

Bureau des renseignements, de l'accès à l'information
et des plaintes sur la qualité des services

Le 7 janvier 2015

Objet : Demande d'accès # 2015-11-12 – Lettre réponse

Madame,

Nous donnons suite à votre demande, reçue le 9 novembre dernier, concernant le système d'aération au lac Waterloo.

Vous trouverez en annexe le document demandé. Il s'agit de :

- Bilan de l'efficacité du système d'aération au lac Waterloo, 282 pages,

Conformément à l'article 51 de la Loi sur l'accès aux documents des organismes publics et sur la protection des renseignements personnels (RLRQ, chapitre A-2.1), nous vous informons que vous pouvez demander la révision de cette décision auprès de la Commission d'accès à l'information. Vous trouverez en pièce jointe une note explicative concernant l'exercice de ce recours.

Si vous désirez des renseignements supplémentaires, vous pouvez vous adresser à M. Enrique Alvarenga, analyste de votre dossier, à l'adresse courriel enrique.alvarenga@mddelcc.gouv.qc.ca en indiquant le numéro de votre dossier en objet.

Veuillez agréer, Madame, l'expression de nos sentiments les meilleurs.

La directrice,

ORIGINAL SIGNÉ PAR

Pascale Porlier

p. j. (2)

030340-7



Environnement
Québec

Direction générale
de l'amélioration et
de la restauration
du milieu aquatique

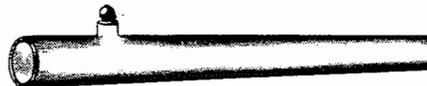
Direction des ouvrages
hydrauliques

BILAN DE L'EFFICACITÉ DE L'AÉRATION AU LAC WATERLOO



- lac
- Waterloo
-
-

AÉRATION



Études hydrauliques et écologiques

Québec
1980

MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT
DIRECTION GENERALE DE LA RESTAURATION ET
DE L'AMELIORATION DU MILIEU AQUATIQUE
DIRECTION DES OUVRAGES HYDRAULIQUES
ETUDES ECOLOGIQUES

BILAN DE L'EFFICACITE DU SYSTEME D'AERATION AU
LAC WATERLOO DEPUIS SA MISE EN OPERATION

Rédaction: François Guimont, biol.

Coordination: Philippe Gentes, biol.

Québec, novembre 1980.

TABLE DES MATIERES

	PAGE
TABLE DES MATIERES.....	I
LISTE DES FIGURES.....	IV
LISTE DES TABLEAUX.....	VII
RESUME.....	1
INTRODUCTION.....	3
1. L'EUTROPHISATION.....	4
2. DESCRIPTION PHYSIQUE DU LAC WATERLOO.....	7
2.1 Localisation du lac Waterloo.....	7
2.2 Caractéristiques physiques.....	7
3. LES IMPLICATIONS PHYSICO-CHIMIQUES DU PHOSPHORE AU LAC WATERLOO.....	12
3.1 Détermination des apports allochtones en phosphore au lac Waterloo.....	12
3.2 Détermination des apports autochtones en phosphore au lac Waterloo.....	14
3.3 Détermination de la zone anoxique pour le lac Waterloo avant l'implantation du système d'aération.....	19
3.4 Quantification des apports en phosphore des sédiments au lac Waterloo pour l'année 1975.....	23
3.5 Quantification des apports en phosphore des sédiments au lac Waterloo pour les régions anoxiques de l'année 1976.....	29
3.6 Détermination du niveau trophique du lac Waterloo.....	36
4. BILAN DE L'EFFICACITE DU SYSTEME D'AERATION AU LAC WATERLOO DEPUIS SA MISE EN OPERATION.....	41
4.1 Description sommaire du système d'aération "air-aqua".....	41
4.2 Résultats théoriques escomptés par l'aération d'un plan d'eau eutrophe.....	44

TABLE DES MATIERES (suite)

	PAGE
4.3 Présentation de la méthodologie utilisée pour déterminer l'efficacité de l'aération au lac Waterloo.....	45
4.4 Interprétation des données physico-chimiques et biologiques pour les périodes de pré-aération et d'aération au lac Waterloo	48
4.4.1 Température.....	48
4.4.2 L'oxygène dissous.....	51
4.4.3 Pourcentage de saturation en oxygène dissous.....	62
4.4.4 Turbidité et transparence.....	63
4.4.5 pH et alcalinité.....	76
4.4.6 La conductivité.....	84
4.4.7 Fer soluble et fer total.....	85
4.4.8 Manganèse soluble et manganèse total.....	101
4.4.9 Calcium et sodium.....	110
4.4.10 Magnésium et potassium.....	119
4.4.11 Sulfates.....	128
4.4.12 Carbone inorganique et carbone organique.....	129
4.4.13 Carbone total.....	145
4.4.14 Phosphore inorganique.....	145
4.4.15 Phosphore organique.....	151
4.4.16 Phosphore total.....	163
4.4.17 Nitrites-nitrates et azote ammoniacal.....	163
4.4.18 Azote organique et azote total.....	177
4.4.19 Biomasse phytoplanktonique, chlorophylle -a totale et poids sec en seston.....	185
CONCLUSION.....	196

TABLE DES MATIERES (suite)

	PAGE
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	199
ANNEXE 1 : Détail des calculs du test de student (t) pour les différents paramètres physico-chimiques et biologiques pour les périodes de pré-aération et d'aération au lac Waterloo.....	204

LISTE DES FIGURES

	PAGE
Figure 1 : Lac Waterloo: Composition granulométrique du sédiment au centre de la cuvette et à l'exutoire.....	9
Figure 2 : Délimitation de la zone anoxique pour le mois de mars 1975 au lac Waterloo.....	24
Figure 3 : Délimitation de la zone anoxique pour le mois de juillet 1975 au lac Waterloo.....	25
Figure 4 : Délimitation de la zone anoxique pour le mois d'août 1975 au lac Waterloo.....	26
Figure 5 : Délimitation de la zone anoxique pour le mois de février 1976 au lac Waterloo.....	27
Figure 6 : Délimitation de la zone anoxique pour le mois de mars 1976 au lac Waterloo.....	28
Figure 7 : Probabilité d'obtenir un niveau trophique donné à partir des apports en phosphore.....	39
Figure 8 : Probabilité d'obtenir un niveau trophique donné à partir d'une diminution de la concentration en phosphore.....	40
Figure 9 : Localisation du système d'aération au lac Waterloo et des stations d'échantillonnage.....	42
Figure 10 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la température au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	55
Figure 11 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la concentration en oxygène dissous au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	61
Figure 12 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles du pourcentage de saturation en oxygène dissous au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	69
Figure 13 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la turbidité (JTU) et de la transparence (m) au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	75
Figure 14 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles du pH, au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	82
Figure 15 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de l'alcalinité au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	83

LISTE DES FIGURES (suite)

	PAGE
Figure 16 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la conductivité au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	91
Figure 17 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la concentration en fer soluble au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	98
Figure 18 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la concentration en fer total au lac Waterloo de 1975 à 1979.	99
Figure 19 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la concentration en manganèse soluble au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	108
Figure 20 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la concentration de manganèse total au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	109
Figure 21 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la concentration en calcium au lac Waterloo de 1975 à 1979...	117
Figure 22 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la concentration en sodium au lac Waterloo de 1975 à 1979....	118
Figure 23 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la concentration en magnésium au lac Waterloo de 1975 à 1979	126
Figure 24 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la concentration en potassium au lac Waterloo de 1975 à 1979.	127
Figure 25 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la concentration en sulfates au lac Waterloo de 1975 à 1979...	135
Figure 26 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la concentration en carbone inorganique au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	143
Figure 27 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la concentration en carbone organique au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	144
Figure 28 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la concentration en carbone, total au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	149
Figure 29 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la concentration en phosphore inorganique au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	157

LISTE DES FIGURES (suite)

	PAGE
Figure 30 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la concentration en phosphore organique au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	162
Figure 31 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la concentration en phosphore total au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	167
Figure 32 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la concentration en nitrites et nitrates au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	175
Figure 33 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la concentration en azote ammoniacal au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	176
Figure 34 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la concentration en azote organique au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	183
Figure 35 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la concentration en azote total au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	184
Figure 36 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la chlorophylle -a totale au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	193
Figure 37 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de poids sec en seston au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	194
Figure 38 : Comparaison inter-annuelle des moyennes mensuelles de la biomasse phytoplanctonique au lac Waterloo de 1975 à 1979.	195
Carte 1 : Localisation du lac Waterloo par rapport à la rivière Yamaska-Nord.....	8

LISTE DES TABLEAUX

	PAGE
Tableau 1 : Morphométrie et hydrologie du lac Waterloo.....	11
Tableau 2 : Phosphore total entrant au lac Waterloo selon les différentes méthodes de calcul.....	15
Tableau 3 : Source de phosphore entrant au lac Waterloo.....	16
Tableau 4 : Extrapolation des données représentant l'évolution de la zone anoxique au lac Waterloo pour l'année 1975.....	21
Tableau 5 : Extrapolation des données représentant l'évolution de la zone anoxique au lac Waterloo pour l'année 1976.....	22
Tableau 6 : Sommaire des apports journaliers en phosphore des sédiments au lac Waterloo pour les périodes anoxiques de l'année 1975 en $\text{mg P m}^{-2} \text{ j}^{-1}$	30
Tableau 7 : Sommaire des apports mensuels en phosphore des sédiments au lac Waterloo pour les périodes anoxiques de l'année 1975 en $\text{mg P m}^{-2} \text{ mois}^{-1}$	31
Tableau 8 : Apports totaux mensuels et annuels en phosphore des sédiments au lac Waterloo pour les périodes anoxiques de l'année 1975 en $\text{kg P m}^{-2} \text{ mois}^{-1}$	32
Tableau 9 : Sommaire des apports journaliers en phosphore des sédiments au lac Waterloo pour les périodes anoxiques de l'année 1976 en $\text{mg P m}^{-2} \text{ j}^{-1}$	33
Tableau 10 : Sommaire des apports mensuels en phosphore des sédiments au lac Waterloo pour les périodes anoxiques de l'année 1976 en $\text{mg P m}^{-2} \text{ mois}^{-1}$	34
Tableau 11 : Apports totaux mensuels et annuels en phosphore des sédiments au lac Waterloo pour les périodes anoxiques de l'année 1976 en $\text{kg P m}^{-2} \text{ mois}^{-1}$	35
Tableau 12 : Sommaire des caractéristiques physiques du système d'aération "air-aqua".....	43
Tableau 13 : Principales conclusions tirées des expériences de déstratification par aération.....	46
Tableau 14 : Moyennes mensuelles de la température ($^{\circ}\text{C}$) de l'eau au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	49
Tableau 15 : Moyennes mensuelles de la concentration en oxygène dissous ($\text{mg l}^{-1} \text{ O}_2$) au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	56

