

**Record Number:** 640  
**Author, Monographic:** Ouellet, M./Poulin, P.  
**Author Role:**  
**Title, Monographic:** Études paléocéologiques des sédiments du lac Waterloo, Québec  
**Translated Title:**  
**Reprint Status:**  
**Edition:**  
**Author, Subsidiary:**  
**Author Role:**  
**Place of Publication:** Québec  
**Publisher Name:** INRS-Eau  
**Date of Publication:** 1976  
**Original Publication Date:**  
**Volume Identification:**  
**Extent of Work:** vi, 87  
**Packaging Method:** pages  
**Series Editor:**  
**Series Editor Role:**  
**Series Title:** INRS-Eau, Rapport de recherche  
**Series Volume ID:** 64  
**Location/URL:**  
**ISBN:** 2-89146-065-0  
**Notes:** Rapport annuel 1975-1976  
**Abstract:** Rapport rédigé pour le ministère des Richesses naturelles du Québec  
15.00\$  
**Call Number:** R000064  
**Keywords:** rapport/ ok/ dl

Études paléoécologiques des sédiments  
du lac Waterloo, Québec

INRS-Eau  
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC  
C.P. 7500, Sainte-Foy  
Québec G1V 4C7

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 64  
1976

Rapport rédigé pour  
le ministère des Richesses naturelles, Québec

par

M. Ouellet, P. Poulin



INRS-Eau  
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC  
C.P. 7500, Sainte-Foy  
Québec G1V 4C7

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 64  
1976

Rapport rédigé pour  
le ministère des Richesses naturelles, Québec

Études paléoécologiques des sédiments  
du lac Waterloo, Québec

par

M. Ouellet, P. Poulin

ISBN 2-89146-065-0  
DEPOT LEGAL 1976

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés

© 1976 - Institut national de la recherche scientifique

## RESUME

En mars 1975, les auteurs ont échantillonné stratigraphiquement les sédiments du lac Waterloo dans le but d'en esquisser l'histoire paléolimnologique. Les nombreuses analyses palynologiques, algologiques et géochimiques effectuées permettent de croire que la période d'afforestation tardiglaciaire, qui débuta il y a quelque 12,500 ans, a provoqué, pour une période relativement courte, de profondes transformations sur l'équilibre physique, chimique et biologique du lac.

Pendant la période forestière qui dura environ 10,000 ans, les changements climatiques ainsi que le développement des sols du bassin versant sont les principaux facteurs qui contrôlèrent l'ontogénie du lac Waterloo.

Les résultats de notre étude démontrent que la qualité de l'environnement aquatique du lac Waterloo s'est dégradée de manière exponentielle depuis les débuts de la période historique. Cette même tendance persistera encore pour plusieurs années si des mesures appropriées ne sont pas prises pour diminuer substantiellement l'apport de substances allochtones dans la cuvette lacustre.

Référence: Ouellet, M. et Poulin, P. (1976). *Etudes paléoécologiques des sédiments du lac Waterloo, Québec*. INRS-Eau, rapport scientifique no 64, 87 p. (Pour le Ministère des Richesses naturelles, Québec).

## ABSTRACT

In March 1975 the lacustrine deposits from Lake Waterloo were stratigraphically sampled so as to reconstruct its paleolimnological history. The numerous palynological, algological and geochemical analyses made on the cores led us to believe that the period of forest implantation in the region about 12,500 years before present had a very significant effect on ecological conditions of the lake.

During the forest period, which lasted about 10,000 years, the climatic changes as well as the soils development within the drainage bassin were the main factors controlling the ontogeny of Lake Waterloo.

The results of the present study demonstrate that the environmental aquatic quality has been degradating at an exponential rate since the beginning of the arrival of the settlers which started about 200 years ago. This same tendency will presumably continue for several years unless proper means are taken to considerably reduce the input of allochthonous nutrients in that lacustrine system.

Reference: Ouellet, M. et Poulin, P. (1976). *Etudes paléoécologiques des sédiments du lac Waterloo, Québec*. INRS-Eau, rapport scientifique no 64, p. (Pour le Ministère des Richesses naturelles, Québec).

## REMERCIEMENTS

Il nous est agréable de remercier particulièrement MM. Camille Pomerleau et Jean-Pierre Gauthier, biologistes du Service de qualité des eaux du Ministère des Richesses naturelles, qui nous ont grandement facilité la tâche tout au cours de cette étude. Nous exprimons aussi toute notre gratitude à M. Jean Guimont, chimiste du Service d'analyse et contrôle du Centre de recherches minérales du Ministère des Richesses naturelles du Québec, pour les nombreuses analyses géochimiques effectuées.

Un merci très spécial à notre collègue Pierre Richard, professeur à l'Université du Québec à Chicoutimi, pour avoir bien voulu nous accorder la permission d'utiliser certaines de ses données non publiées. De plus, nous ne saurions passer sous silence le travail d'identification des Diatomées fait par le professeur Haemish Duthie de l'Université de Waterloo.

Nous remercions également M. Louis Rousseau, directeur de l'INRS-Eau, pour ces nombreuses suggestions lors de la présente étude. A tous nos autres amis et collègues qui nous ont assistés à des degrés divers, l'expression de notre vive reconnaissance.

<u>TABLE DES MATIERES</u>	<u>PAGE</u>
RESUME	i
ABSTRACT	ii
REMERCIEMENTS	iii
TABLE DES MATIERES	iv
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES	vi
1. INTRODUCTION	1
1.1 OBJECTIF ET BUT	2
1.2 DESCRIPTION SOMMAIRE DU LAC WATERLOO ET DE SA REGION	3
1.3 ECHANTILLONNAGE	4
2. PALYNOLOGIE	6
2.1 METHODES	7
2.2 RESULTATS ET DISCUSSION	7
3. DIATOMEES	18
3.1 METHODES	19
3.2 RESULTATS ET DISCUSSION	19
4. PIGMENTS	23
4.1 METHODE	24
4.2 RESULTATS ET DISCUSSION	24
5. PALEOGEOCHIMIE	29
5.1 METHODES	30
5.2 RESULTATS ET DISCUSSION	30
5.2.1 Facteur mécano-physique	37
5.2.2 Facteur chimique	38
6. DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION	40
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	44
ANNEXE 1: TABLEAUX	53
ANNEXE 2: FIGURES	80

LISTE DES TABLEAUXPAGE

1. Facteurs climatiques probables qui auraient prévalu dans la région du lac Waterloo au tardiglaciaire comparés à ceux d'aujourd'hui	54
2. Spectres polliniques des sédiments du lac Waterloo.	
A: Pollens d'arbres (nombre de grains comptés)	55
B: Pollens d'arbustes (nombre de grains comptés)	59
C: Pollens d'herbacées, spores et autres (nombre de grains comptés)	61
3. Nombre de Diatomées centriques dans la partie supérieure des sédiments du lac Waterloo	65
4. Pourcentage d'eau, de carbone organique et de carbonates. Produits de dégradation de la chlorophylle sédimentaire (PDCS) et rapports des densités optiques des pigments du lac Waterloo	66
5. Pourcentage d'eau, de carbone organique et de carbonates dans les sédiments à la sortie du lac Waterloo	70
6. Abondance stratigraphique d'éléments géochimiques dans les sédiments du lac Waterloo	73
7. Matrice de corrélation des éléments géochimiques et de la profondeur des sédiments du lac Waterloo	78
8. Poids sur les trois facteurs A, B et C des variables géochimiques calculés au moyen d'une analyse factorielle de type-R pour les sédiments du lac Waterloo	79

<u>LISTE DES FIGURES</u>	<u>PAGE</u>
1. Diagramme pollinique des sédiments du lac Waterloo	81
2. Taux de sédimentation tardiglaciaire et postglaciaire du lac Waterloo	82
3. Distribution stratigraphique de quelques Diatomées dans la partie supérieure des sédiments du lac Waterloo	83
4. Distribution stratigraphique des pigments dans les sédiments du lac Waterloo	84
5. Distribution stratigraphique d'éléments géochimiques dans les sédiments du lac Waterloo	85
6. Projection sur les axes des principaux facteurs (A, B, C) des poids des variables géochimiques calculés, au moyen d'une analyse factorielle de type-R, pour les sédiments postglaciaires du lac Waterloo	86
7. Chronologie de l'histoire paléoécologique du lac Waterloo	87

## 1. INTRODUCTION

## 1.1 OBJECTIF ET BUT

Parallèlement à l'accroissement de la population humaine et de sa technologie moderne, un nombre de plus en plus grand de personnes se préoccupent, depuis quelques années, des effets des stress imposés à notre biosphère par les diverses activités de la nouvelle civilisation. Si l'on veut préserver à la surface de notre planète un environnement qui pourrait être qualifié d'habitable, il est impératif que des efforts concertés puissent établir le bilan du niveau de dégradation actuel de notre environnement afin de pouvoir esquisser la voie dans laquelle les futures générations devront s'engager.

Malheureusement, au Québec tout comme dans bien d'autres parties du monde, il n'existe à peu près pas de données valables pouvant décrire la vitesse de dégradation actuelle de notre milieu de vie. Le peu de connaissances que nous possédons sur l'évolution globale de notre environnement aquatique ne nous permet aucunement d'entrevoir à long terme la qualité du milieu de vie que nous léguerons à nos descendants. Tout comme l'histoire est une science essentielle à chaque peuple pour retracer ses origines afin de mieux comprendre l'état actuel de sa propre civilisation en fonction de son passé et de son extrapolation dans l'avenir, la paléolimnologie peut reconstituer quelques aspects de l'ontogénie naturelle et anthropique de nos lacs. La connaissance de l'évolution passée et présente de nos systèmes aquatiques nous permettra d'en esquisser certaines tendances futures.

Bien que la paléoécologie des sédiments lacustres soit une science (paléolimnologie) encore à l'état embryonnaire, elle s'affirme de plus en plus comme un outil pouvant fournir des données fondamentales concernant l'ontogénie de nos lacs et les effets des stress imposés à ce type d'environnement par les diverses activités de notre civilisation.

Le but de la présente étude, laquelle fait suite à l'Arrêté en conseil des ministres du 3 juillet 1966 qui désignait le bassin de la rivière Yamaska comme "zone spéciale d'aménagement des eaux", s'inscrit à l'intérieur du programme d'étude complémentaire et de restauration du lac Waterloo mené par le Service de qualité des eaux du Ministère des Richesses naturelles du Québec. Le présent travail vise la reconstitution préhistorique et historique du lac Waterloo au moyen de méthodes paléoécologiques.

## 1.2 DESCRIPTION SOMMAIRE DU LAC WATERLOO ET DE SA REGION

Le lac Waterloo, situé dans le comté de Shefford (UTM-18TF945230), à une altitude de 208 m, est un lac typique de la région des Cantons de l'Est du Québec. Fortement influencée, surtout depuis une centaine d'années, par les diverses activités de la municipalité et de la paroisse du même nom, cette petite étendue d'eau (1.5 km<sup>2</sup>), qui présente une profondeur maximum de 4.5 m, est relativement riche en substances nutritives.

Selon la population locale, la qualité de ce lac s'est dégradée depuis une vingtaine d'années à un point tel que le développement de fleurs d'eau, en période estivale, est devenu un phénomène fréquent.

Le tributaire à l'extrémité sud-est du lac qui couvre 56% de la superficie du bassin versant du lac Waterloo est la partie amont du bras nord de la rivière Yamaska. L'effluent du lac Waterloo qui coule vers le nord draine sur son passage les régions agricoles et urbaines de Granby, Farnham et Saint-Hyacinthe avant de se déverser dans le fleuve Saint-Laurent (lac Saint-Pierre) à quelques kilomètres à l'est de Sorel. Cet effluent rejoint la partie principale de la rivière Yamaska à quelques kilomètres en amont de Farnham. L'ensemble du bassin versant de cette rivière draine une superficie de quelque 5,000 km<sup>2</sup> entre une altitude allant de 5 m à 825 m. Cette rivière a aussi la réputation d'être l'un des cours d'eau les plus pollués du Québec.

La partie en amont du bassin de la rivière Yamaska, située approximativement à demi-distance entre la ville de Sherbrooke et la région sud de Montréal est boisée à environ 40% et fait partie, selon Grandtner (1966), du groupement forestier de l'érablière laurentienne. Selon Rowe (1959), elle est comprise dans la région forestière des Cantons de l'Est. Dans cette région du sud-est du Québec, au-delà des dépôts marins de la mer postglaciaire de Champlain, la topographie des formations rocheuses du Cambrien et de l'Ordovicien est généralement orientée du sud-est au nord-ouest. Les essences arborescentes dominant principalement les sites mésiques sont: l'érable à sucre (Acer saccharum), le hêtre (Fagus grandifolia), l'ostryer (Ostrya virginiana), le tilleul (Tilia americana), le frêne d'Amérique (Fraxinus americana), le bouleau jaune (Betula

lutea) et le noyer (Juglans cinera). Les autres espèces de moindre importance sont: l'épinette blanche (Picea glauca), le sapin baumier (Abies balsamea), le pin blanc (Pinus strobus), la pruche (Tsuga canadensis), l'épinette rouge (Picea rubens), le bouleau à papier (Betula papyrifera), le cèdre blanc (Thuja occidentalis), le tamarac (Larix laricina), l'épinette noire (Picea mariana), l'orme blanc (Ulmus americana) et les frênes (Fraxinus nigra et F. pennsylvanica).

Le climat de la région du lac Waterloo est, selon Chapman et Brown (1966), du type 4 L. Plusieurs facteurs climatiques importants de cette région sont énumérés au Tableau 1.

### 1.3 ECHANTILLONNAGE

Les 11 et 12 mars 1975, sur couverture de glace, les auteurs ont échantillonné stratigraphiquement les sédiments du lac Waterloo au moyen des carottiers de type Brown (1956) et Livingstone (1955). Au point le plus profond du lac (4.5 m) deux carottes totalisant respectivement 832 et 986 cm ont été récupérées par section de 1 m. Environ 60% du dépôt de ce site est composé de gyttja brune. La partie inférieure des carottes est constituée de sédiments inorganiques argileux sous lesquels repose une couche de sable du tardiglaciaire d'épaisseur inconnue. La sédimentologie de ce site est illustrée et détaillée dans les Figures 1 et 5 du présent travail.

A la sortie du lac (UTM-18TF942236), une carotte de 443 cm a aussi été récupérée sous environ 2 m d'eau. La partie supérieure de la carotte (0-275 cm) est composée principalement de copeaux de bois non décomposés provenant de certaines activités humaines récentes. La sédimentologie de la partie inférieure de cette carotte (275-443 cm) passe graduellement d'un dépôt inorganique limoneux à une granulométrie plus grossière (sable fin) pour l'intervalle stratigraphique de 372 à 443 cm.

Dans la même journée, les carottes ont été sectionnées en intervalles de 2 ou 4 cm et conservées à une température d'environ 3°C pour analyses ultérieures en laboratoire.

Les études stratigraphiques des pollens, des algues, des pigments et de la

composition géochimique des sédiments font l'objet des chapitres suivants de ce rapport. Couplées avec des données écologiques de la région ces études nous ont permis de reconstituer certains aspects de l'histoire du lac Waterloo, qui s'échelonne sur les quelques 13,000 dernières années.

## 2. PALYNOLOGIE

## 2.1 METHODES

Les techniques de laboratoire adoptées pour la présente étude palynologique sont celles de Faegri et Iversen (1964) et de Jorgensen (1967). Brièvement, celles-ci consistent d'abord à éliminer les détritiques organiques par un traitement à chaud de dix minutes avec une solution d'hydroxyde de potassium (KOH) et les particules inorganiques au moyen de l'acide fluorhydrique (HF) d'un ml de sédiments frais pour chaque niveau étudié. L'échantillon est ensuite déshydraté dans l'acide acétique glacial avant de subir l'acétolyse, soit un mélange de neuf parties d'anhydride acétique et d'une partie d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) pendant une minute à chaud. Après ces divers traitements aux acides, les grains sont ensuite lavés deux fois à l'eau distillée, puis colorés au rouge neutre et enfin mélangés à un peu de glycérine pour être montés sur des lames de verre.

Selon la possibilité, tous les grains sur une ou plusieurs lames sont ensuite identifiés et comptés afin de déterminer la fréquence pollinique absolue (FPA) exprimée en nombre de grains par  $cm^3$  de sédiments. Les comptages sont effectués à un grossissement de 250 fois, alors que des grossissements de 625 ou même de 1250 fois, grâce à des objectifs à immersion, peuvent être utilisés pour les problèmes d'identification.

## 2.2 RESULTATS ET DISCUSSION

La Figure 1 représente en pourcentage les divers spectres sporo-polliniques de chaque niveau stratigraphique étudié. Les données absolues de ces spectres apparaissent au Tableau 2. La fréquence pollinique absolue ainsi que le nombre de grains de pollen comptés à chaque niveau apparaissent à droite du diagramme. La colonne sédimentologique est située à gauche du diagramme. L'argile constitue l'essentiel des sédiments de la base au niveau de 645 cm. De 645 à 560 cm, la gyttja devient progressivement mélangée à l'argile. Subséquemment, la gyttja devient le type de sédiment dominant.

Le rectangle, à droite de la colonne sédimentologique, résume l'évolution des courbes polliniques de l'épinette (Picea), du pin (Pinus) et du bouleau (Betula). Le trait gras représente la somme des pourcentages du pollen des arbres et les lignes horizontales, celle des herbes.

Malheureusement, nous n'avons pas encore reçu le résultat de l'échantillon soumis pour datation au  $C^{14}$ , à cause de difficultés techniques et aussi d'un surcroît de travail au laboratoire de Géochronologie du Ministère des Richesses naturelles du Québec. Toutefois, notre diagramme pollinique se compare très bien au diagramme de Richard (non publié) effectué sur des sédiments du Mont Shefford, à 6.5 km au nord-ouest du lac Waterloo. Huit datations au  $C^{14}$  accompagnent ce diagramme et peuvent être utilisées pour le lac Waterloo en raison du fait que les zones polliniques sont à peu près identiques aux deux sites. Ainsi, à partir de ces datations, il nous a été possible de tracer pour le diagramme du lac Waterloo une courbe approximative des âges en fonction de la profondeur (Figure 2) et d'en établir le taux de sédimentation depuis le retrait du glacier continental du bassin lacustre.

La description d'un diagramme pollinique se fait ordinairement en sous-divisant celui-ci en zones. Ces zones sont des unités biostratigraphiques définies par la Commission américaine de nomenclature stratigraphique (1961) comme "a body of rock strata characterized by its content of fossils contemporaneous with the deposition of the strata". Selon cette définition, un diagramme pollinique est divisible en zones qui sont essentiellement basées sur les changements des pourcentages d'abondances polliniques observables dans les sédiments mais sans aucune référence aux changements lithologiques. Il est entendu que cette définition n'exclut pas la possibilité d'utiliser divers types d'organismes ou d'indicateurs présents dans les mêmes couches sédimentaires pour constituer d'autres types de zonations.

Le système de sous divisions utilisé dans la partie palynologique du présent travail caractérise chaque zone comme un assemblage de type pollinique lequel correspond de manière contemporaine à une unité écologique régionale.

Etant donné que les divers types d'assemblages polliniques présents dans les sédiments du lac Waterloo sont semblables à ceux qui ont déjà été étudiés par plusieurs auteurs (Ouellet, 1974), nous avons pensé utiliser le même code de nomenclature des zones pour faciliter la tâche du lecteur.

Dans la partie nord-est de l'Amérique du Nord, les diagrammes polliniques sont souvent divisibles en trois grandes unités biostratigraphiques A, B et C.

L'unité A est caractérisée par l'épinette (Picea), l'unité B par le pin (Pinus) et la dernière pas la pruche (Tsuga canadensis), le hêtre (Fagus grandifolia) et l'érable à sucre (Acer saccharum). Ces grandes unités biostratigraphiques sont sous-divisées dans le présent travail en zones polliniques selon leurs caractéristiques respectives.

#### Zone A-1 (Herbacées, Betula glandulosa, Salix, Alnus crispa)

Cette zone, bien que comprimée quelque peu, est comprise entre la base du diagramme (710 cm) et le niveau d'environ 620 cm. Elle est caractérisée par le plus bas pourcentage (50%) de pollen arboréen lequel provient probablement en grande partie d'apports extérieurs à la région comme le confirment les faibles valeurs de fréquence pollinique absolue (FPA). En l'absence de végétation arboréenne, le pollen des Cypéracées est abondant, laissant supposer une végétation dominée par les herbes. D'autres herbacées, telles les Composées, les Tubuliflores et les Rosacées, atteignent aussi leur faible maximum dans cette zone. Les lycopes, les fougères et les mousses sont aussi plus abondants dans cette zone. On y retrouve enfin quelques grains de pollen de Graminées, de Caryophyllacées, de Renonculacées et de Chénopodiacées.

Parmi les arbustes, les pollens du bouleau glanduleux (Betula glandulosa), des saules (Salix), de l'aulne vert (Alnus crispa), de la shépherdie (Shepherdia canadensis) ainsi que du génévrier (Juniperus) sont les essences qui ont constitué la végétation arbustive à cette époque (approximativement entre 11,400 et 11,200 années avant aujourd'hui).

Une telle association végétale d'herbes et d'arbustes ne pouvait subsister que sous un climat très froid de type arctique ou du moins hémiarctique. Cette zone pollinique qui a suivi de près le retrait du glacier laurentidien est parfois beaucoup plus importante dans certains diagrammes polliniques (Davis, 1965; 1967; Terasmae et Lasalle, 1968; Richard, 1973a; 1975). Dans plusieurs études palynologiques incluant la présente, cette minimisation des spectres polliniques typiquement arctiques peut être due à plusieurs raisons:

- a) Il est possible que le réchauffement du climat à cette époque ait été si rapide qu'il n'a pas permis l'établissement d'une importante zone de végé-

tation de type tundra entre le glacier et la forêt boréale située plus au sud;

- b) tout comme aujourd'hui dans les régions très froides, la courte saison de croissance ne permet qu'une faible productivité pollinique et, dans certaines situations, cette productivité n'est pas nécessairement annuelle;
- c) la faible productivité pollinique locale des herbes et des arbustes aura tendance à être masquée par les pollens d'arbres provenant des régions forestières exotiques, principalement si le gradient de température entre le glacier et cette région forestière est prononcé.

La corrélation de la zone A-1 avec des spectres polliniques modernes demeure difficile surtout à cause du fait qu'il n'existe que peu d'études concernant la pluie pollinique moderne des régions nordiques. Les études les plus approfondies concernant ce problème furent effectuées au Manitoba et dans les Territoires du Nord-Ouest par Lichti-Federovich et Ritchie (1965; 1969). Davis (1967) utilisa les données des spectres polliniques de surface de plusieurs auteurs et réussit à corréler les zones polliniques tardiglaciaires de la Nouvelle-Angleterre avec des spectres modernes de l'Arctique et de l'Hémisarctique canadien.

