

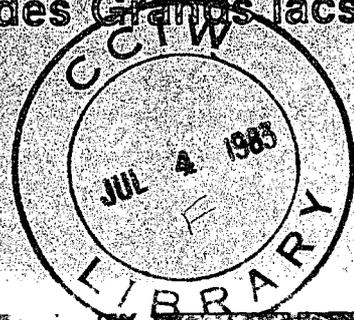
CANADA • INLAND WATERS DIRECTORATE  
SCIENTIFIC SERIES  
# 122 (French)



Environnement  
Canada

Environment  
Canada

# Étude de certains marais côtiers sélectionnés des Grands lacs



A. Mudroch



GB  
707  
C335  
no. 122F  
c.2

da

Étude N° 122, SÉRIE SCIENTIFIQUE

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHES SUR LES EAUX  
DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX INTÉRIEURES  
BURLINGTON (ONTARIO) 1981.



Environnement  
Canada

Environment  
Canada

# Étude de certains marais côtiers sélectionnés des Grands lacs

A. Mudroch

Étude N° 122, SÉRIE SCIENTIFIQUE

**INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHES SUR LES EAUX  
DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX INTÉRIEURES  
BURLINGTON (ONTARIO). 1981.**

Canada

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1983

N° de cat. En 36-502/122F

ISBN 0-662-92158-5

# Table des matières

	Page
RÉSUMÉ. ....	vii
ABSTRACT. ....	vii
REMERCIEMENTS. ....	ix
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
Généralités. ....	1
Marais des Grands lacs .....	1
Zone étudiée .....	2
Marais Big Creek—Lac Érié .....	2
Marais du lac Sainte-Claire—Dover, Balmoral, St. Lukes et de l'île Walpole .....	3
Marais Cootes Paradise. ....	5
Végétation des marais. ....	5
<b>2. MÉTHODES</b> .....	<b>6</b>
Échantillonnage et préparation des échantillons. ....	6
Eau. ....	6
Sédiments .....	6
Végétaux .....	6
Détermination du pH et du Eh. ....	6
Mesure de la température et des teneurs en oxygène dissous. ....	6
Méthodes analytiques. ....	6
Eau. ....	6
Sédiments .....	7
Végétaux .....	7
<b>3. RÉSULTATS</b> .....	<b>8</b>
Géochimie des sédiments .....	8
Marais Big Creek .....	8
Marais Dover, Balmoral et St. Lukes .....	8
Marais de l'île Walpole .....	10
Marais Cootes Paradise .....	18
Chimie de l'eau .....	18
Marais Big Creek .....	18
Marais Dover, Balmoral et St. Lukes .....	19
Marais de l'île Walpole .....	21
Marais Cootes Paradise .....	23
Composition des végétaux. ....	23
<b>4. DISCUSSION</b> .....	<b>29</b>
Sédiments .....	29
Métaux .....	30
Matières nutritives. ....	31
Eau. ....	32
Matières nutritives. ....	33
Azote .....	33
Phosphore .....	34
Apports aux lacs de matières nutritives provenant des marais .....	34
Métaux .....	36
Oxygène dissous .....	38

## Table des matières (suite)

	Page
Végétaux .....	38
5. RÉSUMÉ DES RÉSULTATS ET CONCLUSIONS .....	41
RÉFÉRENCES .....	43

## Tableaux

1. Conditions climatiques de la zone étudiée .....	2
2. Concentrations des éléments principaux et des éléments à l'état de traces dans les sédiments de surface du marais Big Creek .....	9
3. Granulométrie et géochimie du profil de sédiments du marais Big Creek .....	9
4. Description des sédiments du marais Big Creek .....	10
5. Concentrations de certains paramètres dans les sédiments du lac Érié et du marais Big Creek .....	10
6. Concentrations des éléments principaux et des éléments à l'état de traces dans les sédiments de surface des marais Dover, Balmoral et St. Lukes .....	11
7. Teneurs moyennes en éléments à l'état de traces dans les sédiments de surface du lac Sainte-Claire et des marais .....	11
8. Granulométrie et géochimie des profils sédimentaires du marais Dover .....	12
9. Granulométrie et géochimie du profil sédimentaire du marais Balmoral .....	12
10. Granulométrie et géochimie des profils sédimentaires du marais St. Lukes .....	12
11. Description des sédiments du marais Dover .....	13
12. Description des sédiments du marais Balmoral .....	13
13. Description des sédiments du marais St. Lukes .....	13
14. Concentrations des éléments principaux et des éléments à l'état de traces dans les sédiments de surface de l'île Walpole .....	14
15. Description des sédiments de l'île Walpole .....	15
16. Granulométrie et géochimie des profils de sédiments de l'île Walpole .....	16
17. Concentrations des éléments principaux et des éléments à l'état de traces dans les sédiments de surface du marais Cootes Paradise .....	17
18. Description des sédiments du marais Cootes Paradise .....	19
19. Granulométrie et géochimie des profils de sédiments du marais Cootes Paradise .....	20
20. Concentrations en matières nutritives et en métaux des eaux du marais Big Creek .....	21
21. Concentrations en matières nutritives et en métaux des eaux des marais Dover, St. Lukes et Balmoral .....	22
22. Concentrations en matières nutritives et en métaux des eaux de certaines zones de l'île Walpole .....	22
23. Concentrations en matières nutritives et en métaux des eaux du marais Cootes Paradise .....	22
24. Production de biomasse au-dessus du sol et teneur en matières nutritives des macrophytes les plus courants prélevés en juillet des marais étudiés .....	26

## Tableaux (suite)

	Page
25. Concentrations en métaux de la biomasse au-dessus du sol de macrophytes au stade de développement maximal . . . . .	28
26. Quantité totale de matières organiques et de certains des principaux éléments dans les sols minéraux de surface de la zone tempérée, les sédiments de surface des marais étudiés et les sédiments de surface des Grands lacs. . . . .	29
27. Concentrations de métaux dans les sols communs, les sédiments de surface des marais étudiés et les sédiments de surface des Grands lacs. . . . .	30
28. Coefficients de corrélation indiquant le degré de relation linéaire entre le carbone organique et certains paramètres dans les profils sédimentaires verticaux . . . . .	31
29. Coefficients de corrélation indiquant le degré de relation linéaire entre le carbone organique et certains paramètres dans les sédiments de surface . . . . .	31
30. Provenances des apports de N et de P au lac Ontario en 1976. . . . .	35
31. Provenances des apports de N et de P au lac Érié en 1976 . . . . .	35
32. Relation générale entre la productivité des lacs et la concentration moyenne en azote et en phosphore de l'épilimnion . . . . .	37
33. Comparaison entre les apports en azote total aux marais Dover, Balmoral et Big Creek et la teneur en azote total de l'eau . . . . .	37
34. Coefficients de corrélation indiquant le degré de relation linéaire entre les matières nutritives de l'eau et celles des sédiments au marais Cootes Paradise. . . . .	37
35. Apports de $N_T$ aux marais . . . . .	39

## Illustrations

Figure 1. Zones étudiées . . . . .	2
Figure 2. Stations d'échantillonnage du marais Big Creek . . . . .	2
Figure 3. Stations d'échantillonnage des marais Dover, Balmoral et St. Lukes. . . . .	3
Figure 4. Stations d'échantillonnage de l'île Walpole . . . . .	4
Figure 5. Stations d'échantillonnage du marais Cootes Paradise . . . . .	5
Figure 6. Teneurs en matières nutritives de <i>Nymphaea odorata</i> (marais Big Creek, Dover, Balmoral, St. Lukes et de la baie Johnston). . . . .	24
Figure 7. Teneurs en matières nutritives de <i>Myriophyllum heterophyllum</i> (marais Big Creek, Dover, Balmoral, St. Lukes et de l'île Walpole) . . . . .	24
Figure 8. Teneurs en matières nutritives de <i>Glyceria grandis</i> (marais Cootes Paradise) . . . . .	24
Figure 9. Teneurs en matières nutritives de <i>Carex lacustris</i> (marais Big Creek, Balmoral, St. Lukes et de la baie Johnston. . . . .	25
Figure 10. Teneurs en matières nutritives de <i>Typha latifolia</i> (marais Big Creek, Dover, Balmoral, St. Lukes et de la baie Johnston). . . . .	25
Figure 11. Teneurs en matières nutritives de <i>Pontederia cordata</i> (marais Big Creek, Dover, Balmoral, St. Lukes) . . . . .	25
Figure 12. Teneurs en matières nutritives de <i>Typha latifolia</i> (marais Dover). . . . .	27
Figure 13. Concentrations d'azote et de phosphore dans l'eau. . . . .	33
Figure 14. Variations de la température et de la teneur en oxygène dissous . . . . .	39

## Résumé

Les effets positifs et négatifs de six marais attenants aux Grands lacs sur la qualité des eaux de ces derniers ont été étudiés. On a examiné les variations dans les concentrations en matières nutritives (N et P) et en oligo-éléments (Pb, Cu, Cr, Ni, Cd, As et Hg) de l'eau des marais, la géochimie des sédiments et l'assimilation des matières nutritives et oligo-éléments par les plantes des marais, ainsi que la production de leur biomasse. L'eau des marais avait un pH de 7.8 à 8.4, tandis que les sédiments étaient constitués de sols minéraux dont le pH se situait entre 6.9 et 7.2 et dont la granulométrie était surtout du type limoneux (2 à 63  $\mu\text{m}$ ). La concentration en matières nutritives et en oligo-éléments des eaux et des sédiments des marais a été comparée à celle des lacs Ontario et Érié. Les concentrations en diverses formes d'azote différaient beaucoup entre les marais et les lacs et les cours d'eau. Dans les marais, on a trouvé surtout de l'azote organique, et la concentration en oxygène dissous est restée relativement élevée durant les mois d'été (4 à 8  $\text{mg/L}^{-1}$ ). L'apport de matières nutritives aux marais a influé sur la production de la biomasse au-dessus du sol et sur la composition des espèces. Les macrophytes submergés ont absorbé plus de Pb, de Cr, de Ni, de Cd, de Co et de Cu que les macrophytes émergés. Tous les marais se sont montrés hautement capables de retenir les matières nutritives et les métaux. Ce filtrage dépendait du régime hydrologique et de la composition des espèces. D'après les calculs, si les marais se vidaient complètement dans les lacs adjacents, leur apport de N et de P serait négligeable comparativement à celui d'autres provenances.

## Abstract

Six marshes adjacent to the Great Lakes were investigated to evaluate their beneficial and/or detrimental effects on the water quality of the lakes. The nutrient (N and P) and trace element (Pb, Cu, Cr, Ni, Cd, As and Hg) concentration changes in marsh water; the geochemistry of sediments; and nutrient and trace element uptake by marsh plants and their biomass production were investigated. The marsh water retained pH values of between 7.8 and 8.4, and the sediments were submerged mineral soils with pH ranging between 6.9 and 7.2, with more than half of the particles in the silt size (2-63  $\mu\text{m}$ ) fraction. Concentrations of nutrients and trace elements in marsh water and sediment were compared with those found in Lakes Ontario and Erie. Large differences were observed between the concentrations of various forms of nitrogen present in marsh, lake, and stream water. Most of the nitrogen present in the marsh water was in the form of organic nitrogen. Dissolved oxygen concentration in the marsh water during summer months remained relatively high (4-8  $\text{mg L}^{-1}$ ). The nutrient input to the marshes affected the above-ground biomass production and the species composition in the marshes. Submerged macrophytes accumulated higher concentrations of Pb, Cr, Ni, Cd, Co and Cu than the emergent macrophytes. All of the marshes studied showed a high capacity to retain nutrients and metals. The degree of this retention depended on the hydrological regime and species composition in the marsh. It was calculated that a complete discharge of the marshes into the adjacent lakes would contribute only negligible quantities of N and P in relation to the loadings from other sources.

## Remerciements

L'auteur tient à remercier M. J. F. T. Carreiro, Chef des habitats et de l'évaluation environnementale du Service canadien de la faune (Ottawa) pour l'autorisation d'effectuer l'étude au marais Dover; le personnel du Service canadien de la faune à London (Ontario) pour l'information et l'aide apportées; la bande indienne de la réserve de l'île Walpole pour l'autorisation de pénétrer dans les marais et les services de guide; M. J. A. Capobianco, M. W. G. Booth, Mme M. Gregory, M. P. Mudroch, M. M. Mawhinney, M. E. Walker et M. R. Rendings pour l'aide fournie lors de l'échantillonnage sur le terrain, la préparation des échantillons et l'analyse chimique des matériaux; M. W. Finn pour la supervision lors de la préparation du manuscrit; P.G. Sly et J. O. Nriagu pour leurs conseils et suggestions et M. A. S. Fraser pour sa promptitude à communiquer les données sur les charges en matières nutritives du lac Érié. L'auteur veut, pour terminer, remercier M. R.J. Allan, Chef de la Division des contaminants de l'environnement de l'Institut national de recherches sur les eaux (Burlington), pour l'autorisation de publier ce rapport.

## Introduction

### GÉNÉRALITÉS

Il existe un très grand nombre de variables qui font que chaque marais est pratiquement unique. Parmi les variables externes figurent le climat; le cadre géographique, c'est-à-dire la géomorphologie d'une région ainsi que la taille et le type de plan d'eau associé (la superficie ou la longueur d'un lac, étang ou réservoir ou la profondeur et le régime du cours d'eau qui borde, traverse ou fait partie des terres humides); et l'utilisation des terres bordant les terres humides, qui peut avoir une incidence sur les types de couverts végétaux ou d'habitats dans la zone marécageuse avoisinante. Les variables internes comprennent la morphologie et la morphométrie du marais, et le rapport couvert végétal/eau, qui contribue à la diversité des micro-milieus dans le marais, et à la taille de ce dernier.

La composition chimique des eaux du marais et la géochimie de ses sédiments sont toutes deux fortement influencées par la géologie de la roche de fond, et l'utilisation des terres du bassin versant a une grande influence sur l'apport de matières nutritives au marais. Bjork (1967) a prouvé qu'un ajout, même occasionnel, de matières nutritives, comme l'apport de courte durée d'eaux résiduaires à la surface du sol immergé, pouvait avoir un effet à long terme sur la production de macrophytes aquatiques par enrichissement de la masse de matières nutritives retenue par l'ensemble des plantes vivaces. On peut donc s'attendre à ce que les marais bordant les lacs aient une influence appréciable, même très importante, sur le transfert naturel des matières nutritives à partir des milieux terrestres vers la masse du lac (Prentki et coll., 1978). De fait, les processus de transformation des matières nutritives, tels la sorption, la co-précipitation, l'assimilation active, la nitrification et la dénitrification retirent le phosphore et l'azote des eaux traversant des terres humides et les transfèrent au substrat et au biote où ils sont emmagasinés (Sloey et coll., 1978). À cause de ces phénomènes, les terres humides ont été utilisées pendant un bon nombre d'années en Europe pour le traitement des eaux usées; de vastes recherches ont récemment été effectuées dans ce domaine aux États-Unis (Tourbier et Pierson, 1976; Tilton et coll., 1976).

On dispose de certaines données sur les caractéristiques des gains et des pertes de matières nutritives ainsi

que sur leur production et assimilation par les macrophytes dans les marais. Les données décrivant l'assimilation microbienne et le transport connexe des matières nutritives dans l'eau et les sédiments des marais sont cependant rares.

### MARAIS DES GRANDS LACS

La zone littorale des Grands lacs, y compris les eaux peu profondes et les terres humides des rivages, constitue un habitat important pour la faune. L'augmentation de la densité de population autour des Grands lacs et de la demande pour des terrains à vocation rurale et industrielle s'est traduite par le remblayage et l'utilisation des marais pour l'élimination des déchets, des matériaux de dragage, etc. Ceci est confirmé par une évaluation des marais le long de la rive nord du lac Ontario qui a montré qu'en 1977, il ne restait que 13 027 acres des 22 400 acres mesurées au début du dix-neuvième siècle (McCullough, 1977).

Les marais riverains des Grands lacs ont surtout, dans le passé, fait l'objet d'études aux fins de la gestion de l'habitat des poissons et de la faune et à cause de leur valeur agricole particulière. Le Service canadien de la faune (SCF) a identifié les importantes zones de rassemblement de la sauvagine et étudié leurs utilisations par celle-ci (Dennis, 1974; Dennis et Chandler, 1974; Johnson, 1976).

L'étude de l'importance des terres humides pour la qualité de l'eau a cependant été fortement négligée. La présente étude a donc été entreprise dans le but d'évaluer les effets bénéfiques ou nocifs de certains marais en périphérie des Grands lacs. Les recherches ont porté sur les variations des concentrations en matières nutritives et en éléments à l'état de traces des eaux des marais, la géochimie des sédiments et l'assimilation par les plantes lacustres des matières nutritives et des éléments à l'état de traces. L'étude a été conçue de façon à caractériser chaque marais et à faciliter l'évaluation de ses effets éventuels sur la qualité de l'eau des lacs. Les renseignements obtenus serviront aussi de base utile à toute autre étude portant sur les interactions entre les sédiments et la qualité de l'eau dans d'autres systèmes de terres humides des Grands lacs et d'autres régions.

## ZONE ÉTUDIÉE

On a choisi six marais adjacents aux Grands lacs pour étudier les concentrations en matières nutritives et en métaux des eaux, des sédiments et des macrophytes aquatiques. Les marais suivants ont fait l'objet de l'étude: Cootes Paradise au lac Ontario; Big Creek au lac Érié; Dover, St. Lukes et Balmoral sur la rive nord-est du lac Sainte-Claire; et une partie de la région marécageuse du delta de la rivière Sainte-Claire. Les zones étudiées sont indiquées à la figure 1.

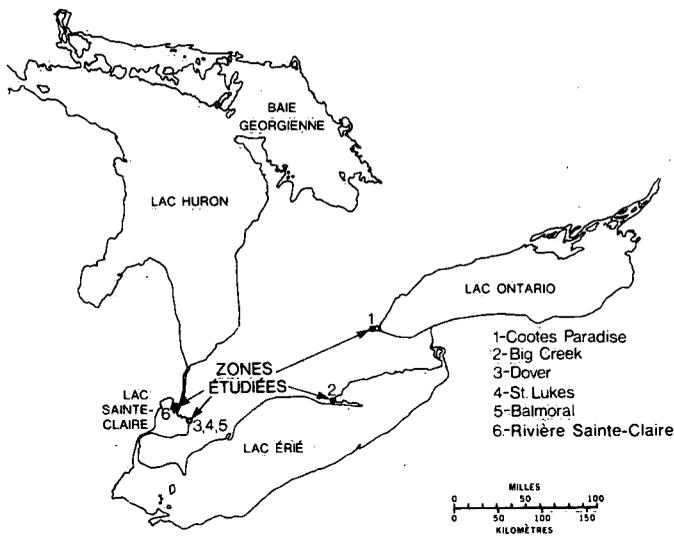


Figure 1. Zones étudiées.

Les six marais sont pratiquement à la même latitude et subissent donc l'influence de conditions climatiques semblables. Les plus importants paramètres climatologiques, signalés par Thomas (1953), sont résumés au tableau 1.

Tableau 1. Conditions climatiques de la zone étudiée

Température annuelle moyenne	7.2°C
Moyenne des minimums quotidiens de juillet	15.6°C
Moyenne des maximums quotidiens de juillet	26.7°C
Moyenne des minimums quotidiens de janvier	-12.2°C
Moyenne des maximums quotidiens de janvier	1.1°C
Précipitations annuelles moyennes de neige	1016 mm
Précipitations annuelles moyennes de pluie	635 mm
Ensoleillement moyen en juillet (heures)	275
Ensoleillement moyen en janvier (heures)	75

Le pH des eaux des marais variait de 7.8 à 8.4 et reflétait l'influence prédominante de la roche de fond carbonatée.

Les sols de l'Ontario sont aussi fortement influencés par les propriétés de la roche de fond. Webber et Hoffman (1967) ont défini le sol du bassin hydrographique du marais Big Creek comme un loam sableux ondulant et celui du bassin du marais Cootes Paradise comme un sol argileux vallonné. Les deux sont classés comme du podzol gris-brun. L'île Walpole, dans le delta de la Sainte-Claire, et les marais Dover, Balmoral et St. Lukes sont formés de sols argileux plats classés comme des gleysols humiques.

### Marais Big Creek — Lac Érié

Le marais Big Creek est un refuge d'oiseaux migrants du SCF. Il est situé à l'extrémité ouest de la baie Longue-Pointe et a une superficie d'environ 850 ha. Le ruisseau Big, qui coule en bordure de la limite nord du marais, en est le plus important affluent à l'année longue. Quelques chenaux permettent à l'eau du ruisseau de pénétrer dans le marais. Le marais n'a pas d'effluent et le ruisseau se déverse, au fond de la baie Longue-Pointe, dans le lac Érié (figure 2).

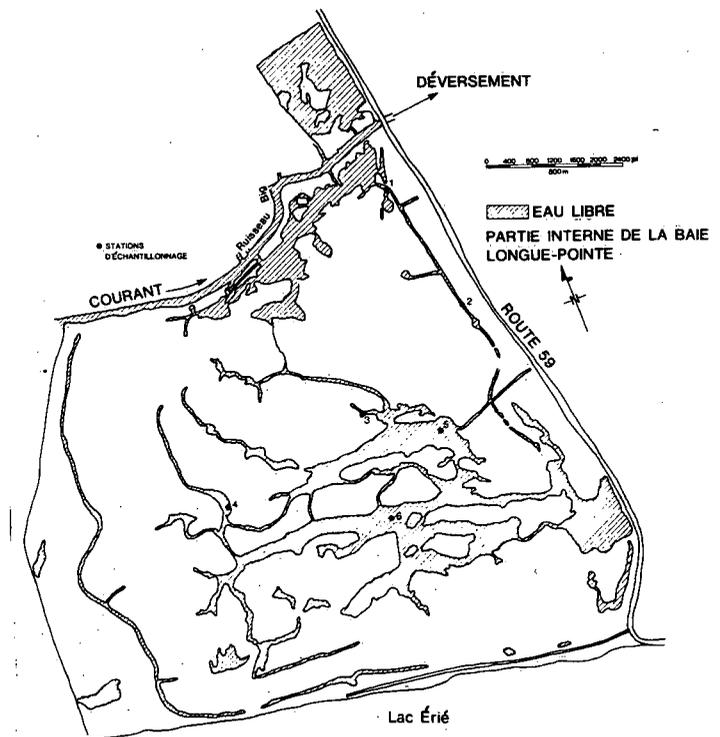


Figure 2. Stations d'échantillonnage du marais Big Creek.

En 1839, le ruisseau Big se déversait dans le lac au sud de la pointe Longue par l'intermédiaire d'un chenal d'environ 1.5 km de largeur situé à l'extrémité ouest de la pointe (Wood, 1951); ce chenal s'est cependant rétréci et s'est finalement bloqué. Le ruisseau a donc par la suite repris son cours antérieur pour se déverser dans la baie Longue-Pointe.

La roche de fond du bassin est formée de roches sédimentaires du Paléozoïque, surtout des calcaires, de la dolomite, du chert et du grès. Ces matériaux sont recouverts de dépôts glaciaires du Pléistocène et de petites quantités de sédiments alluvionnaires, lacustres et éoliens de l'époque postglaciaire (Yakutchick et Lammers, 1970). Environ 725 km<sup>2</sup> du bassin hydrographique du ruisseau Big sont utilisés à des fins agricoles (tabac, tomates, maïs, poivrons, etc.).

### Marais du lac Sainte-Claire—Dover, Balmoral, St. Lukes et de l'île Walpole

Les marais Dover, Balmoral et St. Lukes sont situés sur la rive est du lac Sainte-Claire (figure 3). Ces trois marais artificiels sont liés les uns aux autres et ils jouent un rôle important pour diverses espèces de sauvagine lors des migrations printanières et automnales, ainsi que pour la mue, l'alimentation et la nidification. Les marais étaient utilisés autrefois comme chasse privée. Le SCF a acquis le marais Dover en 1974 et il est devenu un refuge pour la faune. Le niveau des eaux de ces marais est régulé par des pompes, des digues et des chenaux. On alimente le marais Dover par un canal d'effluents de la municipalité voisine, le marais Balmoral par le lac Sainte-Claire et le marais St. Lukes en partie par le canal principal d'effluents et en partie par le lac Sainte-Claire. Les eaux des trois marais

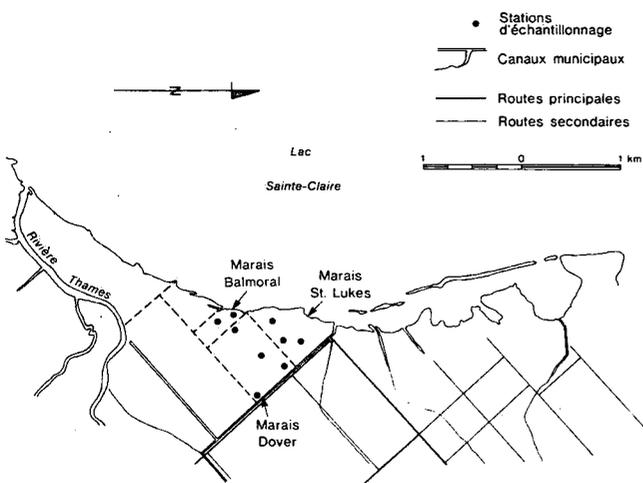


Figure 3. Stations d'échantillonnage des marais Dover, Balmoral et St. Lukes.

ont une profondeur variant de 10 à 50 cm et il n'y a pas de déversoir.

Les sols de la région sont constitués de loam sablonneux mal drainé reposant sur de l'argile (Webber et Hoffman, 1967). La plus grande partie de cette zone était autrefois un marécage à ormes, frênes et érables. Elle a cependant été artificiellement drainée récemment afin d'en réaliser le potentiel agricole. On accroît la fertilité du sol par l'emploi d'engrais. Cette abondance d'engrais se traduit par des teneurs élevées en matières nutritives des eaux du réseau de drainage qui sert aussi à régulariser les niveaux d'eau de deux des marais artificiels.

L'île Walpole, une réserve indienne, est la plus grande des îles du delta de la rivière Sainte-Claire, comme on peut le voir à la figure 4 (Chapman et Putnam, 1973). Les matériaux du delta ont été classés comme sable silteux par Wightman (1961).

Une grande partie de l'île, servant surtout maintenant à la culture du maïs et du soja, était autrefois un marais type. Le drainage des terres fait appel à plusieurs milles de fossés et à des stations de pompage qui maintiennent les eaux à des niveaux inférieurs à ceux des tributaires voisins. La partie inculte de l'île comprend des terrains boisés, des prés et des marais.

