

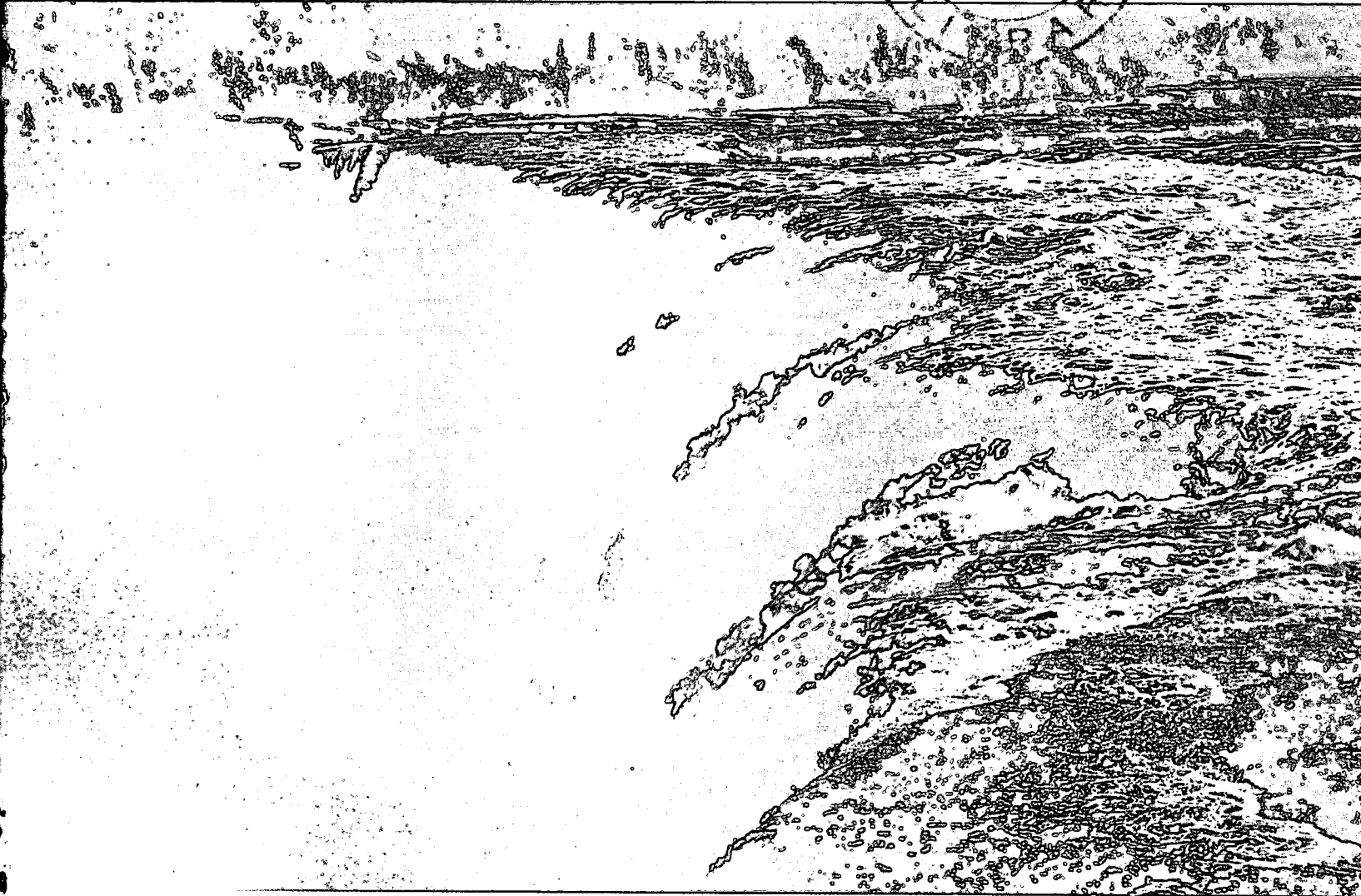
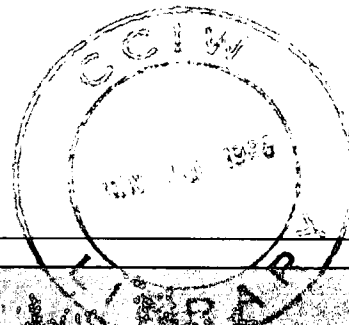


Environnement  
Canada

Environment  
Canada

# Evolution recente de la qualité de l'eau de la rivière Niagara

K.W. Kuntz



ÉTUDE N° 146, COLLECTION DES RAPPORTS  
TECHNIQUES

GB  
707  
C338  
no. 146F

Locator No: WQMS88-016  
Contribution No: 88-46F

DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX INTÉRIEURES  
RÉGION DE L'ONTARIO  
DIRECTION DE LA QUALITÉ DES EAUX  
BURLINGTON (ONTARIO) 1988

*(Available in English on request)*



Environnement  
Canada

Environment  
Canada

# Évolution récente de la qualité de l'eau de la rivière Niagara

**K.W. Kuntz**

**ÉTUDE N° 146, COLLECTION DES RAPPORTS  
TECHNIQUES**

**DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX INTÉRIEURES  
RÉGION DE L'ONTARIO  
DIRECTION DE LA QUALITÉ DES EAUX  
BURLINGTON (ONTARIO) 1988**

*(Available in English on request)*

**Publié avec l'autorisation  
du ministre de l'Environnement**

**© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1988**

**N° de cat. En 36-503/146F**

**ISBN 0-662-94780-0**

# Table des matières

	Page
RÉSUMÉ .....	v
ABSTRACT .....	v
INTRODUCTION .....	1
MÉTHODES D'ÉCHANTILLONNAGE .....	1
Emplacement et appareillage .....	1
Analyses chimiques .....	1
DISCUSSION .....	2
Paramètres physiques .....	2
Substances nutritives .....	3
Phosphore total .....	3
Azote des nitrates et des nitrites .....	5
Silice réactive .....	7
Apports .....	7
Ions principaux .....	8
Métaux à l'état de traces .....	13
SOMMAIRE .....	16
RÉFÉRENCES .....	16

## Tableaux

1. Paramètres physiques .....	2
2. Apports annuels de substances nutritives .....	7
3. Concentrations moyennes annuelles des ions principaux .....	8
4. Apports annuels des ions principaux .....	9
5. Concentrations médianes annuelles des métaux à l'état de traces .....	14
6. Pourcentages d'échantillons de métaux à l'état de traces ne respectant pas les objectifs de l'accord de 1978 .....	14
7. Apports annuels de métaux totaux à l'état de traces .....	14

## Illustrations

Figure 1. Débits mensuels de 1976 à 1983 .....	2
Figure 2. Graphiques des moyennes mensuelles et des moyennes mobiles de 12 mois pour la conductivité spécifique .....	3

## Illustrations (suite)

	Page
Figure 3. Valeurs mensuelles de la turbidité de 1981 à 1983 . . . . .	3
Figure 4. Concentrations mensuelles de phosphore total de 1976 à 1983 . . . . .	4
Figure 5. Graphiques des moyennes mensuelles et des moyennes mobiles de 12 mois pour les concentrations de phosphore total . . . . .	4
Figure 6. Apports annuels de phosphore total . . . . .	5
Figure 7. Concentrations mensuelles d'azote des nitrates de 1976 à 1983 . . . . .	6
Figure 8. Graphiques des moyennes mensuelles et des moyennes mobiles de 12 mois pour les concentrations d'azote des nitrates . . . . .	6
Figure 9. Concentrations mensuelles de la silice réactive de 1981 à 1983 . . . . .	7
Figure 10. Apports annuels de nitrates . . . . .	8
Figure 11. Moyennes mensuelles des concentrations des ions principaux et du débit en 1982 . . . . .	9
Figure 12. Comparaison des courbes de l'alcalinité totale, de la concentration de calcium et de la conductivité spécifique de 1975 à 1982 . . . . .	10
Figure 13. Concentrations annuelles des chlorures de 1975 à 1983 . . . . .	10
Figure 14. Concentrations annuelles de sodium de 1975 à 1983 . . . . .	11
Figure 15. Graphiques des moyennes mensuelles et des moyennes mobiles de 12 mois pour les concentrations de chlorures . . . . .	11
Figure 16. Graphiques des moyennes mensuelles et des moyennes mobiles de 12 mois pour les concentrations de sodium . . . . .	12
Figure 17. Graphiques des moyennes mensuelles et des moyennes mobiles de 12 mois pour les concentrations de calcium . . . . .	12
Figure 18. Graphiques des moyennes mensuelles et des moyennes mobiles de 12 mois pour l'alcalinité totale . . . . .	12
Figure 19. Apports annuels de chlorures pour les rivières Niagara et Detroit . . . . .	13
Figure 20. Graphiques des moyennes mensuelles et des moyennes mobiles de 12 mois pour les concentrations du fer total . . . . .	15
Figure 21. Graphiques des moyennes mensuelles et des moyennes mobiles de 12 mois pour les concentrations de l'aluminium extractible . . . . .	15
Figure 22. Graphiques des moyennes mensuelles et des moyennes mobiles de 12 mois pour les concentrations du plomb total . . . . .	15

## Résumé

Les résultats de l'analyse des échantillons d'eau prélevés dans la rivière Niagara à Niagara-on-the-Lake au cours de la période de 1976 à 1983 sont examinés. Les moyennes annuelles de la concentration et de l'apport estimatif sont présentées pour divers paramètres physiques, substances nutritives, ions importants et métaux à l'état de traces. Les moyennes mensuelles sont également données pour faire voir les variations saisonnières. Les apports annuels calculés sont comparés aux estimations historiques. La tendance à long terme observée pour les paramètres choisis est analysée, ainsi que le respect des objectifs établis dans l'Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs de 1978.

## Abstract

Results from Niagara River water samples collected at Niagara-on-the-Lake over the period 1976 to 1983 are discussed. Annual mean concentrations and estimated annual mean loadings for selected physical parameters, nutrients, major ions, and trace metals are presented. Monthly mean values have also been included to indicate seasonal changes. Annual loadings are compared to historic loading estimates. The observed long-term trend for selected parameters and compliance with the 1978 Great Lakes Water Quality Agreement specific objectives are discussed.

# Évolution récente de la qualité de l'eau dans la rivière Niagara

K.W. Kuntz

## INTRODUCTION

Les changements dans les caractéristiques chimiques des eaux des Grands Lacs sont dus surtout à l'augmentation rapide des apports par charriage dans les bassins, augmentation qui découle principalement de l'accroissement des populations dans la région depuis 1900 (Beeton, 1965). Des estimations exactes des changements relatifs à la quantité de matières aboutissant dans les Grands Lacs sont requises pour l'évaluation des tendances, la mise au point de modèles et la planification ainsi que la bonne gestion des ressources en eau de la région.

La rivière Niagara est le principal tributaire du lac Ontario (Casey et Salbach, 1974) : elle fournirait plus de 85 % de l'alimentation totale en eau du lac; elle serait à l'origine d'environ 50 % des entrées d'azote et de phosphore, de toutes sources, dans le lac. La Niagara est en outre le seul exutoire pour les eaux du lac Érié; elle charrierait 50 % de toutes les matières solides à grains fins (dimensions du limon et de l'argile) entrant dans le lac Ontario (Kemp et Harper, 1976).