LISTE DES TABLEAUX (suite)

	PAGE
Tableau 16 : Moyennes mensuelles des pourcentages en oxygène dissous au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	64
Tableau 17 : Moyennes mensuelles de la turbidité (JTU) et de la transparence (m) au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	70
Tableau 18 : Moyennes mensuelles du pH (unités pH) et de l'alcalinité ($\text{mg l}^{-1} \text{Ca CO}_3$) au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	77
Tableau 19 : Moyennes mensuelles de la conductivité (micromhos cm^{-1}) au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	86
Tableau 20 : Moyennes mensuelles de la concentration en fer soluble et en fer total ($\text{mg l}^{-1} \text{Fe}$) au lac Waterloo de 1975 à 1979..	93
Tableau 21 : Moyennes mensuelles de la concentration en manganèse soluble et en manganèse total ($\text{mg l}^{-1} \text{Mn}$) au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	103
Tableau 22 : Moyennes mensuelles de la concentration en calcium et de sodium (mg l^{-1}) au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	112
Tableau 23 : Moyennes mensuelles de la concentration en magnésium et en potassium (mg l^{-1}) au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	121
Tableau 24 : Moyennes mensuelles de la concentration en sulfates ($\text{mg l}^{-1} \text{SO}_4$) au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	130
Tableau 25 : Moyennes mensuelles de la concentration en carbone organique, inorganique et total ($\text{mg l}^{-1} \text{C}$) au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	138
Tableau 26 : Moyennes mensuelles de la concentration en phosphore inorganique, en phosphore organique et en phosphore total ($\text{mg l}^{-1} \text{P}$) au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	152
Tableau 27 : Moyennes mensuelles de la concentration en nitrites et nitrates et azote ammoniacal ($\text{mg l}^{-1} \text{N}$) au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	170
Tableau 28 : Moyennes mensuelles de la concentration en azote organique et en azote total ($\text{mg l}^{-1} \text{N}$) au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	178
Tableau 29 : Moyennes mensuelles de la biomasse phytoplanctonique de la chlorophylle -a et du poids sec de seston (mg m^{-3}) au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	188

LISTE DES TABLEAUX (suite)

	PAGE
Tableau 30 : Moyennes et écarts-type des valeurs de la température au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	53
Tableau 31 : Moyennes et écarts-type des valeurs de l'oxygène dissous au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	58
Tableau 32 : Moyennes et écarts-type des valeurs des pourcentages en oxygène dissous au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	66
Tableau 33 : Moyennes et écarts-type des valeurs de la turbidité et de la transparence au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	72
Tableau 34 : Moyennes et écarts-type des valeurs de pH et de l'alcalinité au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	79
Tableau 35 : Moyennes et écarts-type des valeurs de la conductivité au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	88
Tableau 36 : Moyennes et écarts-type des valeurs en fer soluble et fer total au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	95
Tableau 37 : Moyennes et écarts-type des valeurs du manganèse soluble et du manganèse total au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	105
Tableau 38 : Moyennes et écarts-type des valeurs du calcium et du sodium au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	114
Tableau 39 : Moyennes et écarts-type des valeurs du magnésium et du potassium au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	123
Tableau 40 : Moyennes et écarts-type des valeurs en sulfates au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	132
Tableau 41 : Moyennes et écarts-type des valeurs du carbone inorganique et carbone organique au lac Waterloo de 1975 à 1979..	140
Tableau 42 : Moyennes et écarts-type des valeurs du carbone total au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	146
Tableau 43 : Moyennes et écarts-type des valeurs du phosphore inorganique au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	154
Tableau 44 : Moyennes et écarts-type des valeurs du phosphore organique au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	159
Tableau 45 : Moyennes et écarts-type des valeurs du phosphore total au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	164

LISTE DES TABLEAUX (suite)

	PAGE
Tableau 46 : Moyennes et écarts-type des valeurs de nitrites et nitrates et d'azote ammoniacal au lac Waterloo de 1975 à 1979.	172
Tableau 47 : Moyennes et écarts-type des valeurs de l'azote organique et de l'azote total au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	180
Tableau 48 : Moyennes et écarts-type des valeurs de la biomasse phyto-planctonique de la chlorophylle -a totale et du poids sec en seston au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	190
Tableau 49 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs de la température exprimées en pourcentage au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	52
Tableau 50 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs de l'oxygène dissous exprimées en pourcentage au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	59
Tableau 51 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs du pourcentage de saturation en oxygène dissous exprimées en pourcentage au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	67
Tableau 52 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs de turbidité et de transparence exprimées en pourcentage au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	73
Tableau 53 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs du pH et de l'alcalinité exprimées en pourcentage au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	80
Tableau 54 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs de conductivité exprimées en pourcentage au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	89
Tableau 55 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs de fer soluble et fer total exprimées en pourcentage au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	96
Tableau 56 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs de manganèse soluble et du manganèse total exprimées en pourcentage au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	106
Tableau 57 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs de calcium et de sodium exprimées en pourcentage au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	115
Tableau 58 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs de magnésium et du potassium exprimées en pourcentage au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	124

LISTE DES TABLEAUX (suite)

	PAGE
Tableau 59 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs de sulfates exprimées en pourcentage au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	133
Tableau 60 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs du carbone organique exprimées en pourcentage au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	141
Tableau 61 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs du carbone total exprimées en pourcentage au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	147
Tableau 62 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs du phosphore inorganique exprimées en pourcentage au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	155
Tableau 63 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs de phosphore organique exprimées en pourcentage au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	160
Tableau 64 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs de phosphore total exprimées en pourcentage au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	165
Tableau 65 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs des nitrites et nitrates et de l'azote ammoniacal exprimées en pourcentage au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	173
Tableau 66 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs d'azote totale exprimées en pourcentage au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	181
Tableau 67 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs de la biomasse phytoplanctonique, de la chlorophylle -a totale et du poids sec de seston au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	191
Tableau 68 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs de température au lac Waterloo de 1975 à 1979 (test - t)...	54
Tableau 69 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs d'oxygène dissous au lac Waterloo de 1975 à 1979 (test - t)	60
Tableau 70 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des pourcentages en oxygène dissous au lac Waterloo de 1975 à 1979 (test - t).....	68

LISTE DES TABLEAUX (suite)

	PAGE
Tableau 71 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs de la turbidité et de la transparence au lac Waterloo de 1975 à 1979 (test - t).....	74
Tableau 72 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs du pH et de l'alcalinité au lac Waterloo de 1975 à 1979 (test - t).....	81
Tableau 73 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs de la conductivité au lac Waterloo de 1975 à 1979 (test - t).....	90
Tableau 74 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs en fer soluble et fer total au lac Waterloo de 1975 à 1979 (test - t).....	97
Tableau 75 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs de manganèse soluble et de manganèse total au lac Waterloo de 1975 à 1979 (test - t).....	107
Tableau 76 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs du calcium et du sodium au lac Waterloo de 1975 à 1979 (test - t).....	116
Tableau 77 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs du magnésium et du potassium au lac Waterloo de 1975 à 1979 (test - t).....	125
Tableau 78 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs de sulfates au lac Waterloo de 1975 à 1979 (test - t).....	134
Tableau 79 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs du carbone inorganique et carbone organique au lac Waterloo de 1975 à 1979.....	142
Tableau 80 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs du carbone total au lac Waterloo de 1975 à 1979 (test - t).	148
Tableau 81 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs du phosphore inorganique au lac Waterloo de 1975 à 1979 (test - t).....	156
Tableau 82 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs du phosphore organique au lac Waterloo de 1975 à 1979 (test - t).....	161
Tableau 83 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs du phosphore total au lac Waterloo de 1975 à 1979 (test - t).....	166

LISTE DES TABLEAUX (suite)

	PAGE
Tableau 84 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs des nitrites et nitrates et de l'azote ammoniacal au lac Waterloo de 1975 à 1979 (test - t).....	174
Tableau 85 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs de l'azote organique et d'azote total au lac Waterloo de 1975 à 1979 (test - t).....	182
Tableau 86 : Comparaison inter-annuelle des moyennes des valeurs de la biomasse phytoplanktonique, de la chlorophylle -a et du poids sec en seston au lac Waterloo de 1975 à 1979 (test - t).....	192

RESUME

La première partie de cette étude correspond à un bilan global des apports allochtones et autochtones en phosphore au lac Waterloo. L'estimation des apports en phosphore produit "in situ" est basée sur des coefficients de largage tirés de la littérature et des régions anoxiques telles que déterminées par les différentes campagnes d'échantillonnage du ministère de l'Environnement. Ces deux quantifications permettent de localiser, pour un intervalle de confiance donné, le niveau trophique du lac Waterloo avant et après l'aération.

La deuxième partie de ce rapport est un compte rendu exhaustif des fluctuations des paramètres physico-chimiques et biologiques depuis la mise en opération du système d'aération. L'étude des variations de la concentration de ces différents indices est établie en faisant appel à un outil statistique, en l'occurrence le test de student (t) à un niveau de confiance de 95%.

L'aération, en plus de maintenir un niveau adéquat d'oxygène dissous nécessaire à l'équilibre de la faune aquatique (élimination des "winter-kills"), a permis d'initier une série de réactions physico-chimiques qui se sont soldées, soit par la stabilisation de certains paramètres, soit par une forte diminution moyenne au fond de ce plan d'eau de l'ordre de 44% des concentrations en fer total et de 67% pour le manganèse total. En ce qui a trait au phosphore inorganique (bioassimilable), nous avons pu mettre en évidence une diminution moyenne d'environ 52% au fond du lac Waterloo pour la période d'aération. L'ammoniaque, substance considérée comme étant toxique pour le milieu aquatique, a enregistré une forte baisse (61%) dans ses concentrations au fond de ce plan d'eau depuis l'aération. Les paramètres biologiques tels la chlo-

rophyllée -a totale, le poids sec en seston et la biomasse phytoplanctonique présentent des variations temporelles intimement liées au niveau eutrophe du lac Waterloo.

Même s'il est possible de parler d'une nette amélioration au niveau de l'équilibre physico-chimique de ce plan d'eau, il n'est cependant pas possible de relier ces changements à une transformation de l'aspect visuel de ce plan d'eau.

Compte tenu de l'investissement de base (28 000\$), des coûts d'entretien et d'opération (6 000\$ an), de même que l'amélioration de l'équilibre bio-physico-chimique du lac Waterloo, nous recommandons que l'aération se poursuive jusqu'à ce que les travaux d'assainissement soient complétés dans cette région.

INTRODUCTION

Le ministère des Richesses naturelles a instauré, en 1976, un programme pilote visant l'aération du lac Waterloo. Cette intervention "d'urgence" avait pour but de corriger certains problèmes bien précis (ex.: mort massive de poissons, fortes odeurs d'hydrogène sulfureux, etc.). Une régénération de ce plan d'eau au sens propre du terme était théoriquement exclue, compte tenu de l'alimentation en continu de ce plan d'eau par des sources allochtones massives en éléments nutritifs.