Le chenal Écarté est le plus important de l'île Walpole. Il permet aux eaux de la rivière Sainte-Claire d'atteindre les marais. Le chenal dragué de l'île Pottowatamie et le chenal Johnston sont des branches du chenal Écarté qui coulent lentement à travers l'île. Deux petits lacs s'y sont formés: le lac Goose, entouré d'une digue et alimenté par le chenal dragué de l'île Pottowatamie, et la baie Johnston, qui débouche partiellement le long de la rive nord-est du lac Sainte-Claire. Aux hautes eaux, la partie de l'île Walpole directement adjacente au lac Sainte-Claire est inondée par les eaux du lac. Les chenaux sinueux Écarté et Johnston sont régulièrement dragués à une profondeur d'environ 7 m. Le débit du chenal Johnston est d'environ  $8 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/d. La profondeur du lac Goose et de la baie Johnston, pratiquement uniforme, est d'environ 1 m. Le chenal dragué de l'île Pottowatamie est profond de 1 à 1.5 m. Un grand nombre de petits chenaux permettent aux pêcheurs et chasseurs d'accéder aux marais. La profondeur de l'eau des marais varie de 10 à 70 cm.

La roche de fond de la région du lac Sainte-Claire est formée de calcaire, de grès et de schistes du Dévonien et du Mississippien. Les dépôts du Pléistocène forment, dans cette zone, une région physiographique connue sous le nom de la plaine Sainte-Claire (Chapman et Putnam, 1973). Ces dépôts prennent la forme d'une argile glacio-lacustre grise et uniforme (Soderman et coll., 1961).

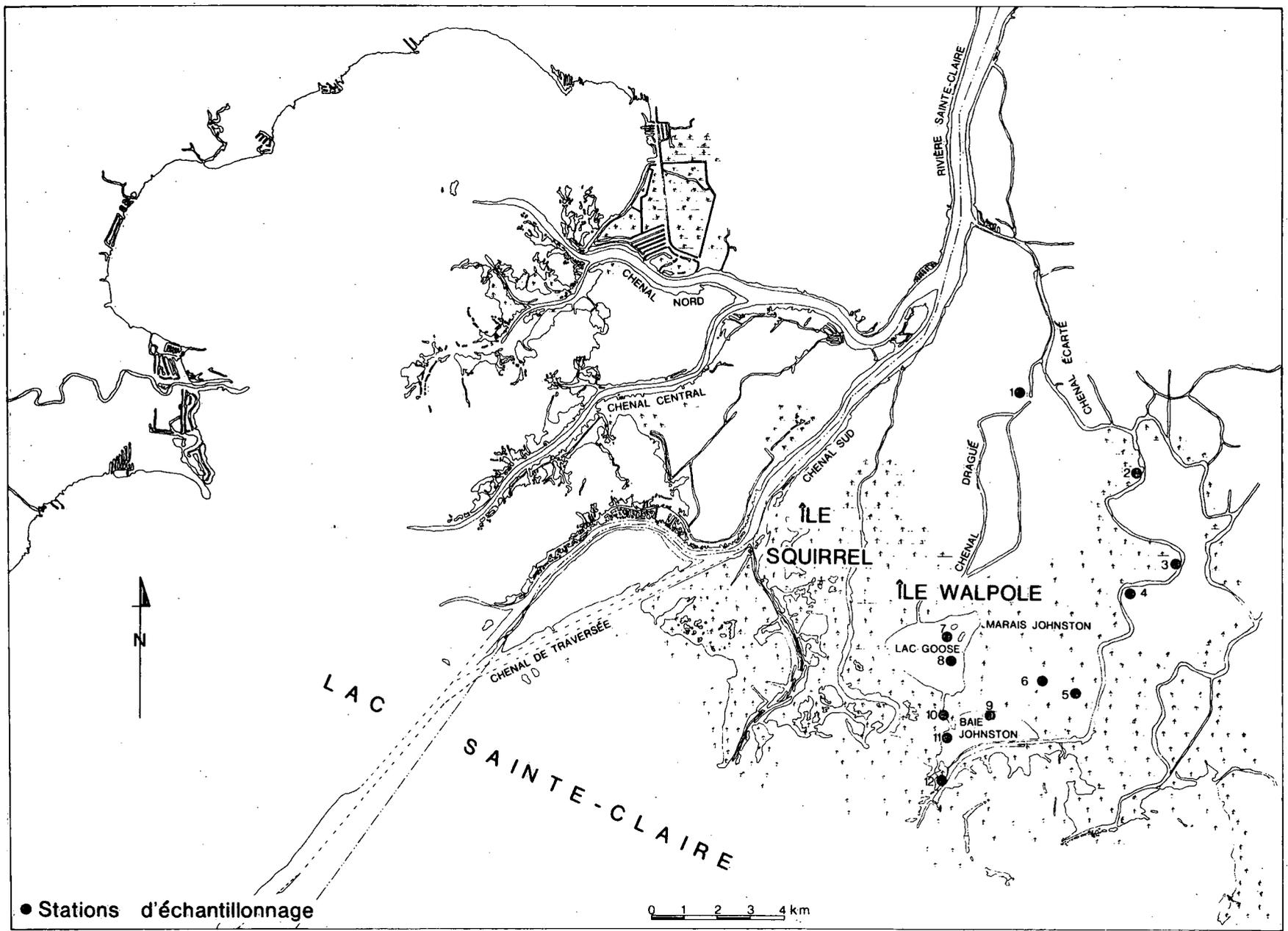


Figure 4. Stations d'échantillonnage de l'île Walpole.

## Marais Cootes Paradise

Ce marais est situé à l'ouest du port de Hamilton, sur le lac Ontario, dans la partie inférieure de la vallée Dundas. Cette zone est un refuge pour la faune comprenant environ 1.7 km<sup>2</sup> d'eau libre entourée de zones marécageuses et de terres boisées. Des effluents provenant d'une usine de traitement secondaire d'eaux usées située à moins de 1 km du marais sont déversés depuis plusieurs années dans l'étang ouest de Cootes Paradise. L'étang principal du refuge a une profondeur d'environ 0.5 m et est relié au lac Ontario, par l'intermédiaire du port de Hamilton, par un chenal de décharge d'environ 3 m de profondeur et de 5 m de largeur passant sous la route n° 403 (figure 5). Plusieurs petits ruisseaux se déversent dans le marais, dont le plus important, le ruisseau Spencer, a un débit moyen d'environ 2 m<sup>3</sup>/s. Ces ruisseaux et les effluents de l'usine de traitement sont responsables d'un écoulement constant d'eau dans le port de Hamilton.

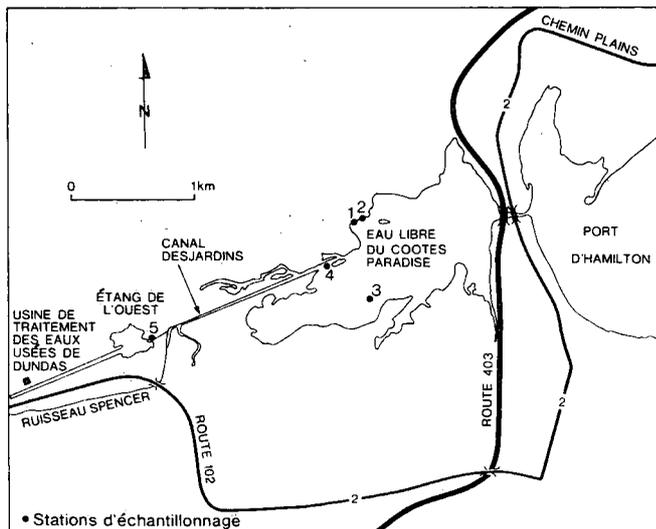


Figure 5. Stations d'échantillonnage du marais Cootes Paradise.

La roche de fond de la région est formée de schistes, de calcaires et de dolomites du Paléozoïque inférieur. Les dépôts du Pléistocène comprennent des dépôts glaciaires, glaciofluviaux et glaciolacustres résultant de l'importante glaciation de la vallée Dundas. La géologie de la région a été décrite par Karrow (1959) et Middleton (1971).

## VÉGÉTATION DES MARAIS

La présence, l'abondance et la distribution des plantes aquatiques d'un marais sont fonction d'un grand nombre de facteurs, tels les régimes hydrologiques et climatiques ainsi que les propriétés chimiques et physiques du substrat et de l'eau. Chacun des marais étudiés présentant au moins un facteur différent, la composition et la richesse en espèces sont uniques pour chaque marais.

La communauté de macrophytes des eaux libres du marais Big Creek est surtout formée d'espèces de *Nuphar*, de *Nymphaea* et de *Chara* bien que l'on trouve les espèces *Elodea* et *Myriophyllum* à certains endroits. La végétation de la partie sud du marais est surtout formée de *Carex aquatilis* et de quelques peuplements de *Typha*. Il existe une importante population de *Decon verticillatus* dans le marais, surtout le long de la rive. La végétation du marais Big Creek a été étudiée et décrite en détail par Bayly (1976).

La végétation du marais Dover est dominée par *Typha latifolia*, tandis que *Carex lacustris* et *Typha latifolia* sont les espèces dominantes dans les marais Balmoral et St. Lukes. On trouve d'importants peuplements de *Pontederia cordata*, de *Myriophyllum heterophyllum* et de *Nymphaea odorata* dans les trois marais et ces plantes obstruent plusieurs chenaux. La végétation du marais Dover a été étudiée de façon approfondie par Bayly (1975).

Le marais de l'île Walpole présente la plus grande diversité d'espèces. Les espèces végétales dominantes de la zone marécageuse sont *Typha* et *Carex*. On trouve aussi d'importants peuplements de *Pontederia cordata*, *Myriophyllum*, *Nymphaea odorata*, *Nuphar advena* et *Potamogeton*. Les autres espèces les plus abondantes sont *Ceratophyllum*, *Elodea*, *Chara*, *Najas* et *Scirpus*. Des peuplements de *Typha* et de *Scirpus* occupent la baie Johnston et sont abondants le long des rives de la rivière Johnston.

Au marais Cootes Paradise, la formation d'une importante zone de végétation contenant un grand nombre de macrophytes émergents et submergés est liée à la morphologie et à la haute teneur en matières nutritives de l'eau et des sédiments. La principale espèce émergente de l'étang ouest est *Glyceria grandis*, qui occupe la principale zone de végétation. On trouve aussi un peuplement de la même espèce le long de l'embouchure du ruisseau Long Valley. Une grande quantité de macrophytes submergés (*Myriophyllum*, *Utricularia*, *Ceratophyllum* et *Potamogeton*) et des *Lemna* à feuilles flottantes poussent aussi dans l'étang ouest et dans les baies situées le long des rives du principal plan d'eau.

## Méthodes

### ÉCHANTILLONNAGE ET PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS

Des points de prélèvement ont été choisis pour chacun des six marais sur la base de certains paramètres visuels de caractéristiques différentes. À chaque marais, on a prélevé des échantillons d'eau, de sédiments et de végétaux devant servir à des fins de comparaison et afin d'obtenir une série de données représentatives pour chaque marais. Les emplacements des stations d'échantillonnage sont indiqués aux figures 2 à 5.

#### Eau

Des échantillons d'eau ont été prélevés chaque mois à partir d'avril ou mai, jusqu'à novembre, dans le marais Cootes Paradise en 1976, ainsi que dans tous les marais du lac Sainte-Claire en 1977 et dans le marais Big Creek en 1978. Les échantillons d'eau ont été conservés dans des flacons de verre, à 4°C, jusqu'à leur analyse.

#### Sédiments

Les sédiments de surface (d'une profondeur de 0 à 8 cm) ont été prélevés à l'aide d'un échantillonneur mini-Shipek, placés dans des sacs de plastique et congelés, dans les 6 heures, puis soumis ultérieurement à une lyophilisation en laboratoire. Les prélèvements de carottes ont été effectués à l'aide d'une carotteuse Brown, munie d'un tube de plastique de 6.6 cm de diamètre. Chaque carotte était immédiatement divisée en sections de 5 cm qui étaient placées dans des sacs de plastique et congelées, dans les 6 heures, puis soumises ultérieurement à une lyophilisation en laboratoire. Les mesures de granulométrie ont été effectuées à partir d'environ 20 g de sédiments secs. Le reste des matériaux était passé par un tamis n° 20 (841 µm) afin d'en éliminer les racines, les fragments de coquilles et autres gros matériaux, avant d'être broyé jusqu'à l'acceptation au tamis n° 100 (149 µm). Les échantillons broyés ont servi aux analyses géochimiques.

#### Végétaux

Afin de déterminer la biomasse des macrophytes émergés dominants, à savoir *Typha latifolia*, *Carex lacustris* et *Glyceria grandis*, on a effectué des récoltes dans trois

quadrats de 1 m<sup>2</sup> chacun situés dans la zone uniforme de chaque peuplement. Les pousses étaient coupées au niveau du sol et séchées au laboratoire à 60°C pendant 72 heures avant d'être pesées pour en déterminer la teneur en matière sèche. La partie au-dessus du sol de quatre plantes de chaque quadrat, choisies au hasard, était sous-échantillonnée et coupée en longueurs de 0 à 40 cm, de 40 à 70 cm et de 100 cm. Ces sections ont été pulvérisées dans un broyeur Wiley jusqu'à l'acceptation au tamis n° 100 (149 µm). Le produit obtenu a été utilisé pour les analyses chimiques.

Pour déterminer la composition chimique des autres macrophytes les plus communs dans les marais, on a prélevé de six à dix spécimens de chaque espèce. Ceux-ci ont été lavés à l'eau du marais, congelés dans les 6 heures et soumis ultérieurement à une lyophilisation en laboratoire. Les végétaux desséchés ont ensuite été pulvérisés au broyeur Wiley jusqu'à l'acceptation au tamis n° 100 (149 µm).

### DÉTERMINATION DU pH ET DU Eh

Les valeurs du pH de l'eau et des sédiments et du Eh des sédiments ont été déterminées au moment du prélèvement des échantillons. Les méthodes utilisées ont été décrites de façon détaillée par Kemp et Lewis (1968).

### MESURE DE LA TEMPÉRATURE ET DES TENEURS EN OXYGÈNE DISSOUS

La température et la teneur en oxygène dissous ont été mesurées chaque semaine, entre 14 et 15 heures dans la plupart des marais. Les mesures ont été faites à chaque station d'échantillonnage à l'aide d'un compteur d'oxygène YSI-57.

### MÉTHODES ANALYTIQUES

#### Eau

La mesure des paramètres dans les échantillons d'eau a été effectuée selon les méthodes décrites dans le *Manuel des méthodes analytiques* (Environnement Canada, 1974).

## Sédiments

La concentration des principaux éléments (Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Ti, Mn, S et P) a été déterminée par spectrométrie par fluorescence aux rayons X (Mudroch, 1977) et celle des métaux (Pb, Ni, Cu, Co, Cr et Zn) par spectrophotométrie par absorption atomique, selon la méthode décrite par Mudroch et Capobianco (1978). La teneur en As a été déterminée par spectrométrie par fluorescence aux rayons X des sédiments de fond, auxquels on a ajouté des concentrations diverses de As pour l'étalonnage. La teneur en Hg a été déterminée selon la méthode des «vapeurs froides» décrite par Capobianco (1975). Les concentrations

en C organique ( $C_0$ ) et en N total ( $N_t$ ) ont été respectivement déterminées à l'aide d'un analyseur de carbone Leco et d'un analyseur d'azote Leco.

## Végétaux

Les teneurs en K, P, Ca et Mg des végétaux ont été déterminées par spectrométrie par fluorescence aux rayons X (Mudroch et Mudroch, 1977). La teneur en  $N_t$  a été déterminée à l'aide d'un analyseur d'azote Leco. Les concentrations en Pb, Zn, Cr, Ni, Cd, Co et Cu ont été mesurées selon la méthode utilisée par Mudroch et Capobianco (1978).

# Résultats

## GÉOCHIMIE DES SÉDIMENTS

### Marais Big Creek

Le principal composant des sédiments de surface (0 à 8 cm) était le silt, qui représentait de 57 % à 76 % du total.

Aucune différence importante n'a été notée pour les concentrations en Mg, Ca, Na, K, Mn et P dans les sédiments de surface, sauf dans le cas des échantillons provenant de la zone recouverte d'un peuplement dense de *Elodea* (tableau 2). Ces sédiments présentaient de fortes concentrations en Ca, lesquelles pourraient avoir pour origine une précipitation du  $\text{CaCO}_3$  sur les végétaux. Cette conclusion est basée sur des observations faites par Wetzel (1960), qui a étudié les dépôts de composés carbonatés sur les structures végétatives de macrophytes en eau dure; il a trouvé que les plus importants dépôts de  $\text{CaCO}_3$  se trouvaient sur des plantes submergées. Les concentrations en  $\text{C}_O$  et en  $\text{N}_t$  des sédiments dans cette même zone étaient les plus importantes et découlaient probablement d'une plus importante production de biomasse par rapport aux autres points d'échantillonnage. La teneur en matières organiques élevée abaissait la concentration en matières minérales dans les sédiments.

Les teneurs en Pb, Cu, Ni, Cr et Zn des sédiments de surface étaient inférieures à celles des sédiments de surface du lac Érié notées par Kemp et Thomas (1976). On note cependant une exception; il s'agit de la plus forte concentration en Zn notée pour les sédiments de la station n° 2. Des teneurs élevées en As et Hg ont été notées pour la partie du marais la plus touchée par les eaux provenant du ruisseau Big Miles (1976), Miles et Harris (1971) et Miles et coll. (1976) ont montré l'existence du transport de certains insecticides et matières nutritives par l'eau et par les sédiments en suspension et de fond du ruisseau Big. On suppose que le Hg et l'As provenaient de travaux agricoles, comme des vaporisations de pesticides et d'herbicides au-dessus des cultures; les produits de ces processus auraient ensuite été transportés dans le marais par les eaux et les matières en suspension du ruisseau Big.

Un profil vertical et les résultats des analyses des sédiments prélevés à la station n° 5 sont présentés au tableau 3.

La stratigraphie qu'on trouve à cette station est décrite au tableau 4.

Les profils de concentration en Fe, Mg, Ca, K et P de la carotte prélevée à la station 5 étaient uniformes. Les concentrations en  $\text{C}_O$ ,  $\text{N}_t$  et S étaient les plus élevées dans les 20 cm supérieurs, où les macrophytes étaient enracinés. Les teneurs en Ni, Cu, Co et Zn étaient uniformes dans toute la carotte, mais celles en Pb, Cr, As et Hg indiquaient un enrichissement dans la couche sédimentaire de surface. Au tableau 5, les concentrations en P,  $\text{C}_O$ ,  $\text{N}_t$ , Ca, Pb, Zn, Cu et Hg sont comparées à celles notées par Kemp et Thomas (1976) pour le profil des sédiments à grains fins des bassins central et est du lac Érié. À cause de l'importante activité biologique, les sédiments du marais Big Creek étaient riches en  $\text{C}_O$ ,  $\text{N}_t$  et Ca par rapport à ceux du lac Érié. Les concentrations en Zn, Cu et Pb étaient semblables aux teneurs dans les sédiments du lac Érié d'avant l'époque coloniale signalées par Kemp et Thomas (1976). Une description et une interprétation plus poussées des données obtenues par l'analyse des sédiments du marais Big Creek ont été faites par Mudroch (1979). Les valeurs du pH dans le profil des sédiments présentaient une gamme étroite (6.9 à 7.0). Les valeurs du Eh des sédiments étaient négatives dans toute la carotte, les valeurs les plus négatives (-200 mV) correspondant à la profondeur de 10 à 20 cm.

### Marais Dover, Balmoral et St. Lukes

Dans ces trois marais le silt représentait le principal composant des sédiments de surface, soit de 45 % à 72 % des échantillons.

Les concentrations en Mg, Ca, Na, K et Mn étaient semblables dans les sédiments des trois marais (tableau 6). Les teneurs en  $\text{C}_O$  et  $\text{N}_t$  étaient les plus faibles à deux stations d'échantillonnage du marais Dover où la profondeur de l'eau était d'environ 60 cm et où seulement quelques plantes submergées étaient présentes. On notait des peuplements denses de *Typha*, de *Pontederia cordata* et de *Nymphaea odorata* aux endroits où les concentrations en  $\text{C}_O$  et  $\text{N}_t$  dans les sédiments variaient respectivement de 10.42 % à 18.65 % et de 1.32 % à 2.05 %. Les valeurs moyennes des concentrations en métaux à l'état de traces dans les sédiments de surface des trois marais ont été comparées à celles notées par Thomas et coll. (1975) pour

Tableau 2. Concentrations des éléments principaux et des éléments à l'état de traces dans les sédiments de surface du marais Big Creek

Station	Pourcentage de la masse sèche											Masse sèche ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C <sub>O</sub>	N <sub>t</sub>	Pb	Ni	Cu	Co	Cr	Zn	S	As	Hg
1	63.0	9.70	2.63	2.87	10.41	1.59	2.04	0.36	0.09	0.24	1.98	0.09	36	20	14	3	67	89	2483	112	0.080
2	63.3	9.97	4.18	2.65	11.73	1.53	2.12	0.45	0.12	0.38	3.48	0.39	86	30	35	6	119	383	1169	0	0.080
3	33.7	6.63	4.20	1.62	20.95	0.45	1.79	0.38	0.12	0.34	14.53	1.83	74	29	26	7	42	126	4659	13	0.930
4	50.3	10.91	5.53	2.61	10.73	0.77	2.59	0.68	0.11	0.28	9.94	1.23	47	48	38	13	64	107	2254	18	0.530
5	54.8	8.17	2.74	2.28	11.03	1.09	1.83	0.36	0.12	0.30	8.85	1.00	47	21	16	3	56	94	4361	64	0.324
6	61.4	9.53	2.68	2.99	11.05	1.35	1.94	0.38	0.10	0.26	3.36	0.39	71	21	12	4	80	88	2531	0	0.334

Tableau 3. Granulométrie et géochimie du profil des sédiments du marais Big Creek

Profondeur (cm)	Eh (mV)	pH	Pourcentage de la masse sèche										Masse sèche ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )									
			Sable	Silt	Argile	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C <sub>O</sub>	N <sub>t</sub>	S	Pb	Ni	Cu	Co	Cr	Zn	As	Hg	
0-10	-150	7.0	14.50	76.80	8.70	2.55	2.42	10.05	1.86	0.30	8.50	1.00	4200	43	20	15	3	52	91	65	0.300	
10-20	-200	7.1	10.55	69.85	11.60	2.23	2.30	9.70	2.05	0.28	6.20	0.61	3700	33	19	14	3	38	86	38	0.290	
20-30	-150	7.0	16.93	70.58	12.49	2.65	2.18	9.76	2.05	0.27	4.25	0.39	3300	25	18	15	3	35	89	25	0.150	
30-40	-100	6.9	20.35	75.62	4.03	2.38	2.44	9.40	1.95	0.25	4.50	0.43	3400	25	19	14	3	32	90	22	0.100	
40-50	-75	7.0	20.05	79.83	0.12	2.46	2.09	9.68	1.90	0.26	4.60	0.44	3500	27	19	14	3	30	85	18	0.130	

Tableau 4. Description des sédiments du marais Big Creek

Station	Profondeur	Description
5	0-10	Silt gris brunâtre contenant un peu de sable et des racines fines
	10-25	Silt gris contenant du sable et des fragments végétaux en décomposition
	25-50	Silt gris à teneur de plus en plus élevée en sable vers le bas de la carotte

les sédiments de surface du lac Sainte-Claire (tableau 7). Si l'on suppose que les sédiments du lac et des marais ont une origine similaire, il y a donc eu un enrichissement en Pb, Zn et Cu dans les sédiments de surface des marais. L'importante activité de chasse qui a eu lieu autrefois dans le marais Dover et qui se poursuit dans les marais Balmoral et St. Lukes pourrait bien expliquer la provenance de ces métaux dans les sédiments.

Les concentrations en Hg des trois marais étaient semblables à celles notées par Kemp et Thomas (1976) pour les sédiments à grains fins d'avant l'époque coloniale des lacs Érié et Ontario (tableau 7). Les résultats analytiques (profils de sédiments) obtenus à chaque station d'échantillonnage dans chacun des trois marais sont présentés aux tableaux 8 à 10. La stratigraphie des trois marais est décrite aux tableaux 11 à 13.

Les profils de concentrations pour le  $C_o$ , le  $N_t$  et le S indiquaient un enrichissement dans les couches sédimentaires de surface (entre 0 et 20 cm) à toutes les stations d'échantillonnage des trois marais, sauf la station n° 3 du marais Dover. Les concentrations en Fe, Mg, Ca, K et P étaient uniformes tout au long de la colonne de sédiments; celles en Ni, Cu, Co, Cr et As étaient généralement semblables et uniformes dans les profils de sédiments des trois marais. Un enrichissement en Zn et Pb a été noté dans la partie de 0 à 20 cm de certains profils de sédiments.

Comme il a déjà été mentionné, cet enrichissement peut s'expliquer en partie par la chasse plus intensive pratiquée dans certaines parties des marais.

Les valeurs du pH étaient semblables pour tous les profils de sédiments; elles variaient entre 6.9 et 7.1. Celles du Eh étaient négatives et se situaient entre -50 et -300 mV. Les valeurs les plus négatives ont été notées pour les profondeurs de 10 à 20 cm dans tous les profils.

Les trois marais artificiels étaient, il y a 40 ans, des pâturages. Les enrichissements en  $C_o$ ,  $N_t$  et S dans la couche sédimentaire de surface indiquent bien l'accroissement de la productivité de la biomasse durant ces 40 dernières années.

#### Marais de l'île Walpole

Le sable a été le type principal de sédiments de surface prélevés au lac Goose et dans le chenal Pottowatamie. Les sédiments prélevés aux neuf autres stations étaient généralement constitués de quantités égales de sable, de silt et d'argile. Les concentrations élevées en  $SiO_2$  et les faibles concentrations en  $Al_2O_3$  des sédiments du lac Goose étaient dues à la présence d'importantes quantités de matériaux sableux à faible teneur en aluminosilicates, comme les minéraux de l'argile. Ces sédiments sableux présentaient aussi les plus faibles concentrations en CaO, MgO, S,  $P_2O_5$ , Pb, Ni, Cu, Cr, Co, Zn, As et Hg comparativement aux autres échantillons de sédiments prélevés dans la région de l'île Walpole. Les concentrations en  $C_o$  et  $N_t$  de la plupart des dix autres échantillons de sédiments de surface étaient élevées par rapport à celles notées par Kemp (1971) pour les sédiments au large des lacs Huron, Érié et Ontario (tableau 14). Évidemment, cet enrichissement a pour cause le dépôt de matériaux organiques produits localement dans les marais.