Vu l'importance des apports de la rivière Niagara pour la qualité des eaux du lac Ontario, la Direction de la qualité des eaux de la Direction générale des eaux intérieures, région de l'Ontario (DQE-RO), a établi une station de contrôle journalier à l'embouchure de la rivière, à Niagara-on-the-Lake, en 1975. L'un de ses principaux objectifs a été d'obtenir des estimations annuelles des apports de certaines substances chimiques et de déterminer l'évolution de la qualité de l'eau dans la rivière Niagara. Le présent rapport porte sur l'évolution des concentrations et des apports au cours de la période 1976 à 1983.

## MÉTHODES D'ÉCHANTILLONNAGE

### Emplacement et appareillage

Les échantillons ont été prélevés à la station de traitement d'eau de la municipalité régionale de Niagara, à Niagara-on-the-Lake, à environ 1.6 km en amont du lac

Ontario, du côté ontarien de la rivière. Cet emplacement a été choisi parce que des relevés effectués dans cette partie de la rivière en 1974 avaient indiqué que l'eau y était chimiquement homogène, que sa qualité ne variait pas sur le plan transversal (Chan, 1977) et qu'elle était donc représentative de la qualité de l'eau s'écoulant dans le lac Ontario.

Les échantillons d'eau ont été prélevés journalièrement au moyen d'une tubulure de prélèvement, d'une pompe immergée et d'un échantillonneur d'eau à prélèvement journalier. La tubulure de prélèvement, constituée d'un tube de polyéthylène noir de 1.9 cm (D.I.), a été placée dans la rivière et ancrée à la rive au moyen d'un câble d'acier de 0.6 cm; on lui a ajouté du poids pour l'immerger jusqu'au fond. Le tube a été relié à une bouée Espar ancrée, le bout du tube flottant librement au-dessus du fond. Le tube s'étendait jusqu'à un point situé approximativement à 60 m de la rive, dans le courant principal de la rivière. Il remontait le long de la bouée jusqu'à une distance d'environ 6 m du fond et 13 m de la surface. Il a été allongé d'environ 2 m au moyen d'un tube de polyéthylène bouché au bout. Une série de trous de 0.3 cm ont été percés sur une distance d'environ 1 m à partir du bout de manière à constituer un filtre grossier, empêchant les poissons et les plantes d'entrer dans le tube. On trouvera une description complète du dispositif d'échantillonnage dans Kuntz et coll. (1982).

### Analyses chimiques

Les analyses chimiques des échantillons d'eau ont été effectuées conformément au *Manuel des méthodes analytiques* (Environnement Canada, 1979). Les paramètres physiques (turbidité, débit et conductivité spécifique à 25 °C) et les substances nutritives (phosphore total, azote Kjeldahl total, azote des nitrates et des nitrites et silice réactive soluble) ont été mesurés chaque jour, tandis que les ions principaux (alcalinité totale, calcium, sulfate, chlorure, sodium, magnésium et potassium) ainsi que les métaux totaux (toutes formes) à l'état de traces (fer, aluminium, manganèse, cuivre, zinc, nickel, chrome, cadmium, plomb, arsenic et mercure) l'ont été chaque semaine.

## DISCUSSION

### Paramètres physiques

Les débits mensuels moyens calculés pour les huit années de 1976 à 1983 varient entre un minimum de  $5950 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  pour février, et un maximum de  $6721 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  pour mai, ce qui représente un écart d'environ 13 % (figure 1). Les pointes ont été mesurées en avril, mai et juin, et sont attribuables au ruissellement printanier. Les minimums d'hiver ont été enregistrés en janvier et février à la suite du gel. Les moyennes annuelles (tableau 1) ont fluctué entre  $6714 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  en 1976, et  $6102 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , en 1977, ce qui représente un écart d'environ 10 %.

Pour la conductivité spécifique à  $25^\circ\text{C}$ , les moyennes pour chaque mois fluctuent entre un minimum de  $295 \mu\text{S cm}^{-1}$  en avril, durant la période des débits de pointe, et un maximum de  $314 \mu\text{S cm}^{-1}$ , en février, durant la période d'étiage. Les concentrations élevées de chlorure et de sodium, attribuables aux épandages de sel sur les routes en hiver, ont pu causer une partie de l'augmentation observée à la période d'étiage. Depuis que la conductivité spécifique est mesurée, celle-ci est passée de  $310 \mu\text{S cm}^{-1}$  en moyenne en 1977 à environ  $298 \mu\text{S cm}^{-1}$  en 1983 (tableau 1). Le rythme annuel de diminution, calculé d'après la courbe des moyennes mobiles de 12 mois (figure 2), est d'environ  $2.2 \mu\text{S cm}^{-1}$ . La valeur de  $r$  pour la droite des moyennes mobiles est de  $-0.90$ , ce qui indique un bon ajustement et est significatif au niveau de 1 %. La valeur de  $F$  pour l'analyse de la variance est de 345, ce qui

Tableau 1. Paramètres physiques

Année	Débit ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ )	Conductivité spécifique à $25^\circ\text{C}$ ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	Turbidité (UJT)
1976	6714	306	—
1977	6102	310	—
1978	6190	308	—
1979	6303	310	—
1980	6574	300	—
1981	6265	300	2.9
1982	6296	297	4.7
1983	6473	298	4.5

indique une diminution significative avec un niveau de confiance de 99 %. La majeure partie de la diminution de la conductivité spécifique peut être expliquée par la diminution des concentrations de sodium et de chlorure observée au cours de la période.

Les données sur la turbidité, recueillies uniquement de 1981 à 1983, font voir distinctement une augmentation saisonnière pour novembre, décembre et janvier (figure 3). Les moyennes pour ces trois mois se situent entre 6.1 et 13.2 UJT (unité Jackson de turbidité) alors que les moyennes pour juin, juillet et août varient entre 1.0 et 1.7 UJT. On croit que l'augmentation de la turbidité en hiver serait reliée à une érosion accrue et une remise en suspension plus importante des sédiments dans le lac Érié sous l'effet de la vitesse supérieure des vents à l'automne et en hiver.

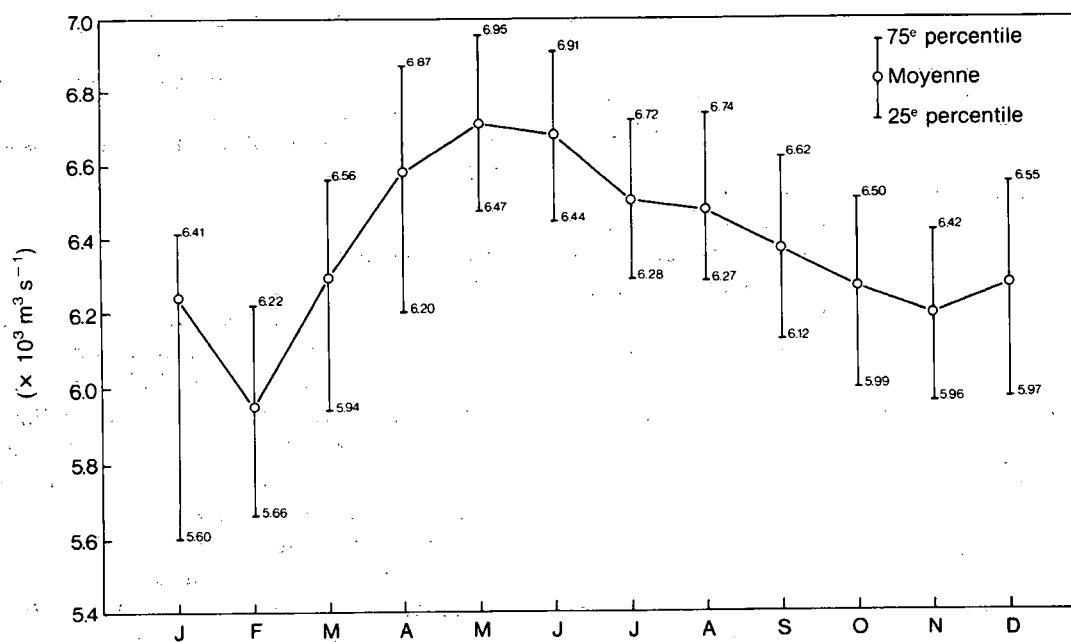


Figure 1. Débits mensuels de 1976 à 1983.



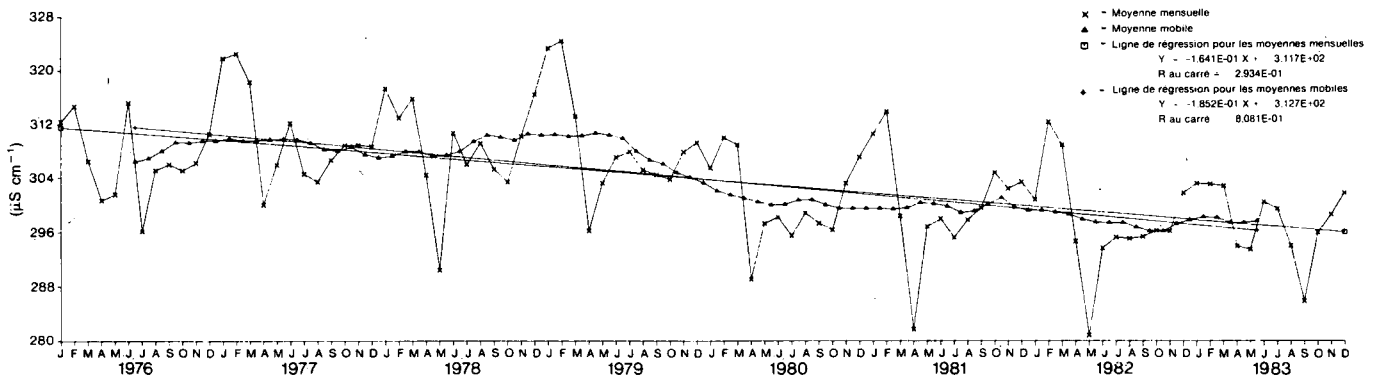


Figure 2. Graphiques des moyennes mensuelles et des moyennes mobiles de 12 mois pour la conductivité spécifique (25 °C).