Le but du présent rapport est d'analyser globalement l'efficacité du système d'aération au niveau physico-chimique, même si nous savons à priori qu'une amélioration en ce qui a trait aux usages (récréation, etc.) et à l'aspect visuel du plan d'eau n'est pas évidente.

1. L'EUTROPHISATION

Il est généralement reconnu que l'évolution d'un plan d'eau dépend non seulement des facteurs qui concourent fortuitement à lui donner son sens, mais aussi de l'action de l'homme qui introduit dans le milieu des causes de déséquilibre d'évolution.

Le développement intensif autour d'un lac n'est souhaitable que s'il est pondéré et que les rejets des activités humaines sont contrôlés. Il est important de se rappeler qu'un lac n'est qu'une cuvette de sédimentation où la production biologique est favorisée par une diminution des "stress" physico-chimiques. Ce type de bassin joue donc le rôle d'un récepteur physique face aux écoulements provenant du réseau hydrographique, de même que des rejets anthropogéniques véhiculés par les activités humaines le ceinturant. L'analogie la plus simple consiste à comparer un lac à un réacteur biologique. Les éléments nutritifs correspondent au combustible permettant l'activation des unités du système, représentés par les populations biologiques de l'écosystème. Un apport excessif de nutriments occasionne un accroissement de l'activité biologique à tous les chaînons trophiques (moyen terme) pour une certaine période. La bioassimilation ne pouvant compenser entièrement cette surcharge, nous assisterons dès lors à un encrassement du réacteur biologique.

L'évolution "normale" d'un plan d'eau s'échelonne sur plusieurs centaines de milliers d'années. Il faut se rappeler qu'à tous ces niveaux de vieillissement, l'écosystème lacustre est en équilibre avec son environnement, signifiant qu'un lac naturellement eutrophe peut présenter un certain potentiel tant au niveau des populations biologiques qui l'occupent

(ex.: faune piscicole) qu'au niveau du développement récréatif (ex.: lac Brome - Cantons de l'Est). Ce phénomène de maturation peut présenter des résultats (physico-chimiques, visuels, etc.) fort différents s'il est causé par une surcharge anthropogénique en sels nutritifs (agriculture, industrie, déboisement, etc.). L'eutrophisation d'un plan d'eau sera accompagnée par une augmentation de la biomasse, soit des macrophytes et des algues périphtiques des zones littorales, soit des algues planctoniques des régions pélagiques. L'orientation que prendra ce développement sera fortement influencée par⁽¹⁾ le type de substrats présents dans la cuvette lacustre, contrôlant l'enracinement des plantes aquatiques⁽²⁾, la turbidité et la transparence déterminant l'importance de la zone photique et indirectement la possibilité d'enracinement des macrophytes⁽³⁾, la présence de facteurs de croissance spécifiques tant pour les macrophytes que pour les populations phytoplanctoniques. L'importance relative des fleurs d'eau vis-à-vis la prolifération des plantes aquatiques peut être constante (tout dépendant de l'évolution bio-physico-chimique du plan d'eau) ou présenter une transition temporelle résultant de certaines modifications des facteurs physico-chimiques précités. Nous assisterons par la suite à une modification qualitative et quantitative de la faune littorale, benthique et planctonique, aussi bien qu'au niveau des peuplements piscicoles.

Sur le plan physico-chimique, nous assisterons à une augmentation des concentrations des substances nutritives, à une diminution de la transparence accompagnée d'une augmentation de la coloration des eaux. Le développement de zones anoxiques aura pour effet de restreindre l'accès des régions benthiques pour la faune piscicole pendant les périodes chaudes de la saison estivale. L'anaérobiose à l'interface sédiment-eau provoquera une diminution du potentiel rédox (Eh) qui occasionnera un flux unidirectionnel d'éléments

tels le phosphore inorganique, le fer, le manganèse, etc. Ces modifications provoqueront une transition au niveau des populations des macro-invertébrés qui se soldera finalement par une dominance unique d'une espèce (généralement des *Tubificia*).

x L'aération artificielle (ou l'oxygénation) d'un plan d'eau permet d'accroître substantiellement les concentrations en oxygène dissous. Le but visé est d'obtenir, si possible, une saturation totale* en oxygène et ce, à toutes les profondeurs.

L'intégration de cet élément permet une oxydation plus efficace par les populations micro-hétérotrophes des substances organiques disponibles. De plus, si les conditions anoxiques sont éliminées à la surface des sédiments, il sera possible d'obtenir une précipitation appréciable des éléments nutritifs tels l'azote et le phosphore. Il va sans dire que les gaz odorants comme le biométhane et l'hydrogène sulfureux (H_2S) diminueront d'importance avec la régression subséquente des zones anoxiques.

Une transition biologique s'effectuera au niveau des vases benthiques. En effet, la mono-spéciation des invertébrés s'amenuisera et il sera possible de retrouver, à moyen terme, une quantité appréciable d'organismes offrant un meilleur potentiel nutritif pour les espèces de poissons sportifs. La régénération de certaines frayères (celles présentant un envasement récent), par l'entremise de la minéralisation des boues les recouvrant, pourra permettre à long terme un renforcement des espèces piscicoles présentes tout en donnant une chance de survie accrue à leur progéniture.

* Le dimensionnement des ouvrages d'aération implique régulièrement cette hypothèse, même si après la mise en place du système, il est rare d'observer un tel résultat.

2. DESCRIPTION PHYSIQUE DU LAC WATERLOO

2.1 Localisation du lac Waterloo

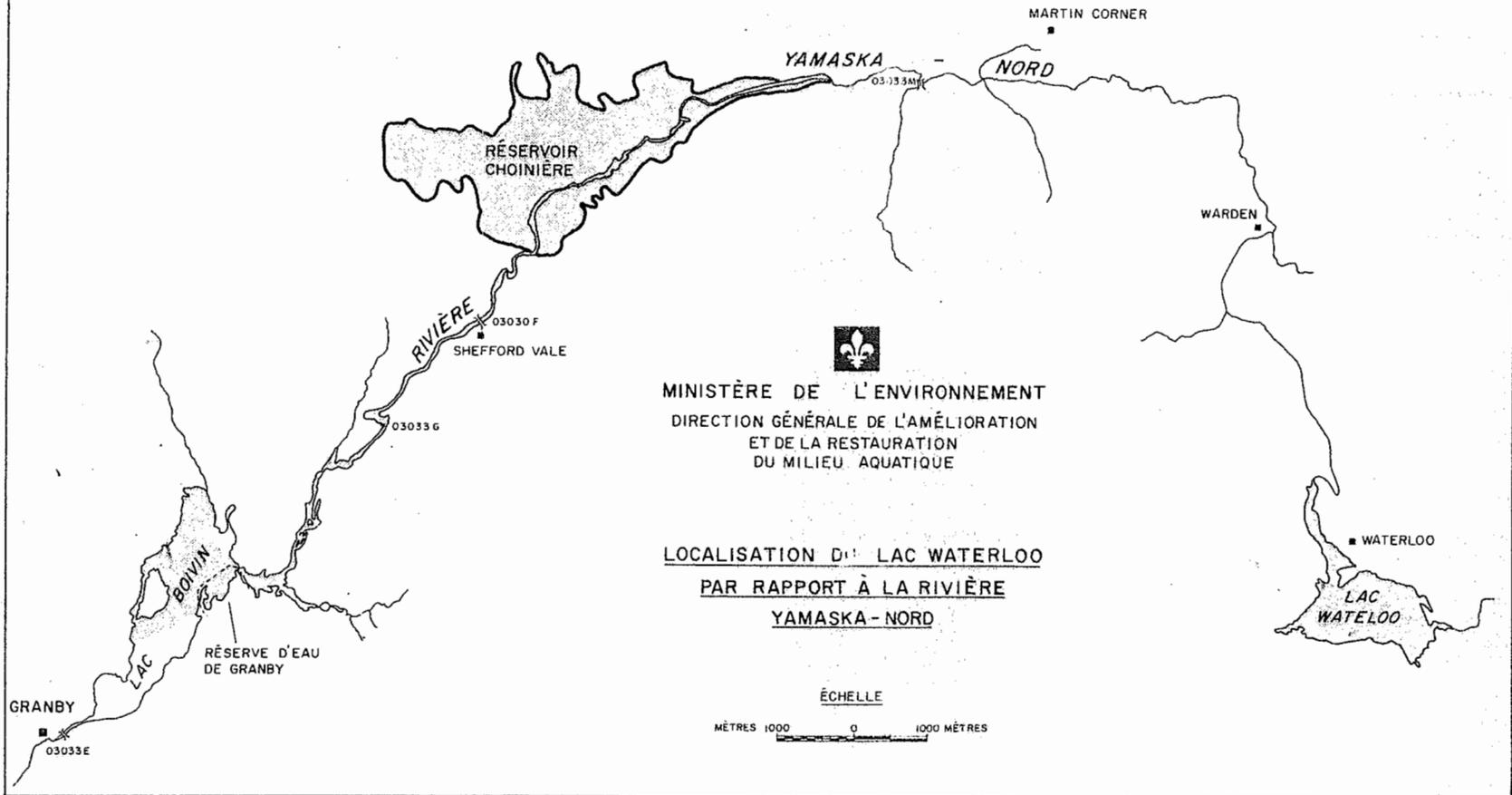
Le lac Waterloo est situé à l'intérieur du comté de Shefford, plus précisément dans la partie sud-est du bassin versant de la rivière Yamaska. Les eaux de ce lac alimentent la branche nord de cette rivière et traversent la ville de Granby avant de rejoindre le cours d'eau principal (Yamaska-Centre) entre Farnham et Adamsville (Carte 1).

2.2 Caractéristiques physiques

Le lac Waterloo occupe une superficie de $1,5 \text{ km}^2$ et est drainé par un bassin versant de $31,5 \text{ km}^2$. La profondeur moyenne de ce plan d'eau est d'environ 2,90 m. Cette dernière mesure montre bien l'envasement excessif de ce plan d'eau qui est confirmé par une épaisseur moyenne des sédiments de l'ordre de 5,85 m. En se référant à l'étude menée par Ouellette (1975), on remarque que la composition du sédiment au centre de la cuvette* correspond à de la gytja brune (60%), le reste étant constitué de matière inorganique argileuse (40%) sous laquelle repose une couche de sable du tardiglaciaire d'épaisseur inconnue (figure 1). Pour ce qui est de l'exutoire, une carotte** a aussi été prélevée 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 (figure 1).

* Deux carottes ont été prélevées; 832 et 986 cm respectivement.

