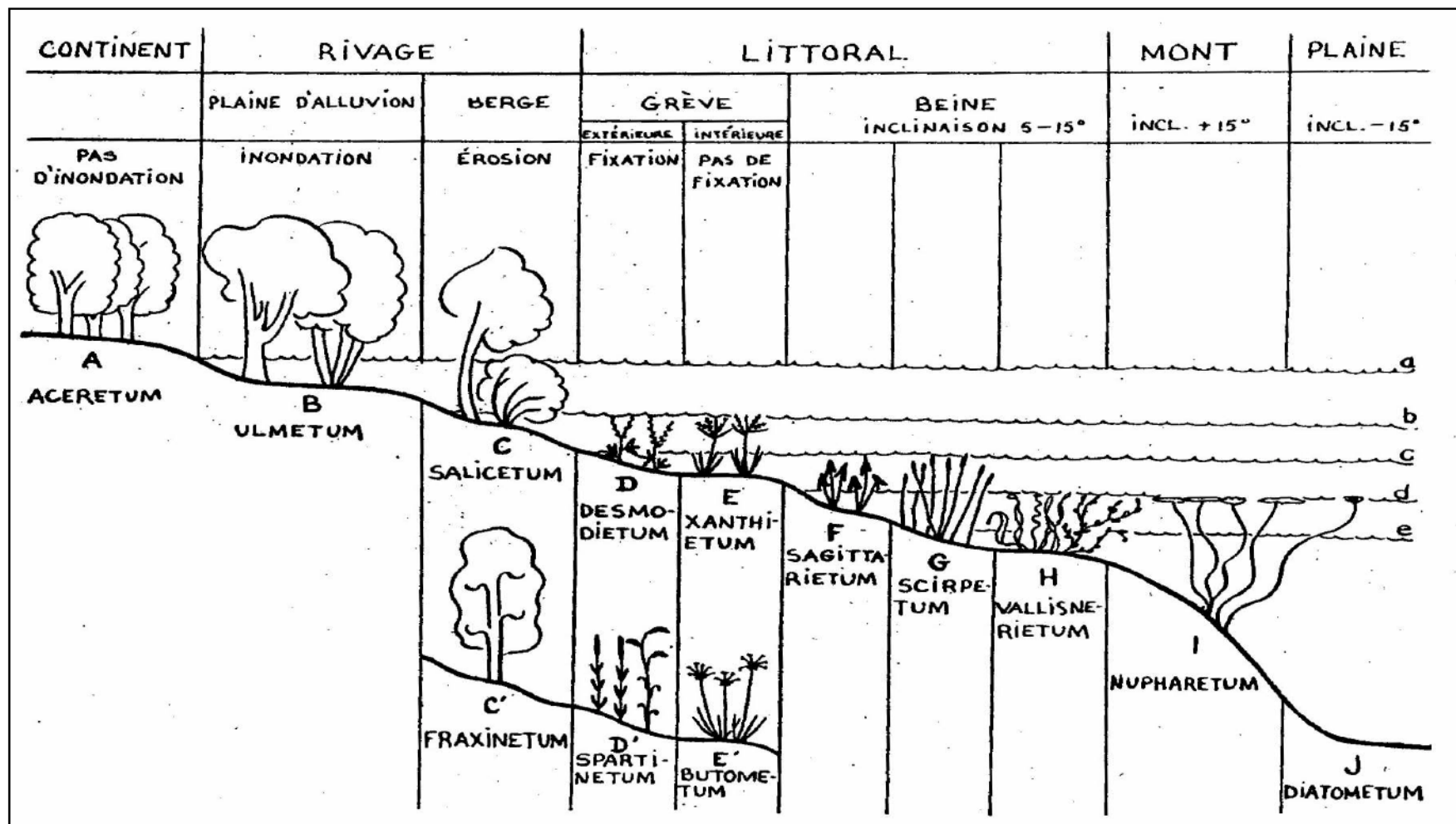


Figure 31 Schéma général montrant la localisation des associations végétales au Lac Saint-Louis (tiré de Dansereau 1945). Les diverses espèces ne sont pas à l'échelle. Les lignes ondulées indiquent le niveau de l'eau : a) en mai; b) en juin; c) en novembre; d) en juillet-août-septembre; e) à la fin de septembre et au début d'octobre. Les espèces typiques de chaque association sont énumérées au tableau 16.

Dansereau (1959) a aussi décrit de façon très détaillée les associations végétales des rives du Saint-Laurent, faisant de nombreux commentaires sur les effets des variations de niveau. Les observations détaillées tirées de cet ouvrage ont été organisées sous forme de tableau, permettant la comparaison entre les observations antérieures à 1959 et notre étude (annexe 8). Les principales différences comprennent la disparition de peuplements typiques dominés autrefois par *Calamagrostis canadensis*, *Spartina pectinata*, *Zizania aquatica*, *Equisetum* spp. Ces peuplements semblent avoir été déplacés ou remplacés par *Phalaris arundinacea*, *Lythrum salicaria*, *Schoenoplectus lacustris*. Aucune différence marquante n'est perceptible dans les peuplements dominants de marais et d'herbiers à feuilles flottantes. La prolifération de *Myriophyllum* spp., d'algues filamenteuses et de plusieurs espèces de *Potamogeton* dans les herbiers submergés pourrait résulter de l'eutrophisation du milieu aquatique. Par ailleurs, certaines associations nouvelles sont identifiables, en relation avec l'usage des îles comme pâturage estival pour les animaux domestiques et en réponse aux bas niveaux extrêmes des années 1999 et 2001.

L'envahissement des milieux humides exondés par *Phalaris arundinacea* et les modifications de la composition spécifique en conditions de bas niveaux extrêmes (en 1931) a été documenté à Boucherville par Marie-Victorin (1943a). Une comparaison exhaustive des observations faites lors de cet épisode a été faite au même endroit lors d'un épisode similaire de bas niveau en 1999, avec des mesures des changements de distribution de la biomasse des espèces en fonction des conditions de niveau (Hudon 2002). L'abondance de *Spartina pectinata* sur les rivages du Lac Saint-Pierre, particulièrement aux îles de Sorel a aussi été bien documentée (Marie-Victorin 1943b).

5.8 IDENTIFICATION DES VARIABLES EXPLIQUANT LES DIFFÉRENCES ENTRE LES COMMUNAUTÉS DE PLANTES

Plusieurs analyses ont été effectuées pour évaluer l'importance relative des caractéristiques des sédiments, des variables climatiques et environnementales ainsi que des variables hydrologiques sur les communautés de plantes.

5.8.1 Caractéristiques des sédiments

L'effet des caractéristiques des sédiments sur les communautés de plantes a été évalué par une première analyse des correspondances, sur un sous ensemble des quadrats pour lesquels

des échantillons de sédiments avaient été prélevés en 2000 et 2001. Les caractéristiques des sédiments varient entre les sites et entre les années (annexe 10), mais n'expliquent que 11,5 % de la variance totale entre les groupes de quadrats (tableau 17). L'axe 1 est le plus explicatif (65%) et présente les plus fortes corrélations avec les 5 variables significatives dans l'analyse (figure 32A). La taille médiane et la variance du diamètre moyen des particules sont fortement corrélées entre elles, ainsi qu'avec la fraction de sable. Ces trois variables sont inversement corrélées avec le pH et le contenu en azote organique des sédiments. Ces résultats indiquent que les sédiments relativement riches en sable, de taille médiane élevée et plutôt hétérogènes sont aussi les moins riches en azote organique. Les herbiers submergés et les marais profonds correspondent aux zones sablonneuses tandis que les marais peu profonds et les prairies humides coïncident avec les zones de sédiments plus fins et plus riches en matière organique. Cependant, la structure des sédiments n'explique que 11,5% de la variance; l'effet de ce facteur a donc été omis des analyses subséquentes pour permettre l'utilisation de toute la matrice de données.

5.8.2 Variables climatiques et environnementales

L'effet des variables climatiques et environnementales a été évalué de la même façon (figure 32B), sur l'ensemble des données, montrant un effet significatif de 6 variables (tableau 17). Les précipitations cumulées étaient inversement corrélés avec l'ensoleillement et le nombre de degré-jours cumulés; ces variables étaient corrélées au premier axe (57,2% de la variance). Ces variables expliquaient le mieux les différences entre les herbiers submergés et les groupes de plantes appartenant aux zones de transitions (prédominantes au cours de années de bas niveaux extrêmes) (figure 32B). D'autre part, le fetch provenant du Nord-Est et du Sud-Ouest étaient inversement corrélés avec la clarté de l'eau, en rapport avec l'axe 2 (29% de la variance). Les milieux abrités et de faible clarté de l'eau coïncidaient avec les groupes dominés par les plantes flottantes. Cependant, les variables environnementales expliquaient seulement 9,6% de la variance totale, et n'exerçaient donc qu'un effet marginal sur les communautés de plantes.

5.8.3 Variables hydrologiques

Les variables hydrologiques expliquant les différences entre les communautés de plantes ont été testées à l'aide d'analyses multivariées permettant d'éliminer (de contrôler) l'effet des différences environnementales (ci-dessus) entre les sites (Tableau 17). Les caractéristiques

hydrologiques décrivant la profondeur moyenne, la durée d'inondation, la variabilité (écart-type) de la profondeur et le nombre d'épisodes hors de l'eau ont été calculés pour chaque quadrat, à partir des informations concernant son élévation par rapport au zéro des cartes ainsi que les variations de niveau d'eau au cours de la période précédant l'échantillonnage.

Chaque caractéristique hydrologique a été calculée pour des périodes progressivement plus longues, correspondant à 1, 2, 3, 4 semaines, 1 mois, deux mois (etc.), pour la saison en cours ainsi que la saison précédant l'échantillonnage (tableau 10), pour un total de 51 variables initiales. L'échelle hebdomadaire a été sélectionnée parce qu'elle constitue l'unité temporelle de la gestion des débits. Une analyse antérieure (Hudon et Amyot 2001) avait démontré que pour les milieux humides dominés par les plantes herbacées, les conditions hydrologiques antérieures à l'année précédente n'avaient pas d'influence significative. Cette approche présume que les communautés de plantes observées dans chaque quadrat reflètent l'historique des conditions hydrologiques subies depuis une certaine période par chacune de ces parcelles. L'identification de ces relations permettra de reconstituer les communautés de plantes ayant les plus fortes probabilités d'être observées à chaque élévation le long du rivage, à partir des connaissances des conditions hydrologiques imposées au préalable à chaque parcelle du littoral.

Neuf variables hydrologiques (tableau 17) ont été identifiées comme ayant un effet explicatif des communautés végétales. L'axe 1 (45% de la variance) exprime les conditions d'immersion des quadrats : l'élévation moyenne du mois de juillet, le nombre de jours d'immersion à moyen (saison précédente), court (49 jours) et très court (14 jours) termes, la profondeur moyenne de la saison précédente y sont principalement corrélés. Cet axe distingue le mieux entre les groupes de végétation des milieux secs (prairie humide) et les herbiers constamment submergés. Le second axe (24% de la variance) reflète plutôt la variabilité du niveau, incluant plusieurs valeurs d'écart-type de profondeur et d'élévation (tableau 17). Cet axe définit les différences entre les milieux de faible profondeur, étant caractérisés par de faibles (marais profonds) ou de fortes (transition dénudée) variations saisonnières et inter-annuelles de niveau (figure 32C). Une fois enlevé l'effet des variables environnementales (10%), les variables hydrologiques expliquent 24 % de la variance totale des données.

5.9 MODÈLES PRÉDICTIFS DES COMMUNAUTÉS DE PLANTES À PARTIR DE L'HYDROLOGIE

Les 9 variables hydrologiques présélectionnées par l'analyse des correspondances ont été utilisées comme variables d'entrées dans l'analyse hiérarchique (figure 33), qui visait à déterminer des seuils critiques permettant de distinguer chacun des groupes de végétation. De ces neuf variables hydrologiques, quatre ressortent de l'analyse hiérarchique comme facteurs définissant le mieux les groupes de végétation : l'élévation de juillet, la profondeur de la saison précédente, l'écart-type de la profondeur de la saison en cours et le nombre de jours submergés de la saison précédente (figure 33).

L'élévation du mois de juillet permet d'abord de distinguer les groupes « secs » (quadrats dont l'élévation est au dessus de $-25,7$ cm ZC) des groupes « mouillés » (quadrats dont l'élévation est inférieure à $-25,7$ cm ZC). Parmi les groupes « secs », on pourra prévoir le développement de prairie humide, de transition annuelle ou de transition dénudée selon que la profondeur moyenne de la saison précédente était faible ($< 22,6$ cm), moyenne (entre $22,6$ et $94,9$ cm) ou plus élevée ($> 94,9$ cm). En d'autres termes, les peuplements de plantes caractéristiques de la transition dénudée apparaissent dans les secteurs qui étaient submergés pour la saison précédente mais sont exondés au cours du mois de juillet de l'année en cours.

Les groupes « mouillés » se distinguent aussi en fonction du nombre de jours submergés de la saison précédente ($<$ ou $>$ de 180 jours), de l'élévation de juillet ($<$ ou $>$ 78 jours) et de la variabilité (l'écart-type) de la profondeur de la saison en cours ($<$ ou $>$ 69 cm). Ainsi, trois combinaisons différentes de ces variables permettent à la végétation des marais peu profonds de se manifester, témoignant de la grande plasticité de ces espèces résistantes aux conditions de sécheresse temporaire.

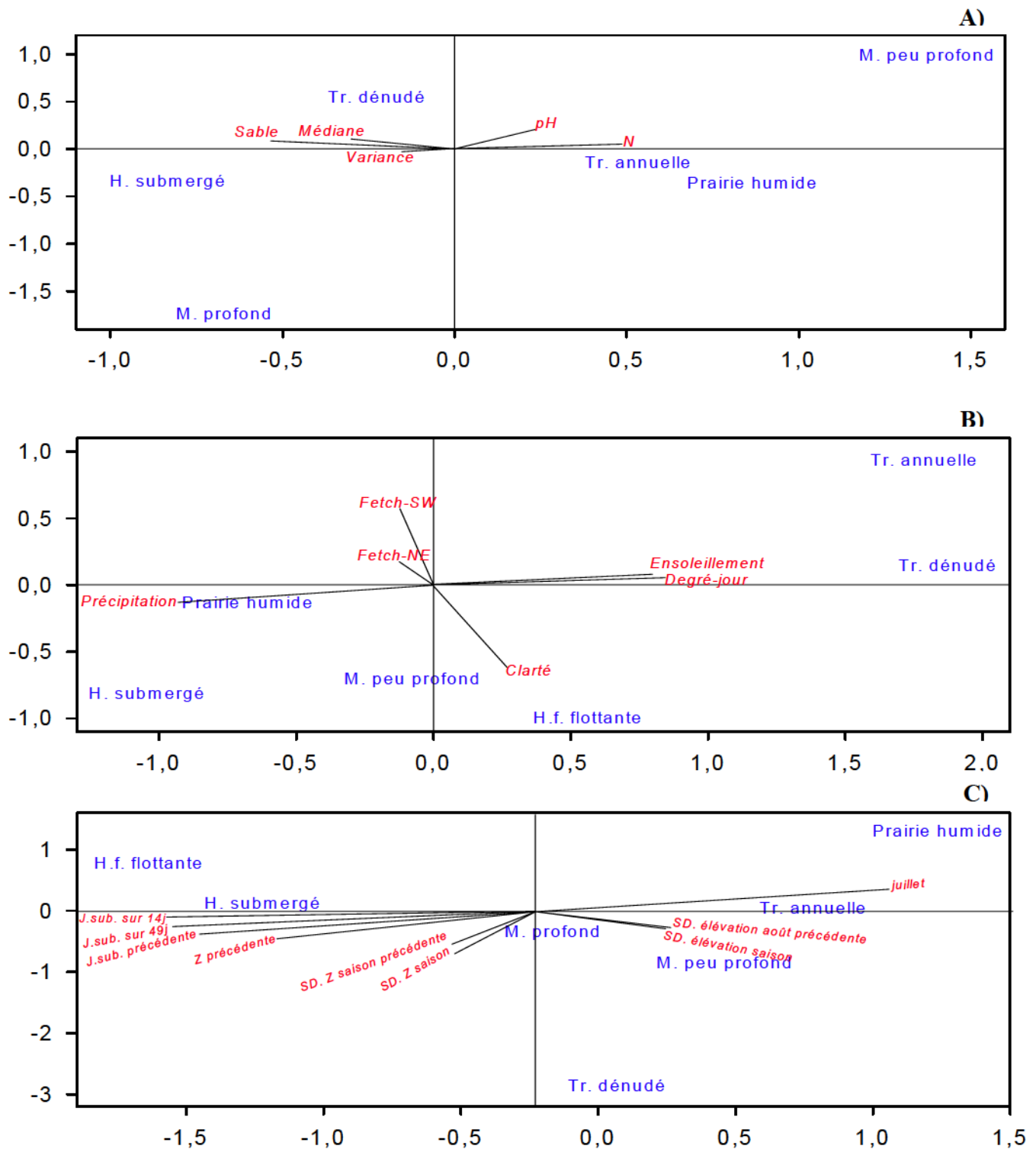
Plusieurs des communautés de plantes occupant le bas du gradient littoral sont influencées par le nombre de jours passés sous l'eau au cours de la saison précédente, révélant l'influence des changements abrupts (de l'ordre de 1 m entre les années) du niveau moyen annuel entre 1999 et 2002. Ainsi, les années 1999 et 2001 étaient toutes deux précédées d'une saison de niveau moyen (1998 et 2000), tandis que les années 2000 et 2002 étaient précédées d'une année de très bas niveau. Ces variations brusques ont réduit l'abondance des plantes submergées en eaux peu profondes au cours de la saison 2000 et 2002, puisque leur habitat était mis à sec (hors de l'eau) l'été précédent.

Tableau 17

Résultats des analyse des correspondances. Variable dépendante = présence/ absence des 7 communautés de plantes. Trois modèles sont présentés : ACC1 variables des sédiments seulement , ACC2 = variables environnementales autres qu'hydrologiques et sans variables des sédiments, et ACC3 = variables hydrologiques

	Variables	Description des variables	Corrélation	
			axe 1	axe2
ACC 1	Sable	% sable dans les sédiments (63µm < sable < 2000µm)	-0,55	0,09
%variance expliquée :	N	Azote organique (Kjeldahl)	0,50	0,08
axe 1 = 64,9 axe 2 = 16,8	Médiane	Diamètre médian des sédiments	-0,31	0,10
% de variance totale =11,5	pH	unité pH	0,25	0,24
	Variance	Variance du diamètre des sédiments	-0,16	-0,04
ACC 2	Précipitation	Cumul saisonnier des précipitation	-0,47	-0,07
%variance expliquée :	Degré-jour	Cumul saisonnier de la température > 5°C	0,43	0,03
axe 1 = 57,2 axe 2 = 29,0	Ensoleillement	Cumul saisonnier des heures d'ensoleillement	0,41	0,04
% de variance totale = 9,6	Clarté	Clarté des masses d'eaux	0,14	-0,32
	Fetch-NE	Exposition au vent en provenance NE	-0,07	0,09
	Fetch-SW	Exposition au vent en provenance SW	-0,06	0,30
ACC 3 avec var. partielles*	Élévation juillet	Élévation (ZC) moyenne de juillet	0,67	0,21
%variance expliquée	J. sub. sur 49j	Nb de jour submergés sur les 49 jours précédents	-0,65	-0,15
axe 1 = 44,6 axe 2 = 24,2	J. sub. sur 14j	Nb de jour submergés sur les 14 jours précédents	-0,65	-0,06
% de variance totale = 23,7	J. sub. précédente	Nb de jour submergés sur la saison précédentes	-0,60	-0,22
	Z précédente	Profondeur moyenne de la saison précédente	-0,51	-0,29
	SD. élévation saison	É.-T. de l'élévation (ZC) de la saison précédente	0,34	-0,24
	SD. élévation août précédente	É.-T. de l'élévation (ZC) d'août de la saison précédente	0,33	-0,21
	SD. Z saison précédente	É.-T. de la profondeur de la saison précédente	-0,20	-0,42
	SD. Z saison	É.-T. de la profondeur de la saison	-0,18	-0,50

*Les variables partielles (covariables) sont celles utilisées dans l'ACC2.



Note La valeur des vecteurs des variables environnementales (graphique B) et des variable hydrologiques (graphique C) ont été multiplié par 2.

Figure 32 Analyse canonique des correspondances reliant A) les variables sédimentaires, B) les variables environnementales et C) les variables hydrologiques une fois l'effet des variables environnementales prélevé au sept groupements végétales

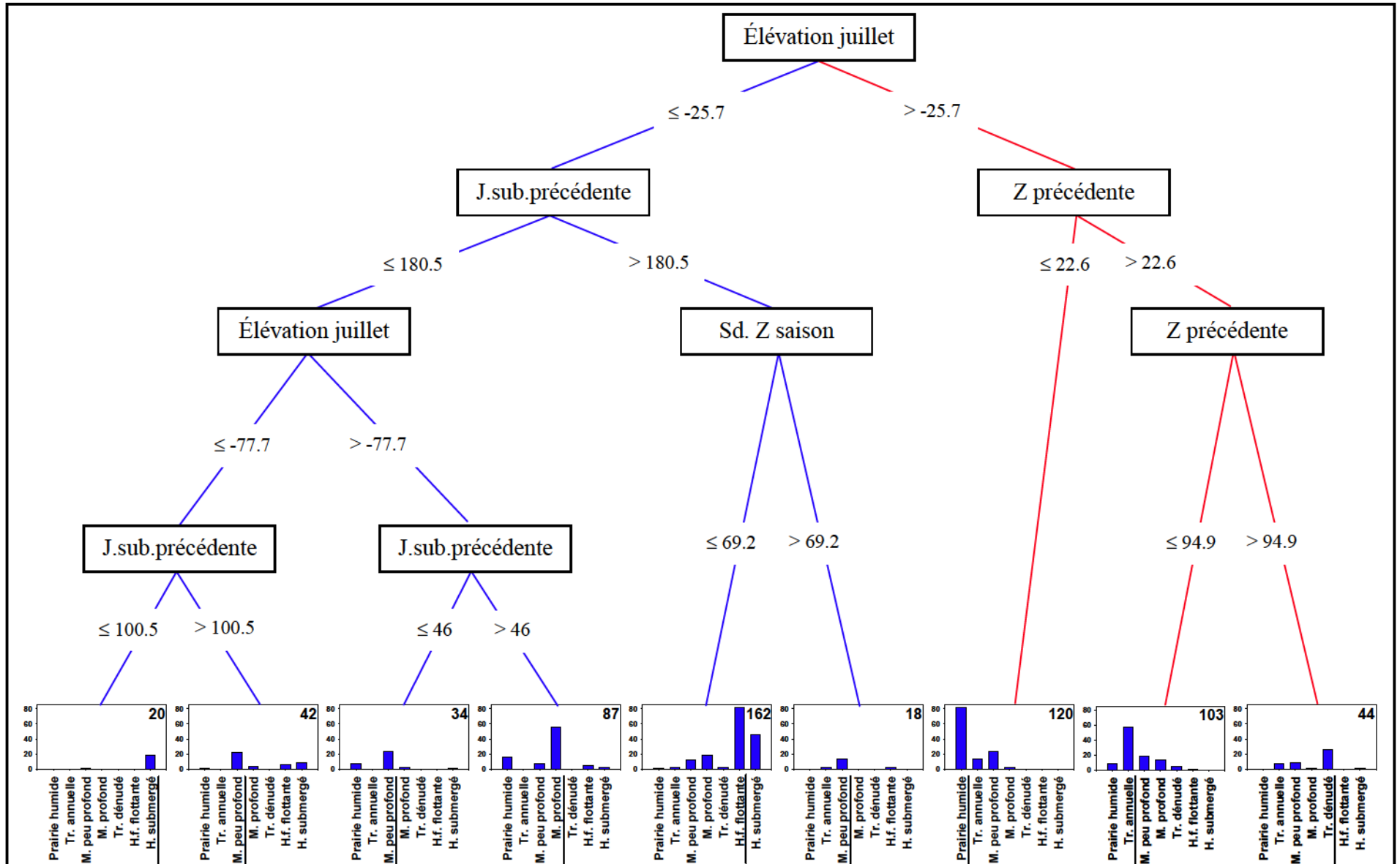


Figure 33 Système hiérarchique permettant de reconstituer les principales communautés de plantes des rives du Saint-Laurent à partir des conditions hydrologiques affectant chaque parcelle de territoire

Outre les répercussions sur la composition spécifique, de tels changements abrupts de niveau entre les années réduisent considérablement la biomasse des herbiers submergés peu profonds lorsque le niveau est rehaussé l'été suivant (Hudon 1997, Cooke 1980). L'élévation du mois de juillet fait référence aux conditions de la saison en cours, coïncidant avec le niveau moyen à long terme (1960-2002) pour deux années (2000 et 2002), ou y étant très inférieur (1999 et 2001). La variabilité des niveaux au cours de la saison de croissance en cours souligne l'importance des changements saisonniers de niveau pour le maintien des marais peu profonds, qui surviennent quand l'écart-type saisonnier est grand (> 69 cm), tandis que les herbiers à feuilles flottantes sont observés dans des conditions de marnage saisonnier moins prononcées (< 69 cm).

La performance du modèle hiérarchique varie selon les groupes de végétation (évaluée par le pourcentages des quadrats bien classés dans leurs groupes respectifs) : les groupes de prairie humide (71%), la transition annuelle (70%), la transition dénudée (79%), les marais profonds (58%) et peu profonds (45%), les herbiers à feuilles flottantes (84%) et les herbiers submergés (24%).

L'application des résultats de notre étude sera faite en examinant la superficie et la répartition de chaque groupe de végétation au cours de la période de mesures hydrologiques, ainsi que pour tester les effets de différents scénarios de gestion des débits sortants du Lac Ontario. Un examen rapide des variations inter-annuelles des 4 variables identifiées dans notre modèle pour la période 1913-2002 à Montréal (figure 34) suggère que les milieux humides ont subi d'importantes modifications au cours du siècle. Par exemple, la figure 34 identifie les conditions hydrologiques qu'a subi une parcelle situé à une élévation de 0,5 m ZC; le passage des courbes de part et d'autre des valeurs limites pour chaque variable hydrologique indique que cette parcelle aurait pu, selon les époques, supporter différents groupes de plantes. Ainsi, en 1931, cette strate d'élévation supportait une prairie humide; en 1947, un marais peu profond. L'alternance des types de végétation suit celle des périodes de haut et de bas niveaux, avec un marnage et une variabilité plus ou moins importantes au cours du temps.

L'approche utilisée ici s'inspire des travaux de Toner et Keddy (1997), utilisant les variables hydrologiques pour identifier les facteurs hydrologiques permettant la persistance de marécages arbustifs et arborés sur les rives de l'Outaouais. À notre connaissance, c'est toutefois la première fois qu'un semblable modèle est appliqué pour différencier les communautés végétales herbacées, dans la foulée de modèles qualitatifs du même type (Herdendorf et al. 1981).

Cette approche est extrêmement prometteuse et sera poursuivie pour les travaux de modélisation de l'habitat qui seront poursuivies pour la suite du plan d'études.

Pour les Grands Lacs, Painter et Keddy (1992) ont élaboré un modèle permettant de décrire les changements d'élévation de la limite supérieure (marécages) et inférieure (marais profonds) des milieux humides en fonction des variations temporelles (1910-1990) de niveau. La limite supérieure des marécages pour chaque année était définie par les hautes eaux (moyenne des mois de mai-juin-juillet) tandis que la limite inférieure des marais correspondait aux basses eaux (moyenne du mois de septembre). Pour les marécages, les hautes eaux tuent les arbres après 1 saison ; la re-colonisation des arbres vers le bas de pente (prairie humide) ne peut se faire que si un secteur n'est pas inondé pour de nombreuses années. Pour les marais, les périodes de hautes eaux tuent aussi les plantes après 1 saison; lorsque le niveau des eaux baisse de nouveau, la re-colonisation des plantes vers les zones lacustres peut se faire plus rapidement parce que ces plantes se propagent et croissent plus rapidement que les arbres. Painter et Keddy (1992) ont testé des valeurs de décalage de 15, 18 et 20 ans pour la migration de la limite des marécages arborés et de 2, 3 et 4 ans pour la migration de la limite des marais profonds vers les zones lacustres exondées. Les différentes combinaisons de décalages (15/2, 15/3, 15/4, 18/2, etc.) n'induisaient qu'une variation de l'ordre de 10% et la combinaison 18/3 a été sélectionnée.

La partie du modèle impliquant les marécages arborés, pour laquelle on dispose cependant de beaucoup d'information dans des milieux similaires (Teskey et Hinkley 1978), devra être adaptée spécifiquement aux milieux riverains du Saint-Laurent.

Ainsi, l'érosion des rives et l'inondation excessive résultant des hauts niveaux des années 1970 sont les phénomènes invoqués pour expliquer la quasi-disparition de la forêt humide colonisant les îles de la Paix au Lac Saint-Louis (Jean *et al.* 1992, Dryade 1985).

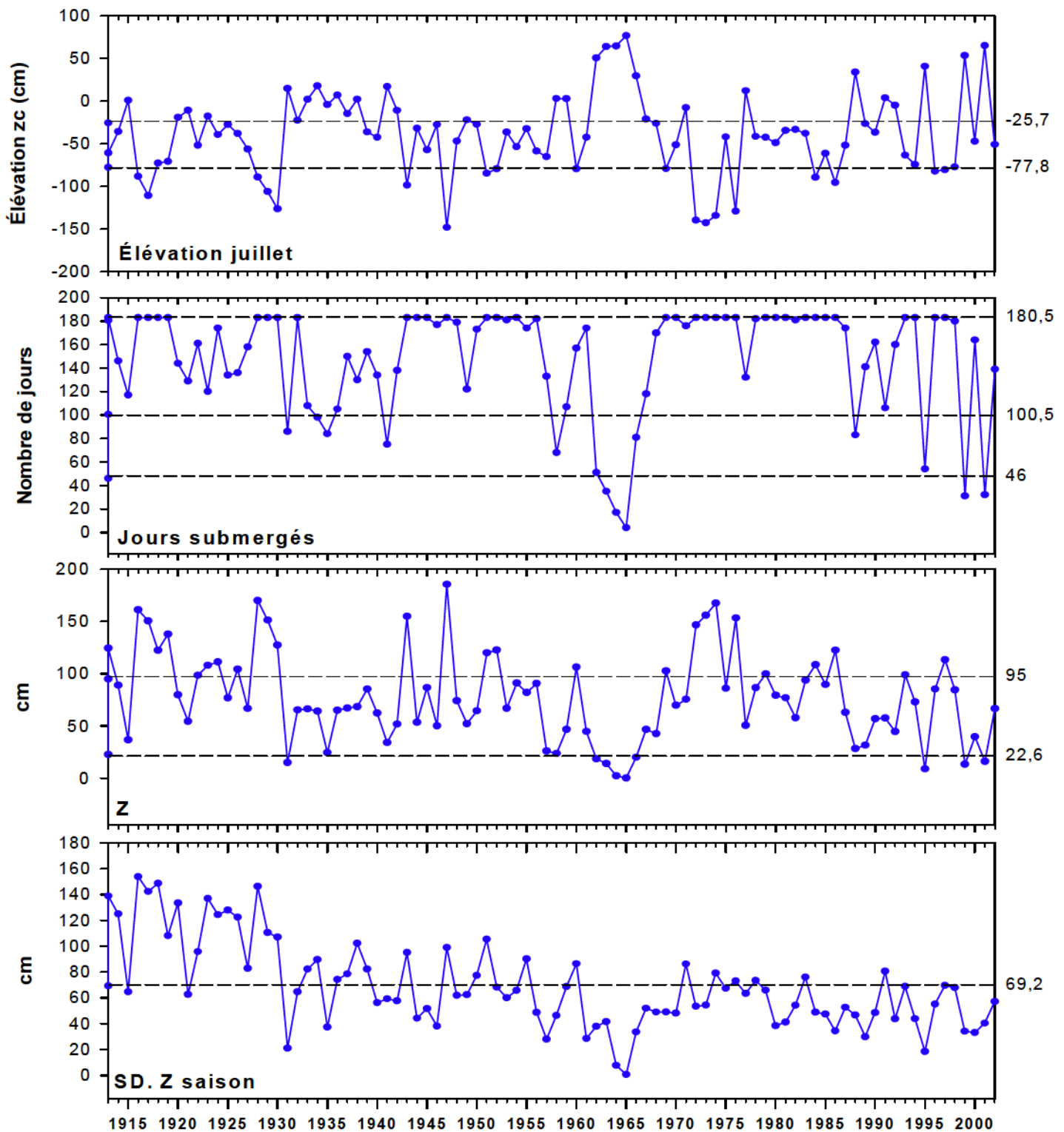


Figure 34 Valeurs à long terme (1913 à 2002) des quatre variables utilisées dans l'arbre décisionnel pour une parcelle dont l'élevation (ZC) est de 50 cm. Les limites de division de l'arbre sont indiquées par un trait discontinu avec leur valeur dans la marge droite

6 Conclusion et étapes subséquentes

Les années 1999 à 2002 constituent une période très particulière du point de vue de l'hydrologie si on la compare avec la moyenne des 10 ou des 40 années précédentes (figure 4, tableau 3). Les saisons 1999 et 2001 ont été exceptionnellement sèches tandis que le niveau des saisons 2000 et 2002 étaient près des valeurs moyennes (1960-2002) (tableau 3). La comparaison avec les patrons journaliers des 10 années précédentes (figure 4) révèle la très faible amplitude des crues printanières et les étiages extrêmes de fin d'été des années 1999-2002 (figure 5). Ces conditions ont engendré un assèchement marqué des milieux humides du Saint-Laurent en comparaison avec les périodes précédentes. Notons que les faibles débits de 1999 et 2001 sont du même ordre de grandeur que ceux anticipés par les scénarios de changements climatiques pour le Saint-Laurent et les Grands Lacs, avec une réduction chronique du débit de l'ordre de 40% et une baisse d'un mètre du niveau moyen (Mortsch 1998; Lofgren *et al.* 2002; NRC 2002).