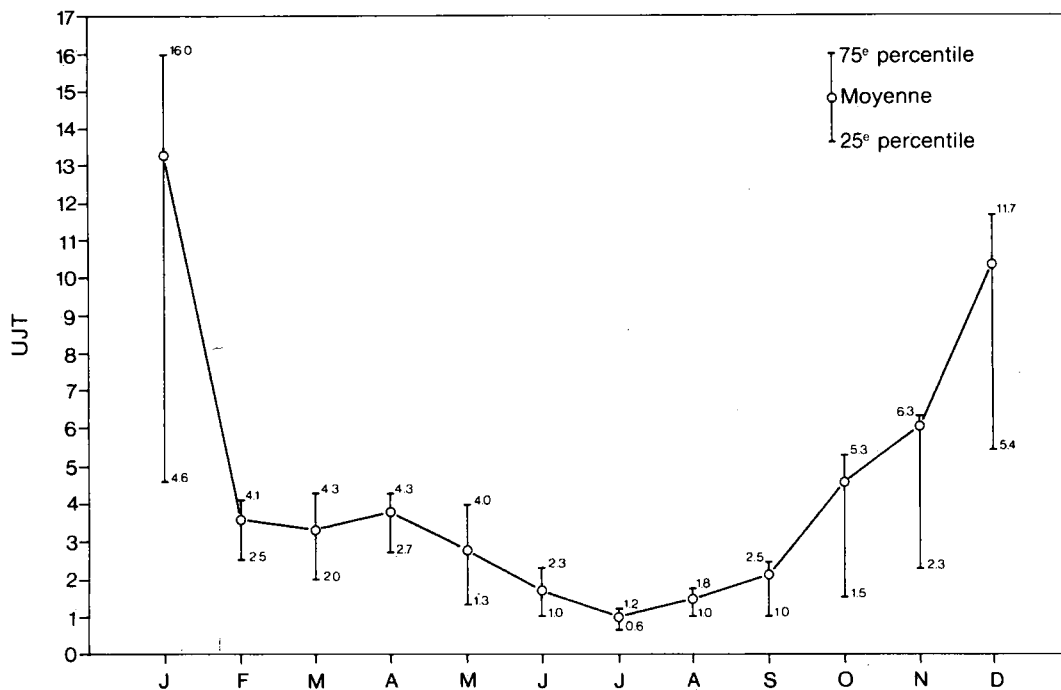


Figure 3. Valeurs mensuelles de la turbidité de 1981 à 1983.

### Substances nutritives

#### Phosphore total

Pour les huit années considérées, les concentrations moyennes de phosphore total pour chaque mois vont de 0.016 mg L<sup>-1</sup> pour juillet à 0.032 mg L<sup>-1</sup> pour décembre (figure 4). Les valeurs plus élevées en hiver sont dues à l'augmentation des matières en suspension dans l'eau, laquelle se traduit aussi par des valeurs plus élevées pour la turbidité. Cette augmentation découle également du cycle

biologique dans le bassin est du lac Érié où l'on observe dans l'épilimnion des concentrations élevées de phosphore durant la période d'hiver, quand les eaux sont bien mélangées, et des valeurs plus faibles en été après l'assimilation par les algues et la sédimentation subséquente (Rathke et Edwards, 1984).

Les concentrations de phosphore total dans le lac Ontario ont diminué substantiellement d'après les chiffres pour 1972. (Casey et Salbach, 1974). À la figure 5, la droite des moyennes mobiles de 12 mois fait voir claire-

ment la diminution du phosphore total dans la rivière Niagara. En huit ans, de 1976 à 1983, la concentration est passée d'environ  $0.026 \text{ mg L}^{-1}$  à environ  $0.016 \text{ mg L}^{-1}$ , pour une diminution annuelle de  $0.001 \text{ mg L}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Toutefois, la diminution n'est pas significative au niveau de confiance de 95 % (El-Shaarawi et coll., 1983) de 1975 à 1980. Une diminution annuelle similaire de  $0.0011 \text{ mg L}^{-1} \text{ a}^{-1}$  pour les concentrations de phosphore total dans les eaux

de surface du lac Ontario au printemps a été observée par Neilson (1983). La valeur de r pour la ligne de régression des moyennes mobiles de 1976 à 1983 est de  $-0.71$ , ce qui indique un bon ajustement, significatif au niveau de 1 %. La valeur de F, de 85, est significative au niveau de 99 %.

Plusieurs raisons peuvent être données pour cette diminution de la concentration du phosphore total dans la

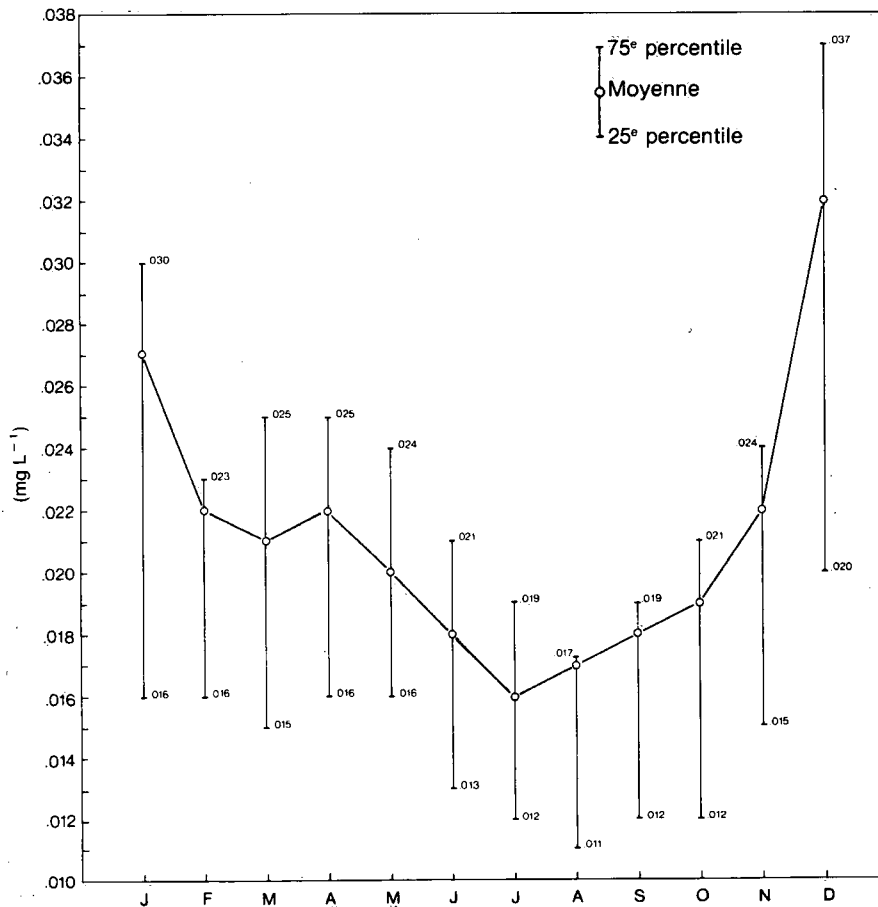


Figure 4. Concentrations mensuelles de phosphore total de 1976 à 1983.

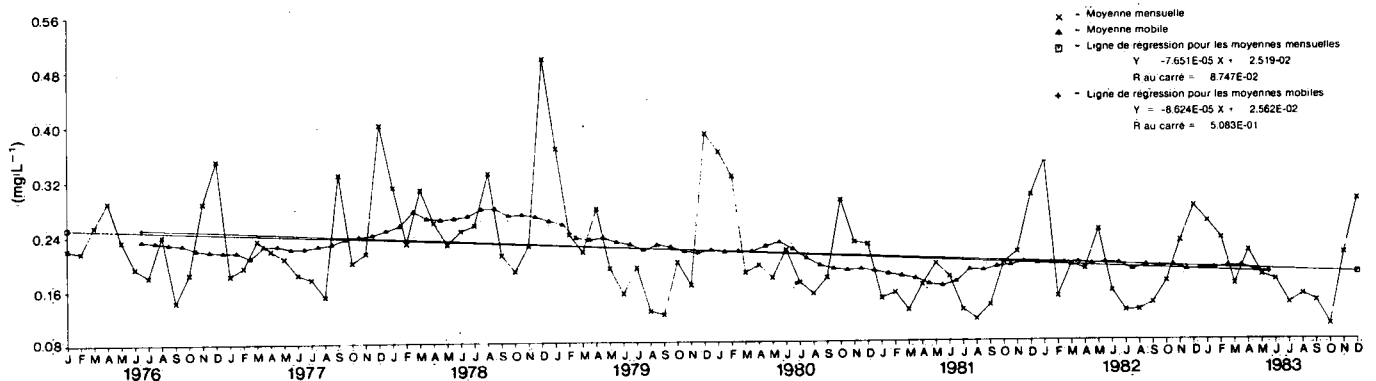


Figure 5. Graphiques des moyennes mensuelles et des moyennes mobiles de 12 mois pour les concentrations de phosphore total.

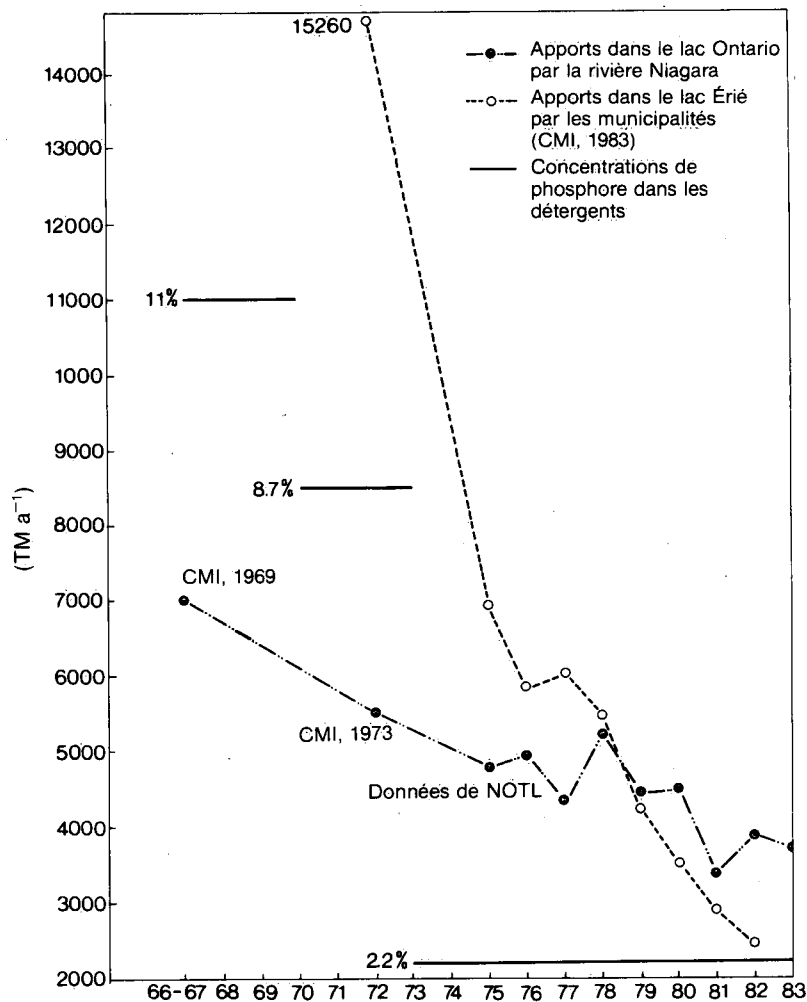


Figure 6. Apports annuels de phosphore total.

rivière Niagara. Comme on peut le voir à la figure 6, les rejets de phosphore dans le lac Érié par les municipalités ont diminué de façon significative depuis 1966-1967 (données de la Commission mixte internationale, 1969). La diminution de ces rejets est due principalement à l'amélioration des installations de traitement des eaux usées, situées à proximité du lac Érié et de la rivière Detroit. Par ailleurs, il y a eu au même moment une baisse importante de l'utilisation du phosphore dans les détergents au Canada et dans certains États bordant les Grands Lacs (figure 6). Ainsi, la teneur en phosphore des détergents est passée de 11 % en 1968 à 2.2 % depuis 1973. La diminution de la teneur en phosphore des détergents a pu avoir un effet sur les rejets des municipalités et, par conséquent, sur la qualité des eaux du lac Érié et de la rivière Niagara.