** Une carotte de 443 cm a été prélevée.



MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT
 DIRECTION GÉNÉRALE DE L'AMÉLIORATION
 ET DE LA RESTAURATION
 DU MILIEU AQUATIQUE

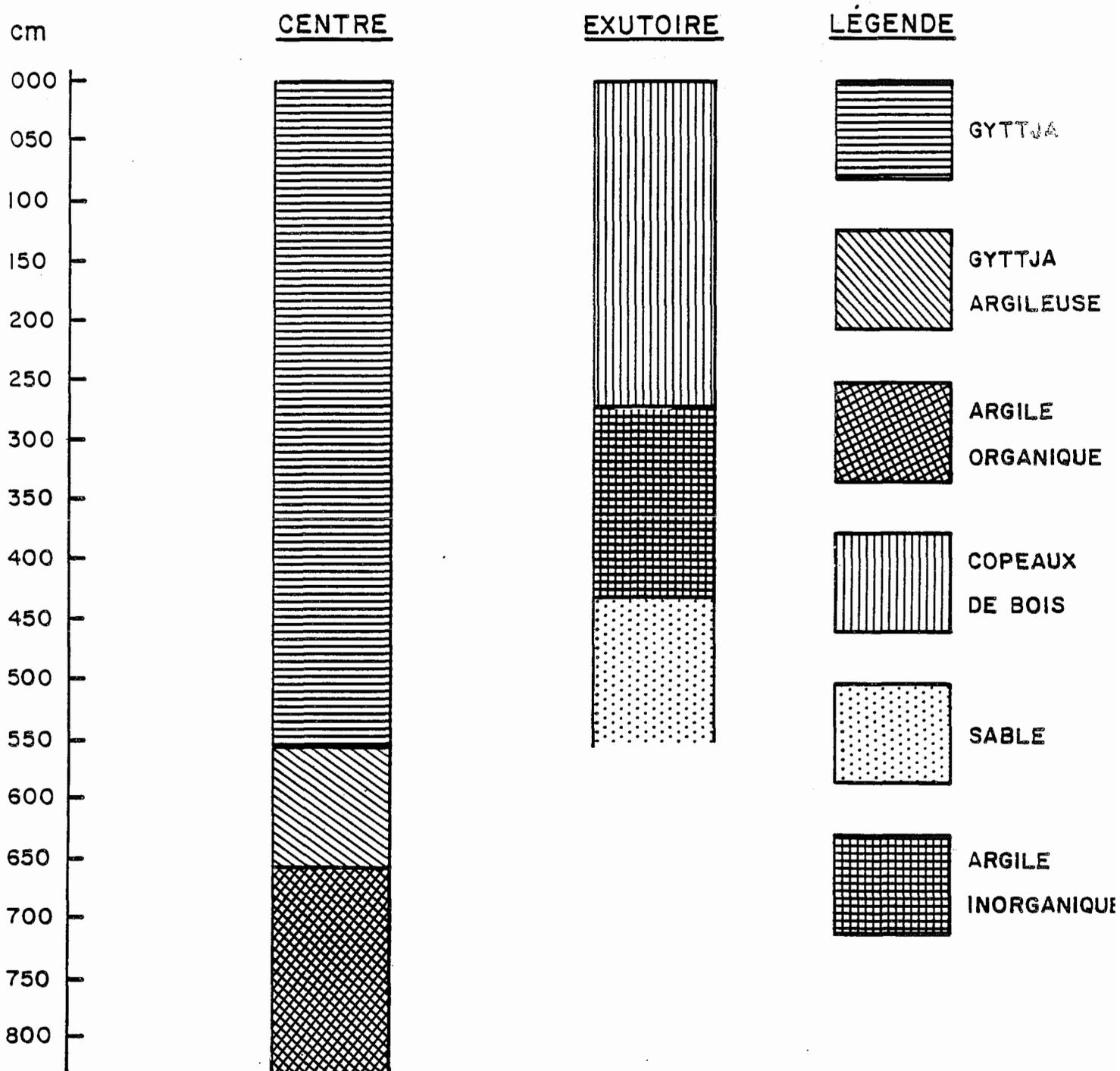
LOCALISATION DE LAC WATERLOO
PAR RAPPORT À LA RIVIÈRE
YAMASKA-NORD

ÉCHELLE

MÈTRES 1000 0 1000 MÈTRES

FIGURE: 1

LAC WATERLOO: COMPOSITION GRANULOMÉTRIQUE DU SÉDIMENT
AU CENTRE DE LA CUVETTE ET À L'ÉXUTOIRE.



Le volume d'eau du lac Waterloo est de 4,35 millions de m³, caractéristique qui laisse présager un temps de renouvellement très rapide (80 jours), si l'on tient compte de sa superficie, de même que de sa profondeur moyenne. Le tableau 1 présente un sommaire des données morphométriques qui permettront de mieux situer le lac Waterloo.

TABLEAU 1

MORPHOMETRIE ET HYDROLOGIE DU LAC WATERLOO

Altitude	:	207,02 m
Superficie	:	1,5 km ²
Périmètre	:	9,70 km
Longueur maximale	:	2,90 km
Largeur maximale	:	1,13 km
Rapport d'allongement	:	2,57
Rapport périmètre surface	:	6,47
Développement du périmètre	:	2,23
Volume du lac	:	4,35 x 10 ⁶ m ³
Profondeur maximale	:	4,90 m
Profondeur moyenne	:	2,90 m
Module à l'exutoire	:	0,62 m ³ /sec
Temps de renouvellement	:	0,22 année
Fréquence de renouvellement:		4,49

3. LES IMPLICATIONS PHYSICO-CHIMIQUES DU PHOSPHORE AU LAC WATERLOO

Cette section a pour but de donner un bref aperçu qualitatif et quantitatif de cette substance nutritive. Nous décrivons, dans un premier temps, la portion du phosphore issue du bassin versant (apports allochtones: diffus et ponctuels) et nous présentons finalement un calcul des apports autochtones originant des sédiments du lac Waterloo. Ce bilan global nous permettra de localiser théoriquement le niveau trophique de ce plan d'eau en utilisant la relation probalistique de Chapra et Reckhow (1979).

3.1 Détermination des apports allochtones en phosphore au lac Waterloo

Il est possible de déterminer la charge en phosphore arrivant à un plan d'eau à l'aide de deux méthodes couramment utilisées pour la gestion des lacs. La première est qualifiée d'indirecte et est essentiellement empirique. Ce calcul implique deux caractérisations bien distinctes. La première vise les apports naturels qui sont regroupés en trois principaux types: 1- les précipitations qui entrent en contact directement avec les surfaces d'eau du bassin (ex.: lacs, rivières, marais, etc.); 2- le phosphore véhiculé par le lessivage des forêts; 3- le phosphore originant du ruissellement du bassin versant (ex.: terre arable, champs, etc.). La seconde caractérisation touche l'estimation des apports non naturels ou artificiels qui sont de quatre types: 1- les apports issus des activités humaines (rejets domestiques); 2- les apports provenant d'une concentration non usuelle d'animaux (élevage); 3- les apports occasionnés par l'utilisation d'engrais chimiques et/ou naturels et finalement; 4- les apports émanant des industries.

Lorsque chacune de ces classes d'utilisation du sol est bien répertoriée, il est possible de quantifier les apports en phosphore en utilisant des coefficients d'exportation officiellement reconnus en littérature. Il ressort de l'étude menée par Bourassa (1976) que 25% des apports sont d'origine ponctuelle, 54% proviennent de sources diffuses, alors que le reste (21%) se compose d'apports naturels. La quantité totale de phosphore estimée par cette méthode se chiffre à $1\,719\text{ kg P an}^{-1}$. Une seconde étude basée, une fois de plus, sur l'estimation indirecte des apports en phosphore a été effectuée par LeRouzès (1978). Certaines corrections sont justifiables, car de nouveaux éléments ont permis d'augmenter la précision et la fiabilité de ce calcul. Cette nouvelle estimation tient maintenant compte des précipitations sur les zones urbaines, des apports émanant des populations flottantes, des terrains de camping, des hôtels, etc. De plus, la cartographie récente de l'utilisation du sol et un découpage du bassin versant en unités plus petites permettent d'augmenter le niveau de précision du modèle. Ces nouveaux éléments portent à $2\,264\text{ kg P an}^{-1}$ les apports totaux en phosphore pour le lac Waterloo. Cette augmentation s'est fait sentir le plus au niveau des apports diffus qui correspondent maintenant à 60% des apports totaux.

La seconde méthode utilisée pour la détermination des apports en phosphore est dite "directe", car elle fait intervenir une série de mesures (débits massiques et concentrations en phosphore) sur tout le réseau hydrographique du bassin versant. Le débit massique d'une saison correspond à la somme des débits massiques journaliers, ces derniers étant le résultat de la multiplication du débit moyen journalier par la concentration journalière en phosphore mesurée ou interpolée linéairement (Provencher et al., 1979). Ce calcul a été effectué pour trois années consécutives (1975-1976-1977) et se chiffre

en moyenne à $1\,936 \text{ kg P an}^{-1}$. Si l'on se réfère à l'étude menée par Provencher et al. (1979), il est permis de faire une moyenne arithmétique des cinq résultats (tableau 2), compte tenu du niveau de précision qui est jugé équivalent pour les deux méthodes. Le tableau 3 nous présente finalement un sommaire de l'importance relative des sources de phosphore entrant au lac Waterloo.

Etant donné que le lac Waterloo évacue annuellement une charge moyenne de $1\,454 \text{ kg P}$, il nous est possible d'estimer à 26% le coefficient de rétention de ce plan d'eau. Ce chiffre est loin d'être comparable au coefficient de rétention de 50% tel que déterminé empiriquement par Dillon et Rigler (1975). Les apports en phosphore en provenance des sédiments localisés dans les zones anoxiques* pourraient être à l'origine de cette sous-estimation.

3.2 Détermination des apports autochtones en phosphore au lac Waterloo

Le transport du phosphore inorganique (diffusion, brassage, etc.) au travers de l'interface sédiment-eau est contrôlé par la mobilité chimique de cet élément à l'intérieur même du sédiment. Le phosphore inorganique dissous, localisé dans l'interface sédiment-eau, est considéré comme étant complètement mobile, alors que le phosphore inorganique en phase solide, qui est en équilibre avec l'interface sédiment-eau, est potentiellement mobile (Toetz et al., 1972). Une forte proportion (souvent plus de 50%) du phosphore inorganique présent dans la phase solide du sédiment est potentiellement mobile

* Ce largage en phosphore dépend évidemment de la concentration en oxygène dissous à l'interface sédiment-eau. Fillos (1976) a démontré qu'une augmentation massive des concentrations en phosphore et en fer était perceptible lorsque l'eau, immédiatement adjacente aux substrats benthiques, présentait un déficit en oxygène. Cette dernière remarque confirme l'expérience menée par Stevens et al. (1976) sur le lac "Lough Neagh", fortement eutrophe, qui a démontré qu'une solubilisation du phosphore se produisait lorsque l'interface sédiment-eau présentait une saturation en oxygène aux environs de 20%.