Dans la présente étude, les tentatives de corrélation de la zone A-1 avec les spectres polliniques disponibles du Labrador et du Nouveau-Québec se sont avérées peu fructueuses. En général, le pourcentage du pollen d'épinette (Picea) et des herbacées est trop élevé. Les spectres polliniques modernes provenant du bassin de la Grande Rivière (Ouellet et Poulin, 1975) seraient assez semblables à ceux de la zone A-1 si ce n'était du haut taux de représentation de l'épinette (Picea). Il semble que de plus grandes similitudes existent entre les spectres polliniques fossiles de la zone A-1 du lac Waterloo et les spectres modernes provenant des sites of/2 et of(p)2 de Lichti-Federovich (1968). Ces stations sont situées dans la zone de transition du Nord-Ouest (B.27, Rowe, 1959) qui sépare la tundra de la forêt boréale au nord du Manitoba et dans les Territoires du Nord-Ouest. Cette zone est caractérisée par un climat hémisarctique qui rend la survie de la végétation arborescente ouverte difficile. De nombreuses tourbières et un sol souvent nu forment, avec les bosquets d'arbres nains, un genre de

mosaïque typique de ces régions nordiques. En l'absence d'indicateurs palynomorphes plus caractéristiques de la toundra, on peut supposer qu'à cette époque, l'association végétale climacique du bassin versant du lac Waterloo était celle de la bétulaise herbeuse.

Si l'on admet que des végétations similaires originent ordinairement de climats apparentés, on peut supposer que le climat qui a prévalu dans la région du lac Waterloo à l'époque de sédimentation de la zone A-1 était de type hémiarctique. Le Tableau 1 présente les amplitudes de plusieurs facteurs climatiques qui ont peut-être existé dans la région du lac Waterloo entre 11,400 et 11,000 années passées. Ces données ont été obtenues de cartes climatologiques (Chapman et Brown, 1966) pour les régions qui supportent actuellement des spectres polliniques modernes semblables à ceux de la zone fossile en question.

#### Zone A-2 (Picea mariana, Pinus divaricata, Populus tremuloides)

Cette zone (620-595 cm), bien qu'aussi très comprimée à cause du faible taux de sédimentation, marque les débuts de la période d'afforestation dans la région du lac Waterloo. La phase d'afforestation est indiquée dans le diagramme pollinique par le déclin rapide des pollens d'herbacées et d'arbustes qui passent de 50% à quelque 10%, de la zone A-1 à la zone A-2. Cette zone couvre une période de temps s'échelonnant approximativement entre 11,200 et 10,500 années avant nos jours. Vers le milieu de la zone, l'épinette noire (Picea mariana) et le pin gris (Pinus divaricata) atteignent leur maximum d'abondance de l'ensemble du diagramme.

Les divers changements d'associations végétales qui se sont manifestés à cette époque suggèrent un réchauffement climatique important qui a permis l'implantation dans la région d'une pessière à bouleau glanduleux avec mélèze et peuplier. L'abondance d'espèces héliophiles, telles le peuplier faux-tremble (Populus tremuloides) et l'aulne vert (Alnus crispa), nous porte à croire que cette pessière à bouleau glanduleux n'était pas très dense. Si l'on compare les spectres polliniques fossiles de la zone A-2 à ceux des spectres modernes de surface, ils ressemblent à ceux des stations nos 6, 7, 8 et 9 de Potzger et Courtemanche (1956) et à ceux de la station no 39 de Lichti-Federovich (1968). Ces cinq spectres pol-

liniques sont tous situés dans la partie nord de la forêt boréale, près de la limite de distribution commerciale de l'épinette noire (Picea mariana). Les quatre premiers spectres sont situés dans le bassin versant de la rivière Nottaway au sud-est de la Baie James. Les spectres nos 6, 7 et 8 font partie de la section forestière B.4 (argiles du Nord) de Rowe (1959) tandis que le spectre no 9 est compris dans la section B.3 (Gouin) du même auteur. L'autre spectre pollinique moderne ressemblant aux spectres fossiles de la zone A-2 est situé à environ 300 km au nord de Winnipeg (55°20'; 97°30'). Il fait partie de la section forestière du fleuve Nelson (B.21) de Rowe. Les facteurs climatiques importants de ces régions qui ont probablement aussi caractérisé la région du lac Waterloo il y a quelque 11,000 années, apparaissent également au Tableau 1.

#### Zone A-3 (Betula papyrifera, Abies balsamea, Larix laricina, Pinus strobus)

A la fin de la zone A-2, le climat de la région du lac Waterloo devient plus chaud et plus sec favorisant ainsi l'implantation de nouvelles espèces plus thermophiles dans le paysage. Ceci eut pour effet d'accroître la compétition entre les espèces des communautés terrestres. C'est ainsi que les espèces dominantes de la zone A-2 furent forcées d'émigrer vers des sites plus propices à leurs exigences.

La zone A-3 (595-565 cm) possède le plus bas taux (0.1 mm/an) de sédimentation de l'ensemble du diagramme et s'échelonne entre les années 10,500 à 8,300 avant aujourd'hui (Figure 2). A cette époque, a eu lieu l'implantation progressive du bouleau à papier (Betula papyrifera), du sapin baumier (Abies balsamea), du pin blanc (Pinus strobus) et du mélèze (Larix laricina) qui s'est faite au détriment de l'épinette noire (Picea mariana), du peuplier faux-tremble (Populus tremuloides) et du pin gris (Pinus divaricata). De plus, à la même époque, l'érable à sucre (Acer saccharum), le chêne (Quercus), l'orme (Ulmus) et le frêne (probablement de l'espèce Fraxinus pennsylvanica) s'implantèrent de plus en plus dans la région.

Le remplacement rapide d'une forêt dominée par l'épinette noire (Picea mariana), de la zone A-2, par une forêt dominée par des espèces plus thermophiles, de la zone A-3, est probablement le résultat d'un réchauffement substantiel

du climat à cette époque. Cette constatation confirme les travaux d'Ogden (1967) qui conclut à un réchauffement climatique très rapide vers 10,000 années passées, dans la région des Grands-Lacs favorisant ainsi le retrait des glaces de la réavancée Valder.

Considérant que la végétation au sud de la forêt boréale a subi au cours des derniers siècles, de nombreuses modifications anthropiques, on peut supposer qu'actuellement il n'existe pas de spectres polliniques modernes ressemblant étroitement à ceux de la zone pollinique A-3.

Les diverses fluctuations palynologiques nous portent à croire qu'à l'intérieur de cette zone A-3, la sapinière à bouleau blanc s'est implantée graduellement dans la région et a remplacé la pessière à bouleau glanduleux de la zone précédente.

#### Zone B (Pinus strobus, Betula papyrifera, Quercus)

La période de dominance pollinique du pin blanc (Pinus strobus), représentée par la zone B (565 - 500 cm), est distincte, dans la majorité des diagrammes, des dépôts postglaciaires de l'est de l'Amérique du Nord. Dans le diagramme du lac Waterloo, le chêne (Quercus) et le bouleau (Betula), probablement de l'espèce papyrifera (diamètre d'environ 25  $\mu$ ; Richard, non publié), sont les plus importants palynomorphes des bois francs de cette période. La pruche (Tsuga canadensis), l'orme (Ulmus), le frêne (Fraxinus) et l'érable à sucre (Acer saccharum) sont d'autres espèces faisant également partie, à cette époque, des communautés forestières locales. Toutefois, celles-ci sont généralement sous représentées dans les spectres polliniques. Le pin blanc (Pinus strobus) croissait probablement abondamment sur les sites les plus xériques de la région. Le pin gris (Pinus divaricata), le bouleau à papier (Betula papyrifera) et l'aulne vert (Alnus crispa) semblent avoir été plus abondants dans les débuts de cette période. D'autre part, le pin blanc (Pinus strobus), la pruche (Tsuga canadensis) et l'aulne rugueux (Alnus rugosa) étaient plus abondants vers la partie supérieure de cette zone B.

Ces résultats sont semblables à ceux de Davis (1958; 1960), et Whitehead et Bently (1963) qui distinguent, à la base de cette unité biostratigraphique, une sous-zone B-1 et, vers le haut, une sous-zone B-2. Ces résultats nous laiss-

croire que les changements climatiques vers des conditions plus chaudes et plus sèches qui ont eu lieu à cette époque, c'est-à-dire entre 8,300 et 5,500 années avant notre ère, ne furent pas aussi rapides que ceux survenus précédemment.

Deevey et Flint (1957) ont montré que la partie inférieure de la zone pollinique des pins (Pinus) marque les débuts de l'époque postglaciaire et ont établi sur des bases palynologiques qu'une période climatique plus chaude qu'actuellement avait déjà existée. Cet intervalle fut désigné par ces auteurs sous le nom de période postglaciaire hypsithermique et comprend les zones B, C-1 et C-2. En Nouvelle-Angleterre, ces zones palynologiques sont comprises entre l'intervalle d'environ 9,000 et 2,000 années avant aujourd'hui.

McAndrews (1966) n'a pas réussi à établir une corrélation valable des spectres polliniques fossiles de la zone B avec des spectres modernes. Il conclut qu'il n'existe actuellement pas, en Amérique du Nord, de forêt semblable à celle qui a prévalu à l'époque de sédimentation de cette zone. Davis (1965) démontre, par contre, certaines ressemblances entre les assemblages polliniques de la zone B et ceux qui proviennent des sédiments de surface du sud du Manitoba et de la partie nord-est du Minnesota. Elle constate des ressemblances spectrales entre la zone B et ceux qui émanent de la région du lac Timagami (King et Kapp, 1963) et ceux qui ont pour origine la région de la Gatineau (Terasmae et Mott, 1964).

Nous croyons qu'il existe une ressemblance considérable entre les spectres polliniques de la zone B et ceux de surface de King et Kapp (1963) provenant de la région située entre la partie ouest du lac Ontario et du lac Simcoe, ainsi que ceux qui proviennent de la région de la forêt Whiteshell au sud-est du Manitoba.

Même si certaines régions semblent supporter actuellement des spectres polliniques assez semblables à ceux de la zone postglaciaire B, il nous est actuellement difficile, sinon impossible, de caractériser le climat qui a prévalu entre les années 8,300 et 5,500 dans la région du lac Waterloo. Des facteurs écologiques comme le feu, les épidémies, la compétition, etc., ont peut-être favorisé aussi cette dominance des pins. Par contre, l'intervention humaine récente dans la composition des communautés forestières actuelles ainsi que la sur-représentation

et la sous-représentation de plusieurs palynomorphes dans les sédiments sont d'autres éléments qui ne facilitent certainement pas la tâche.

L'interprétation de cette zone par Richard (1973b) nous paraît intéressante. Il explique cette dominance du pollen du pin blanc (*Pinus strobus*) croissant sur les sites xériques par un masquage des espèces des sites mésiques tels le sapin baumier (*Abies balsamea*) et l'érable à sucre (*Acer saccharum*). Par contre, dans le diagramme pollinique du Mont Shefford (Richard, non publié), le pollen du bouleau jaune (*Betula lutea*) n'apparaît qu'à la fin de cette période. L'association climacique de la sapinière à bouleau blanc de la zone précédente nous paraît dépassée tandis que l'association de l'érablière à bouleau jaune de la zone subséquente semble arriver trop tôt. Cette zone pourrait donc être un intervalle intermédiaire de réajustement des associations forestières. Il est possible que la proximité des associations climaciques de la zone A-3 et C-1 ait contribué à en diluer la représentation pollinique.

#### Zone C-1 (*Tsuga canadensis*, *Betula lutea*, *Fagus grandifolia*)

Dans cette zone C-1 (500-345 cm), qui couvre approximativement la période de 5,500 à 4,300 ans avant notre ère, plusieurs espèces thermophiles telles le bouleau jaune (*Betula lutea*), la pruche (*Tsuga canadensis*), le hêtre (*Fagus grandifolia*), l'érable à sucre (*Acer saccharum*) et le frêne de Pennsylvanie (*Fraxinus pennsylvanica*) font leur apparition dans la région du lac Waterloo de façon substantielle. D'autres espèces telles le frêne noir (*Fraxinus nigra*), le caryer (*Carya ovata*), le noyer (*Juglans cinera*), le tilia (*Tilia americana*) et l'érable rouge (*Acer rubrum*) tendent aussi à prendre une certaine ampleur, principalement vers la fin de cette zone. Ce développement d'espèces thermophiles se fait surtout au détriment du pin blanc (*Pinus strobus*), du chêne (*Quercus*) et du sapin baumier (*Abies balsamea*) qui ont tous régressé à cette époque.

L'érablière à bouleau jaune semble caractériser le mieux cet assemblage pollinique sur les sites mésiques. Le chêne (*Quercus*), le hêtre (*Fagus grandifolia*) ainsi que la pruche (*Tsuga canadensis*), qui avaient tendance à cette époque à remplacer le pin, étaient probablement dominants sur les sites xériques. Ces fluctuations polliniques suggèrent qu'un climat relativement chaud et sec dominait la région à cette époque.

### Zone C-2 (Betula lutea, Acer saccharum, Fagus grandifolia)

Dans cette zone C-2, comprise entre les niveaux stratigraphiques de 345 à 265 cm, le bouleau jaune (Betula lutea) régresse quelque peu tandis que l'érable à sucre (Acer saccharum) augmente. La pruche (Tsuga canadensis) passe brusquement de 30%, au niveau de 350 cm à moins de 10% dans la partie inférieure de cette zone. Cette baisse de représentation permet au pin blanc (Pinus strobus), à l'érable à sucre (Acer saccharum), au hêtre (Fagus grandifolia), à l'orme (Ulmus), aux frênes (Fraxinus pennsylvanica et F. nigra), à l'aulne rugueux (Alnus rugosa) ainsi qu'au charme-ostryer (Carpinus - Ostrya) et à l'érable rouge (Acer rubrum) d'accroître encore leur représentation.

Ces changements dans la composition des essences forestières, qui se font principalement à l'avantage des espèces occupant les sites mésiques et hydriques, supposent l'établissement (entre 4,300 à 3,000 ans avant aujourd'hui) dans la région d'un climat plus humide mais qui demeure relativement chaud.

L'accroissement de ces espèces mésiques thermophiles contribua à la formation d'un peuplement forestier ressemblant fortement au domaine climacique de l'érablière laurentienne. Les sites xériques étaient possiblement caractérisés à cette époque par le pin blanc (Pinus strobus) et le chêne (Quercus) tandis que les sites hydriques supportaient principalement l'érable rouge (Acer rubrum), l'orme (Ulmus) et les frênes (Fraxinus pennsylvanica et F. nigra).

### Zone C-3a (Betula lutea, Tsuga canadensis, Picea)

A partir de niveau stratigraphique de 265 cm, on assiste à un retour de la pruche (Tsuga canadensis) et à un léger déclin du pin blanc (Pinus strobus), des érables (Acer saccharum et A. rubrum) et de l'orme (Ulmus). Par contre, les espèces moins thermophiles telles l'épinette (Picea), le peuplier faux-tremble (Populus tremuloides), le sapin baumier (Abies balsamea), le chêne (Quercus), le mélèze (Larix laricina), le génévrier et/ou le cèdre (Juniperus - Thuja) ainsi que les Cypéracées prennent un peu plus d'ampleur dans cette période.

La diminution de plusieurs espèces thermophiles et l'augmentation de l'épinette (Picea) suggèrent fortement une dégradation climatique vers des conditions

plus fraîches et humides qui auraient débuté il y a environ 3,000 années et qui persisteraient encore de nos jours. A cette époque et jusqu'au début des modifications anthropiques (environ 200 ans avant aujourd'hui), l'érablière à bouleau jaune semble être avec la pruche, la formation végétale normale pouvant dominer les sites mésiques.

#### Zone C-3b (Ambrosia, Gramineae)

Ouellet (1974) a sous-divisé la zone C-3 de Deevey (1939; 1943) en deux sous-zones a et b afin de bien délimiter les modifications anthropiques des modifications naturelles. Dans cette dernière zone, comprise entre les niveaux stratigraphiques de 50 à 0 cm, l'apparition des activités humaines dans le paysage se fait sentir dans la représentation pollinique par une réduction substantielle du rapport des pollens des arbres sur celui des arbustes et des herbes (PA/PNA) ainsi que par la fréquence pollinique absolue (FPA). Les espèces arborescentes telles le bouleau jaune (Betula lutea), le pin blanc (Pinus strobus), le hêtre (Fagus grandifolia), le chêne (Quercus), l'orme (Ulmus) et les frênes (Fraxinus pennsylvanica et F. nigra) subissent tous une baisse dans cette zone anthropique. Par contre, l'épinette (Picea), le peuplier faux-tremble (Populus tremuloides), l'érable rouge (Acer rubrum), les Cyperacées, l'ambrosie (Ambrosia), les Tubuliflores, les Rumex et Pediastrum ont vu leur développement s'accroître dans cette même zone.

### 3. DIATOMEES

### 3.1 METHODES

Neuf niveaux stratigraphiques de la partie supérieure (0-132 cm) ont été analysés pour leur contenu en diatomées centriques. La méthode de préparation des diatomées consiste à éliminer les détritits organiques d'un gramme de sédiments séché à 80°C au moyen d'acide nitrique et d'acide sulfurique concentrés. Après lavage, le résidu est dilué dans un volume de 50 ml d'eau distillée. Par la suite, une goutte de la préparation est déposée sur une lame microscopique, séchée et montée dans l'hydrax. Au moyen d'un microscope à grossissement de 1250 fois, les diatomées centriques rencontrées le long d'une traverse ont été identifiées et comptées.

Bien que les diatomées pennées soient aussi présentes dans les sédiments du lac Waterloo, elles sont souvent endommagées et donc difficile à identifier. Dans le but d'éliminer la possibilité d'introduire des erreurs dans la composition de la communauté fossile, nous avons concentré nos efforts seulement sur les diatomées centriques. Il est inutile de préciser qu'il nous sera impossible de constituer l'évolution complète des paléo-communautés de diatomées.

### 3.2 RESULTATS ET DISCUSSION

La Figure 3 représente l'abondance stratigraphique relative de 13 espèces de diatomées pour la partie supérieure (0-132 cm) de la carotte provenant du centre du lac Waterloo. Au Tableau 3 apparaissent les espèces et le nombre de frustules comptés pour chaque échantillon étudié.

Les diatomées centriques sont de bons indicateurs de niveau trophique du milieu aquatique et sont généralement bien préservées dans les sédiments (Rawson, 1956; Round, 1964; Sreenivasa, 1970). Dans le milieu aquatique, les diatomées sont ordinairement divisées en deux grands groupes selon des critères morphologiques, soit les rondes (ordre des Centrales) et les élliptiques ou effilées (ordre des Pennales). Ce dernier ordre, selon le type de morphologie, est sous-divisé, d'après Engler (1954) et Fott (1959), en tribus, soit les Araphidineae, Biraphidineae, Monoraphidineae et Raphidioidineae. La tribu des Araphidineae et l'ordre des Centrales caractérisent principalement le milieu planctonique.

L'étude des diatomées fossiles dans les sédiments superficiels et postglaciaires (Patrick, 1943, 1970); Pennington, 1943, Round, 1957, 1965; Crabtree, 1969; Florin et Wright, 1969; Kendall, 1969; Sreenivasa, 1970; Duthie et Sreenivasa 1971, Stockner 1971, Dickman et al., 1975) a contribué pour beaucoup à accroître nos connaissances relatives à l'ontogénie du milieu lacustre. Ce type d'étude permet de détecter les changements écologiques naturels et anthropiques se produisant à l'intérieur du bassin de drainage tels les effets des glaciers, les changements climatiques, les feux de forêts ainsi que les divers effets des stress imposés au milieu aquatique par l'homme.

Dans les quelques échantillons de sédiments étudiés, Melsorira ambigua est de loin l'espèce dominante. Son abondance atteint jusqu'à 85% de la communauté de l'ordre des Centrales. Melosira distans, M. islandica, Cyclotella compta, C. stelligera et C. meneghiniana forment une bonne proportion de l'assemblage et sont aussi représentées à tous les niveaux stratigraphiques étudiés.

D'autre part, Cyclotella bodanica, C. kuetzingiana et Melosira italica ont une représentation stratigraphique assez erratique. Melosira granulata, Stephanodiscus astreae, S. niagarae et S. tenuis sont présentes seulement vers la surface des sédiments, c'est-à-dire les plus récents.

Selon Pearsall (1932), Jarnefelt (1952), Foded (1954), Rawson (1956) Hutchinson (1967) et Yuse (1969), Cyclotella est un genre caractérisant les milieux aquatiques oligotrophiques et est rarement abondant dans les habitats eutrophiques. De plus, ce genre, autrefois abondant dans les grands lacs du Saint-Laurent, est de plus en plus remplacé par des formes plus tolérantes d'un milieu trophique riche en substances nutritives. Selon Verduin (1964) et Nalewajko (1966), Melosira ambigua, qui était une espèce dominante dans la partie ouest du lac Erié avant 1959, a été remplacée depuis par M. binderama, Stephanodiscus tenuis et Pediastrum.

La diminution graduelle à partir du niveau stratigraphique d'environ 50 cm de Cyclotella compta, C. meneghiniana et de C. stelligera est probablement le résultat de l'eutrophisation du lac Waterloo depuis les années 1800. L'abondance relativement faible de C. bodanica et de C. kuetzingiana rend impossible l'utilisation de

ces espèces comme indicatrices de l'évolution trophique du lac. Selon Duthie et Sreenivasa (1971), C. bodanica est souvent peu abondante dans les petits lacs oligotrophiques et semble préférer un habitat à pH plus ou moins neutre. D'autre part, C. kuetzingiana est considérée, par Stormer et Yang (1970), comme étant caractéristique d'un milieu très oligotrophe. Cette espèce est abondante dans les sédiments superficiels de plusieurs lacs oligotrophes du nord-ouest ontarien (Stockner, 1971). Comme nous l'avons déjà mentionné ci-dessus, le remplacement graduel, de bas en haut, de Melosira ambigua par M. granulata et par M. islandica peut être interprété comme une indication de l'accroissement du niveau trophique du lac Waterloo et ceci résultant principalement de l'implantation d'activités humaines à l'intérieur de son bassin de drainage. Cette hypothèse est renforcée par le fait que Melosira granulata est reconnue par Richardson (1960) et par Kilham et Kilham (1975) comme caractérisant un milieu aquatique d'environnement modéré. De plus, Hustedt (1945) affirme que cette même espèce est particulièrement caractéristique des lacs eutrophes européens. Persall (1924) et Persall et Persall (1925), dans leurs études algologiques du District des Lacs dans le nord de l'Angleterre, constatent que M. islandica est toujours présente dans les lacs les plus eutrophes, soit les lacs Windermere et Esthawaite.