D'autres chercheurs ont également relevé une diminution du phosphore total dans le lac Érié. El-Shaarawi (1984) a construit un modèle statistique sur la variation du phos-

phore total dans chacun des bassins de ce lac et a observé, à partir de données sur la couche superficielle (1 m) obtenues par le Centre canadien des eaux intérieures (CCEI) de 1968 à 1980, que la composante tendancielle était hautement significative ( $P \geq .01$ ) pour les bassins ouest et central et qu'elle était significative ( $P \geq .05$ ) pour le bassin est. Ses données indiquent que les concentrations dans le bassin est sont passées de  $0.018 \text{ mg L}^{-1}$  en 1970 à  $0.0129 \text{ mg L}^{-1}$  en 1980 (une diminution d'environ 34 % en 10 ans). Rosa (1985) a également observé une diminution de  $0.00056 \text{ mg L}^{-1} \text{ a}^{-1}$  dans les eaux de l'épilimnion du bassin central de 1968 à 1982.

#### Azote des nitrates et des nitrites

Les concentrations mensuelles moyennes d'azote des nitrates de 1976 à 1983 font voir le cycle typique de l'assimilation de l'azote à la fin de l'été, avec un minimum de  $0.122 \text{ mg L}^{-1}$  en septembre. Les moyennes pour les mois

d'hiver et du printemps sont considérablement plus élevées, atteignant  $0.314 \text{ mg L}^{-1}$  pour mai. Les variations mensuelles de l'azote des nitrates, mesurées à cette station depuis 1975 (figure 7), traduisent le cycle typique de l'assimilation de l'azote, avec des valeurs élevées en hiver et au printemps et des valeurs réduites en août, septembre et octobre.

On trouvera à la figure 8 les graphiques des moyennes mensuelles et des moyennes mobiles de 12 mois pour l'azote des nitrates. Le cycle annuel caractéristique des concentrations s'y voit très bien. Ces graphiques révèlent également une augmentation continue des concentrations

d'azote des nitrates depuis 1976. La valeur de  $r$  pour la ligne de régression des moyennes mobiles est de  $+0.77$ , indiquant un bon ajustement, et elle est significative au niveau de 1 %. La valeur de  $F$  pour l'analyse de la variance est de 116 et elle est significative au niveau de 99 %. D'après la ligne de régression pour les moyennes mobiles de 12 mois, l'augmentation est de  $0.010 \text{ mg L}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Une augmentation identique a été signalée pour l'ensemble du lac Ontario de 1969 à 1977 dans le rapport annuel sur la qualité des eaux de ce lac préparé par la DQE-RO (Neilson, 1983) pour le rapport annuel du Conseil de la qualité de l'eau.

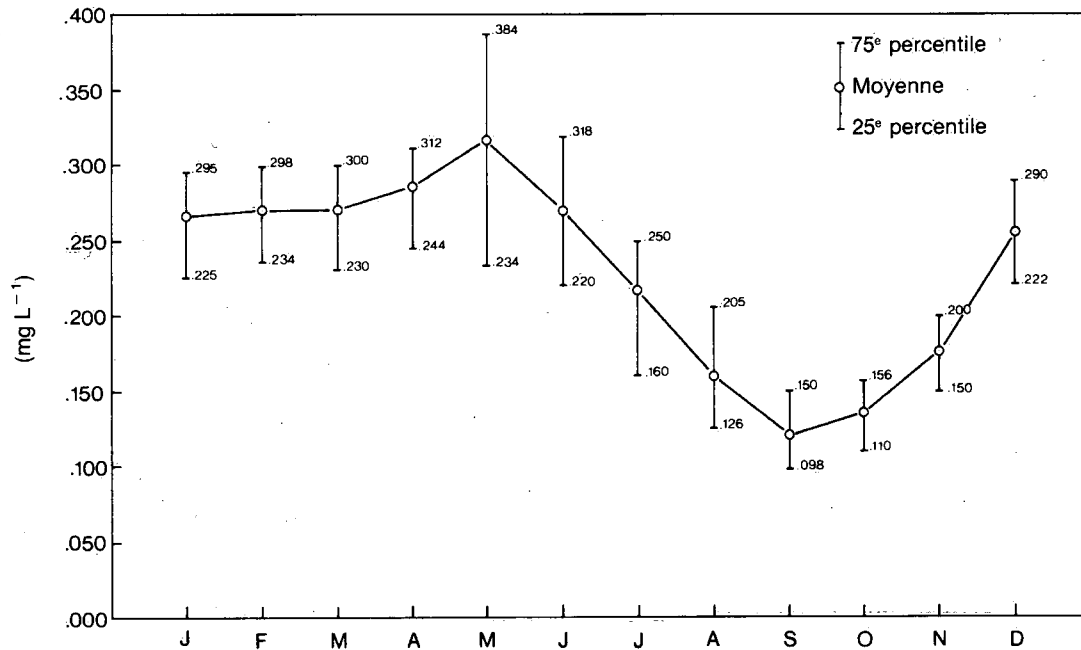


Figure 7. Concentrations mensuelles d'azote des nitrates de 1976 à 1983.

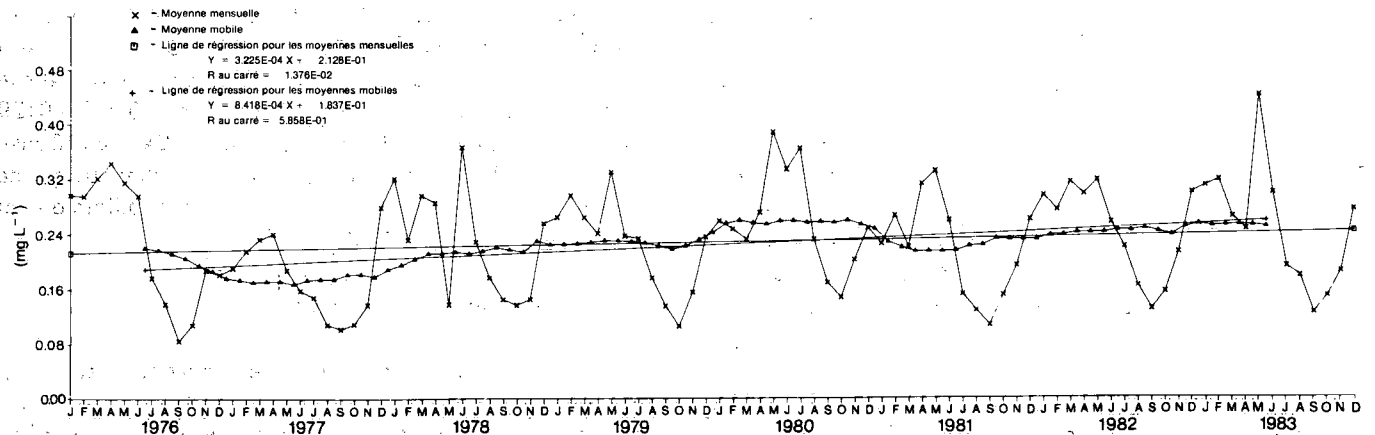


Figure 8. Graphiques des moyennes mensuelles et des moyennes mobiles de 12 mois pour les concentrations d'azote des nitrates.

### Silice réactive

La courbe des concentrations de silice réactive de 1981 à 1983 fait voir la diminution saisonnière typique des silicates au printemps et à l'été (figure 9). Des valeurs plus élevées ont été mesurées en automne et en hiver. Un cycle saisonnier de ce genre a également été observé dans le lac Érié par Rathke et Edwards (1984).

### Apports

Les apports annuels de substances nutritives (P total et  $\text{NO}_3$ ) dans le lac Ontario par la rivière Niagara sont présentés au tableau 2.

Les apports de phosphore total dans le lac Ontario (figure 6) ont diminué substantiellement depuis 1972 (données de Casey et Salbach, 1974). Les apports journaliers moyens de phosphore total pour chaque mois de l'année varient entre  $6.8 \text{ TM d}^{-1}$  pour juillet et août et  $18.6 \text{ TM d}^{-1}$  pour janvier. Ces variations ne semblent pas reliées directement au cycle du débit qui atteint un maximum en juin et un minimum en octobre.

Les apports de nitrates dans le lac Ontario (figure 10) ont augmenté substantiellement depuis 1975, soit d'environ  $3 \times 10^4 \text{ TM a}^{-1}$  à environ  $5 \times 10^4 \text{ TM a}^{-1}$ , ce qui représente une augmentation d'environ 40 %. En appliquant un modèle statistique à un nombre limité de séries annuelles de données pour la période de 1971 à 1980, El-Shaarawi

Tableau 2. Apports annuels de substances nutritives ( $\times 10^4 \text{ TM a}^{-1}$ )

Année	P (total)	$\text{NO}_3$
1975*	0.478	3.14
1976	0.493	4.78
1977	0.431	3.32
1978	0.522	4.16
1979	0.441	4.53
1980	0.449	5.44
1981	0.336	4.27
1982	0.387	4.93
1983	0.376	5.11

\* Données incomplètes.

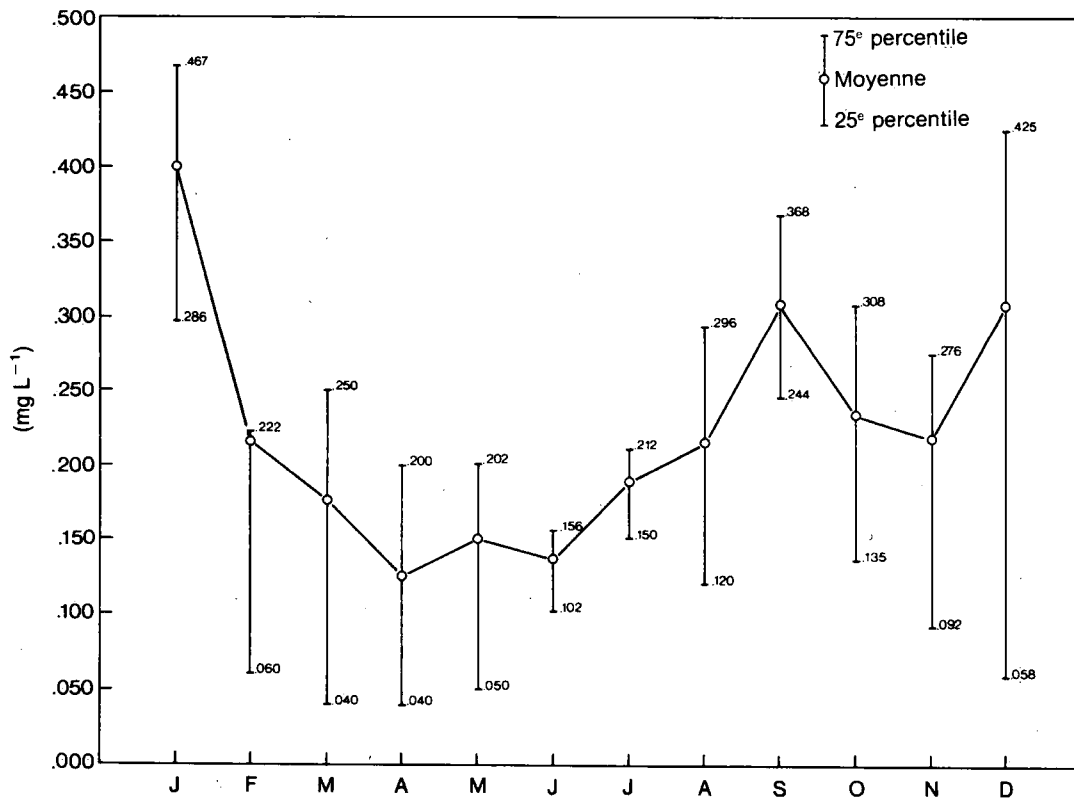


Figure 9. Concentrations mensuelles de la silice réactive de 1981 à 1983.