En relation avec les objectifs fixés, ce rapport apporte les résultats suivants :

6.1 IDENTIFIER LES GROUPES DE PLANTES RIVERAINES DU SAINT-LAURENT

- a) Au cours des 4 années d'études de terrain, 207 espèces de plantes ont été recensées entre Cornwall et Trois-Rivières (15 sites, 630 quadrats).
- b) Le nombre total d'espèces et la diversité H sont plus faibles en 1999 et 2000 qu'en 2001 et 2002, indiquant que les grands écarts inter-annuels de niveau ont engendré une augmentation générale de diversité à tous les sites. Cette tendance reflète la diminution des espèces obligatoires au profit des espèces facultatives des milieux humides en réponse aux bas niveaux de 1999 et 2001.
- c) Parmi les 76 taxa les plus fréquents, on distingue 4 catégories de plantes, dont l'abondance relative et/ou la distribution varient (ou non) en fonction des variations inter-annuelles de niveau (tableau 14, figure 28, annexe 7).
- d) Sept communautés de plantes correspondant à un gradient continu de profondeur et d'élévation ont été identifiées à partir de l'analyse de groupement, correspondant à (1) la prairie humide, (2) à une zone de transition d'espèces annuelles entre les conditions sèches et mouillées, (3) aux marais peu profonds, (4) aux marais profonds, (5) à une zone de transition dénudée, (6) à un herbier à plantes à feuilles flottantes et (7) à un herbier de plantes submergées (tableau 15, figures 29 et 30).

6.2 COMPARER LES GROUPES DE VÉGÉTATION ACTUELS AVEC LES ASSOCIATIONS DÉCRITES AVANT LA RÉGULARISATION

- a) Nos résultats correspondent avec les connaissances qualitatives des milieux humides décrites par les nombreux travaux des naturalistes oeuvrant sur les milieux littoraux, du fleuve Saint-Laurent et d'ailleurs.
- b) La zonation des plantes supérieures le long du littoral du Lac Saint-Louis a été décrite de façon très détaillée par Dansereau (1945), avec l'identification des espèces dominantes (tableau 16) dans chaque strates de végétation et leur position par rapport aux variations saisonnières de niveau (figure 31).
- c) La comparaison des associations végétales de la vallée du Saint-Laurent avant la régularisation (Dansereau 1959) et dans les conditions actuelles (1999-2002) (annexe 8) révèlent :
 - La disparition de peuplements typiques dominés autrefois par *Calamagrostis canadensis*, *Spartina pectinata*, *Zizania aquatica*, *Equisetum* spp. Ces peuplements semblent avoir été déplacées ou remplacés par *Phalaris arundinacea*, *Lythrum salicaria*, *Schoenoplectus lacustris*.
 - Aucune différence marquante n'est perceptible dans les peuplements dominants de marais et d'herbiers à feuilles flottantes.
 - La prolifération de *Myriophyllum* spp., d'algues filamenteuses et de plusieurs espèces de *Potamogeton* dans les herbiers submergés pourrait résulter de l'eutrophisation du milieu aquatique.
 - De nouvelles associations végétales sont apparues, en réponse à l'usage des îles comme pâturage estival pour les animaux domestiques et aux bas niveaux extrêmes des années 1999 et 2001.

6.3 ÉVALUER L'IMPORTANCE RELATIVE DES AUTRES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES

- a) Les caractéristiques des sédiments varient entre les sites et entre les années (annexe 10), mais n'expliquent que 11,5 % de la variance totale entre les groupes de quadrats (tableau 17). Les herbiers submergés et les marais profonds correspondent aux zones sablonneuses tandis que les marais peu profonds et les prairies humides coïncident avec les zones de sédiments plus fins et plus riches en matière organique (figure 32A).
- b) Les précipitations cumulées étaient inversement corrélés avec l'ensoleillement et le nombre de degré-jours cumulés; ces variables expliquaient le mieux les différences entre les herbiers submergés et les groupes de plantes appartenant aux zones de transitions (prédominantes au cours de années de bas niveaux extrêmes) (figure 32B).

- c) Les milieux abrités et de faible clarté de l'eau coïncidaient avec les groupes dominés par les plantes flottantes. Cependant, les variables environnementales expliquaient seulement 9,6% de la variance totale, et n'exerçaient donc qu'un effet marginal sur les communautés de plantes.

6.4 MODÉLISER LES RELATIONS ENTRE CHAQUE GROUPE DE VÉGÉTATION ET LES VARIABLES HYDROLOGIQUES;

- a) Neuf variables hydrologiques (tableau 17) ont été identifiées comme ayant un effet explicatif des communautés végétales.
- b) Les conditions d'immersion des quadrats expliquent 45% de la variance expliquée par le modèle : l'élévation moyenne du mois de juillet, le nombre de jours d'immersion à moyen (saison précédente), court (49 jours) et très court (14 jours) termes, la profondeur moyenne de la saison précédente y sont principalement corrélés. Cet axe distingue le mieux entre les groupes de végétation des milieux secs (prairie humide) et les herbiers constamment submergés.
- c) La variabilité du niveau, incluant plusieurs valeurs d'écart-type de profondeur et d'élévation (tableau 17) explique 24% de la variance. Cet axe définit les différences entre les milieux de faible profondeur, étant caractérisés par de faibles (marais profonds) ou de fortes (transition dénudée) variations saisonnières et inter-annuelles de niveau (figure 32C).
- d) Une fois enlevé l'effet des variables environnementales (10%), les variables hydrologiques expliquent 24% de la variance totale des données.
- e) Des neuf variables hydrologiques précédemment identifiées, quatre ressortent de l'analyse hiérarchique comme facteurs définissant le mieux les groupes de végétation : l'élévation de juillet, la profondeur de la saison précédente, l'écart-type de la profondeur de la saison en cours et le nombre de jours submergés de la saison précédente (figure 33).
- f) La performance du modèle hiérarchique varie selon les groupes de végétation (évaluée par le pourcentages des quadrats bien classés dans leurs groupes respectifs) : les groupes de prairie humide (71%), la transition annuelle (70%), la transition dénudée (79%), les marais profonds (58%) et peu profonds (45%), les herbiers à feuilles flottantes (84%) et les herbiers submergés (24%).
- g) Un examen rapide des variations inter-annuelles des 4 variables identifiées dans notre modèle pour la période 1913-2002 à Montréal (figure 34) suggère que les milieux humides ont subi d'importantes modifications au cours du siècle. Par exemple, un quadrat situé à une élévation de 0,5 m ZC aurait pu, selon les époques, supporter un herbier submergé, un marais ou une prairie humide.

6.5 CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Plusieurs des très nombreuses altérations imposées par l'homme au Saint-Laurent sont appelées à demeurer une partie intégrante de la réalité fluviale. Les milieux humides que nous observons maintenant sont le résultat de la somme de toutes les pressions qui ont agi au cours de années : modification aux rives et au lit du fleuve, le contrôle des embâcles, la régularisation du niveau, les espèces introduites, les apports de contaminants et d'éléments nutritifs. Néanmoins, les données hydrologiques à long terme (tableau 1, section 1.2), les descriptions des effets majeurs des embâcles dans le passé (annexe 9) et la description détaillée des associations végétales antérieures à la régularisation (annexe 8, section 5.7) permettent de reconstituer ce que les milieux humides du Saint-Laurent ont déjà été et de les comparer avec leur état actuel.

À l'avenir, nous pourrions envisager les différents facteurs qui influencent les milieux humides du point de vue de notre capacité à les contrôler et à les modifier, de façon à favoriser certaines caractéristiques environnementales perçues comme étant « désirables », parmi lesquelles se trouvent « des milieux humides diversifiés et en santé, ». On peut distinguer 3 grands types de facteurs intervenant dans les conditions environnementales passées et futures influençant (directement ou indirectement) les milieux humides du Saint-Laurent :

- L'ensemble des modifications aux rives et au lit du fleuve faites jusqu'à présent, telles que le chenal de navigation et les empiètements actuels aux rives, qui font désormais partie intégrantes de l'environnement fluvial et avec lesquels on devra composer à l'avenir;
- Les facteurs qui sont impossibles à gérer ou à prévoir de façon certaine (à date) tel que le bilan des apports hydriques à moyen et à long terme du bassin Saint-Laurent-Grands-Lacs, incluant les changements climatiques;
- Les facteurs qui peuvent être « gérés » (quoique parfois à un coût très élevé), parmi lesquels se placent la régularisation du débit et des niveaux, la demande en eau, les apports d'éléments nutritifs et de contaminants et les propositions pour continuer le dragage et accroître la capacité de la Voie Maritime.

Ces facteurs ne peuvent pas être traités séparément puisqu'ils interagissent les uns avec les autres, particulièrement en conditions de faibles apports hydriques au bassin. Pour les décennies à venir, les changements climatiques sont fortement susceptibles d'affecter le niveau moyen et le marnage saisonnier du Lac Ontario et du Saint-Laurent et, par voie de conséquences, de leurs milieux humides (Mortsch 1998). Dans ce contexte, la régularisation prend un poids

d'autant plus grand qu'elle devient l'outil principal par lequel seront amplifiés ou mitigés les effets d'une pénurie d'eau, tel que prévu dans les scénarios de changements climatiques. Par exemple, en condition de faibles apports hydrologiques et d'évapotranspiration élevée, la régularisation du Lac Ontario pourrait être utilisée pour réduire, voire éliminer, la crue du Saint-Laurent au printemps pour maintenir artificiellement un niveau d'étiage plus élevé dans le fleuve en automne. Cette pratique contribuerait à réduire encore davantage l'amplitude saisonnière des niveaux sur le Saint-Laurent, tout en stabilisant autant que possible le niveau du Lac Ontario, avec des répercussion néfastes pour les milieux humides en amont comme en aval. D'autre part, si le mode de régularisation permettait au niveau du Lac Ontario de baisser pendant les périodes de faibles apports hydriques au bassin, la pression pour retenir l'eau « en réserve » en amont au printemps serait d'autant diminuée. Pour les milieux humides, les variations de niveau imposées par les apports naturels nets au bassin, en condition non régularisées, restent cependant le meilleur mode de gestion environnemental.

6.6 PROCHAINES ÉTAPES

Nos résultats apportent une dimension quantitative et prédictive aux connaissances des liens entre l'hydrologie et les communautés végétales, permettant dorénavant de les appliquer pour modéliser les communautés de plantes sujettes à différentes conditions de niveau. Cette capacité de caractériser les milieux humides et de quantifier les conditions hydrologiques donnant lieu à leur existence est d'autant plus importante qu'elle pourra être directement appliquée à l'avenir aux questions de gestion des débits sortants du Lac Ontario vers le Saint-Laurent.

Les étapes subséquentes incluent :

- a) À l'aide du modèle numérique d'élévation, déterminer la superficie totale de chaque tranche de 10 cm d'élévation par rapport au niveau de la mer, pour chacun des 5 tronçons du fleuve (lac Saint-Louis, Montréal, Varennes-Sorel, Archipel Berthier-Sorel, Lac Saint-Pierre).
- b) À l'aide du modèle numérique d'élévation et des images IKONOS (2002), déterminer la superficie actuelle de chaque grand groupe de végétation (marécage, prairie humide, marais) par tranche de 10 cm d'élévation par rapport au niveau de la mer, pour chacun des 5 tronçons du fleuve.
- c) Reconstituer, pour chaque tronçon du fleuve, la progression entre la superficie inondée de chaque grand groupe de végétation pour chaque tranche d'augmentation de 10 cm de niveau des eaux. Ceci permet de déterminer si la superficie inondée augmente de façon linéaire avec le niveau ou si (plus probablement) il existe des

seuils de niveau critique au delà desquels la superficie s'accroît brusquement (correspondant à une rupture de pente). Ces seuils critiques de niveau seront utilisés pour déterminer le % de satisfaction associé à chaque tranche de niveau.

- d) Développer une composante hydrologique pour modéliser les variations de la frange des marécages arbustifs et arborés, en adaptant le modèle de Painter et Keddy (1992) au Saint-Laurent à l'aide de données locales;
- e) Appliquer le modèle développé dans la présente étude à la série temporelle des niveaux, pour chacun des 5 tronçons du fleuve, en utilisant les données historiques disponibles pour la station hydrométrique appropriée (Pointe Claire, Jetée no 1, Verchères, Sorel, Courbe no 2);
- f) Utiliser les superficies prédites de chaque communauté végétale comme point de départ des calculs de productivité globale, en les combinant avec des valeurs mesurées de biomasse et de productivité annuelle;
- g) Comparer les superficies prédites par le modèle aux superficies observées sur les photographies aériennes historiques, pour déterminer la validité et les limites des prédictions.
- h) Utiliser le modèle validé pour tester les différents scénarios de gestion des débits-niveaux (pré-régularisation, 58-D avec déviations, etc.).

Références

- Auble, G. T., J.M. Friedman, et M. Scott (1994). «Relating riparian vegetation to present and future streamflows», *Ecol. Applic.*, 4: 544-554.
- Bedford, B.L. (1996). «The need to define hydrology equivalence at the landscape scale for freshwater wetland mitigation», *Ecol. Applic.*, 6 : 57-68.
- Bégin, Y. (1990). «The effects of shoreline transgression on woody plants, Upper St. Lawrence Estuary, Quebec», *J. Coastal Res.*, 6 : 815-827.
- Bergeron, L., G. Vigeant, et J. Lacroix (1997). *Chapitre québécois de l'étude pan-canadienne sur les impacts et l'adaptation à la variabilité et au changement climatique : tome V*. Downsview, Ont. : Environnement Canada. 270 pp.
- Bérubé, M. (1992). *Qualité des eaux du bassin de la rivière du Nord, 1979 à 1991*. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Direction de la qualité des cours d'eau. Rapport QEN/QE-77/1, ENVIRODOQ n° EN9220277.
- Breiman, L, J.H. Friedman, R.A. Olshen et C.J. Stone (1984). *Classification and regression trees*. Montenev, CA Wadsworth & Brooks / Cole Advanced Book & Softwares.
- Britton, N.L. et A. Brown (1970). *An Illustrated Flora of the Northern United States and Canada*, vol.1. General Publishing Company Ltd. Toronto.
- Carignan, R., S. Lorrain et K. Lum (1994). «A 50-yr record of pollution by nutrients, trace metals, and organic chemicals in the St.Lawrence River», *Can J. Fish. Aquat. Sci.*, 51 : 1088-1100.
- Cléonique-Joseph, Frère (1936). *Flore du Lac Saint-Pierre (Québec)*. Information citée dans le tableau III de Dansereau (1945) mais source non citée dans les références.
- Cooke, G.D. (1980). «Lake level drawdown as a macrophyte control technique», *Water Res. Bull. (American Water Res. Ass.)*, 16 : 317-322.
- Cossa D., T.-T. Pham, B. Rondeau, B. Quémerais, S. Proulx et C. Surette (1998). *Bilan massique des contaminants chimiques dans le fleuve Saint-Laurent*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent. Rapports scientifiques et techniques, ST-163.
- Couillard, L. et P. Grondin (1986). *La végétation des milieux humides du Québec*. Les Publications du Québec.
- 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.

- Dansereau, P. (1959). *Phytogeographia Laurentiana. II. The principal plant associations of the St. Lawrence River Valley*. Contributions de l'Institut Botanique de l'Université de Montréal. 75 : 148 p.
- Day, R.T., P.A. Keddy, J. McNeill, et T. Carleton (1988). «Fertility and disturbance gradients: A summary model for riverine marsh vegetation», *Ecology*, 69 : 1044-1054.
- De Lafontaine, Y. et G. Costan. (2002). Introduction and transfer of Alien Aquatic species in the Great Lakes – St. Lawrence River drainage basin. Pp. 73-91. In : R. Claudi, P. Nantel et E. Muckle-Jeffs (eds). Alien invaders in Canada's waters, wetlands, and forests. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Science Branch, Ottawa. 320 pp.
- Desrosiers, M. et Y. Bégin (1992). «Étude dendrochronologique de l'érosion associée aux crues du Saint-Laurent, Saint-Antoine de Tilly, Québec», *Géographie physique et quaternaire*, 46 : 173-180.
- Désilets, L. et C. Langlois (1989). *Variabilité spatiale et saisonnière de la qualité physico-chimique de l'eau du fleuve Saint-Laurent*. Environnement Canada, Conservation et Protection – Région du Québec, Centre Saint-Laurent.
- Dryade, L.G. (1985). Étude complémentaire de la végétation du lac Saint-Louis et du lac des Deux-Montagnes: groupes écologiques, patrons d'inondation, clés de potentiel et plans de gestion. Secrétariat Archipel.
- Fernald, M.L. (1970). *Gray's manual of botany*. 8^e édition. D.van Nostrand Company. NY.
- Fleurbec (1987). *Plantes sauvages des Lacs, rivières et tourbières*. Groupe Fleurbec. Guide d'identification Fleurbec.
- Forey, P. (1998). *The Pocket Guide to Wild Flowers of North America*. Parkgate Books Ltd.
- Fortin, G. (1995). *Synthèse des connaissances sur les aspects physiques et chimiques de l'eau et des sédiments du secteur d'étude Montréal-Longueuil*. Environnement Canada – Région du Québec, Conservation de l'environnement, Centre Saint-Laurent.
- Frenette, M., C. Barbeau et J.-L. Verrette (1989). *Aspects quantitatifs, dynamiques et qualitatifs des sédiments du Saint-Laurent*. Hydrotech Inc., pour Environnement Canada et le gouvernement du Québec.
- Gauthier, B. (1997). Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables. Direction de la conservation et du patrimoine écologique. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec. 25 pp.
- Grandtner, M.M. (1966). *La végétation forestière du Québec méridional*. Presse de l'Université Laval, Québec. 216 pp.

- Gratton, L. et C. Dubreuil (1990). *Portrait de la végétation et de la flore du Saint-Laurent*. Ministère de l'Environnement du Québec, Direction de la conservation et du patrimoine écologique, Québec.
- Hall, T.F. et G.E. Smith (1955). «Effects of flooding on woody plants, West Sandy dewatering Project, Kentucky Reservoir», *Journal of Forestry*, 53 : 281-285.
- Herdendorf, C.E., Hartley, S.M., and Barnes, M.D. (eds.). (1981). *Fish and Wildlife Resources of the Great Lakes Coastal Wetlands within the United States, Volume I*. U.S. Fish and Wildlife Service, Washington, D. C. 469 pp.
- Hudon, C. et J.-P. Amyot (2002). *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 soumis à la Commission Mixte Internationale. Groupe technique sur l'environnement, Étude des niveaux du Lac Ontario et du Saint-Laurent.
- Hudon, C. (1997). «Impact of water-level fluctuations on aquatic vegetation in the St. Lawrence River (Quebec)», *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 54 : 2853-2865.
- Hudon, C. (2003). «Wetlands response to extreme low-water levels recorded in 1931 and 1999 in the St. Lawrence River (Quebec, Canada)». Rapport soumis à la Commission Mixte Internationale. Groupe technique sur l'environnement, Étude des niveaux du Lac Ontario et du Saint-Laurent.
- Jean, M., et A. Bouchard (1991). «Temporal changes in wetland landscapes of a section of the St. Lawrence River», *Canada. Envir. Management*, 15 : 241-250.
- Jean, M., M. D'Aoust, L. Gratton, et A. Bouchard (1992). *Impacts of water level fluctuations on wetlands : Lake Saint-Louis case study*. Report presented to the International Joint Commission. Water Levels Reference Study. International Joint Commission. Ottawa.
- Keddy, P.A. et A.A. Reznicek (1986). «Great Lakes vegetation dynamics : the rôle of fluctuating water levels and buried seeds», *Journal of Great Lakes Research*, 12 : 25-36.
- Keddy, P.A. (2002). *Wetland ecology. Principles and conservation*. 2^e ed. Cambridge Studies in ecology. Cambridge University Press. Cambridge. 618 p.
- Kelsall, N. et D.J. Leopold (2002). *Literature review: effect of water levels and water level fluctuations on wetland plant growth, survival and germination: emphasis on Lake Ontario and St. Lawrence River coastal wetland plants*. Report submitted to the International Joint Commission. Lake Ontario-St. Lawrence River Study. Technical Working Group on the Environment.
- Keetch, J. et G.M. Byram (1968). *A drought index for forest fire control*, Forest Exp.Sta., U.S. D.A. Forest Serv. Res. SE-38, 32 pp.

- Lasserre, J.-C. (1980). *Le Saint-Laurent : Grande porte de l'Amérique*, Hurtubise HMH, Montréal, 1980, (Cahiers du Québec, Collection Géographie), 753 p.
- Legendre, P. et L. Legendre (2000). *Numerical ecology*. 2^e édition. Development in Environmental Modelling, 20. Elsevier.
- Lofgren, B.M., F.H. Quinn, A.H. Clites, R.A. Assel, A.J. Eberhardt et C.L. Luukkonen (2002). «Evaluation of potential impacts on Great Lakes water resources based on climate scenarios of two GCMs», *J. Great Lakes Res.*, 28 : 537-554.
- Lorrain, S., V. Jarry et K. Guertin (1992). *Répartition spatiale et évolution temporelle des biphényles polychlorés et du mercure dans les sédiments du Lac Saint-François, 1979-1989*. Environnement Canada, Conservation et Protection – Région du Québec, Centre Saint-Laurent, Montréal.
- Marie-Victorin (1995). *Flore laurentienne*. 3^e édition mise à jour et annotée par Luc Brouillet *et al.* Presses de l'Université de Montréal.
- Marie-Victorin (1934). «Le fleuve Saint-Laurent, milieu biologique pour les plantes vasculaires», *Trans. Royal Soc. of Canada Section V, Series III*. 28 : 17 p.
- Marie-Victorin, Fr. (1943a). 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. (1943b). Observations sur la bio-écologie du *Spartina pectinata*. Contributions de l'Institut Botanique de l'Université de Montréal **48**: 29–36.
- Mitchell, A. (1998). *The Pocket Guide to Trees of North America*. Parkgate Books Ltd.
- Mortsch, L.D. (1998). Assessing the impact of climate change on the Great Lakes shoreline wetlands. *Climate Change* **40**: 391–416.
- Moulton, R.J. et D.R. Cuthbert (1987). *Great Lakes water levels: man and nature in the shore zone*. Comptes rendus de la conférence canadienne sur le littoral, 1987. Québec. Conseil National de la Recherche du Canada, Comité associé de recherche sur l'érosion et la sédimentation littorales. pp. 19-30.
- MPO – Ministère des Pêches et des Océans (1996). *Données de niveau d'eau*. Banque de données du service de l'environnement marin (Marine Environmental Data Services MEDS), Ottawa, Ontario.
- Muenschler, W.C. (1976). *Aquatic Plants of the United States*. Cornell University Press. Ithaca
- NRC (2002). Natural Resources Canada. *Climate Change. Impacts and Adaptations: A Canadian Perspective*. Water Resources. Climate Change Impacts and Adaptations Directorate. Natural Resources Canada. <http://adaptation.nrcan.gc.ca/perspective.asp>

- Newcomb, L. (1983). *Guide des fleurs sauvages de l'est de l'Amérique du Nord*. Marcel Broquet, La Prairie.
- Nichols, S.A. (1991). «The interaction between biology and management of aquatic macrophytes», *Aquatic Bot.*, 41 : 225-252.
- Nilsson, C. et P.A. Keddy (1988). «Predictability of change in shoreline vegetation in a hydroelectric reservoir, northern Sweden», *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 45 : 1896–1904.
- Painter, S. et P.A. Keddy. (1992). *Effects of water level regulation on shoreline marshes : a predictive model applied to the Great Lakes*. Report presented to the International Joint Commission. Water Levels Reference Study. International Joint Commission. Ottawa.
- Peterson, R.T. et M. McKenny (1968). *A Field Guide to Wildflowers of Northeastern and North-central North America*. The Peterson fieldguide series. Houghton Mifflin, Boston.
- Pilon, C., J. Champagne et P. Chevalier (1981). *Environnement biophysique des îles de Berthier-Sorel*. Université de Montréal, Centre de recherche écologique de Montréal.
- Pilon, C., J.-M. Boisvert, D. Carrière, J. Champagne, P. Chevalier, D. Le Quere, V. Sicard, et G. Sylvain (1980). *Les îles du Saint-Laurent, de Boucherville à Contrecoeur : Environnement biophysique*. Université de Montréal, Centre de recherches écologiques de Montréal.
- Primeau, S. (1996). *Qualité des eaux du bassin de la rivière des Outaouais, 1979 à 1994*. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Direction des écosystèmes aquatiques. Envirodocq n° EN960174, QE-105/1.
- Reed, P. B. (1988). National List of Plant Species that Occur in Wetlands: National Summary. Biological Report 88 (24). U. S. Fish and Wildlife Service.
- Rouleau, E. (1945). «La florule de l'île Sainte-Hélène», *Nat. Can.*, 72 (1-2) : 5-24; (3-4) : 68-83, (5-6) : 157-176.
- Scoggan, H.J. (1978). *The Flora of Canada*. National Museum of Natural Sciences. Ottawa Canada
- Soper, J.H. et M.L. Heimburger (1982). *Shrubs of Ontario*. The Royal Ontario Museum. Toronto
- ter Braak, C.J.F. et P. Smilauer (1998). *Référence Manual and User's Guide to Canoco for Windows : Software for Canonical Community Ordination (version 4)*. Microcomputer Power (Ithaca, NY, USA), 352 pp.
- Teskey, R.O. et T.M. Hinckley (1978). Impact of water level changes on woody riparian and wetland communities. Vol V. Northern Forest Region. Fish and Wildlife Service, U. S. Department of the Interior. FWS/OBS-78/88.

Toner, M., et P.A. Keddy (1997). «River hydrology and riparian wetlands: A predictive model for ecological assembly», *Ecol. Appl.*, 7 : 236–246.

Van der Valk, A.G. et C.B. Davis (1978). «The role of seed banks in the vegetation dynamics of prairie glacial marshes», *Ecology*, 59 : 322-335.

Annexes

1a Niveaux d'eau et caractéristiques climatiques prévalant entre le début de la saison de croissance des plantes* et le moment où le site a été échantillonné en 1999

Secteurs – Sites	Nom du Transect	Date (1999)	Niveau d'eau ZC (m) moyen (min., max.)	Ensoleillement cumulé (heures)	Précipitations cumulées (mm)	Degré-jours cumulés (°C)**	Indice d'assèchement (mm)***
Lac Saint-François							
– Pointe Dupuis	SFPD99	30 août	0,442 (0,360, 0,510)	1 296,5	306	1 811,4	98
– Pointe Mouillée	SFPM99	30 août	0,442 (0,360, 0,520)	1 296,5	306	1 811,4	98
Lac des Deux Montagnes							
– Île Hay	DMIH99	18 août	0,580 (0,160, 2,043)	1 187,8	306	1 624,4	70
– Baie des Indiens	DMBI99	31 août	0,547 (0,150, 2,043)	1 308,8	306	1 822,2	100
Corridor fluvial							
– Boucherville	BOU99A	13 juillet	0,421 (-0,166, 1,947)	899,3	213	1 057,1	57
	BOU99B	13 juillet	0,421 (-0,166, 1,947)	899,3	213	1 057,1	57
	BOU99C	20 août	0,263 (-0,294, 1,947)	1 208,9	306	1 652,3	74
– Pointe-aux-Trembles	PATR99	25 août	0,328 (-0,267, 2,090)	1 250,1	306	1 732,4	87
– Île aux Cerfeuil	IACE99	16 août	0,349 (-0,215, 1,910)	1 170,9	296	1 593,5	70
– Verchères	VERC99	7 sept.	0,372 (-0,197, 1,994)	1 366,3	338	1 945,1	91
Lac Saint-Pierre							
– Baie-du-Febvre	SP4S99	5 oct.	0,563 (-0,028, 2,002)	1 509,4	518,5	2 210,1	4

* La saison de croissance de 1999 a débuté le 2 avril.

** Le cumul des degré-jours de croissance représente la somme des températures moyennes journalières supérieures à 5°C.

*** L'indice d'assèchement (KBDI) indique la quantité d'eau (mm) qu'il manque pour saturer le sol au jour indiqué.

1b Niveaux d'eau et caractéristiques climatiques prévalant entre le début de la saison de croissance des plantes* et le moment où le site a été échantillonné en 2000

Secteurs – Sites	Nom du Transect	Date (2000)	Niveau d'eau ZC (m) moyen (min., max.)	Ensoleillement cumulé (heures)	Précipitations cumulées (mm)	Degré-jours cumulés (°C)**	Indice d'assèchement (mm)***
Lac Saint-François							
– Pointe Dupuis	SFPD00	13 sept.	0,504 (0,349, 0,615)	1 113,1	527,8	1811,4	69
– Pointe Mouillée	SFPM00	13 sept.	0,504 (0,349, 0,615)	1 113,1	527,8	1 666,1	69
Lac des Deux Montagnes							
– Île Hay	DMIH00	6 sept.	0,755 (0,360, 1,633)	1 061,8	495,8	1 578,4	76
– Baie des Indiens	DMBI00	6 sept.	0,755 (0,360, 1,633)	1 061,8	495,8	1 578,4	76
Corridor fluvial							
– Boucherville	BOU00	1 août	1,004 (0,373, 1,939)	792,6	398,3	1 088,9	70
– Pointe-aux-Trembles	PATR00	16 août	0,983 (0,373, 1,939)	900,5	449,8	1 327,6	66
– Île aux Cerfeuil	IACE00	14 août	0,967 (0,489, 1,990)	884,6	418,8	1 295	87
– Verchères	VERC00	16 août	0,963 (0,489, 1,990)	900,5	449,8	1 327,6	66
Lac Saint-Pierre							
– Rivière du Loup	SP2N00	17 août	1,243 (0,675, 2,342)	902,2	449,8	1 336,2	66
– Pointe Lussaudière	SP2S00	3 août	1,292 (0,748, 2,342)	802,2	400,3	1 125,1	76
– Pointe d'Henri	SP3S00	25 juillet	1,326 (0,759, 2,342)	756,5	387,3	970,6	53
– Baie-du-Febvre	SP4S00	27 juillet	1,316 (0,748, 2,342)	770,2	390,3	1 003,9	58
– Pointe-du-Lac	SP5N00	9 août	1,271 (0,692, 2,342)	844,7	418,8	1 219,3	76
– Pointe aux Raisins	SP5S00	31 juillet	1,300 (0,748, 2,342)	791,9	392,8	1 073,1	69

* La saison de croissance de 2000 a débuté le 1 avril.

** Le cumul des degré-jours de croissance représente la somme des températures moyennes journalières supérieures à 5°C.

*** L'indice d'assèchement (KBDI) indique la quantité d'eau (mm) qu'il manque pour saturer le sol au jour indiqué.

1c Niveaux d'eau et caractéristiques climatiques prévalant entre le début de la saison de croissance des plantes* et le moment où le site a été échantillonné en 2001

Secteurs – Sites	Nom du Transect	Date (2001)	Niveau d'eau ZC (m) moyen (min., max.)	Ensoleillement cumulé (heures)	Précipitations cumulées (mm)	Degré-jours cumulés (°C)**	Indice d'assèchement (mm)***
Lac Saint-François							
– Pointe Dupuis	SFPD01	27 août	0,446 (0,377, 0,516)	1 238,4	358,3	1 695,3	41
– Pointe Mouillée	SFPM01	27 août	0,446 (0,377, 0,516)	1 238,4	258,3	1 695,3	41
Lac des Deux Montagnes							
– Île Hay	DMIH01	5 sept.	0,460 (-0,122, 1,810)	1 313,2	381,3	1 796,7	85
– Baie des Indiens	DMBI01	5 sept.	0,460 (-0,122, 1,810)	1 313,2	381,3	1 796,7	85
Corridor fluvial							
– Boucherville	BOU01	8 août	0,354 (-0,334, 2,352)	1 066,4	292,8	1 393,9	87
– Pointe-aux-Trembles	PATR01	14 août	0,324 (-0,370, 2,352)	1 132,1	294,8	1 493,8	103
– Île aux Cerfeuil	IACE01	16 août	0,358 (-0,465, 2,343)	1 151,0	294,8	1 525,3	108
– Verchères	VERC01	21 août	0,335 (-0,465, 2,343)	1 182,7	347,3	1 609,0	80
Lac Saint-Pierre							
– Rivière du Loup	SP2N01	11 sept.	0,578 (-0,230, 5,650)	1 367,7	382,8	1 893,4	98
– Pointe d'Henri	SP3S01	26 juillet	0,819 (0,090, 2,650)	938,8	290,3	1 173,0	40
– Pointe-du-Lac	SP5N01	31 juillet	0,788 (0,000, 2,650)	992,9	290,3	1 240,3	53
– Pointe aux Raisins	SP5S01	27 juillet	0,814 (0,090, 2,650)	951	290,3	1 183,7	42

* La saison de croissance de 2001 a débuté le 9 avril.