Hustedt (cité par Round, 1965), dans son étude des sédiments interglaciaires du Lüneburger Heide, décrit une séquence stratigraphique de diatomées (Melosira italica/M. ambigua/M. granulata/M. ambigua/M. granulata/M. ambigua) fossiles qui supporte aussi l'idée de l'eutrophisation historique du lac Waterloo. Cet auteur interprète cette évolution des paléo-communautés comme reflétant un changement d'un environnement oligotrophe (M. italica) à un environnement plus chaud et riche en substances nutritives (M. ambigua) et évoluant finalement vers des conditions du milieu aquatique moins chaudes et tout de même eutrophique (M. granulata).

Dans une étude plus récente sur la distribution stratigraphique des ostracodes dans la partie supérieure des sédiments de plusieurs lacs pré-alpins d'Allemagne, Löffler (1972) décrit une succession de diatomées fossiles ressemblant aussi étroitement à celles de la présente étude. Vers le niveau stratigraphique de 18 cm et de 9 cm pour des carottes provenant respectivement des lacs Zeller et Merkelfinger Winkel, on assiste à la disparition de certaines espèces d'ostracodes caractéristiques des milieux oligotrophes. Par contre, plusieurs nouvelles espè-

ces d'algues telles Melosira islandica helvetica, M. granulata angustissima, Cyclotella bodanica, Stephanodiscus astrea et autres font leur apparition à ces mêmes niveaux.

Melosira italica est une espèce d'algues reconnue comme caractérisant les milieux oligotrophes alors que bien que M. islandica soit parfois présente dans ce même type de milieu, Stoermer et Yang (1970) la considèrent comme préférant un habitat d'enrichissement modéré tout comme Duthie et Sreenivasa (1971) qui la classifient comme caractérisant des milieux aquatiques eurytopiques.

En même temps que le développement des populations de Cyclotella et de Melosira, l'apparition modérée (intervalle représentant une centaine d'années) à partir du niveau stratigraphique d'environ 18 cm de Stephanodiscus astrea, S. tenuis et S. niagarae viennent particulièrement renforcer l'hypothèse de l'eutrophisation anthropique du lac Waterloo.

Il est intéressant de constater le comportement stratigraphique de Pediastrum dans le diagramme pollinique (Figure 1). Cette espèce d'algue indicatrice des milieux eutrophes (Hutchinson, 1967; Patrick, 1972) atteint son maximum d'abondance au tardiglaciaire (540 cm), correspondant aussi au maximum des produits de dégradation de la chlorophylle sédimentaire par gramme de carbone (Figure 4). De plus, Pediastrum devient plus abondant dans les niveaux supérieurs du diagramme pollinique, c'est-à-dire dans la zone anthropique C-3b.

#### 4. PIGMENTS

#### 4.1 METHODE

Après évaluation, par la méthode gravimétrique, du pourcentage d'eau, de carbone et de carbonates, par chauffages successifs à 110°C, 550°C et 950°C, les produits de dégradation de la chlorophylle sédimentaire (PDCS) ont été quantifiés pour 71 niveaux selon la méthode de Vallentyne (1955; 1956). Cette méthode consiste à extraire les pigments d'environ un gramme de sédiments frais au moyen de l'acétone à 90% et à en mesurer, en utilisant une cuvette de 1 cm de côté, la densité optique de la solution au moyen d'un spectrophotomètre à la longueur d'onde de 670 nm. De plus, dans la présente étude, la densité optique de chaque solution a été évaluée pour les longueurs d'ondes de 350, 410 et 448 nm. Plusieurs auteurs (Smith et Benitez, 1955; Vallentyne, 1955; Gorham, 1960, 1961; Yentsch, 1966; Margalef, 1968; Ouellet, 1974) considèrent ces longueurs d'ondes importantes pour l'étude des pigments sédimentaires fossiles et modernes.

La précision des différentes analyses a été vérifiée sur 17 sous-échantillons et elle varie entre un minimum de 0.3% pour la détermination de carbone et un maximum de 12% pour les PDCS/g de carbone.

#### 4.2 RESULTATS ET DISCUSSION

La Figure 4 représente la distribution stratigraphique du contenu en eau, en carbone combustible à 550°C, en carbonates, en PDCS ainsi que les rapports des densités optiques D410/D350, D448/D350, D410/D448, D350/D670, D410/D670 et D448/D670 des produits de dégradation des pigments sédimentaires (PDPS). Les données absolues de ces variables apparaissent au Tableau 4.

La discussion suivante est largement basée sur les travaux de Harvey (1934), Gorham (1960; 1961; 1964), Vallentyne (1960; 1969), Yentsch (1966), Gorham et Sanger (1967; 1972; 1975) Margalef (1968), Brown (1969), Wetzel (1970) et Sanger (1972a; b).

L'utilisation des pigments sédimentaires comme méthode paléolimnologique est basée sur le fait que même si la dégradation des pigments des plantes est rapide après la mort de l'organisme, les produits dérivant de cette dégradation peuvent persister dans les sédiments lacustres et marins pendant plusieurs milliers d'années (Treibs, 1934; Blumer, 1965).

La dégradation de la chlorophylle par la perte de l'atome central de Mg ou par le groupement phytol donne naissance à des sous-produits tels les pheophorbides, les pheophytines, les chlorophyllides, etc. (Baker, 1969). Par contre, les pigments caroténiens conservent mieux leur composition moléculaire que les pigments chlorophylliens.

En automne, les pigments des feuilles des communautés terrestres sont peu abondants (Sanger, 1972b). De plus, dans les conditions aérobies du bassin versant d'un lac, les pigments subissent une dégradation sélective favorisant une meilleure préservation des PDCS relativement aux pigments caroténiens. Il en résulte donc une contribution allochtone peu importante de ces pigments à l'interface sédiments-eau du lac. D'autre part, les pigments autochtones au milieu lacustre sont beaucoup plus abondants et mieux préservés particulièrement dans les lacs eutrophes et méromictiques où les conditions anaérobies sont fréquentes dans la zone hypolimnique.

Les courbes stratigraphiques de la figure 4 cadrent assez bien avec celles des autres variables étudiées dans le présent travail. Dans la partie inférieure, au niveau de 600 cm, l'aspect inorganique des sédiments reflété aussi par le faible contenu en carbone se traduit par une absence presque totale des produits de dégradation des pigments sédimentaires (PDPS). La partie supérieure de cet intervalle est en corrélation avec les débuts de l'apparition de la végétation arborescente dans la région du lac Waterloo. Ceci se traduit, dans le présent diagramme, par une légère augmentation de la matière organique provoquée par un réchauffement climatique il y a quelque 11,000 années, et qui favorisa l'implantation de la végétation arborescente. Une réduction considérable du taux de sédimentation à l'intérieur de la cuvette lacustre (Figure 2) suggère que cette implantation de la végétation arborescente a considérablement réduit les divers processus de l'érosion.

Dans la zone pigmentaire suivante (600-525 cm), on assiste à une augmentation substantielle de la matière organique qui semble refléter une époque de grande productivité primaire lacustre. Ceci est d'autant plus réel que cet intervalle stratigraphique correspond largement à la zone pollinique dominée par les pins (zone B de Deevey, 1939). Celle-ci est généralement acceptée comme ayant été ca-

ractérisée par un climat plus chaud et sec (début de la période hypsithermique de Deevey et Flint, 1957). De plus, à l'extrême droite du diagramme pollinique (Figure 1), la courbe d'abondance de Pediastrum, genre d'algue caractérisant les milieux eutrophes, décrit un maximum important contemporain de ces événements.

La réduction importante des rapports D350/D670, D410/D670 et D448/D670 est le résultat d'une plus grande abondance des PDCS à l'intérieur de cette zone et varie de manière réciproque à l'abondance des PDCS. Ce maximum d'abondance des PDCS au début de l'époque postglaciaire a également été constaté par Vallentyne (1955) dans les sédiments de plusieurs lacs de la Nouvelle-Angleterre, par Fogg et Belcher (1961) et par Belcher et Fogg (1964) dans les lacs du Lake District, en Angleterre et par Wetzel (1970) au Michigan, par Sanger et Gorham (1972a) au Minnesota, et par Ouellet (1974) en Ontario. Cette pointe de paléo-productivité primaire lacustre est généralement admise comme reflétant la grande abondance des nutriments en provenance du bassin versant, avant que l'efficacité de l'érosion ne soit réduite par l'implantation du couvert forestier. La baisse subséquente de cette productivité serait le résultat de l'épuisement des nutriments résultant des diverses activités biologiques incluant la perte de façon permanente d'une partie de ces nutriments dans les sédiments.

Il est possible qu'à cette époque de grande productivité primaire et de profondeur d'eau plus considérable que le déficit d'oxygène hypolimnique ait favorisé dans des conditions réductrices la préservation des PDCS à l'interface sédiments-eau.

L'intervalle stratigraphique de 525-400 cm, contemporain de l'implantation de la forêt des bois francs (pruche, hêtre, érable, bouleau jaune), est caractérisé par une diminution des PDCS et un accroissement des rapports d'absorptions D350/D670, D410/D670 et D448/D670. Ces variations pourraient être reliées à l'augmentation de l'apport allochtone. Cette hypothèse est supportée par plusieurs faits tels la diminution du pourcentage de carbone, l'augmentation des carbonates et le maximum d'abondance du pollen de pruche (Tsuga canadensis). Wetzel (1970), dans ses travaux paléolimnologiques concernant les lacs du Michigan, associe aussi une augmentation stratigraphique des carbonates à une période climatique pluvieuse. De plus, l'augmentation du taux de sédimentation à 0.8 mm/an dans cette zone comparativement à 0.1 mm/an pour la zone précédente vient ren-

forcer cette hypothèse. Il en résulte donc un apport plus important de carbone allochtone pauvre en PDCS mais relativement plus riche en pigments caroténiens. Ceci diminue donc l'absorption des pigments solubles dans l'acétone, à la longueur d'onde de 670 nm, et augmente par contre cette absorption à 448 nm.

La zone stratigraphique de 400-275 cm ressemble d'assez près à celle de 600-525 cm. Cette dernière, comme déjà discutée, représente une période climatique plus chaude et sèche. Selon le diagramme pollinique du lac Waterloo, l'intervalle de 345-265 cm correspond au minimum d'abondance du pollen de pruche (Tsuga canadensis) et au maximum d'abondance du hêtre (Fagus grandifolia) et de l'érable à sucre (Acer saccharum). Il nous semble plausible que le maximum des PDCS compris entre les niveaux de 400 et 275 cm soit principalement attribuable à une amélioration climatique régionale qui aurait favorisé, il y a quelque 4,000 années, la productivité primaire du lac Waterloo. Les minima des rapports d'absorption D410/D670 et D448/D670 proviennent de la plus grande absorption des solutions à la longueur d'onde de 670 nm.

L'interprétation des courbes stratigraphiques du diagramme pigmentaire devient plus difficile au-dessus du niveau de 275 cm. En supposant que l'interprétation de la zone précédente soit valable, on peut affirmer que la détérioration climatique, qui débuta il y a quelque 3,000 années, a contribué à ralentir la production organique du lac. D'autre part, rien ne semble pouvoir expliquer les légers maximums aux niveaux de 175 et 100 cm. Il est probable qu'à cette époque, la diminution graduelle de la profondeur d'eau ait de plus en plus fréquemment permis, par l'entremise des courants de turbulence, une déstratification thermique estivale du lac qui aurait réduit la préservation des pigments à l'interface sédiments-eau.

Les fluctuations des PDPS de la zone superficielle (50-0 cm) résultent principalement des activités humaines implantées à l'intérieur du bassin versant depuis environ 200 ans et ne peuvent être considérées ici comme une baisse générale de la productivité primaire du lac. Une carotte de 443 cm de longueur, prélevée à la sortie du lac, a révélé que plus de la moitié de l'épaisseur des sédiments de ce site est attribuable à des déchets organiques provenant de l'industrie du bois. Il est certain que l'âge du début de la sédimentation de ces produits organiques non pigmentés est inférieur à 200 ans et que ceux-ci ont contribué à la diminution relative des PDCS à l'intérieur de cette zone. Nous n'avons effectué que

quelques analyses de cette carotte (Tableau 5) à cause de la faible profondeur d'eau à cet endroit qui en fait un site peu propice à la préservation d'indicateurs paléolimnologiques.

## 5. PALEOGEOCHIMIE

## 5.1 METHODES

Cent dix niveaux stratigraphiques de la carotte du lac Waterloo d'une longueur totale de 982 cm et provenant du point le plus profond ont été analysés pour leur contenu en C, Si, Al, Mg, Ca, Na, K, Fe, Ti, P, Mn, Cd, F, Cu, Zn, Pb, Ni, Co, Cr, Hg et V. Tous les éléments ont été analysés par le Service d'analyse et contrôle du Centre de recherches minérales du Ministère des Richesses naturelles du Québec, à l'exception du C (matière combustible entre 110<sup>0</sup> - 550<sup>0</sup>C) sur une durée de 4 heures.

Pichette et Guimont (1975) donnent une description détaillée des diverses méthodes analytiques utilisées incluant les réactifs, les solutions étalons, l'appareillage, les conditions opératoires, les modes d'opération de calcul, la limite de détection et, dans certains cas, l'écart relatif. Les éléments ont été quantifiés soit au moyen d'un spectrophotomètre d'absorption atomique de type Varian Techtron AA-5 ou Perkin-Elmer 503. Pour ce qui est de la précision des analyses, elle est d'environ 5% pour la majeure partie des éléments et, en aucun cas, le pourcentage d'erreur n'excède 15% (N > 10), sauf pour le Hg des sédiments très organiques où l'erreur atteint parfois 50%. Principalement dans la partie supérieure de la carotte, dont la teneur en eau est de l'ordre de 90%, la quantité de sédiments s'est avérée insuffisante après séchage pour quantifier le P, le F et le Hg.

## 5.2 RESULTATS ET DISCUSSION

La Figure 5, fortement inspirée de la méthode palynologique, représente les courbes d'abondance des 21 éléments géochimiques étudiés pour les 110 niveaux stratigraphiques des sédiments du lac Waterloo. Les données absolues apparaissent au Tableau 6 de l'annexe 1.

De manière synthétique, la composition chimique des sédiments d'âge tardiglaciaire et postglaciaire du lac Waterloo est divisible en 4 grandes zones stratigraphiques. Ces zones reflètent certaines conditions écologiques qui ont prévalu tout au cours de l'ontogénie du lac Waterloo qui s'échelonne sur une période de quelque 13,000 années.

De l'extrémité inférieure de la carotte au niveau stratigraphique d'environ 650 cm, plusieurs éléments atteignent leur concentration maximum (Si, Al, Mg, Ca, Na, K, Ti, F) ou minimum (C, P, Cd, Cu, Zn, Pb, Ni, Cr, Hg, V). Dans l'intervalle suivant, compris entre les niveaux 650 et 550 cm, presque toutes les variables, sauf le P, le Ca, le Zn, le Pb, et, de façon moindre le Cr, subissent de grandes variations positives ou négatives. Cette zone peut être considérée comme un intervalle de transition entre la base et la partie supérieure du dépôt sédimentaire.

La zone comprise entre 550 cm à 50 cm est surtout caractérisé par les abondances minimales de plusieurs variables, mais de manière réciproque à la zone inférieure (982 à 650 cm) du diagramme géochimique. Près de la surface du dépôt, l'intervalle stratigraphique de 50 à 0 cm, représentant les quelque 200 dernières années se distingue nettement des zones précédentes par des augmentations de concentration parfois très brusques de plusieurs éléments (Fe, P, Mn, Cu, Zn, Pb, Cr, Hg, V) sauf pour le C qui décline légèrement et le Cd qui demeure stable.

Afin de simplifier l'interprétation de la matrice des données géochimiques (21 variables x 110 niveaux), nous faisons appel, dans la discussion qui suit, à une technique statistique à plusieurs variables qu'est l'analyse factorielle. Cette méthode d'analyse statistique est décrite par Kendall (1957) et est ici suivie d'une rotation orthogonale des axes de références dans le but de faire ressortir davantage les variables ayant un poids important tout en diminuant l'importance de celles dont le poids est peu significatif. Cette méthode de rotation dite varimax est décrite par Kaiser (1958). L'aspect mathématique de ce type d'analyse est longuement traité par Cattell (1952), Harman (1960), Hadley (1964) et Horst (1965).

Récemment, plusieurs auteurs ont appliqué cette méthode statistique dans les domaines de la géologie et de la biologie (Imbrie et Van Andel, 1964; Dagnelie, 1960; Yarraton, 1967; Ouellet, 1974). Cette méthode statistique facilitera l'interprétation du diagramme géochimique des sédiments du lac Waterloo en regroupant les variables possédant un comportement similaire. Elle réduira ainsi les interrelations à un petit nombre de facteurs indépendants pouvant être plus facilement reliés à des processus écologiques majeurs.

Pour faciliter aussi la discussion, nous avons inséré au Tableau 7 la matrice des coefficients de corrélation représentant le degré de similarité entre une

paire de variables. Ces résultats sont par la suite utilisés pour calculer le poids de chaque variable sur les facteurs principaux (Tableau 8). Le diagramme de distribution tridimensionnelle (Figure 6) représente le poids de chaque variable sur les trois plus importants facteurs A, B et C. Ceux-ci expliquent respectivement 47.7, 16.5 et 11.7% de la variance totale. Dans cette illustration, les coordonnées de l'axe A sont représentées au moyen de lignes verticales projetées à partir de l'extrémité de chaque vecteur sur le plan horizontal passant par les axes B et C. Pour simplifier le diagramme tridimensionnel, les coordonnées négatives de l'axe A sont représentées par des lignes pointillées.

La matrice des coefficients de corrélation nous permet de constater qu'il existe de fortes corrélations positives (profondeur vs Si, Al, Mg, Ca, Na, K, Mn, Fe et Ti; Pb vs P; Si vs Al; Al vs Mg et K; Mg vs Na, K et Ti; Ca vs Na; Na vs K; K vs Ti, etc.) et négatives (profondeur vs Zn et C; Zn vs Si, Ca et Na; C vs Si, Al, Mg, Ca, Na, K, Mn, Fe et Ti ( $\rho < .001$ )). Ces intercorrélations sont bien illustrées dans le diagramme tridimensionnel qui représente la dispersion dans l'espace des poids de chaque variable en fonction des trois principaux facteurs expliquant 75.9% de la variance totale.

L'extrémité positive de l'axe A est principalement caractérisée par le K, le Mg, l'Al, le Na, le Ti, le Fe, le Mn, le Ca, le F, la profondeur et la Si. Par contre, l'extrémité négative de ce même axe est fortement caractérisée par le C, le Zn et quelque peu par le Hg. Le gradient environnemental le long de l'axe A, caractérisé aux extrémités de cet axe par deux associations de variables ayant des distributions stratigraphiques réciproques, reflète les deux principaux stades de l'évolution du lac Waterloo. Les variables fortement positives sur l'axe A reflètent l'époque de sédimentation tardiglaciaire antérieure à l'implantation d'une végétation arbustive dans le bassin de drainage. A cette époque, c'est-à-dire il y a quelque 13,000 années, la mer Champlain n'avait pas encore envahi la vallée du Saint-Laurent, à l'ouest de Québec, à cause d'un lobe glaciaire obstruant le passage dans la vallée de la rivière Chaudière (Gadd, 1964).

A cette époque, dans le sud-est du Québec, le lac proglaciaire Vermont (Chapman, 1937) existait au sud de la moraine des hautes-terres et se déversait par la rivière Hudson. Au début, la sédimentation de la partie inférieure de la carotte du lac Waterloo s'est accumulée rapidement (Figure 2) sur les débris proglaciaires. Jusqu'à il y a 11,000 ans avant notre ère, la végétation était

peu importante et les mécanismes d'érosion très actifs.

Il est facile de comprendre que toutes les variables ayant un poids positif considérable sur l'axe A sont associées aux sédiments inorganiques de la zone inférieure (982 - 650 cm) du diagramme géochimique. On constate que la Si et le Ca atteignent leur maximum d'abondance à l'intérieur de l'unité sédimentologique sablonneuse de la carotte. Ceci laisse supposer qu'à cette époque l'érosion mécanique des sols environnants était très efficace et que l'érosion chimique par mise en solution n'avait pas le temps de produire une contribution importante en raison du fait que les sédiments demeuraient peu longtemps à la surface du bassin versant.

Vers la partie supérieure de cette même zone (982 - 650 cm), l'érosion mécanique devient moins importante. Ceci apparaît dans la colonne stratigraphique où les sédiments deviennent de plus en plus argileux, reflétant ainsi un environnement sédimentologique de plus faible énergie. A cette époque (11,000 ans avant aujourd'hui) on assiste donc à une augmentation d'apports allochtones des éléments tels que le Mg, le K, le Al, le Fe et le Ti. Par contre, même si le Na n'augmente pas sa contribution aux sédiments lacustres, elle demeure importante. Quant au Ca, en raison de sa grande mobilité, il a été transporté très rapidement dès les débuts de l'érosion mécanique et chimique vers la cuvette du bassin lacustre; ainsi, il a fort probablement contribué à réduire l'alcalinité des sédiments superficiels (sols) des environs et à favoriser le processus de podzsolisation. Il est plausible de croire que vers la fin de la présente période (982 - 650 cm), on peut assister à une diminution de l'alcalinité des sols et à l'augmentation de leur pouvoir réducteur. Ce dernier phénomène prendra encore plus d'importance dans la zone suivante (650 - 550 cm), principalement avec les débuts de la phase d'afforestation qui aura pour effet de réduire considérablement le pouvoir de l'érosion mécanique. Conséquemment, on verra une réduction de la vitesse de sédimentation lacustre qui se traduira par une plus grande mise en solution de nutriments.

L'augmentation soutenue de bas en haut du Mn, du Ni, du Co et de façon moindre du Cu et du V à l'intérieur de cette zone minéralo-oligotrophe (982 - 650 cm) reflète probablement l'accroissement du pouvoir réducteur des sédiments du bassin versant qui favorisa ainsi la co-précipitation de ces éléments avec le Fe dans le bassin lacustre. Le comportement de ces derniers éléments est assez semblable à ceux des travaux de Mackereth (1966) concernant le développement de plusieurs lacs

du Lake District en Angleterre et de Hutchinson (1970) concernant l'histoire et le développement du Lago di Montérosi en Italie.