Au tableau 7, les valeurs moyennes des éléments à l'état de traces dans les sédiments de surface prélevés dans la rivière Johnston, la baie Johnston et le marais de la baie

Tableau 5. Concentrations de certains paramètres dans les sédiments du lac Érié et du marais Big Creek

Situation	Profondeur (cm)	Pourcentage de la masse sèche				Masse sèche ( $\mu g g^{-1}$ )			
		P	$C_o$	$N_t$	Ca	Pb	Zn	Cu	Hg
Lac Érié Bassin central	0-1	0.19	5.24	0.68	1.64	146	419	66	0.99
	30-40	0.13	1.56	0.20	0.35	22	112	34	0.09
Lac Érié Bassin est	0-1	0.14	3.30	0.45	1.51	112	328	57	0.33
	113-120	0.08	1.29	0.16	2.25	25	109	33	0.04
Marais Big Creek	0-10	0.130	8.50	1.00	7.00	43	91	15	0.30
	40-50	0.110	4.60	0.44	6.90	27	85	14	0.13

Tableau 6. Concentrations des éléments principaux et des éléments à l'état de traces dans les sédiments de surface des marais Dover, Balmoral et St. Lukes

Station	Marais	Pourcentage de la masse sèche												Masse sèche ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )									
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C <sub>0</sub>	N <sub>t</sub>	Pb	Ni	Cu	Co	Cr	Zn	S	As	Hg	
1	Dover	52.4	8.7	4.5	1.8	8.2	0.75	2.1	0.40	0.08	0.28	10.42	1.32	45	28	18	6	18	93	3800	10	0.100	
2		51.9	8.4	3.8	1.9	10.9	0.91	2.2	0.38	0.09	0.29	16.05	1.92	78	20	20	7	21	118	4100	15	0.120	
3		55.8	9.1	2.9	2.1	7.9	0.95	2.0	0.35	0.06	0.23	2.95	0.32	25	14	10	8	10	40	2300	2	0.130	
4		56.5	8.9	2.8	2.0	7.6	0.78	2.3	0.42	0.08	0.27	5.05	0.58	20	15	14	6	9	30	2100	10	0.100	
1	Balmoral	48.3	7.9	4.5	1.5	6.5	0.56	1.52	0.45	0.07	0.40	18.65	2.05	70	23	35	10	25	105	3900	1	0.150	
1	St. Lukes	59.1	8.2	3.1	1.9	6.2	1.20	2.1	0.31	0.05	0.27	13.83	1.62	35	15	12	7	10	65	3100	2	0.210	
2		55.3	8.4	4.1	1.7	5.9	0.98	2.2	0.42	0.08	0.35	16.20	2.03	79	25	25	10	20	150	4100	2	0.300	

Tableau 7. Teneurs moyennes en éléments à l'état de traces dans les sédiments de surface du lac Sainte-Claire et des marais

Situation	Paramètre	Masse sèche ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )							
		Pb	Cu	Zn	Ni	Co	Cr	As	Hg
Lac Sainte-Claire	$\bar{x}$	26.7	14.6	46.2	20.8	9.2	58.3	3.4	0.568
	$s_{\bar{x}}$	13.2	9.7	20.2	9.6	3.3	57.1	4.5	0.777
	n	54	54	54	54	54	54	54	54
Marais Dover, Balmoral et St. Lukes	$\bar{x}$	50.3	20.6	85.9	20.0	7.7	16.1	6.0	0.159
	$s_{\bar{x}}$	25.2	11.9	43.2	5.5	1.7	6.4	5.6	0.072
	n	7	7	7	7	7	7	7	7
Île Walpole, rivière Johnston, baie Johnston et marais de la baie Johnston	$\bar{x}$	37.7	17.9	85.3	24.8	7.8	24.8	2.5	0.486
	$s_{\bar{x}}$	21.4	10.8	41.2	12.7	4.1	18.8	1.9	0.498
	n	10	10	10	10	10	10	10	10

Tableau 8. Granulométrie et géochimie des profils sédimentaires du marais Dover

Station	Profondeur (cm)	Eh (mV)	pH	Pourcentage de la masse sèche <sup>1</sup>										Masse sèche ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )									
				Sable	Silt	Argile	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C <sub>O</sub>	N <sub>t</sub>	S	Pb	Ni	Cu	Co	Cr	Zn	As	Hg	
1	0-10	-150	7.1	14.74	60.45	24.81	4.28	1.9	7.9	2.1	0.27	9.95	1.25	3300	42	23	19	6	17	90	8	0.100	
	10-20	-250	7.0	13.52	65.28	21.20	4.41	1.8	7.5	2.0	0.26	8.80	0.98	3100	23	30	25	5	14	65	3	0.110	
	20-30	-100	7.0	25.42	68.34	6.24	4.25	2.1	7.2	2.1	0.29	4.20	0.51	2700	20	25	20	4	13	50	5	0.090	
2	0-10	-175	7.0	14.02	55.83	30.05	3.55	1.9	9.8	1.9	0.28	15.54	1.74	3950	75	17	19	6	20	110	10	0.110	
	10-20	-300	7.2	8.43	53.12	38.45	3.15	1.7	8.9	2.0	0.26	9.03	1.06	3150	35	10	18	6	17	75	5	0.100	
	20-30	-125	7.0	15.92	56.58	27.50	3.38	2.0	8.6	1.8	0.27	3.89	0.41	2200	19	9	12	7	14	28	5	0.110	
3	0-10	-100	7.0	21.90	45.83	34.27	2.64	2.1	7.8	2.0	0.23	2.82	0.31	1900	18	12	17	7	8	34	3	0.120	
	10-20	-150	7.2	14.19	56.98	28.83	2.98	1.9	7.5	2.1	0.22	5.35	0.75	2200	25	11	19	9	7	51	2	0.100	
	20-30	-75	7.0	26.13	62.30	11.57	2.54	2.0	7.2	2.1	0.23	3.45	0.42	2200	21	14	18	9	9	45	3	0.110	
4	0-10	-50	7.0	15.21	58.39	26.40	2.75	1.9	7.4	1.9	0.27	4.91	0.63	2800	19	22	13	6	8	25	<2	0.090	
	10-20	-150	7.1	17.18	62.38	20.44	2.84	2.1	7.0	1.8	0.28	3.26	0.45	2200	15	23	12	4	8	22	<2	0.100	
	20-30	-75	7.1	23.85	61.53	14.62	2.69	2.2	7.9	2.1	0.25	2.95	0.38	2000	13	20	19	4	9	20	<2	0.100	

Tableau 9. Granulométrie et géochimie du profil sédimentaire du marais Balmoral

Station	Profondeur (cm)	Eh (mV)	pH	Pourcentage de la masse sèche										Masse sèche ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )									
				Sable	Silt	Argile	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C <sub>O</sub>	N <sub>t</sub>	S	Pb	Ni	Cu	Co	Cr	Zn	As	Hg	
1	0-10	-100	6.9	5.35	62.53	32.12	4.15	1.7	6.3	1.6	0.38	17.65	1.98	3700	65	20	32	5	23	120	5	0.120	
	10-20	-270	7.0	11.15	55.95	32.90	4.27	1.9	6.5	1.7	0.40	7.63	0.95	3500	38	15	15	10	20	30	3	0.110	
	20-30	-200	7.0	20.31	58.22	21.47	4.36	1.8	7.2	1.7	0.32	5.51	0.73	2900	25	15	13	8	19	25	<2	0.110	

Tableau 10. Granulométrie et géochimie des profils sédimentaires du marais St. Lukes

Station	Profondeur (cm)	Eh (mV)	pH	Pourcentage de la masse sèche										Masse sèche ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )									
				Sable	Silt	Argile	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C <sub>O</sub>	N <sub>t</sub>	S	Pb	Ni	Cu	Co	Cr	Zn	As	Hg	
1	0-10	-120	6.9	8.75	64.28	26.97	2.8	1.9	6.1	2.1	0.25	12.5	1.45	3050	38	13	13	7	10	63	5	0.180	
	10-20	-180	7.0	9.05	65.82	25.13	2.5	2.0	6.0	2.0	0.23	4.3	0.56	2200	20	10	10	6	8	35	<2	0.130	
	20-30	-150	7.0	13.82	58.25	27.93	2.3	2.1	5.9	2.1	0.25	4.5	0.51	2200	19	10	10	7	10	38	<2	0.120	
	30-40	-130	7.1	18.52	55.38	26.10	2.4	1.8	6.2	2.0	0.24	3.9	0.45	2000	18	8	10	6	10	35	<2	0.110	
2	0-10	-165	6.9	10.25	65.68	24.07	4.5	1.7	5.8	2.2	0.33	14.55	1.78	3900	70	25	25	9	20	100	10	0.300	
	10-20	-180	7.0	14.83	62.29	22.88	4.3	1.9	5.9	2.1	0.30	12.38	1.56	3500	55	23	20	11	15	120	8	0.180	
	20-30	-100	7.0	20.39	53.81	25.80	4.6	1.8	6.2	2.1	0.28	4.28	0.66	2400	20	20	22	5	20	35	5	0.120	

Tableau 11. Description des sédiments du Marais Dover

Station	Profondeur (cm)	Description
1	0-20	Silt et argile très fins, mous et très foncés, contenant des débris organiques en décomposition
	20-30	Mélange fin de silt et d'argile d'un gris foncé; présence d'un peu de sable à la partie inférieure de la carotte
2	0-20	Silt et argile très fins, mous et très foncés, contenant une grande quantité de racines et de débris organiques en décomposition
	20-30	Mélange fin et ferme de silt et d'argile d'un gris très foncé contenant une certaine quantité de racines en décomposition
3	0-20	Mélange très fin de silt et d'argile d'un gris très foncé contenant une certaine quantité de petites racines
	20-30	Silt fin et ferme, présence d'un peu de sable à la partie inférieure de la carotte
4	0-20	Mélange très fin et d'un gris foncé de silt et d'argile
	20-30	Mélange de silt et d'argile fin et ferme, présence de sable à la partie inférieure de la carotte

Tableau 12. Description des sédiments du Marais Balmoral

Station	Profondeur (cm)	Description
1	0-20	Mélange de silt et d'argile très fin, très mou et d'un gris très foncé contenant d'importantes quantités de débris organiques en décomposition
	20-30	Mélange de silt et d'argile fin et ferme d'un gris foncé; présence d'un peu de sable à la partie inférieure de la carotte

Tableau 13. Description des sédiments du Marais St. Lukes

Station	Profondeur (cm)	Description
1	0-20	Mélange de silt et d'argile très fin, mou et d'un gris très foncé contenant des débris organiques en décomposition
	20-40	Mélange de silt et d'argile fin et ferme d'un gris foncé; présence d'un peu de sable à la partie inférieure de la carotte
2	0-20	Silt et argile très fins, très mous et d'un gris très foncé contenant une grande quantité de petites racines en partie décomposées
	20-30	Mélange de silt et d'argile fin d'un gris foncé; présence d'un peu de sable à la partie inférieure de la carotte

Tableau 14. Concentrations des éléments principaux et des éléments à l'état de traces dans les sédiments de surface de l'île Walpole

Station	Situation	Pourcentage de la masse sèche											Masse sèche ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )									
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C <sub>o</sub>	N <sub>t</sub>	Pb	Ni	Cu	Co	Cr	Zn	S	As	Hg
1	Chenal Pottowatamie	60.3	8.2	2.8	3.5	9.5	0.2	2.1	0.47	0.04	0.24	4.7	0.45	38	19	11	5	32	60	2500	<2	0.07
2	Rivière Johnston	60.5	12.3	5.2	3.1	4.1	0.1	3.1	0.80	0.05	0.16	6.8	0.66	54	40	36	9	23	132	3100	<2	1.05
3	Rivière Johnston	60.8	12.1	5.4	3.8	4.5	0.1	3.3	0.80	0.05	0.18	12.5	1.19	69	45	30	11	54	138	4000	5	0.95
4	Rivière Johnston	60.3	12.2	5.3	3.2	5.1	0.1	3.2	0.78	0.05	0.17	8.8	0.83	63	43	32	10	60	145	3500	3	1.50
5	Marais de la baie Johnston	61.3	8.4	3.4	3.2	6.1	0.2	2.2	0.50	0.04	0.18	7.6	0.71	14	19	10	4	17	69	3100	5	0.20
6	Marais de la baie Johnston	60.5	8.1	3.5	3.1	6.3	0.2	2.1	0.55	0.04	0.19	7.1	0.66	20	18	15	5	19	58	2900	3	0.25
7	Lac Goose	69.7	4.4	0.9	0.8	1.6	0.5	1.8	0.14	0.02	0.05	1.8	0.15	4	3	<1	5	2	17	1500	<2	0.05
8	Lac Goose	75.8	4.6	1.0	0.9	1.4	0.5	1.71	0.13	0.01	0.05	2.1	0.20	3	2	1	2	2	14	1200	<2	0.05
9	Baie Johnston	53.3	9.7	4.6	1.9	3.7	0.1	2.5	0.65	0.07	0.13	7.1	0.68	55	23	19	8	20	110	2500	3	0.10
10	Baie Johnston	67.4	8.3	2.5	2.8	7.1	0.4	2.1	0.42	0.05	0.13	5.8	0.55	34	15	8	1	2	55	1900	3	0.18
11	Baie Johnston	60.6	9.5	3.0	1.8	2.1	0.1	2.5	0.62	0.03	0.14	3.9	0.36	15	13	8	10	8	45	1100	<2	0.16
12	Baie Johnston	57.4	8.3	2.8	5.0	7.9	0.2	2.3	0.51	0.03	0.10	4.1	0.38	15	13	10	15	13	41	1200	3	0.40

Johnston sont comparées à celles notées pour le lac Sainte-Claire et les marais Dover, Balmoral et St. Lukes. La concentration en Zn était semblable à celle notée dans les marais artificiels, mais plus importante que celle des sédiments de surface du lac Sainte-Claire. La concentration en Pb était élevée par rapport à celle des sédiments du lac Sainte-Claire mais moins importante que celles notées pour les marais Dover, Balmoral et St. Lukes. Les concentrations en Cu, Ni, Co et As des sédiments du lac Sainte-Claire et de tous les marais étudiés étaient similaires tandis que les concentrations en Cr des sédiments des marais étaient inférieures à celles des sédiments du lac Sainte-Claire. Les valeurs moyennes des concentrations en Hg des sédiments de la région de l'île Walpole étaient semblables à celles notées pour les sédiments de surface du lac Sainte-Claire en 1974 (Thomas et coll., 1975). On trouvera une description de la coupe verticale et les résultats de l'analyse des sédiments aux tableaux 15 et 16.

Les profils de concentrations en Fe, Mg, Ca, K et P étaient généralement uniformes dans toutes les carottes de sédiments, si l'on fait exception du Ca à la station n° 10 (baie Johnston). On notait, à cet endroit, un peuplement dense de macrophytes submergés (*Chara*). Ces plantes accumulant une grande quantité de calcite sur leur structure végétative, la plus grande concentration en Ca dans les sédiments de surface s'expliquait probablement par ce phénomène. Les macrophytes présents à la plupart des stations d'échantillonnage ont contribué aux plus importantes teneurs en  $C_O$  et  $N_T$  de la couche sédimentaire (0 à 20 cm). Une augmentation des concentrations en Pb, Cu et Zn à la surface des sédiments a été notée dans les sédiments prélevés aux trois stations de la rivière Johnston (nos 2, 3 et 4) et à une station de la baie Johnston (n° 9). Des teneurs en Hg élevées ont aussi été notées dans les sédiments de surface (0 à 20 cm) provenant des trois stations de la rivière Johnson et de la station n° 12 de la baie Johnston (figure 4).

Tableau 15. Description des sédiments de l'île Walpole

Station	Situation	Profondeur (cm)	Description
2	Rivière Johnston	0-10	Silt et argile très fins, mous et d'un gris foncé contenant un peu de sable
		10-30	Argile limoneuse fine, ferme, de couleur grise, de plus en plus de sable vers la partie inférieure de la carotte
3	Rivière Johnston	0-30	Silt et argile fins gris foncé contenant un peu de sable
4	Rivière Johnston	0-20	Argile limoneuse très fine, molle et d'un gris foncé contenant un peu de sable
		20-30	Silt et argile fins et gris mélangés à du sable fin
5	Marais de la baie Johnston	0-10	Mélange de silt, d'argile et de sable fin d'un gris foncé contenant des débris organiques en décomposition
		10-20	Mélange de silt, d'argile et de sable fin d'un gris très foncé; présence d'un grand nombre de racines en décomposition
		20-30	Mélange de silt, d'argile et de sable fin d'un gris foncé; présence de quelques petites coquilles de palourdes
6	Marais de la baie Johnston	0-10	Mélange fin de silt, d'argile et de sable d'un gris foncé; présence de débris organiques en décomposition
		10-20	Mélange fin de silt, d'argile et de sable d'un gris très foncé; présence d'un grand nombre de racines et de feuilles en décomposition
		20-40	Mélange fin et ferme de sable, de silt et d'argile de couleur grise; plus grande quantité de sable à la partie inférieure de la carotte où l'on retrouve de petites coquilles de palourdes
7, 8	Lac Goose	0-20	Sable fin et ferme; présence de quelques petites coquilles de palourdes
9, 10, 11, 12	Baie Johnston	0-10	Mélange fin et gris de sable, de silt et d'argile
		10-20	Mélange ferme et fin de sable, de silt et d'argile d'un gris très foncé; présence de débris organiques en décomposition
		20-30	Mélange ferme de sable, de silt et d'argile d'un gris foncé; plus de sable vers la partie inférieure de la carotte

Tableau 16. Granulométrie et géochimie des profils de sédiments de l'île Walpole

Station	Situation	Profondeur (cm)	Eh (mV)	pH	Pourcentage de la masse sèche										Masse sèche ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )									
					Sable	Silt	Argile	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>t</sub>	S	Pb	Ni	Cu	Co	Cr	Zn	As	Hg	
1	Chenal Pottowatamie	0-10	-50	7.0	40.25	30.81	28.94	2.7	3.1	9.3	2.1	0.22	4.3	0.39	2100	33	15	10	3	21	46	3	0.07	
		10-20	-75	7.1	70.38	19.15	10.47	2.8	2.6	9.3	2.2	0.18	3.4	0.31	1900	25	10	7	2	10	35	2	0.05	
		20-30	+50	7.0	68.63	22.49	8.88	2.7	2.7	9.1	2.2	0.19	3.2	0.29	1900	23	10	9	2	9	33	2	0.04	
2	Rivière Johnston	0-10	-100	7.0	20.05	61.38	18.57	5.1	2.9	3.6	3.2	0.16	6.9	0.67	2900	50	35	32	9	22	120	3	0.95	
		10-20	-175	7.1	23.42	60.29	16.29	5.3	2.4	2.7	3.1	0.12	6.7	0.65	2800	25	28	18	10	17	68	<2	0.25	
		20-30	-85	7.1	30.91	55.25	13.84	5.5	2.5	2.9	2.9	0.11	6.8	0.66	2700	28	30	20	8	20	73	2	0.07	
3	Rivière Johnston	0-10	-50	7.1	31.86	49.52	18.62	5.5	3.7	4.3	3.3	0.17	10.8	0.98	3900	65	43	25	9	49	120	3	0.90	
		10-20	-125	7.0	29.65	50.05	20.30	5.2	3.4	4.2	3.1	0.16	11.2	1.03	3800	40	32	18	10	45	94	2	0.65	
		20-30	-75	7.0	26.55	51.82	21.63	5.3	3.2	3.5	3.2	0.17	8.9	0.73	3100	41	28	20	9	36	68	<2	0.20	
4	Rivière Johnston	0-10	-70	7.0	26.60	42.95	31.35	5.2	3.1	5.0	3.2	0.16	8.5	0.79	3100	59	40	30	10	55	130	5	1.45	
		10-20	-140	7.1	38.05	33.13	28.82	5.3	2.9	4.9	3.1	0.17	7.9	0.74	2900	40	32	25	9	40	95	4	0.32	
		20-30	-25	7.0	55.63	22.89	21.48	5.1	2.9	4.7	3.0	0.15	5.6	0.53	1900	38	34	21	10	38	68	4	0.09	
5	Marais de la baie Johnston	0-10	-100	7.0	35.70	31.42	32.88	3.2	3.2	6.0	2.2	0.17	7.5	0.69	2900	15	19	10	4	14	60	<2	0.20	
		10-20	-230	7.1	41.80	38.42	19.78	3.5	3.2	7.9	2.1	0.16	6.2	0.58	2600	17	15	12	5	12	55	2	0.18	
		20-30	-150	7.0	33.55	46.18	20.27	3.2	2.7	5.8	2.1	0.13	4.9	0.43	2100	20	16	9	4	10	51	2	0.15	
6	Marais de la baie Johnston	0-10	-100	7.0	38.72	28.74	32.54	3.4	3.1	6.1	2.1	0.17	6.9	0.64	2800	19	17	13	5	18	55	<2	0.23	
		10-20	-250	7.1	37.29	42.58	20.13	3.5	3.2	5.9	2.2	0.16	6.5	0.59	2600	15	16	10	4	15	45	2	0.18	
		20-30	-75	7.0	43.24	25.18	31.58	3.4	3.1	6.2	2.1	0.16	4.8	0.43	2000	16	16	12	5	16	50	<2	0.18	
		30-40	-20	7.0	51.28	29.15	19.57	3.2	3.1	6.3	2.1	0.17	3.5	0.31	1500	14	15	11	4	17	53	<2	0.15	
7	Lac Goose	0-10	+150	7.0	87.25	10.13	2.62	0.7	0.8	1.7	1.7	0.05	1.7	0.10	<500	4	3	<1	2	3	15	<2	<0.05	
		10-20	+50	7.0	89.18	9.50	1.32	0.9	0.7	1.9	1.8	0.05	1.1	0.06	<500	5	3	1	3	2	14	<2	<0.05	
8	Lac Goose	0-10	+200	7.1	90.04	8.92	1.04	0.9	0.7	1.8	1.9	0.07	1.9	0.11	<500	5	2	1	3	3	16	<2	<0.05	
		10-20	+75	7.0	89.25	7.15	3.60	1.1	0.7	2.0	1.7	0.09	1.2	0.06	<500	3	3	1	2	3	17	<2	<0.05	
9	Baie Johnston	0-10	-135	7.1	30.64	35.62	33.74	4.7	1.8	3.5	2.5	0.12	6.9	0.62	2300	53	20	18	8	19	100	2	0.10	
		10-20	-170	7.0	26.08	39.73	34.19	4.5	1.7	2.9	2.7	0.13	4.2	0.37	1700	25	23	19	9	24	75	<2	0.08	
		20-30	-40	7.0	50.28	26.83	22.89	4.6	2.7	2.8	2.5	0.08	3.1	0.26	1100	20	17	10	10	18	46	<2	0.09	
10	Baie Johnston	0-10	-55	7.0	37.81	45.23	16.96	2.4	2.7	6.8	2.1	0.13	5.8	0.55	1800	30	14	10	1	2	50	2	0.17	
		10-20	-135	7.1	42.56	39.68	17.76	2.5	2.2	3.7	2.3	0.13	4.4	0.40	1600	25	15	12	7	10	55	<2	0.11	
		20-30	-20	7.1	48.17	38.29	13.54	2.3	1.7	2.5	2.5	0.11	3.5	0.31	900	20	17	13	7	10	45	2	0.09	
11	Baie Johnston	0-10	-95	7.0	33.48	46.59	19.93	2.9	1.8	2.1	2.4	0.13	3.8	0.42	1200	15	14	8	11	9	40	2	0.14	
		10-20	-150	7.0	36.92	45.26	17.82	3.0	1.7	2.0	2.3	0.12	3.1	0.34	800	13	13	9	14	8	45	<2	0.11	
		20-30	-35	7.0	45.18	39.19	15.63	3.1	1.4	1.9	2.1	0.13	2.1	0.18	<500	10	13	8	13	10	42	<2	0.08	
12	Baie Johnston	0-10	-75	7.0	41.52	38.98	19.50	2.7	4.8	7.7	2.3	0.11	3.9	0.44	1600	16	14	10	14	12	40	<2	0.33	
		10-20	-125	7.0	38.68	40.15	21.17	2.9	4.5	8.0	2.4	0.10	3.1	0.35	1100	15	13	9	16	13	42	<2	0.18	
		20-30	+15	7.0	48.11	35.08	16.81	2.8	4.3	7.9	2.3	0.09	2.3	0.24	600	16	15	10	15	14	40	<2	0.10	

Tableau 17. Concentrations des éléments principaux et des éléments à l'état de traces dans les sédiments de surface du marais Cootes Paradise

Station	Pourcentage de la masse sèche												Masse sèche ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO	N <sub>t</sub>	Pb	Ni	Cu	Co	Cr	Zn	S	As	Hg	
1	62.5	10.8	7.6	3.0	5.7	0.92	2.93	0.51	0.18	0.09	3.90	0.26	40	33	32	12	19	135	1800	7	0.09	
2	67.9	11.2	7.3	2.9	3.9	1.10	2.82	0.50	0.17	0.07	6.75	0.72	42	36	47	11	20	170	2900	5	0.09	
3	62.8	8.6	4.8	2.8	11.2	1.20	1.81	0.39	0.09	0.11	1.60	0.17	45	22	36	5	12	190	500	5	0.05	
4	65.9	7.3	4.7	3.2	10.9	0.95	1.96	0.35	0.12	0.10	1.70	0.18	44	17	29	4	9	150	500	6	0.06	
5	63.8	8.4	5.3	3.4	9.3	1.05	1.82	0.51	0.12	0.70	19.28	2.15	40	32	42	7	75	130	4500	10	0.13	

Tous ces lieux sont en eau peu profonde; on y trouve plus de matériaux à grains fins et ce sont des zones de sédimentation des particules fines transportées en suspension par la rivière Johnston. Cette rivière, une branche du chenal Écarté, est le principal chenal de cette zone. Elle permet aux eaux de la rivière Sainte-Claire, et à leurs matières en suspension, d'atteindre le lac Sainte-Claire. Les sédiments de fond de la baie Johnston sont périodiquement remis en suspension par les tempêtes et les inondations qui sont probablement responsables d'un retransport partiel des solides en suspension vers le lac Sainte-Claire. L'absence d'un apport de rejets industriels dans la rivière Johnston porte à penser que les concentrations élevées en métaux dans ces sédiments ont pour cause les sédiments en suspension de la rivière Sainte-Claire.