** Le cumul des degré-jours de croissance représente la somme des températures moyennes journalières supérieures à 5°C.

*** L'indice d'assèchement (KBDI) indique la quantité d'eau (mm) qu'il manque pour saturer le sol au jour indiqué.

1d Niveaux d'eau et caractéristiques climatiques prévalant entre le début de la saison de croissance des plantes* et le moment où le site a été échantillonné en 2002

Secteurs – Sites	Nom du Transect	Date (2002)	Niveau d'eau ZC (m) moyen (min., max.)	Ensoleillement cumulé (heures)	Précipitations cumulées (mm)	Degré-jours cumulés (°C)**	Indice d'assèchement (mm)***
Lac Saint-François							
– Pointe Dupuis	SFPD02	10 sept.	0,673 (0,655, 0,687)	1295,5	479,0	1796,3	117
– Pointe Mouillée			Site abandonné suite à une importante érosion hivernale				
Lac des Deux Montagnes							
– Île Hay	DMIH02	28 août	1,005 (0,118, 2,053)	1173,2	465,5	1592,7	98
– Baie des Indiens	DMBI02	27 août	1,011 (0,118, 2,053)	1162,1	465,5	1582,2	96
Corridor fluvial							
– Boucherville	BOU02	16 août	1,382 (0,560, 2,310)	1054,0	460,0	1428,0	74
– Pointe-aux-Trembles	PATR02	21 août	1,348 (0,330, 2,310)	1106,7	461,5	1510,5	87
– Île aux Cerfeuil	IACE02	22 août	1,257 (0,194, 2,174)	1106,7	465	1520,7	88
– Verchères	VERC02	20 août	1,265 (0,244, 2,174)	1095,7	461	1497,4	85
Lac Saint-Pierre							
– Rivière du Loup	SP2N02	12 sept.	1,284 (0,087, 2,397)	1307,3	497,5	1815,5	105
– Pointe Lussaudière	SP2S02	29 juillet	1,572 (0,777, 2,392)	872,2	413,0	1098,9	42
– Pointe d'Henri	SP3S02	30 juillet	1,566 (0,777, 2,397)	882,8	423,0	1119,3	36
– Baie-du-Febvre	SP4S02	31 juillet	1,560 (0,777, 2,397)	496,5	423,0	1139,0	40
– Pointe-du-Lac	SP5N02	9 sept.	1,298 (0,087, 2,397)	1284,8	479,0	1775,2	115
– Pointe aux Raisins	SP5S02	1 août	1,554 (0,777, 2,397)	909,0	423,0	1158,8	44

* La saison de croissance de 2002 a débuté le 9 avril.

** Le cumul des degré-jours de croissance représente la somme des températures moyennes journalières supérieures à 5°C.

*** L'indice d'assèchement (KBDI) indique la quantité d'eau (mm) qu'il manque pour saturer le sol au jour indiqué.

2 Localisation et caractéristiques des transects

Secteurs	Nom	Origine			Fin			Distance (m)	Quadrats N	Orientation (degré)	
		Coordonnées		Élévation ZC (m)	Coordonnées		Élévation ZC (m)			Magnétique (Déclinaison)	Géographique
		X	Y		X	Y					
Lac Saint-François											
– Pointe Dupuis	SFPD96	546865	4997324	0,25	546620	4997258	-0,75	250	50	279,9 (-15,0)	254,9
	SFPD99	546859	4997253	0,54	546772	4997264	-0,19	90	11	292,1 (-14,9)	277,2
	SFPD00	546858	4997259	0,64	546770	4997265	-0,13	90	12	292,1 (-14,9)	277,2
	SFPD01	546858	4997254	0,52	546768	4997263	-0,13	90	12	292,1 (-14,9)	277,2
	SFPD02	546858	4997255	0,76	546768	4997262	0,07	90	12	292,1 (-14,9)	277,2
– Pointe Mouillée	SFPM96	548231	5002278	0,33	548281	5002195	-0,67	95	20	163,9 (-15,0)	148,9
	SFPM99	548126	5002193	0,43	548147	5002167	-0,39	35	8	156,6 (-14,9)	141,7
	SFPM00	548128	5002195	0,56	548147	5002164	-0,41	35	8	156,6 (-14,9)	141,7
	SFPM01	548126	5002193	0,47	548147	5002165	-0,43	35	8	156,6 (-14,9)	141,7
Lac des Deux Montagnes											
– Île Hay	DMIH96	560953	5039095	0,35	560823	5039123	-0,75	120	25	297,4 (-15,3)	282,1
	DMIH99	560948	5039098	0,50	560875	5039065	-0,26	80	17	264,3 (-15,2)	249,0
	DMIH00	560953	5039095	0,50	560839	5039057	-0,45	120	16	264,6 (-15,2)	249,4
	DMIH01	560948	5039098	0,40	560875	5039064	-0,27	80	17	264,6 (-15,2)	249,4
	DMIH02	560948	5039098	0,33	560875	5039065	-0,31	80	17	264,5 (-15,1)	249,4
– Baie des Indiens	DMBI96	566714	5038363	0,28	566650	5038295	-0,84	95	18	239,0 (-15,3)	223,7
	DMBI99	566244	5038500	0,81	566255	5038291	-0,43	210	16	192,1 (-15,2)	176,9
	DMBI00	566246	5038505	0,81	566268	5038326	-0,55	180	16	188,2 (-15,2)	173,0
	DMBI01	566245	5038499	0,83	566268	5038331	-0,39	170	14	188,2 (-15,2)	173,0
	DMBI02	566244	5038499	0,82	566263	5038330	-0,56	170	15	188,1 (-15,1)	173,0

A. 2 (suite 1)

Secteurs	Nom	Origine			Fin			Distance (m)	Quadrats N	Orientation (degré)	
		Coordonnées		Élévation ZC (m)	Coordonnées		Élévation ZC (m)			Magnétique (Déclinaison)	Géographique
		X	Y		X	Y					
Corridor fluvial											
	BOUC99	618145	5050243	0,91	618219	5050127	-0,82	137	24	163,3 (-15,8)	147,5
	BOUC00	618146	5050241	1,05	618196	5050192	-0,12	70	15	150,1 (-15,7)	134,4
	BOUC01	618145	5050243	1,15	618237	5050151	-0,46	130	24	150,1 (-15,7)	134,4
	BOUC02	618145	5050243	1,11	618237	5050151	-0,35	130	27	150,0 (-15,6)	134,4
- Pointe-aux-Trembles	PATR99	618120	5056047	1,56	618051	5056061	-1,16	70	15	297,3 (-15,8)	281,5
	PATR00	618115	5056051	1,64	618056	5056063	-0,06	60	13	297,2 (-15,7)	281,5
	PATR01	618120	5056047	1,57	618051	5056059	-1,27	70	15	297,2 (-15,7)	281,5
	PATR02	618120	5056047	1,66	618056	5056058	-0,59	65	14	297,1 (-15,6)	281,5
- Île aux Cerfeuil	IACE99	620161	5063245	2,39	620231	5063188	-0,96	90	19	144,9 (-15,8)	129,1
	IACE00	620159	5063243	2,39	620210	5063211	-0,11	60	12	137,9 (-15,8)	122,1
	IACE01	620161	5063244	2,39	620231	5063188	-1,15	90	19	137,9 (-15,7)	122,1
	IACE02	620161	5063245	2,16	620226	5063190	-0,82	85	18	137,9 (-15,7)	122,1
- Verchères	VERC99	624125	5068530	0,81	624129	5068468	0,11	60	13	192,2 (-15,9)	176,3
	VERC00	624125	5068527	0,81	624129	5068468	0,11	60	13	192,2 (-15,8)	176,3
	VERC01	624125	5068530	1,02	624129	5068465	-0,06	65	14	192,2 (-15,8)	176,3
	VERC02	624125	5068531	0,98	624132	5068466	0,33	65	14	192,2 (-15,8)	176,3
Lac Saint-Pierre											
- Rivière du Loup	SP2N00	660523	5120587	1,21	660694	5120413	0,29	240	13	151,9 (-16,4)	135,5
	SP2N01	660520	5120585	1,07	660695	5120412	0,28	240	9	151,9 (-16,4)	135,5
	SP2N02	660522	5120582	1,17	660696	5120412	0,36	240	9	151,8 (-16,3)	135,5
- Pointe Lussaudière	SP2S00	664699	5110677	0,87	664639	5110973	0,25	304	7	4,9 (-16,4)	348,5
	SP2S02	664696	5110746	0,45	664638	5110975	0,25	306	6	4,8 (-16,3)	348,5
- Pointe d'Henri	SP3S00	668312	5112371	0,49	668235	5112765	-0,20	407	7	5,3 (-16,4)	348,9

A 2 (suite 2)

Secteurs	Nom	Origine			Fin			Distance (m)	Quadrats N	Orientation (degré)	
		Coordonnées		Élévation ZC (m)	Coordonnées		Élévation ZC (m)			Magnétique (Déclinaison)	Géographique
		X	Y		X	Y					
– Baie-du-Febvre	SP3S01	668293	5112536	0,19	668261	5112805	-0,31	275	7	5,3 (-16,4)	348,9
	SP3S02	668311	5112370	0,43	668227	5112769	-0,18	414	7	5,2 (-16,3)	348,9
	SP4S99	673347	5114494	0,76	672817	5115067	-0,03	775	10	335,1 (-16,5)	318,6
	SP4S00	673341	5114475	-	672065	5115923	-0,22	1938	15	335,0 (-16,4)	318,6
– Pointe-du-Lac	SP4S02	673342	5114475	0,88	672074	5115933	-0,17	1936	15	334,9 (-16,3)	318,6
	SP5N00	674873	5128929	1,37	674886	5128749	0,29	180	13	192,2 (-16,4)	175,8
	SP5N01	674873	5128924	1,45	674899	5128381	0,02	540	19	192,2 (-16,4)	175,8
– Pointe aux Raisins	SP5N02	674876	5128926	1,37	674899	5128426	-0,08	500	18	192,2 (-16,4)	175,8
	SP5S00	679460	5118360	0,98	678016	5120115	-0,37	2293	12	336,9 (-16,4)	320,5
	SP5S01	679309	5118544	0,0	677836	5120289	-0,24	2546	12	336,9 (-16,4)	320,5
	SP5S02	679310	5118541	0,13	678016	5120127	-0,39	2301	11	336,9 (-16,4)	320,5

3a Répartition des transects échantillonnés en 1999 pour la zonation verticale des plantes dans les herbiers

Secteur	Date 1999	Mesures		Quadrats (N)			Élévation ZC (m)	
		hauteur	% de recouvrement	émergents	submergés	total	minimum	maximum
Lac Saint-François								
– Pointe Dupuis	30 août	OUI	OUI	2	9	11	-0,19	0,57
– Pointe Mouillée	30 août	OUI	OUI	2	6	8	-0,39	0,46
Lac des Deux Montagnes								
– Île Hay	18 août	OUI	OUI	3	14	17	-0,50	0,28
– Baie des Indiens	31 août	OUI	OUI	6	10	16	-0,78	0,68
Corridor fluvial								
– Boucherville	20 août	OUI	OUI	14	10	24	-0,80	0,93
– Pointe-aux-Trembles	25 août	OUI	OUI	13	2	15	-1,07	1,65
– Île aux Cerfeuil	16 août	OUI	OUI	12	7	19	-0,95	2,39
– Verchères	7 sept.	OUI	OUI	13	0	13	-0,8	0,87
Lac Saint-Pierre								
– T4S - Baie-du-Febvre	5 oct.	OUI	OUI	2	8	10	-0,6	0,83

3b Répartition des transects échantillonnés en 2000 pour la zonation verticale des plantes dans les herbiers

Secteur	Date 2000	Mesures		Quadrats (N)			Élévation ZC (m)	
		hauteur	% de recouvrement	émergents	submergés	total	minimum	maximum
Lac Saint-François								
– Pointe Dupuis	13 sept.	OUI	OUI	3	9	12	-0,13	0,61
– Pointe Mouillée	13 sept.	OUI	OUI	1	7	8	-0,41	0,56
Lac des Deux Montagnes								
– Île Hay	6 sept.	OUI	OUI	1	15	16	-0,45	0,41
– Baie des Indiens	6 sept.	OUI	OUI	4	12	16	-0,55	0,80
Corridor fluvial								
– Boucherville	1 août	OUI	OUI	6	9	15	-0,12	1,05
– Pointe-aux-Trembles	16 août	OUI	OUI	4	9	13	0,06	1,64
– Île aux Cerfeuil	14 août	OUI	OUI	6	6	12	-0,11	2,39
– Verchères	16 août	OUI	OUI	3	10	13	-0,09	0,85
Lac Saint-Pierre								
– Rivière du Loup	17 août	OUI	OUI	2	11	13	0,29	1,21
– Pointe Lussaudière	3 août	OUI	OUI	0	7	7	0,25	0,87
– Pointe d'Henri	25 juillet	OUI	OUI	0	7	7	-0,20	0,54
– Baie-du-Febvre	27 juillet	OUI	OUI	3	12	15	-0,22	n.a.
– Pointe-du-Lac	9 août	OUI	OUI	3	10	13	0,29	1,37
– Pointe aux Raisins	31 juillet	OUI	OUI	1	11	12	-0,37	0,98

3c Répartition des transects échantillonnés en 2001 pour la zonation verticale des plantes dans les herbiers

Secteur	Date 2001	Mesures		Quadrats (N)			Élévation ZC (m)	
		hauteur	% de recouvrement	émergents	submergés	total	minimum	maximum
Lac Saint-François								
– Pointe Dupuis	27 août	OUI	OUI	2	10	12	-0,13	0,61
– Pointe Mouillée	27 août	OUI	OUI	1	7	8	-0,43	0,47
Lac des Deux Montagnes								
– Île Hay	5 sept.	OUI	OUI	5	12	17	-0,28	0,40
– Baie des Indiens	5 sept.	OUI	OUI	8	6	14	-0,39	0,83
Corridor fluvial								
– Boucherville	8 août	OUI	OUI	14	10	24	-0,46	1,15
– Pointe-aux-Trembles	14 août	OUI	OUI	12	3	15	-1,27	1,57
– Île aux Cerfeuil	16 août	OUI	OUI	11	8	19	-1,01	2,38
– Verchères	21 août	OUI	OUI				-0,13	1,02
Lac Saint-Pierre								
– Rivière du Loup	11 sept.	OUI	OUI	9	0	9	0,28	1,07
– Pointe d'Henri	26 juillet	OUI	OUI	0	7	7	-0,31	0,19
– Pointe-du-Lac	31 juillet	OUI	OUI	18	1	19	0,02	1,45
– Pointe aux Raisins	27 juillet	OUI	OUI	0	12	12	-0,24	0

3d Répartition des transects échantillonnés en 2002 pour la zonation verticale des plantes dans les herbiers

Secteur	Date 2000	Mesures		Quadrats (N)			Élévation ZC (m)	
		hauteur	% de recouvrement	émergents	submergés	total	minimum	maximum
Lac Saint-François								
– Pointe Dupuis	10 sept.	OUI	OUI	2	10	12	-0,07	0,77
Lac des Deux Montagnes								
– Île Hay	28 août	OUI	OUI	4	13	17	-0,32	0,33
– Baie des Indiens	27 août	OUI	OUI	7	8	15	-0,56	0,82
Corridor fluvial								
– Boucherville	16 août	OUI	OUI	6	18	27	-0,35	1,11
– Pointe-aux-Trembles	21 août	OUI	OUI	10	4	14	-0,59	1,66
– Île aux Cerfeuil	22 août	OUI	OUI	8	10	18	-0,82	2,16
– Verchères	20 août	OUI	OUI	10	4	14	-0,20	0,98
Lac Saint-Pierre								
– Rivière du Loup	12 sept.	OUI	OUI	2	7	9	0,36	1,17
– Pointe Lussaudière	29 juillet	OUI	OUI	0	6	6	0,24	0,44
– Pointe d'Henri	30 juillet	OUI	OUI	0	7	7	-0,18	0,44
– Baie-du-Febvre	31 juillet	OUI	OUI	3	12	15	-0,17	0,88
– Pointe-du-Lac	9 sept.	OUI	OUI	8	10	18	0,08	1,37
– Pointe aux Raisins	1 août	OUI	OUI	0	11	11	-0,39	0,13

4 Élévations standardisées au zéro des cartes (ZC) et en rapport au niveau d'eau du jour (observée) pour l'ensemble des espèces végétales pour les quatre années

Habitat	Type d'hydrophyte	Espèce	Élévation ZC (cm)					Élévation (niveau du jour, cm)			
			n	min	max	moyenne	Écart-type	min	max	moyenne	Écart-type
Arborescent	Obligatoire	<i>Acer saccharinum</i>	33	-4,6	117,3	57,8	31,5	-21,0	125,8	48,5	36,5
Arborescent	Obligatoire	<i>Populus deltoides</i>	31	-8,0	86,5	31,4	23,7	-4,0	133,0	46,4	29,2
Arborescent	Facultative	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	2	81,9	94,2	88,1	8,7	36,5	70,5	53,5	24,0
Arborescent	Facultative	<i>Abies balsamea</i>	1	98,8	98,8	98,8	-	117,8	117,8	117,8	-
Arborescent	Facultative	<i>Acer pennsylvanicum</i>	1	136,8	136,8	136,8	-	67,6	67,6	67,6	-
Arborescent	Facultative	<i>Acer rubrum</i>	1	67,7	67,7	67,7	-	70,3	70,3	70,3	-
Arborescent	Facultative	<i>Ulmus americanus</i>	1	70,9	70,9	70,9	-	66,0	66,0	66,0	-
Arbustif	Obligatoire	<i>Salix exigua</i>	7	28,3	152,8	79,6	45,9	-13,0	119,8	36,1	50,6
Arbustif	Obligatoire	<i>Myrica Gale</i>	2	52,3	53,7	53,0	1,0	2,7	5,0	3,9	1,6
Arbustif	Facultative	<i>Salix fragilis</i>	4	16,9	78,9	60,3	29,1	4,5	67,5	43,2	29,9
Arbustif	Facultative	<i>Alnus incana</i>	3	60,9	98,8	78,8	19,0	6,6	117,8	44,7	63,4
Arbustif	Facultative	<i>Cornus stolonifera</i>	3	88,5	96,0	91,5	4,0	9,8	17,3	12,8	4,0
Arbustif	Facultative	<i>Alnus viridis</i>	1	96,9	96,9	96,9	-	4,3	4,3	4,3	-
Arbustif	-	<i>Salix sp.</i>	14	3,5	163,8	49,2	36,9	-21,0	112,0	26,3	41,5
Prairie humide	Upland	<i>Oxalis stricta</i>	17	55,7	239,1	163,6	55,4	-2,0	285,0	154,6	71,7
Prairie humide	Upland	<i>Digitaria Ischaemum</i>	2	119,8	170,0	144,9	35,5	150,6	166,3	158,4	11,1
Prairie humide	Upland	<i>Sonchus oleraceus</i>	2	30,5	75,9	53,2	32,1	55,0	104,0	79,5	34,6
Prairie humide	Upland	<i>Medicago lupulina</i>	1	86,5	86,5	86,5	-	133,0	133,0	133,0	-
Prairie humide	Upland	<i>Scutellaria parvula</i>	1	97,8	97,8	97,8	-	5,0	5,0	5,0	-
Prairie humide	Obligatoire	<i>Sparganium eurycarpum</i>	91	-18,3	121,7	44,2	29,0	-92,0	119,2	3,7	46,1
Prairie humide	Obligatoire	<i>Leersia orysooides</i>	85	-11,0	152,8	49,5	33,7	-70,0	134,5	40,4	41,7
Prairie humide	Obligatoire	<i>Spartina pectinata</i>	56	12,8	238,9	87,8	62,1	-80,0	285,0	61,0	75,7
Prairie humide	Obligatoire	<i>Sium suave</i>	47	11,4	101,8	43,3	21,5	-60,0	133,0	-7,0	38,5
Prairie humide	Obligatoire	<i>Lycopus americanus</i>	31	28,3	239,1	106,9	58,8	-30,5	243,0	80,1	71,2
Prairie humide	Obligatoire	<i>Mimulus ringens</i>	31	7,0	117,3	54,1	26,3	-60,0	133,0	26,9	49,5
Prairie humide	Obligatoire	<i>Rumex verticillatus</i>	25	18,0	104,6	69,7	27,6	-50,0	123,5	54,4	52,0
Prairie humide	Obligatoire	<i>Galium palustre</i>	18	27,0	239,1	130,8	76,5	-50,0	285,0	95,3	100,6

A. 4 (suite 1)

Habitat	Type d'hydrophyte	Espèce	n	min	Élévation ZC (cm)			Élévation (niveau du jour, cm)			
					max	moyenn e	Écart-type	min	max	moyenne	Écart-type
Prairie humide	Obligatoire	<i>Bidens cernua</i>	14	28,0	119,8	57,9	29,0	2,7	166,3	52,2	44,9
Prairie humide	Obligatoire	<i>Lysimachia terrestris</i>	14	14,0	107,8	78,1	31,0	-43,0	60,5	19,5	24,9
Prairie humide	Obligatoire	<i>Polygonum amphibium</i>	14	27,0	84,0	63,2	22,6	9,3	73,0	45,1	23,3
Prairie humide	Obligatoire	<i>Hypericum ellipticum</i>	12	23,2	121,7	69,6	34,0	-16,0	112,0	29,9	39,8
Prairie humide	Obligatoire	<i>Mentha arvensis</i>	12	50,0	196,7	129,5	54,3	-2,0	242,0	110,3	80,5
Prairie humide	Obligatoire	<i>Lycopus uniflorus</i>	8	33,4	94,2	63,9	18,6	2,7	36,5	12,5	11,1
Prairie humide	Obligatoire	<i>Rorippa amphibia</i>	8	7,7	84,9	48,0	27,1	-75,0	2,2	-36,7	28,1
Prairie humide	Obligatoire	<i>Ludwigia palustris</i>	6	21,4	136,7	77,1	50,0	9,0	97,0	50,8	35,8
Prairie humide	Obligatoire	<i>Lysimachia Nummularia</i>	5	34,5	125,6	54,0	40,1	53,5	106,2	65,3	22,9
Prairie humide	Obligatoire	<i>Triadenum fraseri</i>	5	32,2	96,9	53,8	25,1	2,0	28,5	12,3	10,8
Prairie humide	Obligatoire	<i>Lysimachia thyrsoiflore</i>	4	31,9	78,9	52,6	19,6	5,0	67,5	32,3	26,7
Prairie humide	Obligatoire	<i>Penthorum sedoides</i>	4	-11,0	86,5	46,8	41,9	35,5	133,0	93,3	41,9
Prairie humide	Obligatoire	<i>Decodon verticillatus</i>	3	19,4	101,0	73,1	46,5	0,0	117,8	51,3	60,4
Prairie humide	Obligatoire	<i>Asclepias incarnata</i>	2	49,0	52,3	50,7	2,3	-30,5	5,0	-12,8	25,1
Prairie humide	Obligatoire	<i>Epilobium ciliatum</i>	2	30,8	48,0	39,4	12,2	49,8	67,0	58,4	12,2
Prairie humide	Obligatoire	<i>Polygonum sagittatum</i>	2	76,1	106,8	91,5	21,7	8,9	125,8	67,4	82,7
Prairie humide	Obligatoire	<i>Scutellaria galericulata</i>	2	76,1	76,8	76,5	0,5	8,9	9,6	9,3	0,5
Prairie humide	Obligatoire	<i>Gratiola neglecta</i>	1	33,0	33,0	33,0	-	11,5	11,5	11,5	-
Prairie humide	Obligatoire	<i>Lysimachia terrestris</i>	1	94,2	94,2	94,2	-	36,5	36,5	36,5	-
Prairie humide	Obligatoire	<i>Rumex sp.</i>	1	76,8	76,8	76,8	-	9,6	9,6	9,6	-
Prairie humide	Obligatoire	<i>Stachys hispida</i>	1	48,0	48,0	48,0	-	67,0	67,0	67,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Lythrum Salicaria</i>	224	-11,0	239,1	70,1	46,1	-62,0	285,0	47,8	60,0
Prairie humide	Facultative	<i>Lythrum Salicaria</i>	173	-5,6	239,1	71,9	39,1	-62,0	243,0	43,5	59,1
Prairie humide	Facultative	<i>Phalaris arundinacea</i>	143	-8,5	239,1	89,7	49,9	-70,0	285,0	61,2	70,4
Prairie humide	Facultative	<i>Polygonum lapathifolium</i>	87	-18,5	195,5	46,8	38,6	-10,0	242,0	55,9	37,6
Prairie humide	Facultative	<i>Lythrum Salicaria</i>	79	-11,0	238,9	71,5	58,5	-21,0	285,0	61,4	55,3
Prairie humide	Facultative	<i>Urtica dioica</i>	43	-3,6	166,7	89,5	41,3	-1,0	194,0	72,6	48,7
Prairie humide	Facultative	<i>Polygonum pennsylvanicum</i>	41	-18,3	163,8	46,7	40,1	-4,0	166,3	54,3	32,6
Prairie humide	Facultative	<i>Onoclea sensibilis</i>	39	25,0	144,9	76,5	31,4	-7,0	140,0	43,1	35,4
Prairie humide	Facultative	<i>Panicum capillare</i>	38	-4,6	170,0	59,8	41,9	-2,0	150,6	72,3	34,3

A. 4 (suite 2)

Habitat	Type d'hydrophyte	Espèce	n	min	Élévation ZC (cm)			Élévation (niveau du jour, cm)			
					max	moyenn e	Écart-type	min	max	moyenne	Écart-type
Prairie humide	Facultative	<i>Phragmites australis</i>	37	36,0	114,7	77,7	24,0	-32,0	135,5	47,2	50,5
Prairie humide	Facultative	<i>Echinochloa muricata</i>	25	-18,5	117,3	30,0	31,1	-4,0	133,0	54,0	31,3
Prairie humide	Facultative	<i>Impatiens capensis</i>	24	-4,6	163,8	85,9	39,9	-2,0	140,0	52,8	43,3
Prairie humide	Facultative	<i>Gnaphalium uliginosum</i>	19	-4,5	170,0	61,6	43,5	30,5	150,6	74,4	33,5
Prairie humide	Facultative	<i>Plantago major</i>	19	20,1	239,1	103,3	64,8	8,9	243,0	103,3	63,7
Prairie humide	Facultative	<i>Potentilla Anserina</i>	19	34,5	195,5	104,1	47,9	3,5	242,0	101,4	63,6
Prairie humide	Facultative	<i>Calamagrostis canadensis</i>	16	27,0	239,1	159,3	68,1	-13,0	285,0	130,2	96,8
Prairie humide	Facultative	<i>Echinochloa crus-galli</i>	15	3,5	94,2	38,0	23,9	29,0	133,0	59,1	23,8
Prairie humide	Facultative	<i>Bidens comosa</i>	14	3,5	121,7	70,7	31,8	6,6	122,0	44,9	32,7
Prairie humide	Facultative	<i>Pilea pumila</i>	14	18,0	136,7	57,8	31,5	6,6	97,0	41,8	24,8
Prairie humide	Facultative	<i>Rorippa palustris</i>	14	20,1	196,7	84,2	56,6	5,0	150,6	64,1	45,5
Prairie humide	Facultative	<i>Hypericum mutilum</i>	13	1,4	170,0	69,0	46,9	-50,0	150,6	34,2	58,0
Prairie humide	Facultative	<i>Trifolium repens</i>	12	65,5	239,1	150,4	60,3	77,4	243,0	140,5	48,6
Prairie humide	Facultative	<i>Acalypha rhomboidea</i>	11	63,4	196,7	124,0	43,7	44,0	206,8	116,4	48,1
Prairie humide	Facultative	<i>Calystegia sepium</i>	8	53,7	144,9	86,8	34,5	2,7	140,0	43,4	52,1
Prairie humide	Facultative	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	7	86,5	157,6	127,0	29,5	77,4	166,3	124,7	32,7
Prairie humide	Facultative	<i>Atriplex prostrata</i>	6	76,3	121,1	92,7	16,8	4,3	94,8	59,8	36,6
Prairie humide	Facultative	<i>Eupatorium maculatum</i>	6	52,3	76,8	62,2	8,9	2,7	14,7	8,0	4,2
Prairie humide	Facultative	<i>Apios americana</i>	5	21,4	84,0	60,1	30,2	9,0	73,0	42,8	28,1
Prairie humide	Facultative	<i>Bidens frondosa</i>	5	-4,5	81,9	46,5	36,2	42,0	70,5	58,8	13,2
Prairie humide	Facultative	<i>Cirsium arvense</i>	5	86,5	238,5	181,4	58,8	133,0	285,0	201,6	63,1
Prairie humide	Facultative	<i>Echinocystis lobata</i>	5	61,3	94,2	76,4	11,8	1,5	91,6	30,5	36,6
Prairie humide	Facultative	<i>Hypericum punctatum</i>	5	24,6	47,4	38,2	9,8	9,6	36,0	24,7	11,0
Prairie humide	Facultative	<i>Lactuca Serriola</i>	5	-6,6	216,6	95,9	89,8	-4,0	197,2	85,1	74,1
Prairie humide	Facultative	<i>Phleum pratense</i>	5	216,6	239,1	233,3	11,1	174,6	285,0	225,0	49,1
Prairie humide	Facultative	<i>Solanum Dulcamara</i>	5	61,3	76,8	68,6	7,3	8,9	14,7	11,2	2,9
Prairie humide	Facultative	<i>Agrostis perennans</i>	4	14,0	32,9	24,2	8,3	28,0	75,0	57,8	20,7
Prairie humide	Facultative	<i>Chenopodium glaucum</i>	4	-11,0	7,0	-4,3	8,0	9,6	53,5	35,2	18,6
Prairie humide	Facultative	<i>Galium trifidum</i>	4	60,9	94,2	74,0	15,2	6,6	36,5	15,6	14,0
Prairie humide	Facultative	<i>Panicum flexile</i>	4	34,5	170,0	106,7	56,8	53,5	150,6	96,9	41,8

A. 4 (suite 3)

Habitat	Type d'hydrophyte	Espèce	n	Élévation ZC (cm)				Élévation (niveau du jour, cm)			
				min	max	moyenn e	Écart-type	min	max	moyenne	Écart-type
Prairie humide	Facultative	<i>Polygonum Persicaria</i>	4	-8,5	63,9	12,7	34,3	16,0	59,0	31,7	19,0
Prairie humide	Facultative	<i>Xanthium strumarium</i>	4	27,0	98,8	72,4	34,0	16,0	117,8	79,9	46,9
Prairie humide	Facultative	<i>Agalinis paupercula</i>	3	14,0	46,0	29,5	16,0	60,5	92,5	76,0	16,0
Prairie humide	Facultative	<i>Taraxacum officinale</i>	3	26,6	239,1	154,1	112,5	30,5	243,0	135,3	106,3
Prairie humide	Facultative	<i>Cerastium fontanum</i>	2	196,7	216,6	206,7	14,1	132,4	197,2	164,8	45,8
Prairie humide	Facultative	<i>Poa annua</i>	2	46,0	86,5	66,3	28,6	92,5	133,0	112,8	28,6
Prairie humide	Facultative	<i>Potentilla norvegica</i>	2	30,5	33,5	32,0	2,1	54,3	55,0	54,7	0,5
Prairie humide	Facultative	<i>Symphyotricum lanceolatum</i>	2	78,9	157,6	118,3	55,6	67,5	161,5	114,5	66,5
Prairie humide	Facultative	<i>Symphyotricum ontarione</i>	2	63,2	160,3	111,7	68,6	8,9	206,8	107,8	139,9
Prairie humide	Facultative	<i>Amaranthus retroflexus</i>	1	43,4	43,4	43,4	-	24,0	24,0	24,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Composée sp.</i>	1	125,6	125,6	125,6	-	106,2	106,2	106,2	-
Prairie humide	Facultative	<i>Cuscuta gronovii</i>	1	31,4	31,4	31,4	-	59,5	59,5	59,5	-
Prairie humide	Facultative	<i>Elymus repens</i>	1	63,9	63,9	63,9	-	59,0	59,0	59,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Epilobium palustre</i>	1	55,7	55,7	55,7	-	-2,0	-2,0	-2,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Festuca pratensis</i>	1	157,6	157,6	157,6	-	161,5	161,5	161,5	-
Prairie humide	Facultative	<i>Galium boreale</i>	1	53,7	53,7	53,7	-	2,7	2,7	2,7	-
Prairie humide	Facultative	<i>Lactuca biennis</i>	1	88,0	88,0	88,0	-	71,0	71,0	71,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Lathyrus japonicus</i>	1	117,0	117,0	117,0	-	47,8	47,8	47,8	-
Prairie humide	Facultative	<i>Menispermum canadense</i>	1	18,0	18,0	18,0	-	42,5	42,5	42,5	-
Prairie humide	Facultative	<i>Oenothera perenis</i>	1	48,0	48,0	48,0	-	67,0	67,0	67,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Osmunda claytoniana</i>	1	144,9	144,9	144,9	-	140,0	140,0	140,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Panicum Tuckermani</i>	1	122,6	122,6	122,6	-	58,3	58,3	58,3	-
Prairie humide	Facultative	<i>Polygonum aviculare</i>	1	157,6	157,6	157,6	-	161,5	161,5	161,5	-
Prairie humide	Facultative	<i>Solanum betaceum</i>	1	14,7	14,7	14,7	-	35,5	35,5	35,5	-
Prairie humide	Facultative	<i>Trifolium pratense</i>	1	48,0	48,0	48,0	-	67,0	67,0	67,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Veronica serpyllifolia</i>	1	196,7	196,7	196,7	-	132,4	132,4	132,4	-
Prairie humide	-	<i>Graminée sp.</i>	23	-8,7	239,1	110,1	78,8	9,6	285,0	111,0	83,9
Prairie humide	-	<i>Vicia Cracca</i>	13	36,3	239,1	169,7	64,0	36,5	285,0	165,1	74,1
Prairie humide	-	<i>Bidens sp.</i>	11	14,7	170,0	67,7	45,8	24,0	150,6	69,8	38,5
Prairie humide	-	<i>Hypericum perforatum</i>	7	27,0	82,0	50,2	26,3	16,0	71,0	39,3	26,6