Avant d'aborder la discussion de la zone 650 - 550 cm, nous allons poursuivre l'interprétation de l'extrémité négative du facteur A qui est caractérisée par un poids accentué du C (-.91), du Zn (-0.48) et Hg (-0.34). Ces associations d'éléments dominent le diagramme géochimique, principalement dans la zone comprise entre les niveaux stratigraphiques 550 à 50 cm. Selon le diagramme des pollens (Figure 1) et des pigments (Figure 4), cette époque postglaciaire est caractérisée par une forte végétation terrestre arboréenne. Celle-ci a contribué à réduire considérablement les effets de l'érosion mécanique des sols qui favorisera la mise en solution des nutriments devenus par la suite disponibles pour la végétation aquatique du lac. Cette mise en solution des nutriments à la surface des sols est le résultat d'un plus long séjour de la partie minérale sur le bassin versant. Les minéraux pouvaient ainsi subir l'attaque de l'érosion chimique et être transportés par la suite vers le bassin lacustre en solution ou sous forme colloïdale.

Les fortes intercorrélations existant entre le C, le Zn, le Hg, le Cu, le Cr et le Ni résultent probablement de la concentration de ces éléments par les algues et de leur sédimentation sous forme non disponible après la mort de ces organismes. Il est bien connu, en effet, que les algues (Lund, 1957) et les plantes supérieures (Warren et Delavault, 1954; Fortescue et Hornbrook, 1967) possèdent la capacité de concentrer certains éléments par un facteur considérable (Zn X 1240 par Asterionella formosa). Le rapport moyen approximatif de l'enrichissement du Zn, du Ni, du Cu et du Co dans les sédiments, en fonction de leur concentration dans l'eau avec laquelle ils sont en contact est respectivement de l'ordre de 5,000, 4,000, 2,000 et 7,500 fois.

Ouellet et Poulin (1975), dans leur étude paléolimnologique du lac Désaulniers de la région de la baie James, ont constaté qu'il existait une forte association entre la distribution stratigraphique du C et du Zn. D'autre part, la corrélation était négative entre le C et le Cu et le Ni. Il n'y avait pas de corrélation significative entre le C et le Co. Cette association du C et du Zn ne semble toutefois pas être la règle dans tous les sédiments lacustres. Ainsi, Ouellet et Poulin (1976) ont décelé une corrélation négative significative de ces deux éléments dans les sédiments postglaciaires du lac Matamek. Brunskill *et al.* (1971)

n'ont pas trouvé d'association significative entre le C et le Zn dans les lacs du nord-ouest ontarien. Cette association pourrait dépendre de la géologie du bassin versant. De plus, un sol riche en Zn, favorisant un apport allochtone de cet élément vers le milieu lacustre sous forme soluble, aurait pour effet de favoriser sa sédimentation permanente via le métabolisme des organismes aquatiques, sans exclure son apport allochtone via le métabolisme des communautés végétales terrestres.

L'axe B du diagramme de dispersion tridimensionnelle, qui explique 16.5% de la variance totale, est monopolaire et indique que le facteur sous-jacent est responsable par ordre d'importance décroissante de la distribution du Pb, du P, du Zn, du Cu, du Cr, du Hg, du Ni et du Mn.

Toutes ces variables, principalement pour le Pb et le P, possèdent une distribution stratigraphique variant de manière très substantielle seulement à l'intérieur de la zone superficielle (50 - 0 cm) du diagramme géochimique. Les autres variables (excluant le Pb et le P) caractérisant le facteur de façon plus modérée ont tendance à exhiber un maximum d'abondance secondaire entre l'intervalle de 650 à 550 cm. Nous verrons plus loin que les variables possédant un poids significatif sur l'axe C caractérisent mieux cette dernière zone.

L'étude palynologique a démontré que le niveau stratigraphique d'environ 50 cm marque les débuts de la déforestation de la région principalement pour des fins agricoles. Du point de vue historique, on peut évaluer les débuts de cette époque de colonisation aux environs des années 1780. Il est évident que la suppression du couvert forestier du bassin versant a eu pour effet d'imposer de nouveaux stress au milieu lacustre dont l'équilibre "climacique" était demeuré relativement stable pendant les quelques 10,000 années antérieures.

Par analogie avec l'écologie forestière, la suppression du couvert forestier pour fins de colonisation a eu pour effet d'introduire un état de disclimax et ainsi de réactiver certains facteurs écologiques spécifiques aux successions primaires tels que manifestés dans la zone 982 à 650 cm, à la base du diagramme géochimique. La réactivation des processus d'érosion chimique et physique a eu pour effet de réduire l'abondance relative du C tandis que les autres variables associées à la matière minérale ont repris une certaine importance. Il est intéressant de constater ici

que les variables telles le Pb et le P, qui ne sont pas associées significativement à la matière minérale dans les zones antérieures, sont les plus fortement négatives sur l'axe B. Cette distribution nous permet de déduire que plus le poids d'une variable sur cet axe tend vers -1, plus celle-ci est associée aux diverses activités humaines se déroulant soit à l'intérieur, soit à l'extérieur du bassin versant du lac. L'inverse, c'est-à-dire lorsque le poids d'une variable sur l'axe B se rapproche de 1, indique une variable dépendant davantage des processus écologiques naturels.

Hutchinson et Wollack (1940), Callender (1969), Kemp (1969) et Petersen (1975) interprètent une augmentation stratigraphique du C dans la partie supérieure des sédiments lacustres comme résultant de l'accroissement de la productivité du milieu aquatique au moment de sa sédimentation. Comme dans la présente étude, une diminution du C dans la zone anthropique ne reflète certes pas une diminution de la productivité primaire lacustre. De fortes modifications à l'intérieur d'un bassin versant dont la superficie est relativement beaucoup plus grande que celle du lac auront pour effet, comme dans la situation présente, d'accroître l'apport allochtone de matière inorganique de manière plus importante que l'accroissement du C autochtone résultant de l'eutrophisation accélérée du milieu lacustre.

Le transport du Pb par voie atmosphérique est un des phénomènes découlant d'activités humaines se déroulant à l'extérieur ou à l'intérieur du bassin versant du lac. L'augmentation récente du Pb dans les sédiments du lac Waterloo demeure modérée comparativement à la concentration naturelle (antérieure au niveau stratigraphique de 50 cm). Ouellet (1975) a mis en évidence certains facteurs de concentration du Pb dans les sédiments lacustres atteignant 270 fois en milieu urbain et jusqu'à 56 fois dans des régions nordiques inhabitées. Par contre, le Cu, le Zn, le Ni et le Co n'augmentent pas en milieu inhabité, ce qui nous laisse supposer que ces éléments sont largement transportés par voie fluviale.

Une meilleure précision dans l'analyse du Hg présent dans les sédiments organiques aurait peut-être eu pour effet d'associer plus fortement le dernier avec le Pb et le P sur l'axe B. L'imprécision de l'analyse peut en grande partie expliquer les fluctuations importantes du Hg dans les niveaux antérieurs à 50 cm. D'autre part, l'augmentation substantielle de cet élément dans les niveaux près de la surface semble significative et corrobore les travaux de Thomas (1972) concernant l'augmentation récente du Hg dans les sédiments du lac Ontario et de Loring (1975) dans le Saguenay.

Le facteur C qui explique 11.5% de la variance totale est aussi monopolaire. Il est caractérisé significativement à son extrémité négative principalement par le Co et le Ni et, à un degré moindre par le Cu, le Cr et le Zn. Bien que le facteur sous-jacent responsable de l'intercorrélacion de ces variables paraisse de prime abord un peu obscur, on constate que toutes ces variables tendent à exécuter un maximum d'abondance à l'intérieur de l'intervalle de 650 à 550 cm et ce, en proportion du poids des variables sur l'axe C.

Cette zone stratigraphique dont l'âge approximatif est compris entre 11,200 à 7,300 années avant aujourd'hui, correspond sensiblement, comme l'a démontré l'étude palynologique du présent rapport, à la phase d'afforestation de la région. L'implantation d'un dense couvert forestier a contribué à réduire de façon considérable l'érosion des sols. Ceci est bien mis en évidence dans le diagramme géochimique par la diminution substantielle à l'intérieur de cette zone des éléments associés à la matière minérale (Si, Al, Mg, Ca, Na, K, Ti, F) et à l'augmentation du C. A ce point-ci de la discussion, il nous semble que deux facteurs sous-jacents (mécano-physique et chimique) peuvent être responsables plus ou moins indépendamment des fluctuations de la majorité des éléments à l'intérieur de la zone de 650 à 550 cm.

#### 5.2.1 Facteur mécano-physique

Même sans analyse granulométrique de la partie inorganique des sédiments, nous pouvons déduire, d'après la colonne sédimentologique du diagramme, que les particules de type sablonneux présentes à l'extrémité inférieure de la carotte ont graduellement été remplacées par des particules argileuses, surtout au contact de la matière organique (600 cm). Par conséquent, il est possible que les maxima, à l'intérieur de la zone de 650 à 550 cm, des éléments tels le Fe, le Ni, le Cu, le C, le Zn et le Cr soient le résultat de leur association avec les particules argileuses. En somme, il se produirait, par voie d'érosion largement mécanique, un apport plus substantiel vers la cuvette de sédimentation de particules fines à laquelle ces éléments sont étroitement associés simultanément avec une réduction vers le bassin des particules plus grossières et des éléments associés à ces dernières.

Le fait que le rapport Fe/Mn ( $\approx 50$ ) et que les concentrations du Ni, du Co, du Cu, du Zn et du Cr soient assez près de celles de la lithosphère-

re (Rankama et Sahama, 1949; Vinogradov, 1962) nous laisse croire que ce processus d'enrichissement mécano-physique demeure plausible.

Le même phénomène d'association d'éléments à la granulométrie des sédiments inorganiques pourrait aussi expliquer les maxima du Mg, K, Ti, Mn et V autour de l'intervalle stratigraphique de 750 à 700 cm.

### 5.2.2 Facteur chimique

Par contre, l'augmentation de la densité de la végétation dans le bassin versant a contribué à accroître le potentiel réducteur des sols. Ceci a eu pour effet de favoriser le transport sous forme ionique du Fe et du Mn vers la cuvette lacustre où ils ont été précipités en raison du pouvoir d'oxydation de l'environnement aquatique.

Le fait que le Mn atteigne son maximum d'abondance à la base de l'intervalle de 650 à 550 cm et qu'il précède celui du Fe, tout en donnant un certain poids à cette hypothèse chimique, confirme la plus grande mobilité du Mn sur le Fe dans un milieu réducteur. C'est donc dire que le transport du Fe et des autres éléments associés (Ni, Co, Cu, Zn) est devenu plus efficace après que le potentiel réducteur du bassin ait augmenté à nouveau. Mackereth (1966) et Hutchinson (1970) ont aussi mis en évidence cette association du Fe et de quelques éléments traces dans leurs études paléolimnologiques.

Jusqu'à cette époque (600 cm), le potentiel d'oxydo-réduction de l'interface sédiment-eau ayant favorisé la précipitation du Fe et du Mn ainsi que la co-précipitation des autres éléments associés, il est devenu, tout comme celui du bassin versant, plus réducteur. Cette condition réductrice à l'interface sédiment-eau a eu pour effet, principalement à l'époque des déficits hypolimniques d'oxygène, de favoriser la mise en solution du Fe, du Mn, du Ni, du Co, du Cu et du Zn et leur évacuation du bassin lacustre par l'effluent.

Les deux hypothèses ci-dessus discutées demeurent plausibles et l'une n'exclut pas automatiquement l'autre. Le maximum de plus de 100 unités de PDCS/g de C au niveau de 550 cm (Figure 4) nous porte à croire qu'à cette époque beaucoup de nutriments en solution étaient disponibles pour la végétation aquatique et que

La productivité primaire autochtone et l'apport allochtone de substances organiques ainsi que la profondeur relativement faible du lac ont favorisés, dès cette époque, le déficit hypolimnique saisonnier d'oxygène.

## 6. DISCUSSION GENERALE ET CONCLUSION

La Figure 7 représente une synthèse chronologique des divers événements écologiques qui se sont déroulés à l'intérieure du bassin versant du lac Waterloo depuis la fin de la glaciation du Wisconsin. Il y a quelque 13,000 années, le lac proglaciaire Vermont, qui formait une étendue d'eau importante entre le front glaciaire et les Appalaches ainsi que les Addirondac, se déversait par la rivière Hudson. Ce lac de courte durée déposa les premier sédiments lacustres dans la cuvette du lac Waterloo. Le retrait des glaces de la vallée du Saint-Laurent environ 12,600 années avant aujourd'hui (Lasalle et Elson, 1975) mit fin à ce lac proglaciaire et permit aux eaux de l'Atlantique d'envahir les basses-terres du Saint-Laurent pour former la mer Champlain.

L'élévation maximale des dépôts marins de la mer Champlain étant inférieure à celle du lac Waterloo (208 m), il semble plausible de croire que le lac proglaciaire Vermont a donné naissance au lac Waterloo de manière graduelle et sans modifier grandement les sédiments lacustres du tardiglaciaire. L'absence d'une végétation arboréenne importante due au climat froid de cette époque a eu pour effet de favoriser le transport des matériaux fluvioglaciers et lacustres (lac Vermont) vers la cuvette du lac Waterloo. Ceci explique le fort taux de sédimentation (2.8 mm/an) de cette époque.

Vers environ 10,000 années avant aujourd'hui, un réchauffement climatique favorisa l'implantation d'une sapinière à bouleau blanc laquelle à son tour contribua à réduire l'apport des sédiments allochtones vers la cuvette du lac. Ce très bas taux de sédimentation (0.18 mm/an) est responsable de la compressions des diverses zones stratigraphique de cette époque. Par contre, ces mêmes zones retrouvent toute leur amplitude lorsqu'elles sont illustrées en fonction de leur durée.

Le maximum d'abondance des PDCS largement corrélatif avec la zone pollinique A-3 nous porte à croire qu'une plus grande productivité primaire du lac Waterloo ait existée à cette époque. Ceci serait le résultat d'une plus grande disponibilité d'éléments nutritifs pour les organismes aquatiques autotrophes. Cette abondance d'éléments nutritifs serait le résultat d'un lessivage des nouveaux dépôts sédimentologiques présents à l'intérieur du bassin versant du lac Waterloo. Cette avancée repose principalement sur le fait que l'amélioration climatique de cette époque a

permis à une communauté phytoplanctonique telle Pediastrum (indicatrice de milieu eutrophe) de se développer plus facilement et de produire une plus grande quantité de PDCS.

Subséquemment, pendant la période des zones polliniques B et C-1, une moins grande abondance de pigments nous porte à croire à une réduction de la paléo-productivité résultant possiblement de l'épuisement graduel des éléments nutritifs disponibles aux communautés aquatiques.

A l'intérieure de la zone pollinique C-2, une plus grande abondance d'espèces d'arbres thermophiles semble indiquer qu'un climat chaud et humide aurait favorisé l'implantation dans la région d'un groupement forestier ressemblant à l'érablière laurentienne. Ce même climat aurait aussi favorisé une plus grande productivité autochtone de pigments chlorophylliens relativement à la période antérieure.

Vers environ 3,000 années avant aujourd'hui, une dégradation climatique fit régresser quelque peu le groupement forestier régional vers celui de l'érablière à bouleau jaune. Pour cette époque, il nous est difficile d'interpréter les fluctuations des diverses variables du diagramme pigmentaire. A partir de cette époque, il est possible qu'une réduction de la profondeur du lac Waterloo ait engendré une préservation différentielle des PDPS.

Pendant l'époque couvrant la période de 1,000 à 200 années avant aujourd'hui, la dominance du genre Cyclotella nous porte à croire qu'un environnement aquatique oligotrophe a persisté jusqu'à l'arrivée des premiers colons dans la région. Par la suite, les activités anthropiques provoquèrent de profondes modifications écologiques sur le système lacustre. La déforestation de la région, il y a environ 200 années, se traduisit par une baisse du pollen arboréen dans la partie supérieure du dépôt lacustre et une augmentation ou apparition de graines de pollen associés à l'agriculture. De plus, la réduction du couvert forestier contribua à accroître le transport des sédiments allochtones dont la composition chimique reflète souvent l'influence anthropique.

L'apparition récentes de plusieurs espèces d'algues appartenant au genre Stephanodiscus démontre que les modifications anthropiques récentes du système aquati-

ques ont provoqué une dégradation considérable de la qualité de l'eau du lac Waterloo.

De plus, il est évident que l'étude de l'histoire du lac Waterloo ne donne aucun support à la théorie de Thienemann (1925) suggérant qu'un lac progresse de façon irréversible vers un état de vieillissement toujours plus grand. La dégradation actuelle (eutrophisation) du lac Waterloo aura tendance à se maintenir tant et aussi longtemps que l'apport excessif de substances allochtones vers la cuvette lacustre ne sera pas réduit.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMERICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE. (1961).  
Code of stratigraphic nomenclature. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol. 45(5):  
645-665.
- BAKER, E.W. (1969).  
Porphyrin. In: "Organic Geochemistry". pp. 464-497. Eglinton and Murphy  
(eds): Springer-Verlag, Berlin.
- BELCHER, J.H. and FOGG, G.E. (1964).  
Chlorophyll derivatives and carotenoide in the sediments of two English lakes.  
In: "Y. Miyake and T. Koyama (eds). Recent research in the fields of hydros-  
phere, atmosphere and nuclear geochemistry". Maruzen, Tokyo, pp. 34-48.
- BLUMER, M. (1965).  
Organic pigments: Their long term fate. Science, 149: 722-726.
- BROWN, S.R. (1956).  
A piston sampler for surface sediments of lake deposits: Ecology, 37(3): 611-  
613.
- BROWN, S.R. (1969).  
Paleolimnological evidence from fossil pigments. Mitt. Internat. Verein. Lim-  
nol., 17: 95-103.
- BRUNSKILL, G.J., POVOLEDO, D., GRAHAM, B.W. and STRAITON, M.P. (1971).  
Chemistry of surface sediments of sixteen lakes in the Experimental Lake Area,  
Northwestern Ontario. J. Fish. Res. Board Canada, 28: 277-294.
- CALLENDER, E. (1969).  
Geochemical characteristics of lakes Michigan and Superior sediments. Proc.  
12th Conf. Great Lakes Res. Int. Assoc. Great Lakes Res., p. 124-160.
- CATTELL, R.B. (1952).  
Factor analysis: an introduction for psychologist and social scientists; Har-  
per, New-York.
- CHAPMAN, D.H. (1937).  
Late-glacial and post-glacial history of the Champlain Valley. Am. J. Sc.,  
234: 89-124.
- CHAPMAN, L.J. et BROWN, D.M. (1966).  
Inventaire des terres du Canada. Min. Forêts et du Développement rural du Ca-  
nada. Rapp. 3, 28 pp.
- CRABTREE, K. (1969).  
Post-glacial diatoms zonation of limnic deposits in North Wales. Mitt. Internat.  
Verein. Limnol., 17: 165-171.
- DAGNELIE, P. (1960).  
Contribution à l'étude des communautés végétales par analyses factorielles:  
Bull. Serv. Phytogeogr., Ser. B, (5): 7-71, 93-195.

- DAVIS, M.B. (1958).  
Three pollen diagrams from Central Massachusetts: *Am. J. Sci.*, 256: 540-570.
- DAVIS, M.B. (1960).  
A late-glacial pollen diagram from Taunton, Massachusetts. *Torry Bot. Club Bull.*, 87: 258-270.
- DAVIS, M.B. (1965).  
Phytogeography and palynology of Northeastern United States. *In*: "The Quaternary of United States", Wright, H.E., Frey, D.G. (eds). Princeton Univ. Press., p. 377-402.
- DAVIS, M.B. (1967).  
Late-glacial climate in Northern United States: A comparison of New England and the Great Lakes region. *In*: "Quaternary paleoecology", Cushing, E.J., Wright, H.E., Jr., (eds). Yale Univ. Press, p. 11-44.
- DEEVEY, E.S., Jr. and FLINT, R.F. (1957).  
Postglacial hypsithermal interval. *Science*, 125: 182-184.
- DEEVEY, E.S., Jr. (1939).  
Study on Connecticut lake sediments. I. A post-glacial climate chronology for Southern New England. *Am. J. Sci.*, 237: 691-724.
- DEEVEY, E.S., Jr. (1943).  
Additional pollen analysis from Southern New England. *Ibid.*, 241: 717-752.
- DICKMAN, M., KRELINA, E. and MOTT, R. (1975).  
An eleven thousands year history with indications of recent eutrophication in a meromictic lake in Quebec, Canada. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 19: 2259-2266.
- DUTHIE, H.C. and SREENIVASA, M.R. (1971).  
Evidence for the eutrophication of lake Ontario from the sedimentary diatom succession. *Proc. 14th Conf. Great Lakes Res., Internat. Assoc. Great Lakes Res.*, p. 1-13.
- ENGLER, A. (1954).  
*Syllabus der pflanzenfamilien*. 12th ed. Bd. I. Gebruder. Borntraeger, Berlin, Germany, 369 p.
- FAEGRI, K. and IVERSEN, J. (1964).  
*Textbook of pollen analysis*. 2nd ed., Munksgaard, Copenhagen.
- FLORIN, M.B. and WRIGHT, H.E. (1969).  
Diatom evidence for the pleistocene of stagnant glacial ice in Minnesota. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 80: 695-704.
- FODED, N. (1954).  
On the diatom flora of some funen lakes. *Folia Limnol. Scand.*, 6: 1-80.
- FOGG, G.E. and BELCHER, J.H. (1961).  
Pigments from the bottom deposits of an English lake. *New Phytol.*, 60: 129-142.

- FORTESCUE, J.A.C. and HORN BROOK, E.H.W. (1967).  
A brief survey of progress made in biogeochemical prospecting research at the Geological Survey of Canada 1962-65. Geol. Sur. Can., Paper 66-54, 111-133.
- FOTT, B. (1959).  
Algenkunde. Gustav Fischer, Jena. 482 pp.
- GADD, N.R. (1964).  
Moraines in the Appalachian region of Quebec. Bull. Am. Geol. Soc., 75: 1249-1254.
- GORHAM, E. (1960).  
Chlorophyll derivatives in surface muds from the English lakes. Limnol. Oceanogr., 5: 29-33.
- GORHAM, E. (1961).  
Chlorophyll derivatives, sulphur and carbon in sediments cores from two English lakes. Can. J. Bot., 12: 669-670.
- GORHAM, E. (1964).  
Chlorophyll derivatives, sulphur and carbon in cores from two English lakes. Can. J. Bot., 39: 333-338.
- GORHAM, E. and SANGER, J.E. (1967).  
Plant pigments in woodland soil. Ecology, 48: 306-308.
- GORHAM, E. and SANGER, J.E. (1972).  
Fossil pigments in surface sediments of a meromictic lake. Limnol. Oceanogr., 17: 618-622.
- GORHAM, E. and SANGER, J.E. (1975).  
Fossil pigments in Minnesota lake sediments and their bearing upon the balance between terrestrial and aquatic inputs to sedimentary organic matter. Verh. Internat. Verein. Limnol., 19: 2267-2273.
- GRANDTNER, M.M. (1966).  
La végétation forestière du Québec méridional. Les Presses de l'Université Laval, Québec. 216 pp.
- HADLEY, G. (1964).  
Linear algebra. Addison-Wesley Inc., Mass.
- HARMAN, G.H. (1960).  
Modern factor analysis. Chicago Univ. Press, Illinois.
- HARVEY, H.W. (1934).  
Measurement of phytoplankton population. J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 19: 761-773.
- HORST, P. (1965).  
Factor analysis of data matrices. Holt, Rinehart and Winston, Toronto.
- HUSTEAT, F. (1945).  
Die Diatomeenflora norddeutscher See mit besonderer Berücksichtigung der holsteinischen Seengebiets. Arch. Hydrobiol., 41: 392-414.