Le pH de tous les profils de sédiments était généralement le même (7.0 à 7.1). Les Eh des sédiments sableux du lac Goose présentaient des valeurs positives (50 à 200 mV). Ces valeurs positives sont typiques des sables saturés d'eau du lac Ontario (Thomas et coll., 1972). Les Eh étaient négatifs et se situaient dans la gamme de -20 à -250 mV pour tous les autres sédiments, à l'exception de la coupe de 20 à 30 cm des carottes prélevées dans le chenal Pottowatamie et la baie Johnston. Les valeurs les plus faibles ont été notées dans la coupe de 10 à 20 cm du profil de sédiments du marais de la baie Johnston.

#### Marais Cootes Paradise

Les principaux constituants des sédiments prélevés au marais Cootes Paradise étaient le silt aux stations n<sup>os</sup> 1, 2, 3 et 5 et le sable à la station n<sup>o</sup> 4. Les stations d'échantillonnage de sédiments n<sup>os</sup> 1 et 2 étaient situées dans une zone généralement inondée au printemps et pendant les années de hautes eaux. Les concentrations en Al, Ca, Fe et Mn des sédiments de surface reflétaient les petites modifications de la minéralogie locale du bassin hydrographique du Cootes Paradise (tableau 17). Les teneurs en Fe et Al étaient élevées, et celles en Ca étaient les plus faibles, dans les sédiments prélevés aux stations n<sup>os</sup> 1 et 2. Ce phénomène s'expliquait par la présence d'un sol brun rougeâtre ayant pour origine la roche de fond de schistes argileux du Queenston.

Les concentrations en C<sub>O</sub> et N<sub>T</sub> étaient les plus élevées aux stations n<sup>os</sup> 1 et 2, phénomène attribué à la présence d'un peuplement dense de macrophytes (*Glyceria grandis*) dans cette région. On ne notait que quelques macrophytes submergés aux stations n<sup>os</sup> 3 et 4.

Les concentrations en Pb, Zn, Cu et Hg étaient semblables aux stations n<sup>os</sup> 1, 2, 3 et 4 et se rapprochaient de celles notées par Kemp et Thomas (1976) pour les sédiments du lac Ontario d'avant la colonisation.

Les concentrations en C<sub>O</sub>, N<sub>T</sub> et P<sub>T</sub> (phosphore total) des sédiments de l'étang ouest (station n<sup>o</sup> 5) étaient de plusieurs fois supérieures à celles des autres sédiments. Ceci résultait clairement des rejets de l'usine de traitement d'eaux usées de Dundas et de la forte activité biologique dans cette région.

La concentration en Pb des sédiments de surface de l'étang ouest était semblable à celle notée par Kemp et Thomas (1976) pour les sédiments de surface du lac Ontario et les concentrations en Ni, Ca, Zn, As et Hg étaient semblables à celles notées aux stations n<sup>os</sup> 1, 2, 3 et 4. Les concentrations plus élevées en Pb et Cr des sédiments de surface à la station n<sup>o</sup> 5 pourraient s'expliquer par les effluents de l'usine de traitement de Dundas.

Les concentrations en Ca, Mg, K et de la plupart des éléments à l'état de traces étaient constantes dans tous les profils de sédiments (tableau 18). Les profils des concentrations en P, Pb et Cr dans les sédiments de l'étang ouest indiquaient un enrichissement de la couche superficielle. La description et l'interprétation détaillées des profils de concentrations à toutes les stations ont été faites par Mudroch et Capobianco (1979). On trouvera aux tableaux 18 et 19 une description des carottes et des résultats des analyses des sédiments.

Les valeurs positives les plus élevées du Eh des sédiments ont été notées aux stations n<sup>os</sup> 1 et 2. Ces sédiments étaient au-dessus de l'eau lors du prélèvement et ils étaient donc plus oxydés que ceux prélevés aux autres endroits. Les valeurs négatives les plus élevées du Eh ont été notées dans les sédiments de l'étang ouest. Les plus grandes quantités de débris végétaux en décomposition notées à cette station ont probablement modifié les valeurs du Eh.

## CHIMIE DE L'EAU

#### Marais Big Creek

Les concentrations en N, P, Fe, Mn et Zn dans les échantillons d'eau prélevés aux six stations durant la période allant de mai à novembre 1978 sont présentées au tableau 20 de même que des données similaires obtenues pour l'embouchure du ruisseau Big et le lac Érié (croisière de surveillance de 1975).

Les valeurs moyennes des concentrations en azote total de Kjeldahl (N<sub>T</sub>K) des eaux du marais étaient plus élevées que celles du ruisseau Big. L'azote du ruisseau Big se présentait surtout sous la forme de NNO<sub>3</sub> + NO<sub>2</sub>. La teneur en N<sub>NH4</sub> de l'eau du marais était semblable à celle notée dans l'eau du ruisseau Big. On a noté une augmenta-

Tableau 18. Description des sédiments du marais Cootes Paradise

Station	Profondeur (cm)	Description
1	0-10	Argile limoneuse très fine et brune contenant de petites racines et des débris végétaux plus gros commençant à se décomposer; structure plus fine vers 10 cm
	10-30	Argile limoneuse ferme, d'un brun jaunâtre foncé, contenant quelques petites racines
2	0-10	Mélange fin de silt et d'argile mou, d'un brun grisâtre très foncé contenant une grande quantité de vieilles racines partiellement décomposées; présence à 10 cm de lentilles noires d'argile limoneuse très fine
	10-30	Argile limoneuse très ferme, d'un gris foncé, présentant quelques taches et lentilles d'argile limoneuse très fine; un grand nombre de petites racines en décomposition
3	0-10	Matériau mou d'un gris olivâtre foncé contenant un peu de sable
	10-20	Sable limoneux très ferme et noir mélangé à un peu d'argile limoneuse gris olivâtre foncé.
	20-30	Comme plus haut, quelques lentilles noires d'argile limoneuse très fine
	30-40	Sable fin, très ferme, d'un gris très foncé, contenant du silt et un peu d'argile
	40-50	Silt ferme, d'un gris très foncé, contenant de l'argile
4	50-60	Silt et argile fermes, d'un gris brunâtre et de consistance spongieuse, plus brunâtre vers la partie inférieure de la carotte où se trouvent aussi un grand nombre de petites racines—apparence d'un vieux sol de marais
	0-10	Mélange fin de silt d'argile et de sable d'un gris olivâtre foncé; grande quantité de racines et de débris végétaux
	10-50	Mélange ferme de limon, d'argile et de sable d'un gris foncé
	50-90 90-130	Sable à grains moyens, bien classé Argile limoneuse très ferme d'un gris olivâtre foncé contenant un peu de sable; quelques très petites racines à la partie inférieure de la carotte
5	0-10	Argile limoneuse très molle, très fine et noire contenant des débris organiques en décomposition; forte odeur de H <sub>2</sub> S
	10-20	Comme plus haut, mais plus ferme
	20-30	Argile limoneuse ferme, fine, d'un brun grisâtre très foncé; présence d'un peu de sable et de quelques débris végétaux
	30-40	Mélange ferme de silt, d'argile et de sable d'un gris très foncé contenant des fragments de coquilles

tion de la teneur en  $N_tK$  et en  $NNH_4$  dans l'eau du marais aux stations nos 2 à 5, en novembre. Cet accroissement pourrait s'expliquer par la décomposition de certains macrophytes. L'activité biologique étant limitée par la température en automne, l'azote libéré n'est pas totalement utilisé par le phytoplancton et la quantité en excès demeure pendant un certain temps dans l'eau du marais avant d'être adsorbée ou absorbée par les sédiments. À l'exception de celles de la station n° 5, les valeurs moyennes de la teneur en  $P_t$  dans l'eau du marais étaient plus élevées que celles notées pour les eaux du lac Érié et du ruisseau Big. DeMarte et Hartman (1974) ont trouvé que le P était absorbé par les racines de *Myriophyllum*, transformé au niveau des tiges et ensuite libéré dans l'eau. Une autre mise en liberté de P se produisait suite à des blessures aux tiges. La libération de P par certains macrophytes pourrait donc expliquer les plus fortes concentrations notées dans les eaux du marais. Les teneurs moyennes en Fe des eaux du marais étaient supérieures à celles du lac Érié.

Les concentrations en Pb, Ni, Cu, Cr, Cd et As étaient  $\leq 0.001$  mg L<sup>-1</sup> et celles en Hg sont demeurées inférieures à  $5 \times 10^{-5}$  mg L<sup>-1</sup>, ceci durant toute la période d'étude.

La teneur en oxygène dissous de l'eau tombait parfois à 5 mg L<sup>-1</sup> durant l'après-midi, les mois d'été, mais l'eau était de nouveau aérée durant le refroidissement nocturne et la teneur en oxygène dissous augmentait.

#### Marais Dover, Balmoral et St. Lukes

Les concentrations en matières nutritives et éléments à l'état de traces des eaux de marais sont présentées au tableau 21. Les mêmes paramètres, se rapportant à des eaux prélevées dans le canal municipal et le lac Sainte-Claire, sont aussi présentés pour fin de comparaison. Comme cela a déjà été mentionné dans la section intitulée «Zone étudiée», de l'eau est pompée dans les marais à partir du canal et du lac.

Les concentrations les plus élevées en phosphore total, et en toutes formes d'azote, ont été notées pour les eaux prélevées dans le marais Dover. Cela résulte sans doute des fortes concentrations en matières nutritives des eaux du canal municipal qui sont régulièrement pompées dans ce marais.

Les concentrations en matières nutritives du marais Balmoral étaient très probablement fonction des plus faibles teneurs en N et P des eaux du lac Sainte-Claire, qui servent à maintenir le niveau de l'eau de ce marais. Aucune augmentation significative de la teneur en matières nutritives n'a été notée pour les eaux des trois marais lors des prélèvements d'automne.

Tableau 19. Granulométrie et géochimie des profils de sédiments du marais Cootes Paradise

Station	Profondeur (cm)	Eh (mV)	pH	Pourcentage de la masse sèche										Masse sèche ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )								
				Sable	Silt	Argile	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C <sub>O</sub>	N <sub>t</sub>	S	Pb	Ni	Cu	Co	Cr	Zn	As	Hg
1	0-10	+305	7.0	28.88	55.29	15.83	7.4	3.0	5.5	2.9	0.08	3.70	0.32	1800	35	32	32	12	19	130	7	0.030
	10-20	+120	7.2	41.75	48.13	10.12	7.5	2.9	5.3	2.8	0.09	3.13	0.34	1400	30	33	30	10	19	120	9	0.030
	20-30	+50	7.4	42.53	45.28	12.18	7.3	3.0	5.1	2.9	0.11	2.95	0.28	700	25	32	28	12	20	115	9	0.025
2	0-10	+130	7.1	29.13	50.65	20.22	7.2	2.9	3.8	2.8	0.07	6.50	0.51	2200	40	35	50	10	21	170	6	0.110
	10-20	+35	7.2	25.61	55.21	19.18	7.4	2.8	4.1	2.7	0.08	1.90	0.20	<500	20	30	35	13	20	100	5	0.090
	20-30	+30	7.4	37.25	41.71	21.04	7.3	3.0	3.8	2.9	0.08	2.30	0.25	<500	17	31	29	10	20	90	4	0.040
3	0-10	+15	7.0	29.42	42.43	28.15	4.7	2.8	11.0	1.8	0.11	1.60	0.55	<500	45	23	36	5	12	180	6	0.050
	10-20	+20	7.0	71.24	24.11	4.65	4.6	2.7	10.9	1.7	0.09	1.35	0.08	<500	20	20	25	5	10	105	5	0.030
	20-30	+30	7.1	74.52	23.38	2.1	4.7	2.8	10.5	1.9	0.08	1.40	0.09	<500	25	15	23	3	10	100	6	0.035
	30-40	+10	7.0	80.0	15.63	4.37	4.5	2.9	10.7	1.7	0.07	1.28	0.11	<500	20	12	20	5	11	110	5	0.030
	40-50	+20	7.0	17.65	65.23	17.12	4.4	2.9	11.2	1.7	0.08	4.18	0.44	2200	42	28	46	8	16	230	10	0.09
	50-60	+40	6.9	20.94	63.81	15.25	4.5	2.9	10.9	1.8	0.08	9.56	0.96	4100	46	26	44	8	16	470	7	0.06
4	0-10	-70	7.0	21.51	49.58	28.91	4.5	3.2	10.5	1.8	0.10	1.40	0.14	<500	44	17	28	3	10	150	4	0.06
	10-20	-20	7.0	18.57	51.18	30.25	4.4	3.1	10.8	1.5	0.11	1.55	0.16	<500	45	16	30	4	9	150	5	0.05
	20-30	+5	7.1	25.23	49.62	25.15	4.6	3.0	11.1	1.7	0.09	1.76	0.17	<500	35	15	32	4	10	140	6	0.05
	30-40	+10	7.1	26.03	45.23	28.74	4.7	2.9	10.5	1.6	0.10	1.30	0.14	<500	30	10	31	4	8	120	5	0.05
	40-50	+30	7.1	40.29	48.15	11.56	4.5	2.9	10.3	1.5	0.11	0.90	0.08	<500	20	7	28	3	9	90	6	0.05
	50-60	+90	7.1	75.81	18.19	6.00	4.6	2.2	5.4	0.9	0.09	0.50	0.07	<500	10	5	15	1	5	50	3	0.01
	80-90	+110	7.0	85.13	12.05	2.82	4.9	1.9	5.7	1.0	0.09	0.45	0.05	<500	15	6	10	1	5	55	<2	0.01
	120-130	+10	7.0	40.68	50.06	9.26	4.7	2.9	9.8	1.8	0.11	1.05	0.16	<500	25	16	32	4	11	130	7	0.03
5	0-10	-150	6.8	22.03	45.38	32.59	5.3	3.4	9.2	1.8	0.65	15.38	1.71	5200	205	26	40	6	55	120	13	0.130
	10-20	-235	6.9	4.02	48.82	47.16	5.2	3.2	9.5	1.7	0.35	3.12	0.33	2100	40	13	45	6	10	170	7	0.120
	20-30	-50	7.0	20.11	50.28	29.61	5.1	3.3	9.1	1.9	0.13	2.20	0.23	900	55	18	32	7	13	180	6	0.100
	30-40	-70	7.0	45.41	43.03	11.56	5.3	3.1	9.6	1.8	0.11	2.05	0.21	800	40	22	30	13	12	210	7	0.090

Tableau 20. Concentrations en matières nutritives et en métaux des eaux du marais Big Creek (mg L<sup>-1</sup>)

Station	Paramètre	NNH <sub>4</sub>	N <sub>T</sub> K	NNO <sub>3</sub> + NO <sub>2</sub>	P <sub>T</sub>	Fe	Mn	Zn
1	Gamme	0.016-0.035	0.638-0.733	0.028-0.065	0.023-0.043	0.243-0.318	0.095-0.153	0.005-0.011
	$\bar{x}$	0.026	0.685	0.044	0.038	0.284	0.127	0.008
	$s_{\bar{x}}$	0.007	0.045	0.013	0.008	0.027	0.022	0.002
	n	7	7	7	7	7	7	7
2	Gamme	0.039-0.095	0.658-1.118	0.098-0.180	0.025-0.045	0.390-0.510	0.048-0.070	0.005-0.009
	$\bar{x}$	0.057	0.647	0.132	0.033	0.466	0.059	0.007
	$s_{\bar{x}}$	0.022	0.171	0.030	0.008	0.042	0.008	0.002
	n	7	7	7	7	7	7	7
3	Gamme	0.045-0.070	0.730-0.950	0.025-0.061	0.043-0.060	0.256-0.365	0.073-0.095	0.005-0.010
	$\bar{x}$	0.055	0.831	0.042	0.050	0.304	0.085	0.008
	$s_{\bar{x}}$	0.009	0.0810	0.015	0.007	0.039	0.008	0.002
	n	7	7	7	7	7	7	7
4	Gamme	0.043-0.075	0.698-0.910	0.024-0.062	0.021-0.030	0.095-0.135	0.045-0.068	0.005-0.009
	$\bar{x}$	0.058	0.769	0.039	0.026	0.114	0.057	0.007
	$s_{\bar{x}}$	0.010	0.074	0.016	0.004	0.015	0.009	0.002
	n	7	7	7	7	7	7	7
5	Gamme	0.045-0.082	0.683-0.840	0.010-0.041	0.010-0.028	0.100-0.153	0.020-0.040	0.006-0.010
	$\bar{x}$	0.058	0.754	0.022	0.022	0.126	0.031	0.008
	$s_{\bar{x}}$	0.013	0.058	0.012	0.003	0.018	0.008	0.002
	n	7	7	7	7	7	7	7
6	Gamme	0.015-0.040	0.390-0.550	0.015-0.060	0.018-0.032	0.145-0.190	0.060-0.100	0.005-0.018
	$\bar{x}$	0.027	0.480	0.033	0.023	0.165	0.082	0.012
	$s_{\bar{x}}$	0.009	0.069	0.017	0.005	0.016	0.016	0.005
	n	7	7	7	7	7	7	7
Ruisseau: Big	Gamme	0.025-0.050	0.290-0.345	0.40-2.21	0.013-0.023	0.115-0.180	0.049-0.061	0.010-0.018
	$\bar{x}$	0.036	0.321	1.23	0.017	0.141	0.055	0.014
	$s_{\bar{x}}$	0.009	0.022	0.593	0.004	0.027	0.005	0.003
	n	7	7	7	7	7	7	7
Lac Érié 1975	Gamme	S.O.	0.110-0.540	0.005-0.375	0.0097-0.0640	0.060-0.110	S.O.	0.004-0.008
	$\bar{x}$	S.O.	0.277	0.142	0.0229	0.085	S.O.	0.006
	$s_{\bar{x}}$	S.O.	0.087	0.093	0.0109	0.025	S.O.	0.002
	n	S.O.	204	204	205	2	S.O.	2

Les teneurs moyennes en Fe et Mn étaient plus élevées dans les eaux du marais Dover (de 0.295 et 0.074 mg L<sup>-1</sup>, respectivement) que dans celles des marais Balmoral et St. Lukes. Les teneurs en Zn de tous les échantillons d'eau prélevés dans les trois marais durant la période d'échantillonnage étaient généralement semblables et près de celles notées pour les eaux du lac Sainte-Claire et de la conduite municipale. Les teneurs en Cr, Cu, Pb, Ni, As et Cd de tous les échantillons prélevés dans les marais et dans le lac Sainte-Claire étaient inférieures aux seuils de détection (<0.001 mg L<sup>-1</sup>), et la concentration en Hg était de 5 x 10<sup>-5</sup> mg L<sup>-1</sup>.

La concentration en oxygène dissous des eaux de marais était minimale en juillet (6 mg L<sup>-1</sup>) et du même ordre de grandeur dans les trois marais.

#### Marais de l'île Walpole

Les concentrations en matières nutritives et métaux des eaux de la rivière Johnston et de la baie Johnston (stations nos 2, 3, 4, 7, 9, 11 et 12) et du marais de la baie Johnston (stations nos 5 et 6) sont présentées au tableau 22.

Tableau 21. Concentrations en matières nutritives et en métaux des eaux des marais Dover, St. Lukes et Balmoral (mg L<sup>-1</sup>)

Marais	Paramètre	NNH <sub>4</sub>	N <sub>t</sub> K	NNO <sub>3</sub> + NO <sub>2</sub>	P <sub>t</sub>	Fe	Mn	Zn
Dover, toutes les stations	Gamme	0.055-0.450	1.85-3.70	0.038-0.490	0.087-0.130	0.105-0.358	0.040-0.128	<0.001-0.015
	$\bar{x}$	0.215	2.67	0.280	0.110	0.295	0.074	0.005
	$s_{\bar{x}}$	0.163	0.332	0.187	0.052	0.120	0.021	0.001
	n	28	28	28	28	28	28	28
St. Lukes, toutes les stations	Gamme	0.045-0.270	1.90-2.60	0.025-0.068	0.027-0.090	0.068-0.169	0.028-0.095	<0.001-0.054
	$\bar{x}$	0.166	2.28	0.040	0.069	0.131	0.048	0.020
	$s_{\bar{x}}$	0.102	0.090	0.010	0.049	0.102	0.019	0.040
	n	14	14	14	14	14	14	14
Balmoral, toutes les stations	Gamme	0.043-0.210	1.12-2.10	0.017-0.048	0.020-0.087	0.072-0.215	0.035-0.108	<0.001-0.004
	$\bar{x}$	0.135	1.69	0.036	0.043	0.143	0.083	0.003
	$s_{\bar{x}}$	0.076	0.23	0.021	0.020	0.095	0.041	0.002
	n	7	7	7	7	7	7	7
Canal municipal	Gamme	0.150-0.200	0.800-0.980	2.70-5.48	0.072-0.145	0.045-0.650	0.040-0.200	<0.001-0.017
	$\bar{x}$	0.179	0.870	4.55	0.114	0.330	0.130	0.010
	$s_{\bar{x}}$	0.010	0.105	2.98	0.092	0.284	0.055	0.011
	n	7	7	7	7	7	7	7
Lac Sainte- Claire	Gamme	0.028-0.095	0.390-0.480	0.050-0.075	0.024-0.028	0.035-0.130	0.015-0.066	0.002-0.010
	$\bar{x}$	0.066	0.452	0.069	0.026	0.098	0.041	0.009
	$s_{\bar{x}}$	0.023	0.060	0.010	0.002	0.043	0.010	0.001
	n	7	7	7	7	7	7	7

Tableau 22. Concentrations en matières nutritives et en métaux des eaux de certaines zones de l'île Walpole (mg L<sup>-1</sup>)

Situation	Paramètre	NNH <sub>4</sub>	N <sub>t</sub> K	NNO <sub>3</sub> + NO <sub>2</sub>	P <sub>t</sub>	Fe	Mn	Zn
Rivière Johnston et baie Johnston	Gamme	0.055-0.072	0.230-0.310	0.028-0.063	0.021-0.032	0.050-0.110	0.015-0.045	0.005-0.024
	$\bar{x}$	0.062	0.260	0.042	0.028	0.084	0.038	0.016
	$s_{\bar{x}}$	0.010	0.042	0.009	0.008	0.022	0.016	0.007
	n	42	42	42	42	42	42	42
Marais de la baie Johnston	Gamme	0.045-0.060	0.500-0.930	0.010-0.060	0.021-0.044	0.070-0.220	0.030-0.095	0.004-0.012
	$\bar{x}$	0.050	0.730	0.050	0.034	0.168	0.054	0.009
	$s_{\bar{x}}$	0.013	0.140	0.032	0.011	0.090	0.028	0.004
	n	14	14	14	14	14	14	14

Tableau 23. Concentrations en matières nutritives et en métaux des eaux du marais Cootes Paradise (mg L<sup>-1</sup>)

Station	Paramètre	NNH <sub>4</sub>	N <sub>t</sub> K	NNO <sub>3</sub> + NO <sub>2</sub>	P <sub>t</sub>	Fe	Mn	Zn
1, 2, 3, 4	Gamme	0.010-4.20	0.100-9.000	0.015-2.500	0.010-0.690	0.130-0.450	0.090-2.100	0.005-0.250
	$\bar{x}$	0.924	1.368	0.897	0.120	0.210	0.450	0.098
	$s_{\bar{x}}$	1.030	1.246	0.687	0.101	0.195	1.205	0.156
	n	8	8	8	8	8	8	8
5	Gamme	8.050-18.000	7.500-20.050	0.050-4.95	1.980-5.54	0.140-0.380	0.100-0.320	0.006-0.059
	$\bar{x}$	10.666	14.000	1.989	3.182	0.250	0.170	0.039
	$s_{\bar{x}}$	4.217	5.109	1.741	1.263	0.180	0.155	0.021
	n	8	8	8	8	8	8	8
Ruisseau Spencer, Dundas	$\bar{x}$	0.040	0.680	0.620	0.083	0.095	0.075	0.005
	$s_{\bar{x}}$	0.010	0.148	0.172	0.026	0.013	0.028	0.001
	n	8	8	8	8	8	8	8

Les concentrations en  $\text{NNH}_4$ ,  $\text{NNO}_3 + \text{NO}_2$  et  $\text{P}_t$  dans les eaux prélevées dans la rivière Johnston, la baie Johnston et le marais de la baie Johnston étaient semblables. Cette similitude est probablement due à l'inondation périodique de toute cette zone par les eaux du lac Sainte-Claire. La digue entourant le marais protège en partie cette région de l'action des vagues, mais les variations du niveau d'eau des Grands lacs ont un effet important sur le régime hydrologique.

Les concentrations en  $\text{N}_t\text{K}$ , Fe et Mn étaient plus élevées dans les eaux du marais (respectivement de 0.730, 0.168 et 0.054  $\text{mg L}^{-1}$ ) que dans celles de la rivière Johnston et de la baie Johnston (respectivement 0.260, 0.084 et 0.038  $\text{mg L}^{-1}$ ).

La matière organique dissoute produite par l'importante activité biologique du marais représentait le principal apport en  $\text{N}_t\text{K}$  dans l'eau. On sait très peu de chose du rôle des macrophytes dans les cycles du Fe et du Mn. Osborn et Hem (1962) et DeMarte et Hartman (1974) ont noté un transport du Fe des sédiments vers les feuilles des végétaux submergés. On ne dispose cependant d'aucune information sur la mise en liberté du Fe à partir des végétaux après décomposition.

Les concentrations en Pb, Cr, Cu, Ni, As et Cd étaient  $\leq 0.001 \text{ mg L}^{-1}$  et la concentration en Hg était  $< 5 \times 10^{-5} \text{ mg L}^{-1}$  dans tous les échantillons d'eau. La valeur moyenne de la teneur en zinc était plus élevée dans les échantillons d'eau prélevés dans la rivière Johnston et la baie Johnston.

La région comprenant la baie Johnston et les eaux près de la rive de la rivière Johnston peut être considérée comme faisant partie de la zone littorale du lac Sainte-Claire, laquelle est occupée par divers macrophytes. Ici aussi la remise en suspension périodique des sédiments par l'activité des vagues de tempête et les inondations a un effet sur le transport partiel des solides en suspension, ainsi que sur la qualité des eaux de la région.

#### Marais Cootes Paradise

Les valeurs moyennes des concentrations en matières nutritives et métaux des eaux prélevées au marais Cootes Paradise sont présentées au tableau 23. Les concentrations les plus élevées en  $\text{N}_t$  et  $\text{P}_t$  ont été notées à la station d'échantillonnage située à l'exutoire de l'étang ouest. Semkin et coll. (1976) ont noté que la première diminution de la concentration en matières nutritives des effluents de l'usine de traitement des eaux usées de Dundas, qui sont responsables de 30 à 40 % des teneurs en  $\text{P}_t$  et  $\text{N}_t$ , se produisait dans la zone marécageuse de l'étang ouest. Il existait un rapport entre, d'une part, cette réduction

et, de l'autre, la sédimentation des matières solides et l'activité biologique dans l'étang (Mudroch et Capobianco, 1979). L'importante teneur en matières nutritives des sédiments de l'étang ouest corrobore cette observation.