A. 4 (suite 4)

Habitat	Type d'hydrophyte	Espèce	n	min	Élévation ZC (cm)			Élévation (niveau du jour, cm)			
					max	moyenn e	Écart-type	min	max	moyenne	Écart-type
Prairie humide	-	<i>Galium</i> sp.	5	38,8	195,5	106,8	57,9	4,3	242,0	80,6	93,8
Prairie humide	-	<i>Polygonum</i> sp.	5	-3,6	105,2	49,3	41,7	-26,0	65,5	10,8	38,5
Prairie humide	-	<i>Thelypteris palustris</i>	5	52,3	76,8	61,5	9,8	2,7	9,6	6,7	3,0
Prairie humide	-	<i>Convolvulus arvensis</i>	4	52,3	63,9	60,2	5,4	5,0	14,0	9,4	3,7
Prairie humide	-	<i>Chenopodium polyspermum</i>	3	75,2	101,7	86,8	13,6	77,8	104,3	89,4	13,6
Prairie humide	-	<i>Solidago</i> sp.	3	16,3	94,2	47,0	41,5	36,5	55,0	44,1	9,7
Prairie humide	-	<i>Trifolium aureum</i>	3	122,6	238,9	186,1	58,9	58,3	174,6	121,8	58,9
Prairie humide	-	<i>Aster</i> sp.	1	125,6	125,6	125,6	-	106,2	106,2	106,2	-
Prairie humide	-	<i>Chamaesyce vermiculata</i>	1	119,8	119,8	119,8	-	166,3	166,3	166,3	-
Prairie humide	-	<i>Coryza canadensis</i>	1	118,1	118,1	118,1	-	122,0	122,0	122,0	-
Prairie humide	-	<i>Crucifère</i> sp.	1	83,1	83,1	83,1	-	87,0	87,0	87,0	-
Prairie humide	-	<i>Hypericum</i> sp.	1	54,2	54,2	54,2	-	-25,3	-25,3	-25,3	-
Prairie humide	-	<i>Leontodon autumnalis</i>	1	157,6	157,6	157,6	-	161,5	161,5	161,5	-
Prairie humide	-	<i>Vaccaria hispanica</i>	1	195,1	195,1	195,1	-	199,0	199,0	199,0	-
Prairie humide	-	<i>Viola</i> sp.	1	121,1	121,1	121,1	-	28,5	28,5	28,5	-
Marais	Obligatoire	<i>Bolboschoenus fluviatilis</i>	212	-32,2	157,3	37,6	37,8	-125,0	134,5	-2,1	55,9
Marais	Obligatoire	<i>Sagittaria latifolia</i>	206	-20,6	121,7	36,6	25,5	-95,0	116,8	0,0	44,2
Marais	Obligatoire	<i>Schoenoplectus Lacustris</i>	190	-54,8	88,0	9,2	27,5	-120,0	99,0	-32,3	47,1
Marais	Obligatoire	<i>Eleocharis Smallii</i>	148	-30,8	121,7	28,0	27,9	-105,0	133,0	-8,8	40,7
Marais	Obligatoire	<i>Schoenoplectus pungens</i>	134	-22,2	125,6	38,7	29,9	-115,0	166,3	-1,0	52,4
Marais	Obligatoire	<i>Typha angustifolia</i>	95	-15,5	117,3	43,0	31,7	-105,0	132,5	15,0	53,7
Marais	Obligatoire	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	90	-41,0	136,7	17,4	34,1	-85,0	97,0	4,0	40,0
Marais	Obligatoire	<i>Butomus umbellatus</i>	90	-18,5	121,7	49,4	36,7	-77,5	129,5	15,3	49,1
Marais	Obligatoire	<i>Eleocharis acicularis</i>	90	-15,6	136,7	38,8	32,1	-92,0	133,0	11,7	43,7
Marais	Obligatoire	<i>Pontederia cordata</i>	62	-21,6	74,3	17,7	21,3	-92,0	53,5	-17,1	31,3
Marais	Obligatoire	<i>Equisetum fluviatile</i>	26	10,2	238,9	88,9	55,7	-29,0	174,6	42,0	51,8
Marais	Obligatoire	<i>Lindernia dubia</i>	26	-11,0	121,7	40,3	28,8	9,3	82,0	36,8	17,3
Marais	Obligatoire	<i>Eragrostis hypnoides</i>	16	-8,0	64,1	29,1	21,5	29,0	92,5	58,9	18,1
Marais	Obligatoire	<i>Dulichium arundinaceum</i>	14	27,0	96,9	43,4	17,7	-52,0	36,0	10,3	23,9
Marais	Obligatoire	<i>Eleocharis erythropoda</i>	13	32,9	70,9	43,5	11,9	28,0	67,0	40,5	14,3

A. 4 (suite 5)

Habitat	Type d'hydrophyte	Espèce	n	min	Élévation ZC (cm)			Élévation (niveau du jour, cm)			
					max	moyenn e	Écart-type	min	max	moyenne	Écart-type
Marais	Obligatoire	<i>Acorus calamus</i>	12	9,0	105,2	69,8	30,4	-30,5	71,0	11,2	35,0
Marais	Obligatoire	<i>Zizania aquatica</i>	10	5,0	117,0	49,8	29,0	-35,0	47,8	-8,3	24,3
Marais	Obligatoire	<i>Typha latifolia</i>	9	34,5	76,1	59,1	11,5	2,7	53,5	13,8	15,4
Marais	Obligatoire	<i>Juncus canadensis</i>	7	29,0	94,2	57,7	25,4	-7,0	133,0	52,7	53,4
Marais	Obligatoire	<i>Eleocharis obtusa</i>	5	3,5	53,3	31,7	18,3	28,0	90,3	51,9	23,4
Marais	Obligatoire	<i>Equisetum litorale</i>	5	17,5	166,7	108,8	69,7	-4,0	194,0	94,4	80,8
Marais	Obligatoire	<i>Eriocaulon aquaticum</i>	3	24,6	46,9	34,8	11,3	9,6	31,9	17,7	12,4
Marais	Obligatoire	<i>Juncus dudleyi</i>	3	63,4	216,6	125,6	80,6	44,0	197,2	106,2	80,6
Marais	Obligatoire	<i>Juncus articulatus</i>	2	32,2	46,9	39,6	10,4	17,2	31,9	24,6	10,4
Marais	Obligatoire	<i>Carex aquatilis</i>	1	21,4	21,4	21,4	-	9,0	9,0	9,0	-
Marais	Obligatoire	<i>Carex trichocarpa</i>	1	119,8	119,8	119,8	-	166,3	166,3	166,3	-
Marais	Obligatoire	<i>Carex tuckermanii</i>	1	87,1	87,1	87,1	-	-13,0	-13,0	-13,0	-
Marais	Obligatoire	<i>Juncus brevicaudatus</i>	1	47,4	47,4	47,4	-	36,0	36,0	36,0	-
Marais	Obligatoire	<i>Juncus compressus</i>	1	157,3	157,3	157,3	-	93,0	93,0	93,0	-
Marais	Obligatoire	<i>Juncus nodosus</i>	1	83,1	83,1	83,1	-	87,0	87,0	87,0	-
Marais	Facultative	<i>Cyperus esculentus</i>	26	-8,0	119,8	40,8	30,3	-4,0	166,3	60,5	40,3
Marais	Facultative	<i>Cyperus squarrosus</i>	20	3,5	170,0	54,2	44,0	14,0	150,6	58,1	32,5
Marais	Facultative	<i>Cyperus dentatus</i>	12	-18,5	125,6	40,2	41,0	28,0	133,0	72,9	32,4
Marais	Facultative	<i>Juncus filiformis</i>	12	21,4	98,8	49,3	27,2	-7,0	117,8	32,3	36,1
Marais	Facultative	<i>Equisetum arvense</i>	5	125,6	238,5	189,2	43,7	106,2	285,0	196,2	71,0
Marais	Facultative	<i>Carex cumulata</i>	3	118,1	157,6	144,3	22,7	93,0	161,5	125,5	34,4
Marais	Facultative	<i>Cyperus diandrus</i>	3	39,0	122,6	67,2	48,0	28,0	58,3	38,4	17,2
Marais	Facultative	<i>Carex sparganoides</i>	2	125,6	160,3	142,9	24,5	106,2	206,8	156,5	71,1
Marais	Facultative	<i>Cyperus sp.</i>	1	30,9	30,9	30,9	-	19,5	19,5	19,5	-
Marais	Facultative	<i>Equisetum palustre</i>	1	136,7	136,7	136,7	-	97,0	97,0	97,0	-
Marais	Facultative	<i>Juncus articus</i>	1	96,9	96,9	96,9	-	4,3	4,3	4,3	-
Marais	-	<i>Carex sp.</i>	15	27,0	238,9	74,4	57,4	-13,0	174,6	42,1	56,5
Marais	-	<i>Eleocharis sp.</i>	5	-6,3	85,6	26,7	37,5	-60,0	52,6	12,0	43,1
Sub. à f.	Obligatoire	<i>Nymphaea odorata</i>	75	-101,5	41,2	-10,0	28,1	-105,0	35,5	-33,9	26,9

A. 4 (suite 6)

Habitat	Type d'hydrophyte	Espèce	n	Élévation ZC (cm)				Élévation (niveau du jour, cm)			
				min	max	moyenn e	Écart-type	min	max	moyenne	Écart-type
Sub. à f.	Obligatoire	<i>Nuphar variegata</i>	69	-95,9	32,1	-6,3	20,4	-92,0	5,0	-47,3	21,9
Sub-Libre	Obligatoire	<i>Lemna minor</i>	52	-18,3	86,1	34,3	22,1	-75,0	9,6	-29,6	23,2
Sub-Libre	Obligatoire	<i>Ceratophyllum demersum</i>	24	-115,6	44,8	-8,9	35,6	-101,0	-2,5	-53,9	25,6
Sub-Libre	Obligatoire	<i>Lemna trisulca</i>	13	-14,0	59,1	13,8	20,6	-65,0	-25,0	-45,3	14,3
Submergé	Obligatoire	<i>Vallisneria americana</i>	147	-127,0	68,7	-19,0	28,6	-125,0	9,2	-54,0	27,6
Submergé	Obligatoire	<i>Elodea canadensis</i>	128	-127,0	59,1	-3,8	32,5	-101,0	6,0	-49,8	26,8
Submergé	Obligatoire	<i>Heteranthera dubia</i>	98	-82,0	63,5	-10,4	26,8	-130,0	37,0	-37,2	35,7
Submergé	Obligatoire	<i>Myriophyllum</i> sp.	94	-127,0	62,7	-4,0	32,9	-125,0	22,5	-50,5	34,1
Submergé	Obligatoire	<i>Potamogeton Richardsonii</i>	81	-62,5	41,2	-13,1	22,1	-130,0	13,3	-61,8	33,3
Submergé	Obligatoire	<i>Elodea nuttallii</i>	36	-44,8	36,2	-8,4	18,0	-95,0	-3,0	-44,3	24,6
Submergé	Obligatoire	<i>Utricularia vulgaris</i>	27	-15,7	62,7	14,5	24,9	-92,0	-20,0	-53,6	20,4
Submergé	Obligatoire	<i>Stuckenia pectinata</i>	11	-59,0	10,3	-12,2	21,5	-92,0	-4,0	-54,4	27,8
Submergé	Obligatoire	<i>Potamogeton oakesianus</i>	9	-39,0	31,9	1,0	25,0	-50,0	20,5	-16,4	24,6
Submergé	Obligatoire	<i>Potamogeton robinsii</i>	9	-30,8	12,8	-8,1	11,8	-90,0	-30,0	-61,7	24,5
Submergé	Obligatoire	<i>Ranunculus aquatilis</i>	7	-45,8	13,1	-14,8	20,1	-60,0	17,0	-27,8	26,7
Submergé	Obligatoire	<i>Potamogeton perfoliatus</i>	4	-43,6	1,7	-21,1	24,9	-55,0	-52,6	-53,9	1,3
Submergé	Obligatoire	<i>Potamogeton amplifolius</i>	3	-43,6	-6,6	-30,6	20,8	-55,0	-18,0	-42,0	20,8
Submergé	Obligatoire	<i>Crassula aquatica</i>	2	-5,6	3,4	-1,1	6,4	-25,0	-16,0	-20,5	6,4
Submergé	Obligatoire	<i>Najas flexilis</i>	2	-4,0	1,0	-1,5	3,5	-55,0	-50,0	-52,5	3,5
Submergé	Obligatoire	<i>Potamogeton Friesii</i>	2	6,8	12,8	9,8	4,2	-86,0	-80,0	-83,0	4,2
Submergé	Obligatoire	<i>Potamogeton gramineus</i>	2	-6,8	2,2	-2,3	6,4	-46,0	-37,0	-41,5	6,4
Submergé	Obligatoire	<i>Potamogeton zosteriformis</i>	2	-12,3	41,2	14,5	37,8	-95,0	-26,0	-60,5	48,8
Submergé	Obligatoire	<i>Potamogeton epihydrus</i>	1	-43,0	-43,0	-43,0	-	-58,0	-58,0	-58,0	-
Submergé	Obligatoire	<i>Potamogeton pusillus</i>	1	-11,0	-11,0	-11,0	-	-76,0	-76,0	-76,0	-
Sub-Algale	Obligatoire	<i>Algues filamenteuses</i>	82	-115,6	67,8	-11,0	27,0	-122,0	3,5	-51,7	25,2
Sub-Algale	Obligatoire	<i>Chara</i> sp.	70	-45,8	23,2	-6,4	15,9	-101,0	16,0	-	29,6
Sub-Algale	Obligatoire	<i>Cladophora</i> sp.	34	-82,0	40,9	-10,7	28,0	-68,0	36,0	-11,8	25,8
Sub-Algale	Obligatoire	<i>Nitella</i>	6	-12,7	9,3	-2,7	7,7	-60,0	-38,0	-50,0	7,7
Sub-Algale	Obligatoire	<i>Spirodela polyrhisa</i>	4	12,7	62,7	33,7	21,0	-70,0	-20,0	-42,8	23,7
Muscinale	-	<i>Muscinea (mousses)</i>	73	-21,6	166,7	48,1	45,4	-85,0	140,0	15,4	51,3

5

Recouvrement et hauteur de l'ensemble des espèces végétales pour les quatre années

Habitat	Type	Espèce	n	% recouvrement				Hauteur (cm)			
				min	max	moyenne	Écart-type	min	max	moyenne	Écart-type
d'hydrophyte											
Arborescent	Obligatoire	<i>Acer saccharinum</i>	33	0,5	18,0	4,4	4,8				
Arborescent	Obligatoire	<i>Populus deltoides</i>	31	0,5	63,0	6,6	12,8				
Arborescent	Facultative	<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	2	0,5	3,0	1,8	1,8	10,0	15,0	12,5	3,5
Arborescent	Facultative	<i>Abies balsamea</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	2,0	2,0	2,0	-
Arborescent	Facultative	<i>Acer pensylvanicum</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	8,0	8,0	8,0	-
Arborescent	Facultative	<i>Acer rubrum</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	20,0	20,0	20,0	-
Arborescent	Facultative	<i>Ulmus americanus</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	5,0	5,0	5,0	-
Arbustif	Obligatoire	<i>Salix exigua</i>	7	0,5	18,0	6,2	5,9	15,0	100,0	45,8	35,7
Arbustif	Obligatoire	<i>Myrica Gale</i>	2	3,0	8,0	5,5	3,5	90,0	100,0	95,0	7,1
Arbustif	Facultative	<i>Salix fragilis</i>	4	3,0	3,0	3,0	0,0	20,0	30,0	25,0	5,8
Arbustif	Facultative	<i>Alnus incana</i>	3	3,0	37,5	19,5	17,3	10,0	210,0	116,7	100,7
Arbustif	Facultative	<i>Cornus stolonifera</i>	3	0,5	18,0	6,3	10,1	33,0	70,0	54,3	19,1
Arbustif	Facultative	<i>Alnus viridis</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	18,0	18,0	18,0	-
Arbustif	-	<i>Salix sp.</i>	14	0,5	8,0	2,5	2,0	6,0	110,0	23,4	25,1
Prairie humide	Upland	<i>Oxalis stricta</i>	17	0,5	18,0	3,3	4,2	1,0	15,0	5,9	3,6
Prairie humide	Upland	<i>Digitaria Ischaemum</i>	2	8,0	37,5	22,8	20,9	2,0	18,0	10,0	11,3
Prairie humide	Upland	<i>Sonchus oleraceus</i>	2	3,0	18,0	10,5	10,6	45,0	70,0	57,5	17,7
Prairie humide	Upland	<i>Medicago lupulina</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	20,0	20,0	20,0	-
Prairie humide	Upland	<i>Scutellaria parvula</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	20,0	20,0	20,0	-
Prairie humide	Obligatoire	<i>Sparganium eurycarpum</i>	91	0,5	87,5	25,2	29,6	17,0	240,0	131,1	46,8
Prairie humide	Obligatoire	<i>Leersia orysooides</i>	85	0,5	87,5	16,2	25,9	5,0	195,0	56,4	36,7
Prairie humide	Obligatoire	<i>Spartina pectinata</i>	56	0,5	87,5	20,0	24,0	50,0	240,0	133,9	34,0
Prairie humide	Obligatoire	<i>Sium suave</i>	47	0,5	63,0	6,4	11,0	2,0	114,0	46,5	29,5
Prairie humide	Obligatoire	<i>Lycopus americanus</i>	31	0,5	8,0	2,0	1,7	4,0	70,0	22,6	15,9
Prairie humide	Obligatoire	<i>Mimulus ringens</i>	31	0,5	18,0	3,6	3,6	2,0	125,0	43,3	35,1

A. 5 (suite1)

Habitat	Type	Espèce	n	% recouvrement				Hauteur (cm)			
				min	max	moyenne	Écart-type	min	max	moyenne	Écart-type
Prairie humide	Obligatoire	<i>Rumex verticillatus</i>	25	0,5	37,5	7,8	10,8	15,0	140,0	72,7	33,4
Prairie humide	Obligatoire	<i>Galium palustre</i>	18	0,5	37,5	9,1	12,0	2,0	80,0	28,0	18,2
Prairie humide	Obligatoire	<i>Bidens cernua</i>	14	0,5	37,5	8,0	10,2	5,0	80,0	41,4	22,5
Prairie humide	Obligatoire	<i>Lysimachia terrestris</i>	14	0,5	8,0	3,7	2,5	8,0	90,0	55,6	25,6
Prairie humide	Obligatoire	<i>Polygonum amphibium</i>	14	0,5	63,0	24,8	18,9	35,0	120,0	75,8	23,8
Prairie humide	Obligatoire	<i>Hypericum ellipticum</i>	12	0,5	87,5	19,1	26,7	5,0	30,0	21,0	7,0
Prairie humide	Obligatoire	<i>Mentha arvensis</i>	12	0,5	8,0	2,4	2,2	5,0	45,0	24,9	13,1
Prairie humide	Obligatoire	<i>Lycopus uniflorus</i>	8	3,0	18,0	8,6	6,2	20,0	55,0	36,9	12,5
Prairie humide	Obligatoire	<i>Rorippa amphibia</i>	8	0,5	63,0	16,4	22,6	5,0	60,0	33,1	19,6
Prairie humide	Obligatoire	<i>Ludwigia palustris</i>	6	0,5	18,0	4,7	6,6	2,0	20,0	10,3	6,5
Prairie humide	Obligatoire	<i>Lysimachia Nummularia</i>	5	0,5	8,0	5,5	3,5	10,0	20,0	14,0	4,2
Prairie humide	Obligatoire	<i>Triadenum fraseri</i>	5	0,5	37,5	7,9	16,5	15,0	55,0	36,0	17,5
Prairie humide	Obligatoire	<i>Lysimachia thyrsiflore</i>	4	3,0	8,0	4,3	2,5	15,0	60,0	33,8	18,9
Prairie humide	Obligatoire	<i>Penthorum sedoides</i>	4	0,5	3,0	1,8	1,4	6,0	20,0	12,8	7,3
Prairie humide	Obligatoire	<i>Decodon verticillatus</i>	3	3,0	3,0	3,0	0,0	45,0	90,0	75,0	26,0
Prairie humide	Obligatoire	<i>Asclepias incarnata</i>	2	3,0	3,0	3,0	0,0	40,0	76,0	58,0	25,5
Prairie humide	Obligatoire	<i>Epilobium ciliatum</i>	2	0,5	3,0	1,8	1,8	15,0	25,0	20,0	7,1
Prairie humide	Obligatoire	<i>Polygonum sagittatum</i>	2	0,5	3,0	1,8	1,8	30,0	70,0	50,0	28,3
Prairie humide	Obligatoire	<i>Scutellaria galericulata</i>	2	3,0	3,0	3,0	0,0	80,0	95,0	87,5	10,6
Prairie humide	Obligatoire	<i>Gratiola neglecta</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	5,0	5,0	5,0	-
Prairie humide	Obligatoire	<i>Lysimachia sp.</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	5,0	5,0	5,0	-
Prairie humide	Obligatoire	<i>Rumex sp.</i>	1	3,0	3,0	3,0	-	60,0	60,0	60,0	-
Prairie humide	Obligatoire	<i>Stachys hispida</i>	1	18,0	18,0	18,0	-	12,0	12,0	12,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Lythrum Salicaria-total</i>	224	0,5	87,5	18,6	22,5	1,0	195,0	72,2	49,6
Prairie humide	Facultative	<i>Lythrum Salicaria-grand</i>	173	0,5	87,5	19,5	21,6	10,0	195,0	88,8	43,4
Prairie humide	Facultative	<i>Phalaris arundinacea</i>	143	0,5	87,5	42,1	36,6	5,0	190,0	89,7	48,7

A.5 (suite2)

Habitat	Type	Espèce	n	% recouvrement				Hauteur (cm)			
				min	max	moyenne	Écart-type	min	max	moyenne	Écart-type
Prairie humide	Facultative	<i>Polygonum lapathifolium</i>	87	0,5	87,5	11,1	17,8	3,0	200,0	62,7	59,5
Prairie humide	Facultative	<i>Lythrum Salicaria-petit</i>	79	0,5	87,5	12,1	21,1	1,0	38,0	11,3	7,5
Prairie humide	Facultative	<i>Urtica dioica</i>	43	0,5	63,0	19,2	19,5	1,0	210,0	52,8	63,4
Prairie humide	Facultative	<i>Polygonum pennsylvanicum</i>	41	0,5	87,5	9,8	18,6	10,0	125,0	49,1	30,4
Prairie humide	Facultative	<i>Onoclea sensibilis</i>	39	0,5	87,5	21,1	28,8	5,0	70,0	35,7	20,7
Prairie humide	Facultative	<i>Panicum capillare</i>	38	0,5	63,0	13,3	16,4	7,0	115,0	35,7	27,0
Prairie humide	Facultative	<i>Phragmites australis</i>	37	0,5	87,5	37,7	36,2	70,0	320,0	229,6	55,7
Prairie humide	Facultative	<i>Echinochloa muricata</i>	25	0,5	37,5	5,6	10,0	5,0	140,0	53,4	42,7
Prairie humide	Facultative	<i>Impatiens capensis</i>	24	0,5	37,5	10,9	13,3	2,0	170,0	62,7	53,0
Prairie humide	Facultative	<i>Gnaphalium uliginosum</i>	19	0,5	63,0	4,8	14,1	2,0	15,0	8,0	4,5
Prairie humide	Facultative	<i>Plantago major</i>	19	0,5	8,0	2,2	1,9	2,0	25,0	8,1	5,3
Prairie humide	Facultative	<i>Potentilla Anserina</i>	19	0,5	18,0	6,8	7,2	3,0	30,0	14,8	8,9
Prairie humide	Facultative	<i>Calamagrostis canadensis</i>	16	0,5	37,5	14,6	15,0	20,0	155,0	70,5	49,2
Prairie humide	Facultative	<i>Echinochloa crus-galli</i>	15	0,5	63,0	9,8	17,4	10,0	120,0	55,7	40,6
Prairie humide	Facultative	<i>Bidens comosa</i>	14	0,5	18,0	2,5	4,6	10,0	55,0	29,6	15,6
Prairie humide	Facultative	<i>Pilea pumila</i>	14	0,5	8,0	2,8	2,5	5,0	50,0	15,5	12,8
Prairie humide	Facultative	<i>Rorippa palustris</i>	14	0,5	63,0	6,6	16,9	1,0	60,0	17,7	19,4
Prairie humide	Facultative	<i>Hypericum mutilum</i>	13	0,5	18,0	2,8	4,7	5,0	50,0	20,2	14,3
Prairie humide	Facultative	<i>Trifolium repens</i>	12	0,5	37,5	6,7	10,9	2,0	20,0	7,0	5,0
Prairie humide	Facultative	<i>Acalypha rhomboidea</i>	11	0,5	18,0	4,1	5,4	5,0	20,0	11,7	5,2
Prairie humide	Facultative	<i>Calystegia sepium</i>	8	0,5	37,5	8,6	12,1	50,0	170,0	116,9	39,7
Prairie humide	Facultative	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	7	0,5	8,0	3,7	3,1	5,0	55,0	20,3	16,7
Prairie humide	Facultative	<i>Atriplex prostrata</i>	6	0,5	8,0	4,7	3,8	3,0	150,0	42,2	57,6
Prairie humide	Facultative	<i>Eupatorium maculatum</i>	6	3,0	8,0	6,3	2,6	110,0	150,0	130,8	14,3
Prairie humide	Facultative	<i>Apios americana</i>	5	3,0	18,0	10,0	7,6	50,0	155,0	95,0	39,7
Prairie humide	Facultative	<i>Bidens frondosa</i>	5	0,5	3,0	2,5	1,1	5,0	35,0	15,2	12,6

A. 5 (suite 3)

Habitat	Type	Espèce	n	% recouvrement				Hauteur (cm)			
				min	max	moyenne	Écart-type	min	max	moyenne	Écart-type
Prairie humide	Facultative	<i>Cirsium arvense</i>	5	0,5	8,0	3,5	2,7	5,0	60,0	33,0	21,4
Prairie humide	Facultative	<i>Echinocystis lobata</i>	5	0,5	8,0	4,5	3,4	80,0	220,0	148,0	61,0
Prairie humide	Facultative	<i>Hypericum punctatum</i>	5	3,0	63,0	19,0	25,3	5,0	35,0	23,0	12,5
Prairie humide	Facultative	<i>Lactuca Serriola</i>	5	0,5	0,5	0,5	0,0	2,0	10,0	6,4	3,5
Prairie humide	Facultative	<i>Phleum pratense</i>	5	3,0	8,0	4,0	2,2	35,0	112,0	55,8	31,9
Prairie humide	Facultative	<i>Solanum Dulcamara</i>	5	3,0	63,0	29,8	24,6	120,0	180,0	155,0	22,4
Prairie humide	Facultative	<i>Agrostis perennans</i>	4	0,5	3,0	1,1	1,3	5,0	20,0	13,8	6,3
Prairie humide	Facultative	<i>Chenopodium glaucum</i>	4	0,5	0,5	0,5	0,0	2,0	9,0	6,3	3,4
Prairie humide	Facultative	<i>Galium trifidum</i>	4	0,5	3,0	2,4	1,3	25,0	80,0	38,8	27,5
Prairie humide	Facultative	<i>Panicum flexile</i>	4	3,0	18,0	6,8	7,5	10,0	110,0	37,5	48,4
Prairie humide	Facultative	<i>Polygonum Persicaria</i>	4	0,5	3,0	1,1	1,3	7,0	13,0	10,0	2,9
Prairie humide	Facultative	<i>Xanthium strumarium</i>	4	3,0	18,0	6,8	7,5	15,0	70,0	46,3	28,1
Prairie humide	Facultative	<i>Agalinis paupercola</i>	3	0,5	18,0	6,3	10,1	5,0	10,0	7,3	2,5
Prairie humide	Facultative	<i>Taraxacum officinale</i>	3	0,5	0,5	0,5	0,0	7,0	12,0	10,0	2,6
Prairie humide	Facultative	<i>Cerastium fontanum</i>	2	0,5	0,5	0,5	0,0	10,0	10,0	10,0	0,0
Prairie humide	Facultative	<i>Poa annua</i>	2	3,0	18,0	10,5	10,6	6,0	23,0	14,5	12,0
Prairie humide	Facultative	<i>Potentilla norvegica</i>	2	0,5	0,5	0,5	0,0	10,0	20,0	15,0	7,1
Prairie humide	Facultative	<i>Symphyotricum lanceolatum</i>	2	3,0	3,0	3,0	0,0	30,0	60,0	45,0	21,2
Prairie humide	Facultative	<i>Symphyotricum ontarione</i>	2	3,0	3,0	3,0	0,0	30,0	120,0	75,0	63,6
Prairie humide	Facultative	<i>Amaranthus retroflexus</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	20,0	20,0	20,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Composée sp.</i>	1	3,0	3,0	3,0	-	10,0	10,0	10,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Cuscuta gronovii</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	120,0	120,0	120,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Elymus repens</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	7,0	7,0	7,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Epilobium palustre</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	20,0	20,0	20,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Festuca pratensis</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	25,0	25,0	25,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Galium boreale</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	90,0	90,0	90,0	-

A. 5 (suite 4)

Habitat	Type	Espèce	n	% recouvrement				Hauteur (cm)			
				min	max	moyenne	Écart-type	min	max	moyenne	Écart-type
Prairie humide	Facultative	<i>Lactuca biennis</i>	1	3,0	3,0	3,0	-	25,0	25,0	25,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Lathyrus japonicus</i>	1	3,0	3,0	3,0	-	45,0	45,0	45,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Menispermum canadense</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	10,0	10,0	10,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Oenothera perenis</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	10,0	10,0	10,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Osmunda claytoniana</i>	1	3,0	3,0	3,0	-	90,0	90,0	90,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Panicum Tuckermanni</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	5,0	5,0	5,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Polygonum aviculare</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	40,0	40,0	40,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Solanum betaceum</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	25,0	25,0	25,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Trifolium pratense</i>	1	3,0	3,0	3,0	-	10,0	10,0	10,0	-
Prairie humide	Facultative	<i>Veronica serpyllifolia</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	10,0	10,0	10,0	-
Prairie humide	-	Graminée sp.	23	0,5	87,5	38,7	34,9	1,0	18,2	70,0	15,9
Prairie humide	-	<i>Vicia Cracca</i>	13	0,5	18,0	4,9	6,1	10,0	36,4	70,0	21,8
Prairie humide	-	<i>Bidens</i> sp.	11	0,5	3,0	1,2	1,2	7,0	25,0	11,6	4,9
Prairie humide	-	<i>Hypericum perforatum</i>	7	0,5	63,0	12,6	22,4	10,0	50,0	21,1	13,7
Prairie humide	-	<i>Galium</i> sp.	5	0,5	8,0	2,5	3,3	4,0	20,0	11,8	6,0
Prairie humide	-	<i>Polygonum</i> sp.	5	0,5	3,0	1,0	1,1	1,0	10,0	7,2	4,1
Prairie humide	-	<i>Thelypteris palustris</i>	5	0,5	18,0	6,0	7,4	15,0	65,0	42,0	21,1
Prairie humide	-	<i>Convolvulus arvensis</i>	4	3,0	18,0	11,8	7,5	85,0	200,0	142,5	48,0
Prairie humide	-	<i>Chenopodium polyspermum</i>	3	0,5	3,0	2,2	1,4	20,0	60,0	40,0	20,0
Prairie humide	-	<i>Solidago</i> sp.	3	0,5	3,0	1,3	1,4	5,0	75,0	43,3	35,5
Prairie humide	-	<i>Trifolium aureum</i>	3	0,5	3,0	2,2	1,4	2,0	6,0	4,0	2,0
Prairie humide	-	<i>Aster</i> sp.	1	0,5	0,5	0,5	-	20,0	20,0	20,0	-
Prairie humide	-	<i>Chamaesyce vermiculata</i>	1	3,0	3,0	3,0	-	25,0	25,0	25,0	-
Prairie humide	-	<i>Conyza canadensis</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	35,0	35,0	35,0	-
Prairie humide	-	Crucifère sp.	1	0,5	0,5	0,5	-	15,0	15,0	15,0	-
Prairie humide	-	<i>Hypericum</i> sp.	1	0,5	0,5	0,5	-	27,0	27,0	27,0	-