(1984) a trouvé que le niveau de l'azote sous forme de  $\text{NO}_3$  et de  $\text{NO}_2$  augmentait chaque année à un niveau statistiquement significatif ( $P \geq .05$ ), mais aussi que l'amplitude du cycle saisonnier changeait. Une augmentation similaire a également été observée pour les apports de la rivière Detroit dans le lac Érié (Commission mixte internationale, 1981) (figure 10).

### Ions principaux

Les moyennes annuelles des concentrations des sept ions principaux mesurés depuis 1975 sont données au tableau 3. Les chiffres pour les apports annuels d'ions principaux dans le lac Ontario par la rivière Niagara depuis 1975 sont présentés au tableau 4.

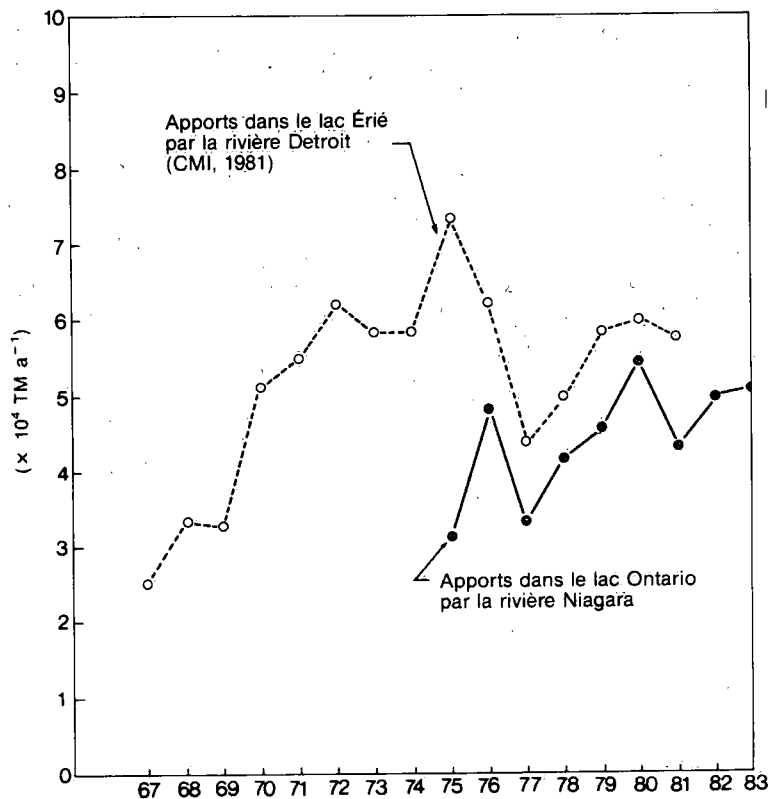


Figure 10. Apports annuels de nitrates.

Tableau 3. Concentrations moyennes annuelles des ions principaux ( $\text{mg L}^{-1}$ )

Année	Alcalinité totale	Ca	$\text{SO}_4$	Cl	Na	Mg	K
1975*	92.3	37.4	25.1	21.1	10.4	8.1	1.3
1976	92.6	38.2	25.3	21.5	10.4	8.0	1.3
1977	91.3	37.3	24.7	22.2	10.6	7.9	1.4
1978	90.2	36.2	24.5	22.0	10.5	8.1	1.4
1979	91.0	36.0	24.6	21.4	10.4	8.0	1.4
1980	88.7	35.1	24.7	19.7	9.9	8.1	1.4
1981	93.6	36.2	24.3	19.0	9.6	8.0	1.3
1982	99.4	36.5	24.7	18.2	9.3	8.0	1.3
1983	97.1	35.5	26.0	17.2	9.0	8.2	1.4

\* Données incomplètes.

Tableau 4. Apports annuels des ions principaux ( $\times 10^6 \text{ TM a}^{-1}$ )

Année	Alcalinité totale	Ca	SO <sub>4</sub>	Cl	Na	Mg	K
1975*	19.9	8.06	5.41	4.56	2.26	1.76	0.284
1976	19.8	8.16	5.40	4.59	2.22	1.71	0.284
1977	17.7	7.22	4.78	4.30	2.06	1.54	0.271
1978	18.0	7.22	4.89	4.39	2.09	1.61	0.272
1979	18.4	7.27	4.96	4.32	2.11	1.62	0.275
1980	18.6	7.38	5.20	4.15	2.08	1.71	0.287
1981	18.8	7.28	4.87	3.81	1.93	1.62	0.255
1982	19.9	7.32	4.95	3.65	1.87	1.60	0.272
1983	20.1	7.35	5.38	3.54	1.85	1.70	0.280

\* Données incomplètes.

Des graphiques permettant de voir les variations saisonnières au cours de 1982 sont présentés à la figure 11. On constate que la variabilité saisonnière est faible pour Ca, Cl, SO<sub>4</sub>, Na, Mg et K, mais qu'elle est passablement plus élevée pour l'alcalinité totale. Il semble que la diminution de l'alcalinité en avril, mai et juin pourrait être en partie attribuable à la dilution causée par la fonte des neiges. La diminution de l'alcalinité est aussi due en partie à la diminution des concentrations de calcium observée en avril et en mai de chaque année (figure 12). Un cycle annuel semblable existe pour la conductivité spécifique.

Ces dernières années, les préoccupations ont augmenté au sujet de la salinité accrue des Grands Lacs. L'augmentation de la salinité a généralement été imputée à l'épandage de sel sur les routes en hiver (Fraser, 1981). Toutefois, des données récentes indiquent une diminution des concentrations des chlorures dans les lacs Érié et Ontario au cours des dix dernières années. D'après Fraser (1981), les concentrations des chlorures auraient diminué dans ces deux lacs surtout de 1974 à 1976. D'autres données produites par Sonzogni et coll. (1983) font voir une diminution similaire dans le lac Érié et la rivière Detroit. Il existe d'autres données indiquant que la principale raison de la diminution observée dans le lac Érié est la réduction importante des apports de sources industrielles dans la rivière Detroit. Une diminution de 40 % des rejets de chlorures au cours de la période de 1971 à 1973 a été signalée par l'Environmental Protection Agency des États-Unis (1972) pour plusieurs industries importantes situées dans le corridor de la rivière Detroit. Le complexe urbain Detroit-Windsor représente une source importante de chlorures dans cette rivière et, donc, dans le lac Érié. Comme les apports y ont diminué de façon importante depuis 1971, une diminution de la concentration des chlorures devrait finir par s'observer dans la rivière Niagara

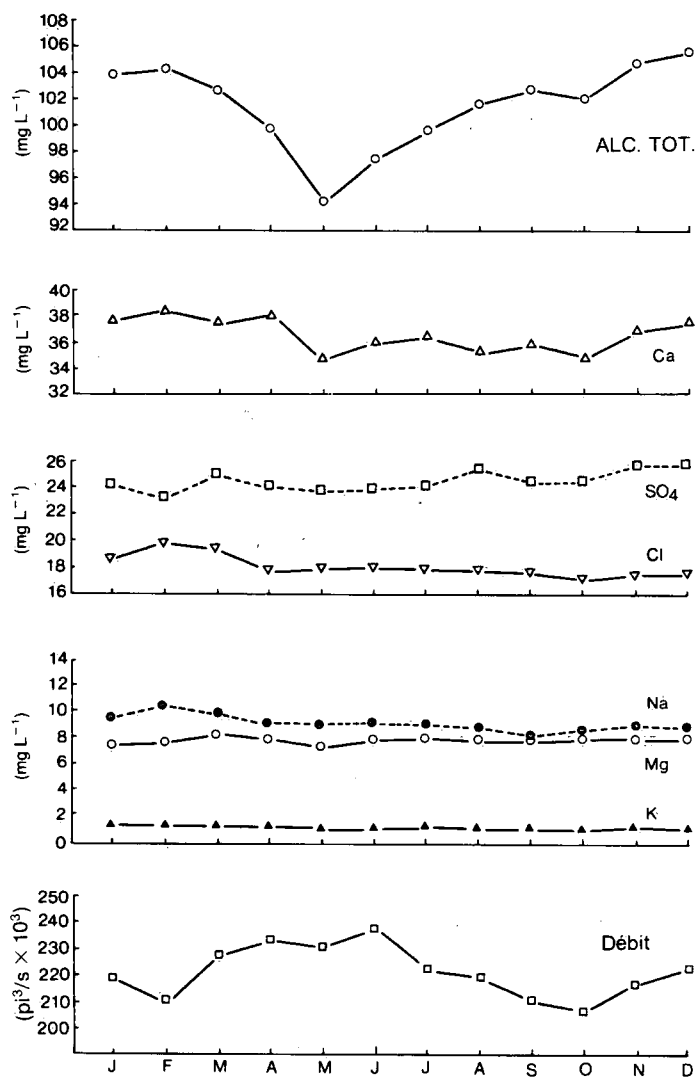


Figure 11. Moyennes mensuelles des concentrations des ions principaux et du débit en 1982.

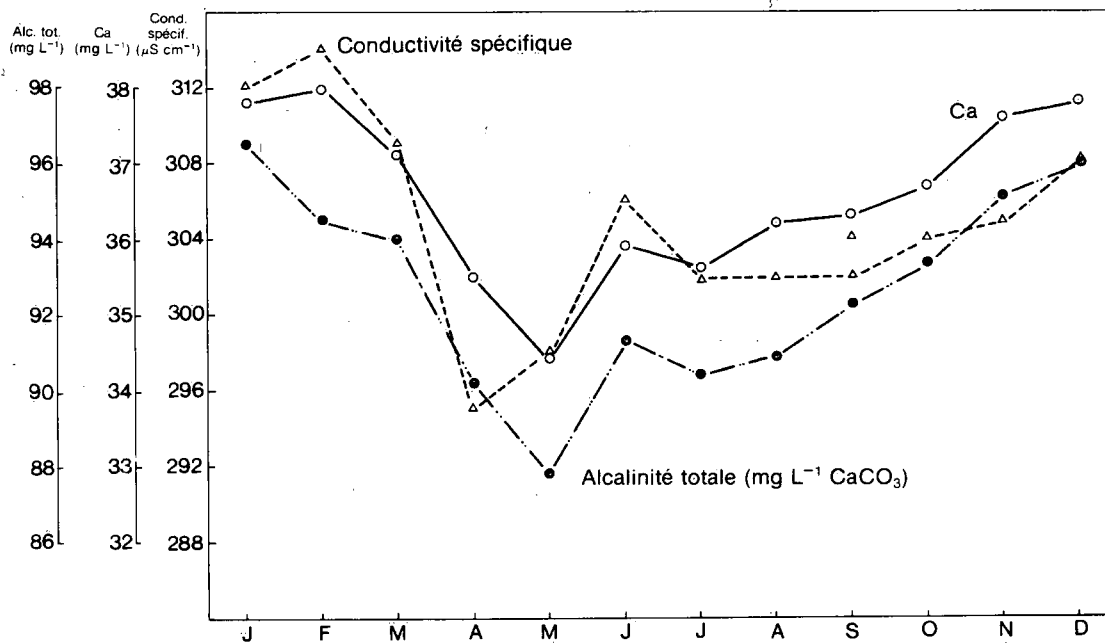


Figure 12. Comparaison des courbes de l'alcalinité totale, de la concentration de calcium et de la conductivité spécifique de 1975 à 1982.