- HUTCHINSON, G.E. (1967).  
A treatise on limnology. Vol. 2. J. John Wiley and Sons, Inc., New York, 1615 p.
- HUTCHINSON, G.E. (ed) (1970).  
Ianula: an account of the history and development of the lago di Monterosi, Latium, Italy Trans. Am. Phil. Soc. New Series, 60:(4): 1-178.
- HUTCHINSON, G.E. and WOLLACK, A. (1940).  
Studies in Connecticut Lake sediments. II. Chemical analysis of a core from Linsley Pond North Brandfor. Am. J. Sci., 228: 493-517.
- IMBRIE, J. (1963).  
Factors and vector analysis programs for analyzing geologic data. Tech. Rept. 6, ONR Task.
- IMBRIE, J., and VAN ANDEL, T.H. (1964).  
Vector analysis of heavy mineral data. Am. Bull. Geol. Soc., 75: 1131-1154.
- JARNEFELT, H. (1952).  
Plankton as indikator der trophiegruppen der seen. Ann. Acad. Sci. Fenn. Ser. A, 6: 1-29.
- JORGENSEN, G. (1967).  
A method of absolute pollen counting. New Phytol. 66: 489-493.
- KAISER, H.F. (1958).  
The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. Psychometrika, 23: 187-200.
- KEMP, A.L.W. (1969).  
Organic matter in the sediments of Lakes Ontario and Erie. Proc. 12th Conf. Great Lakes Res., Int. Assoc. Great Lakes Res., p. 237-249.
- KENDALL, M.F. (1957).  
A course in multivariate analysis. Hafner, New York.
- KENDALL, R.L. (1969).  
An ecological history of the Lake Victoria Basin. Ecol. Monogr., 39: 121-176.
- KILHAM, S. and KILHAM, P. (1975).  
Melosina granulatra (Ehr). Ralfs: morphology and ecology of a cosmopolitan freshwater diatom. Verh. Internat. Verein. Limnol., 19: 2716-2721.
- KING, J.E. and KAPP, R.P. (1963).  
Modern pollen rain studies in Eastern Ontario. Can. J. Bot., 41(2): 243-252.
- LASALLE, P. and ELSON, J.A. (19).  
Emplacement of the St-Narcisse Moraines as a climatic event in Eastern Canada. Quaternary Res., 5: 621-625.
- LICHTI-FEDEROVICH, S. (1968).  
Palynological studies from Central Canada. Unpubl. Ph. D. thesis. Trent Univ., Peterborough.

- LICHTI-FEDEROVICH, S. and RITCHIE, J.C. (1965).  
Contemporary pollen spectra in Central Canada. II. The forest-grassland transition in Manitoba. *Pollen et Spores*, (7): 63-87.
- LICHTI-FEDEROVICH, S. and RITCHIE, J.C. (1969).  
Recent pollen assemblages from the Western Interior of Canada. *Rev. Peleobot. Palynol.*, (7): 297-344.
- LIVINGSTONE, D.A. (1955).  
A lightweight piston sampler for lake deposits. *Ecology* 36: 137-139.
- LOFFLER, H. (1972).  
The distribution of subfossil ostracods and diatoms in pre-alpine lakes. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 18: 1039-1050.
- LORING, D.H. (1975).  
Mercury in the sediments of the Gulf of St. Lawrence. *Can. J. Earth Sci.*, 12: 1219-1237.
- LUND, J.W.G. (1957).  
Chemical analysis in ecology illustrated from Lake District tarns and lakes. II. Algal differences. *Proc. Limn. Soc. Lond.*, 167: 165-171.
- MACKERETH, F.J.H. (1966).  
Some chemical observations on post-glacial lake sediments. *Phil. Trans. (B)*, 250: 165-213.
- MARGALEF, R. (1968).  
*Perspectives in ecological theory*. Univ. of Chicago Press, Illinois.
- McANDREWS, J.H. (1966).  
Postglacial history of prairie, savana and forest in Northwestern Minnesota. *Torrey Bot. Club, Mem.*, 22: 1-72.
- NALEWAJKO, C. (1966).  
Composition of phytoplankton in surface waters of Lake Ontario. *J. Fish. Res. Board Canada*, 23: 1715-1725.
- OGDEN, J.G., III. (1967).  
Radiocarbon and pollen evidence for a sudden change in climate in the Great Lakes region approximately 10,000 years ago: *In*: "Quaternary paleoecology". Cushing, E.J. and Wright, H.E. (eds). Yale Univ. Press, p. 117-130.
- OUELLET, M. (1974).  
Paleoecological studies of three Late-Quaternary lacustrine deposits from the Kingston region and some geochemical observations of bottom surface sediments of lakes from south-western Quebec. Unpubl. Ph. D. thesis, Univ. Ottawa, 390 p.
- OUELLET, M. (1975).  
Augmentation récente de métaux lourds dans les sédiments de plusieurs lacs de l'Ontario et du Québec. *Conférence Int. sur les métaux lourds dans l'environnement*. Toronto, Ont. Canada, Oct. 27-31, 1975.

- OUELLET, M. et POULIN, P. (1975).  
 Quelques aspects paléoécologiques de la tourbière et du lac Desaulniers et quelques spectres sporolliniques modernes du bassin de la Grande Rivière, baie James. INRS-Eau, rapport scientifique no 58, 48 p. (pour la Société d'énergie de la Baie James).
- OUELLET, M. et POULIN, P. (1976).  
 Résultats préliminaires sédimentologiques et paléolimnologiques de la région de la rivière Matamek. INRS-Eau, rapport interne no 46, 48 p. (Pour Woods Hole Oceanographic Institution).
- PATRICK, R. (1943).  
 The diatoms of Linsley Pond, Connecticut. Proc. Acad. Natur. Sci. Phila., 95: 53-110.
- PATRICK, R. (1970).  
 The Diatoms. In: "Ianula: An account of the history development of the Lago di Monterosi, Latium, Italy". G.E. Hutchinson (ed.) Trans. Am. Phil. Soc. New Series, 60 (4): 112-122.
- PATRICK, R. (1972).  
 Aquatic community as indices of pollution. In: "Indicator of environmental Quality". W.A. Thomas (ed.) Plenum Press, N.Y., p. 93-100.
- PENNINGTON, W. (Mrs. T.G. Trutin). (1943).  
 Lake sediments: the bottom deposits of the North Basin of Windermere, with special reference to the diatom succession. New phytol., 42: 1-27.
- PERSALL, W.H. (1932).  
 Phytoplankton in the English Lakes. II. The composition of the Phytoplankton in relation to dissolved substances. J. Ecol., 29: 241-262.
- PERSALL, W.H. (1974).  
 Phytoplankton and environment in the English Lake District. Rev. Algal., 1-15.
- PERSALL, H., and PERSALL, W.H. (1925).  
 Phytoplankton of the English lakes. J. Linn. Soc. Bot., 47: 55-73.
- PETERSEN, R. (1975).  
 A paleolimnological study of the eutrophication of Lake Erie. Verh. Internat. Verein. Limnol., 19: 2274-2283.
- PICHETTE, M. et GUIMONT, Q. (1975).  
 Méthode d'analyse des sédiments de ruisseaux et des eaux souterraines 1974-1975. Min. Rich. Nat. Québec. Publ. S-170, 108 p.
- POTZGER, J.E. and COURTEMANCHE, A. (1956).  
 A series of bogs across Quebec from the St-Lawrence Valley to James Bay. Can. J. Bot., 34: 473-500.
- RANKAMA, K. and SAHAMA, T.G. (1949).  
 Geochemistry. Chicago Univ. Press, 912 p.
- RAWSON, D.S. (1956).  
 Algal indicators of trophic lake types. Limnol. Oceanogr., 5: 195-211.

- RICHARD, P. (1973a).  
Histoire postglaciaire dans la région de Saint-Raymond de Portneuf telle que révélée par l'analyse pollinique d'une tourbière. *Nat. Can.*, 100: 561-575.
- RICHARD, P. (1973b).  
Histoire postglaciaire comparée de la végétation dans deux localités au nord de la ville de Québec. *Nat. Can.*, 100: 591-603.
- RICHARDSON, J.L. (1968).  
Diatoms and lake typology in East Central Africa. *Int. Res. Geo. Hydrobiol.*, 53: 299-338.
- ROUND, F.E. (1957).  
The late-glacial and post-glacial diatom succession in the Kentemeve Valley deposit *New Phytol.*, 56: 98-126.
- ROUND, F.E. (1964).  
The diatom sequence in lake deposits: some problems of interpretation. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 15: 1012-1020.
- ROUND, F.E. (1965).  
The biology of the algae. Edward Arnold Ltd., London, 269 p.
- ROWE, J.S. (1959).  
Forest regions of Canada. Dept. Northern Affairs and Nat. Resources, Forest Branch, Bull. 123.
- SANGER, J.R. (1972a).  
Identification and quantitative measurement of plant pigments in soil humus layers. *Ecology*, 52: 959-963.
- SANGER, J.E. (1972b).  
Quantitative investigations of leaf pigments from inception in buds through autumn coloration to decomposition in falling leaves. *Ecology*, 52: 1075-1089.
- SANGER, J.E. and GORHAM, E. (1972).  
Stratigraphy of fossil as a guide to the postglacial history of Kirchner Marsh, Minnesota. *Limnol. Oceanogr.*, 17: 840-154.
- SMITH, J.H.C. and BENITEZ, M.V. (1955).  
Modern methoden der pflanzenanalyse. Paech, K. and Tracey, M.V. (eds.), Springer Berlin, 4: 142.
- SREENIVASA, M.R. (1970).  
Recent and extinct diatom assemblages in Southern Ontario. Ph. D. thesis. Univ. Waterloo.
- STOERMER, E.F. and YANG, J.J. (1970).  
Distribution and relative abundance of dominant plankton diatoms in Lake Michigan. *Univ. Michigan, Great Lake Res. Div., Pub. 16*: 64 pp.
- STOCKNER, J.G. (1971).  
Preliminary characterization of lakes in the Experimental Lakes area, northwestern Ontario, using diatom occurrences in the sediments. *J. Fish. Res. Board Canada*. 28: 265-275.

- TERASMAE, J. and LASALLE, P. (1968).  
Notes on late-glacial palynology and geochronology at St.Hilaire, Québec. *Can. J. Earth Sci.* 5: 249-257.
- TERASMAE, J. and MOTT, R.J. (1964).  
Pollen deposition in lakes and bogs near Ottawa, Canada. *Can. J. Bot.*, 42: 393-404.
- THIENEMANN, A. (1925).  
Die Binnengewasser Mitteleuropas. *Binnengewasser*, 1: 1-125.
- THOMAS, R.L. (1972).  
The distribution of mercury in the sediments of Lake Ontario. *Can. J. Earth Sci.*, 9: 636-651.
- TREIBS, A. (1934).  
Über das vorkommen von chlorophyllderivaten in limen olschiefer aus der obern. Trias. *Ann. Chem.*, 509: 103.
- VALLENTYNE, J.R. (1955).  
Sedimentary chlorophyll determination as a paleobotanical method. *Can. J. Bot.*, 33: 304-313.
- VALLENTYNE, J.R. (1956).  
Epiphysis carotenoids in post-glacial lake sediments. *Limnol. Oceanogr.*, 1: 252-262.
- VALLENTYNE, J.R. (1960).  
Fossil pigments. In: "Comparative biochemistry of photoreactive systems", Allen, M.B. (eds.). Academic Press, p. 83-105.
- VALLENTYNE, J.R. (1969).  
Sedimentary organic matter and paleolimnology. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.*, 17: 104-110.
- VERDUIN, J. (1964).  
Changes in western lake Erie during the period 1948-1962. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 15: 639-644.
- VINOGRADOV, A.P. (1962).  
Average contents of chemical elements in the principal types of igneous rocks of the earth's crust. *Geochemistry*, 7: 641-664.
- WARREN, H.V. and DELAVault, R.E. (1954).  
Variation in the nickel content of some Canadian trees. *Trans. Roy. Soc. Can.*, Sec. IV: 71-74.
- WETZEL, R.G. (1970).  
Recent and postglacial production rates of a marl lake. *Limnol. Oceanogr.* 15: 491-503.
- WHITEHEAD, D.R. and BENTLEY, D.R. (1963).  
A postglacial pollen diagram from Southwestern Vermont. *Pollen et Spores* 5: 115-127.

YARRANTON, G.A. (1967).

Principal component analysis of data from saxicolous bryophyte vegetation at Steps Bridge, Devon, 1. A quantitative assessment of variation in the vegetation. *Can. J. Bot.*, 45: 93-115.

YENTSCH, C.S. (1966).

The measurement of chloroplastic pigments thirty years of progress; In: "Chemical environment in the aquatic habitat". Goeterman, H.L. and Clyno R.S. (eds.). N.V. Noord-Hollandsche Uitgevers, Amsterdam, p. 256-270.

YUSE, A.P. (1966).

Diatomeen in Seesedimenten. *Ergeb. Limnol.*, 4: 1-32.

ANNEXE 1: TABLEAUX

TABLEAU 1: FACTEURS CLIMATIQUES PROBABLES QUI AURAIENT PREVALU DANS LA REGION DU LAC WATERLOO AU TARDIGLACIAIRE (zones polliniques A-1 et A-2) COMPARES A CEUX D'AUJOURD'HUI (W).

FACTEUR CLIMATIQUE	A-1	A-2	W
Température moyenne annuelle (°F)	18	31	41
Température moyenne en juillet (°F)	55	61	67
Température moyenne en janvier (°F)	-19	-7	14
Moyenne annuelle des températures minimales (°F)	-49	-46	-27
Début de la saison de végétation	6/12	5/11	4/18
Fin de la saison de végétation	9/10	10/ 5	10/24
Degrés-jours au-dessus de 42°F	832	1750	2900
Date moyenne du dernier gel printannier	6/23	6/12	5/18
Date moyenne du premier gel automnal	9/ 1	9/ 4	9/23
Longueur moyenne de la période sans gel (jours)	75	83	125
Moyenne annuelle de précipitation (pouces)	15	24	42
Moyenne des précipitations mai-septembre (pouces)	10	15	19

TABLEAU 2: SPECTRES POLLINIQUES DES SEDIMENTS DU LAC WATERLOO.

A: POLLENS D'ARBRES (NOMBRE DE GRAÏNS COMPTES).

PROFONDEUR (CM)	2	10	18	30	36	50	58	70	78	90	98	109	118	131	140	150	160	170
PINUS DIVARICATA ET/OU RESINOSA	3		2	1	3	1			4	2		2				1	1	1
PINUS STROBUS	19	8	15	26	13	9	10	11	22	12	35	21	45	14	15	26	16	13
PINUS*	12	9	17	9	4	5	5	3	4	8	11	10	4	3	6	4	5	3
PICEA MARIANA	2	3	12	13	2	2	1		3		4	2				4	7	1
PICEA GLAUCA	1	1	7	5	1	1	1		2		4	2	3			1		
PICEA*	5	3	4	3	1	2	1		1	4	4	1		1	1	1	1	1
ABIES BALCAMEA	3		2	1	2	1	1		4	1	2	2	3	1	1	2		3
BETULA	58	35	94	112	54	66	91	63	94	76	113	124	154	71	49	58	53	61
POPULUS TREMULOIDES	12	5	3	2	1		2		1		1					1		
POPULUS BALSAMIFERA				1	1		2		2	1	1	1						
TSUGA CANADENSIS	33	22	51	51	21	30	16	17	32	42	49	46	56	42	20	35	33	15
FAGUS GRANDIFOLIA	9	4	15	27	13	18	26	12	20	26	42	28	38	20	27	32	15	24
ACER SACCHARUM	5	10	9	11	12	8	4	11	13	5	22	9	12	6	5	5	4	6
ACER RUBRUM	2		2	1	1	3		1					1		1			
QUERCUS	8		1	3	9	7	6	3	4	8	9	9	8	7	6	8	1	2
ULMUS	4	1	5	5		5	2	4	5	3	7	6	3	2	2	4	1	3
FRAXINUS PENNSYLVANICA	3		1	8	1	4	2	7	1	4	10	10	13	4	7	4	6	5
FRAXINUS NIGRA			8	3		2			1	3	3	3	2		1	3	1	2
CARPINUS / OSTRYA	1		2			1	1	1		2	1	1	5		1	1		
CARYA OVATA			3		1	1	1		1								1	
MORUS RUBRA																		
JUGLANS CINEREA		1			1					1	1	1	2	2	1			
ILIX AMERICANA		1	2	1		1	1				1		2			1		2
CASTANEA DENTATA	1																	
LARIX LARICINA			1	1	1				2				1			2		
TOTAL	182	103	257	283	142	165	173	134	216	198	322	278	352	173	143	199	139	142

TABLEAU 2: SPECTRES POLLINIQUES DES SEDIMENTS DU LAC WATERLOO.  
A: POLLENS D'ARBRES (NOMBRE DE GRAINS COMPTES)(suite).

PROFONDEUR(CM)	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350
PINUS DIVARICATA ET/OU RESINOSA	2	2		1		1	1	1	2	5					1		2	1
PINUS STROBUS	18	24	33	49	18	40	23	30	36	61	23	26	16	26	39	41	63	75
PINUS*	4	4	6	9	2	4	6	8	8	7	5	4	4	3	4	4	10	1
PICEA MARIANA	1	2		1			1	1		2	1	2	2	1			2	1
PICEA GLAUCA		1	1	3	1				2		1	1				1		1
PICEA*		1		1					1	1		1						
ABIES BALCAMEA	2		2	3	2	2	1	1	1	1			1		2	3	2	2
BETULA	74	91	84	158	56	92	54	72	116	73	70	107	54	81	112	97	214	66
POPULUS TREMULOIDES	1	4	3	2		1		1	1	1		3					5	1
POPULUS BALSAMIFERA			1	1					1			1						
TSUGA CANADENSIS	26	33		74	18	38	18	26	43	18	13	10	10	9	5	7	40	64
FAGUS GRANDIFOLIA	23	32	27	40	15	49	15		36	27	21	52	19	24	29	36	75	15
ACER SACCHARUM	4	13	6	25	10	9	10	10	17	7	8	13	3	11	14	17	30	9
ACER RUBRUM			4	1				1	1	2		1	1	1			1	1
QUERCUS	4	6	6	5	5	5	4	2	7	6	4	4	2	4	4	5	13	1
ULMUS	4	5	3	8	4	14	3	5	3	6	3	7	6	2	2	6	14	1
FRAXINUS PENNSYLVANICA	7	4	5	11	6	8	6	6	5	14	8	3	5	8	11	11	9	3
FRAXINUS NIGRA			1	4			1	2	1	2	1	2			1		7	
CARPINUS / OSTRYA			2	2	2	1	2	2	2	1		3	2	1				1
CARYA OVATA	1							21			1				2			
MORUS RUBRA																		
JUGLANS CINEREA		1	1	3		3				2	1		2		4	2	5	1
ILIX AMERICANA	1	1	1			1		1						1				3
CASTANEA DENTATA																		
LARIX LARICINA			1				1	1	2	2			2			1	1	
TOTAL	172	224	219	401	139	260	146	191	286	238	160	240	129	172	230	231	544	197

TABLEAU 2: SPECTRES POLLINIQUES DES SEDIMENTS DU LAC WATERLOO.  
A: POLLENS D'ARBRES (NOMBRE DE GRAINS COMPTES)(suite).

PROFONDEUR (CM)	360	370	380	390	400	410	420	430	440	450	460	470	480	490	500	510	520	530
PINUS DIVARICATA ET/OU RESINOSA	1	4	1	3	2		1	2		5	6	2	1	14	5	14	2	9
PINUS STROBUS	37	24	40	41	26	45	60	54	58	58	91	64	94	212	182	344	189	215
PINUS*	4	6	5	11	6	10	14	11	7	7	29	16	46	29	55	55	39	47
PICEA MARIANA	1		1		2	1		1	2	2	1	2	5	2		5	1	2
PICEA GLAUCA	1			1		1	1									4	2	2
PICEA*						1							1					2
ARTES BALSAMEA		1	1						1	1	1		1	1	2	4	5	4
BETULA	138	136	117	154	123	157	151	223	69	83	133	70	141	285	67	97	35	66
POPULUS TREMULOIDES	1		2			1					1	1	1	3	5	3	1	5
POPULUS BALSAMIFERA													1	2		1		1
TSUGA CANADENSIS	59	66	68	54	69	100	96	66	66	54	58	30	88	165	115	26	7	13
FAGUS GRANDIFOLIA	33	39	36	40	20	22	29	18	7	9	8	5	9	9	6	4	2	3
ACER SACCHARUM	7	14	8	8	9	14	14	7	3	7	17	7	11	20	12	11	8	9
ACER RUBRUM			1	1			1											
QUERCUS	4	10	5	12	10	7	9	15	10	7	15	9	14	47	41	19	16	50
ULMUS	6	6	6	16	6	5	7	7	5	3	10	2	3	17	15	6	6	12
FRAXINUS PENNSYLVANICA	7	9	11	6	4	12	12	18	5	10	10	6	2	18	8	7	3	8
FRAXINUS NIGRA	1	3	1	3	2	3	2				2			2	2			1
CARPINUS / OSTRYA	2			1				1			1			2	5	1	3	3
CARYA OVATA		1		2	2										1			
MORUS RUBRA			1					1						1				
JUGLANS CINEREA				2	1	1		1										
ILIX AMERICANA	2	2	1	2	1	1	4	3	1		1				1			1
CASTANEA DENTATA								1										
LARIX LARICINA						2					1	1	1	1		1	1	1
TOTAL	192	321	305	356	204	303	401	429	234	246	385	215	413	830	523	602	320	454

TABLEAU 2: SPECTRES POLLINIQUES DES SEDIMENTS DU LAC WATERLOO.  
A: POLLENS D'ARBRES (NOMBRE DE GRAINS COMPTES)(fin).