A. 5 (suite 5)

Habitat	Type d'hydrophyte	Espèce	n	% recouvrement				Hauteur (cm)			
				min	max	moyenne	Écart-type	min	max	moyenne	Écart-type
Prairie humide	-	<i>Leontodon autumnalis</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	40,0	40,0	40,0	-
Prairie humide	-	<i>Vaccaria hispanica</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	1,0	1,0	1,0	-
Prairie humide	-	<i>Viola</i> sp.	1	0,5	0,5	0,5	-	6,0	6,0	6,0	-
Marais	Obligatoire	<i>Bolboschoenus fluviatilis</i>	212	0,5	87,5	24,1	23,9	10,0	230,0	140,4	45,2
Marais	Obligatoire	<i>Sagittaria latifolia</i>	206	0,5	87,5	12,1	16,0	4,0	145,0	61,0	31,0
Marais	Obligatoire	<i>Schoenoplectus Lacustris</i>	190	0,5	87,5	10,5	15,6	10,0	300,0	158,1	49,9
Marais	Obligatoire	<i>Eleocharis Smallii</i>	148	0,5	87,5	26,6	29,0	1,0	155,0	62,8	34,5
Marais	Obligatoire	<i>Schoenoplectus pungens</i>	134	0,5	87,5	22,5	27,5	5,0	200,0	102,1	43,2
Marais	Obligatoire	<i>Typha angustifolia</i>	95	0,5	87,5	24,5	25,7	5,0	275,0	199,9	67,9
Marais	Obligatoire	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	90	0,5	87,5	6,4	12,2	1,0	120,0	31,4	28,9
Marais	Obligatoire	<i>Butomus umbellatus</i>	90	0,5	87,5	13,6	17,9	3,0	150,0	81,8	33,1
Marais	Obligatoire	<i>Eleocharis acicularis</i>	90	0,5	87,5	19,8	24,1	1,0	25,0	5,4	4,4
Marais	Obligatoire	<i>Pontederia cordata</i>	62	0,5	37,5	7,1	8,4	20,0	140,0	71,2	30,3
Marais	Obligatoire	<i>Equisetum fluviatile</i>	26	0,5	18,0	2,3	3,8	5,0	90,0	53,7	23,1
Marais	Obligatoire	<i>Lindernia dubia</i>	26	0,5	18,0	3,8	4,6	1,0	12,0	5,2	3,3
Marais	Obligatoire	<i>Eragrostis hypnoides</i>	16	0,5	63,0	7,8	15,7	1,0	25,0	11,0	7,3
Marais	Obligatoire	<i>Dulichium arundinaceum</i>	14	0,5	18,0	5,0	5,8	15,0	60,0	47,0	12,5
Marais	Obligatoire	<i>Eleocharis erythropoda</i>	13	0,5	63,0	16,3	21,4	3,0	35,0	16,4	7,2
Marais	Obligatoire	<i>Acorus calamus</i>	12	0,5	18,0	5,5	4,9	90,0	160,0	120,8	18,1
Marais	Obligatoire	<i>Zizania aquatica</i>	10	0,5	8,0	2,8	3,0	40,0	270,0	133,5	81,1
Marais	Obligatoire	<i>Typha latifolia</i>	9	0,5	18,0	7,7	6,4	130,0	240,0	191,1	37,8
Marais	Obligatoire	<i>Juncus canadensis</i>	7	0,5	18,0	7,6	7,4	15,0	70,0	41,4	23,0
Marais	Obligatoire	<i>Eleocharis obtusa</i>	5	0,5	63,0	15,0	27,0	12,0	30,0	21,4	6,7
Marais	Obligatoire	<i>Equisetum litorale</i>	5	0,5	8,0	2,0	3,4	15,0	90,0	43,6	33,8
Marais	Obligatoire	<i>Eriocaulon aquaticum</i>	3	0,5	3,0	1,3	1,4	3,0	10,0	7,0	3,6
Marais	Obligatoire	<i>Juncus dudleyi</i>	3	0,5	37,5	13,7	20,7	25,0	60,0	48,3	20,2

A. 5 (suite 6)

Habitat	Type	Espèce	n	% recouvrement				Hauteur (cm)			
				min	max	moyenne	Écart-type	min	max	moyenne	Écart-type
Marais	Obligatoire	<i>Juncus articulatus</i>	2	0,5	0,5	0,5	0,0	35,0	70,0	52,5	24,7
Marais	Obligatoire	<i>Carex aquatilis</i>	1	3,0	3,0	3,0	-	45,0	45,0	45,0	-
Marais	Obligatoire	<i>Carex trichocarpa</i>	1	8,0	8,0	8,0	-	80,0	80,0	80,0	-
Marais	Obligatoire	<i>Carex tuckermanii</i>	1	8,0	8,0	8,0	-	65,0	65,0	65,0	-
Marais	Obligatoire	<i>Juncus brevicaudatus</i>	1	3,0	3,0	3,0	-	75,0	75,0	75,0	-
Marais	Obligatoire	<i>Juncus compressus</i>	1	3,0	3,0	3,0	-	18,0	18,0	18,0	-
Marais	Obligatoire	<i>Juncus nodosus</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	15,0	15,0	15,0	-
Marais	Facultative	<i>Cyperus esculentus</i>	26	0,5	63,0	12,0	15,6	5,0	85,0	35,9	20,0
Marais	Facultative	<i>Cyperus squarrosus</i>	20	0,5	63,0	5,8	14,1	1,0	15,0	4,8	3,2
Marais	Facultative	<i>Cyperus dentatus</i>	12	0,5	63,0	12,1	19,3	1,0	75,0	16,3	20,2
Marais	Facultative	<i>Juncus filiformis</i>	12	0,5	37,5	15,8	14,6	15,0	80,0	60,7	16,7
Marais	Facultative	<i>Equisetum arvense</i>	5	0,5	8,0	3,5	2,7	5,0	75,0	23,0	29,3
Marais	Facultative	<i>Carex cumulata</i>	3	8,0	18,0	11,3	5,8	30,0	43,0	36,7	6,5
Marais	Facultative	<i>Cyperus diandrus</i>	3	3,0	8,0	4,7	2,9	3,0	15,0	9,3	6,0
Marais	Facultative	<i>Carex sparganoides</i>	2	8,0	37,5	22,7	20,8	56,0	95,0	75,5	27,5
Marais	Facultative	<i>Cyperus sp.</i>	1	0,5	0,5	0,5	-	10,0	10,0	10,0	-
Marais	Facultative	<i>Equisetum palustre</i>	1	3,0	3,0	3,0	-	45,0	45,0	45,0	-
Marais	Facultative	<i>Juncus articus</i>	1	8,0	8,0	8,0	-	50,0	50,0	50,0	-
Marais	-	<i>Carex sp.</i>	15	0,5	18,0	3,5	4,5	12,0	140,0	60,1	33,7
Marais	-	<i>Eleocharis sp.</i>	5	0,5	18,0	5,0	7,4	5,0	100,0	34,2	34,7
Sub. f. flottantes	Obligatoire	<i>Nymphaea odorata</i>	75	0,5	87,5	24,2	26,3	1,0	105,0	36,8	22,3
Sub. f. flottantes	Obligatoire	<i>Nuphar variegata</i>	69	0,5	87,5	25,3	24,7	1,0	92,0	47,4	21,6
Sub-Libre	Obligatoire	<i>Lemna minor</i>	52	0,5	87,5	2,5	12,1	1,0	1,0	1,0	0,0
Sub-Libre	Obligatoire	<i>Ceratophyllum demersum</i>	24	0,5	37,5	3,3	7,5	15,0	45,0	28,1	14,9
Sub-Libre	Obligatoire	<i>Lemna trisulca</i>	13	0,5	18,0	4,5	5,3	1,0	1,0	1,0	0,0

A. 5 (suite 7)

Habitat	Type	Espèce	n	min	% recouvrement			Hauteur (cm)			
					max	moyenne	Écart-type	min	max	moyenne	Écart-type
Submergé	Obligatoire	<i>Vallisneria americana</i>	147	0,5	87,5	20,5	24,5	1,0	56,0	16,0	11,9
Submergé	Obligatoire	<i>Elodea canadensis</i>	128	0,5	87,5	13,5	22,0	1,0	81,0	35,9	21,0
Submergé	Obligatoire	<i>Heteranthera dubia</i>	98	0,5	87,5	7,3	12,7	1,0	52,0	19,7	14,6
Submergé	Obligatoire	<i>Myriophyllum</i> sp.	94	0,5	87,5	16,2	26,3	2,0	100,0	39,3	26,9
Submergé	Obligatoire	<i>Potamogeton Richardsonii</i>	81	0,5	87,5	13,4	20,4	1,0	140,0	30,8	21,3
Submergé	Obligatoire	<i>Elodea nuttallii</i>	36	0,5	87,5	12,1	20,8	3,0	38,0	17,8	9,8
Submergé	Obligatoire	<i>Utricularia vulgaris</i>	27	0,5	63,0	20,4	22,2	10,0	48,0	28,4	10,0
Submergé	Obligatoire	<i>Stuckenia pectinata</i>	11	0,5	18,0	4,1	5,4	4,0	69,0	39,5	21,4
Submergé	Obligatoire	<i>Potamogeton oakesianus</i>	9	3,0	18,0	8,0	6,1	5,0	45,0	20,1	16,2
Submergé	Obligatoire	<i>Potamogeton robinsii</i>	9	0,5	63,0	19,3	21,9	15,0	45,0	31,0	12,1
Submergé	Obligatoire	<i>Ranunculus aquatilis</i>	7	0,5	8,0	3,4	3,4	1,0	20,0	11,7	7,3
Submergé	Obligatoire	<i>Potamogeton perfoliatus</i>	4	0,5	3,0	2,4	1,3	26,0	27,0	26,5	0,6
Submergé	Obligatoire	<i>Potamogeton amplifolius</i>	3	8,0	37,5	21,2	15,0	18,0	55,0	37,8	19,0
Submergé	Obligatoire	<i>Crassula aquatica</i>	2	3,0	3,0	3,0	0,0	15,0	20,0	17,5	3,5
Submergé	Obligatoire	<i>Najas flexilis</i>	2	0,5	0,5	0,5	0,0	25,0	25,0	25,0	0,0
Submergé	Obligatoire	<i>Potamogeton Friesii</i>	2	0,5	0,5	0,5	0,0	72,0	77,0	74,5	3,5
Submergé	Obligatoire	<i>Potamogeton gramineus</i>	2	3,0	3,0	3,0	0,0	33,0	41,0	37,0	5,7
Submergé	Obligatoire	<i>Potamogeton zosteriformis</i>	2	3,0	8,0	5,5	3,5	5,0	47,0	26,0	29,7
Submergé	Obligatoire	<i>Potamogeton epihydrus</i>	1	3,0	3,0	3,0	-	58,0	58,0	58,0	-
Submergé	Obligatoire	<i>Potamogeton pusillus</i>	1	18,0	18,0	18,0	-	57,0	57,0	57,0	-
Sub-Algale	Obligatoire	<i>Algues filamenteuses</i>	82	0,5	87,5	20,6	24,6	1,0	5,0	2,9	1,4
Sub-Algale	Obligatoire	<i>Chara</i> sp.	70	0,5	87,5	47,6	36,7	1,0	10,0	7,6	2,7
Sub-Algale	Obligatoire	<i>Cladophora</i> sp.	34	0,5	87,5	32,2	27,8	2,0	5,0	2,9	1,4
Sub-Algale	Obligatoire	<i>Nitella</i>	6	0,5	37,5	14,9	17,7	9,0	15,0	12,3	2,2
Sub-Algale	Obligatoire	<i>Spirodela polyrhisa</i>	4	0,5	0,5	0,5	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0

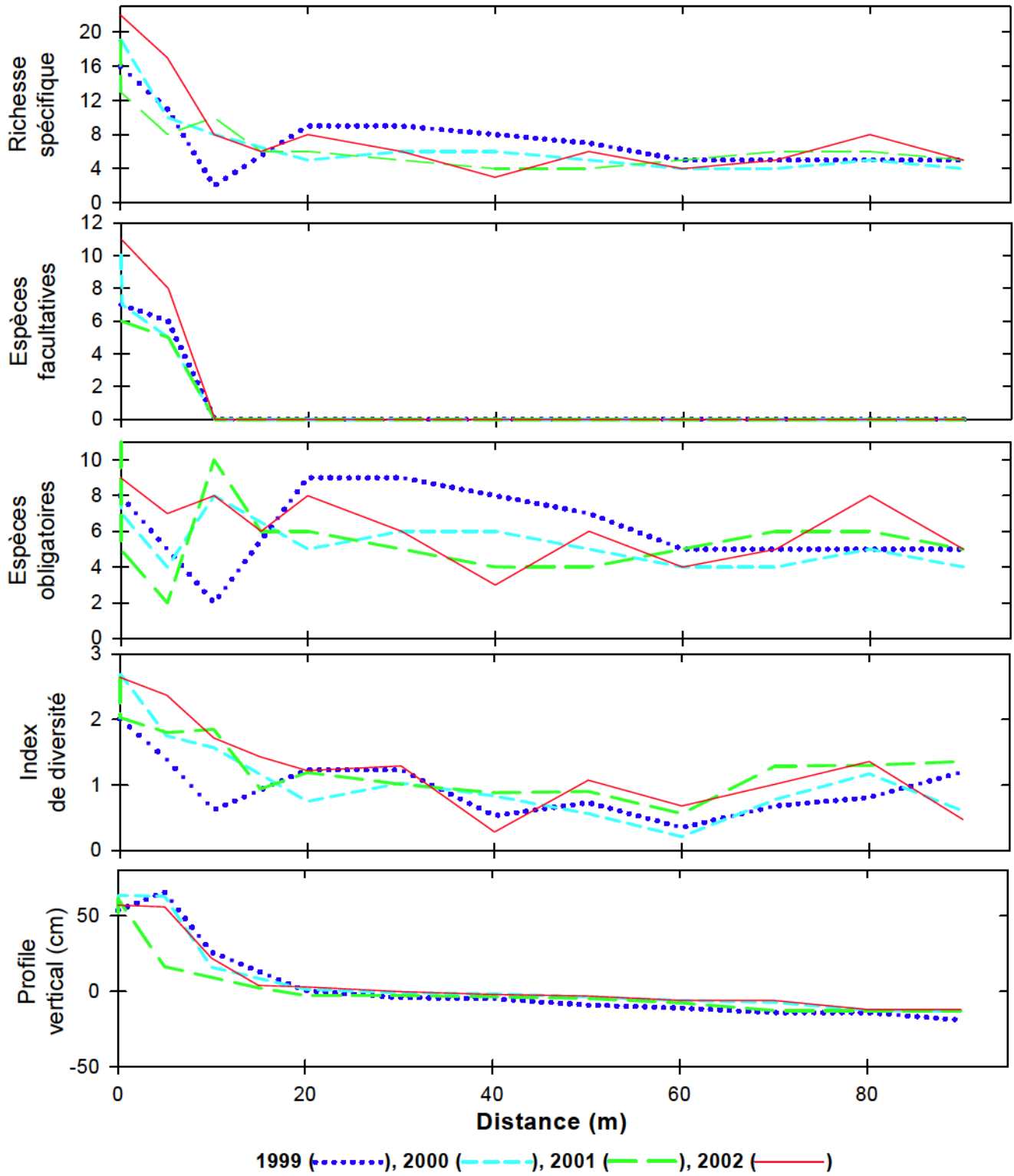
A. 5 (suite 8)

Habitat	Type d'hydrophyte	Espèce	n	min	% recouvrement			Hauteur (cm)			
					max	moyenne	Écart-type	min	max	moyenne	Écart-type
Muscinale	-	<i>Muscinea (mousses)</i>	73	0,5	87,5	23,1	29,1	1,0	1,0	1,0	0,0

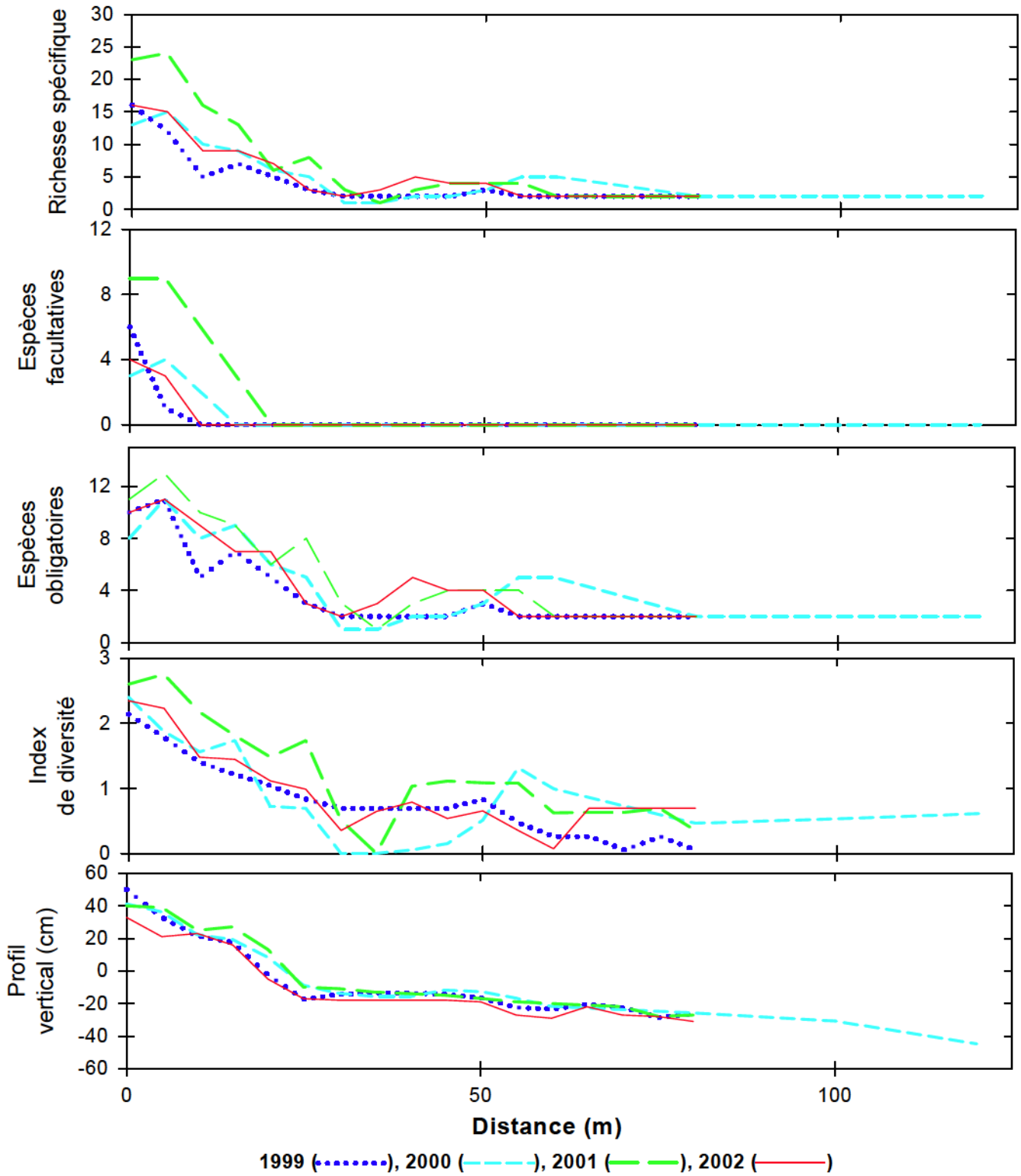
* L'espèce dite *Lythrum salicaria* combine *Lythrum salicaria-Petit* (nouvelles pousses de l'année), *Lythrum salicaria-Grand* (plantes adultes) ainsi que *Lythrum salicaria* (plantes mélangées dont la taille n'a pas été spécifiée)

6 Variations inter-annuelles (1999-2002) de la richesse spécifique, du nombre d'espèces facultatives et obligatoires ainsi que de l'indice de diversité H en fonction de la distance le long des transects