à Niagara-on-the-Lake. Depuis 1977, leur concentration dans la rivière Niagara a diminué d'environ  $5 \text{ mg L}^{-1}$ , ou d'environ 22 % (figure 13). Cela voudrait dire qu'il aura fallu environ six ou sept ans pour «nettoyer» le lac Érié. C'est environ deux ou trois fois plus long que le temps de renouvellement du lac Érié prévu par Rainey (1967), c'est-à-dire 2.6 ans.

D'autres ions principaux, plus particulièrement le calcium et le sodium (figure 14), ont fait voir une diminution considérable de leurs concentrations depuis 1975 (tableau 3). Les concentrations moyennes annuelles du sodium ont diminué d'environ  $1.7 \text{ mg L}^{-1}$  depuis 1977, tandis que celles du calcium ont baissé d'environ  $2.7 \text{ mg L}^{-1}$  depuis 1976.

L'évolution des concentrations des chlorures et du sodium se voit très bien sur les graphiques des moyennes mobiles de 12 mois (figures 15 et 16). Les valeurs de  $r$  pour les lignes de régression des moyennes mobiles sont de  $-0.96$  et de  $-0.95$  respectivement, ce qui indique un ajustement significatif au niveau de 99 %. La valeur de  $F$  pour l'analyse de la variance est significative au niveau de 99 % pour les deux paramètres. Les concentrations des chlorures et du sodium diminuent respectivement de  $0.79 \text{ mg L}^{-1}$  et  $0.25 \text{ mg L}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Les concentrations du calcium (figure 17) diminuent de  $0.23 \text{ mg L}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , tandis que l'alcalinité totale augmente de  $1.15 \text{ mg L}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (figure 18). La valeur de  $r$  pour la ligne des moyennes mobiles est de  $-0.55$  pour le

calcium, tandis qu'elle est de  $+0.67$  pour l'alcalinité, ce qui est encore significatif au niveau de 99 %. Les valeurs de  $F$  pour l'analyse de la variance sont de 35 et 68 respectivement, ce qui est également significatif au niveau de 99 %. On a calculé, compte tenu de ces rythmes de changement, que

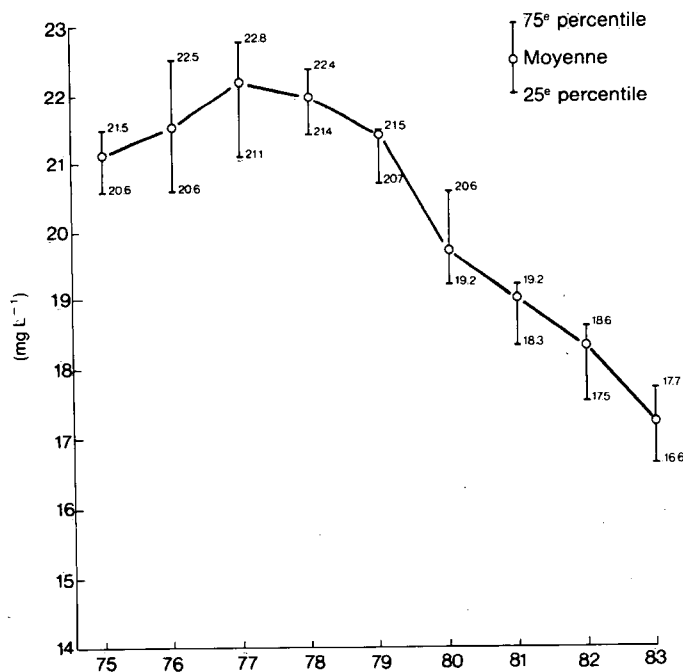


Figure 13. Concentrations annuelles des chlorures de 1975 à 1983.



le changement net de la conductivité spécifique attribuable aux diminutions des concentrations des ions sodium, chlorure et calcium et à l'augmentation de l'alcalinité était

de  $1.8 \mu\text{S cm}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Cela est très près de la valeur de  $2.2 \mu\text{S cm}^{-1}$  indiquée pour le changement de la conductivité spécifique par le graphique des moyennes mobiles (figure 3).

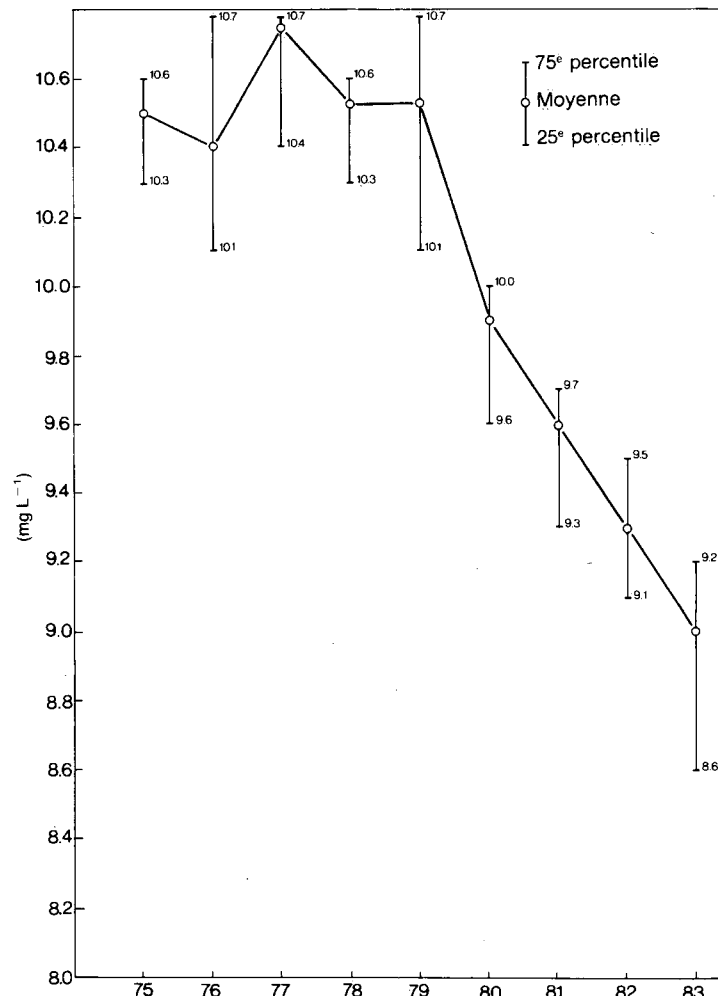


Figure 14. Concentrations annuelles de sodium de 1975 à 1983.

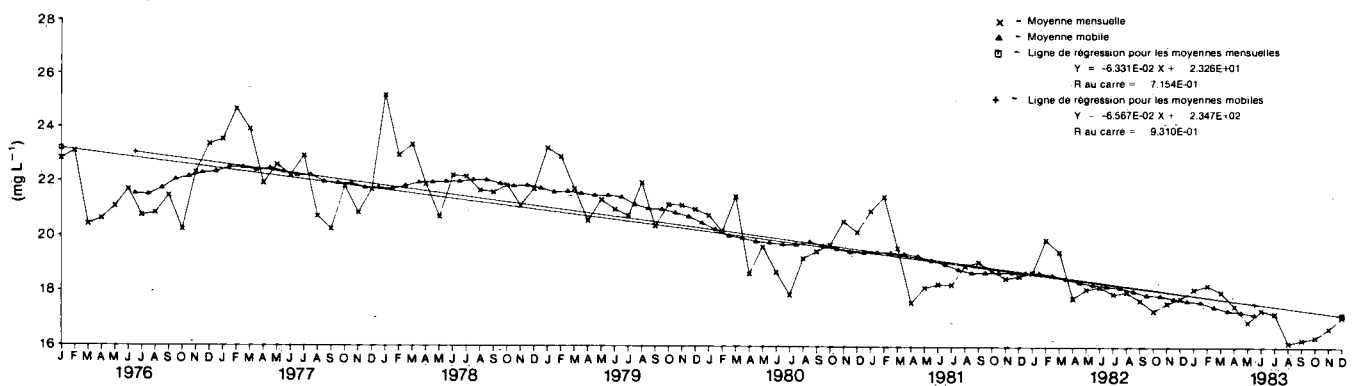


Figure 15. Graphiques des moyennes mensuelles et des moyennes mobiles de 12 mois pour les concentrations des chlorures.

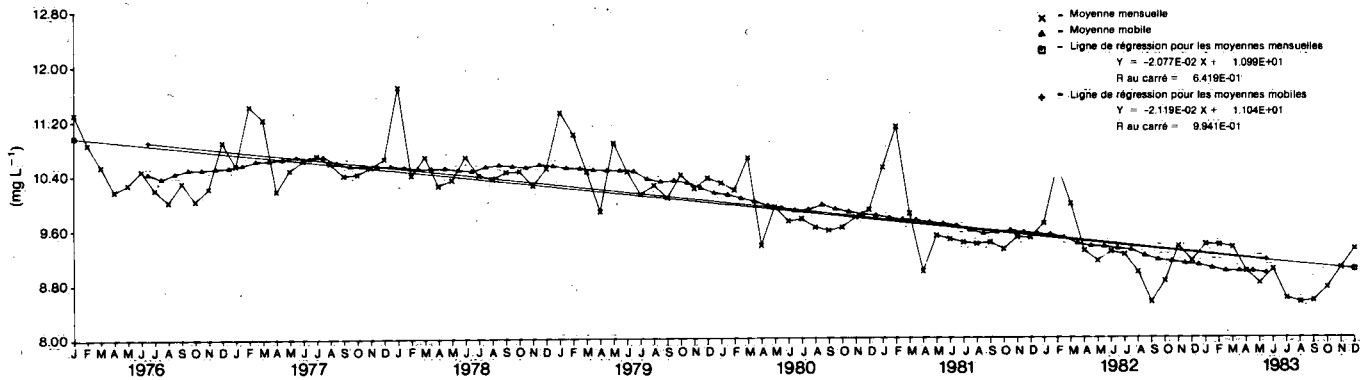


Figure 16. Graphiques des moyennes mensuelles et des moyennes mobiles de 12 mois pour les concentrations de sodium.