La principale molécule azotée présente dans l'eau à la station n° 5 était le  $\text{NNH}_4$  ( $\bar{x} = 10.660 \text{ mg L}^{-1}$ ), mais l'on notait aussi la présence de  $\text{NNO}_3 + \text{NO}_2$  ( $\bar{x} = 1.989 \text{ mg L}^{-1}$ ). Selon Semkin et coll. (1976), la teneur en  $\text{NNO}_3 + \text{NO}_2$  des effluents de l'usine de traitement pénétrant dans l'étang ouest était faible (d'environ 0,2  $\text{mg L}^{-1}$ ), et l'importante activité photosynthétique des algues dans l'étang ouest se traduisait par une teneur en oxygène dissous relativement élevée (jusqu'à 10  $\text{mg L}^{-1}$ ), de sorte que les populations bactériennes (*Nitrosomonas* et *Nitrobacter*) devenaient probablement suffisamment importantes pour modifier la nitrification. La diminution de la teneur en matières nutritives du principal plan d'eau du Cootes Paradise est de plus maintenue par l'effet de dilution des eaux déversées par le ruisseau Spencer. Les molécules azotées les plus importantes dans l'eau de ce ruisseau étaient le  $\text{NNO}_3 + \text{NO}_2$  (tableau 23).

Les concentrations en Pb, Cr, Cu, Ni, As et Cd de tous les échantillons d'eau prélevés au Cootes Paradise étaient faibles ( $< 0.001 \text{ mg L}^{-1}$ ). Les teneurs en Hg étaient inférieures au seuil de détection ( $< 5 \times 10^{-5} \text{ mg L}^{-1}$ ).

#### COMPOSITION DES VÉGÉTAUX

Les variations saisonnières des teneurs en K, P, N, Ca et Mg de la biomasse au-dessus du sol des espèces végétales les plus abondantes d'entre celles prélevées dans les marais sont présentées aux figures 6 à 11. La production de la biomasse au-dessus du sol et la teneur en matières nutritives des trois macrophytes émergents les plus courants dans les marais (*Typha latifolia*, *Carex lacustris* et *Glyceria grandis*) sont présentées au tableau 24. Les teneurs en N et K de tous les végétaux étaient les plus importantes au début de la saison de croissance. La teneur en Ca de *Pontederia cordata*, *Glyceria grandis*, *Typha latifolia*, *Carex lacustris* et *Myriophyllum heterophyllum* augmentait durant la saison de croissance. Les teneurs en Mg et P demeuraient généralement constantes chez la plupart des espèces au cours de la saison. Les matières nutritives étaient également distribuées dans la biomasse au-dessus du sol chez *Typha latifolia*, en juin, juillet et août (figure 12). Les concentrations en N et Ca chez les vieilles plantes, prélevées en avril d'un peuplement de *Typha latifolia* du marais Dover, étaient de plusieurs fois supérieures à celles en K, P et Mg. Les travaux de Chamie et Richardson (1978) permettent d'expliquer en partie le phénomène. Ces auteurs ont étudié la décomposition des végétaux dans les terres humides du nord et ont

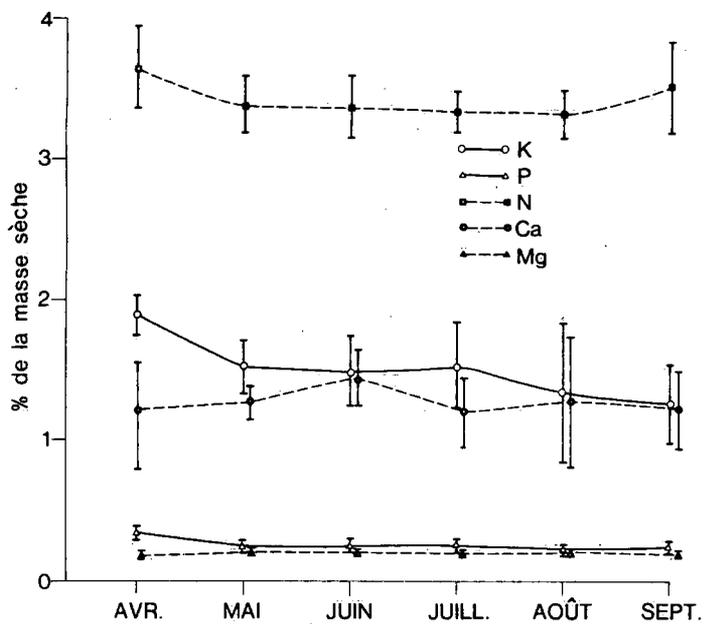


Figure 6. Teneurs en matières nutritives de *Nymphaea odorata* (marais Big Creek, Dover, Balmoral St. Lukes et de la baie Johnston).

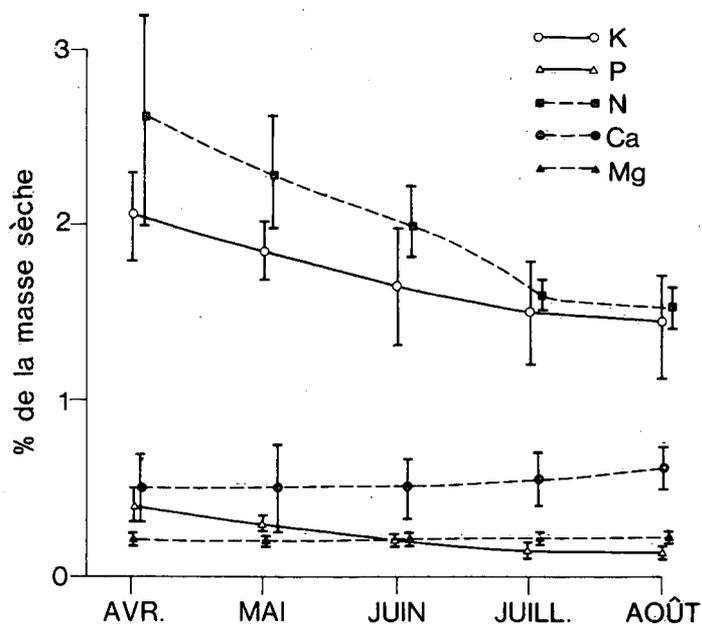


Figure 8. Teneurs en matières nutritives de *Glyceria grandis* (marais Cootes Paradise).

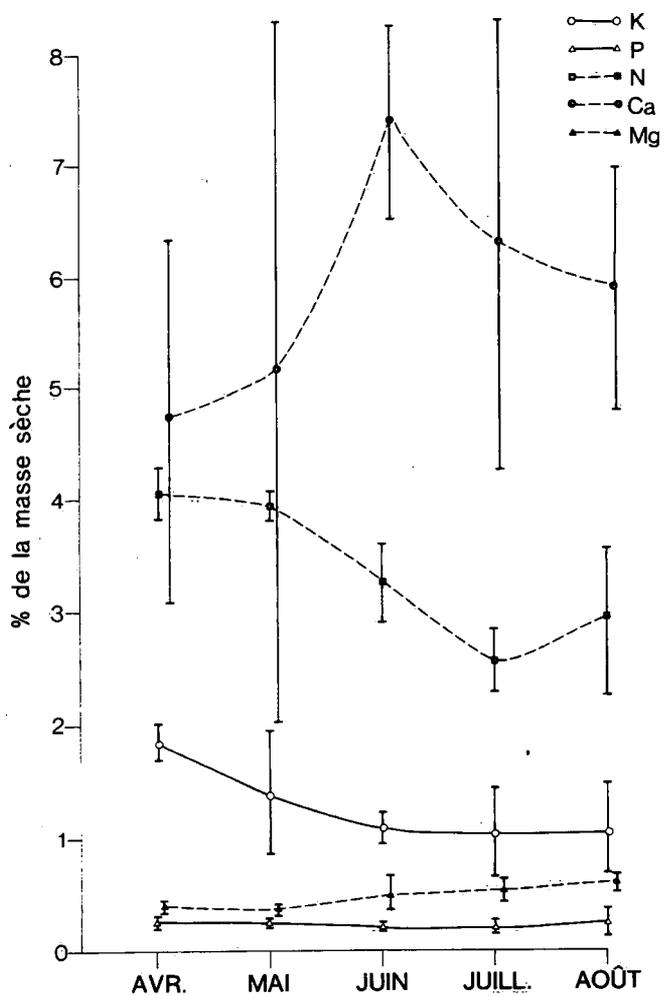


Figure 7. Teneurs en matières nutritives de *Myriophyllum heterophyllum* (marais Big Creek, Dover, Balmoral, St. Lukes et de l'île Walpole).

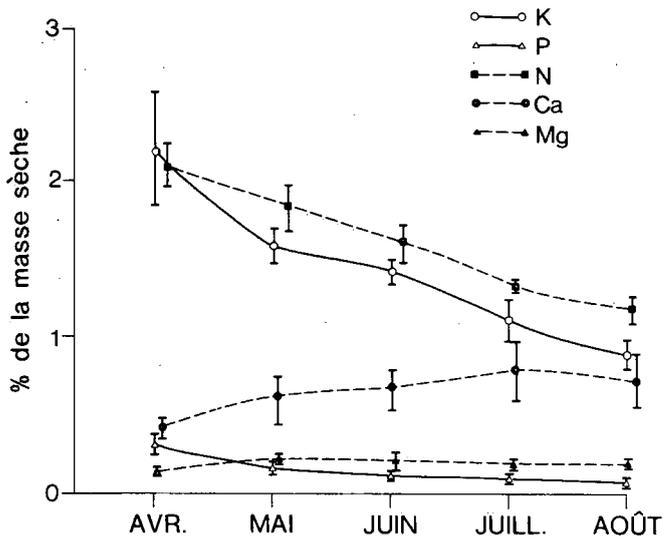


Figure 9. Teneurs en matières nutritives de *Carex lacustris* (marais Big Creek, Balmoral, St. Lukes et de la baie Johnston).

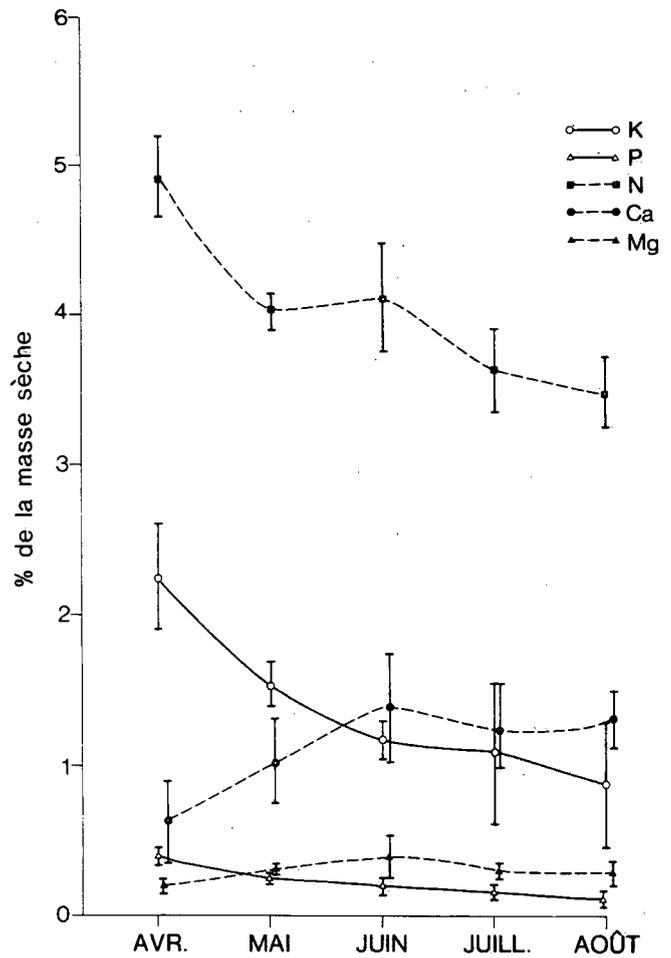


Figure 10. Teneurs en matières nutritives de *Typha latifolia* (marais Big Creek, Dover, Balmoral, St. Lukes et de la baie Johnston).

Figure 11. Teneurs en matières nutritives de *Pontederia cordata* (marais Big Creek, Dover, Balmoral et St. Lukes).

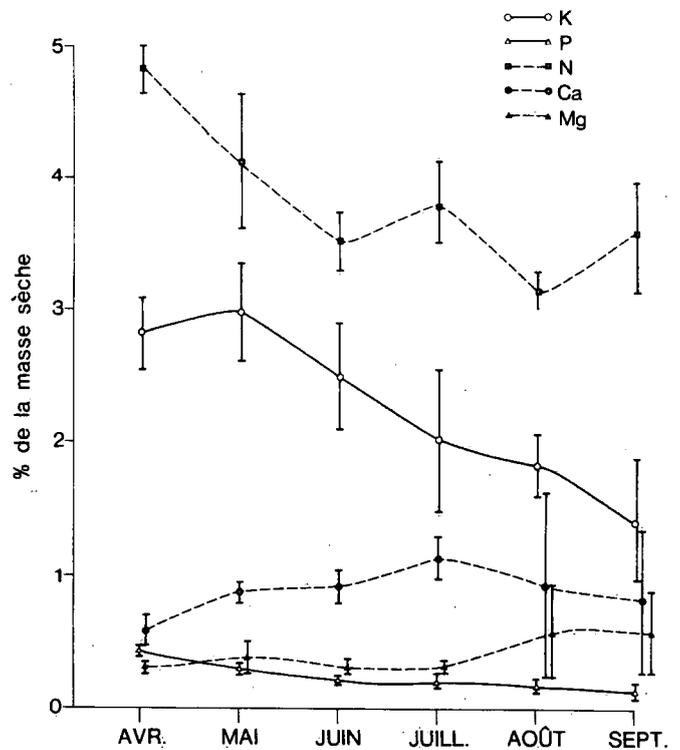


Tableau 24. Production de biomasse au-dessus du sol et teneur en matières nutritives des macrophytes les plus courants prélevés en juillet des marais étudiés

Espèce	Situation	Masse sèche de la biomasse (g/m <sup>2</sup> )	K (g/m <sup>2</sup> )	P (g/m <sup>2</sup> )	N (g/m <sup>2</sup> )	Ca (g/m <sup>2</sup> )	Mg (g/m <sup>2</sup> )
<i>Typha latifolia</i>	Marais Big Creek	1020	10.2	1.6	31.5	12.3	2.5
	Marais Dover	1350	16.2	1.8	37.9	17.8	3.1
	Marais Balmoral	1015	11.3	1.4	31.3	13.0	2.7
	Marais St. Lukes	1170	12.1	1.6	33.5	11.2	2.2
	Marais de la baie Johnston (Île Walpole)	995	9.8	1.0	29.1	8.9	2.1
<i>Carex lacustris</i>	Marais Big Creek	730	7.5	0.74	9.5	4.8	1.4
	Marais Balmoral	875	8.9	0.82	10.1	5.2	1.7
	Marais St. Lukes	935	9.5	0.96	10.4	6.5	2.1
	Marais de la baie Johnston (Île Walpole)	810	8.3	0.82	10.0	5.6	1.8
<i>Glyceria grandis</i>	Marais Cootes Paradise: Étang ouest	4800	67.2	6.2	72.0	24.0	8.6
	Chenal Desjardins	4000	48.0	5.2	60.0	28.0	8.4
	Ruisseau Long Valley Creek	2700	48.6	6.8	45.9	10.8	6.4

trouvé que, chez la plupart des espèces, les pertes en matières nutritives touchaient le P, le K et le Mg tandis qu'il y avait gain en ce qui concerne le N et le Ca. Davis et Van der Valk (1978) ont étudié la décomposition de cinq spécimens de macrophytes émergents dans des marais glaciaires des Prairies. Ils ont noté que les pertes du compartiment de la litière debout étaient surtout causées par une fragmentation qui s'était produite pendant le premier hiver et le premier printemps. Ces auteurs ont aussi noté que le K, le Na et le Mg étaient rapidement libérés de la litière tombée tandis que le N, le P et le Ca l'étaient très lentement. La litière tombée n'était submergée qu'au printemps et au début de l'été. Les mêmes auteurs ont émis l'hypothèse que le lessivage d'une litière debout pouvait aussi éliminer des matières nutritives pendant les premières semaines suivant la mort des pousses.

Mason et Bryant (1975) ont trouvé, lors d'une étude de la décomposition de *Phragmites communis* Trin. et de *Typha angustifolia* L., que le Na, le K, le Mg et le P étaient extraits par lessivage des matériaux végétaux pendant le premier mois de l'étude et que leurs teneurs demeuraient constantes par la suite. La teneur en Ca présentait moins de variations tandis que celle en N augmentait, surtout à cause de l'activité microbienne.

Ces observations corroborent, d'une façon générale, les résultats obtenus pour les teneurs en matières nutritives des vieux *Typha latifolia* échantillonnés en avril au marais Dover.

Les *Glyceria grandis*, échantillonnés au marais Cootes Paradise, ont présenté les plus importantes biomasses pour la partie au-dessus du sol (tableau 24).

La biomasse au-dessus du sol des *Glyceria grandis* poussant dans l'étang ouest et le chenal Desjardins a augmenté par un facteur de huit entre avril et juillet; ce facteur n'était que de cinq et demi dans la zone de Long Valley. L'absorption de macronutriments par mètre carré de peuplement s'est accrue en fonction des taux d'accroissement de la production nette. Le pourcentage de la teneur en macronutriments des végétaux secs était plus important durant la première phase de croissance des pousses en avril qu'en juillet, à l'exception du Ca dans les zones de Long Valley et du chenal Desjardins. L'absorption totale de matières nutritives par mètre carré était cependant beaucoup plus importante en juillet qu'en avril pour les plantes de ces trois endroits. La densité de la population de pousses avait un effet sur l'absorption totale (grammes par mètre carré) des macronutriments par *Glyceria grandis* à chacune des stations d'échantillonnage (Mudroch et Capobianco, 1979).

Le rendement en biomasse au-dessus du sol de *Typha latifolia* a été le plus élevé au marais Dover, où cette espèce était dominante. Ses peuplements étaient de taille variable dans les autres marais.

La plus importante concentration en matières nutritives des eaux pompées dans le marais Dover a pu introduire un effet de fertilisation aux niveaux de la production de

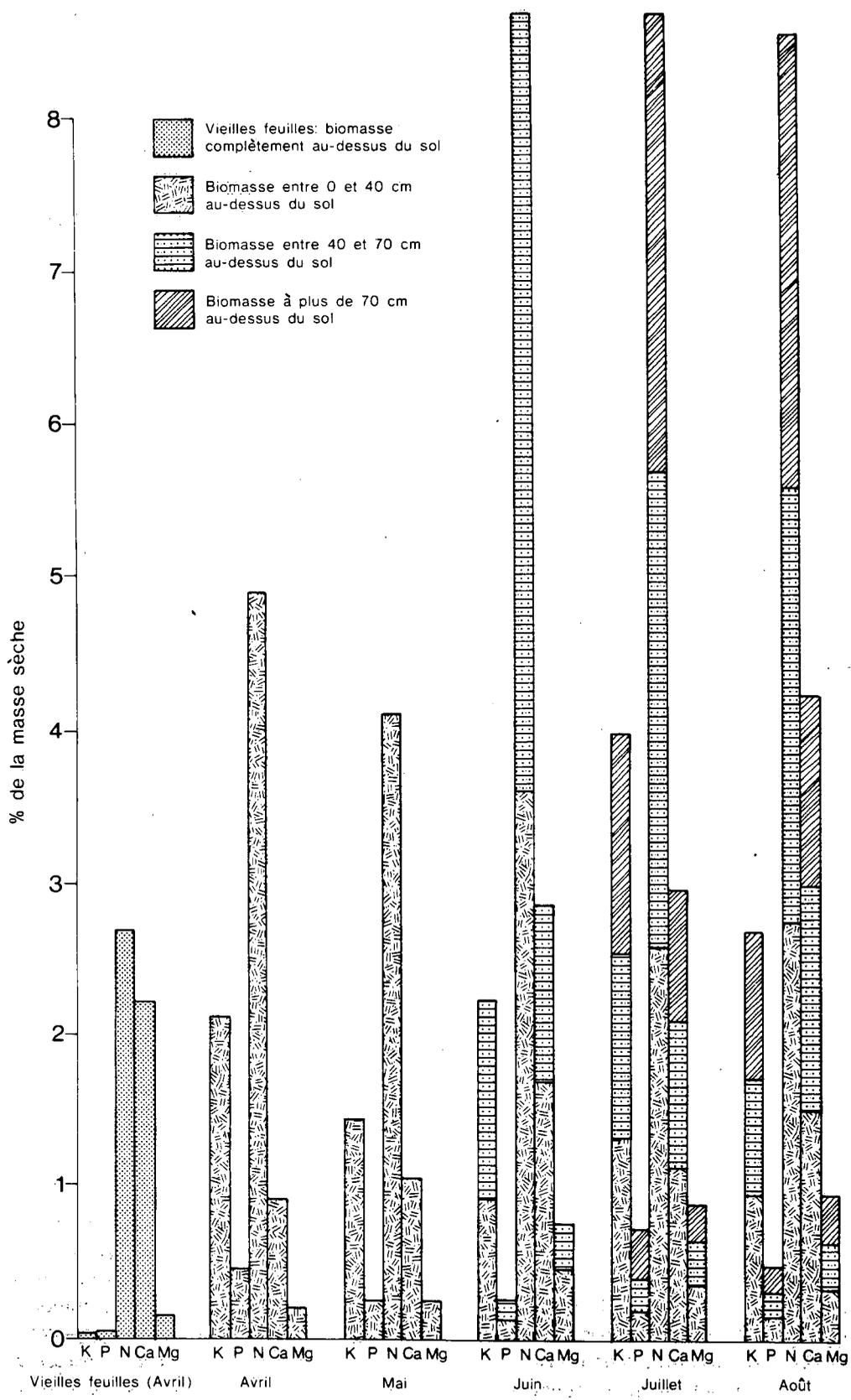


Figure 12. Teneurs en matières nutritives de *Typha latifolia* (marais Dover).

Tableau 25. Concentrations en métaux de la biomasse au-dessus du sol de macrophytes au stade de développement maximal

Espèce	Prélevé au marais*	Paramètre	Masse sèche ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )						
			Pb	Zn	Cr	Ni	Cd	Co	Cu
<i>Myriophyllum</i> sp.	1,2,3,4,5,6	Gamme	11-45	11-36	2-40	4-15	<0.5-2.5	<1-10	3-9
		$\bar{x}$	24.8	20.1	9.3	8.5	1.5	6.1	5.5
		$s_{\bar{x}}$	16.5	12.8	8.5	4.9	0.7	3.9	2.1
<i>Chara</i>	2,3,4	Gamme	20-47	10-19	1-8	8-16	2.5-4.0	7-16	5-6
		$\bar{x}$	35.1	15.0	4.5	10.9	3.2	12.8	5.3
		$s_{\bar{x}}$	13.8	4.1	3.4	4.2	0.8	4.8	0.8
<i>Lemna minor</i>	6	Gamme	28-190	60-165	23-40	10-16	<0.5-3.0	6-18	9-26
		$\bar{x}$	70.5	90.3	31.4	13.7	2.3	13.2	16.4
		$s_{\bar{x}}$	60.8	72.8	15.9	6.8	0.7	4.1	7.2
<i>Nymphaea odorata</i>	1,2,3,4,5,6	Gamme	3-6	10-17	-	1-6	-	1-3	1-3
		$\bar{x}$	4.5	13.4	<1	3.2	<0.5	1.8	1.9
		$s_{\bar{x}}$	0.6	2.6	-	2.5	-	0.8	0.9
<i>Pontederia cordata</i>	1,2,3,4,5	Gamme	4-6	15-22	2-4	1-3	-	<1-2	2-3
		$\bar{x}$	4.8	18.4	2.4	1.6	<0.5	1.3	2.3
		$s_{\bar{x}}$	1.3	2.3	0.8	0.7	-	0.4	0.3
<i>Typha latifolia</i>	1,2,3,4,5	Gamme	3-6	7-20	<1-6	<1-5	-	<1-3	<1-6
		$\bar{x}$	3.6	13.5	2.4	2.6	<0.5	1.4	2.8
		$s_{\bar{x}}$	0.9	5.4	2.1	1.6	-	0.8	1.1
<i>Lythrum salicaria</i>	2,3,4,5	Gamme	4-8	17-35	<1-8	2-9	-	1-3	2-4
		$\bar{x}$	4.8	26.8	3.2	3.8	<0.5	1.8	3.6
		$s_{\bar{x}}$	2.3	11.2	2.6	3.1	-	1.9	2.4
<i>Carex lacustris</i>	1,2,3,4,5	Gamme	3-4	22-31	<1-2	1-2	-	1-2	2-3
		$\bar{x}$	3.6	27.8	1.4	1.4	<0.5	1.6	2.4
		$s_{\bar{x}}$	0.4	5.1	0.5	0.2	-	0.3	0.3
<i>Glyceria grandis</i>	6	Gamme	3-5	14-17	2-3	2-3	-	1-2	2-6
		$\bar{x}$	4.2	15.3	2.4	2.1	<0.5	1.6	3.8
		$s_{\bar{x}}$	1.1	1.2	0.3	0.2	-	0.2	1.9

\* Marais: 1 - Big Creek  
 2 - Dover  
 3 - Balmoral  
 4 - St. Lukes  
 5 - Île Walpole  
 6 - Cootes Paradise

biomasse et de la composition en espèces. Cependant, la production de biomasse au-dessus du sol des espèces échantillonnées était généralement dans la même gamme que celle signalée par d'autres auteurs (Boyd et Hess, 1970; Dykyjova et Pribil, 1975; Dykyjova, 1978).

Les concentrations en métaux de la biomasse au-dessus du sol des macrophytes échantillonnés ayant atteint le stade de développement maximal, sont présentées au tableau 25. Les macrophytes submergés *Myriophyllum* de tous les marais étudiés, les *Chara* des marais Dover, St. Lukes et Balmoral et le macrophyte à feuilles flottantes

*Lemna minor* du marais Cootes Paradise sont les plantes qui ont accumulé les plus grandes quantités de Pb, Cr, Ni, Cd, Co et Cu. D'une façon générale, l'accumulation de métaux dans les végétaux a varié selon les espèces et a présenté une relation complexe avec la teneur en métaux des sédiments (Mudroch et Capobianco, 1978). On a trouvé des corrélations entre les concentrations en Ca et Pb et entre celles en Cu, Ni et Cr des macrophytes prélevés au marais Big Creek. Cela porte à penser à une adsorption possible de ces métaux par les dépôts de  $\text{CaCO}_3$  présents à la surface des macrophytes submergés (Mudroch, 1979).