6a Lac Saint-François – Pointe Dupuis

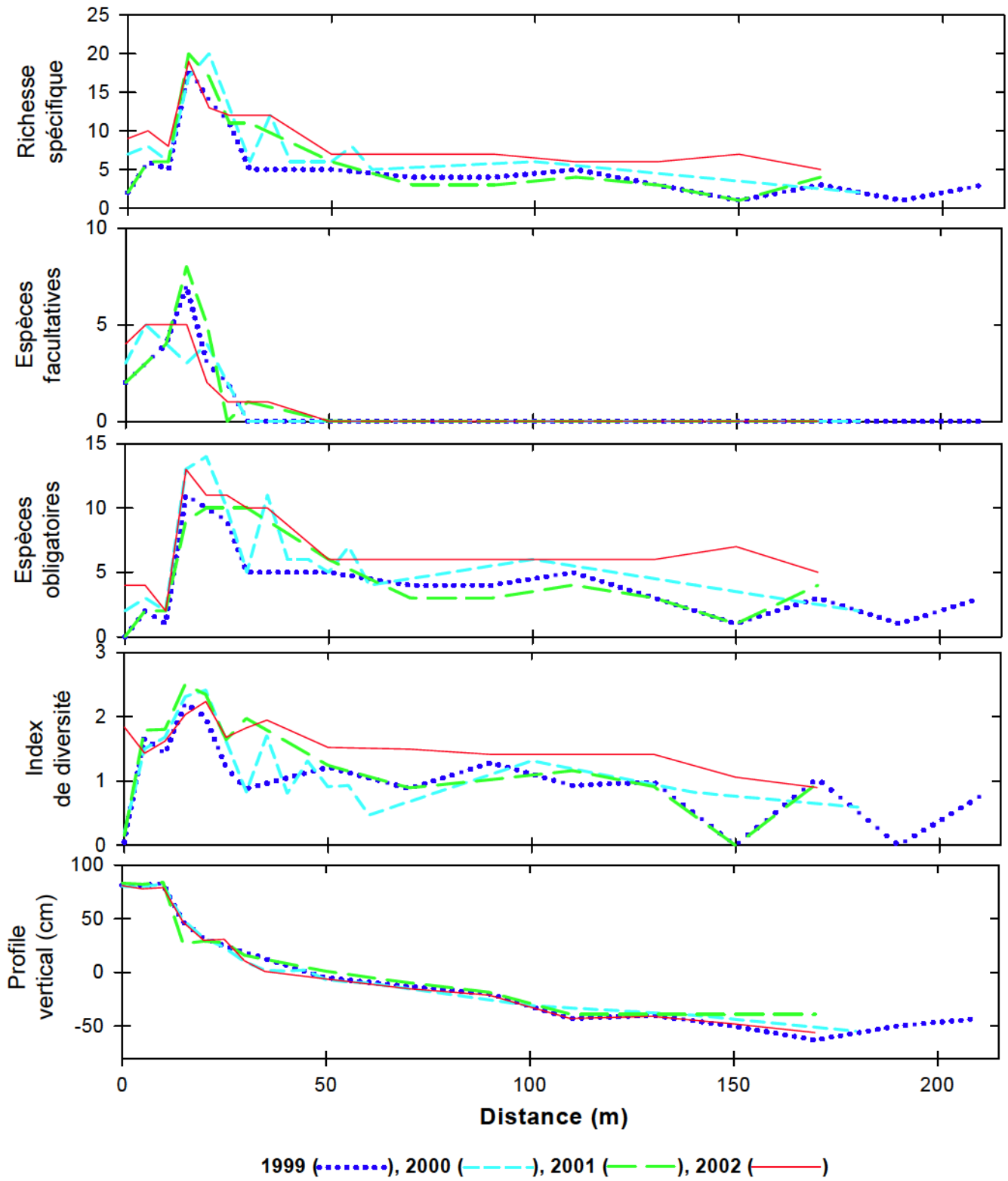


6b Lac des Deux-Montagnes – île Hay

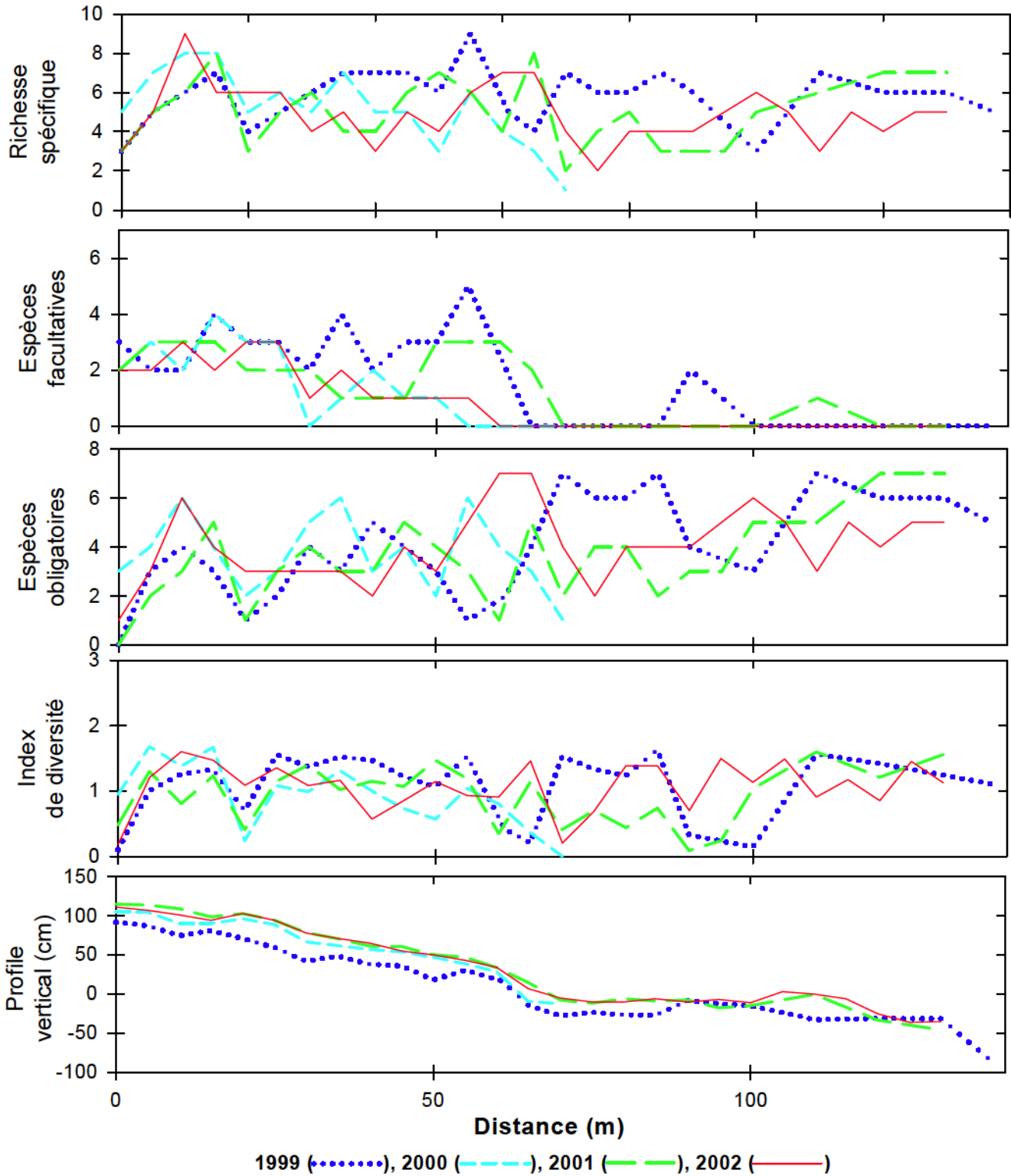


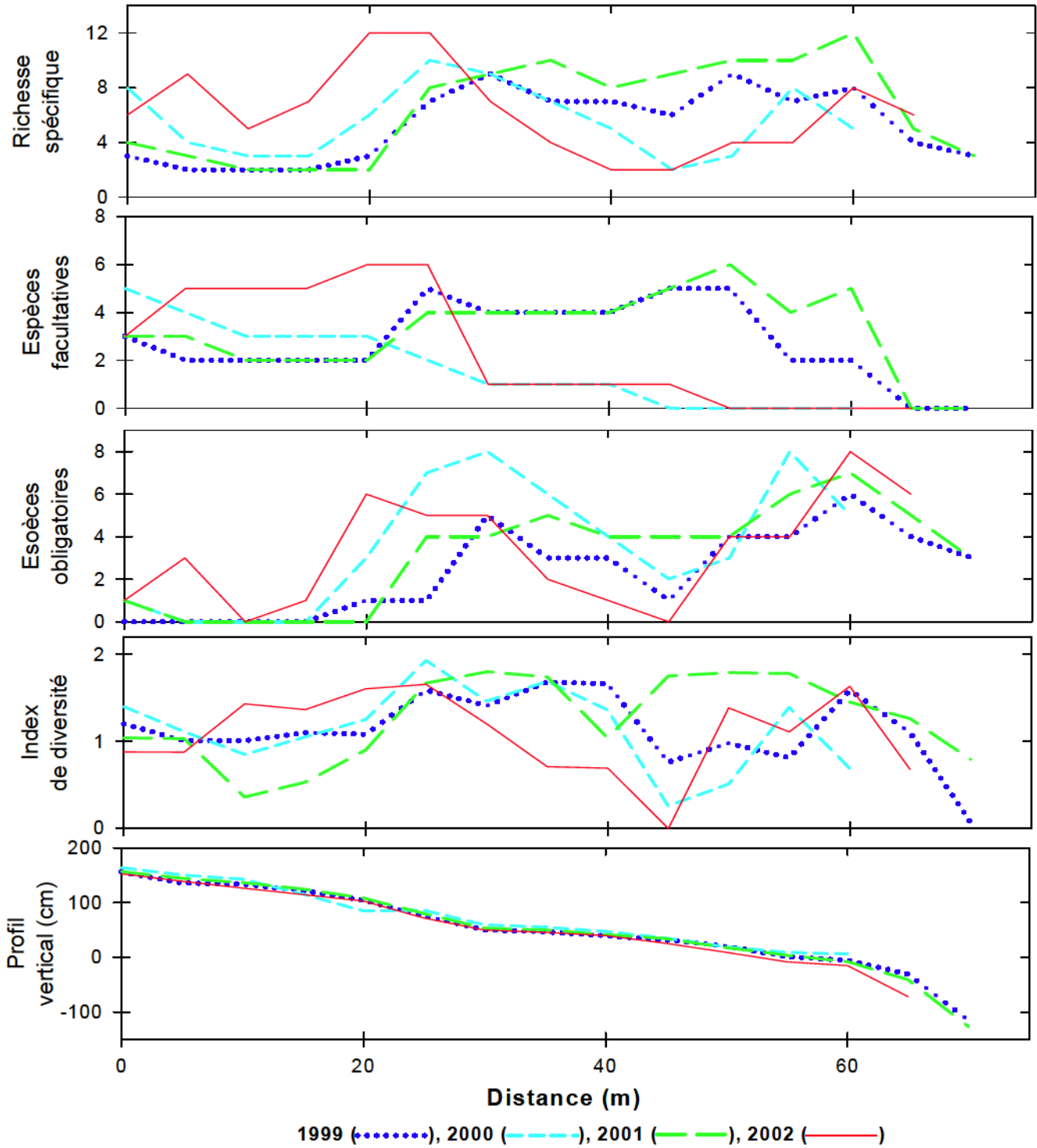
6c

Lac des Deux-Montagnes – baie des Indiens



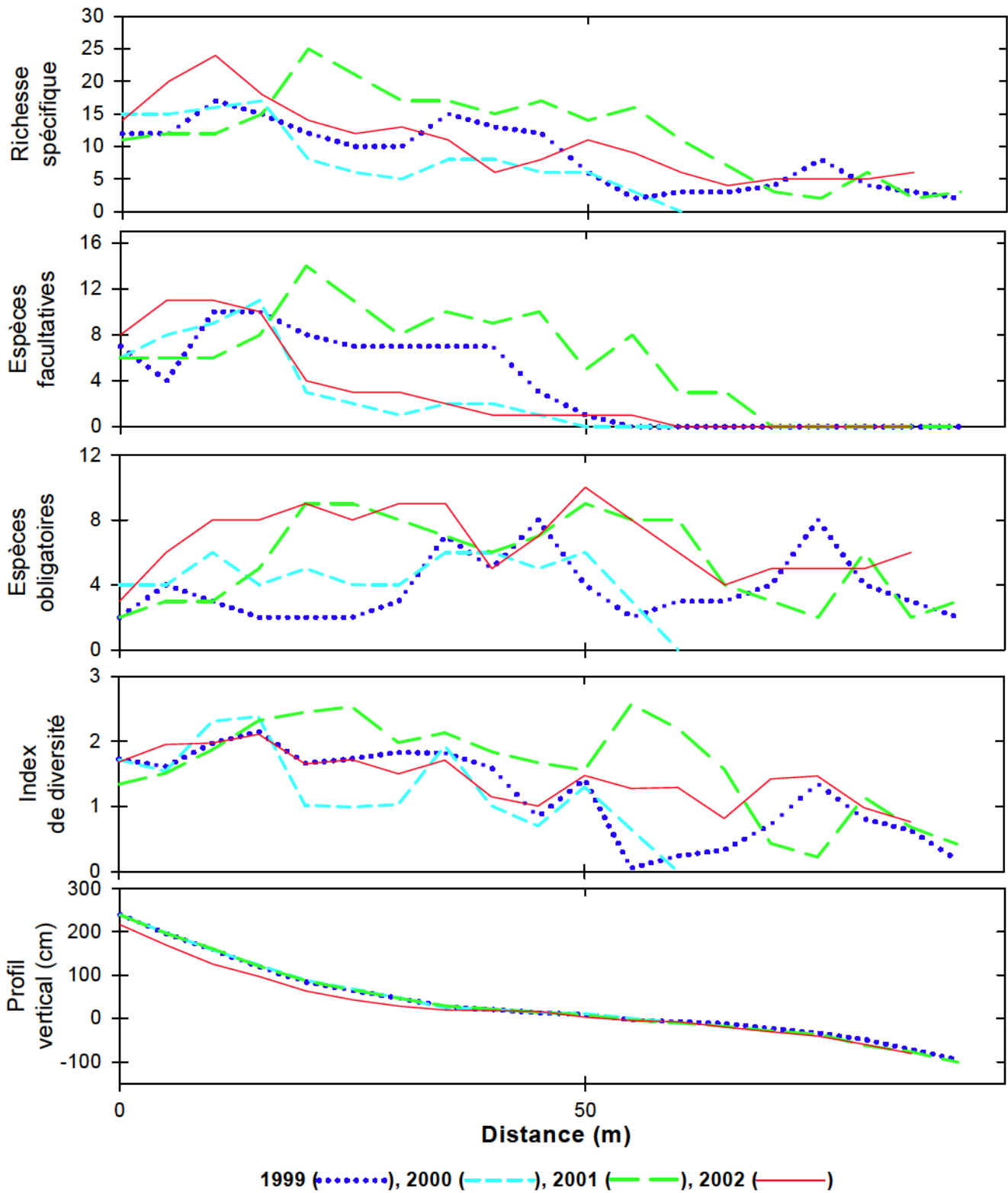
6d Région Montréalaise – Boucherville

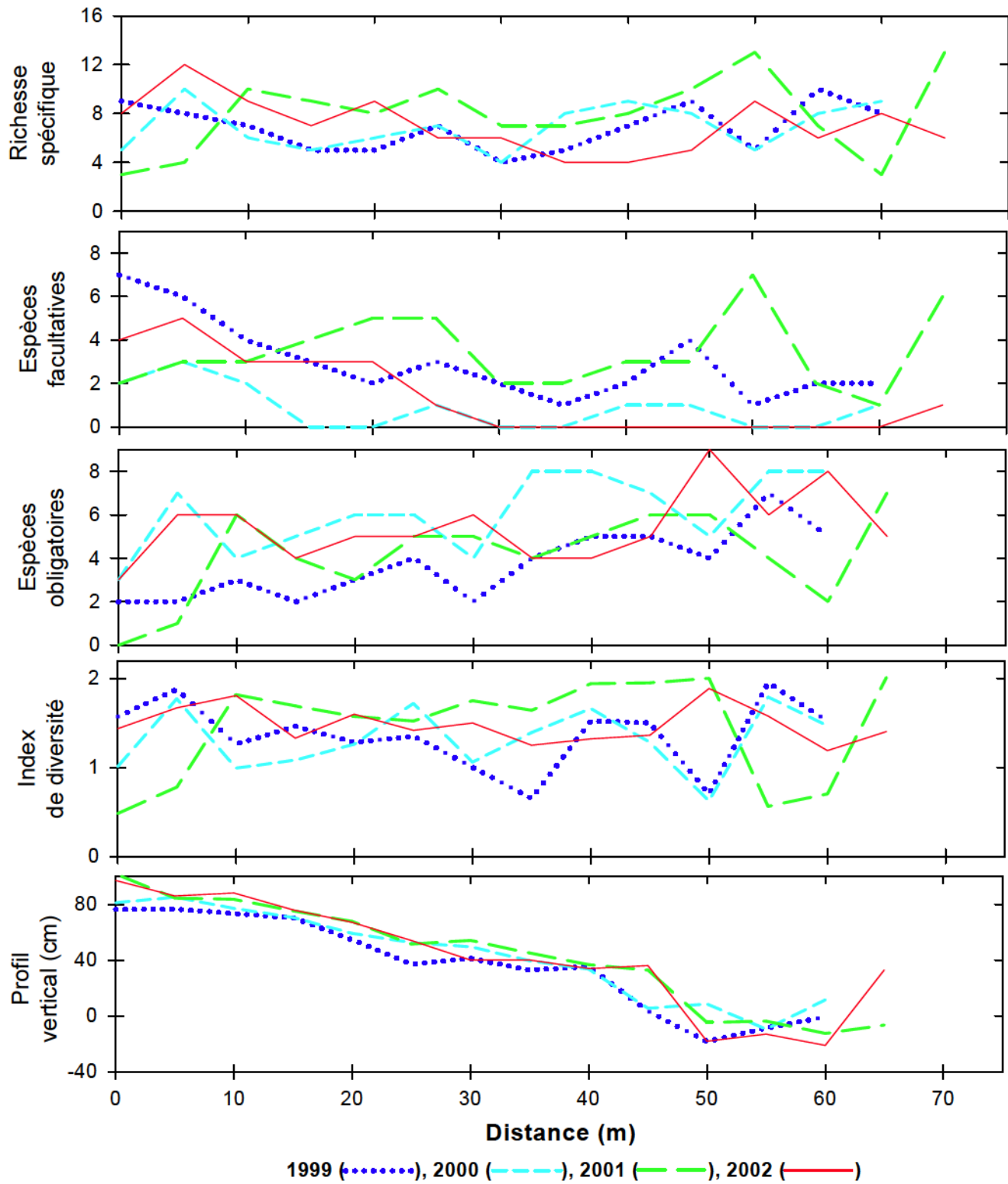




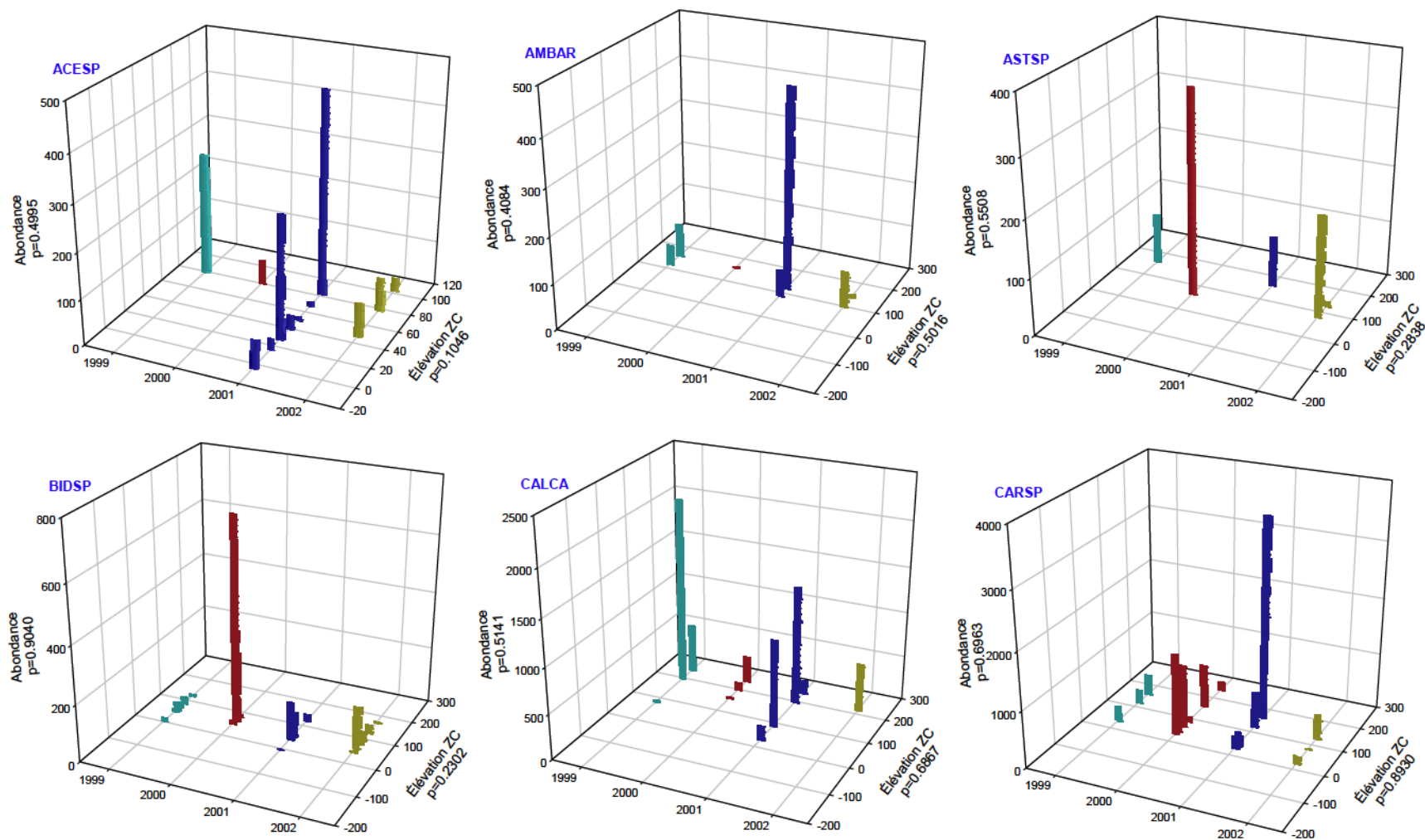
6f

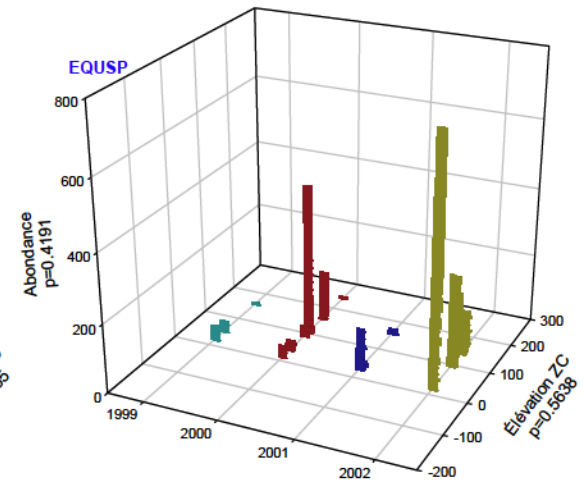
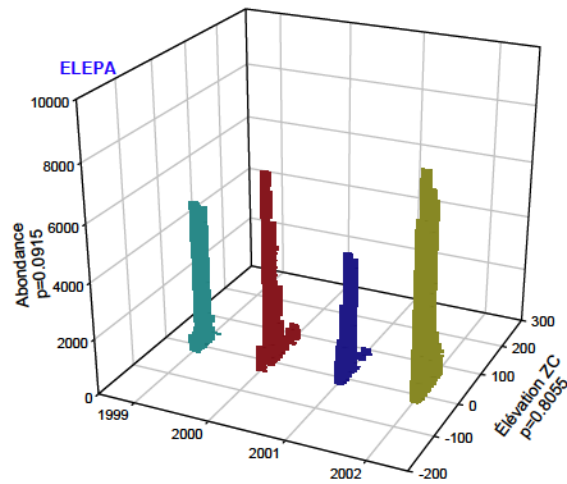
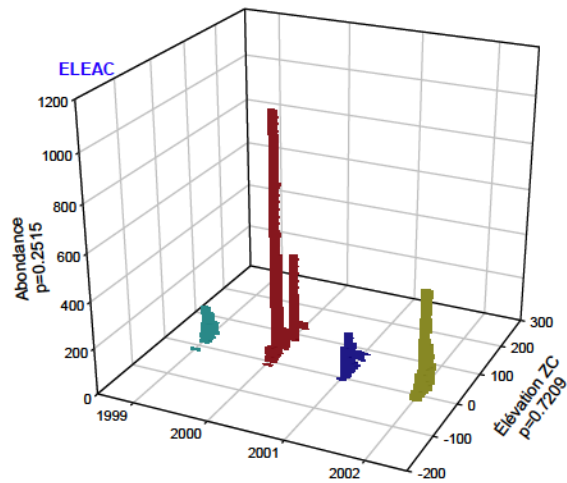
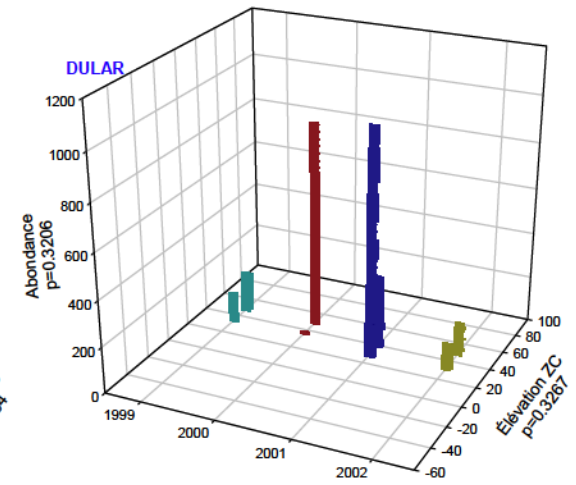
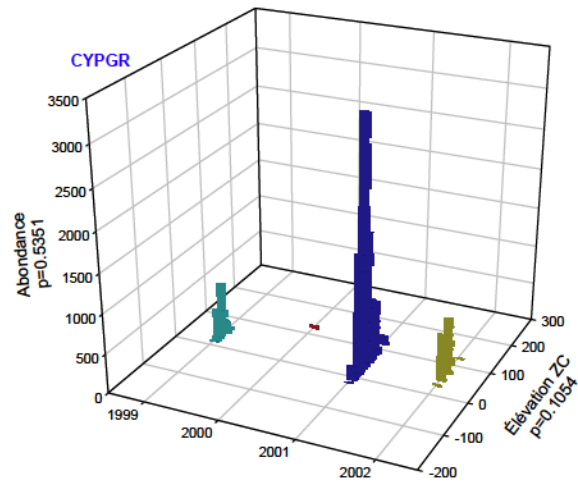
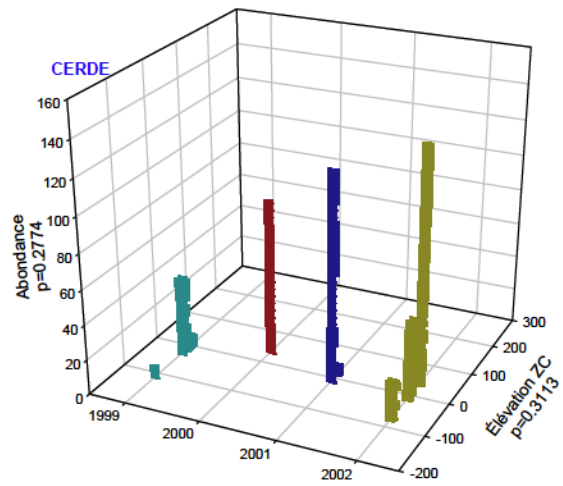
Région Montréalaise – île aux Cerfeuils

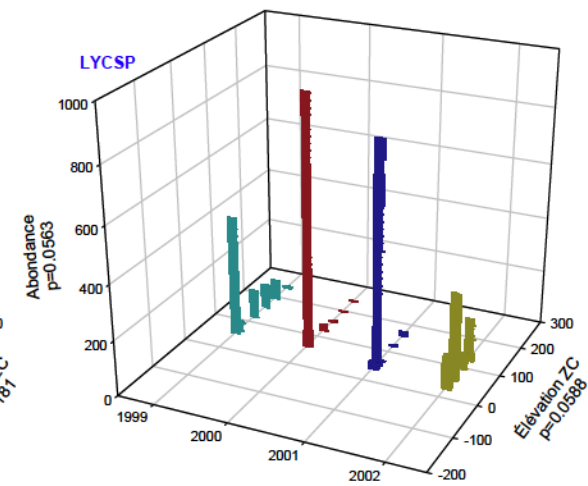
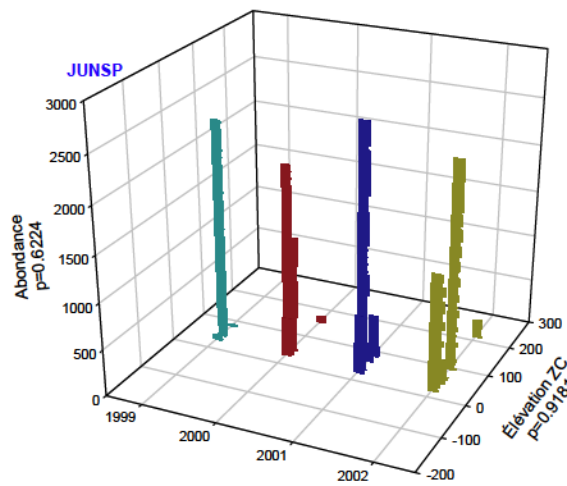
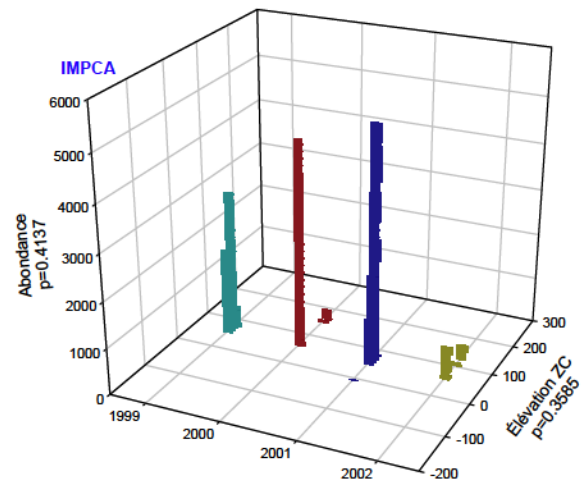
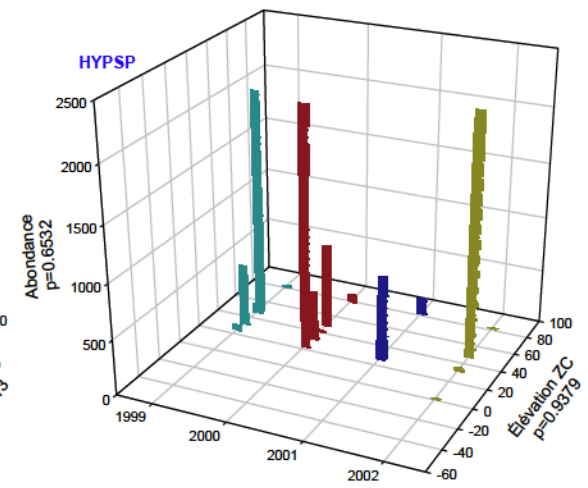
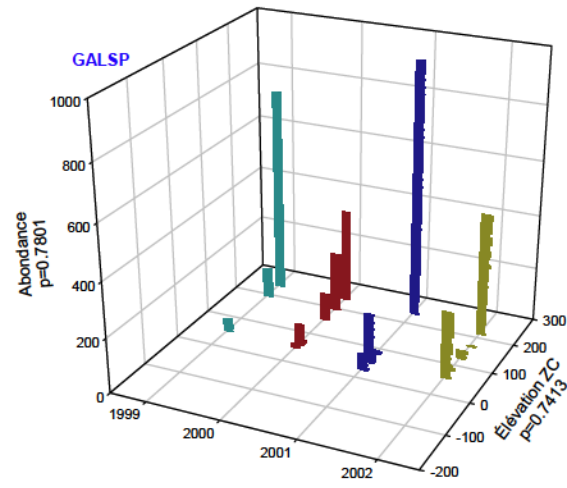
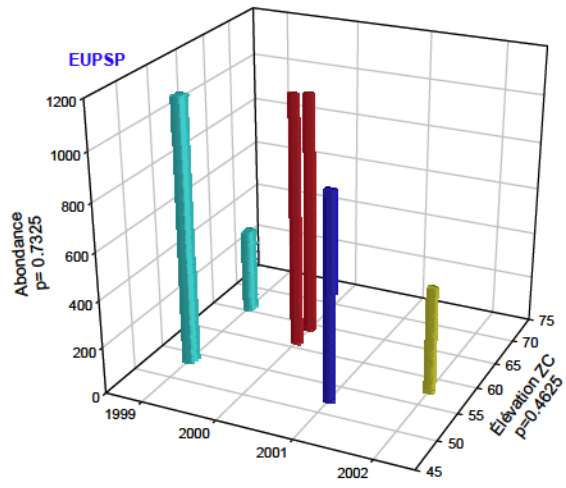


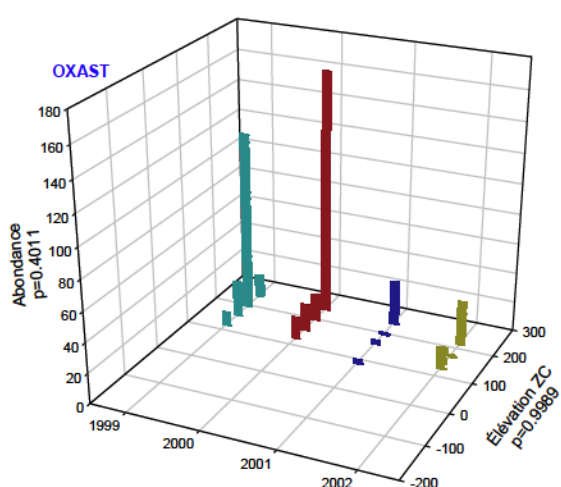
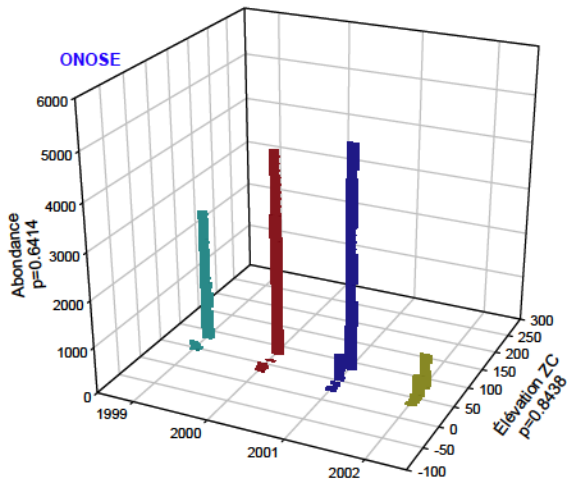
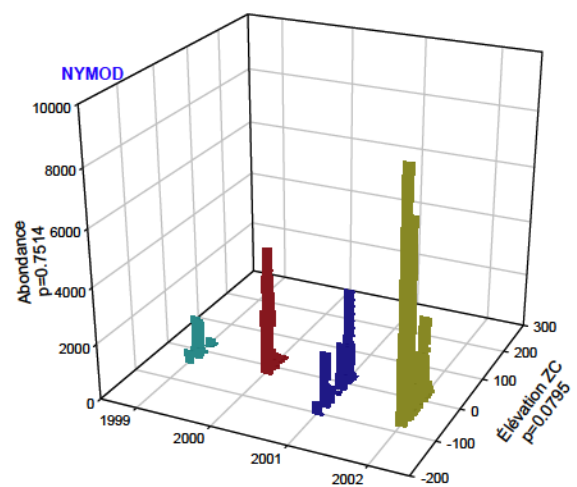
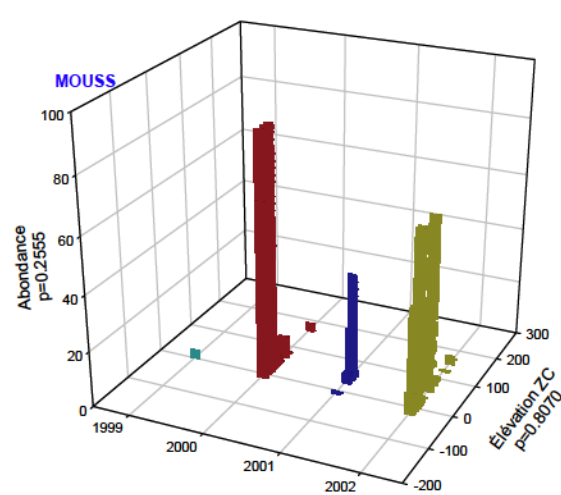
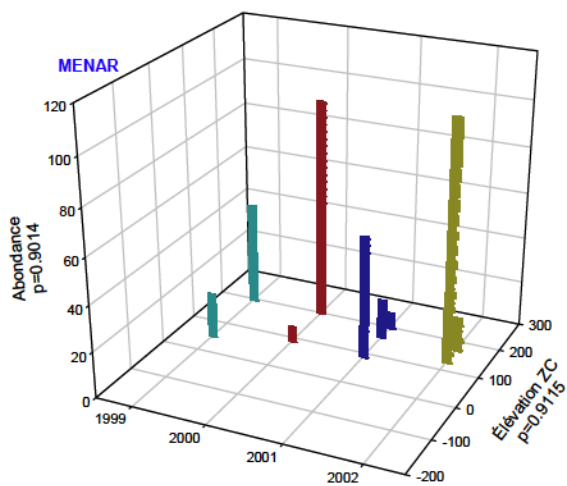
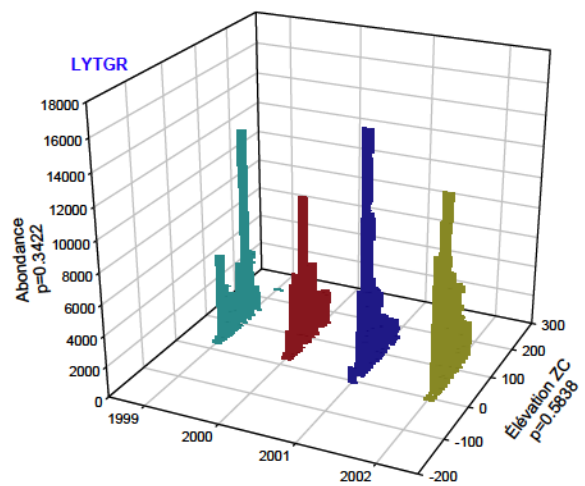


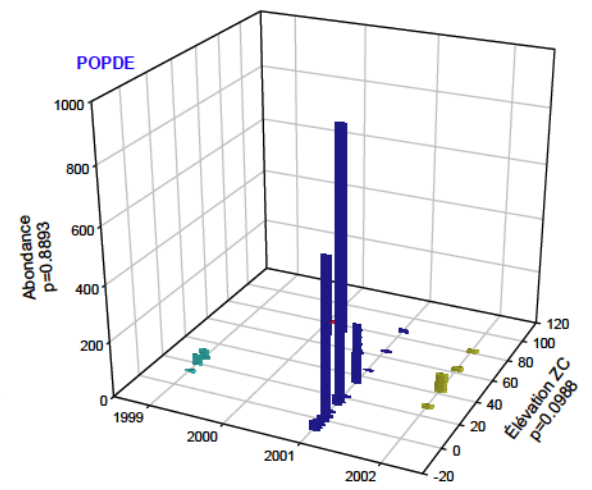
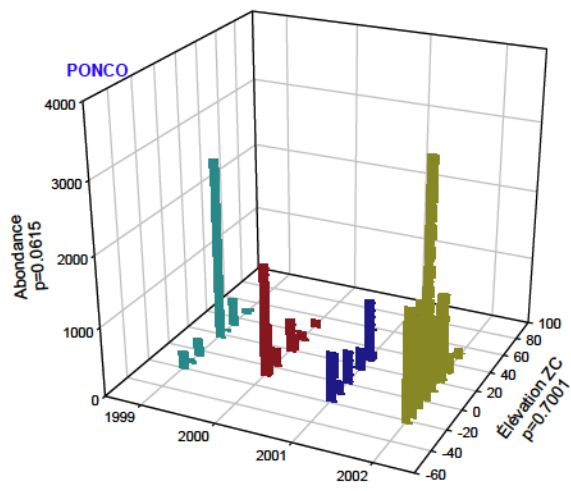
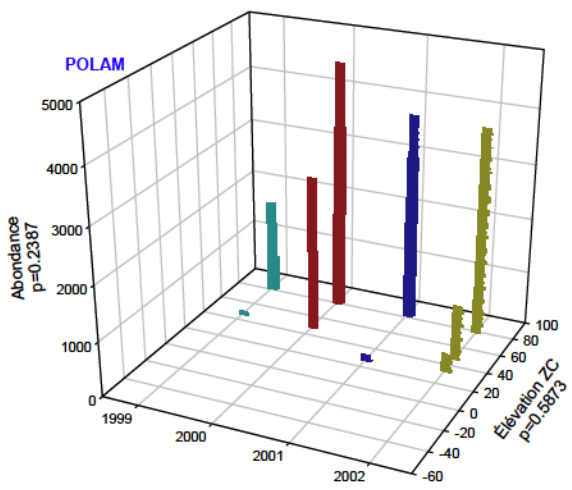
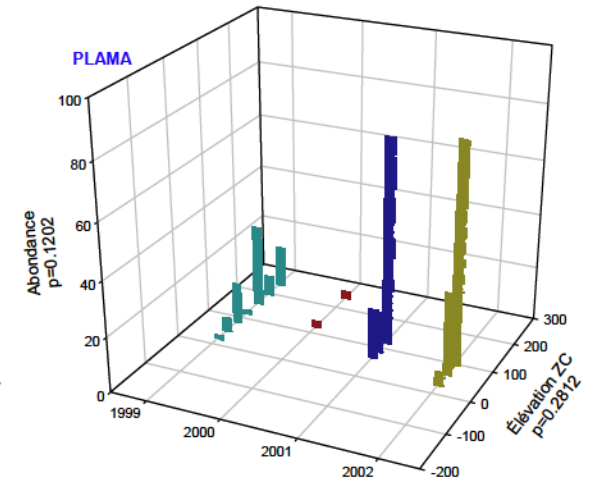
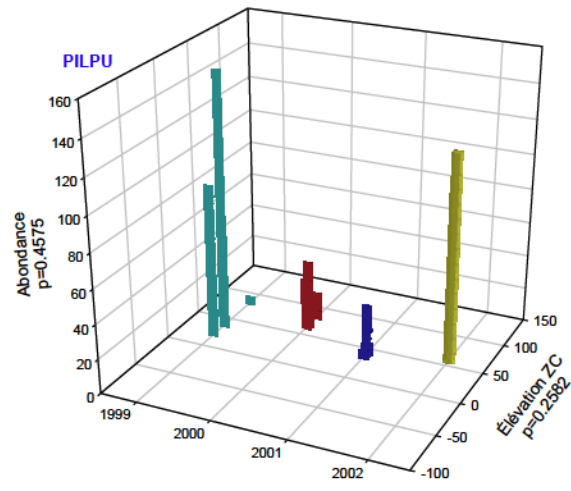
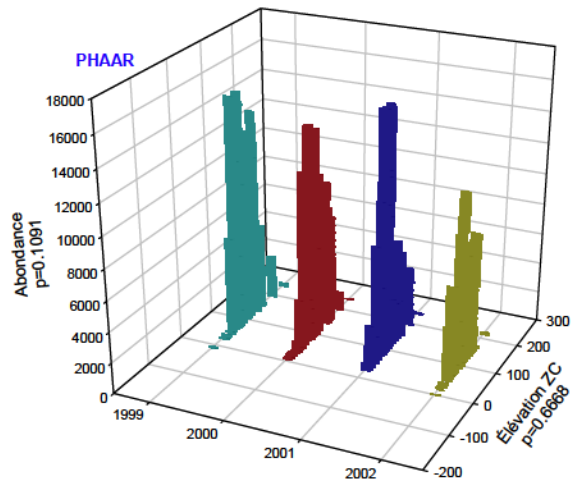
7a **Patron de variation d'abondance et d'élévation pour les 44 espèces présentant aucune variation significative d'abondance et d'élévation entre les années. La valeur p du test Kruskal-Wallis est indiqué aux axes**

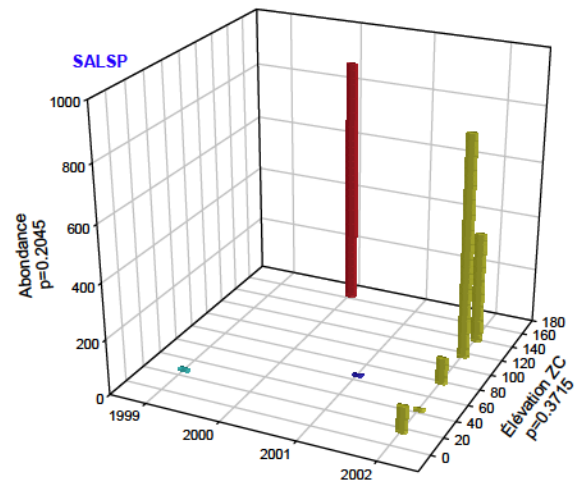
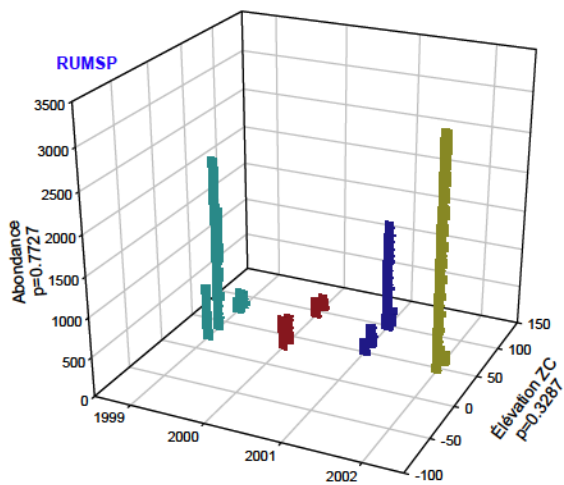
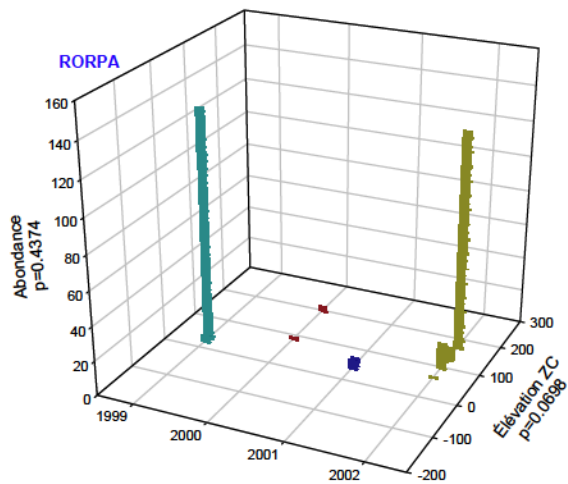
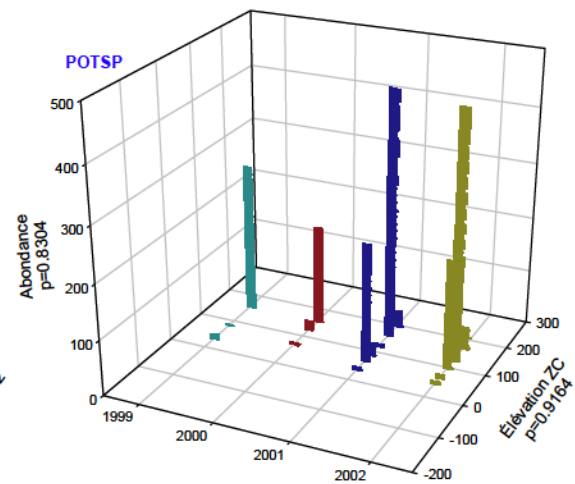
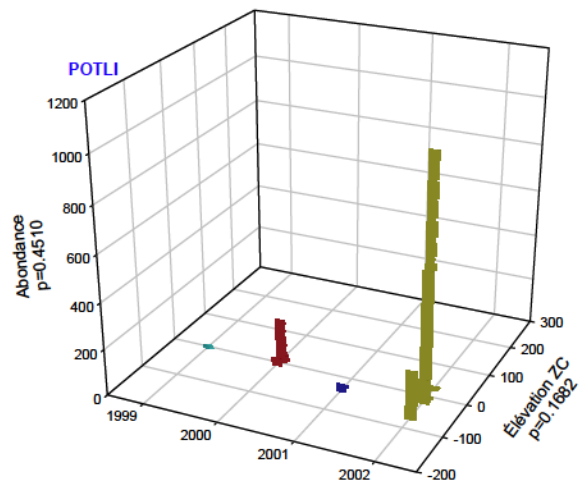
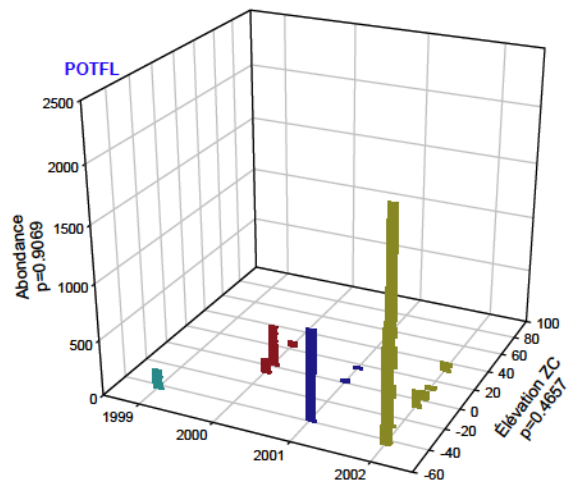