TABLEAU 2

PHOSPHORE TOTAL ENTRANT AU LAC WATERLOO SELON

LES DIFFERENTES METHODES DE CALCUL*

METHODES/ANNEE	Kg P an ⁻¹
<u>ESTIMATION INDIRECTE</u>	
1976	1 719
1979	2 264
<u>EVALUATION DIRECTE</u>	
1975	1 433
1976	2 458
1977	1 917

APPORTS MOYENS AU LAC WATERLOO: 1 960. kg P an⁻¹

* Provencher et al. (1979).

TABLEAU 3

IMPORTANCE RELATIVE DES SOURCES DE PHOSPHORE ENTRANT AU

LAC WATERLOO*

SOURCES	IMPORTANCE %
<u>APPORTS PONCTUÉLS</u>	
Domestique	--
Industries	21
<u>APPORTS DIFFUS</u>	
Elevage	18
Fertilisants	3
Domestiques	37
<u>APPORTS NATURELS</u>	
Forêts et pluie	21

* Provencher et al. (1979)

telle que démontrée par l'isotope radioactif ^{32}P (Li et al., 1972). Nous pouvons ainsi dire que le phosphore inorganique associé avec le sédiment particulière régularise le phosphore inorganique retrouvé dans l'interface sédiment-eau par des processus d'absorption-désorption et par différents mécanismes d'échanges (Wetzel, 1975). Il est très fréquent de retrouver des concentrations en P inorganique dans l'eau interstitielle qui dépassent les teneurs retrouvées dans les eaux du lac (Stumm et Leckie, 1971).

Lorsque les concentrations en oxygène dissous sont suffisamment élevées ($\geq 2 \text{ mg/l}^{-1}$), un flux unidirectionnel du phosphore vers les sédiments est observable (précipitation) (Pesson et al., 1976). Le phénomène inverse (largage) est perceptible lorsqu'il y a disparition de la microzone oxydée et la diminution concomitante du potentiel rédox (Eh). L'épaisseur des sédiments responsables de cette migration ascendante en phosphore peut être considérable. Le phosphore peut être largué (sur une période de deux à trois mois) à partir de 10 cm lorsque le sédiment est anoxique et non perturbé, tout dépendant de la composition de celui-ci (ex.: calcaire, organique, acide, etc.) (Sérodès, 1980). Aucune différence significative n'a été remarquée avec des sédiments stérilisés (absence de bactéries anaérobies).

L'importance des bactéries et leur rôle dans le cycle du phosphore en eau libre sont bien connus et très documentés, mais ce rôle est extrêmement mineur au niveau du largage du phosphore à partir des sédiments (Wetzel, 1975). L'action des bactéries anaérobies semble donc indirecte et leur rôle est restreint à une minéralisation de la matière organique en substances plus solubles par le biais des processus de fermentation.

Plusieurs études (Amstrong et al., 1972; Stumm et Leckie, 1971; Hayes et Phillips, 1958; Olsen 1964; Fekete et al., 1976; Campbell et al., 1978) en laboratoire ont démontré clairement l'importance du largage en phosphore en utilisant des sédiments provenant de divers milieux lenthiques. Différents coefficients de transfert du phosphore ont été déterminés à partir de ces expériences. Il ressort des études de Fillos et Swanson (1975) que le rythme d'échange du phosphore est d'environ $22 \text{ à } 28 \text{ mg Pm}^{-2} \text{ j}^{-1}$, pour des microcosmes reconstitués. Kamp-Nielsen (1974) a déterminé une gamme de variations pour le largage des sédiments en phosphore qui se situe entre 1,2 et $17,3 \text{ mg Pm}^{-2} \text{ j}^{-1}$. Comme nous le verrons par la suite les résultats provenant d'études menées "in situ", sont généralement plus faibles et leur plage de variations moins grande (valeurs plus homogènes) que ceux ayant eu lieu à l'intérieur d'un laboratoire. Cette variation dans les résultats pourrait être imputable au brassage du sédiment lors de la cueillette de l'échantillon, même si une attention particulière est apportée à leur manipulation. Sonzogni et al, (1977) estime à $7 \text{ mg Pm}^{-2} \text{ j}^{-1}$ la valeur moyenne de la relâche en phosphore des sédiments du lac Shagawa au Minesota. Welch et Spyridakis (1972) ont estimé, dans le même ordre d'idées, à $4 \text{ mg Pm}^{-2} \text{ j}^{-1}$ la quantité moyenne de phosphore largué des sédiments du lac Sammanish à Washington lorsque l'interface sédiment-eau devient anoxique ($\leq 2 \text{ mg l}^{-1} \text{ O}_2$ dissous). Burns et Ross (1971) ont estimé, d'après leurs travaux au lac Erié, à $7,4 \text{ mg Pm}^{-2} \text{ j}^{-1}$ le largage moyen en phosphore de ce plan d'eau. Vollenweider (1968) chiffre, pour sa part, la relâche en phosphore des sédiments du lac Baldeggersee aux environs de $9,7 \text{ mg Pm}^{-2} \text{ j}^{-1}$ lorsque ceux-ci sont en anoxie.

Il est évident que ces résultats sont variables, même s'ils se situent dans un même ordre de grandeur. Chose certaine, ils sont plus homogènes que les valeurs évaluées à partir des microcosmes reconstitués "in vitro". La diversité qualitative des sédiments, de même que la localisation géographique de ces différents plans d'eau sont fort probablement à l'origine de ces fluctuations dans la nature des valeurs.

Plutôt que de trancher drastiquement les résultats de ces études visant la caractérisation des apports en phosphore des sédiments, nous utiliserons une plage de valeurs faisant intervenir l'apport minimum en phosphore ($4 \text{ mg Pm}^{-2} \text{ j}^{-1}$), l'apport maximum ($9,7 \text{ mg Pm}^{-2} \text{ j}^{-1}$), de même que l'apport moyen (\bar{X} des études $7 \text{ mg Pm}^{-2} \text{ j}^{-1}$) tel que déterminé par les recherches "in situ".

3.3 Détermination de la zone anoxique pour le lac Waterloo avant l'implantation du système d'aération

Très peu de données sont disponibles pour déterminer de façon très précise l'évolution de la zone anoxique au lac Waterloo. Nous n'avons, en effet, qu'une série de valeurs très limitées, couvrant l'année 1975 et une partie de l'année 1976. Nous devons préciser qu'une quantité abondante de données visant les lectures intégrées d'oxygène dissous sont disponibles pour plusieurs années antérieures à 1975, mais elles ne peuvent être un reflet objectif des zones anoxiques pour ces périodes d'échantillonnage. Un certain nombre de phénomènes physiques peuvent expliquer nos appréhensions. Nous savons, en effet, que ce lac présente une stratification thermique partielle très "instable" qui peut facilement être brisée en période estivale par le vent*. Cette remarque implique qu'une détermination précise des zones ano-

* L'évolution temporelle hivernale des zones anoxiques est évidemment beaucoup plus constante, compte tenu du couvert de glace.

xiques pour les périodes estivales requièrent une fréquence d'échantillonnage très serrée. Un deuxième phénomène vient accentuer nos doutes quant à la véracité de ces données. Nous remarquons, au travers de l'analyse des données décrivant l'ampleur des zones anoxiques pour la période estivale de l'année 1975, que ces régions peuvent varier indépendamment de la profondeur. Nous savons en effet qu'une zone anoxique a la caractéristique d'être homogène à une même profondeur (Guimont, 1979), c'est-à-dire que si un déficit en oxygène est décelé à 2 m du fond d'un lac thermiquement stratifié, nous pouvons être certains que l'anoxie pourra être retrouvée en tout point de l'hypolimnion à la même profondeur. Un quadrillage exhaustif* aurait donc été nécessaire au lac Waterloo de façon à bien situer l'étendue des zones anoxiques pour les années antérieures à 1975.

Les régions anoxiques hivernales ont évidemment un comportement fortement différent, principalement dû à l'absence de l'action mécanique des vents. Malheureusement, une seule campagne d'échantillonnage a été effectuée au mois de mars 1975 et deux autres campagnes ont été réalisées en février et mars 1976. Si nous acceptons, à priori que l'évolution du déficit en oxygène en période hivernale ne peut être affectée par le brassage de la masse d'eau, il nous est alors permis d'extrapoler la superficie de ces zones pour les mois de janvier et février 1975 et pour le mois de janvier 1976, en se basant sur les rapports de proportion tels qu'estimés pour le réservoir Choinière (Guimont 1979). Les tableaux 4 et 5 nous montrent l'évolution de la zone anoxique au réservoir Choinière, de même que les résultats extrapolés pour le lac Waterloo. Nous sommes parfaitement conscients du caractère empirique de cette estimation (différences physico-chimiques des deux plans d'eau, différence dans la compo-

* Ce quadrillage exhaustif du plan d'eau a été effectué pour les années 1975 et 1976.

TABLEAU 4

EXTRAPOLATION DES DONNEES REPRESENTANT L'EVOLUTION DE LA
ZONE ANOXIQUE AU LAC WATERLOO POUR L'ANNEE 1975

MOIS	PROFONDEUR CORRESPONDANT AU DEBUT DE LA ZONE ANOXIQUE (m)	SUPERFICIE CORRESPONDANTE (m ²)	EVOLUTION EXPRIMEE EN POURCENTAGE (%)	EXTRAPOLATION LAC WATERLOO (m ²)
Janvier	14 (Choinière)	198 100	(-) 23,1	597 360*
Février	7 (Choinière)	1 578 000	(+) 6,3	825 370*
Mars	8 (Choinière)	1 283 000	----	776 600**
Juin	-----	-----	----	0
Juillet	-----	-----	----	560 000**
Août	-----	-----	----	500 950**

* Valeurs extrapolées à partir de la valeur du mois de mars.