PROFONDEUR (CM)	540	550	558	569	579	589	599	609	619	629	639	649	659	670	700	710
PINUS DIVARICATA ET/OU RESINOSA	27	10	31	14	12	24	9	18	8		3	5		5		
PINUS STROBUS	344	225	303	121	89	34	11	14	7	1				49		
PINUS*	50	39	136	27	42	41	24	17	19	37	25	24	9	50	3	3
PICEA MARIANA	2		2		2	7	16	28	7		3	2				1
PICEA GLAUCA	5	3	1	2	5			1						1		
PICEA*	4		1	1	3	5	9	11	3	6	3	6	3			
ABIES BALSAMEA	8	7	7	3	6	7	5	1	1					1		
BETULA	58	36	126	49	107	107	44	19	14	6	20	13	9	63	3	4
POPULUS TREMULOIDES	2	3	13	6	24	26	38	20		3				3		
POPULUS BALSAMIFERA	2	1	2	2	3	1										
TSUGA CANADENSIS	23	9	8	1	1	3	2			1		1		10		
FAGUS GRANDIFOLIA	3		1											3		
ACER SACCHARUM	11	8	13	2	4	2	4			1				3		
ACER RUBRUM																
QUERCUS	40	41	125	24	17	19	13	5	2	1	2	1	1	17	4	
ULMUS	7	10	30	5	7	7	4		1	1		1		4		
FRAXINUS PENNSYLVANICA	19	12	36	8	10	11	6		1		5	1	2			
FRAXINUS NIGRA			1								1	1		9		
CARPINUS / OSTRYA	6	1	11	2	5		5	1								
CARYA OVATA																
MORUS RUBRA																
JUGLANS CINEREA				1										1		
FILIX AMERICANA														1		
CASTANEA DENTATA							1							1		
LARIX LARICINA	5	3	4	5	7	4	10									
TOTAL	616	408	851	273	344	298	213	136	63	57	62	55	24	225	10	8

\* grains endommagés.

TABLEAU 2: SPECTRES POLLINIQUES DES SEDIMENTS DU LAC WATERLOO.  
B: POLLENS D'ARBUSTES (NOMBRE DE GRAINS COMPTES).

PROFONDEUR(CM)	2	10	18	30	38	50	58	70	78	90	98	109	118	131	140	150	160	170	
SALIX	2	1		1					2										
SHEPHERDIA CANADENSIS																			
JUNIPERUS/THUJA TYPE	2	9	4	1	2		3	2	4	5	6	2	9	3	3	5	4	3	
ALNUS CRISPA			2	1		1	2	1		1	1	2							
ALNUS RUGOSA	6	5	7	7	5	5	4	7	3	4	11	6	10	6	2	4	5	3	
MYRICA GALE																			
CORYLUS CORNUTA																			
VIBURNUM					1														
ACER SPICATUM	1	1																	
NEMOPANTHUS TYPE																1			
TOTAL	11	16	13	10	8	6	9	10	9	10	18	10	19	9	5	10	9	6	

PROFONDEUR(CM)	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350
SALIX																		
SHEPHERDIA CANADENSIS																		
JUNIPERUS/THUJA TYPE	3	6	4	5	1	9	5	2	3	5	2	5		5	3	6	9	3
ALNUS CRISPA		1			1	2	1					1					1	
ALNUS RUGOSA	1	6	8	21	3	5	8	9	2		5	6	1	3	2	4	9	2
MYRICA GALE				1			1											1
CORYLUS CORNUTA							1			11								
VIBURNUM																		
ACER SPICATUM						1												
NEMOPANTHUS TYPE																		
TOTAL	4	13	12	27	5	17	16	11	5	16	7	13	1	8	5	10	19	6

TABLEAU 2: SPECTRES POLLINIQUES DES SEDIMENTS DU LAC WATERLOO.  
 B: POLLENS D'ARBUSTES (NOMBRE DE GRAINS COMPTES)(fin).

PROFONDEUR (CM)	360	370	380	390	400	410	420	430	440	450	460	470	480	490	500	510	520	530
SALIX		1			1										1	1		1
SHEPHERDIA CANADENSIS																		
JUNIPERUS/THUJA TYPE	2	5	4	4	4	5	2	5	1	1	2	2	3	7	7	8	1	7
ALNUS CRISPA						1					1		1	2	1	1	1	2
ALNUS RUGOSA	7	5	7	2	3	10	8	4	7	4	3	2	5	10	8	7	10	9
MYRICA GALE																		
CORYLUS CORNUTA														1	3	1		1
VIBURNUM														1	3	1		1
ACER SPICATUM																		
NEMOPANTHUS TYPE																		
TOTAL	9	11	11	6	8	16	10	9	8	5	6	4	9	20	20	18	12	20

PROFONDEUR (CM)	540	550	558	569	579	589	599	609	619	629	639	649	659	670	700	710
SALIX	2		4	3	1	1	2	4	6	8	2	2	1			
SHEPHERDIA CANADENSIS		4		2						1						
JUNIPERUS/THUJA TYPE	9	9	9	4	7	2	3	4	3		8	2		4		
ALNUS CRISPA	1	5	8	4	11	1	5	6	5	6		2		6	1	
ALNUS RUGOSA	3	3	7		2	1	1	1		1	2			3		
MYRICA GALE		2	1	3	6	3										
CORYLUS CORNUTA	1	4	2	3		1	1									
VIBURNUM																
ACER SPICATUM					1											
NEMOPANTHUS TYPE																
TOTAL	16	27	31	20	27	9	12	15	11	16	12	6	1	13	1	0

TABLEAU 2: SPECTRES POLLINIQUES DES SEDIMENTS DU LAC WATERLOO.

C: POLLENS D'HERBACEES, SPORES ET AUTRES (NOMBRE DE GRAINS COMPTES).

PROFONDEUR(CM)	2	10	18	30	38	50	58	70	78	90	98	109	118	131	140	150	160	170
LYPERACEAE	11	1	4	4	2		4		3	1	3	3	1	1				2
GRAMINEAE	20	16	11	5	3	2	2	1	2				2	1				
ARTEMISIA	5		1													1		2
AMBROSIA	15	6	6	2	3			1	1					1				
TUBULIFLORAE	2		2		1									1				
ROSACEAE	2																	
CARYOPHYLLACEAE																		
RANUNCULACEAE																		
CHELOPODIACEAE			1															
RUMEX	1																	
LYCOPIDIUM CLAVATUM	1	1		1				1				1						1
L. TYPE ANNOIINUM		1	1		1													
L. SELAGO	1																	1
TRICHOCHIN	4	1			1	1	1						1					
OSMONDA	1		1	1			1	1	1	1						1		
TYPHA	1	3							1									
NUPHAR	1				1													
IMPATIENS CAPENSIS																		
SPHAGNUM	2	1		2								2	1	1		1		
SPORE MONOLETE	5	2	3	4	2	1	1					2	2	3	3			1
SPORE TRILETE	2	2		1	1	2												
ISOETES														1		1		
PEDIASTRUM																		
TOTAL	55	23	25	11	9	2	6	2	7	1	3	3	4	3	1	4	0	0
FPA GRAINS/CM3 (x 1000)	20	34	56	72	29	34	53	63	70	74	114	79	203	105	81	79	62	54
INDETERMINABLE	16	9	8	12	4	2	3	4	0	2	10	4	2	2	2	3	1	2

TABLEAU 2: SPECTRES POLLINIQUES DES SEDIMENTS DU LAC WATERLOO.

C: POLLENS D'HERBACEES, SPORES ET AUTRES (NOMBRE DE GRAINS COMPTES)(suite).

PROFONDEUR(CM)	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350
CYPERACEAE	1	1	2	4	1	3	1	2	4	1		2	1	1		3	6	
GRAMINEAE	3			1			1	1	2	1	1	1			1	2	2	1
ARTEMISIA			1	2		1				1	1				1		2	
AMBROSIA			1	1		1					1							
TUBULIFLORAE					1											2		
ROSACEAE																		
CARYOPHYLLACEAE				1														
RANUNCULACEAE				1														
CHENOPODIACEAE												1			1		1	
RUMEX																		
LYCOPODIUM CLAVATUM																		
L. TYPE ANNOTINUM																		
L. SELACO												1				2		
TRICHOCHIN										1								
OSMUNDA										1			1					1
LYPHA																		
NUPHAR																		
IMPATIENS CAPENSIS					1	1												
SPHAGNUM		1					1											2
SPORE MONOLETE	1	4	1	2	1	3				1	1	1						6
SPORE TRILETE									2									
ISOETES	1																	
PEDIASTRUM																		
TOTAL	4	1	4	10	2	5	2	3	6	3	3	4	1	2	3	7	11	1
FPA GRAINS/CM3 (x 1000)	52	102	123	153	105	192	102	101	225	164	105	197	86	110	81	141	327	71
INDETERMINABLE	3	3	1	6	3	4	3	0	5	4	1	2	4	9	3	3	3	2

TABLEAU 2: SPECTRES POLLINIQUES DES SEDIMENTS DU LAC WATERLOO.

C: POLLENS D'HERBACEES, SPORES ET AUTRES (NOMBRE DE GRAINS COMPTES)(suite).

PROFONDEUR (CM)		360	370	380	390	400	410	420	430	440	450	460	470	480	490	500	510	520	530
CYPERACEAE		3		4	5	2	1	1	3		3			2	4	5	3	2	2
GRAMINEAE			3	1		1	3	1			1			2	2		5		1
ARTEMISIA																1	1		1
AMBROSIA											1	1						1	1
TUBIFLORAL						1	1							1			1		1
ROSACEAE			2															2	
CARYOPHYLLACEAE													2						
RANUNCULACEAE														1					
CHEMPODIACEAE				1	1	1	1									1	1		
RUMEX																			
LYCOPodium CLAVIUM												2						2	3
L. TYPE ANNOTINUM											1					1			
L. SELAGO	H	1			1									1					
TRICHOCHIN	O		1										1	3	2	2	3		
OSMUNDA	R					2	3	2	1	1				1					
TYPHA	S		1												1		1		
NUPHAR																			
IMPATIENS CAPENSIS	T									1									
SPHAGNUM	O					1													
SPORE MONOLETE	T	2		1	2	2	1	1	2	1					3	2	5	1	
SPORE TRILETE	A						2		2	1	1					1	1	2	
ISOETES	L					1									2		1		
PEDIASTRUM																			
TOTAL		3	5	6	6	5	6	2	3	0	5	1	2	6	6	7	11	5	6
FPA GRAINS/CM2 (X .001)		125	181	229	190	305	339	273	283	185	265	265	140	312	708	531	343	302	346
INDETERMINABLE		1	5	2	2	0	1	1	2	1	4	1	2	6	3	4	2	1	2

TABLEAU 2: SPECTRES POLLINIQUES DES SEDIMENTS DU LAC WATERLOO.

C: POLLENS D'HERBACEES, SPORES ET AUTRES (NOMBRE DE GRAINS COMPTES)(fin).

PROFONDEUR (CM)	540	550	558	569	579	589	597	609	617	629	639	649	659	670	700	710
CYPERACEAE	2	2	7	3	4	1	3	17	41	23	25	15	8	4		1
GRAMINEAE		2	3	2	2	3	2	1	3	1	3					
ARTEMISIA	1	1	1	2	3	1	1									
AMBROSIA	1	1	2		2	2			3					1		
TUBULIFLORAE	1		4					3		1	5	1		1		
ROSACEAE						1		1		2		2				
CARYOPHYLLACEAE						2					2					
RANUNCULACEAE											2					
CHENOPODIACEAE						1	1			1						
RUMEX																
LYCOPODIUM CLAVATUM				1						3	1	1				
L. TYPE ANNOIINUM							2	1								
L. SELAGO																
IRIGLOCHIN		1		2				2		2						
OSMUNDA							1	2				1				
LYPHA		1							1							
NUPHAR								1								
IMPATIENS CAPENSIS																
SPHAGNUM												2				
SPORE MONOLETE	2	2	2			2	1	4	1			1	1	2		
SPORE TRILETE						1	1	2	4	1	1		1	2		
ISOFIES									1							
PEDIASTRUM																
TOTAL	5	6	17	7	11	11	7	22	47	20	37	18	8	6	0	1
FPA GRAINS/CM3 (x 1000)	411	471	597	414	426	390	147	68	30	14	12	11	3	88	.21	.47
INDETERMINABLE	5	2	0	0	4	7	4	5	4	4	12	15	12	3	0	0

**TABEAU 3: NOMBRE DE DIATOMEES CENTRIQUES DANS LA PARTIE SUPERIEURE DES SEDIMENTS DU LAC WATERLOO.**

Profondeur (cm) \ Espèce	2	10	18	38	58	78	98	118	130
<u>Cyclotella bodanica</u>	1		1	1					3
<u>C. compta</u>	1	2	2	6	11	18	24	39	29
<u>C. kuetzingiana</u>	3			2		3		2	
<u>C. meneghiniana</u>	3	3	5	4	6	6	3	11	11
<u>C. stelligera</u>	6	5	11	5	3	11	9	12	14
<u>Melosira ambigua</u>	119	149	244	104	178	262	229	339	340
<u>M. distans</u>	18	4	14	4	3	4	3	2	8
<u>M. granulata</u>	7	5			1				
<u>M. islandica</u>	21	3	5	3	1	2	2	2	7
<u>M. italica</u>	7		5	1			3	5	21
<u>Stephanodiscus astrea</u>			1						
<u>S. niagarae</u>	10	5	8						
<u>S. tenuis</u>	2	1	2						
<b>TOTAL</b>	<b>258</b>	<b>177</b>	<b>298</b>	<b>130</b>	<b>203</b>	<b>306</b>	<b>273</b>	<b>412</b>	<b>434</b>

TABLEAU 4: POURCENTAGE D'EAU, DE CARBONE ORGANIQUE ET DE CARBONATES. PRODUITS DE DEGRADATION DE LA CHLOROPHYLLE SEDIMENTAIRE (PDCS) ET RAPPORTS DES DENSITES OPTIQUES DES PIGMENTS DU LAC WATERLOO.

PROF (CM)	% H <sub>2</sub> O	% C	% CO <sub>3</sub> --	PDCS/ GR SEC	PDCS/ GR C	D410/ D350	D448/ D350	D410/ D448	D350/ D670	D410/ D670	D448/ D670
1.	96.62	30.80	5.54	21.60	70.13	1.58	.66	2.39	4.00	6.32	2.64
5.	93.64	31.81	5.31								
10.	93.02	31.54	4.68	18.58	58.90	1.51	.65	2.32	3.00	4.54	1.96
15.	93.28	35.05	5.19								
20.	93.36	34.92	5.16	18.81	53.88	1.55	.66	2.37	3.05	4.74	2.00
25.	94.69	38.17	5.05								
30.	92.01	37.56	6.16	25.48	67.04	1.60	.70	2.28	2.95	4.72	2.07
35.	94.73	39.25	4.54								
40.	94.59	38.19	6.07	32.98	86.36	1.60	.73	2.19	2.96	4.75	2.17
45.	94.57	39.81	4.07								
50.	94.26	37.96	6.10	29.42	77.50	1.58	.76	2.09	3.08	4.87	2.33
55.	94.44	38.98	5.60								
60.	94.22	37.05	6.03	30.33	81.02	1.47	.70	2.08	3.10	4.54	2.18
65.	94.37	36.50	5.57								
70.	93.82	34.23	6.18	31.51	92.06	1.38	.71	1.96	3.02	4.17	2.13
75.	94.31	36.91	5.60								
80.	94.09	34.30	6.21	33.60	97.95	1.55	.75	2.05	3.15	4.87	2.37
85.	93.97	36.22	4.09								
95.	93.58	35.52	3.80								
100.	93.03	33.03	6.07	32.82	99.58	1.61	.81	1.99	3.04	4.90	2.46
105.	93.48	34.69	5.88								
110.	92.96	31.46	6.33	36.05	114.58	1.59	.81	1.97	3.08	4.90	2.49
115.	92.44	30.20	9.87								
120.	92.92	31.26	6.65	28.38	90.78	1.38	.69	2.01	3.47	4.80	2.39
125.	92.37	32.96	5.84								
130.	90.90	28.16	6.63	25.27	89.75	1.43	.73	1.96	3.48	4.98	2.55

TABLEAU 4: POURCENTAGE D'EAU, DE CARBONE ORGANIQUE ET DE CARBONATES. PRODUITS DE DEGRADATION DE LA CHLOROPHYLLE SEDIMENTAIRE (PDCS) ET RAPPORTS DES DENSITES OPTIQUES DES PIGMENTS DU LAC WATERLOO (suite).

135'	92.12	29.78	3.70	23.49	78.91	1.34	.68	1.96	3.55	4.76	2.43
140'	91.47	27.41	4.46	25.67	93.65	1.37	.68	2.00	3.53	4.82	2.41
145'	91.36	29.93	3.76	22.67	75.73	1.40	.69	2.02	3.52	4.94	2.44
150'	91.83	30.44	3.74	25.73	84.54	1.38	.70	1.96	3.62	5.00	2.55
155'	91.75	30.53	3.77	24.24	79.39	1.42	.71	1.99	3.47	4.93	2.47
160'	91.85	30.13	3.44	37.14	123.26	1.31	.69	1.89	3.16	4.14	2.20
170'	91.67	31.04	3.91	33.71	108.59	1.37	.73	1.86	3.07	4.20	2.25
180'	90.94	30.39	3.05	34.29	112.03	1.35	.73	1.84	3.11	4.18	2.27
190'	90.85	28.83	3.02	34.65	120.18	1.42	.81	1.76	2.94	4.17	2.38
200'	90.82	28.33	3.91	33.19	117.14	1.45	.81	1.79	2.81	4.08	2.27
210'	89.25	26.29	3.70	28.83	109.68	1.42	.81	1.76	3.00	4.26	2.42
220'	89.14	25.61	3.75	22.44	87.60	1.47	.79	1.86	3.25	4.79	2.57
230'	89.11	25.86	3.64	20.74	80.21	1.44	.73	1.96	3.55	5.09	2.59
240'	89.32	26.04	3.67	22.66	87.02	1.51	.79	1.90	3.23	4.88	2.56
250'	88.98	26.26	3.84	23.62	89.93	1.45	.77	1.87	3.43	4.96	2.65
260'	88.74	26.57	3.63	21.63	81.42	1.54	.84	1.83	3.15	4.85	2.64
270'	88.15	25.73	3.93	20.92	81.29	1.49	.83	1.79	3.54	5.26	2.94
280'	88.70	26.19	4.29	24.43	93.29	1.53	.83	1.84	3.16	4.84	2.63
290'	88.95	27.13	4.43	32.43	119.55	1.42	.71	1.99	2.90	4.11	2.07
300'	88.26	25.59	4.10	30.50	119.19	1.36	.69	1.97	3.02	4.10	2.09
310'	89.64	28.05	4.58	38.79	138.28	1.31	.68	1.92	3.00	3.93	2.05
320'	89.52	26.75	4.47	31.01	115.93	1.36	.68	1.99	2.89	3.93	1.98
330'	88.06	25.28	4.56	25.95	102.65	1.31	.63	2.06	3.12	4.07	1.98
340'	87.47	24.86	4.32	28.03	112.74	1.40	.68	2.05	2.90	4.07	1.98
350'	89.48	24.02	5.04	34.75	144.65	1.24	.72	1.71	3.44	4.27	2.49
360'	89.43	25.12	5.03	33.99	135.31	1.24	.74	1.68	3.70	4.59	2.74

TABLEAU 4: POURCENTAGE D'EAU, DE CARBONE ORGANIQUE ET DE CARBONATES. PRODUITS DE DEGRADATION DE LA CHLOROPHYLLE SEDIMENTAIRE (PDCS) ET RAPPORTS DES DENSITES OPTIQUES DES PIGMENTS DU LAC WATERLOO (suite).

370.	81.68	13.57	2.28	21.95	161.77	1.27	.76	1.68	3.56	4.54	2.71
380.	87.66	22.14	4.69	32.04	144.71	1.24	.76	1.63	3.88	4.82	2.96
390.	87.48	22.35	4.87	29.16	130.59	1.28	.79	1.61	3.94	5.03	3.12
400.	86.89	21.47	4.91	27.25	126.95	1.28	.77	1.66	3.75	4.81	2.90
410.	86.60	23.40	6.86	20.98	89.65	1.35	.88	1.55	4.48	6.06	3.92
420.	86.96	23.79	7.14	18.49	77.73	1.34	.89	1.50	4.87	6.51	4.34
430.	87.05	22.72	7.13	20.98	92.31	1.35	.90	1.50	4.72	6.38	4.26
440.	86.40	24.39	7.14	23.69	97.14	1.37	.91	1.50	4.54	6.21	4.15
450.	86.17	23.98	7.04	18.17	75.77	1.37	.90	1.52	4.66	6.39	4.19
460.	86.79	22.69	6.90	19.57	86.26	1.36	.91	1.49	4.64	6.30	4.21
470.	85.82	21.28	6.98	23.86	112.09	1.34	.90	1.49	4.49	6.03	4.05
480.	85.95	21.54	6.62	18.16	84.31	1.32	.90	1.47	4.71	6.23	4.24
490.	85.63	24.90	6.36	22.40	89.92	1.40	.92	1.52	4.13	5.79	3.81
500.	85.88	27.54	6.01	24.83	90.16	1.40	.91	1.53	4.14	5.78	3.77
510.	84.99	25.18	5.63	15.95	63.34	1.28	.79	1.63	4.67	5.98	3.68
520.	84.54	24.33	5.07	16.74	68.72	1.29	.86	1.50	5.09	6.55	4.38
530.	84.60	22.19	5.25	11.83	53.31	.69	.37	1.90	5.85	4.06	2.13
540.	83.28	21.32	4.78	23.11	108.40	1.28	.80	1.61	3.63	4.64	2.89
550.	82.74	22.85	4.81	28.22	123.63	1.28	.79	1.63	3.57	4.59	2.82
560.	73.34	16.57	3.16	17.01	102.63	1.31	.77	1.69	3.30	4.31	2.56
570.	67.49	12.49	2.54	14.87	119.08	1.29	.77	1.67	3.45	4.43	2.65
580.	65.69	12.50	2.10	9.31	74.46	1.37	.82	1.68	3.40	4.66	2.78
590.	58.25	8.45	1.74	5.44	64.45	1.40	.83	1.69	3.22	4.50	2.67
600.	57.46	8.14	1.54	4.59	56.42	1.26	.75	1.69	3.59	4.54	2.69
610.	50.91	4.77	1.40	1.34	28.14	1.16	.71	1.65	4.42	5.15	3.12
620.	47.93	3.74	1.83	.98	26.10	.87	.51	1.71	6.52	5.66	3.31

TABLEAU 4: POURCENTAGE D'EAU, DE CARBONE ORGANIQUE ET DE CARBONATES. PRODUITS DE DEGRADATION DE LA CHLOROPHYLLE SEDIMENTAIRE (PDCS) ET RAPPORTS DES DENSITES OPTIQUES DES PIGMENTS DU LAC WATERLOO (fin).