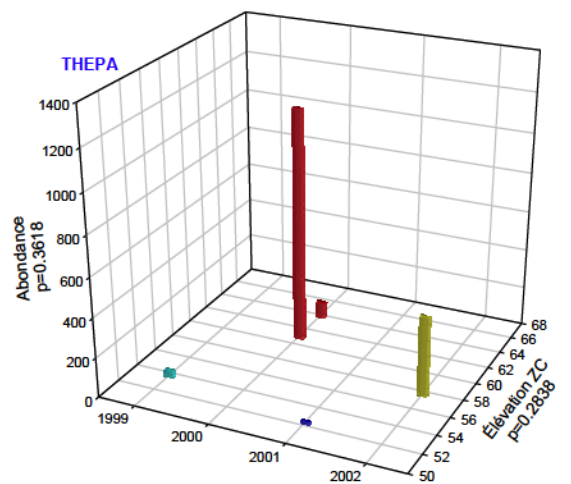
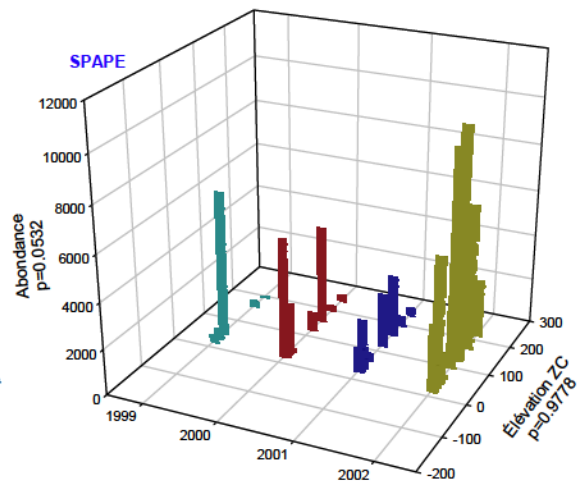
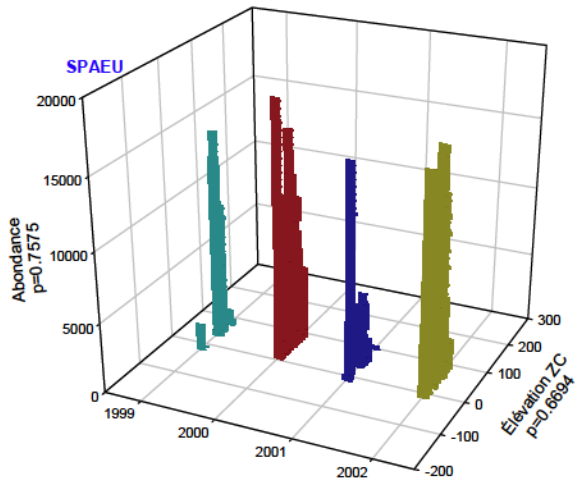
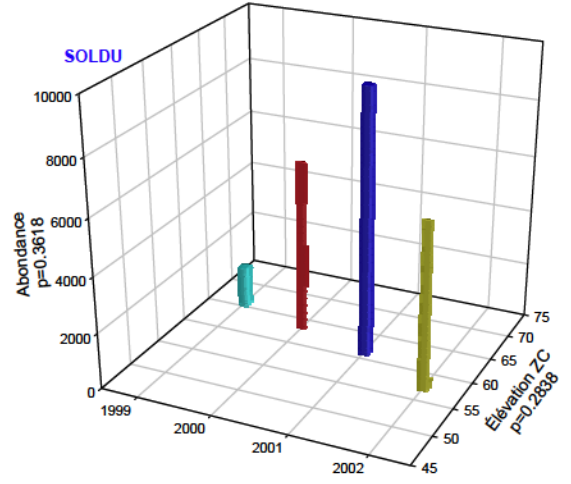
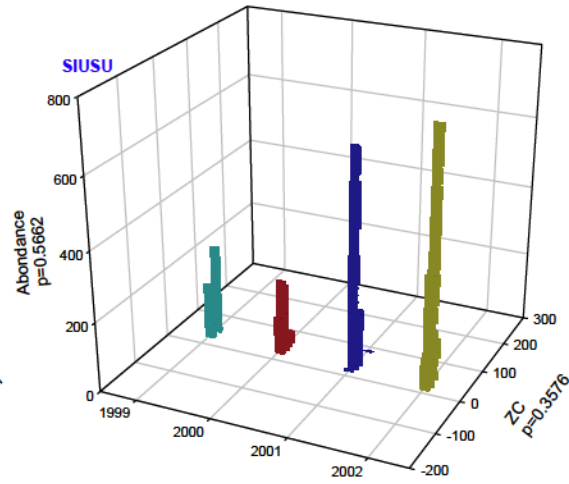
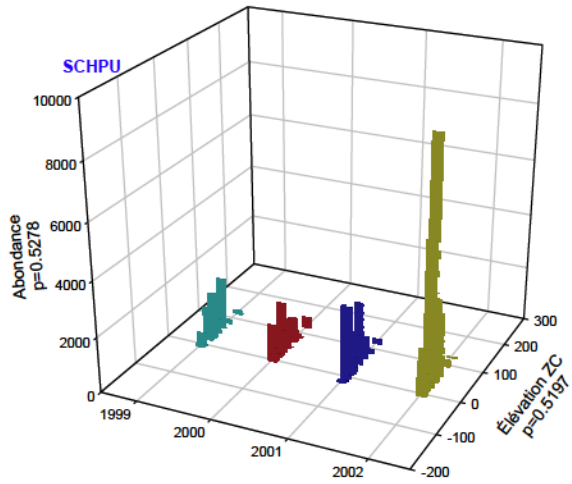


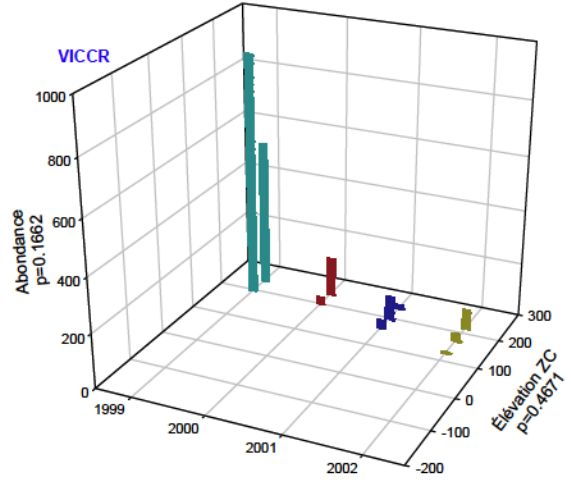
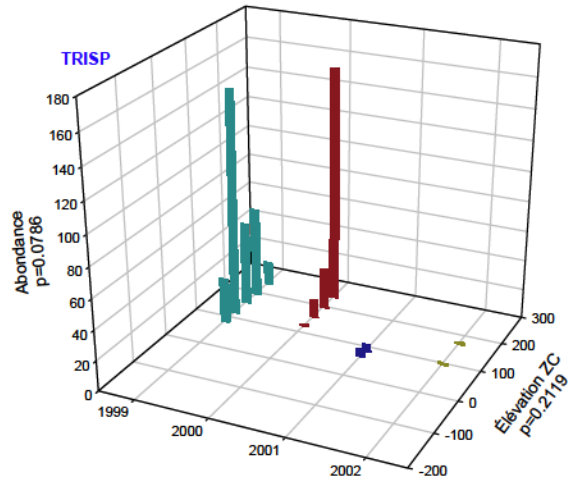






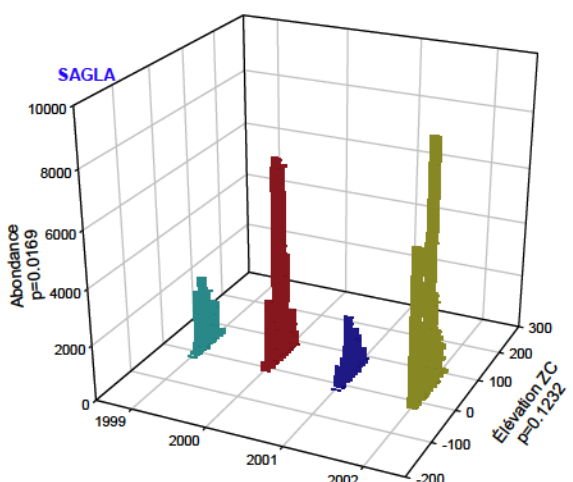
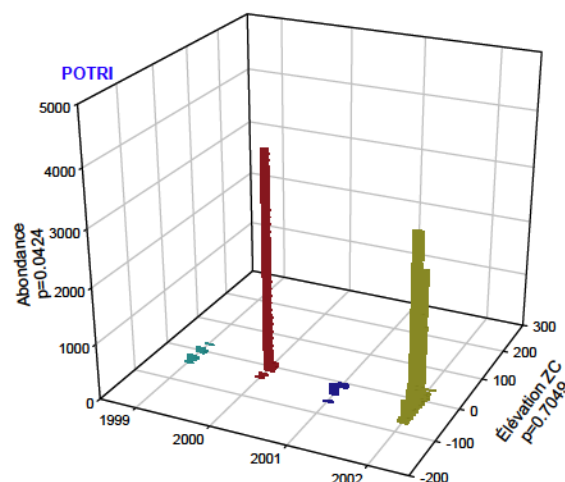
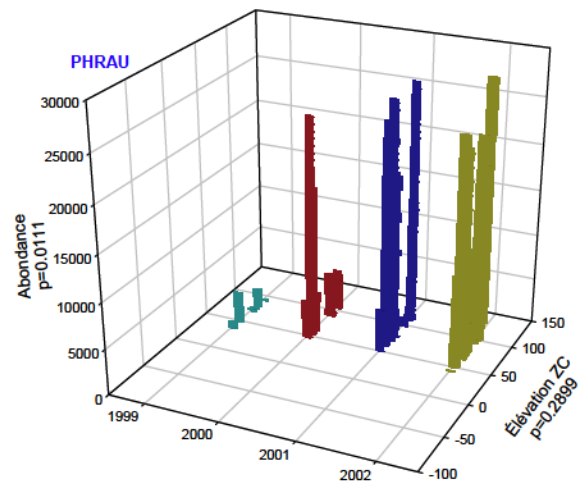
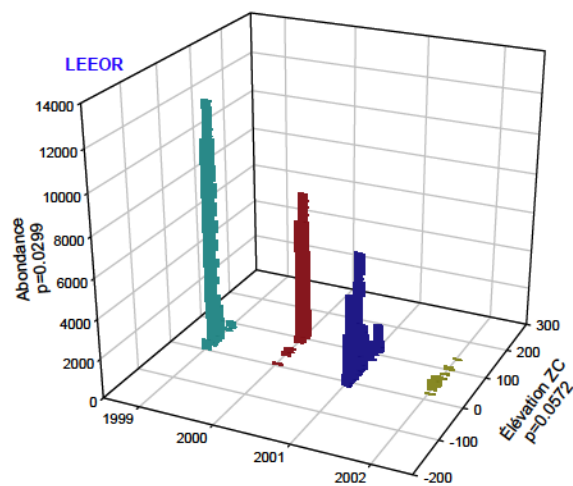
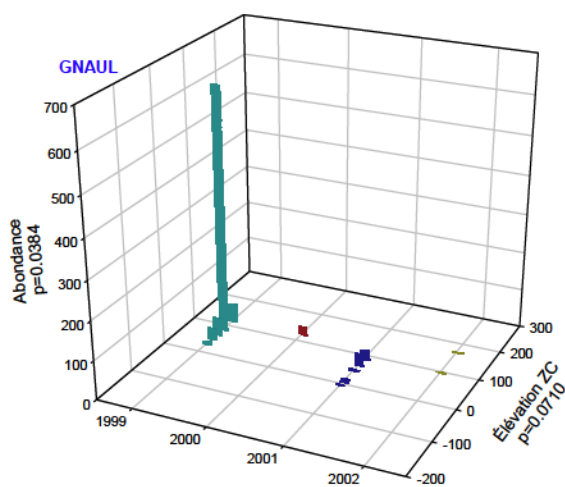
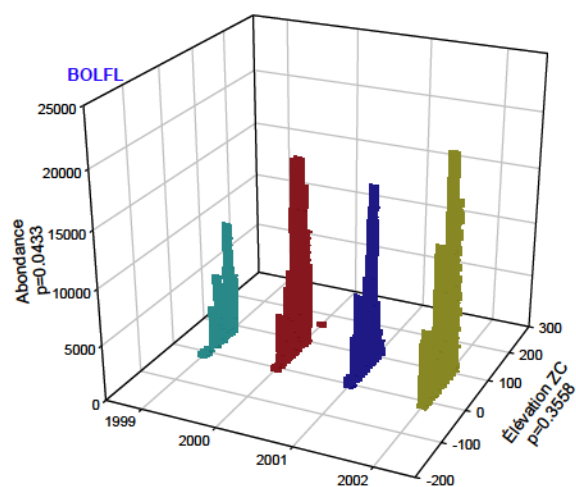


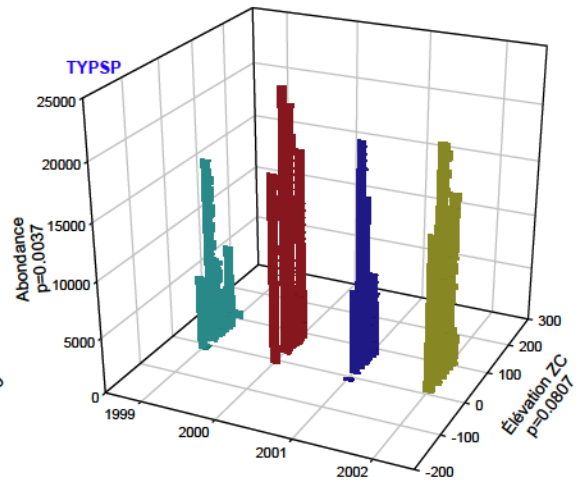
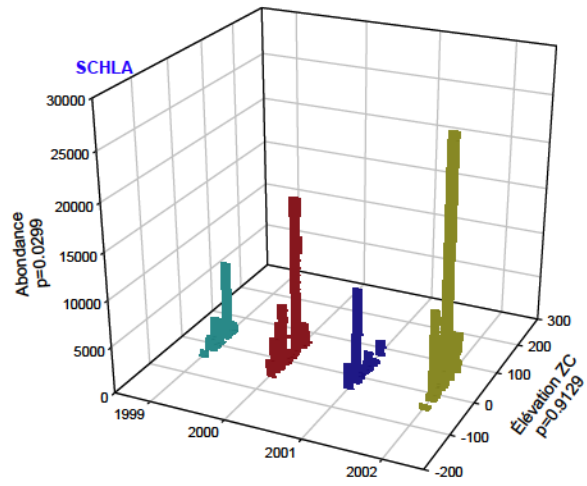




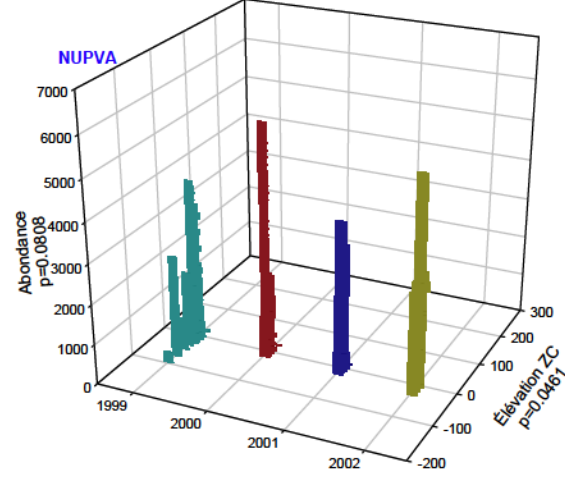
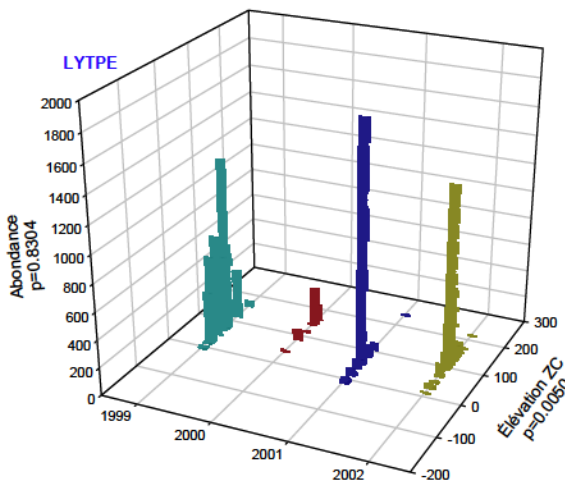
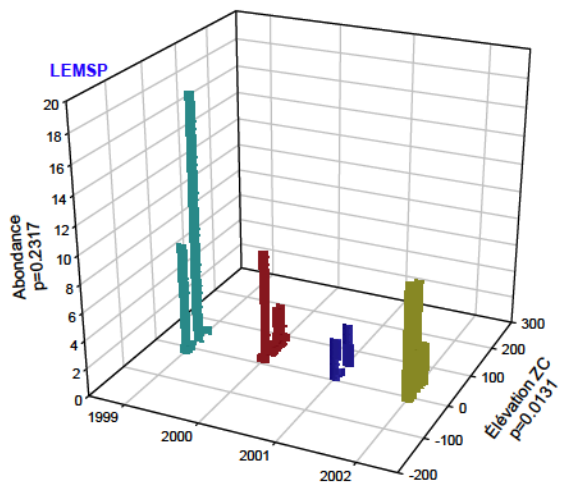
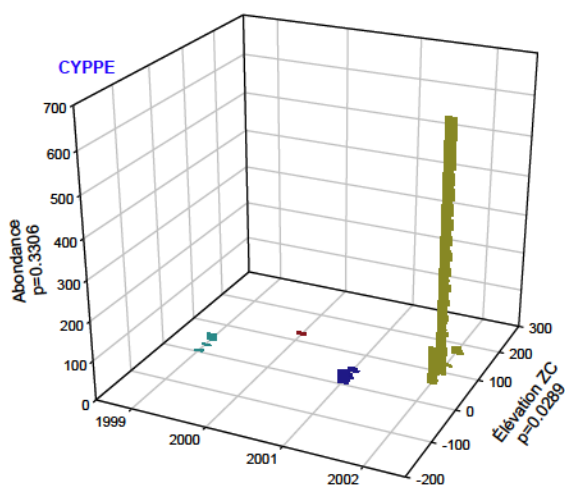
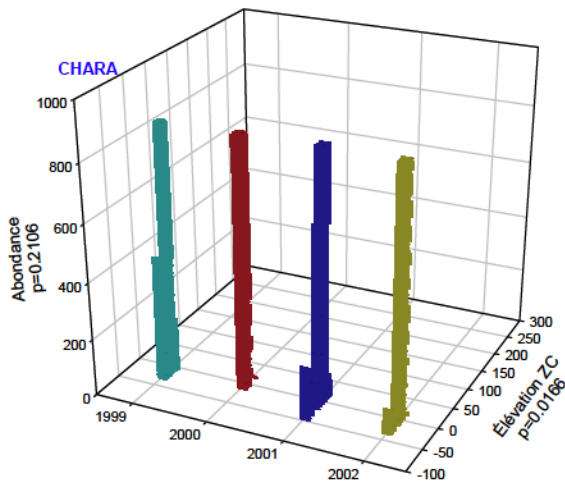
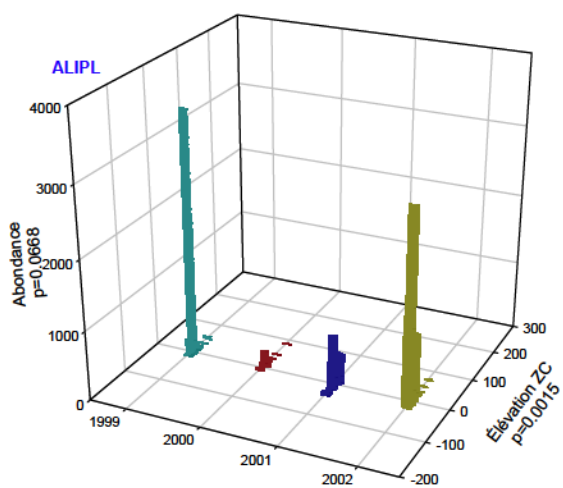
7b

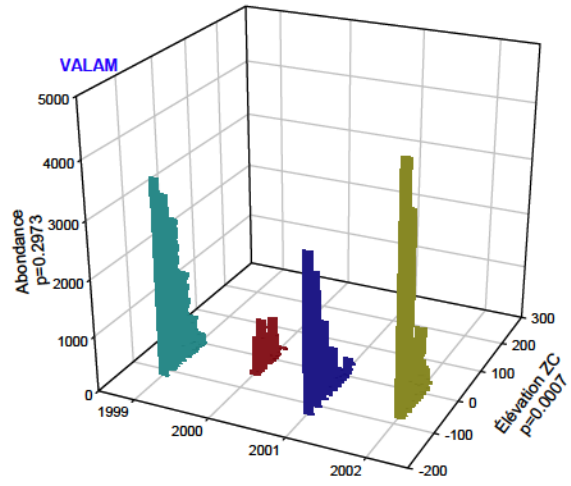
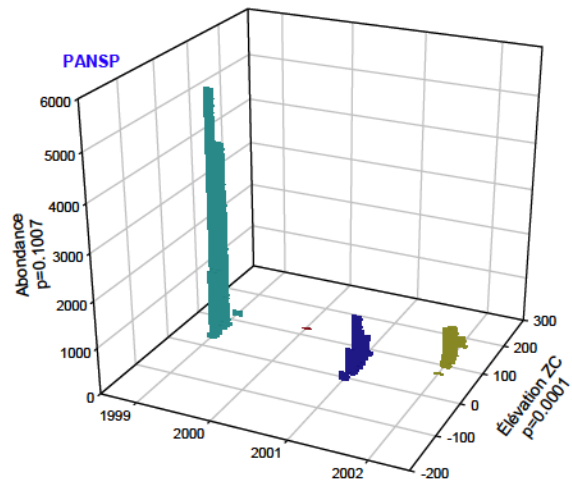
Patron de variation d'abondance et d'élévation pour les 8 espèces présentant des variation significative d'abondance seulement entre les années. La valeur p du test Kruskal-Wallis est indiqué aux axes





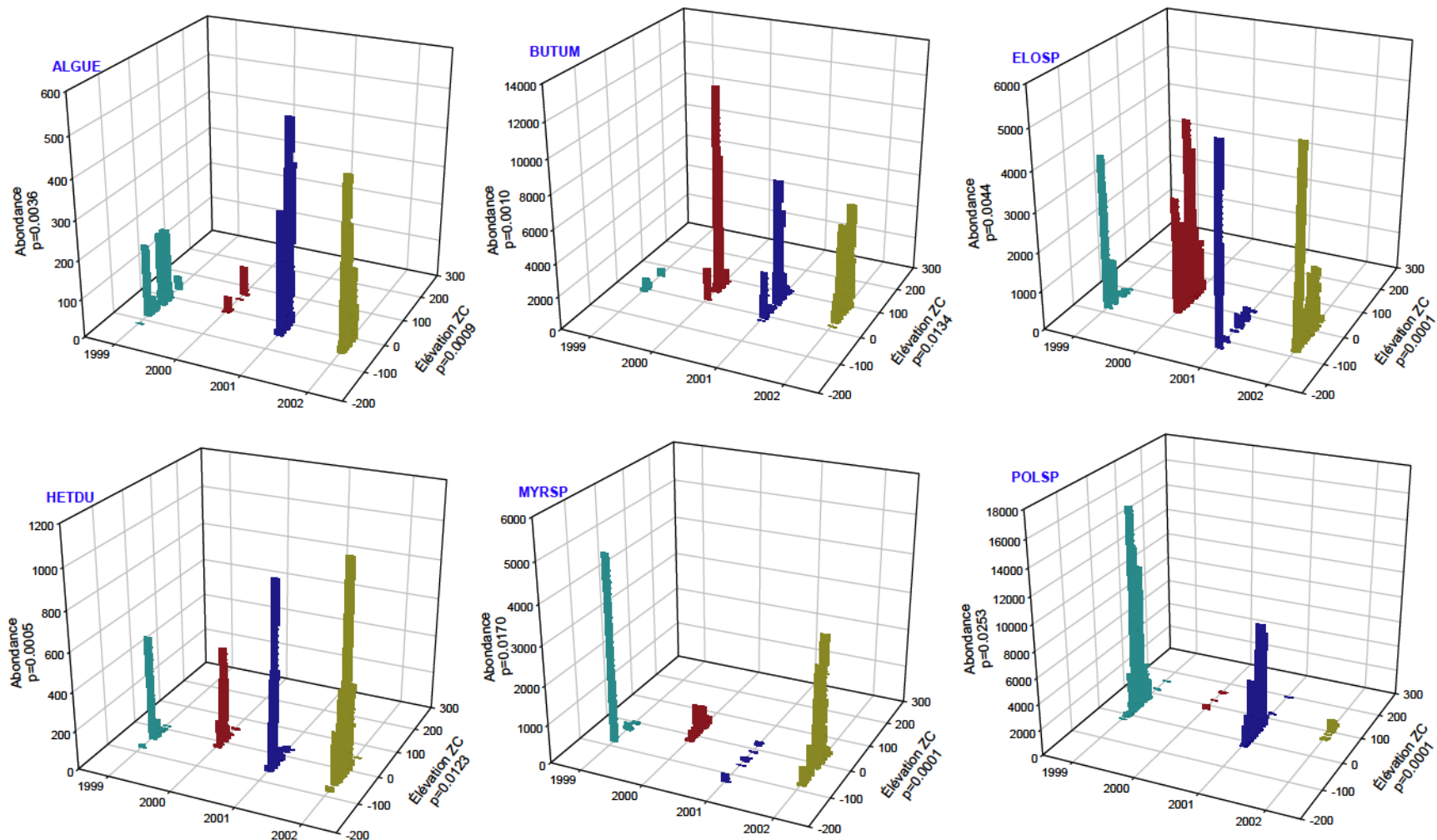
7c **Patron de variation d'abondance et d'élévation pour les 8 espèces présentant des variation significative d'élévation seulement entre les années. La valeur p du test Kruskal-Wallis est indiquée aux axes**

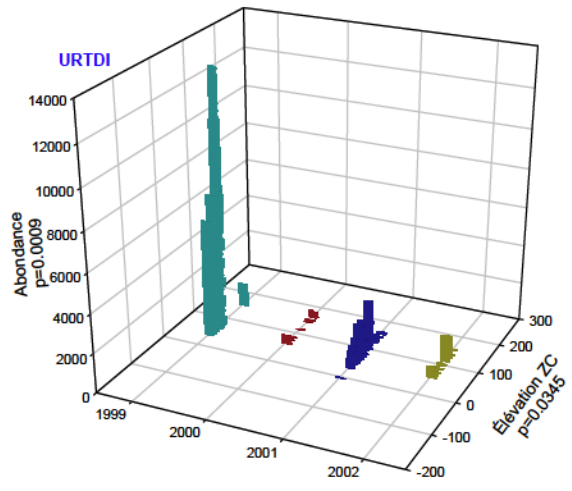




7d

Patron de variation d'abondance et d'élévation pour les 7 espèces présentant des variations significatives d'abondance et des variations significatives d'élévation entre les années. La valeur p du test Kruskal-Wallis est indiquée aux axes





8 Comparaison des groupes et associations d'espèces végétales recensées sur les rives du Saint-Laurent AVANT la régularisation par Cléonique-Joseph (1936 : espèces en italiques soulignées : associations au Lac Saint-Pierre), Dansereau (1959 : espèces en italique et commentaires sur les associations dans l'ensemble de la Vallée du Saint-Laurent) et les groupes identifiés dans les conditions actuelles (notre étude) (1999-2002)

Principaux groupes	Espèces dominantes et sous dominantes	AVANT RÉGULARISATION (Commentaires traduits de Dansereau 1959)	CONDITIONS ACTUELLES (notre étude)
Marécage Arboré	<i>Acer</i> spp. (<i>rubrum</i> , <i>saccharinum</i>) <i>Onoclea sensibilis</i> <i>Impatiens capensis</i>	Plusieurs associations impliquant ces deux espèces d'érables sont décrites. Une forêt qui se trouve dans la plaine inondable ou là où la nappe phréatique reste haute jusqu'à l'été. Préfère les sols humides et compacts, offrant peu de capacité respiratoire aux racines. Peut supporter à la fois une inondation au printemps et/ou un assèchement considérable en fin d'été	Non échantillonné dans notre étude. Des informations sur ce groupe sont disponibles auprès de Martin Jean (Centre Saint-Laurent)
Marécage Arboré	<i>Populus deltoides</i> , <i>Salix</i> spp., <i>Alnus</i> <i>rugosa</i> <i>Lycopus</i> <i>uniflorus</i> , <i>Heracleum</i> <i>maximum</i> , <i>Thalictrum</i> <i>polygamum</i> , <i>Onoclea sensibilis</i> , <i>Apios tuberosa</i>	Il s'agit de l'écran typique isolant les levées des rivages Laurentiens. Il constitue principalement une ceinture étroite plutôt qu'une forêt extensive. La crue printanière généralement dépasse la levée, ne serait-ce que pour une courte période. Sa surface sableuse ou graveleuse, cependant, s'assèche considérablement en été. Les autres espèces accompagnant ce peuplement varient selon la nature des sédiments.	Voir ci-dessus
Marécage Arbustif	<i>Alnus</i> spp. <i>Lonicera</i> <i>villosa</i> , <i>Onoclea</i> <i>sensibilis</i> , <i>Lycopus</i> <i>uniflorus</i>	Une association de rivage plus ou moins eutrophisé, en conditions assez variables mais toujours en présence d'une inondation printanière prolongée, sur des sols organiques.	Voir ci-dessus
Marécage Arbustif	<i>Salix interior</i> , <i>Calamagrostis</i> <i>canadensis</i> ,	Les rives sablonneuses des rivières ont pratiquement toujours une bande plus ou moins bien développée de petits saules. Ceci résulte de la quantité d'espace du gradient vertical au sein duquel les	Voir ci-dessus

Onoclea sensibilis,
Lycopus uniflorus conditions adéquates de durée d'inondation et de texture du sol se trouvent combinées. Les arbustes sont de 6 à 8 pieds de haut, avec un feuillage léger qui permet une meilleure expansion des espèces sous-jacentes que dans le cas (par exemple) des associations dominées par *Alnus rugosa*.

Prairie Humide	<i>Desmodium canadense</i> , <i>Xanthium</i> spp., <i>Strophostyles helvola</i> , <i>Andropogon gerardi</i> , <i>Sporobolus heterolepis</i> , <i>Apocynum cannabinum</i> , <i>Asclepias incarnata</i>	Une zone de plages graveleuses mal définies, présente en deçà de la bande de saules et de peupliers. Cette zone est plutôt hétérogène parce qu'elle est périodiquement détruite par les tempêtes ou les crues trop prolongées.	Voir ci-dessus
Prairie Humide	<i>Calamagrostis canadensis</i> , <u><i>Calamagrostis canadensis</i></u> , <u><i>Lythrum salicaria</i></u> , <u><i>Spartina pectinata</i></u>	Cette association monospécifique occupe une bande plus ou moins large entre les peuplements des rives argileuses érodées (<i>Butomus umbellatus</i>) et ceux des plages sablonneuses (<i>Xanthium</i>) et des arbustes (<i>Alnus rugosa</i>) et des arbres (<i>Populus</i> spp.) de la plaine inondable. Son extension géographique N-S est considérable. Ce groupe est submergé au printemps et de nouveau en automne, et en raison de sa tolérance, occupe de très vastes superficies, particulièrement dans les terres deltaïques, par exemple à l'embouchure des rivières Saint-François et Richelieu. Étrangement, cette association s'observe aussi sur le bord des routes et dans les gravières, dans les lieux vierges non encore colonisés par les plantes rudérales véritables. La Rivière des Prairies et la ville de La Prairie tirent probablement leur nom de cette association. Avec <i>Spartina pectinata</i> (sur les terres plus humides, avec une inondation plus prolongée ou une saturation plus permanente du sol), ce groupe forme une prairie humide qui s'étend jusqu'aux dépressions des Prairies du Midwest Américain.	L'association dominée par <i>Calamagrostis canadensis</i> n'a pas été observée entre 1999 et 2002; cette espèce n'était présente que dans 16 des 630 quadrats échantillonnés. Lorsqu'elle était présente, elle était associée à <i>Galium</i> sp., à <i>Viccia cracca</i> et à diverses Graminées. Il semble que l'association dominée par <i>Phalaris</i> (143 observations sur 630) et <i>Lythrum salicaria</i> ((173 observations) ait largement remplacé les associations dominées par <i>Calamagrostis</i> et <i>Spartina</i> (groupe ci-dessous) dans les prairies humides du fleuve. Ceci confirme en outre la tendance générale à l'assèchement des milieux humides du Saint-Laurent au cours des années 1999-2002.