** Valeurs provenant d'une campagne d'échantillonnage au lac Waterloo.

TABLEAU 5

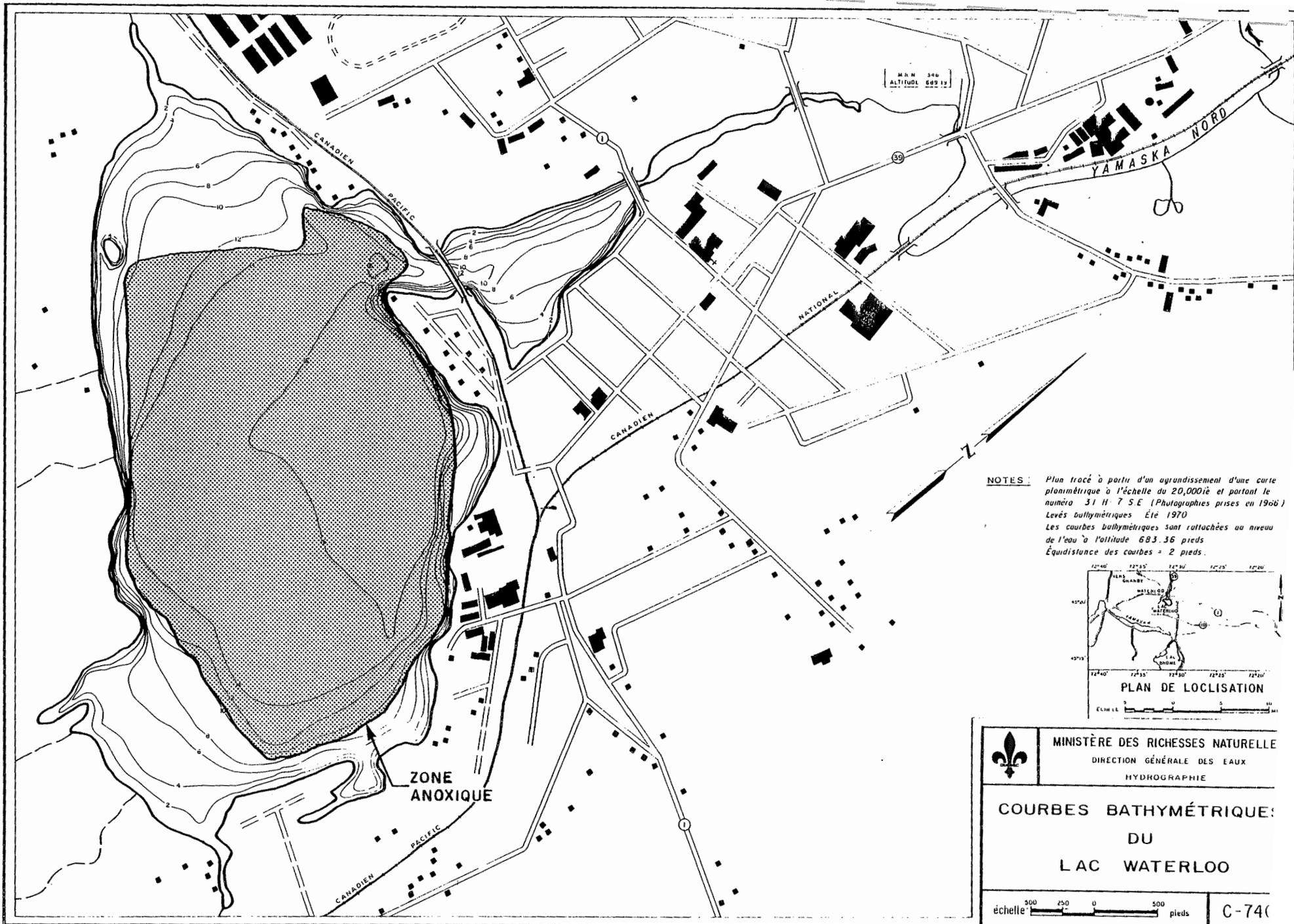
EXTRAPOLATION DES DONNEES REPRESENTANT L'EVOLUTION DE LA
ZONE ANOXIQUE AU LAC WATERLOO POUR L'ANNEE 1976

MOIS	PROFONDEUR CORRESPONDANT AU DEBUT DE LA ZONE ANOXIQUE (m)	SUPERFICIE CORRESPONDANTE (m ²)	EVOLUTION EXPRIMEE EN POURCENTAGE (%)	EXTRAPOLA- TION POUR LE LAC WATERLOO (m ²)
Janvier	14 (Choinière)	198 100	(-) 23,1	73 281*
Février	7 (Choinière)	1 578 000	(+) 6,3	93 295**
Mars	-----	-----	-----	265 956**

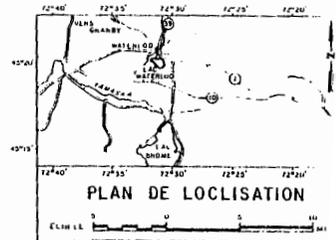
* Valeurs extrapolées à partir de la valeur du mois de février.

** Valeurs provenant d'une campagne d'échantillonnage au lac Waterloo.

FIGURE : 2 DELIMITATION DE ZONE ANOXIQUE

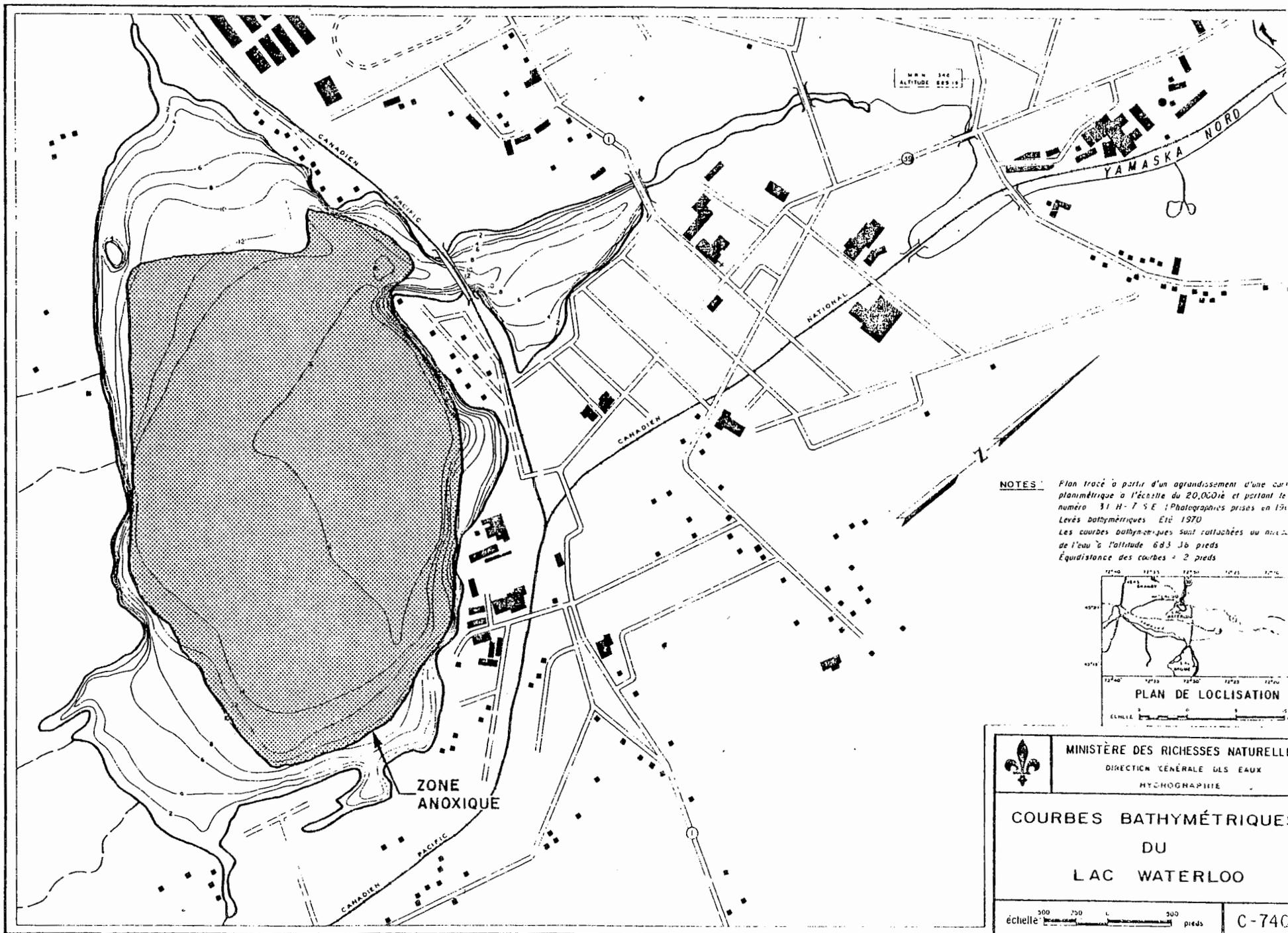


NOTES : Plan tracé à partir d'un agrandissement d'une carte planimétrique à l'échelle de 20,000^{ie} et portant le numéro 31 H 7 S.E. (Photographies prises en 1966)
 Levés bathymétriques Été 1970
 Les courbes bathymétriques sont rattachées au niveau de l'eau à l'altitude 683.36 pieds
 Équidistance des courbes = 2 pieds.



	MINISTÈRE DES RICHESSES NATURELLE DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX HYDROGRAPHIE
	COURBES BATHYMÉTRIQUES DU LAC WATERLOO
échelle 	C-740