630.	33.64	1.53	1.14	1.62	105.54	.60	.43	1.41	6.29	3.79	2.68
640.	30.89	1.25	1.32	.44	34.69	.86	.49	1.74	6.74	5.81	3.33
650.	29.24	1.32	1.25	2.02	152.86	.69	.55	1.25	4.14	2.86	2.29
660.	25.07	1.38	1.35	.11	7.81	.60	.42	1.43	12.00	7.14	5.00
670.	27.23	1.65	1.50	.37	22.36	1.13	.68	1.66	6.69	7.56	4.56
680.	25.88	1.59	1.50	.18	11.07	.42	.17	2.43	4.00	1.70	.70
690.	26.01	1.62	1.74								
700.	28.33	1.60	1.98								
710.	26.75	1.41	1.85								
720.	29.76	1.51	2.02								
730.	24.53	1.18	1.73								
740.	28.87	1.55	2.10								
750.	24.90	1.15	1.68								
760.	21.60	.92	1.78								
770.	24.15	1.18	1.92								
780.	27.53	1.17	2.07								
790.	35.82	1.94	2.14								
800.	40.27	2.32	2.42								
810.	30.01	1.60	3.06								
820.	27.21	.78	2.80								
830.	24.80	.77	2.19								

TABLEAU 5: POURCENTAGE D'EAU, DE CARBONE ORGANIQUE ET DE CARBONATES  
DANS LES SEDIMENTS A LA SORTIE DU LAC WATERLOO.

PROF (CM)	% H <sub>2</sub> O	% C	% CO <sub>3</sub> --
1.	95.25	40.57	3.74
5.	93.48	39.38	3.48
10.	92.91	39.40	3.68
15.	91.05	39.07	3.70
20.	90.24	41.39	4.09
25.	90.88	46.80	3.53
30.	92.00	67.31	4.71
35.	91.55	73.04	3.92
40.	91.58	77.25	4.10
45.	91.34	80.86	4.69
50.	90.80	85.38	6.07
55.	92.35	84.51	5.98
60.	90.05	88.37	7.78
65.	92.63	84.74	6.67
70.	92.03	85.70	6.40
75.	92.17	84.50	5.62
80.	91.73	86.62	6.33
85.	91.80	83.48	5.51
95.	92.64	82.18	5.10
100.	92.63	83.40	5.48
105.	92.85	83.95	5.61
110.	92.67	84.53	5.88
115.	92.31	84.26	5.23
120.	92.59	85.35	6.35
125.	92.36	84.74	6.00
130.	92.25	84.25	6.16
140.	92.68	84.65	6.25

TABLEAU 5: POURCENTAGE D'EAU, DE CARBONE ORGANIQUE ET DE CARBONATES  
DANS LES SEDIMENTS A LA SORTIE DU LAC WATERLOO (suite).

145.	92.95	85.13	6.24
150.	93.16	84.88	6.79
155.	92.61	85.74	6.61
160.	90.82	92.88	12.31
165.	92.53	85.50	6.72
170.	91.91	87.69	7.71
175.	91.98	85.78	3.35
180.	92.09	84.92	4.85
190.	91.98	87.75	2.97
200.	93.77	63.97	7.09
210.	93.26	60.63	7.31
220.	92.63	59.99	7.46
230.	93.48	61.66	7.22
240.	93.46	62.91	8.63
250.	79.98	84.71	6.98
260.	92.65	53.40	6.75
270.	88.54	35.99	4.76
280.	42.21	2.19	1.99
290.	39.78	1.92	1.75
300.	35.89	1.47	1.84
310.	33.91	1.01	1.79
320.	34.37	.95	2.01
330.	30.25	.59	1.91
340.	27.67	.12	2.07
350.	22.21	.11	1.49
360.	20.73	.24	1.48

TABLEAU 5: POURCENTAGE D'EAU, DE CARBONE ORGANIQUE ET DE CARBONATES  
DANS LES SEDIMENTS A LA SORTIE DU LAC WATERLOO (fin).

370.	20.69	.54	1.43
380.	20.46	.72	1.45
390.	19.53	.72	1.62
400.	22.84	.56	1.81
410.	25.18	.55	1.98
420.	24.63	.56	1.83
430.	30.73	.67	1.89
440.	32.78	.90	2.48

TABLEAU 6: ABONDANCE STRATIGRAPHIQUE D'ELEMENTS GEOCHIMIQUES DANS LES SEDIMENTS DU LAC WATERLOO.

PROF (CM)	CO	ZN	FR	NI	CR	MO	V	SI	AL	MG	CA	NA	K	MN	FE	TI	P	S	CO	C	
1.	43.0	140.0	119.0	46.0	15.0	40.0	-1.0	31.0	20.57	4.78	.64	.99	.74	1.30	.14	3.53	.33	.85	0.000	0.0	30.80
4.	33.0	130.0	120.0	45.0	14.0	38.0	-1.0	30.0	20.45	4.69	.62	.96	.71	1.27	.10	3.42	.30	.76	0.000	1.0	31.81
8.	34.0	118.0	115.0	43.0	13.0	37.0	-1.0	29.0	20.45	4.75	.63	.96	.73	1.24	.08	3.21	.33	.72	0.000	2.0	31.54
12.	29.0	105.0	90.0	42.0	14.0	29.0	-1.0	22.0	19.92	4.56	.59	.97	.70	1.17	.07	3.04	.29	.67	0.000	1.0	33.65
16.	26.0	71.0	45.0	37.0	13.0	27.0	-1.0	19.0	19.46	3.94	.51	1.03	.58	.95	.07	2.42	.28	.61	0.000	4.0	35.65
20.	27.0	75.0	37.0	35.0	14.0	24.0	-1.0	17.0	19.17	3.56	.47	1.04	.58	.88	.06	2.28	.21	.54	0.000	1.0	34.92
24.	29.0	82.0	32.0	34.0	13.0	-1.0	325.0	-1.0	19.28	3.54	.47	1.07	.55	.85	.06	2.12	.24	.51	0.000	1.0	36.17
28.	28.0	80.0	25.0	37.0	14.0	-1.0	275.0	-1.0	18.76	3.30	.45	1.02	.52	.81	.05	1.97	.25	.46	0.000	0.0	27.56
32.	27.0	71.0	20.0	37.0	13.0	-1.0	210.0	-1.0	19.11	3.28	.44	.98	.49	.75	.05	1.79	.20	.36	0.000	1.0	37.56
36.	26.0	73.0	16.0	39.0	14.0	-1.0	190.0	-1.0	18.52	3.06	.41	.95	.50	.75	.04	1.83	.24	.44	0.000	2.0	39.23
40.	25.0	61.0	11.0	34.0	12.0	-1.0	15.0	-1.0	19.19	2.98	.41	.95	.55	.78	.04	1.69	.21	.49	0.000	0.0	36.19
44.	27.0	55.0	9.0	32.0	11.0	-1.0	20.0	-1.0	18.87	2.90	.40	.91	.47	.70	.04	1.56	.20	.14	0.000	1.0	39.81
48.	25.0	63.0	7.0	35.0	11.0	-1.0	160.0	-1.0	19.67	3.06	.41	.88	.52	.72	.03	1.49	.24	.13	0.000	1.0	37.96
52.	24.0	56.0	6.0	32.0	12.0	23.0	-1.0	15.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.0	37.96	
56.	20.0	51.0	6.0	32.0	11.0	-1.0	1350.0	-1.0	20.57	3.23	.42	.85	.53	.73	.03	1.59	.24	.14	0.000	1.0	36.98
60.	20.0	61.0	5.0	34.0	12.0	22.0	-1.0	13.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.0	38.98	
64.	19.0	61.0	5.0	32.0	12.0	23.0	-1.0	15.0	21.27	3.50	.45	.82	.55	.79	.03	1.67	.23	.14	0.000	3.0	26.50
68.	19.0	55.0	4.0	31.0	12.0	23.0	-1.0	16.0	21.03	3.39	.44	.82	.53	.78	.03	1.73	.20	.13	0.000	3.0	34.23
72.	20.0	60.0	6.0	33.0	12.0	-1.0	40.0	-1.0	21.03	3.41	.44	.80	.53	.78	.03	1.64	.25	.14	0.000	1.0	36.91
76.	20.0	56.0	6.0	32.0	12.0	24.0	-1.0	17.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.0	36.91	
80.	20.0	58.0	4.0	32.0	12.0	22.0	-1.0	15.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.0	36.91	
84.	21.0	63.0	6.0	35.0	13.0	24.0	-1.0	17.0	21.15	3.40	.43	.79	.51	.77	.03	1.21	.23	0.00	0.000	3.0	36.22
88.	21.0	55.0	7.0	32.0	13.0	24.0	-1.0	17.0	21.21	3.45	.44	.79	.52	.78	.03	1.80	.24	0.00	0.000	1.0	36.22
92.	21.0	62.0	7.0	35.0	13.0	22.0	-1.0	16.0	20.86	3.44	.44	.80	.71	.84	.02	1.73	.24	0.00	0.000	1.0	35.52
96.	19.0	59.0	5.0	32.0	12.0	24.0	-1.0	17.0	21.39	3.39	.43	.76	.62	.83	.03	1.92	.25	0.00	0.000	1.0	35.52
100.	15.0	61.0	4.0	32.0	13.0	22.0	250.0	15.0	21.85	3.43	.43	.76	.59	.80	.03	1.70	.24	0.00	0.000	2.0	33.03



TABLEAU 6: ABONDANCE STRATIGRAPHIQUE D'ELEMENTS GEOCHIMIQUES DANS LES SEDIMENTS DU LAC WATERLOO (suite).

295.	17.0	50.0	5.0	30.0	12.0	22.0	135.0	17.0	25.06	3.30	.43	.74	.58	.85	.04	1.80	.20	.07	.026	.2	27.13
307.	15.0	50.0	5.0	28.0	12.0	22.0	120.0	18.0	25.58	3.36	.44	.76	.65	.89	.03	1.86	.24	.09	.028	.5	28.05
319.	23.0	55.0	4.0	32.0	13.0	23.0	150.0	19.0	25.29	3.33	.42	.77	.67	.87	.03	1.93	.21	.10	.021	.7	26.75
331.	23.0	55.0	5.0	31.0	12.0	20.0	125.0	16.0	25.29	3.36	.42	.78	.65	.84	.03	2.00	.20	.11	.023	.7	25.28
347.	20.0	50.0	4.0	30.0	11.0	18.0	110.0	15.0	25.11	3.31	.42	.78	.59	.83	.03	1.88	.21	.07	.023	1.0	24.62
359.	10.0	42.0	5.0	22.0	8.0	18.0	125.0	15.0	26.27	3.20	.42	.77	.58	.81	.03	1.65	.23	.06	.022	.5	25.12
371.	17.0	47.0	5.0	25.0	10.0	18.0	25.0	16.0	25.77	3.44	.44	.81	0.00	.83	.03	1.75	.28	.05	.025	.5	13.57
383.	17.0	47.0	5.0	25.0	9.0	18.0	25.0	15.0	26.12	3.34	.44	.80	0.00	.81	.03	1.70	.24	.07	.025	.7	22.14
395.	17.0	43.0	4.0	25.0	9.0	21.0	120.0	17.0	25.81	3.50	.46	.82	.64	.92	.03	1.77	.23	.03	.025	0.0	22.33
407.	11.0	38.0	4.0	22.0	9.0	19.0	110.0	17.0	26.33	3.69	.47	.82	.73	.98	.03	1.77	.24	.08	.026	.5	23.40
419.	10.0	48.0	4.0	29.0	10.0	22.0	30.0	19.0	27.43	3.48	.46	.81	.65	.90	.03	1.68	.20	.04	.026	.5	23.79
431.	10.0	49.0	2.0	24.0	8.0	21.0	35.0	17.0	26.22	3.30	.44	.78	.61	.98	.03	1.60	.20	.03	.024	.7	22.72
443.	19.0	45.0	2.0	26.0	9.0	22.0	150.0	18.0	24.24	3.24	.43	.78	.53	.84	.03	1.60	.20	.06	0.000	.7	23.98
455.	13.0	31.0	2.0	23.0	7.0	13.0	110.0	14.0	24.24	3.25	.43	.80	.58	.88	.03	1.65	.20	.05	0.000	0.0	22.69
467.	10.0	33.0	3.0	22.0	8.0	15.0	125.0	14.0	26.12	3.50	.47	.80	.64	.95	.03	1.96	.24	.03	.019	1.0	21.28
479.	27.0	46.0	3.0	30.0	10.0	21.0	150.0	18.0	27.87	3.66	.49	.82	.67	.95	.03	2.06	.25	.03	.025	.5	21.54
491.	21.0	45.0	2.0	36.0	11.0	23.0	140.0	19.0	26.18	3.84	.51	.85	.70	.98	.04	2.08	.28	.02	.026	.5	24.90
503.	20.0	49.0	3.0	36.0	12.0	24.0	180.0	20.0	25.81	3.91	.54	.87	.71	1.01	.04	2.24	.25	.06	.023	.2	24.18
515.	20.0	51.0	4.0	32.0	11.0	24.0	30.0	21.0	24.42	4.09	.56	.93	.76	1.06	.04	2.30	.26	.03	.020	.2	24.33
527.	17.0	42.0	3.0	29.0	10.0	21.0	20.0	18.0	24.37	4.35	.62	.92	.85	1.18	.04	2.43	.28	.06	.030	.5	22.19
539.	17.0	42.0	2.0	30.0	10.0	20.0	25.0	17.0	24.95	4.15	.60	.90	.86	1.18	.04	2.41	.29	.06	.030	.2	21.32
551.	20.0	47.0	5.0	37.0	12.0	24.0	155.0	21.0	26.18	4.60	.65	.88	1.04	1.31	.04	2.67	.33	.04	0.000	0.0	22.83
563.	28.0	50.0	4.0	39.0	14.0	24.0	40.0	23.0	25.42	4.09	.65	.90	.94	1.21	.05	2.83	.28	.07	0.000	.2	16.57
575.	29.0	50.0	3.0	38.0	14.0	21.0	20.0	20.0	25.30	4.21	.66	.97	1.00	1.33	.05	3.64	.30	.08	0.000	0.0	12.49
587.	21.0	43.0	5.0	37.0	14.0	20.0	100.0	18.0	25.12	5.75	.84	1.17	1.45	1.70	.06	4.38	.38	.06	.048	.2	12.50
599.	31.0	50.0	7.0	40.0	17.0	21.0	85.0	20.0	24.54	5.55	.86	1.19	1.47	1.66	.08	5.20	.38	.10	.037	.2	8.45

TABLEAU 6: ABONDANCE STRATIGRAPHIQUE D'ELEMENTS GEOCHIMIQUES DANS LES SEDIMENTS DU LAC WATERLOO (suite).

690.	33.0	57.0	7.0	38.0	19.0	23.0	25.0	17.0	25.53	6.24	.91	1.25	1.60	1.91	.07	5.55	.43	.10	.050	.2	8.10
610.	25.0	47.0	6.0	34.0	18.0	19.0	75.0	13.0	27.11	6.59	.98	1.24	1.68	1.99	.08	5.28	.46	.10	.050	.2	4.77
620.	20.0	48.0	6.0	33.0	19.0	22.0	60.0	17.0	28.22	6.96	.98	1.24	1.76	2.08	.11	5.67	.53	.10	.050	.2	3.74
630.	21.0	52.0	11.0	41.0	20.0	19.0	65.0	16.0	29.80	7.23	.96	1.14	1.85	2.16	.07	4.52	.51	.10	.060	.2	1.53
640.	11.0	35.0	11.0	36.0	18.0	20.0	45.0	15.0	31.14	7.38	.97	1.14	1.94	2.16	.06	3.80	.58	.03	.050	.2	1.32
650.	10.0	35.0	5.0	34.0	16.0	17.0	55.0	12.0	31.96	7.71	1.06	1.13	1.95	2.32	.06	3.70	.60	.10	.064	0.6	1.38
660.	16.0	31.0	8.0	34.0	16.0	18.0	30.0	11.0	30.50	7.35	1.15	1.27	2.01	2.01	.12	3.94	.51	.11	.050	.2	1.65
680.	17.0	31.0	7.0	30.0	15.0	19.0	20.0	12.0	30.33	7.30	1.22	1.36	2.08	2.47	.10	4.05	.50	.11	.064	.2	1.59
670.	11.0	36.0	8.0	35.0	16.0	20.0	20.0	13.0	30.09	7.69	1.33	1.28	1.92	2.54	.09	4.32	.60	.11	.064	.2	1.62
700.	15.0	28.0	7.0	27.0	14.0	16.0	15.0	3.0	30.09	7.06	1.18	1.72	2.05	2.29	.08	3.76	.56	.12	.054	.2	1.60
710.	15.0	30.0	6.0	28.0	15.0	23.0	15.0	26.0	30.73	7.29	1.27	1.75	1.97	2.32	.08	3.98	.56	.12	.063	.2	1.51
720.	16.0	31.0	5.0	29.0	15.0	22.0	15.0	24.0	30.62	7.30	1.24	1.76	1.98	2.30	.10	4.01	.60	.11	.048	.2	1.18
740.	16.0	29.0	6.0	26.0	13.0	22.0	15.0	23.0	30.68	7.09	1.18	1.76	1.99	2.22	.08	3.83	.54	.11	.062	.2	1.55
750.	16.0	27.0	7.0	27.0	14.0	22.0	10.0	18.0	30.27	7.10	1.22	1.76	2.01	2.29	.08	3.75	.60	.13	.055	.2	1.15
770.	15.0	28.0	7.0	25.0	13.0	18.0	10.0	15.0	31.08	6.84	1.07	1.93	2.08	2.12	.07	3.55	.59	.12	.059	.7	1.18
780.	14.0	26.0	7.0	24.0	13.0	16.0	10.0	13.0	31.03	6.94	1.11	2.04	2.09	2.15	.07	3.48	.56	.11	.057	.2	1.94
790.	14.0	25.0	6.0	25.0	13.0	20.0	10.0	11.0	30.97	6.96	1.11	2.03	2.09	2.20	.07	3.56	.55	.10	.052	.2	2.32
810.	16.0	25.0	8.0	27.0	13.0	17.0	15.0	11.0	31.08	6.96	1.13	1.98	2.10	2.23	.06	3.51	.53	.11	.062	.2	1.60
820.	17.0	31.0	7.0	29.0	15.0	20.0	10.0	11.0	29.57	7.14	1.24	1.97	1.97	2.33	.07	3.78	.53	.11	.062	.2	12.78
830.	16.0	26.0	8.0	25.0	12.0	20.0	10.0	13.0	31.20	6.72	1.07	2.13	2.07	2.06	.06	3.39	.43	.10	.059	.2	.77
840.	17.0	29.0	8.0	26.0	15.0	24.0	15.0	13.0	28.80	6.70	1.21	2.22	1.97	2.09	.08	4.83	.79	.11	.064	.2	0.90
850.	15.0	27.0	6.0	22.0	12.0	19.0	10.0	12.0	31.20	6.38	1.00	2.62	2.37	1.83	.06	3.13	.46	.12	.048	.2	0.00
870.	20.0	28.0	12.0	39.0	19.0	30.0	15.0	13.0	28.30	7.15	1.40	2.29	1.84	2.25	.09	4.26	.48	.10	.068	.2	0.00
890.	10.0	20.0	6.0	20.0	11.0	18.0	20.0	17.0	31.44	6.19	.91	2.31	2.26	1.76	.06	2.93	.36	.10	.040	.2	0.00
900.	9.0	13.0	5.0	13.0	7.0	13.0	15.0	13.0	32.25	5.94	.69	2.22	2.45	1.59	.05	2.46	.41	.12	.051	.2	0.00
910.	9.0	12.0	5.0	12.0	7.0	12.0	15.0	10.0	33.10	5.96	.67	2.23	2.46	1.74	.05	2.64	.41	.13	.055	2.5	0.00

TABLEAU 6: ABONDANCE STRATIGRAPHIQUE D'ELEMENTS GEOCHIMIQUES DANS LES SEDIMENTS DU LAC WATERLOO (fin).

920.	17.0	23.0	8.0	22.0	11.0	18.0	15.0	11.0	31.67	6.39	1.01	2.70	2.10	1.84	.07	3.19	.45	.11	.029	4.0	0.00
930.	15.0	17.0	6.0	18.0	10.0	12.0	15.0	10.0	31.04	6.18	.84	2.37	2.22	1.74	.06	3.00	.46	.11	.044	.2	0.00
950.	10.0	11.0	5.0	13.0	7.0	8.0	10.0	10.0	32.36	5.93	.67	2.16	2.37	1.66	.05	2.70	.46	.12	.021	.2	0.00
960.	17.0	20.0	8.0	29.0	15.0	24.0	15.0	11.0	29.46	6.69	1.15	2.10	1.95	1.96	.07	3.73	.43	.11	.057	.2	0.00
970.	15.0	19.0	6.0	21.0	11.0	19.0	20.0	12.0	30.91	6.23	.94	2.51	2.18	1.75	.07	3.32	.49	.27	.051	4.0	0.00
980.	15.0	22.0	4.0	21.0	11.0	18.0	15.0	11.0	30.91	6.25	.94	2.45	2.16	1.79	.07	3.05	.44	.27	.046	.2	0.00

Note: -1.0 indique un échantillon insuffisant.

0.000 indique une abondance indéterminée.

TABLEAU 7: MATRICE DE CORRELATION DES ELEMENTS GEOCHIMIQUES ET DE LA PROFONDEUR DES SEDIMENTS DU LAC WATERLOO.