## Discussion

### SÉDIMENTS

Tel qu'on l'a dit brièvement à la section intitulée «Zone étudiée», les sols des régions étudiées ont une origine similaire, provenant surtout de matériaux non consolidés qui se sont déposés sur la roche de fond lors des périodes glaciaires. Ces sols ont contribué à la nature géochimique des sédiments de fond dans tous les marais étudiés. De façon typique, les sédiments de fond de ces marais sont formés de sols minéraux submergés, de pH variant de 6.9 à 7.2 et dont la granulométrie de la plupart des particules correspond à celle du silt (2 à 63  $\mu\text{m}$ ). À cause de l'effet des matériaux plus grossiers du delta de la rivière Sainte-Claire, la taille de la plupart des particules de la zone de l'île Walpole est supérieure à 63  $\mu\text{m}$  (taille du sable). Les concentrations en matières organiques et en certains des principaux éléments et métaux dans les sols minéraux de surface de la zone tempérée, les sédiments de marais et les sédiments des Grands lacs, font l'objet d'une comparaison au tableau 26. Étant donné l'importante activité biologique des marais, ces sédiments sont fortement enrichis en C<sub>o</sub> et N, et quelque peu en P, si on les compare aux sols et aux sédiments de fond des Grands lacs. Les teneurs en K et S sont semblables à celles notées pour les sédiments lacustres

et les teneurs en S sont plus élevées que celles notées dans les sols. Les teneurs en Ca sont plus élevées dans les sédiments de marais. Wetzell (1960) a étudié les dépôts de composés carbonatés sur les structures végétatives de macrophytes de quatre lacs du Michigan. Le pH des eaux de ces lacs variait de 8.39 à 8.78. Il a noté que les plus importants dépôts de CaCO<sub>3</sub> se trouvaient sur les plantes submergées. Ces dépôts étaient provoqués par l'utilisation photosynthétique du CO<sub>2</sub> et du bicarbonate présents dans l'eau par les macrophytes et les algues épiphytes (Wetzell, 1975). Les fortes teneurs en Ca des sédiments de marais avaient probablement pour cause la précipitation de CaCO<sub>3</sub> sur les végétaux.

La différence la plus importante entre les sols terrestres et les sédiments de marais a trait à la transformation des sols en un milieu anaérobie à concentration en oxygène limitée. Les composés chimiques présents sous une forme oxydée dans les sols terrestres sont réduits par l'activité bactérienne quand les conditions sont anoxiques. On trouve, dans les sédiments des Grands lacs, une mince couche de surface oxydée ou aérobie à l'interface sédiments-eau (de 0 à 2 cm) ainsi qu'une couche sous-jacente réduite en oxygène ou anaérobie (Kemp et coll., 1977). Dans les sédi-

Tableau 26. Quantité totale de matières organiques et de certains des principaux éléments dans les sols minéraux de surface de la zone tempérée, les sédiments de surface des marais étudiés et les sédiments de surface des Grands lacs

Paramètre	Pourcentage de la masse sèche		
	Sols minéraux de surface de la zone tempérée*	Sédiments de surface des marais étudiés	Sédiments de surface des Grands lacs
Matières organiques	0.40-10.00	2.83-30.17	0.00-9.03†
N	0.02-0.50	0.09-2.15	0.03-0.71†
P	0.01-0.20	0.02-0.30	0.09-0.22‡
K	0.17-3.30	1.40-3.20	1.36-3.04§
Ca	0.07-3.60	1.20-15.00	1.02-5.89‡
Mg	0.12-1.50	0.96-2.61	1.30-2.52§
S	0.01-0.20	<0.05-0.46	0.04-0.46‡

\* Buckman et Brady (1969)

† Kemp (1971) pour les lacs Huron, Érié et Ontario

‡ Kemp et Thomas (1976), sédiments de surface (0 à 1 cm) des lacs Huron, Érié et Ontario

§ Kemp et coll. (1977), sédiments de surface (0 à 2 cm) des lacs Huron, Érié et Ontario

ments de marais, où l'oxygène peut parfois être épuisé à l'interface sédiments-eau, la couche aérobie de surface est très mince ou absente. Les valeurs du Eh notées pour tous les profils de sédiments de tous les marais étudiés indiquaient une réduction, surtout dans la couche sédimentaire de 10 à 20 cm. Ceci peut être dû à la décomposition des matières organiques et à la consistance plus ferme de cette couche sédimentaire. Les 10 cm supérieurs étaient plus mous et parfois aérés par les perturbations et le mélange résultant de l'action des vagues et du vent dans les zones marécageuses peu profondes. Une très mince couche (de 1 à 2 mm) de vase brune oxydée a été notée à la surface des sédiments à plusieurs stations de prélèvement. Cette couche était cependant trop mince pour permettre la mesure du Eh. Le potentiel d'oxydoréduction des sédiments de marais a un effet sur la décomposition de la matière organique, qui se produit plus lentement et moins complètement en milieu anaérobie qu'en milieu aéré (Isirimah et Keeney, 1973; Patrick et Delaune, 1977). Les organismes anaérobies sont plus actifs en conditions de faible tension d'oxygène et le processus prédominant est alors celui de l'humidification. Quand la tension d'oxygène est élevée, un taux élevé de respiration de la population aérobie coïncide avec une minéralisation complète des substrats organiques (Ulehova, 1978).

## Métaux

Les caractéristiques de la matière organique et du système d'oxydoréduction des sols ainsi que des sédiments dans les marais et les lacs ont un effet sur la forme chimique des divers métaux présents et sur leur disponibilité différentielle pour le biote et l'eau dans les écosystèmes aquatiques.

Au tableau 27, les teneurs en métaux des sédiments de marais sont comparées à celles du sol et des sédiments de surface des Grands lacs. On peut y voir que les teneurs en Fe des sédiments de marais sont généralement semblables à celles des sols mais inférieures à celles des sédiments lacustres.

La concentration en Mn dans les sédiments de marais était d'environ un ordre de grandeur inférieure à celle dans les sols et les sédiments lacustres. La valeur pour les sédiments lacustres présentée au tableau 27 représente la couche de surface (de 0 à 1 cm). La teneur en Mn des sédiments lacustres est la plus importante à cause de la migration diagénétique ascendante et de la précipitation de cet élément à l'interface sédiments/oxydés/eau (Sozanski et Cronan, 1979). La concentration en Mn des sédiments des Grands lacs sous la couche de 1 cm se situe généralement dans la gamme de 500 à 1600  $\mu\text{g/g}$  (Kemp et coll., 1977). Dans la gamme des Eh notée pour les sédiments de

Tableau 27. Concentrations de métaux dans les sols communs, les sédiments de surface des marais étudiés et les sédiments de surface des Grands lacs

Paramètre	Masse sèche ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )		
	Sols*	Sédiments de surface des marais étudiés	Sédiments de surface des Grands lacs
Fe	5000-50 000	6000-51 000	36 500-55 200†
Mn	200-10 000	60-1 200	800-13 400‡
Zn	10-250	14-383	154-600‡
Cu	5-150	<1-47	43-109‡
Co	1-50	1-15	16-46‡

\* Buckman et Brady (1969)

† Kemp et Thomas (1976), sédiments de surface (0 à 1 cm) des lacs Huron, Érié et Ontario

‡ Kemp et coll. (1977), sédiments de surface (0 à 2 cm) des lacs Huron, Érié et Ontario

marais, le Mn est présent sous forme soluble dans l'eau interstitielle des sédiments et sa distribution est généralement uniforme dans le profil de sédiments.

Les teneurs en Zn, Cu et Co étaient plus faibles dans les sédiments de marais que dans les sédiments de surface des Grands lacs. Cette différence a probablement pour cause un apport anthropogène aux lacs (Kemp et Thomas, 1976) et présente un effet moindre sur les marais côtiers. Les teneurs en Cu et Co des sédiments de marais étaient moins importantes, et celles en Zn légèrement plus élevées, que celles notées dans les sols.

L'enrichissement des sédiments de surface en certains des métaux étudiés a été noté dans quelques marais. La teneur en Pb augmentait vers la surface dans la plupart des sédiments. Une augmentation des teneurs en Zn et Cu à la surface des sédiments a été notée dans les marais Dover, Balmoral et St. Lukes. Celle-ci a été attribuée à la chasse intensive qu'on y fait depuis longtemps.

Des rejets de Hg d'origine industrielle effectués récemment dans le réseau hydrographique de la rivière Sainte-Claire étaient responsables des teneurs élevées en ce métal notées dans les sédiments de surface de certaines stations dans la zone de la rivière Johnston (Mudroch et Capobianco, 1977).

On trouvera aux tableaux 28 et 29 une corrélation entre la concentration en  $\text{C}_0$  et celles en éléments à l'état de traces étudiés dans les sédiments de marais. Des corrélations fortement positives ont été notées entre le  $\text{C}_0$  et le Pb ainsi qu'entre le  $\text{C}_0$  et le Cr dans les profils verticaux et

Tableau 28. Coefficients de corrélation indiquant le degré de relation linéaire entre le carbone organique et certains paramètres dans les profils sédimentaires verticaux

Marais	C <sub>0</sub> :N <sub>t</sub>	C <sub>0</sub> :P	C <sub>0</sub> :S	C <sub>0</sub> :Pb	C <sub>0</sub> :Cr
Cootes Paradise (n = 24)	0.965*	0.705*	0.954*	0.844*	0.868*
Big Creek (n = 6)	0.994*	non significatif	0.990*	0.997*	0.951†
Dover, Balmoral et St. Lukes (n = 22)	0.993*	non significatif	non significatif	0.945*	0.660*
Baie Johnston (n = 7)	0.983	non significatif	0.968	non significatif	non significatif

\*Seuil de signification = 0.01

†Seuil de signification = 0.05

Tableau 29. Coefficients de corrélation indiquant le degré de relation linéaire entre le carbone organique et certains paramètres dans les sédiments de surface (0 à 8 cm)

Marais	C <sub>0</sub> :N <sub>t</sub>	C <sub>0</sub> :P	C <sub>0</sub> :S	C <sub>0</sub> :Pb	C <sub>0</sub> :Cr
Cootes Paradise (n = 5)	0.989*	0.942†	0.941†	0.942†	0.987*
Big Creek (n = 6)	0.997*	non significatif	0.721†	non significatif	non significatif
Dover, Balmoral et St. Lukes (n = 7)	0.992*	0.804†	0.879*	0.869†	0.808†

\*Seuil de signification = 0.01

†Seuil de signification = 0.05

les sédiments de surface des marais Cootes Paradise, Dover, Balmoral et St. Lukes, mais seulement dans les profils de sédiments verticaux du marais Big Creek. On a trouvé une corrélation positive entre le C<sub>0</sub> et le Zn au niveau du profil de sédiments vertical et des sédiments de surface des marais Dover, Balmoral et St. Lukes ainsi qu'entre le C<sub>0</sub> et le Cu dans les sédiments de surface des marais Dover, Balmoral et St. Lukes.

Kemp et Coll. (1976) ont trouvé une corrélation positive importante entre le C<sub>0</sub> et Pb, Zn, Cd et Cu dans les carottes de sédiments provenant du lac Érié. Ils ont émis l'hypothèse que cette corrélation indiquait une formation de complexes ou une absorption par la matière organique ou, encore, qu'elle découlait d'une relation aléatoire reflétant un plus grand apport anthropogène, en fonction du temps, s'effectuant parallèlement à un plus grand apport de matières nutritives, et donc à une augmentation de la productivité primaire des lacs. On peut s'attendre à ce que des processus semblables se déroulent dans les sédiments de marais. La forte teneur en matières organiques des sédiments de marais est cependant liée à l'importante productivité biologique des marais et ne présente pas de relation avec un apport anthropogène en métaux aux marais. La formation de complexes et l'adsorption des métaux par

les matières organiques des marais devraient donc être plus élevées que celles notées pour les sédiments des lacs. Ces hypothèses doivent cependant être confirmées car aucune étude portant sur les formes des métaux présents dans les sédiments de marais n'a encore été amorcée.

#### Matières nutritives

Une importante corrélation positive entre les concentrations en C<sub>0</sub> et celles en N<sub>t</sub> des profils de sédiments verticaux et des sédiments de surface a été notée pour tous les marais (tableaux 28 et 29). Ces résultats concordent assez bien avec ceux de Boyd (1970a) et de Klopatek (1975), qui ont montré que la teneur en N des sols des marais présentait une importante corrélation positive avec la teneur en matières organiques et que le N n'était libéré que par la minéralisation. L'analyse des sédiments de fond des lacs Ontario, Érié et Huron a montré que la quantité d'azote était directement proportionnelle à la teneur en C<sub>0</sub> (Kemp, 1971).

On a noté une corrélation positive entre les teneurs en C<sub>0</sub> et celles en P<sub>t</sub> des profils verticaux et des sédiments de surface prélevés au marais Cootes Paradise ainsi que pour les sédiments de surface des marais Dover, Balmoral

et St. Lukes. On sait que les sédiments, surtout ceux riches en matières organiques, agissent comme réservoirs, particulièrement pour les eaux riches en P inorganique qui les recouvrent (Kramer et coll., 1972; Syers et coll., 1973; Patrick et Khalid, 1974). Le cas du Cootes Paradise est très représentatif du phénomène, car ce marais a reçu d'importants apports de P provenant des effluents de l'usine de traitement des eaux usées. Il y avait une corrélation positive entre les concentrations en  $C_0$  et S dans les profils sédimentaires verticaux des marais Cootes Paradise, Big Creek et Johnston, ainsi que dans les sédiments de surface des marais Cootes Paradise, Big Creek, Dover, Balmoral et St. Lukes. Cette observation est appuyée sur les travaux de Boyd (1970a), qui a trouvé une corrélation entre la matière organique et le soufre de réserve (S total moins S sous forme de sulfate) lors de son étude des caractéristiques des sols aquatiques. Les concentrations en S de divers macrophytes aquatiques signalées par Boyd (1970b) et Polisini et Boyd (1972) variaient de 0.11 à 0.59 % et celles des algues variaient de 0.15 à 1.6 % (Healey, 1973). Une grande partie du S des sédiments de marais avait probablement pour origine la dégradation de macrophytes et de tissus d'algues où il était déjà lié au carbone organique.

Le pH des sédiments de marais n'était pas modifié par l'accumulation de matière organique et était semblable à celui des sédiments des Grands lacs. La présence du carbonate de calcium dans les sédiments de marais a pour effet de maintenir un pH neutre.

## EAU

Un grand nombre de processus biologiques et chimiques complexes de l'écosystème des marais ont des effets importants sur la concentration en matières nutritives de l'eau. On connaît très peu de choses des micro-organismes de cet écosystème. On sait cependant que l'activité microbienne commande, dans un marais, le cycle et la disponibilité des matières nutritives minérales dans l'eau, les sédiments, les détritiques et les végétaux et qu'elle est liée de près aux caractéristiques d'oxydoréduction du milieu. Il est impossible d'effectuer un dénombrement et une description détaillés des populations microbiennes, car les terres humides comprennent plusieurs micro-habitats différents formant chacun une unité biologique, chimique et physique permettant à une communauté microbienne particulière de vivre (Day, 1973). Ulehlova (1978) a trouvé, lors d'une étude de populations d'organismes décomposeurs de l'écosystème littoral d'un étang à poissons dans la Moravie-Méridionale, que divers débris de macrophytes d'espèces différentes étaient colonisés par des populations microbiennes d'espèces diverses et de densités différentes. Les populations microbiennes présentaient, plus ou moins, des

modes de succession spécifiques et des tendances saisonnières précises pour chaque type de matériaux.

Prentki et coll. (1978) ont trouvé que le transport de matières nutritives effectué par les macrophytes représentait une importante source interne de matières nutritives et que, dans les marais sans apport important d'eaux de surface, l'accumulation et l'abandon saisonniers de matières nutritives au-dessus de l'interface du sol représentaient probablement le terme le plus important des bilans de matières nutritives. L'importance du rôle de pompe de matières nutritives joué par les macrophytes était cependant difficile à évaluer à cause du manque de renseignements sur d'autres composants, non macrophytes, du cycle des matières nutritives dans les marais.

Plusieurs études ont été effectuées dans le but de déterminer les effets du lessivage et de la décomposition des tissus végétaux morts sur la concentration en matières nutritives dans les marais. Davis et Van der Valk (1978) ont étudié la décomposition de la litière debout et tombée dans les marais glaciaires des Prairies. Ils ont constaté que les pertes de la litière debout résultaient surtout de la fragmentation qui se produit lors du premier hiver et du premier printemps. Ils ont noté que le lessivage de la litière debout pouvait aussi se traduire par une perte de matières nutritives lors des premières semaines suivant la mort des pousses. Dans la litière tombée, le K, le Na et le Mg étaient libérés très rapidement, tandis que le N, le P et le Ca étaient libérés plus lentement; l'Al et le Fe s'accumulaient dans la litière tombée de toutes les espèces. La libération et l'absorption de matières nutritives par la litière tombée variaient en fonction de l'espèce, et en fonction du lieu pour une même espèce. Davis et Van der Valk ont ensuite élaboré des modèles du mode de transport des matières nutritives dans la litière de peuplements de *Typha glauca* et de *Scirpus fluviatilis*. Ces modèles ont révélé l'existence de modes saisonniers d'absorption et de libération de matières nutritives ainsi que celle d'une importante variabilité des modes de décomposition de la litière selon les espèces.

Godshalk et Wetzel (1978) ont étudié la décomposition de cinq espèces de macrophytes du littoral; ils ont trouvé que la température était le facteur le plus important influant sur la vitesse de décomposition et la transformation de la matière particulaire en matière organique dissoute, tandis que la teneur en  $O_2$  régissait l'efficacité de la décomposition et la transformation de la matière organique dissoute en  $CO_2$ . L'interaction de ces deux paramètres environnementaux se traduisait par des vitesses de décomposition qui allaient de très faibles en conditions froides et anaérobies à très élevées en conditions chaudes et en présence d'air. Les processus de décomposition dépendaient

aussi de la structure des tissus et de la morphologie des plantes étudiées. Ces mêmes auteurs ont souligné l'importance des effets à long terme sur la sédimentation et la morphologie du système résultant de l'accumulation et de la sédimentation de matériaux non décomposés.

Gallagher (1978) a passé en revue des études portant sur la décomposition en terres humides, d'eau douce et a émis l'hypothèse que plus de recherches seront effectuées sur ces systèmes de terres humides à mesure que les travaux descriptifs progressent. Toute modification de la composition en espèces et de la densité de végétation d'un marais aura pour conséquence de modifier le cycle des matières nutritives de l'écosystème du marais.

La présente étude a été conçue dans le but d'obtenir des renseignements de base sur les concentrations en matières nutritives et sur leurs variations saisonnières dans l'eau des marais étudiés, en dépit des différences entre les régimes hydrologiques des divers marais. L'étude a été limitée aux teneurs en N et P, ceux-ci représentant deux des plus importantes matières nutritives responsables de l'eutrophisation des marais et lacs.

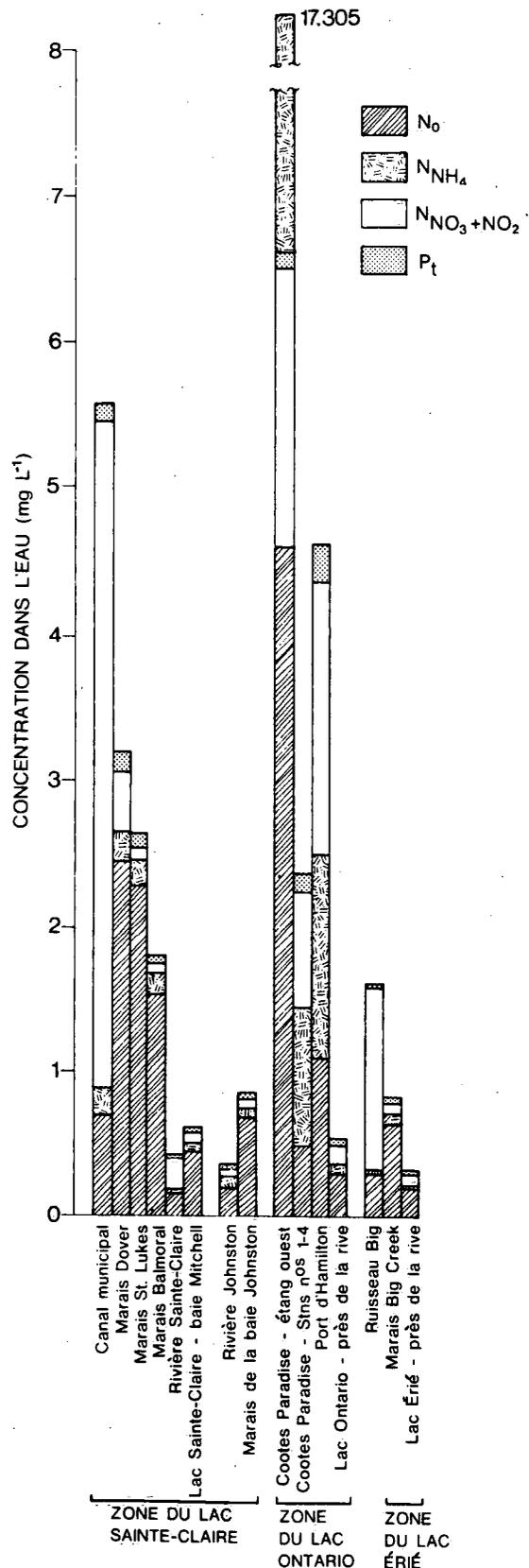
#### Matières nutritives

Les concentrations en P et N de l'eau de chaque marais ont été comparées à celles signalées pour les eaux se déversant dans le marais ou pour des plans d'eau adjacents (qui peuvent recevoir les eaux du marais), ou encore à celles d'un plan d'eau de la région (figure 13).

#### Azote

Les différences les plus importantes ont été notées entre les concentrations des diverses formes d'azote présentes dans les eaux des marais, des lacs et des cours d'eau.

Figure 13. Concentrations d'azote et de phosphore dans l'eau. Rivière Sainte-Claire—valeurs moyennes des échantillons comprenant toute la colonne d'eau prélevés à Port Lambton de juin à septembre 1972; n = 60 (Ministère de l'Environnement de l'Ontario, 1972). Port de Hamilton—valeurs moyennes des échantillons de surface prélevés de juin à octobre 1975; n = 40 (Ministère de l'Environnement de l'Ontario, 1977). Lac Ontario, près de la rive—valeurs moyennes des échantillons prélevés de mai à octobre 1972 à six stations diverses situées à proximité du Port de Hamilton; n = 60 (Ministère de l'Environnement de l'Ontario, 1972). Lac Érié, près de la rive—valeurs moyennes des échantillons prélevés de mai à octobre 1972 à six stations situées entre Port Dover et l'extrémité est de la pointe Longue; n = 30 (Ministère de l'Environnement de l'Ontario, 1972).



La plus grande partie de l'azote présent dans l'eau des marais était sous forme organique, à l'exception des eaux du marais Cootes Paradise qui recevaient d'importants apports de  $\text{NNH}_4$  à partir des effluents de l'usine de traitement d'eaux usées. La capacité d'un marais à transformer le  $\text{NNO}_3$  en azote organique semble être fonction des quantités de  $\text{NNO}_3$  arrivant dans le marais avec les eaux s'y déversant ainsi que de la superficie et de la composition en espèces du marais. Cette observation concorde bien avec les résultats d'Engler et coll. (1976), qui ont démontré que les marécages inondés et les zones marécageuses côtières de la Louisiane présentaient un pouvoir élevé d'élimination du  $\text{NO}_3^-$  et que la perte de  $\text{NO}_3^-$  ne se produisait pas dans les eaux d'inondation, mais qu'elle était fonction du déplacement de  $\text{NO}_3^-$  en profondeur dans la couche de sol anaérobie.

L'ammoniac est une bonne source de N pour les plantes et un grand nombre d'entre elles peuvent l'utiliser en milieu alcalin. Par contre, la majorité des algues et des macrophytes croissent mieux en utilisant le nitrate comme source d'azote, même si le nitrate doit être réduit en ammoniac (Wetzel, 1975). Wetzel et Manny (1972) ont trouvé que de 95 à 98 % de l'azote et du carbone organiques dissous sécrétés par certains macrophytes aquatiques étaient sous forme de matériaux organiques simples et facilement dégradables. La capacité de particules de carbonate en suspension à adsorber des acides aminés ainsi que des protéines et des polysaccharides de hautes masses moléculaires a aussi été démontrée par Wetzel et Allen (1970), Suess (1968) et Chave (1970). La sédimentation des particules de carbonate se traduit par un transport de ces composés vers les sédiments.

On ne connaît pas les vitesses de libération de N à partir des divers macrophytes présents dans les marais ni celles de sa minéralisation et de son immobilisation ni encore celles de la nitrification et de la dénitrification au sein de l'écosystème des marais. Tout ceci rend extrêmement complexe l'interprétation des modifications des diverses espèces de N. Le  $\text{NO}$  est probablement la forme primaire de N qui peut être transportée à l'extérieur des marais. Mais, comme la formation des composés de  $\text{NO}$  présents dans les eaux des marais n'a pas fait l'objet de la présente étude, les conclusions relatives à l'utilisation de ces composés dans le cas où ils seraient libérés dans la zone littorale des lacs Érié, Ontario et Sainte-Claire, devaient être exclusivement basées sur des données déjà publiées.

La vitesse de nitrification de l'azote organique produit dans les marais est fonction de la nature des composés et de leur résistance à la dégradation bactérienne. Des données montrent que les algues peuvent métaboliser la matière organique dissoute (Lund, 1965; North et Stephens, 1967;

Stephens et coll., 1969) et utiliser l'azote sous forme organique ou inorganique (Keeney, 1973). La distribution de  $\text{NO}$  libéré des marais est aussi fonction du régime hydrologique de la zone littorale.

#### Phosphore

Les différences entre les concentrations en  $\text{P}_t$  étaient moins importantes que celles notées pour les concentrations en N équivalentes (tableaux 20 à 23).