FIGURE : 2 DÉLIMITATION DE LA ZONE ANOXIQUE POUR LE MOIS DE MARS 1975 AU LAC WATERLOO

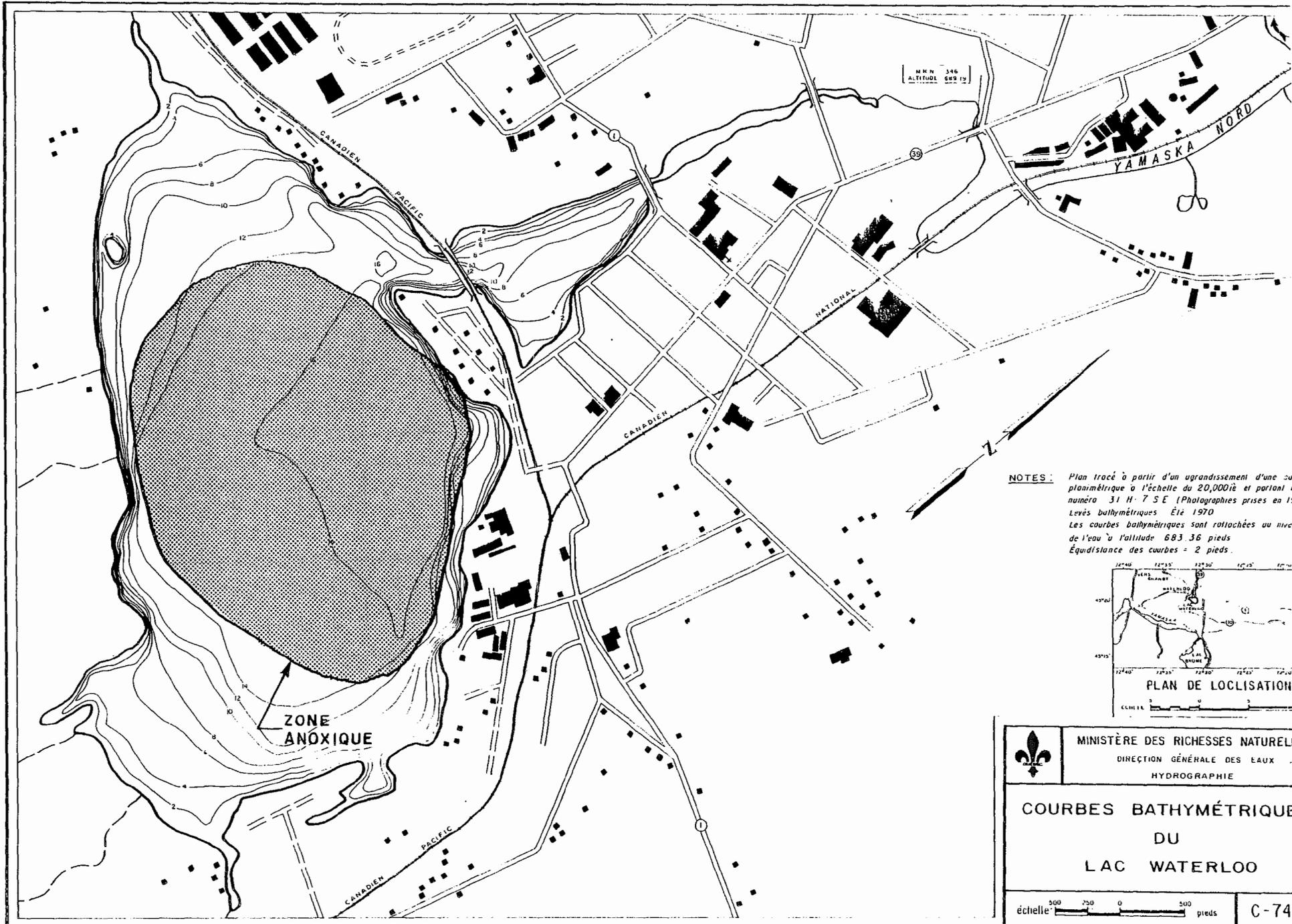


NOTES : Plan tracé à partir d'un agrandissement d'une carte planimétrique à l'échelle de 20,000:1 et portant le numéro 51 H-7 S E ; Photographies prises en 1951.
 Levés bathymétriques : Été 1970.
 Les courbes bathymétriques sont rattachées au niveau de l'eau à l'altitude 683.36 pieds.
 Équidistance des courbes = 2 pieds.

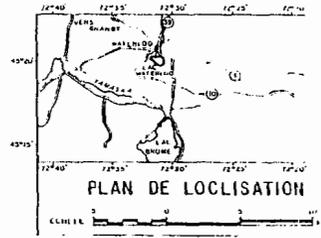


	MINISTÈRE DES RICHESSES NATURELLES DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX HYDROGRAPHIE
	COURBES BATHYMÉTRIQUES DU LAC WATERLOO
échelle 0 500 1000 pieds	C-740

FIGURE 3 DÉLIMITATION DE LA ZONE ANOXIQUE POUR LE MOIS DE JUILLET 1975 AU LAC WATERLOO



NOTES : Plan tracé à partir d'un agrandissement d'une carte planimétrique à l'échelle de 20,000^e et portant le numéro 31 H-7 S E (Photographies prises en 1941)
 Levés bathymétriques Été 1970
 Les courbes bathymétriques sont rattachées au niveau de l'eau à l'altitude 683.36 pieds
 Équidistance des courbes = 2 pieds.



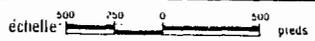
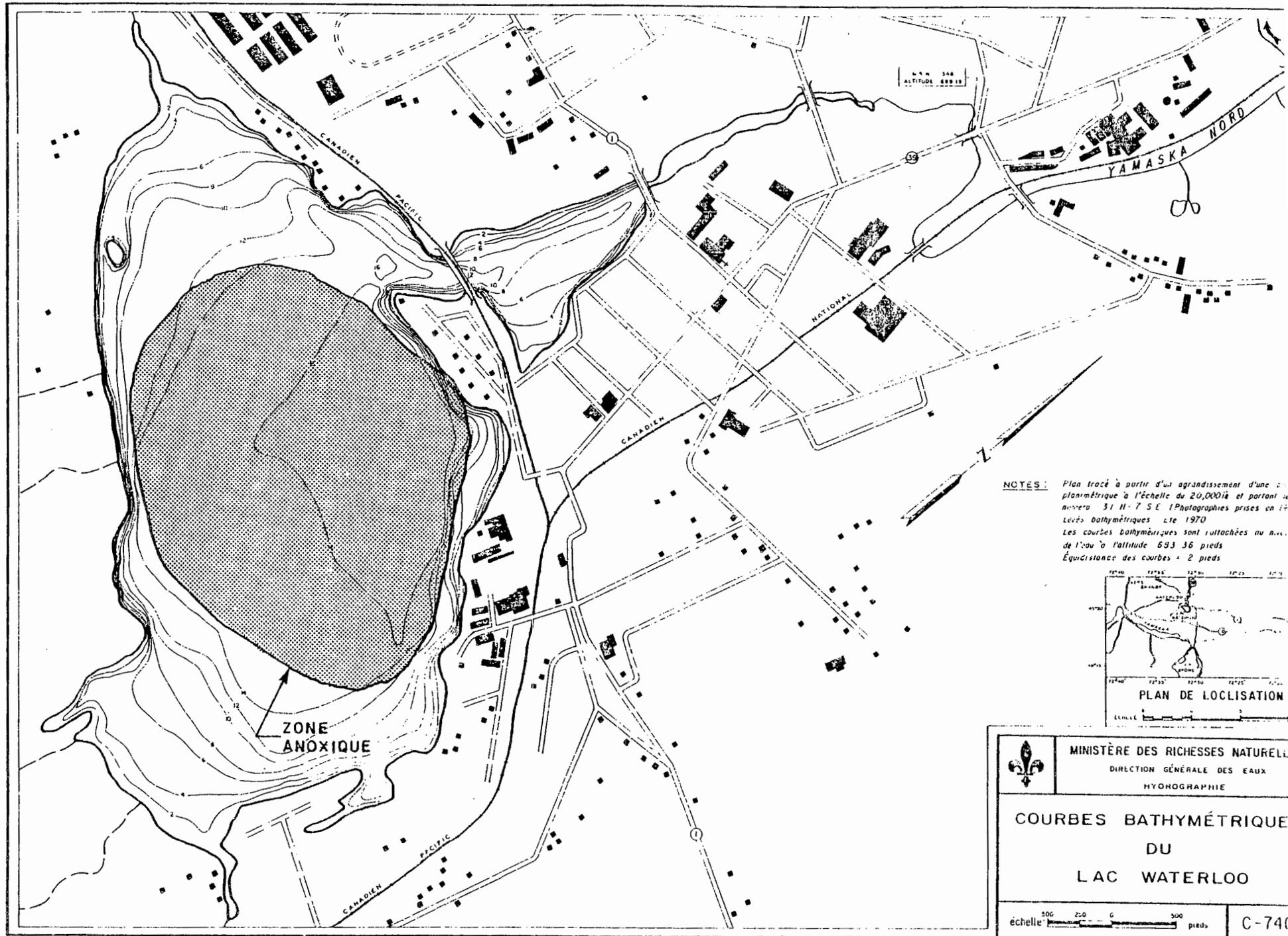
	MINISTÈRE DES RICHESSES NATURELLES DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX HYDROGRAPHIE
	COURBES BATHYMÉTRIQUES DU LAC WATERLOO
échelle:  500 250 0 500 pieds	
C-740	

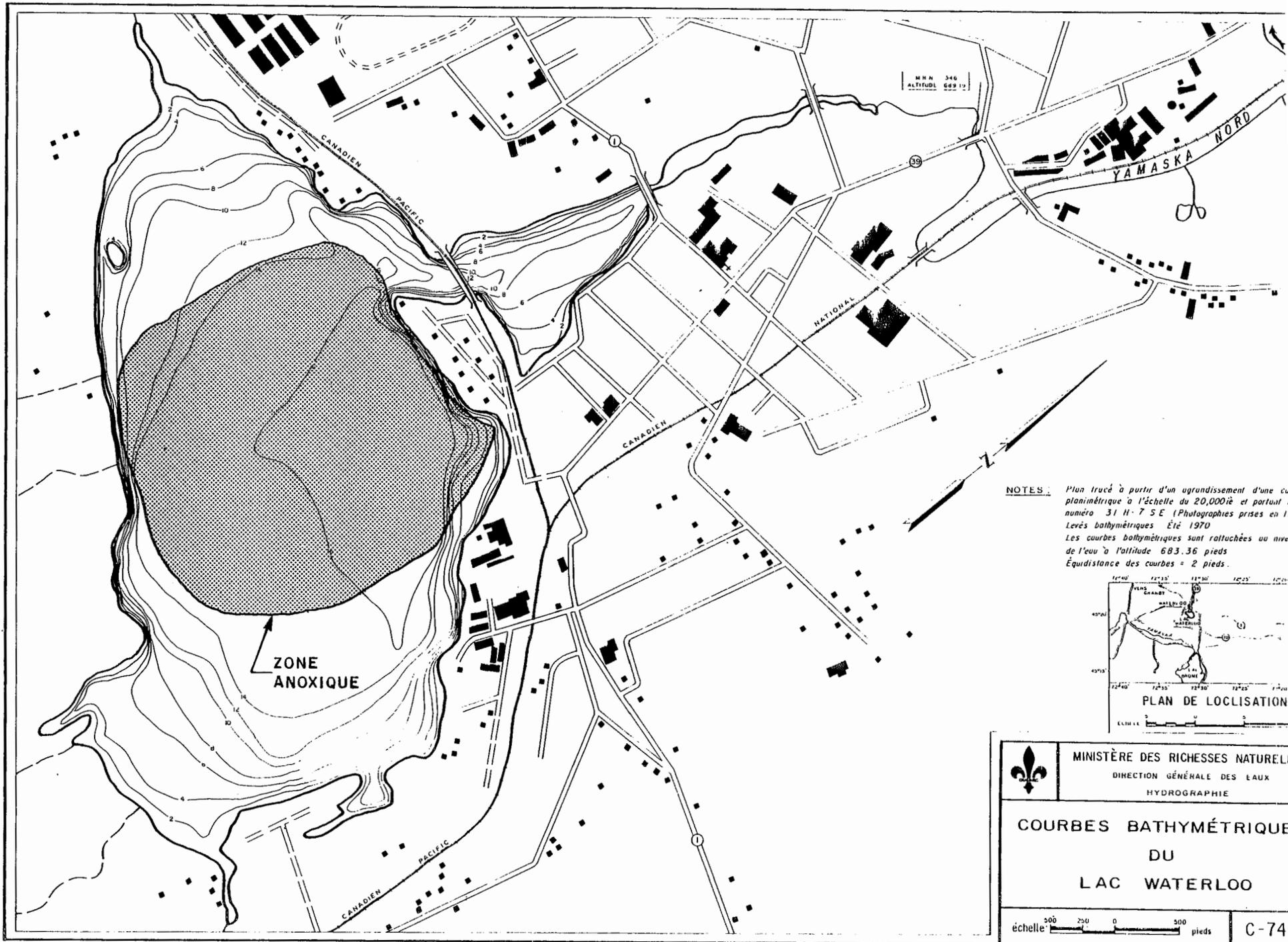
FIGURE : 3 DÉLIMITATION DE LA ZONE ANOXIQUE POUR LE MOIS DE JUILLET 1975 AU LAC WATERLOO



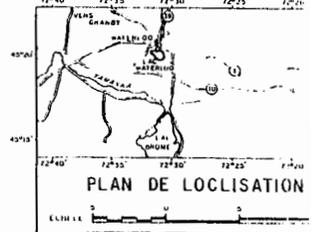
NOTES : Plan tracé à partir d'un agrandissement d'une planimétrie à l'échelle de 20,000:1 et portant le numéro 31 H-7 5 E (Photographies prises en 1970). Les courbes bathymétriques sont rattachées au niveau de l'eau à l'altitude 693.36 pieds. Équidistance des courbes = 2 pieds.