Profondeur	Cu	Zn	Pb	Ni	Co	Cr	Hg	VV	Si	Al	Mg	Ca	Na	K	Mn	Fe	Ti	P	F	Cd	C	
0.00	1.000																					
0.15	1.000																					
0.72	.728	1.000																				
0.93	.616	.762	1.000																			
0.16	.834	.719	.503	1.000																		
0.61	.425	.161	.192	.647	1.000																	
0.88	.605	.129	.670	.699	.355	1.000																
0.51	.417	.550	.492	.595	.006	.438	1.000															
0.99	.546	.601	.546	.530	.127	.746	.352	1.000														
0.14	-.580	-.513	-.152	-.405	.034	-.325	-.357	-.182	1.000													
0.94	-.186	-.462	.044	-.162	.433	-.194	-.326	-.190	.822	1.000												
0.78	-.171	-.478	.010	-.125	.483	-.144	-.351	-.199	.741	.971	1.000											
0.31	-.519	-.569	-.011	-.405	.107	-.327	-.335	-.356	.715	.828	.818	1.000										
0.07	-.555	-.657	-.090	-.395	.267	-.392	-.416	-.363	.743	.929	.903	.914	1.000									
0.16	-.190	-.491	.014	-.155	.400	-.210	-.363	-.218	.763	.986	.933	.801	.932	1.000								
0.12	-.227	-.454	.045	.168	.544	.164	-.067	.099	.541	.823	.821	.649	.699	.826	1.000							
0.67	.128	-.255	.161	.103	.620	-.014	-.274	-.014	.660	.904	.891	.667	.789	.902	.868	1.000						
0.74	-.191	-.471	.021	-.172	.433	-.209	-.315	-.215	.748	.961	.953	.811	.907	.959	.793	.875	1.000					
0.178	.587	.554	.880	.406	.132	.452	.410	.354	-.049	.143	.111	.168	.035	.107	.528	.235	.126	1.000				
0.47	-.565	-.613	-.220	-.514	.336	-.327	-.514	-.350	.661	.820	.847	.685	.828	.857	.602	.740	.805	-.117	1.000			
0.133	.615	.072	.111	.028	-.045	.032	.152	-.076	.050	.027	-.042	.064	-.018	-.039	-.025	-.068	.024	.204	-.137	1.000		
0.956	.393	.692	.195	.429	-.237	.417	.511	.301	-.733	-.873	-.868	-.816	-.942	-.896	-.631	-.769	-.853	.107	-.886	.114	1.000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	

**TABLEAU 8: POIDS SUR LES TROIS FACTEURS A, B ET C DES VARIABLES GEO-CHIMIQUES CALCULES AU MOYEN D'UNE ANALYSE FACTORIELLE DE TYPE-R POUR LES SEDIMENTS DU LAC WATERLOO.**

Variable	A	B	C
Profondeur (cm)	.84031	.28592	.24599
Cuivre	-.17614	-.58850	-.60494
Zinc	-.47436	-.62010	-.35366
Plomb	.06742	-.89833	-.11846
Nickel	-.19462	-.35947	-.82185
Cobalt	.40131	-.03960	-.87724
Chrome	-.16551	-.44032	-.58788
Mercure	-.36201	-.60255	-.09485
Vanadium	-.14806	-.72074	-.13785
Silicium	.80447	.18639	.30660
Aluminium	.98492	.01888	-.04496
Magnésium	.97155	.05314	-.11389
Calcium	.85641	-.07195	.28304
Sodium	.93890	.08266	.12931
Potassium	.98037	.05245	-.08856
Manganèse	.84383	-.39168	-.22024
Fer	.90983	-.07403	-.30608
Titane	.95548	.02501	-.06365
Phosphore	.16656	-.93457	-.08536
Fluor	.84935	.28675	-.02372
Cadmium	-.01848	-.12526	.01972
Carbone	-.90790	-.23263	-.13054
Variance expliquée (%)	47.7	16.5	11.5

## ANNEXE 2: FIGURES



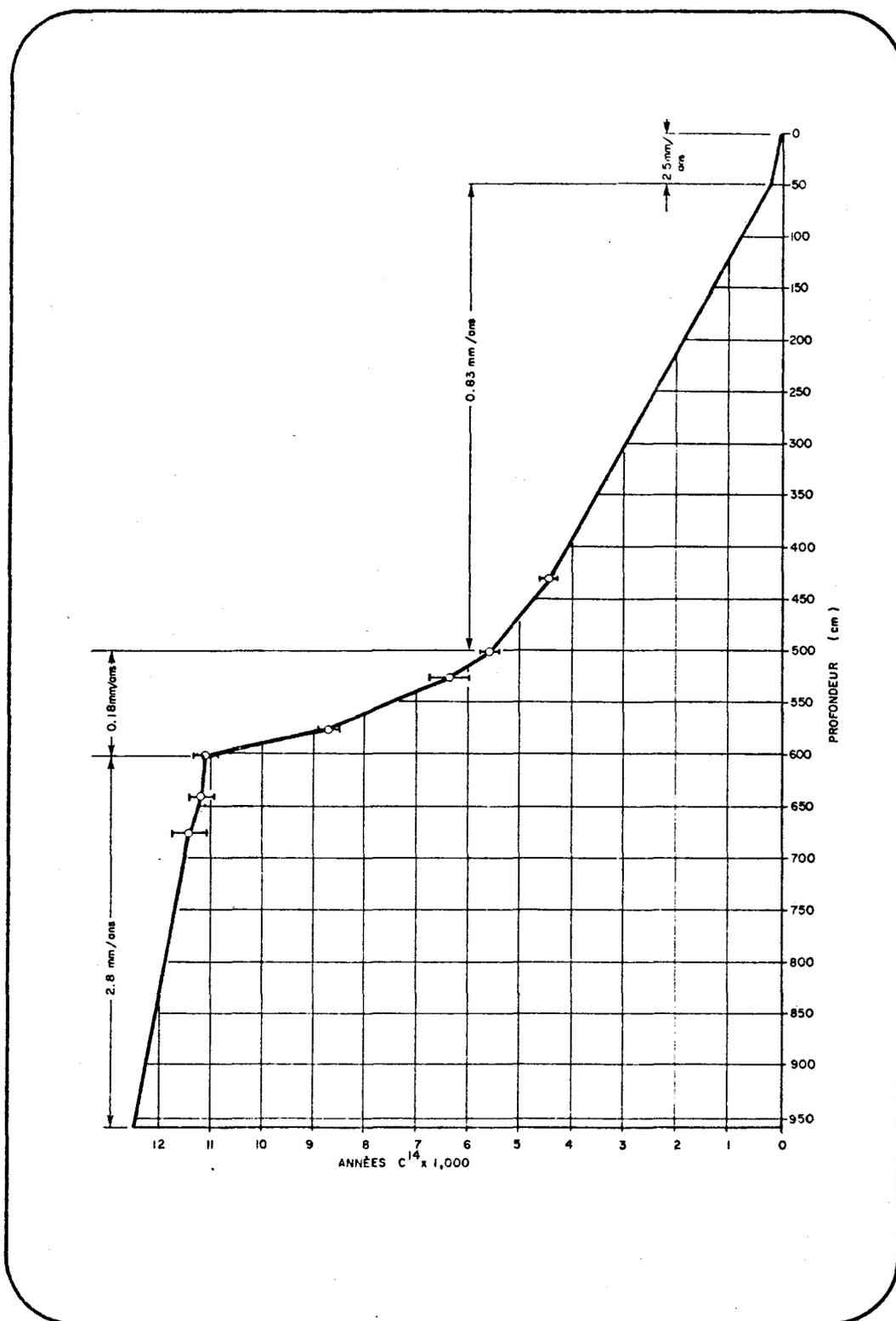


Fig. 2: Taux de sédimentation tardiglaciaire et postglaciaire du lac Waterloo.

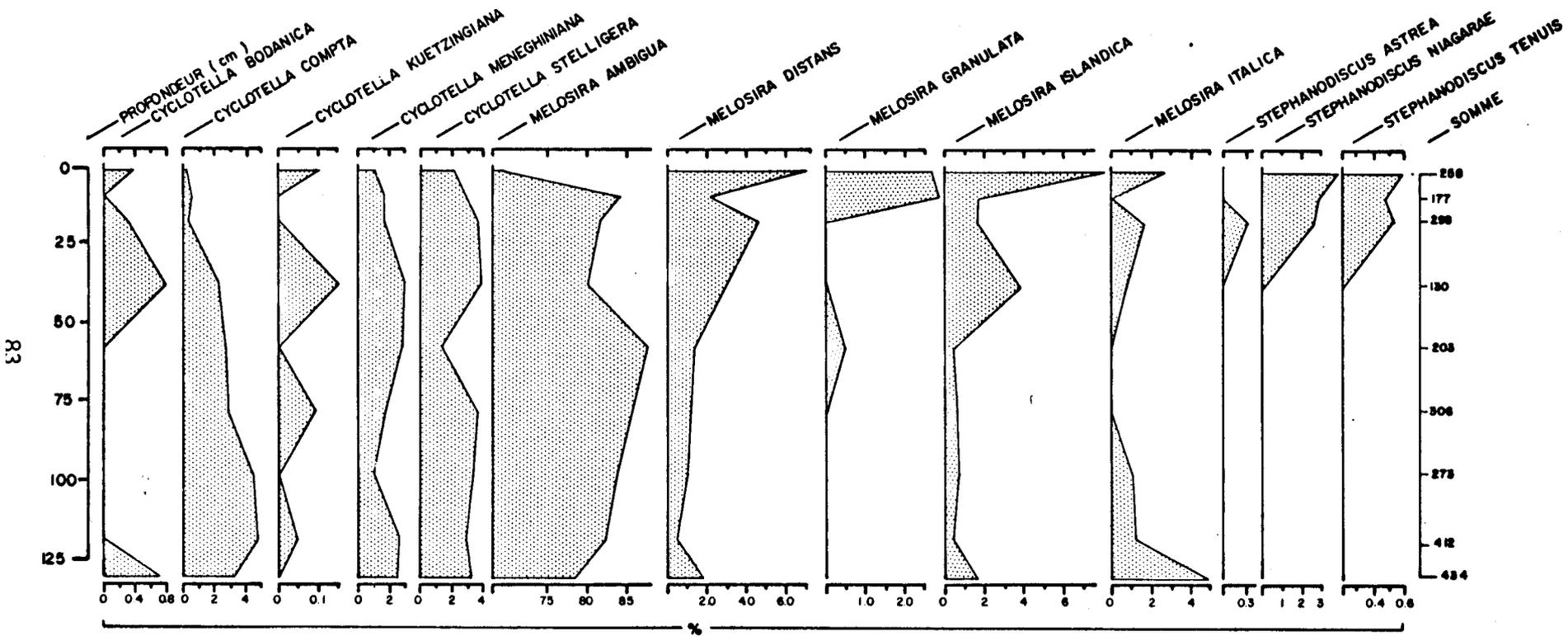


Fig. 3 . DISTRIBUTION STRATIGRAPHIQUE DE QUELQUES DIATOMÉES DANS LA PARTIE SUPÉRIEURE DES SÉDIMENTS DU LAC WATERLOO.

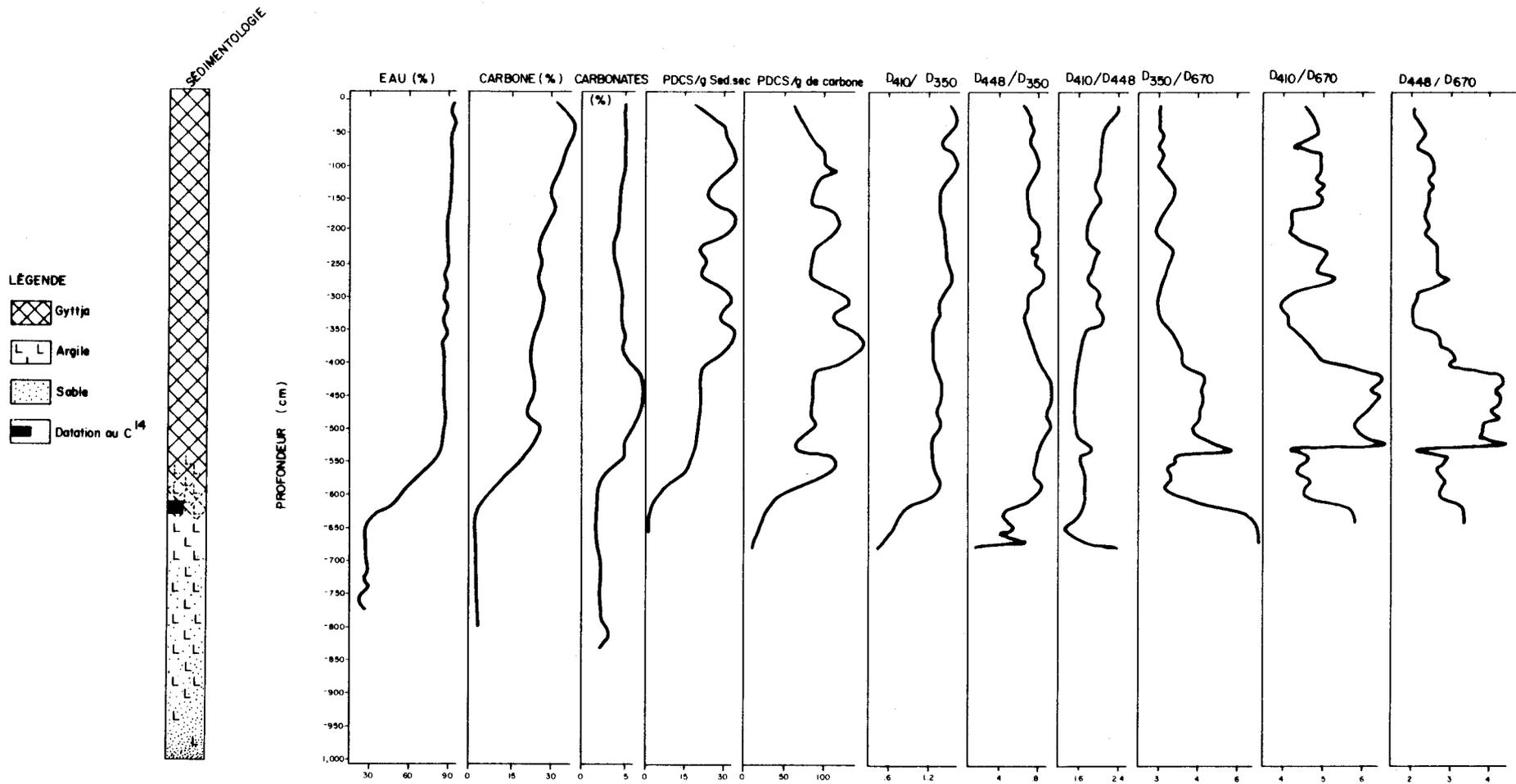


Fig. 4: Distribution stratigraphique des pigments dans les sédiments du lac Waterloo.

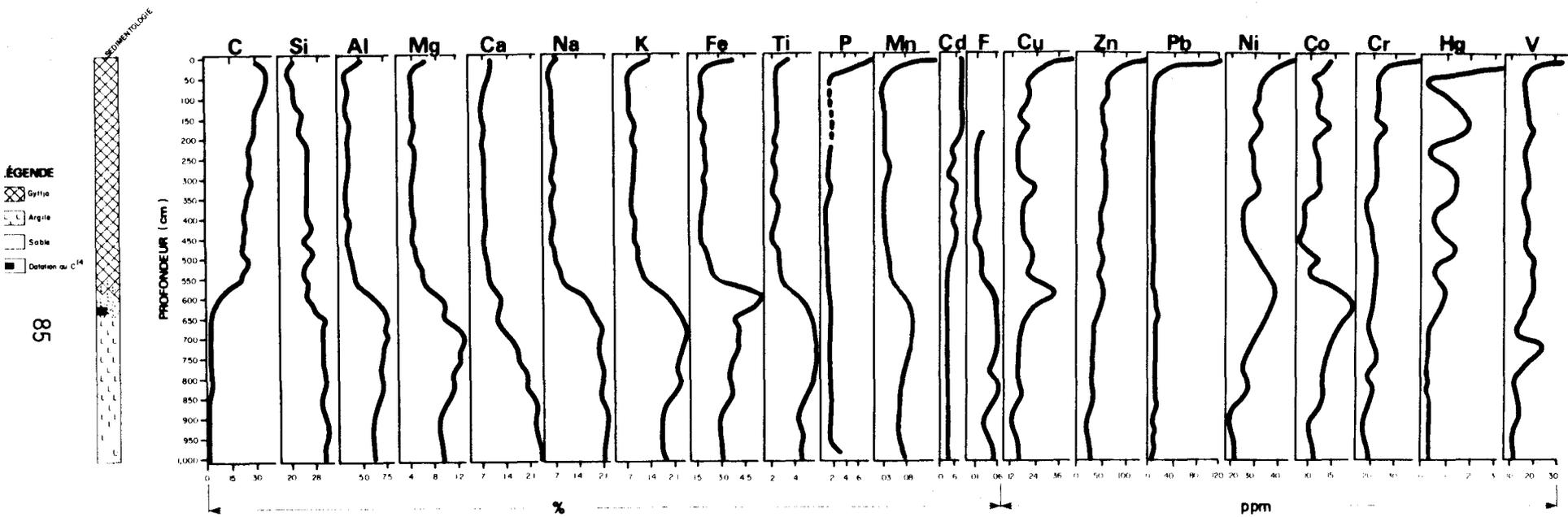


Fig. 5: Distribution stratigraphique d'éléments géochimiques dans les sédiments du lac Waterloo.

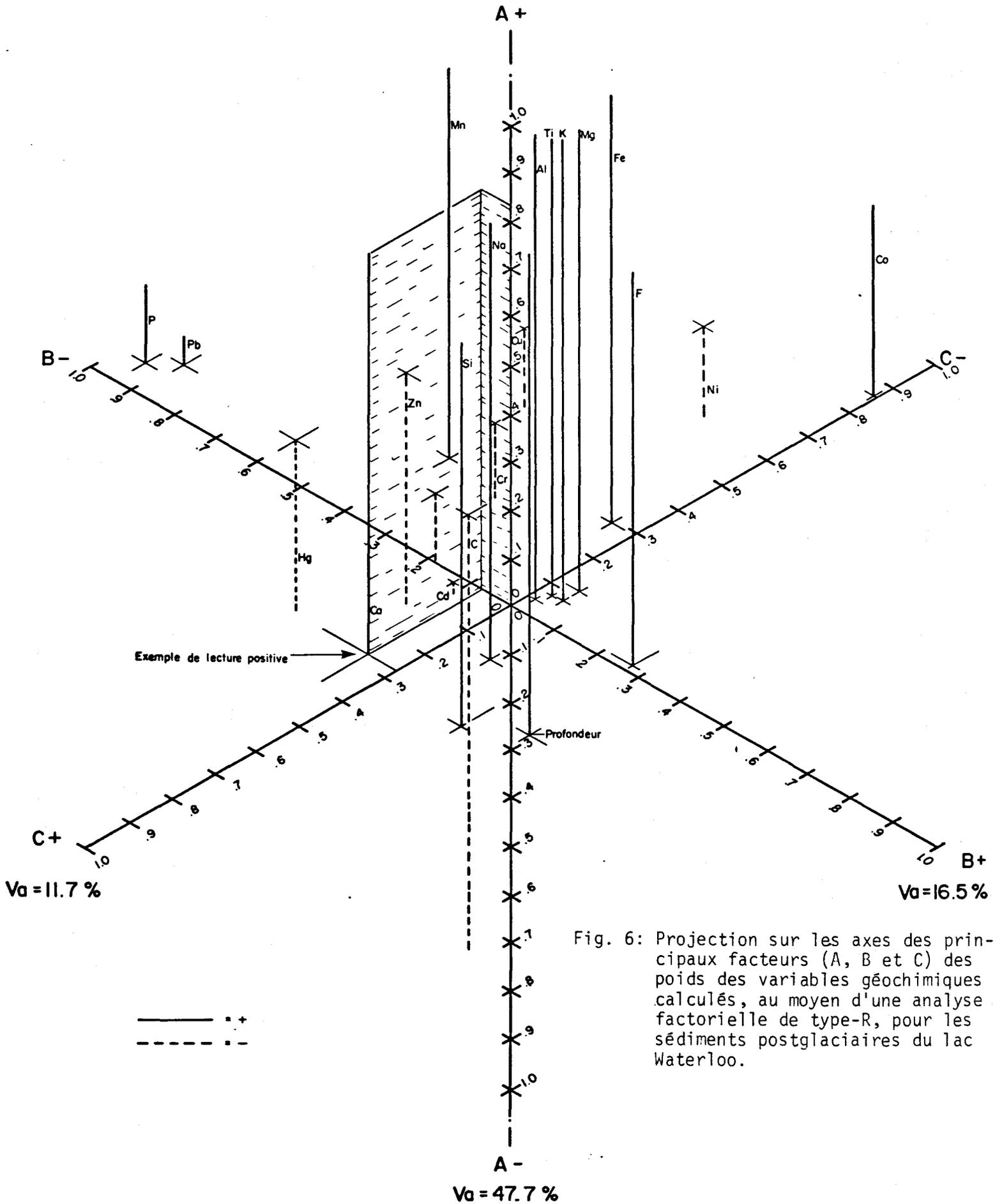


Fig. 6: Projection sur les axes des principaux facteurs (A, B et C) des poids des variables géochimiques calculés, au moyen d'une analyse factorielle de type-R, pour les sédiments postglaciaires du lac Waterloo.

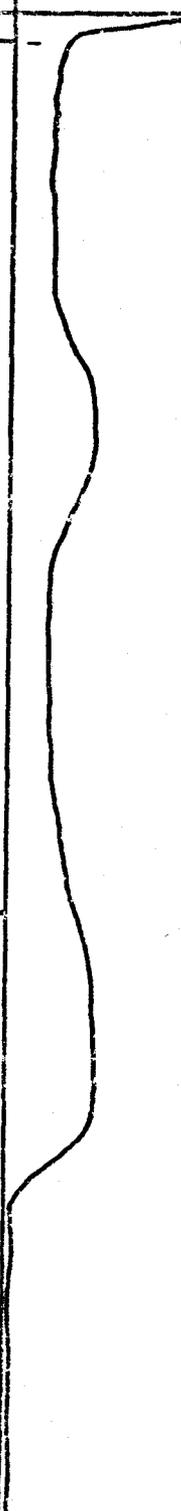
Ans A.A. 10 <sup>3</sup>	Chronostratigraphie	Zone pollinique	Végétation	Climat	Pigment	Algue	Géochimie	Paléo-productivité
	P O S T G L A C I A I R E	C-3b	Agricole			Stephanodiscus Melosira Cyclotella	Anthropique	-  +
2		C-3a	Erablière à bouleau jaune	Plus froid et humide	?			
4		C-2	Erablière Laurentienne	Chaud et humide	Abondant	?	Organique	
6		C-1	Erablière à bouleau jaune	Plus chaud ?	Moins abondant			
8		B	Erablière à bouleau blanc ? et sapin	Plus chaud et sec				
10		A-3	Sapinière à bouleau blanc	moins froid	Abondant	Pediastrum	Organo-minérale	
12		A-2	Pessière à bouleau glanduleux et peuplier	Froid				
12		A-1	Bétulaie herbeuse	Très froid	Nil	?	Minérale	
14	GLACIATION DU WISCONSIN							

Fig. 7: Chronologie de l'histoire paléoécologique du lac Waterloo.