L'absorption de P par la couche oxydée de l'interface sédiments-eau, ainsi que le rôle des composés de Fe, tels les oxydes et les hydroxydes amorphes de Fe, qui régissent les teneurs en P inorganique dissous dans les sols et les sédiments, ont fait l'objet d'un bon nombre de publications (Williams et coll., 1971; Syers et coll., 1973; Patrick et Khalid, 1974). De plus, la corrélation positive notée entre les concentrations en  $\text{C}_0$  et  $\text{P}_t$  dans les sédiments prélevés à certains marais porte à penser à une adsorption de P sur la matière organique sédimentaire. Des études effectuées par Nichols et Keeney (1973) portant sur la libération de N et de P à partir d'achillées mille-feuilles en décomposition ont montré que le N et le P présents dans les plantes étaient rapidement libérés en l'absence d'interactions sédiments-eau. Cependant, la présence de sédiments modifiait la vitesse de décomposition de cette plante par apport d'azote inorganique. Les sédiments étudiés absorbaient facilement l'azote organique et le phosphore inorganique produits par la décomposition des plantes. Jewell (1971) a trouvé, lors d'une étude de la décomposition d'herbes aquatiques, que les concentrations en azote et phosphore solubles demeuraient généralement constantes, ou diminuaient, pendant les premiers stades de la décomposition, et que cette diminution résultait probablement de l'absorption de matières nutritives par les décomposeurs en croissance rapide. Les taux maximaux de régénération de N et de P étaient notés de cinq à dix jours après le début de la décomposition. Cet auteur a émis l'hypothèse que l'accroissement des teneurs en N et P dans l'eau après la décomposition des végétaux, calculé selon sa méthode, pourrait ne pas se produire dans les étangs à cause de réactions concurrentes, comme la dénitrification et la spéciation du phosphore.

#### Apports aux lacs de matières nutritives provenant des marais

Il a été calculé, en se basant sur un mélange complet des eaux déversées et des eaux réceptrices, que le déversement de toutes les eaux du marais Dover dans le lac Sainte-Claire se traduirait par une augmentation de la teneur en  $\text{NO}$  et  $\text{P}_t$  du lac d'environ  $0.278 \text{ mg L}^{-1}$  et  $0.012 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivement. Le déversement total des eaux du marais Cootes Paradise dans la zone littorale du lac Ontario, à proximité du port de Hamilton (la surface de la zone choisie

étant de 3 km x 3 km), provoquerait des accroissements de la teneur en  $N_O$  de 0.007 mg L<sup>-1</sup> et de celle en  $P_t$  de 0.002 mg L<sup>-1</sup>. Le déversement complet du marais Big Creek dans la baie Longue-Pointe du lac Érié provoquerait des accroissements de 0.004 mg L<sup>-1</sup> pour l'azote organique et de moins de 0.001 mg L<sup>-1</sup> pour le phosphore total.

Le calcul des apports de  $P_t$  et  $N_O$  provenant des marais se déversant dans les plans d'eau adjacents,

en supposant que le déversement total prendrait un an, a permis d'obtenir les résultats suivants: 0.001 g de  $N_t/m^2$  par an et <0.001 g de  $P_t/m^2$  par an pour les eaux du marais Dover dans le lac Sainte-Claire; <0.001 g de  $N_t/m^2$  par an et <0.01 g de  $P_t/m^2$  par an pour les eaux du marais Cootes Paradise dans la zone littorale du lac Ontario (à proximité du port de Hamilton); et 0.017 g de  $N_t/m^2$  par an et 0.008 g de  $P_t/m^2$  par an pour les eaux du marais Big Creek dans la baie Longue-Pointe. Ces valeurs sont de beaucoup infé-

Tableau 30. Provenances des apports de N et de P au lac Ontario en 1976 (tonnes métriques/an  $\times 10^{-3}$ )

	$N_O$	$NNH_4$	$NNO_3 + NO_2$	$P_t$
Rivière Niagara	101.72	18.78	47.75	5.56
Municipalités	3.25	7.71	1.61	1.17
Industries	0.50	0.55	0.04	0.12
Affluents	28.48	7.01	13.61	2.42
Atmosphère	<u>10.69</u>	<u>8.21</u>	<u>4.32</u>	<u>0.44</u>
Apport total	144.64	42.26	67.33	9.71
Marais Cootes Paradise*	0.05	0.10	0.09	0.02
Pourcentage de l'apport total du lac Ontario	0.03	0.24	0.13	0.21
Marais riverains du lac Ontario*	4.59	0.19	0.11	0.05
Pourcentage de l'apport total au lac Ontario	3.17	0.45	0.16	0.51

Sources des données: Wilson (1978), sauf celles ayant trait aux marais riverains, qui proviennent d'Environnement Canada (1977).

\* Données calculées en supposant cent déversements complets par année.

Tableau 31. Provenances des apports de N et de P au lac Érié en 1976 (tonnes métriques/an  $\times 10^{-3}$ )

	$N_O$	$NNH_4$	$NNO_3 + NO_2$	$P_t$
Rivière Détroit	60.61	16.67	53.21	7.99
Municipalités	1.85	4.10	1.18	1.11
Industries	0.01	0.10	0.02	0.34
Affluents	46.13	14.94	68.94	5.92
Atmosphère	<u>9.50</u>	<u>8.50</u>	<u>17.00</u>	<u>0.77</u>
Apport total	118.10	44.31	140.35	16.13
Marais Big Creek*	0.20	0.02	0.02	0.01
Pourcentage de l'apport total au lac Érié	0.17	0.05	0.01	0.06

Sources des données: Fraser et Wilson (1980).

\* Données calculées en supposant cent déversements complets par année.

rieures aux charges tolérables de  $N_t$  et  $P_t$  signalées par Vollenweider (1968). Il n'en demeure pas moins que tout déversement des eaux de ces marais dans celles de la zone littorale des Grands lacs enrichirait ces dernières en azote organique et, dans une moindre mesure, en phosphore total. L'importance de cet enrichissement serait fonction de la quantité d'eau déversée, du débit et de la durée du déversement et de l'importance du mélange et de la circulation dans la zone littorale réceptrice.

Les apports des marais aux charges en azote et en phosphore des lacs Ontario et Érié sont présentés aux tableaux 30 et 31. Le calcul de l'apport du marais Big Creek est basé sur l'hypothèse voulant que le séjour des eaux du marais soit inférieur à quatre jours quand il y a déversement dans le lac Érié. Étant donné le manque de données sur la qualité de l'eau des marais riverains du lac Ontario, les concentrations moyennes en N et P obtenues lors de la présente étude ont été utilisées pour le calcul. Il est clair que les marais contribuent fort peu à la charge de matières nutritives des lacs Ontario et Érié.

Au tableau 32, les valeurs de N organique, N inorganique et P total, telles qu'utilisées par Wetzel (1975) pour exprimer la relation générale entre la productivité des lacs et la concentration moyenne en azote dans l'épilimnion, sont comparées aux valeurs obtenues lors de l'étude des marais. Les valeurs pour les marais ont été obtenues à partir des données de surveillance de la qualité des eaux du ministère de l'Environnement de l'Ontario (1972 et 1977). Selon le tableau, le marais Dover et l'étang ouest du marais Cootes Paradise sont hyper-eutrophes, les marais Balmoral et St. Lukes et le reste du marais Cootes Paradise présentent des conditions entre eutrophes et hyper-eutrophes, tandis que celles montrées par les marais Big Creek et Johnston sont entre méso-eutrophes et eutrophes. La différenciation des marais par cette méthode est influencée par la forte concentration en  $N_D$  dans les eaux. Quand on a tenté de déterminer la composition de l'azote organique dissous des eaux des marais, il est cependant apparu que les concentrations des formes d'azote utilisables de façon biologique ne représentaient qu'une faible partie du total et l'on a supposé que la plus grande partie du  $N_D$  était réfractaire et donc peu utilisable par les consommateurs (Valiela et Teal, 1978).

Les marais Balmoral, Dover, St. Lukes et Big Creek ne possédant pas d'exutoires individuels, les matières nutritives ayant pénétré dans les marais au cours des années s'y sont accumulées. On a, afin de connaître la capacité des marais à utiliser les matières nutritives présentes dans l'eau, comparé l'apport de  $N_t$  dans les marais Dover et Balmoral pendant une période de plus de 30 ans à la concentration actuelle en  $N_t$  de l'eau. Des calculs semblables ont été effectués pour le marais Big Creek en supposant une période de charge de

50 ans et des quantités annuelles constantes d'azote total. Les résultats obtenus sont présentés au tableau 33. Les données relatives au marais Cootes Paradise n'ont pas été incluses car, comme il a déjà été démontré, l'écoulement traversant l'étang ouest réduisait la teneur en  $N_t$  d'environ 40 %.

DeJong (1976) a étudié la purification d'eaux usées effectuée à l'aide d'étangs à joncs et roseaux et il a trouvé que ce procédé dépendait de deux phénomènes: l'infiltration dans le sol et l'absorption de matières nutritives par les micro-organismes et les plantes. Il était clair que le temps de séjour de l'eau dans l'étang avait un effet sur la purification. Seidel (1976) a montré que la quantité relative de matière inorganique absorbée par les macrophytes d'un même biotype en une même période variait fortement. Ce phénomène était dû aux quantités variables de biomasse produites et à la capacité d'une plante à absorber la matière inorganique dans les conditions caractéristiques de son environnement.

Les résultats de la présente étude concordent bien avec les observations faites par DeJong et Seidel. L'importance de la rétention des matières nutritives est fonction du régime hydrologique et de la composition en espèces de chaque marais. Chacun des marais étudiés présentait un pouvoir différent de rétention des matières nutritives et des métaux. On a trouvé une bonne corrélation entre toutes les formes de N dans l'eau et le  $N_t$  présent dans les sédiments, ainsi qu'entre le  $P_t$  présent dans les sédiments et le  $P_t$  présent dans l'eau du Cootes Paradise (tableau 34). Aucune relation entre ces paramètres n'a été notée dans les autres marais. L'apport important et continu de composés de N et de P à partir de l'usine de traitement des eaux usées vers le marais Cootes Paradise pourrait bien expliquer la corrélation positive élevée entre les teneurs en ces éléments dans les sédiments et l'eau. La sédimentation des particules en suspension et l'adsorption des matières nutritives par les particules des sédiments, ainsi que leur utilisation par les plantes, contribuent à l'augmentation continue des teneurs en N et P des sédiments de fond du marais Cootes Paradise.

#### Métaux

À l'exception de Fe, Mn et Zn, les concentrations en métaux des échantillons d'eau étaient en grande partie inférieures aux seuils de détection, ou très faibles, pour tous les marais. Les trois premiers métaux sont décrits comme étant des micronutriments (Wetzel, 1975). Les concentrations moyennes en Fe, Mn et Zn solubles dans les eaux de lacs et de cours d'eau du monde, telles que signalées par Livingstone (1963), sont respectivement de  $40 \mu\text{g L}^{-1}$ ,  $35 \mu\text{g L}^{-1}$  et  $10 \mu\text{g L}^{-1}$ . Les valeurs moyennes des concentrations en Fe et Mn des eaux de marais, ainsi que celles

Tableau 32. Relation générale entre la productivité des lacs et la concentration moyenne en azote et en phosphore de l'épilimnion

Paramètre	Ultra-oligotrophe	Oligo-mésotrophe	Mésotrophe	Eutrophe	Hyper-eutrophe
N organique (mg m <sup>-3</sup> )	<200*	200-400*	400-700*	700-1200*	>1200†
N inorganique (mg m <sup>-3</sup> )	<200*	200-400* Rivière Sainte-Claire † Lac Ontario † (zone littorale à proximité du port de Hamilton) Lac Érié † (zone littorale, Port Dover jusqu'à l'extrémité de la pointe Longue)	300-650* Rivière Johnston Lac Sainte-Claire (baie Mitchell) Marais Big Creek Marais de la baie Johnston	500-1500* Ruisseau Big	>1500* Cootes Paradise Port de Hamilton ‡ Canal municipal Marais Dover, Balmoral et St. Lukes
P total (µg L <sup>-1</sup> )	<5*	5-10*	10-30* Rivière Johnston Lac Érié † (zone littorale de Port Dover à l'extrémité de la pointe Longue) Lac Sainte-Claire (Baie Mitchell) Lac Ontario † (zone littorale à proximité du port de Hamilton) Ruisseau Big	30-100* Marais Balmoral et St. Lukes Marais de la baie Johnston Cootes Paradise (stations n <sup>os</sup> 1 à 4) Marais Big Creek	>100* Marais Dover Canal municipal Cootes Paradise (étang ouest) Port de Hamilton ‡

\* Wetzel (1975)

† Ministère de l'Environnement de l'Ontario (1972)

‡ Ministère de l'Environnement de l'Ontario (1977)

Tableau 33. Comparaison entre les apports en azote total aux marais Dover, Balmoral et Big Creek et la teneur en azote total de l'eau

Marais	Apport de N <sub>t</sub> (kg)	Source	Quantité actuelle de N <sub>t</sub> dans l'eau des marais (kg)
Dover (30 ans)	50 400	Canal municipal	2374
Balmoral (30 ans)	3 518	Lac Sainte-Claire	1243
Big Creek (50 ans)	67 400	Ruisseau Big	1685

Tableau 34. Coefficients de corrélation indiquant le degré de relation linéaire entre les matières nutritives de l'eau et celles des sédiments au marais Cootes Paradise

P <sub>t</sub> des sédiments: P <sub>t</sub> de l'eau	N <sub>t</sub> des sédiments: NNO <sub>3</sub> + NO <sub>2</sub> de l'eau	N <sub>t</sub> des sédiments: N <sub>2</sub> NH <sub>4</sub> de l'eau	N <sub>t</sub> des sédiments: N <sub>t</sub> K de l'eau
0.997*	0.877†	0.957†	0.910†

\* Seuil de signification = 0.01

† Seuil de signification = 0.05

Remarque: 40 échantillons ont été prélevés

des eaux des lacs Érié et Sainte-Claire, du ruisseau Big et du canal municipal étaient plus ou moins supérieures à celles signalées par Livingstone.

On sait que le pH et le potentiel d'oxydoréduction des eaux et des sédiments de surface sont importants pour les processus de régularisation de la solubilité et de répartition selon diverses formes géochimiques des métaux lourds. La réduction des composés insolubles de Fe et de Mn se traduit par la libération de certaines quantités de ces deux micronutriments.

Plusieurs composés ferriques sont réduits par la respiration de micro-organismes dans les conditions anaérobies présentes dans les sols imbibés d'eau (Patrick et Mikkelsen, 1971). Gotoh et Patrick (1974) ont montré l'existence de variations de concentration en Fe directement utilisable pouvant dépasser trois ordres de grandeur suite à des modifications du pH et du potentiel d'oxydoréduction.

L'étude des effets de l'O<sub>2</sub> dissous sur la transformation chimique des métaux et des matières nutritives, dont Fe, Mn et Zn, effectuée par Khalid et coll. (1978), a montré que les modifications du pH et du potentiel d'oxydoréduction étaient liées aux accroissements des teneurs en O<sub>2</sub>. Ceux-ci modifiaient fortement la répartition des métaux à l'état de traces dans les diverses fractions chimiques ainsi que la solubilité des métaux à l'état de traces dans les sédiments d'estuaires. Le potentiel d'oxydoréduction avait un effet très important sur la stabilité de quatre chélates de Zn et Cu des acides diéthylènetriaminepentaacétique et éthylènediaminetetraacétique dans les sols inondés (Reddy et Patrick, 1977).

La variabilité des concentrations en Fe et Mn de l'eau des marais étudiés était probablement régie par le potentiel d'oxydoréduction des sédiments et par les variations des concentrations en oxygène dissous à chaque station d'échantillonnage.

Les variations locales et saisonnières de la concentration en oxygène dissous de l'eau des marais ont certainement un effet sur les teneurs en métaux de l'eau. D'autres processus de régularisation, qui demeurent encore inconnus, peuvent cependant influencer sur la solubilité et la disponibilité des métaux pour le biote. Les résultats obtenus lors des présents travaux indiquent que des faibles concentrations en Pb, Ni, Cu, Cr, Cd, Zn, As et Hg étaient présentes dans les eaux des marais. Par ailleurs, les concentrations en Fe et Mn étaient supérieures à celles notées pour les lacs Érié et Sainte-Claire.

## Oxygène dissous

Les températures et les concentrations en oxygène dissous mensuelles moyennes des eaux des marais sont présentées à la figure 14. Puisque les marais sont peu profonds et leurs eaux bien mélangées par le vent, la température de l'eau est directement modifiée par celle de l'air. Les variations de température étaient importantes au cours d'une journée, surtout pendant les mois d'été. Il arrivait souvent que les différences de température atteignaient une valeur de 7°C, la température minimale étant notée le matin et la plus élevée vers 14 h. Les variations quotidiennes de la température de l'eau et de l'action du vent agissant de pair avec la photosynthèse active des macrophytes et des algues sessiles (attachées à la fois aux macrophytes et aux sédiments) ont probablement contribué à maintenir une teneur en oxygène dissous relativement élevée dans les eaux des marais pendant les mois d'été. L'importante activité photosynthétique notée à l'étang ouest (Harris et Bacchus, 1974) peut être mise en corrélation avec la teneur en oxygène dissous relativement élevée au Cootes Paradise. Aucune diminution de cette teneur n'a été notée en automne lors de la décomposition des plantes et des algues dans les marais.

## VÉGÉTAUX

On a noté d'importantes variations dans les concentrations en K, P, N, Ca, Mg et en métaux à l'état de traces des macrophytes prélevés dans les marais étudiés. Les variations de la composition chimique des végétaux correspondent à celles notées par Boyd (1978) à l'intérieur d'une espèce d'un même lieu ainsi qu'à l'intérieur d'une espèce de lieux différents et entre des espèces. Boyd a proposé que les mesures directes de la composition chimique soient faites lors des études nécessitant ces données, car les valeurs moyennes de la composition calculées à partir de données existantes pour une espèce donnée ou pour un groupe écologique d'espèces ne seraient pas fiables. Stake (1967, 1968) et Boyd et Hess (1970) ont trouvé que les concentrations en matières nutritives des sols et de l'eau présentaient une corrélation peu importante, ou même nulle, avec celles notées chez les macrophytes émergents. Klopatek (1975) a comparé les variations des quantités de N et de P présentes dans les parties situées au-dessus du sol et dans le sol des végétaux non abattus ainsi que les teneurs en matières nutritives du sol dans des peuplements monotypiques de *Typha latifolia*, *Scirpus fluviatilis* et *Carex lacustris*. Il a noté des corrélations fortement significatives pour la plupart des paramètres et il a conclu que

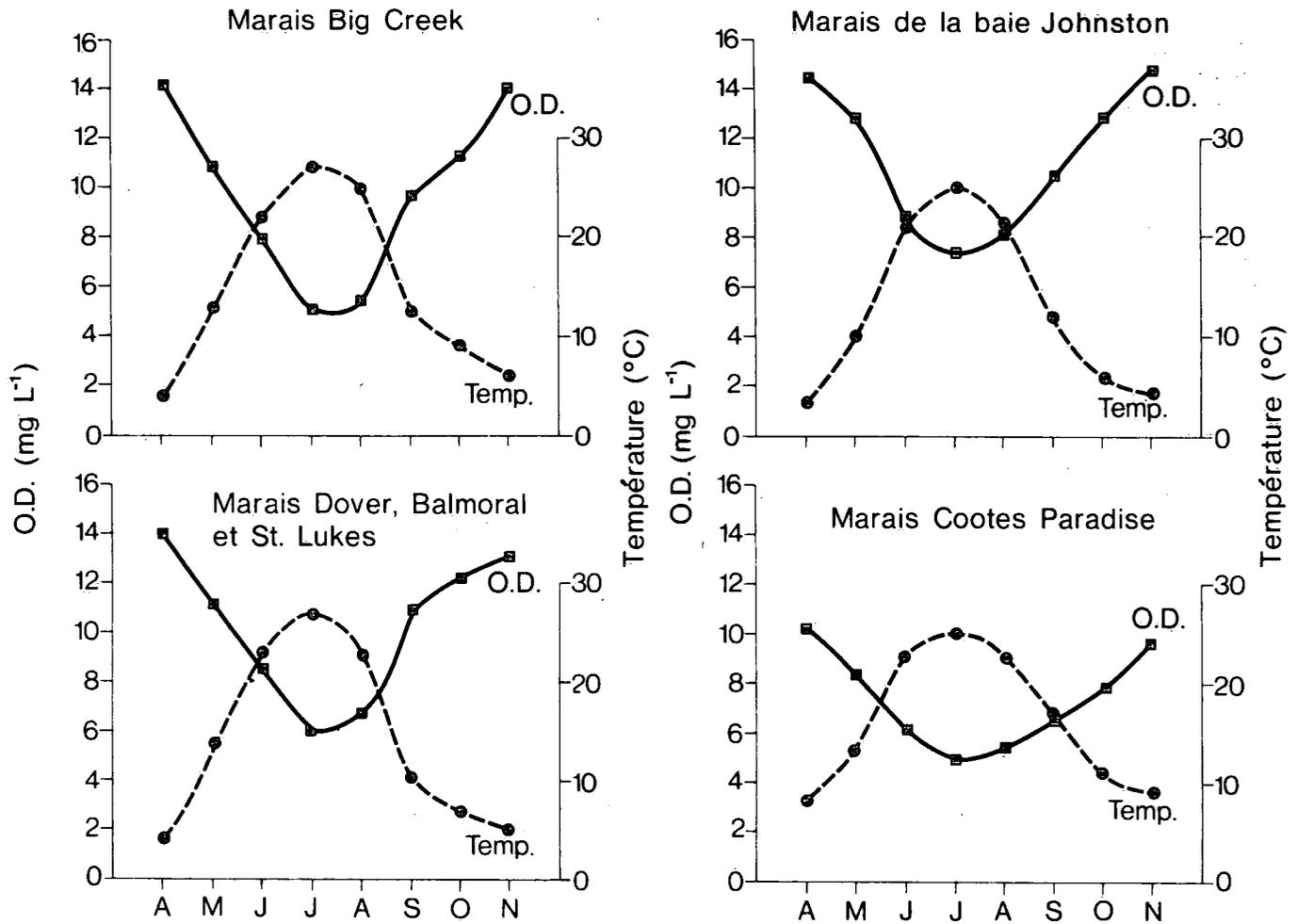


Figure 14. Variations de la température et de la teneur en oxygène dissous.

les macrophytes émergents tiraient leurs matières nutritives des sols. Swindal et Curtis (1957) ont trouvé, lors d'une étude de végétaux submergés de lacs du Wisconsin, que les variations des communautés végétales étaient liées aux variations du substrat.

Une corrélation positive (coefficient de corr. de 0.932; 6 paires) a été notée entre les apports annuels de  $N_t$  aux marais étudiés et la production de biomasse au-dessus du sol de *Typha latifolia* prélevés à partir de peuplements des marais Dover, Balmoral, St. Lukes et Big Creek et de *Glyceria grandis* échantillonnés au Cootes Paradise. Sculthorpe (1967) a signalé que de nombreuses plantes aquatiques, qui tendent à former des peuplements purs étendus, atteignent rapidement cet état et dominent pendant toute la saison ou de façon permanente. Une espèce peut, dans un lieu favorable, prendre une avance et s'accroître beaucoup plus rapidement que tout autre compétiteur. Il se peut que des modifications aient eu lieu dans la composition en espèces du Cootes Paradise, car selon une

carte de la végétation préparée par Kay (1949), cette zone était occupée par un peuplement mixte de *Typha* et de *Glyceria grandis* alors qu'on n'y trouve actuellement que des *Glyceria grandis*.

Tableau 35. Apports de  $N_t$  aux marais

Marais	Kilogrammes de $N_t$ ha <sup>-1</sup> an <sup>-1</sup>
Balmoral	0.6
Big Creek	1.7
St. Lukes	3.1
Dover	5.6
Cootes Paradise (étang ouest)	64 000
Cootes Paradise (reste du marais)	4 320

Les apports d'azote calculés, exprimés en kilogrammes de  $N_t$  par hectare par an, sont présentés au tableau 35. On y note les variations des apports d'azote à chacun des marais étudiés. Jacobs (1975) a montré par un grand nombre d'exemples, que l'accroissement de l'eutrophisation ne fait pas seulement accroître la productivité de la biomasse, mais qu'il en diminue aussi la diversité. La charge très élevée de matières nutritives du Cootes Paradise a modifié la composition des espèces de macrophytes dans cette zone. Harris et Baccus (1974) ont trouvé, lors d'une étude portant sur la chlorophylle et la production dans la zone de l'étang ouest, une corrélation entre la production de biomasse de l'algue *Scenedesmus quadricauda* et un apport continu de phosphore et de nitrate. Cette algue s'avérait aussi être l'espèce dominante tout au long de la saison.

Des trois marais endigués du lac Sainte-Claire qu'on a étudiés, c'est le marais Dover qui reçoit la plus grande quantité de  $N_t$ , ce qui pourrait expliquer la dominance de *Typha* à cet endroit.

Les macrophytes submergés échantillonnés dans les marais étudiés présentaient de plus importantes accumulations de Pb, Cr, Ni, Cd, Co et Cu que les plantes émergées. Les concentrations de ces métaux dans les plantes submergées variaient cependant beaucoup. Le mécanisme d'absorption des éléments à partir de l'eau et des sédiments par les plantes submergées a été étudié par de nombreux chercheurs (Steeman Nielsen, 1951; Olsen, 1953; Lowenhampt, 1966; Sutcliffe, 1962; Spence, 1976; Denny, 1972; Mayes et coll., 1977).

La corrélation notée entre les concentrations en Ca et celles en Pb, Cu, Ni et Cr des macrophytes submergés prélevés au marais Big Creek porte à penser à une co-précipitation ou à l'adsorption de ces métaux par la calcite déposée à la surface des végétaux, mais ceci ne pourrait être déterminé que par des études supplémentaires.

## Résumé des résultats et conclusions

La présente étude a été amorcée dans le but d'évaluer les effets, favorables ou nuisibles, de certains marais situés en périphérie des Grands lacs sur la qualité de l'eau de ces derniers. Les études ont porté sur les variations des concentrations en matières nutritives et en éléments à l'état de traces dans l'eau des marais, la géochimie des sédiments, l'absorption des matières nutritives et des éléments à l'état de traces par les plantes et la production de biomasse de ces plantes. On a étudié ces paramètres dans le but de caractériser chaque marais, d'évaluer les effets possibles des marais sur la qualité de l'eau des lacs et d'obtenir des renseignements de base devant servir à d'autres études portant sur ces marais.