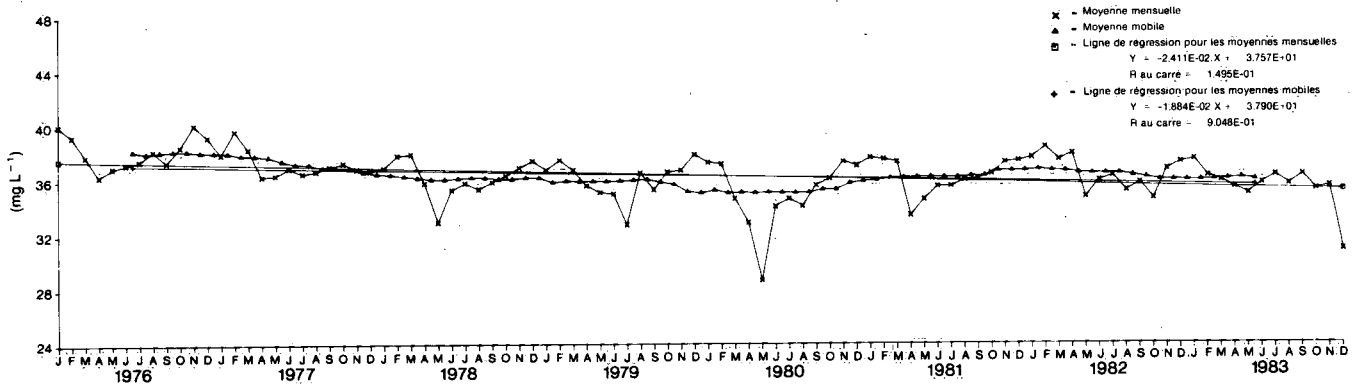


Figure 17. Graphiques des moyennes mensuelles et des moyennes mobiles de 12 mois pour les concentrations de calcium.

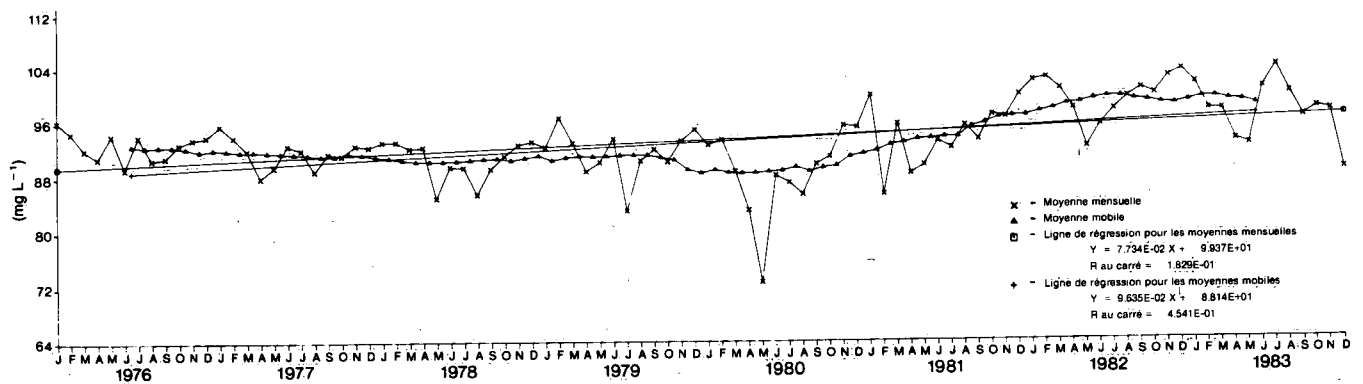


Figure 18. Graphiques des moyennes mensuelles et des moyennes mobiles de 12 mois pour l'alcalinité totale.

De la diminution de la concentration des chlorures s'ensuit une diminution importante des apports dans le lac Ontario de 1976 à 1983. Ainsi, les apports de chlorures par la rivière Niagara sont passés de  $4.6 \times 10^6 \text{ TM a}^{-1}$  à environ  $3.5 \times 10^6 \text{ TM a}^{-1}$ , ce qui représente une diminution d'environ 23 % (figure 19). Une diminution plus importante, soit de 42 %, a été observée pour la rivière Detroit de 1967 à 1980 (données de la Commission mixte internationale, 1981).

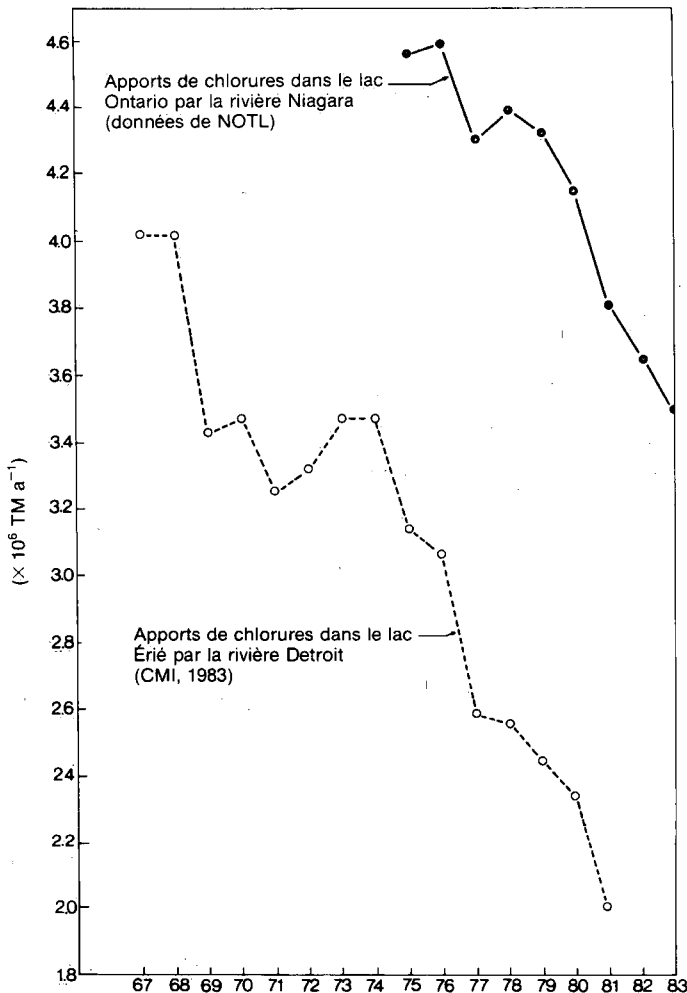


Figure 19. Apports annuels de chlorures pour les rivières Niagara et Detroit.

D'autres ions principaux comme le magnésium, le potassium et le sulfate n'ont pas présenté de changements importants. Dans le cas du sulfate, le changement observé est significatif au niveau de 95 % mais non au niveau de 99 %.

## Métaux à l'état de traces

Les concentrations médianes annuelles des 11 métaux à l'état de traces mesurés depuis 1975 sont données au tableau 5. Ces concentrations ont été mesurées dans des échantillons prélevés une fois par semaine approximativement. Le pourcentage des échantillons hebdomadaires ne respectant pas les objectifs de l'accord de 1978 est indiqué au tableau 6. On trouvera au tableau 7 les chiffres sur les apports annuels dans le lac Ontario par la rivière Niagara 1975 à 1983.

Les graphiques des moyennes mobiles de 12 mois pour les concentrations du fer total et de l'aluminium extractible (figures 20 et 21) indiquent des augmentations importantes de 1976 à 1983. D'après les lignes de régression pour les moyennes mobiles, les rythmes annuels d'augmentation depuis 1976 seraient pour le fer total de  $0.045 \text{ mg L}^{-1} \text{ a}^{-1}$  et pour l'aluminium extractible de  $0.008 \text{ mg L}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Les valeurs de  $r$  pour les lignes de régression des moyennes mobiles, de +.49 pour l'aluminium et de +.79 pour le fer, respectivement, sont significatives au niveau de 99 %. Les valeurs de  $F$  pour l'analyse de la variance sont de 26 et de 132 respectivement et sont également significatives au niveau de 99 %. On croit que les augmentations observées seraient reliées à la fréquence de certains événements climatiques naturels tels les fortes chutes de pluies et les vents violents.

Une analyse des données de la National Oceanic and Atmospheric Administration qui ont été recueillies à l'aéroport de Buffalo a révélé que la fréquence des jours où les vents moyens dépassaient  $20 \text{ mi/h}$  ( $\approx 32 \text{ km/h}$ ) a été plus faible en 1981 qu'en 1979 et 1980. En 1979 et 1980, on a enregistré respectivement 12 et 10 jours de vents d'une telle ampleur, en 1981, seulement 6, mais en 1982, 33! En 1983, enfin, on en a compté 11.

Un autre facteur important est le moment du prélèvement des échantillons. Si un échantillon est prélevé un jour de vents violents ou le jour suivant, il est probable que les concentrations de fer et d'aluminium y seront élevées. En 1982, année pour laquelle les concentrations médianes de fer sont les plus élevées, 12 des dates d'échantillonnage correspondent à des journées ou à des lendemains de journées où la vitesse moyenne des vents enregistrée à Buffalo était d'au moins  $20 \text{ mi/h}$ . Comme la concentration du fer total dans la colonne d'eau semble reliée au degré de remise en suspension des sédiments du fond sous l'effet des vents, il s'ensuit que le pourcentage de non respect de l'objectif de  $0.300 \text{ mg L}^{-1}$  fixé par la CMI pour le fer total est plus élevé en 1980 et 1982, atteignant 55 % et 54 % respectivement.

Tableau 5. Concentrations médianes annuelles des métaux à l'état de traces (mg L<sup>-1</sup>)

Année	Nbre d'observations	Fe	Al	Mn	Ni	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Hg	As
1975*	19	0.110	0.040	0.004	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	<0.001	—	—
1976	51	0.110	0.060	0.010	0.003	0.005	0.006	0.001	0.002	<0.001	—	—
1977	48	0.140	0.050	0.006	0.003	0.005	0.010	0.001	0.001	<0.001	—	—
1978	43	0.160	0.050	0.009	0.002	0.004	0.004	0.001	0.001	<0.001	—	—
1979	41	0.200	0.100	0.008	0.003	0.003	0.003	0.001	0.001	<0.001	<0.00005	—
1980	62	0.380	0.150	0.024	0.003	0.004	0.002	0.003	0.002	<0.001	<0.00005	0.0005
1981	47	0.140	0.050	<0.010	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	<0.001	<0.00005	0.0005
1982	52	0.390	0.070	<0.020	0.001	0.003	0.002	0.002	<0.001	<0.001	<0.00005	0.0006
1983	50	0.220	0.055	0.010	0.002	0.004	0.007	0.001	0.001	<0.001	<0.00002	0.0011

\* Données incomplètes.

< = inférieur à la limite de détection.

Tableau 6. Pourcentages d'échantillons de métaux à l'état de traces ne respectant pas les objectifs de l'accord de 1978

Année	Fe (0.300)*	Cu (0.005)*	Ni (0.025)*	Zn (0.030)*	Cd (0.0002)*	Cr (0.100)*	Pb (0.025)*
1975†	0	16	0	0	0	0	0
1976	20	61	0	0	6	0	0
1977	14	79	2	2	6	0	0
1978	21	40	0	0	0	0	0
1979	42	33	0	0	5	0	0
1980	55	11	0	0	2	0	0
1981	17	19	0	0	2	0	0
1982	54	27	2	0	0	0	0
1983	39	65	0	0	0	0	0

\* Objectif de 1978 de la CMI (mg L<sup>-1</sup>).

† Données incomplètes.