Prairie Humide	<i>Spartina pectinata</i> , <i>Sium suave</i> , <i>Eupatorium perfoliatum</i> , <i>Cicuta victorinii</i>	Cette haute prairie de graminées grossières, faiblement mélangée à des plantes de pâturage, borde l'ensemble du Saint-Laurent, de l'amont à l'aval et peut aussi être occasionnellement trouvé à la marge des lacs et rivières à l'intérieur des terres. Toutefois la pente doit être douce pour que ce groupe se développe à son maximum. Ainsi, sur les rives des lacs du Saint-Laurent (Saint-François, Saint-Louis, Saint-Pierre) il s'étend considérablement et occupe la bande entre <i>Scirpus elatum</i> ou <i>S. americanus</i> et <i>Calamagrostis canadensis</i> ou <i>Salix</i> spp.	L'association dominée par <i>Spartina pectinata</i> n'a pas été observée entre Cornwall et le Lac Saint-Pierre; cette espèce n'était présente que dans 56 des 630 quadrats échantillonnés. Lorsqu'elle était présente, elle était en faible abondance et associée à <i>Phalaris arundinacea</i> et à <i>Lythrum salicaria</i> (voir groupe ci-dessus).
Prairie Humide	<i>Lythrum salicaria</i> , <i>Spartina pectinata</i> , <i>Sium suave</i>	La salicaire est un envahisseur européen de la vallée du Saint-Laurent. Il est présent localement en colonies assez extensives sur les rives du Lac Saint-Pierre, particulièrement à Baie-du-Febvre. Sa position particulière dans la zonation semble s'être établie aux dépends de <i>Spartina pectinata</i> et <i>Calamagrostis canadensis</i> . En fait elle forme une ceinture apparemment autonome à ce niveau – un exemple de mise en coin (« cornering »).	La salicaire semble avoir étendu sa distribution aux dépends de plusieurs espèces indigènes. L'espèce germe rapidement sur toutes les terres exondées et des individus de petite taille (< 20 cm) prolifèrent aux faibles élévations au cours des années de bas niveau (1999 et 2001). Les individus de taille > 20 cm survivent à un accroissement subséquent du niveau, mais ne fleurissent qu'en faible profondeur (< 5 cm).
Prairie Humide	<i>Phragmites australis</i>	Tout comme dans le cas des associations monospécifiques à <i>Typha</i> et à <i>Nuphar</i> , l'espèce seule prédomine dans ce groupe. Il est présent à la charnière des écosystèmes aquatiques et palustres et forme un écran généralement étroit de graminées plumeuses de très grande taille. Ce groupe atteint ici une de ses limites, cependant, et n'est ni fréquent, ni bien développé.	La seule population de <i>Phragmites australis</i> documentée dans notre étude était située dans le chenal du Courant de la Batture Tailhandier (Iles de Boucherville). En ce site, comme aux quelques autres où sa présence a été rapportée (Contrecoeur, Ile des Sœurs, Beauharnois), son introduction semble coïncider avec le remblayage, l'empiètement, l'assèchement et autres modifications humaines aux rives. Après son introduction, et peu importe les conditions de niveau subséquentes, le <i>Phragmites</i> prolifère, exclut toutes les autres espèces et forme des peuplements monospécifiques monopolisant tout l'espace et la lumière disponible. Malgré sa présence dans les fossés des autoroutes 20 et 40 entre Montréal et Québec, cette espèce semble toujours absente du Lac Saint-Pierre.

Prairie humide	<i>Acalipha rhomboides</i> , <i>Plantago major</i> , <i>Cyperus</i> spp., <i>Ambrosia artemisiifolia</i> , <i>Oxalis stricta</i> , <i>Trifolium</i> spp. et <i>Carex</i> spp., <i>Potentilla</i> spp., <i>Mentha canadensis</i>	Cette association n'a pas été rapportée.	Ces 2 groupes comprennent plusieurs plantes rudérales caractéristiques des pâturages et des terrains vagues, témoignant de l'utilisation de nombreuses îles de l'archipel d'Hochelega pour le pacage estival de moutons et de vaches. Ces plantes résistantes au broutage et aux variations de niveau d'eau sont concentrées sur le haut des talus, révélant leur préférence pour les conditions plutôt sèches.
Transition sèche	<i>Eragrostis hypnoides</i> , <i>Lindernia dubia</i> , <i>Populus deltoides</i> , <i>Gnaphalium uliginosum</i>	Cette association n'a pas été rapportée.	Ce groupe d'espèces ne comporte que des individus de très petite taille (< 5 cm) colonisant typiquement les rivages sablonneux et dénudés de la rive nord du Saint-Laurent (îles d'Hochelega à Pointe-du-Lac) d'où l'exondation extrême (1999 et 2001) a éliminé les plantes submergées.
Transition sèche	<i>Polygonum lapathifolium</i> , <i>P. pennsylvanicum</i>	Une ceinture riparienne quelque peu éphémère sur les plages sablonneuses. Lorsque des espèces pérennes sont présentes, beaucoup de propagation végétative se produit et le peuplement est bien consolidé. La compétition annuelle entre le <i>Bidens</i> et les <i>Polygonum</i> résulte en une alternance entre les deux associations.	Les espèces formant les trois groupes appartenant à la transition sèche (<i>Polygonum lapathifolium</i> , <i>P. pennsylvanicum</i> , <i>Bidens</i> spp., <i>Echinochloa</i> spp.) ont été observées dans les conditions décrites par Dansereau, avec la présence additionnelle d' <i>Urtica dioica</i> et <i>Impatiens capensis</i> . Croissant dans les sédiments alluviaux très fertiles du Saint-Laurent, ces deux dernières espèces de plantes peuvent atteindre des tailles considérables (> 2 m). Des espèces mentionnées, seule <i>Xanthium</i> spp., a été rarement observée (4 quadrats sur 630).
Transition sèche	<i>Xanthium</i> spp., <i>Bidens frondosa</i> , <i>Polygonum pennsylvanicum</i>	Cette association, restreinte aux plages sablonneuses des Basses terres Champlain-Saint-Laurent, est très labile, puisqu'elle consiste principalement d'espèces annuelles. En fait, les crues printanières régulières déracinent la plupart des plantes établies au cours de la saison précédente ou la siltation les enterre pratiquement toutes. La récession de la crue dépose une rangée de diaspores à chaque pulsation, de telle sorte que les bandes concentriques de végétation produisent différents développements de cette même communauté.	

Transition sèche	<i>Bidens</i> spp. (<i>frondosa</i>)	Une communauté éphémère de fin d'été sur les vasières récemment émergées. La germination tardive et abondante sur ces terres exemptes de compétiteurs et la préférence pour les journées de courte durée avec la fructification automnale assurent la permanence de cette association.	(voir ci-dessus)
Transition sèche	<i>Cyperus</i> spp., <i>Leersia oryzoides</i> , <i>Panicum</i> spp., <i>Lythrum salicaria</i> (< 20 cm)	Cette association n'a pas été rapportée	Ce groupe d'espèces est présent sur les rivages exondés depuis le début de la saison de croissance, ayant permis la germination de petits individus de <i>Lythrum salicaria</i> et de graminées.
Marais peu profond	<i>Acorus calamus</i> , <i>Lycopus</i> spp. et <i>Juncus effusus</i>	Au bord des rivières, au dessus de <i>Scirpus americanus</i>	Bien que chacune de ces espèces ait été observée occasionnellement, elles ne formaient pas une association particulière : <i>Acorus calamus</i> (12 quadrats), <i>Lycopus americanus</i> (31 quadrats), <i>L. uniflorus</i> (8 quadrats). Huit espèces de <i>Juncus</i> ont été observées à de très faibles fréquences (de 1 à 7 quadrats) mais non <i>J. effusus</i> .
Marais peu profond	<i>Typha latifolia</i> , <i>T. angustifolia</i> , <i>Polygonum lapathifolium</i> , <i>Lycopus uniflorus</i>	Les marais à quenouilles, ici comme dans plusieurs parties du monde (incluant certaines régions tropicales), jouent un rôle plutôt important dans le paysage : leur étendue, leur capacité de construction des sols, sont considérables. Dans les gains constants des marais sur les Lacs et des hautes terres sur les marais, cette association est importante. Une extrême de cette capacité de construction des sols est visible lorsque une « île » de quenouilles migre à travers la largeur d'un Lac et se dépose sur la rive sous le vent. Mais est-ce une association dans le pur sens du terme ? Les espèces associées ne montrent aucune cohérence et la seule constance est la dominance des seules quenouilles ! On ne peut cependant nier la réalité des peuplements de quenouilles, ancrées dans une boue organique riche, avec une croissance importante de nouveau feuillage à chaque année, une dispersion intense de graines en automne et en hiver (quelle graine ne germe pas bien ?), et quelque fois un nombre considérable d'autres espèces palustres associées.	<i>Butomus umbellatus</i> (90 quadrats), <i>Typha</i> spp. (96 quadrats), <i>Bolboschoenus (Scirpus) fluviatilis</i> (212 quadrats), <i>Sparganium eurycarpum</i> (91 quadrats) et <i>Sagittaria</i> spp. (206 quadrats), et sont les taxa les plus fréquemment observés dans les marais peu profonds entre Montréal et Pointe-du-Lac (lac Saint-Pierre), occupant des strates d'élévations similaires. Selon les sites, la dominance et l'importance relative des différentes espèces varie en fonction de la profondeur de l'eau, du degré d'exposition aux vents et aux vagues ainsi que de l'enrichissement organique des sédiments.

Marais peu profond	<i>Sparganium eurycarpum</i>	Cette espèce tolérera passablement d'émergence pourvu que la vase dans laquelle elle s'enracine reste saturée d'eau. Il s'agit probablement plus d'une espèce de marais qu'une plante aquatique véritable. Elle forme communément de grandes taches dans les dépressions des prairies humides, dans les petits étangs trop humides pour <i>Juncus effusus</i> et borde aussi la marge des bancs argileux des rivières.	(voir groupe ci-dessus)
Marais profond	<i>Butomus umbellatus</i> et <i>Eleocharis acicularis</i>	Le Butome a envahi le Saint-Laurent depuis 50 ans et a déplacé plusieurs plantes indigènes, progressant des Grands Lacs aux Maritimes. Il forme une prairie humide qui est plus ou moins limitée à sa marge supérieure par la limite des eaux d'étiage d'été.	(voir groupe ci-dessus)
Marais profond	<i>Equisetum</i> spp.	Une association très éphémère qui se propage végétativement et forme un tapis serré (<i>E. arvensis</i>).	Cette association dominée par les Equisetales n'a pas été observée et semble avoir disparu, quoique des individus de <i>Equisetum arvense</i> (5 quadrats), <i>E. littorale</i> (5 quadrats) et <i>E. palustre</i> (1 quadrat) aient été occasionnellement identifiés en faible abondance.
Marais profond	<i>Scirpus americanus</i> (<i>Schoenoplectus pungens</i>) <i>Sagittaria cuneata</i> , <i>Scirpus americanus</i>	Une bande continue et parfois très large de cette plante est communément trouvée dans les eaux du Saint-Laurent, plus spécialement dans la zone estuarienne. Elle mesure 2-3 pieds de haut et les tiges triangulaires minces sont bien espacées. Au Cap Tourmente, elle joue un rôle important comme nourriture principale des oies blanches en migration. Dans le Saint-Laurent moyen, elle peut être moins évidente quoiqu'elle forme aussi une bande entre le <i>Scirpus elatus</i> et <i>Sagittaria</i> spp.	Le scirpe américain forme une bande distincte, pratiquement monospécifique, sur les rivages du Lac Saint-Pierre exposés aux vents dominants du NE (en automne et en hiver) et SO (en été), situés respectivement près de l'embouchure de la rivière Saint-François et à Pointe-du-Lac. Il est occasionnellement accompagné de <i>Sagittaria</i> spp., <i>Sium suave</i> et de <i>Eleocharis</i> spp.
Marais profond	<i>Sagittaria latifolia</i> , <i>Pontederia cordata</i>	Des bandes étroites mais très denses de sagittaires sont partout sur les rivages silteux du Saint-Laurent, particulièrement lorsqu'une certaine quantité de sol organique s'est développé et où les variations de niveau sont appréciables.	Les plantes des marais profonds comportent les mêmes espèces que celles énumérées précédemment.

Marais profond	<i>Sagittaria rigida</i> , <i>Eleocharis acicularis</i>	Cette communauté franchement aquatique est généralement très près du rivage quoique toujours sous l'eau. Au plus, elle peut supporter de brèves émergences en automne. Elle croît sur des sédiments assez fins.	(voir groupe ci-dessus)
	<u><i>Sagittaria latifolia</i></u> , <u><i>Eleocharis acicularis</i></u> , <u><i>E. palustris</i></u> , <u><i>Alisma plantago-aquatica</i></u> , <u><i>Sium suave</i></u>		
Marais profond	<i>Eleocharis acicularis</i>	Des tapis de cette plante communément recouvrent la bordure des Lacs où le niveau d'eau fluctue de façon à les garder submergés pour la plupart de la saison. Ce n'est qu'en fin d'été, quand la plante est émergée, qu'elle peut fleurir et faire des fruits.	(voir groupe ci-dessus)
Marais profond	<i>Scirpus elatus</i> (<i>Schoenoplectus Lacustris</i>), <i>Eleocharis palustris</i> var <i>major</i> , <i>Scirpus acutus</i> , <i>Eleocharis acicularis</i>	Les Scirpes de grande taille sont une caractéristique habituelle de la zonation des rivières et même des Lacs. Habituellement, une des trois espèces domine clairement, quoique l'une ou les deux autres puissent être présentes. Dans les eaux les moins profondes, aussi <i>Equisetum fluviatile</i> . Les rives des baies du Saint-Laurent sont particulièrement favorables, avec leur fond sablonneux avec quelquefois une couche plutôt superficielle de silt récemment déposée. De petites plantes en rosette forment parfois une strate sous-jacente dense et continue. Ces peuplements peuvent occasionnellement être émergées en automne en conditions de basses eaux.	(voir groupe ci-dessus)
	<u><i>Scirpus acutus</i></u> (<u><i>Schoenoplectus Lacustris</i></u>), <u><i>Scirpus fluviatilis</i></u> (<u><i>Bolboschoenus fluviatilis</i></u>), <u><i>Nuphar variegatus</i></u> , <u><i>Potamogeton perfoliatus</i></u> , <u><i>Elodea canadensis</i></u> , <u><i>Callitriche palustris</i></u>		
Marais	<i>Zizania aquatica</i>	Une cassure dans le courant des rivières, où la siltation est plutôt faible, permet le développement d'une bande de riz sauvage, au	L'association dominée par <i>Zizania aquatica</i> semble avoir disparu des rivages du Saint-Laurent, puisque l'espèce n'a été

profond		delà de la bande <i>Scirpus elatus</i> et comme alternative à <i>Vallisneria americana</i> . Les graminées montent 1 à 2 pieds au dessus de la surface des eaux, et jusqu'à une hauteur totale de 6 ou 7 pieds. À plusieurs endroits, la formation est assez dense. Les Indiens avaient l'habitude de naviguer au travers des champs de riz et d'agiter les inflorescences au dessus de leur canot, ramassant ainsi les graines.	observée qu'à 10 reprises, toujours en faible abondance et assez haut sur le littoral, dans des sites exposés au vent tels que Pointe-du-Lac (lac Saint-Pierre). Cette espèce semble avoir été remplacée par <i>Scirpus Lacustris</i> , la plante émergente occupant maintenant la partie la plus profonde (1-2 m) du rivage du Lac Saint-Pierre. L'eutrophisation des eaux et des sédiments pourraient expliquer la quasi disparition du riz sauvage dans le Saint-Laurent ainsi que dans le bassin du Richelieu.
Marais à plantes à feuilles flottantes	<i>Nuphar variegata</i> , <i>Ceratophyllum demersum</i> , <i>Potamogeton spp.</i>	Le nénuphar jaune est communément présent seul (occasionnellement avec d'autres espèces), enraciné parfois jusqu'à des profondeurs considérables sous la surface dans une boue organique très inconsistante.	Ces associations de plantes flottantes sont toujours présentes dans le Saint-Laurent et l'Outaouais. Les rhizomes bien développés de ces plantes leur permettent de survivre à l'exondation complète pendant une saison de croissance, les feuilles reposant directement sur la vase humide.
	<u><i>Nuphar variegatus</i>,</u> <u><i>Nymphaea tuberosa</i>,</u> <u><i>Potamogeton natans</i>,</u> <u><i>P. spirillus</i></u>		
Marais à plantes à feuilles flottantes	<i>Nymphaea odorata</i>	Les nénuphars blancs semblent préférer un milieu quelque peu aéré, puisqu'ils croissent dans les eaux à faibles courants ou de niveau fluctuants plutôt que dans les conditions stagnantes qui semblent plus favorables aux nénuphars jaunes.	(voir groupe ci-dessus)
Herbier submergé	<i>Chara spp.</i> <u><i>Chara fragilis</i>,</u> <u><i>Isoetes braunii</i>,</u> <u><i>Najas flexilis</i></u>	Quelquefois en eau très peu profonde (2-4 pieds)	<i>Chara spp.</i> a été couramment (70 quadrats) observée en eau peu profonde (< 1 m), particulièrement au Lac Saint-François ainsi qu'à Boucherville, en conditions de niveaux bas extrêmes. Les algues filamenteuses sont aussi un élément fréquent (82 quadrats) des milieux très peu profonds, tandis que <i>Najas flexilis</i> n'a été observée que 2 fois en 4 ans et <i>Isoetes braunii</i> jamais. L'eutrophisation pourrait expliquer la quasi disparition de <i>Najas</i> et <i>Isoetes</i> , qui sont caractéristiques des cours d'eaux peu productifs des Laurentides, ainsi que la prolifération des algues filamenteuses.
Herbier submergé	<i>Vallisneria americana</i>	Les eaux peu profondes sont colonisées par <i>Vallisneria americana</i> , plus ou moins mélangée avec plusieurs espèces de Potamots	Ces associations de plantes submergées sont toujours présentes dans le Saint-Laurent et l'Outaouais, à l'exception de <i>Najas</i>

Potamogeton richardsonii, *Najas flexilis*, *Eleocharis acicularis* (particulièrement *P. richardsonii*). Dans les eaux eutrophes incluses par les hauts fonds du Saint-Laurent, cette association joue un rôle prédominant.

flexilis (voir groupe ci-dessus). Dix espèces de Potamots ont été dénombrées au cours de 4 années, le plus souvent en de rares occasions (1-10 quadrats) selon les taxa. Cependant, la haute fréquence d'observation de *Potamogeton crispus* et de *P. pectinatus* (*Stuckenia pectinata*) en eaux plus profondes est indicatrice d'eaux enrichies par les éléments nutritifs.

Herbier submergé *Myriophyllum* spp. Dans les eaux stagnantes, le Myriophylle (*M. verticillatum*, *M. exalbescens*) forme occasionnellement un amas dense par lui-même. Cependant, il forme toutefois une couche sous-jacente aux autres strates, par exemple avec des plantes à feuilles flottantes ou des Scirpes (rush) de grande taille

Myriophyllum exalbescens

Potamogeton perfoliatus

Vallisneria

americana, *Elodea*

canadensis,

Heteranthera dubia

Le Myriophylle et l'Élodée forment à l'occasion des peuplements très denses dans les milieux relativement abrités, monopolisant toute la colonne d'eau jusqu'à 2 m de profondeur. Ces espèces sont accompagnées de la Vallisnérie et de l'Hétéranthère, qui sont plus importantes dans les milieux exposés aux vagues et aux courants. L'exondation élimine les plantes submergées et réduit considérablement la biomasse des milieux littoraux pour les 1-2 été subséquents.

9 Interactions entre l'effet des glaces, les embâcles, les conditions de niveau, l'érosion et la végétation

En 1934, près de 30 ans avant le contrôle de la glace, des embâcles et la gestion des niveaux d'eau, le Frère Marie-Victorin décrivait l'importance des événements hydrologiques et l'importance de la glace pour expliquer l'hétérogénéité et la dispersion de la végétation riveraine dans la section alluviale du Saint-Laurent (Montréal-lac Saint-Pierre):

«Le niveau de l'eau subit de fortes variations saisonnières. Très élevé au printemps après le départ des glaces, il baisse régulièrement pendant l'été, découvrant graduellement les rivages pour s'élever de nouveau, et brusquement, à la fin de l'automne. Durant l'hiver, toute cette section est couverte d'une épaisse couche de glace, avec des amoncellements parfois énormes dans les endroits resserrés. 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 glace 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. »

Des arguments similaires ont été invoqués par Dansereau (1945) pour les milieux humides du Lac Saint-Louis, amenant des considérations sur le mélange génétique des populations :

«Le milieu aquatique du Lac Saint-Louis est soumis, de plus, à la puissante action mécanique des glaces. Elle se fait sentir d'une façon particulièrement évidente dans les parties les moins profondes où la glace atteint le plancher du Lac, étant donné l'absence de circulation de l'eau (Hesse 1927, p. 328; Préfontaine 1941, pp. 58-59). La débâcle entraîne alors un énorme transport de plantes sur des distances variables dans tout le cours moyen du Saint-Laurent (Marie-Victorin 1934, Rouleau 1945). Ce transport – que l'on peut considérer comme une véritable transplantation – s'oppose sans doute à la constitution de populations génétiquement très homogènes de chaque espèce, puisqu'une partie, peut-être assez importante, d'une formation locale reçoit un apport annuel plus ou moins considérable d'individus d'une autre localité. »

Les effets complexes sur la végétation riveraine du cycle saisonnier de crue, de l'abrasion des glaces et des variations cycliques de niveau d'eau au XX^{ième} siècle ont été documentées jusque dans l'estuaire fluvial, en amont de Québec (Bégin 1990, Desrosiers et Bégin 1992) (figure 35). Deux périodes de hauts niveaux de l'eau (décennies 1920 et 1970) coïncident avec une régression des franges forestières en raison d'une érosion accrue. Pendant les deux périodes de bas niveaux (décennies 1910 et de 1930 à 1950) intercalaires, la forêt s'est rapprochée du fleuve en colonisant les sédiments de la plage. De 1970 à 1990, l'amplitude et la fréquence des débordements ont considérablement augmenté, en relation avec les épisodes de fonte hivernale des tributaires (non régularisés) ainsi qu'avec le mode de gestion des débits des ouvrages de rétention des Grands Lacs. Ces cycles correspondent en outre aux fluctuations climatiques naturelles rapportées pour l'ensemble du système Saint-Laurent–Grands Lacs (Moulton et Cuthbert 1987).

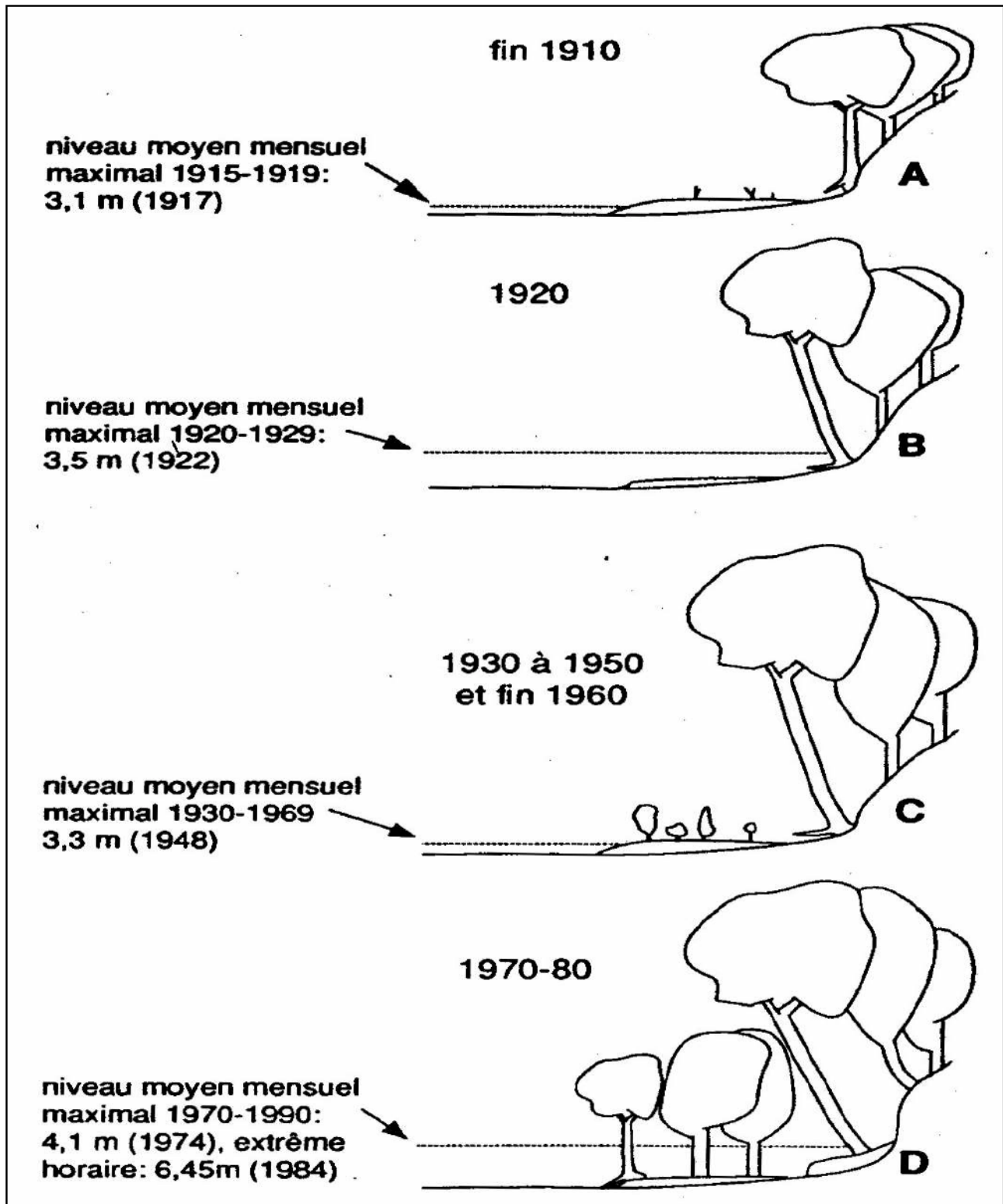


Figure 35 Représentation schématique des phases de l'évolution récente des rives, en fonction des effet cumulatifs et des interactions entre le niveau, les embâcles dues à la glace et l'érosion.

10a **Caractéristiques des sédiments de 2000. Moyennes et (écart-type) des fractions granulométriques, solides volatiles, N organique, P total et pH. Les variables sont décrites aux tableaux 9 et 17**

Site	n	Granulométrie							Solide (%)	N mg kg ⁻¹	P mg kg ⁻¹	pH
		Sable	Limons (%)	Argile	D.moyen	Variance (µm)	S.D.	Médiane				
Lac Saint-François												
Pointe Dupuis	12	55,8 (13,5)	40,4 (13,3)	3,8 (2,1)	116,6 (41,3)	15786,5 (11213,1)	115,6 (51,4)	78,2 (29,8)	21,2 (34,9)	4405,8 (7592)	674,2 (344,3)	6,7 (0,8)
Lac des Deux Montagnes												
Île Hay	16	50,4 (12,2)	40,8 (10,4)	8,8 (2,1)	75,5 (17,9)	3788,9 (1538)	60,4 (12,3)	65,1 (19,7)	1,3 (0,5)	424,4 (137,5)	1017,5 (105,2)	4,7 (0,4)
Baie des indiens	16	33,7 (17,5)	45,2 (14,5)	21,1 (10)	114,6 (61,8)	31162,7 (17317,6)	161,3 (73,1)	38 (45,3)	5 (5,7)	1817,5 (1851,3)	581,9 (245,6)	5,4 (0,6)
Région Montréalaise												
Boucherville	15	6,9 (7,6)	67,3 (12,9)	25,8 (6,6)	28 (22,7)	5446,1 (11455,1)	46,1 (59,7)	11 (2,6)	7,9 (2,6)	2887,3 (933,3)	931,3 (144)	7,1 (0,1)
Pointe-aux-Trembles	13	11,1 (6,2)	69,7 (5,1)	19,1 (3,3)	27,9 (9,7)	1443,5 (2459,6)	32,2 (21)	17 (3,1)	7,4 (2,4)	3007,7 (909,6)	942,3 (264,8)	7,1 (0,3)
Île aux Cerfeuil	11	28,4 (22,4)	51,5 (14,9)	20,1 (8,7)	125,1 (148,9)	55830,8 (82669,7)	171,9 (170)	56,9 (108,9)	3,6 (1,8)	1366,4 (648,1)	879,1 (198,3)	6,1 (0,5)
Verchères	13	8,9 (10,8)	62,6 (10,5)	28,5 (7,3)	38,3 (50,7)	13166,5 (32268,3)	60,5 (101,5)	11,5 (4,5)	7,3 (2,5)	3128,5 (1100,8)	900,8 (238,6)	7,1 (0,3)
Lac Saint-Pierre												
Rivière du Loup	13	15 (9,7)	61,3 (7,9)	23,7 (6)	36 (19)	3482,3 (5447)	46,9 (37,2)	20 (7,1)	3,4 (2,8)	843,1 (942,4)	1174,6 (147,3)	5,8 (0,3)
Pointe-du-Lac	13	14,6 (12,1)	70,3 (9,7)	15 (4,9)	38,8 (23,2)	3652,3 (5933,3)	45 (41,9)	25,1 (8,8)	1,8 (1,4)	736,2 (585,5)	1142,3 (216,8)	5,9 (0,6)

10b **Caractéristiques des sédiments de 2001. Moyennes et (écart-type) des fractions granulométriques, solides volatiles, N organique, P total et pH. Les variables sont décrites au tableaux 9 et 17**

Site	n	Granulométrie							Solide (%)	N mg kg ⁻¹	P mg kg ⁻¹	pH
		Sable	Limons (%)	Argile	D.moyen	Variance (µm)	S.D.	Médiane				
Lac Saint-François												
Pointe Dupuis	12	53,5 (25)	37,8 (17,4)	8,7 (14,3)	117,3 (68,9)	16165,8 (14692)	112,5 (61,8)	88,1 (61,9)	13,4 (28,3)	2060,8 (3735,3)	608,3 (320)	7 (0,7)
Lac des Deux Montagnes												
Île Hay	17	37,4 (17,1)	48,9 (12,8)	13,7 (9,2)	59,4 (17,5)	5338,1 (8769,3)	59,9 (43,1)	45,9 (21,1)	1,3 (0,5)	360,6 (170,2)	1088,8 (103,7)	4,6 (0,6)
Baie des indiens	14	30,2 (21)	49,7 (16,4)	20,1 (7,7)	93,3 (77,8)	20773,1 (19329)	120,5 (82,1)	45,7 (74,4)	6,5 (6,5)	1790,7 (1624,7)	802,1 (184,1)	5,8 (0,9)
Région Montréalaise												
Boucherville	24	19,1 (19)	58,2 (17,4)	22,7 (11,1)	89,2 (96,7)	37344,4 (52506,7)	135,1 (141,2)	28,2 (37)	6 (4,2)	2184,6 (1618,8)	852,9 (186,3)	7,3 (0,2)
Pointe-aux-Trembles	15	13,5 (8,2)	70,1 (7,1)	16,4 (4,5)	31,8 (13,2)	1883,4 (2714)	37,1 (23,3)	18,6 (4,4)	7,3 (2,4)	2513,3 (779,1)	1044,7 (143,4)	7,2 (0,2)
Île aux Cerfeuil	19	28,8 (19,1)	54,2 (15,3)	17,1 (7,2)	93,7 (119,2)	28926,2 (66089,9)	121,1 (122,7)	46,8 (79,5)	3,3 (1,8)	1124,2 (718,7)	856,8 (140,1)	6,9 (0,5)
Verchères	14	7,6 (6,1)	66 (8,3)	26,4 (7,6)	22,7 (12,1)	1891,2 (3841,1)	32,7 (29,8)	10,8 (3,1)	7,9 (2,3)	3155 (1048,5)	1015,7 (150,3)	7,2 (0,2)
Lac Saint-Pierre												
Rivière du Loup	9	13,6 (12,2)	64,3 (10,2)	22,1 (9)	37,3 (34)	4882,7 (11209,3)	48,1 (53,7)	20 (11,5)	4,3 (2,4)	1012,2 (634,6)	1156,7 (171,5)	5,9 (0,5)
Pointe-du-Lac	19	21,7 (14)	61,8 (13,2)	16,5 (9,2)	51,3 (48,5)	7051,3 (19302,3)	58,6 (61)	30,3 (18)	2,1 (2,6)	614,7 (727,8)	1291,9 (192,8)	6,2 (0,9)