Six marais adjacents aux Grands lacs ont été choisis pour l'étude, à savoir: le marais Cootes Paradise sur le lac Ontario, le marais Big Creek sur le lac Érié, les marais, Dover, Balmoral et St. Lukes sur la rive nord-est du lac Sainte-Claire, ainsi que la zone marécageuse du delta de la rivière Sainte-Claire.

Les eaux des marais étudiés subissent l'influence de roches carbonatées et présentent des valeurs de pH se situant entre 7.8 et 8.4. Les sédiments de tous les marais étudiés étaient composés de sols minéraux submergés à pH variant de 6.9 à 7.2 et formés de particules dont la plus grande partie présentait une granulométrie de silt (2 à 63  $\mu\text{m}$ ). Le pH n'était pas modifié par l'accumulation de matières organiques et l'on a noté une différenciation des matériaux en horizons ou couches de sols.

Les teneurs en  $\text{C}_0$ ,  $\text{N}_t$ ,  $\text{P}_t$  et Ca des sédiments de marais étaient plus élevées que celles notées pour les sédiments des Grands lacs. Les produits de l'importante activité biologique contribuaient aux teneurs élevées en  $\text{C}_0$ ,  $\text{N}_t$  et  $\text{P}_t$  et les dépôts de calcite à la surface des macrophytes provoquaient un enrichissement des sédiments en Ca.

Le faible potentiel d'oxydoréduction des sédiments de fond, surtout dans la couche de 10 à 20 cm, avait pour effet de ralentir la décomposition des matières organiques et de modifier la solubilité du manganèse et du fer.

Les concentrations en Zn, Cu et Co des sédiments de marais étaient inférieures à celles notées dans les sédiments de surface à grains fins des Grands lacs, qui étaient modifiées

par les apports anthropogènes. Un enrichissement en Pb, Zn et Cu, noté dans la couche de surface des sédiments de certains marais, pourrait s'expliquer par la chasse. Des rejets de Hg de sources industrielles dans le réseau de la rivière Sainte-Claire, au début des années 1970, étaient responsables des teneurs élevées en Hg notées dans les sédiments de surface de la zone de l'île Walpole. La corrélation positive notée entre le  $\text{C}_0$  et certains des métaux étudiés (Pb, Cr, Zn et Cu) dans certains des marais a été attribuée à une complexation ou adsorption possibles des métaux par les matières organiques.

Une corrélation positive élevée entre le  $\text{C}_0$  et le  $\text{N}_t$  a été notée pour tous les échantillons de sédiments de marais. La corrélation positive entre le  $\text{C}_0$  et le  $\text{P}_t$  notée pour certains des échantillons de sédiments avait probablement pour cause l'adsorption de P sur les sédiments riches en matières organiques et la corrélation positive entre le  $\text{C}_0$  et le S a été attribuée à la décomposition d'algues et de macrophytes, dont les tissus contiennent des quantités relativement importantes de S.

D'importantes différences ont été notées entre les concentrations en diverses formes de N présentes dans les eaux des marais, des lacs et des cours d'eau. La plus grande partie de l'azote présent dans l'eau des marais était sous forme organique. Le pouvoir de sorption des sédiments n'a provoqué qu'une légère augmentation des concentrations en  $\text{P}_t$  de l'eau des marais, comparativement à celle des lacs adjacents.

Les concentrations en Pb, Cu, Cr, Ni, Cd, As et Hg des eaux des marais étaient généralement très faibles ( $<0.001 \text{ mg L}^{-1}$  pour les Pb, Cu, Cr, Ni, Cd et As;  $<5 \times 10^{-5} \text{ mg L}^{-1}$  pour le Hg). Les concentrations en Fe et Mn étaient, dans certains cas, supérieures à celles notées pour les Grands lacs. Le faible potentiel d'oxydoréduction des sédiments modifiait la disponibilité de ces deux éléments pour les eaux.

Les variations quotidiennes de l'action du vent et de la température moyenne de l'eau, ainsi que la photosynthèse active des macrophytes et des algues sessiles (attachées aux macrophytes et aux sédiments), ont très probablement favorisé le maintien d'une concentration relative élevée en oxygène dissous dans l'eau des marais pendant

les mois d'été. Aucune diminution de cette concentration n'a été observée durant l'automne, lors de la décomposition des végétaux et des algues. Ce phénomène a été attribué au rapide refroidissement des marais peu profonds durant les mois d'automne.

L'apport de matières nutritives aux marais a modifié la production de biomasse au-dessus du sol et la composition en espèces dans les marais. Les macrophytes submergés ont accumulé de plus grandes quantités de Pb, Cr, Ni, Cd, Co et Cu que les macrophytes émergés, mais les concentrations de ces métaux dans les plantes submergées variaient fortement. Une corrélation positive notée entre les concentrations en Ca et celles en Pb, Cu, Ni et Cr chez les macrophytes porte à penser à l'existence d'une coprecipitation ou d'une adsorption de ces métaux par la calcite déposée à la surface des plantes.

Tous les marais étudiés présentaient une forte capacité à retenir les matières nutritives et les métaux. L'importance de cette rétention est fonction du régime hydrologique et de la composition en espèces d'un marais. D'une façon générale, un marais situé sur un affluent d'un lac s'avérerait

utile en réduisant la quantité de matières nutritives transportées dans le lac ainsi que la croissance des algues. Diverses substances chimiques (métaux, etc.) adsorbées sur les fines particules en suspension dans l'eau du cours d'eau sédimenteraient dans le marais. Ainsi, on a noté une réduction de l'ordre de 30 à 40 % des teneurs en  $N_t$  et  $P_t$  provenant des effluents d'une usine de traitement d'eaux usées au niveau du marais Cootes Paradise. Cette diminution était liée à la sédimentation des matières solides en suspension et à l'activité biologique du marais.

D'après les calculs, un déversement total des marais dans les lacs adjacents ne représenterait qu'un apport négligeable d'azote et de phosphore, comparativement aux apports d'autres sources. Il a été estimé que le déversement des eaux des marais riverains du lac Ontario se traduirait par des apports de 3.17 % de  $N_O$ , de 0.45 % de  $NNH_4$ , de 0.16 % de  $NNO_3 + NO_2$  et de 0.51 % de  $P_t$  comparativement aux apports totaux de N et P au lac. Les effets localisés dans la zone littorale où chaque marais se déverserait seraient cependant fonction du régime hydrologique de la zone réceptrice et particuliers pour chaque endroit.

## Références

- Bayly, I. 1975. Preliminary study of the nutrient regime of marshland of the St. Clair National Wildlife Area—Dover Township, Ontario.
- Bayly, I. 1976. Preliminary study of the nutrient regime of marshland at the Big Creek National Wildlife area. Rapport au Service canadien de la faune, London (Ontario).
- Bjork, S. 1967. Ecologic investigation of *Phragmites communis*. Folia Limnol. Scand. 14.
- Boyd, C.E. 1970a. Influence of organic matter on some characteristics of aquatic soils. Hydrobiologia, 36: 17-21.
- Boyd, C.E. 1970b. Chemical analyses of some vascular aquatic plants. Arch. Hydrobiol. 67:78-85.
- Boyd, C.E. 1978. Chemical composition of wetland plants. Dans Freshwater Wetlands, R.E. Good, D.F. Whigham et R.L. Simpson (réds.), Academic Press, New York, San Francisco, Londres, pp. 115-168.
- Boyd, C.E. et L.W. Hess. 1970. Factors influencing shoot production and mineral nutrient levels in *Typha latifolia*. Ecology, 51(2):296-300.
- Buckman, H.O. et N.C. Brady. 1969. *The nature and properties of soils*. The Macmillan Company - Collier-Macmillan Ltd., Londres, pp. 23-24.
- Capobianco, J.A. 1975. A method for the "cold vapor" determination of mercury in lake sediment. Rapport non publié, Centre canadien des eaux intérieures, Burlington (Ontario).
- Chamie, J.P.M. and C.J. Richardson. 1978. Decomposition in northern wetlands. Dans Freshwater Wetlands, R.E. Good, D.F. Whigham et R.L. Simpson (réds.), Academic Press, New York, San Francisco, Londres, pp. 115-130.
- Chapman, L.J. et D.F. Putnam. 1973. *The physiography of southern Ontario*. Toronto: University of Toronto Press.
- Chave, K.E. 1970. Carbonate-organic interactions in sea water. Dans Organic matter in natural waters, D.W. Hood (réd.), Univ. Alaska Inst. Mar. Sci. Occas. Publ. 1, pp. 373-385.
- Davis, C.B. et A.G. Van der Valk. 1978. Litter decomposition in prairie glacial marshes. Dans Freshwater Wetlands, R.E. Good, D.F. Whigham et R.L. Simpson (réds.), Academic Press, New York, San Francisco, Londres, pp. 99-114.
- Day, W.J. 1973. Community structure and carbon budget of a salt marsh and shallow bay estuarine system in Louisiana. Publ. n° LSU-56-72-04 du Center for Wetland Resources, Baton Rouge.
- DeJong, J. 1976. The purification of wastewater with the aid of rush or reed ponds. Dans Biological control of water pollution, J. Tourbier et R.W. Pierson (réds.), University of Pennsylvania Press, pp. 133-140.
- DeMarte, J.A. et R.T. Hartman. 1974. Studies on adsorption of  $^{32}\text{P}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ , and  $^{45}\text{Ca}$  by water-milfoil (*Myriophyllum exalbescens* Fernald). Ecology, 55:188-194.
- Dennis, D.G. 1974. Breeding pair surveys of waterfowl in southern Ontario. Dans Canadian Wildlife Service Waterfowl Studies in Eastern Canada, 1969-1973, H. Boyd (réd.) Report Series No. 19, Service canadien de la faune.
- Dennis, D.G. et R.E. Chandler. 1974. Waterfowl use of the Ontario shorelines of the southern Great Lakes region during migration. Dans Canadian Wildlife Service Waterfowl Studies in Eastern Canada, 1967-73, H. Boyd (réd.), Report Series No. 29, Service canadien de la faune.
- Denny, P. 1972. Sites of nutrient absorption in aquatic macrophytes. J. Ecol. 60(3):819-829.
- Dykyjova, D. 1978. Nutrient uptake by littoral communities of helophytes. Dans Pond Littoral Ecosystem, D. Dykyjova et J. Kvet (réds.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 256-284.
- Dykyjova, D. et S. Pribil. 1975. Energy content in the biomass of emergent macrophytes and their ecological efficiency. Arch. Hydrobiol. 75(1):90-108.
- Engler, R.M., D.A. Antie et W.H. Patrick, Jr. 1976. Effect of dissolved oxygen on redox potential and nitrate removal in flooded swamp and marsh soil. J. Environ. Qual. 5(3):230-235.
- Environnement Canada. 1974. *Manuel des méthodes analytiques*. Direction générale des eaux intérieures, Direction de la qualité des eaux, Ottawa.
- Environnement Canada. 1977. Lake Ontario Program Analysis. Report of the Coastal Processes Working Group. Direction générale des eaux intérieures, Direction de la planification et de la gestion (Eaux).
- Fraser, A.S. et K.E. Willson. 1980. Loading Estimates to Lake Erie. Rapport technique de l'Institut national de recherches sur les eaux.

- Gallagher, J.L. 1978. Decomposition processes: summary and recommendations. *Dans* Freshwater Wetlands, R.E. Good, D.F. Whigham et R.L. Simpson (réds), Academic Press, New York, San Francisco, Londres, pp. 145-151.
- Godshalk, G.L. et R.G. Wetzel. 1978. Decomposition in the littoral zone of lakes. *Dans* Freshwater Wetlands, R.E. Good, D.F. Whigham et R.L. Simpson (réds), Academic Press, New York, San Francisco, Londres, pp. 131-143.
- Gotoh, S. et W.H. Patrick, Jr. 1974. Transformation of iron in a waterlogged soil as influenced by redox potential and pH. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38(1):66-71.
- Harris, G.P. et H.M. Bacchus. 1974. Chlorophyll and production in a polytrophic marsh. Procès-verbal du 9<sup>e</sup> colloque canadien sur les recherches sur la pollution des eaux au Canada, université Western Ontario, London.
- Healey, F.P. 1973. Inorganic nutrient uptake and deficiency in algae. *CRC Crit. Rev. Microbiol.* septembre 1973:69-113.
- Isirimah, N.O. et D.R. Keeney. 1973. Nitrogen transformation in anaerobic and waterlogged Histosols. *Soil Sci.* 115(2):123-129.
- Jacobs, J. 1975. Diversity, stability and maturity in ecosystems influenced by human activities. *Dans* Unifying concepts in Ecology, W.H. Van Dobben et R.H. Lowe-McConnell (réds.), La Haye: W.Junk bv, éditeur.
- Jewell, W.J. 1971. Aquatic weed decay: dissolved oxygen utilization and phosphorus and nitrogen regeneration. *J. Water Pollut. Control Fed.* 43(7):1457-1467.
- Johnson, B.C. 1976. Second Marsh-Oshawa, Ontario. Biological and Social Values. Rapport du Service canadien de la faune.
- Karrow, P.F. 1959. Pleistocene geology of the Hamilton map-area. Ministère des Mines de l'Ontario, Circulaire géologique n<sup>o</sup> 8.
- Kay, E.R.M. 1949. Limnological studies of the Dundas marsh region. Thèse pour licence, université McMaster, Hamilton (Ontario).
- Keeney, D.R. 1973. The nitrogen cycle in sediment-water interface. *J. Environ. Qual.* 1(1):15-29.
- Kemp, A.L.W. 1971. Organic carbon and nitrogen in the surface sediments of Lakes Ontario, Erie and Huron. *J. Sediment. Petrol.* 41(2): 537-548.
- Kemp, A.L. W. et C.F.M. Lewis. 1968. A preliminary investigation of chlorophyll degradation products in the sediments of Lakes Erie and Ontario. Procès-verbal du 11<sup>e</sup> congrès sur les recherches sur les Grands Lacs, University of Wisconsin, Milwaukee (Wisconsin), pp. 206-229.
- Kemp, A.L.W. et R.L. Thomas. 1976. Impact of man's activities on the chemical composition in the sediments of Lake Ontario, Erie, and Huron. *Water Air Soil Pollut.* 5:469-490.
- Kemp, A.L.W., R.L. Thomas et J.D.H. Williams. 1977. Major elements, trace elements, sediment particle size, water content, Eh and pH in 26 cores from Lakes Superior, Huron, Erie and Ontario. Rapport non publié, Centre canadien des eaux intérieures, Burlington (Ontario).
- Kemp, A.L.W., R.L. Thomas, C.I. Dell et J.-M. Jaquet. 1976. Cultural impact on the geochemistry of sediments in Lake Erie. *J. Fish. Res. Board Can.* 33(3):440-462.
- Khalid, R.A., W.H. Patrick, Jr. et R.P. Gambrell. 1978. Effect of dissolved oxygen on chemical transformation of heavy metals, phosphorus, and nitrogen in an estuarine sediment. *Estuarine Coastal Mar. Sci.* 6:21-35.
- Klopatek, J.M. 1975. The role of emergent macrophytes in mineral cycling in a freshwater marsh. *Dans* Mineral Cycling in Southeastern Ecosystems, F.G. Howell, J.B. Gentry et M.H. Smith (réds), Energy Research and Development Administration (ERDA) Symp. Ser., pp. 357-393.
- Kramer, J.R., S.E. Herbes et H.E. Allen. 1972. Phosphorus: analysis of water, biomass, and sediment. *Dans* Nutrients in Natural Waters, H.E. Allen et J.R. Kramer (réds), Wiley-Interscience, New York, pp. 51-100.
- Livingstone, D.A. 1963. Chemical composition of rivers and lakes, data of geochemistry, U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 440-G.
- Lowenhaupt, B. 1956. The transport of calcium and other cations in submerged aquatic plants. *Biol. Rev.* 31:371-395.
- Lund, J.W.G. 1965. The ecology of freshwater phytoplankton. *Biol. Rev.* 40:231-293.
- Mason, C.F. et R.J. Bryant. 1975. Production, nutrient content, and decomposition of *Phragmites communis* Trin., and *Typha angustifolia*. *J. Ecol.* 63(1):71-95.
- Mayes, R.A., A.W. McIntosh et V.L. Anderson. 1977. Uptake of cadmium and lead by a rooted aquatic macrophyte (*Elodea canadensis*). *Ecology*, 58:1176-1180.
- McCullough, G. 1977. Migratory birds and other wildlife. *Dans* Lake Ontario Coastal Zone Problem Analysis, Vol. 1, Rapport du Coastal Processes Working Group, Direction générale des eaux intérieures, Région de l'Ontario.
- Middleton, G.V. 1971. Notes on the geology of the Hamilton area. Département de géologie, université McMaster, Hamilton (Ontario), Tech. Memo 71-1.
- Miles, J.R.W. 1976. Insecticide residues on stream sediments in Ontario, Canada. *Pestic. Monit. J.* 10(3):87-91.
- Miles, J.R.W. et C.R. Harris. 1971. Insecticide residues in a stream and a controlled drainage system in agricultural areas of southwestern Ontario. *Pestic. Monit. J.* 5(3): 289-294.

- Miles, J.R.W., E.F. Bolton et C.R. Harris. 1976. Insecticides and nutrient transport in water, related agricultural land use of stream basin in Ontario, Canada. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 5:119-128.
- Ministère de l'Environnement de l'Ontario. 1972. Great Lakes Water Quality Data, 1972: St. Clair River, Detroit River, Lake Erie, Water Resources Branch.
- Ministère de l'Environnement de l'Ontario. 1977. Hamilton Harbour Study, 1975. Water Resources Branch.
- Mudroch, A. 1977. Determination of major elements in lake and river bottom sediments by Philips PW 1220C X-ray fluorescence spectrometer. Rapport non publié, Centre canadien des eaux intérieures, Burlington (Ontario).
- Mudroch, A. 1980. Biogeochemical investigation of Big Creek marsh, Lake Erie, Ontario. *J. Great Lakes Res.* 6(4):338-347.
- Mudroch, A. et J.A. Capobianco. 1977. Mercury content in selected areas at St. Clair River delta. Rapport non publié, Centre canadien des eaux intérieures, Burlington (Ontario).
- Mudroch, A. et J.A. Capobianco. 1978. Study of selected metals in marshes on Lake St. Clair, Ontario. *Arch. Hydrobiol.* 84(1):87-108.
- Mudroch, A. et J.A. Capobianco. 1979. Effects of treated effluent on a natural marsh. *J. Water Pollut. Control Fed.* 51(9):2243-2256.
- Mudroch, A. et O. Mudroch. 1977. Analysis of plant material by X-ray fluorescence spectrometry. *X-Ray Spectrom.* 6(4):215-217.
- Nichols, D.S. et D.R. Keeney. 1973. Nitrogen and phosphorus release from decaying water milfoil. *Hydrobiologia*, 42(4):509-525.
- North, B.B. et G.C. Stephens. 1967. Uptake and assimilation of amino acids by *Platymonas*. *Biol. Bull. Mar. Biol. Lab. Woods Hole (Massachusetts)*, 133: 391-400.
- Olsen, C. 1953. The significance of concentration for the rate of ion absorption by higher plants in water culture. II. Experiments with aquatic plants. *Physiologia Plantarum*, 6:837-843.
- Osborn, E.T. et J.D. Hem. 1962. Some effects of the larger types of aquatic vegetation on iron content of water. *Dans Chemistry of Iron in Natural Waters*, U.S. Geol. Surv. Water Supply Pap. 1459-I, pp. 237-268.
- Patrick, W.H., Jr. et R.D. Delaune. 1977. Chemical and biological redox systems affecting nutrient availability in the coastal wetland. *Geoscience and Man*, Vol. XVIII, pp. 131-137.
- Patrick, W.H., Jr. et R.A. Khalid. 1974. Phosphate release and sorption by soils and sediments: effect of aerobic and anaerobic conditions. *Science*, 186:53-55.
- Patrick, W.H., Jr. et D.S. Mikkelsen. 1971. Plant nutrient behavior in flooded soil. *Dans Fertilizer Technology and Use*. 2<sup>e</sup> éd., Soil Sci. Soc. Am. Inc., Madison (Wisconsin), pp. 187-215.
- Polisini, J.M. et C.E. Boyd. 1972. Relationship between cell-wall fractions, nitrogen, and standing crop in aquatic macrophytes. *Ecology*, 53:484-488.
- Prentki, R.T., T.D. Gustafson et M.S. Adams. 1978. Nutrient movements in lakeshore marshes. *Dans Freshwater Wetlands*, R.E. Good, D.F. Whigham et R.L. Simpson (réds), Academic Press, New York, San Francisco, Londres, pp. 169-194.
- Reddy, C.N. et W.H. Patrick. 1977. Effect of redox potential on the stability of zinc and copper chelates in flooded soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41(4):729-732.
- Sculthorpe, C.D. 1967. The biology of aquatic vascular plants. E. Arnold Ltd., Londres, p. 426.
- Seidel, K. 1976. Macrophytes and water purification. *Dans Biological Control of Water Pollution*, J. Tourbier et R.W. Pierson (réds), University of Pennsylvania Press, pp. 109-122.
- Semkin, R.G., A.W. McLarty et D. Craig. 1976. A water quality study of Cootes Paradise. Ministère de l'Environnement de l'Ontario.
- Sloey, W.E., L.F. Spangler et C.F. Fetter, Jr. 1978. Management of freshwater wetlands for nutrient assimilation. *Dans Freshwater Wetlands*, R.E. Good, D.F. Whigham et R.L. Simpson (réds), Academic Press, New York, San Francisco, Londres, 321-340.
- Soderman, L.G., T.C. Kenney et A.K. Loh. 1961. Geotechnical properties of glacial clays in Lake St. Clair region of Ontario. Procès-verbal du 14<sup>e</sup> congrès canadien sur les mécanismes des sols, Ottawa, pp. 55-81.
- Sozanski, A.G. et D.S. Cronan. 1979. Ferromanganese concretions in Shebandowan Lakes, Ontario. *Can. J. Earth Sci.* 16:126-140.
- Spence, D.H.N. 1967. Factors controlling the distribution of freshwater macrophytes with particular reference to the lochs of Scotland. *J. Ecol.* 55:147-170.
- Stake, E. 1967. Higher vegetation and nitrogen in a rivulet in central Sweden. *Schweiz. Z. Hydrol.* 29:107-125.
- Stake, E. 1968. Higher vegetation and phosphorus in a small stream in central Sweden. *Schweiz. Z. Hydrol.* 30:353-373.
- Steeman Nielsen, E. 1951. Passive and active ion transport during photosynthesis in water plants. *Physiol. Plantarum*, 4:189-198.
- Stephens, G.C., B.S. Vaidya et O.P. Saxena. 1969. Uptake of glycine by blue-green algae. *Indian J. Exp. Biol.* 7:43-44.
- Suess, E. 1968. Calcium carbonate interaction with organic compounds. Thèse pour doctorat, Lehigh University, Bethlehem (Pennsylvanie).
- Sutcliffe, J.F. 1962. Mineral salts absorption in plants. Oxford: Pergamon Press.

- Swindal, D.M. et J.T. Curtis. 1957. Phytosociology of the large submerged plants in Wisconsin lakes. *Ecology*, 38:397-407.
- Syers, J.K., R.F. Harris et D.E. Armstrong. 1973. Phosphate chemistry in lake sediments. *J. Environ. Qual.* 2:1-14.
- Thomas, M.K. 1953. Climatological Atlas of Canada. Conseil national de recherches, Canada, Ottawa (Ontario).
- Thomas, R.L., J.-M. Jaquet et A. Mudroch. 1975. Sedimentation processes and associated changes in surface sediment trace metal concentrations in Lake St. Clair, 1970-1974. *Int. Conf. on Heavy Metals in the Environment*, Toronto (Ontario).
- Thomas, R.L., A.L.W. Kemp et C.F.M. Lewis. 1972. Distribution, composition and characteristics of the surficial sediments of Lake Ontario. *J. Sediment. Petrol.* 42(1):66-64.
- Tilton, D.L., R.H. Kadlec et C.J. Richardson, réd. 1976. *Freshwater Wetlands and Sewage Effluent Disposal*. The University of Michigan, Ann Arbor (Michigan).
- Tourbier, J. et R.W. Pierson, Jr., réd. 1976. *Biological Control of Water Pollution*. University of Pennsylvania Press, Philadelphie (Pennsylvanie).
- Ulehlova, B. 1978. Decomposers in the fishpond littoral ecosystem. *Dans Pond Littoral Ecosystems*, D. Dykyjova et J. Kvet (réd.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Valiela, I. et J.M. Teal. 1978. Nutrient dynamics: summary and recommendations. *Dans Freshwater Wetlands*, R.E. Good, D.F. Whigham et R.L. Simpson (réd.), Academic Press, New York, San Francisco, Londres, pp. 115-130.
- Vollenweider, R.A. 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors of eutrophication. Organ. for Economic Cooper. and Development DAS/CSI/68.27.
- Webber, L.R. et D.W. Hoffman. 1967. Origin, classification and use of Ontario soils. Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario, Toronto (Ontario), publ. n° 51.
- Wetzel, R.G. 1960. Marl encrustation on hydrophytes in several Michigan lakes. *Oikos*, 11:223-236.
- Wetzel, R.G. 1975. *Limnology*. W.B. Saunders Co., Philadelphie, Londres, Toronto.
- Wetzel, R.G. et H.L. Allen. 1970. Functions and interactions of dissolved organic matter and the littoral zone in lake metabolism and eutrophication. *Dans Productivity Problems of Freshwaters*, Z. Kajak et A. Hillbricht-Ilkowska, (réd.), Varsovie, PWN (éditeurs polonais de textes scientifiques), pp. 33-347.
- Wetzel, R.G. et B.A. Manny. 1972. Secretion of dissolved organic carbon and nitrogen by aquatic macrophytes. *Verh. Int. Ver. Limnol.* 18:162-170.
- Wightman, W.R. 1961. The St. Clair delta. Thèse pour licence, université Western Ontario, London (Ontario).
- Williams, J.D.H., J.K. Syers, S.S. Shukla et R.F. Harris. 1971. Levels of inorganic and total phosphorus in lake sediments as related to other sediment parameters. *Environ. Sci. Technol.* 5(11): 1113-1120.
- Willson, K.E. 1978. Nutrient loading to Lake Ontario 1967-1976. Rapport non publié, Centre canadien des eaux intérieures, Burlington (Ontario).
- Wood, H.A.H. 1951. Erosion on the shore of Lake Erie, Pointe aux Pins to Long Point. Thèse pour licence non publiée, université McMaster, Hamilton (Ontario).
- Yakutchick, T.J. et W. Lammers. 1970. Water Resources Report 2. Ontario Resources Commission, Toronto (Ontario).

Environment Canada Library, Burlington



3 9055 1017 2978 7