Tableau 7. Apports annuels de métaux totaux à l'état de traces (TM a<sup>-1</sup>)\*

Année	Fe	Al	Mg	Ni	Zn	Cu	Cr	Pb	Cd	Hg	As
1975†	23 490	8 540	850	430	640	640	430	430	215	—	—
1976	23 300	12 710	2120	635	1060	1270	210	420	210	—	—
1977	26 945	9 620	1155	580	960	1925	385	190	190	—	—
1978	31 245	9 765	1760	390	780	780	195	195	195	—	—
1979	39 770	19 885	1590	595	595	595	200	200	200	10	—
1980	78 815	31 110	4980	620	830	415	620	415	205	10	105
1981	27 670	9 885	1975	200	395	595	200	200	200	10	100
1982	76 475	13 905	3970	200	595	395	395	200	200	10	120
1983	44 930	11 230	2040	410	815	—	410	205	205	4	225

\* Calculés à partir de la concentration médiane et du débit journalier moyen pour chaque année.

† Données incomplètes.

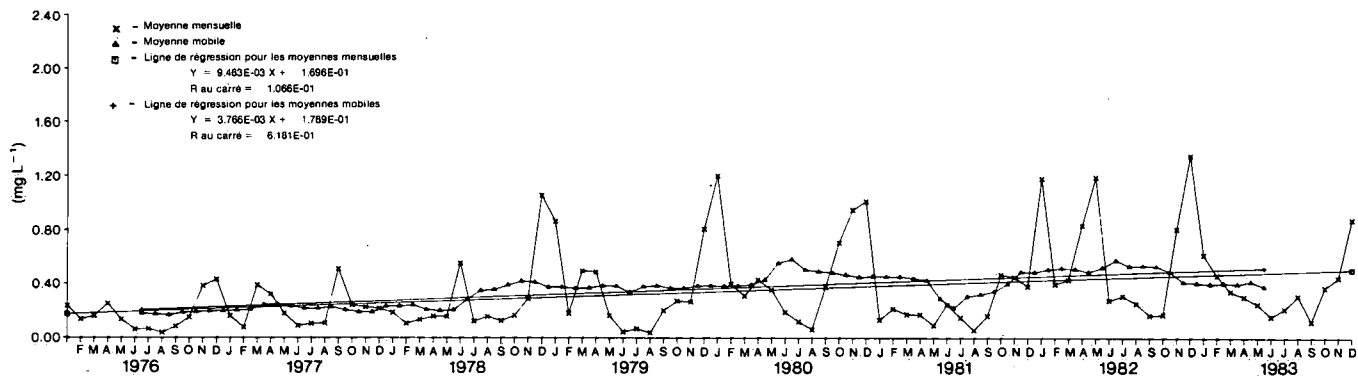


Figure 20. Graphiques des moyennes mensuelles et des moyennes mobiles de 12 mois pour les concentrations du fer total.

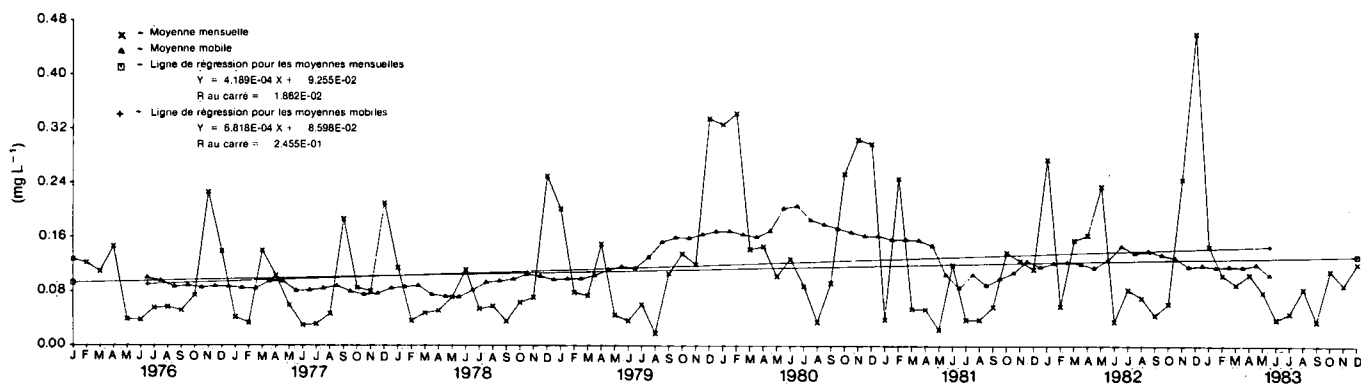


Figure 21. Graphiques des moyennes mensuelles et des moyennes mobiles de 12 mois pour les concentrations de l'aluminium extractible.

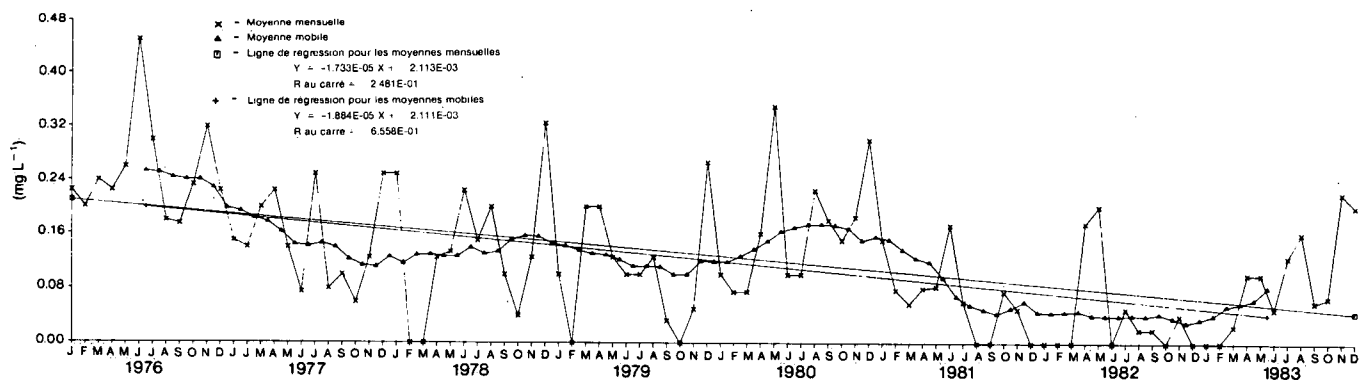


Figure 22. Graphiques des moyennes mensuelles et des moyennes mobiles de 12 mois pour les concentrations de plomb total.

Le graphique des moyennes mobiles de 12 mois pour les concentrations du plomb total (figure 22) semble indiquer une diminution dans la rivière Niagara depuis 1976. La valeur de  $r$  pour la ligne de régression est de  $-0.81$  et est significative au niveau de 99 %. La valeur de  $F$  pour l'analyse de la variance est de 156 et elle est également significative au niveau de 99 %. Même s'il s'agit d'une faible diminution, elle peut être reliée à une utilisation accrue de l'essence sans plomb dans les automobiles, plus particulièrement du côté américain du lac Érié.

## SOMMAIRE

Depuis 1975, la DQE-RO prélève des échantillons à une seule station située près de l'embouchure de la rivière Niagara pour la détermination de la qualité de l'eau. Un éventail complet de paramètres ont été mesurés : paramètres physiques (tous les jours), substances nutritives (tous les jours), ions principaux (toutes les semaines), et métaux à l'état de traces (toutes les semaines).

Des changements importants dans la qualité de l'eau de la rivière Niagara à Niagara-on-the-Lake ont été observés depuis 1975. Pour certains paramètres, les concentrations ont augmenté et, donc, les apports dans le lac Ontario. Ces paramètres sont l'azote des nitrates, le fer total, l'aluminium, l'alcalinité totale et, peut-être aussi, les sulfates (le niveau de signification étant seulement de 95 %). Par contre, pour d'autres, il y a eu diminution des concentrations et, de ce fait, réduction des apports dans le lac Ontario. Les paramètres pour lesquels il y a eu une diminution significative sont la conductivité spécifique, le phosphore total, le chlorure, le sodium, le calcium et le plomb. Pour d'autres, enfin, comme le magnésium et le potassium, il n'y a pas eu de changement.

## RÉFÉRENCES

- Beeton, A.M. 1965. Eutrophication of the St. Lawrence Great Lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 10: 240-54.
- Casey, D.J., et S.E. Salbach. 1974. IFYGL stream materials balance study. Dans Proc. 17th Conf. Great Lakes Res., Int. Assoc. Great Lakes Res., pp. 668-81.
- Chan, C.H. 1977. Water quality surveys on the Niagara River—1974. Étude n° 48, Série des rapports généraux, Direction de la qualité des eaux, Région de l'Ontario, Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada, Burlington (Ont.).
- Commission mixte internationale. 1969. Pollution of Lake Erie, Lake Ontario and the International Section of the St. Lawrence River, Volume 1, Summary.
- Commission mixte internationale. 1973. Report on Great Lakes Water Quality, Appendix B, Great Lakes Surveillance.
- Commission mixte internationale. 1981. Report on Great Lakes Water Quality, Appendix B, Great Lakes Surveillance.
- Commission mixte internationale. 1983. Report on Great Lakes Water Quality, Appendix B, Great Lakes Surveillance.
- El-Shaarawi, A.H., S.R. Esterby, et K.W. Kuntz. 1983. A statistical evaluation of trends in the water quality of the Niagara River. *J. Great Lakes Res.*, 9(2): 234-40.
- El-Shaarawi, A.H. (rédacteur). 1984. Évaluation statistique du programme de surveillance des Grands Lacs entre 1966 et 1981 — Lac Érié. Étude n° 136, Série scientifique, Institut national de recherche sur les eaux, Centre canadien des eaux intérieures, Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada, Burlington (Ont.).
- Environnement Canada. 1979. *Manuel des méthodes analytiques*. Direction de la qualité des eaux, Direction générale des eaux intérieures, Ottawa (Ont.).
- Fraser, A.S. 1981. Evaluation of salt buildup in the Great Lakes. Centre canadien des eaux intérieures, Burlington (Ont.). Rapport non publié.
- Kemp, A.L., et N.S. Harper. 1976. Sedimentation rates and a sediment budget for Lake Ontario. *J. Great Lakes Res.*, 2(2): 324-40.
- Kuntz, K.W., C.H. Chan, A.H. Clignett, et R. Boucher. 1982. Water quality sampling methods at Niagara-on-the-Lake. Direction de la qualité des eaux, Région de l'Ontario, Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada, Burlington (Ont.). Rapport non publié.
- Neilson, M.A.T. 1983. Report on the status of the open waters of Lake Ontario. Direction de la qualité des eaux, Région de l'Ontario, Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada, Burlington (Ont.). Rapport non publié.
- Rainey, R.H. 1967. Natural displacement of pollution from the Great Lakes. *Science*, 155: 1242-43.
- Rathke, D.E., et C.J. Edwards. 1984. Synopsis of Lake Erie water quality. A report to the Surveillance Work Group-IJC.
- Rosa, F. 1985. Lake Erie central basin total phosphorus trend analysis from 1968 to 1982. Institut national de recherche sur les eaux, Centre canadien des eaux intérieures, Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada, Burlington (Ont.). Rapport non publié n° 85-101.
- Sonzogni, W.C., W. Richardson, P. Rodgers, et T.J. Monteith. 1983. Chloride pollution of the Great Lakes. *J. Water Pollut. Control Fed.*, 55(5): 513-21.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1972. Report to the Lake Michigan Enforcement Conference on Chloride. U.S. Environmental Protection Agency, Region V, Chicago, Ill.

Environment Canada Library, Burlington



3 9055 1017 3279 9