	MINISTÈRE DES RICHESSES NATURELLES DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX HYDROGRAPHIE
	COURBES BATHYMÉTRIQUE DU LAC WATERLOO
échelle  pieds	
C-740	

FIGURE : 4 DÉLIMITATION DE LA ZONE ANOXIQUE POUR LE MOIS D'AÔÛT 1975 AU LAC WATERLOO

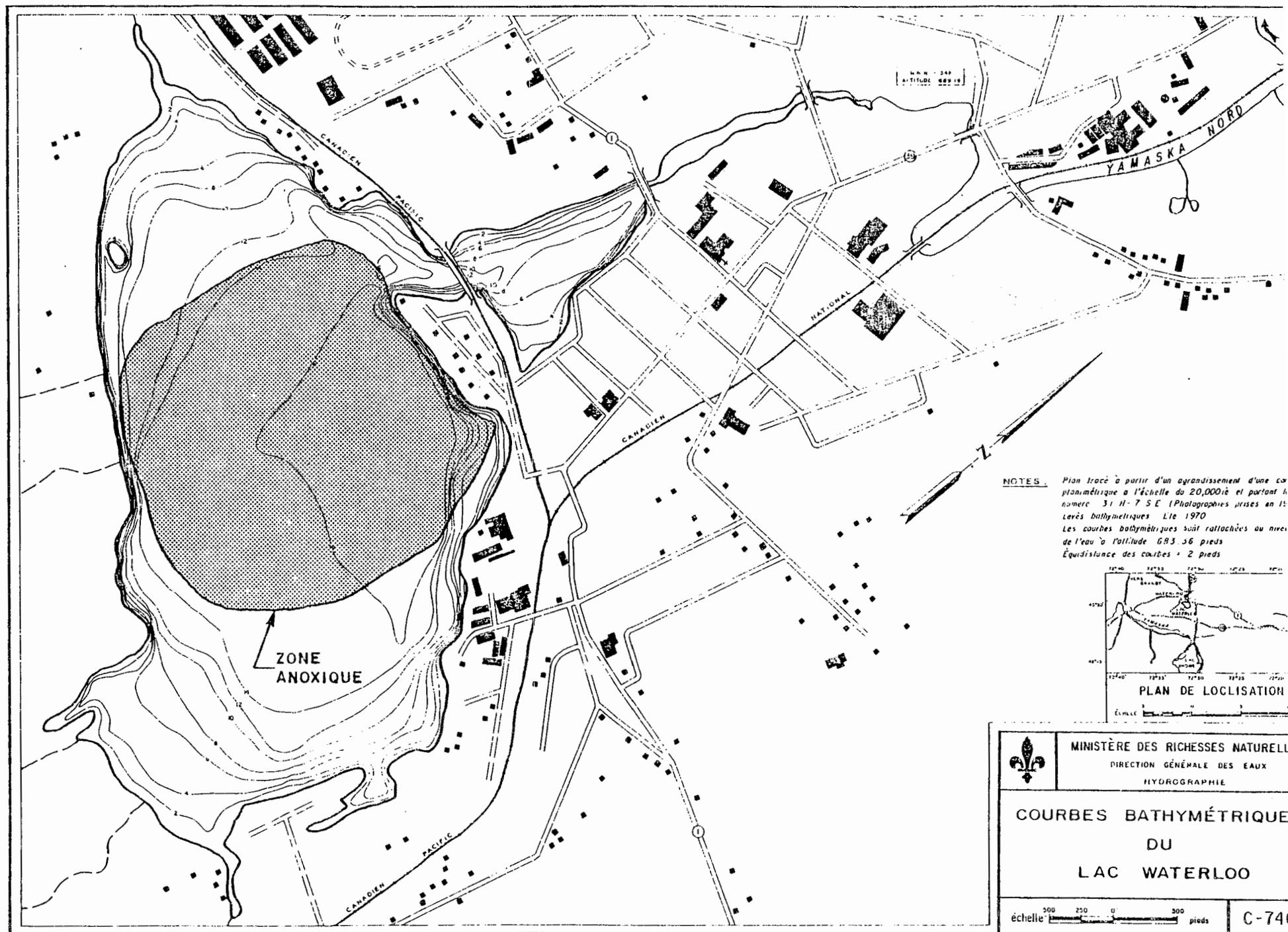


NOTES : Plan tracé à partir d'un agrandissement d'une ou planimétrique à l'échelle de 20,000^e et portant le numéro 31 H-7 S E (Photographies prises en 1970).
 Levés bathymétriques Été 1970.
 Les courbes bathymétriques sont rattachées au niveau de l'eau à l'altitude 683.36 pieds.
 Équidistance des courbes = 2 pieds.

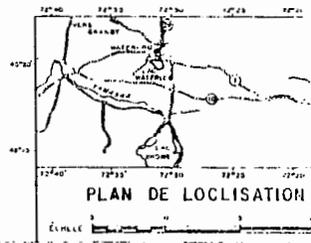


	MINISTÈRE DES RICHESSES NATURELLES DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX HYDROGRAPHIE
	COURBES BATHYMÉTRIQUE DU LAC WATERLOO
échelle  500 pieds	
C-740	

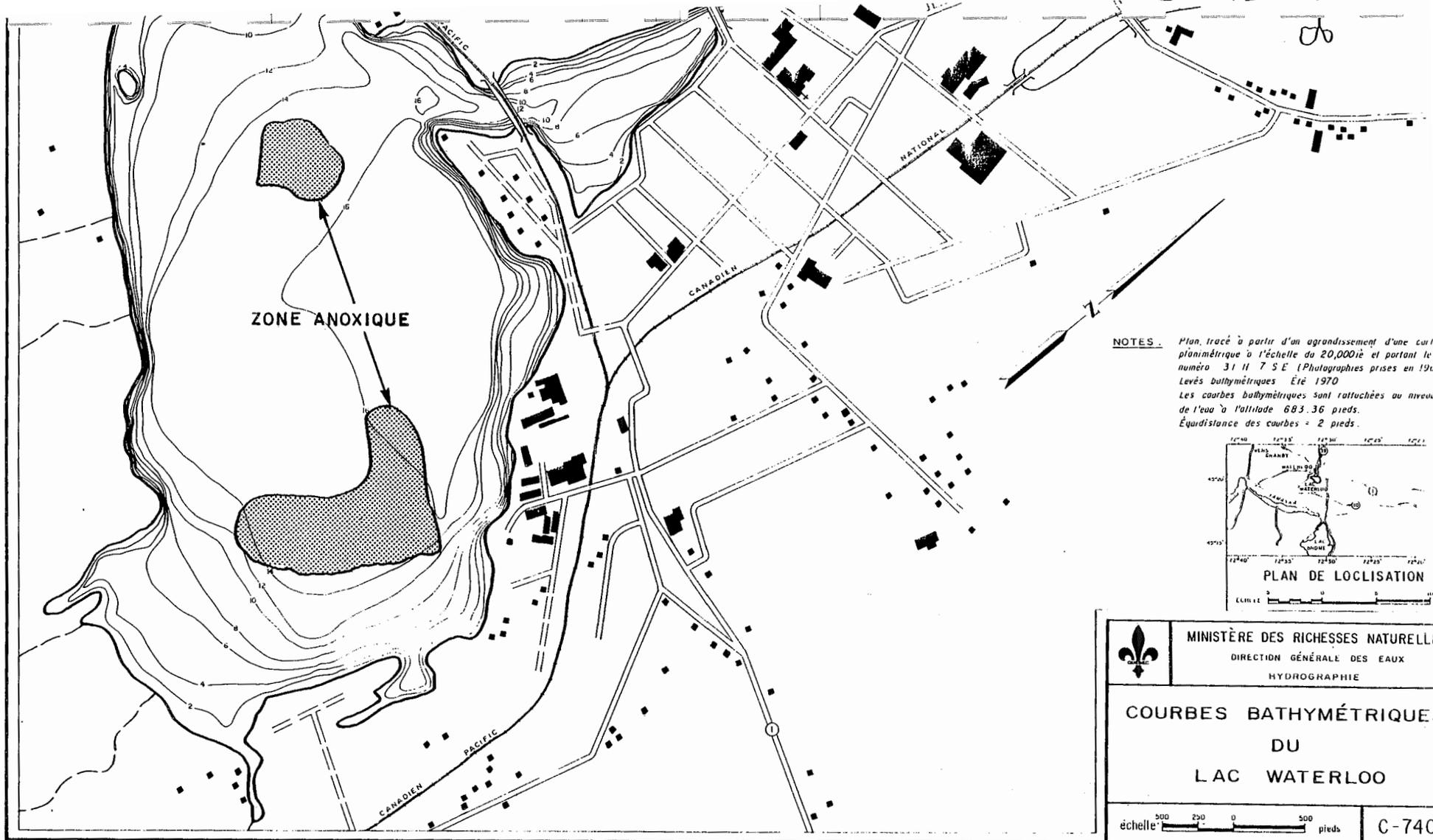
FIGURE: 4 DÉLIMITATION DE LA ZONE ANOXIQUE POUR LE MOIS D'AOUT 1975 AU LAC WATERLOO



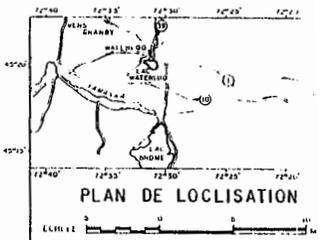
NOTES Plan tracé à partir d'un agrandissement d'une carte planimétrique à l'échelle de 20,000^e et portant le numéro 31 H-7 S E (Photographies prises en 1970). Les courbes bathymétriques sont rattachées au niveau de l'eau à l'altitude 683.56 pieds. Equidistance des courbes = 2 pieds.



	MINISTÈRE DES RICHESSES NATURELLES DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX HYDROGRAPHIE
	COURBES BATHYMÉTRIQUE DU LAC WATERLOO
échelle 	
C-740	

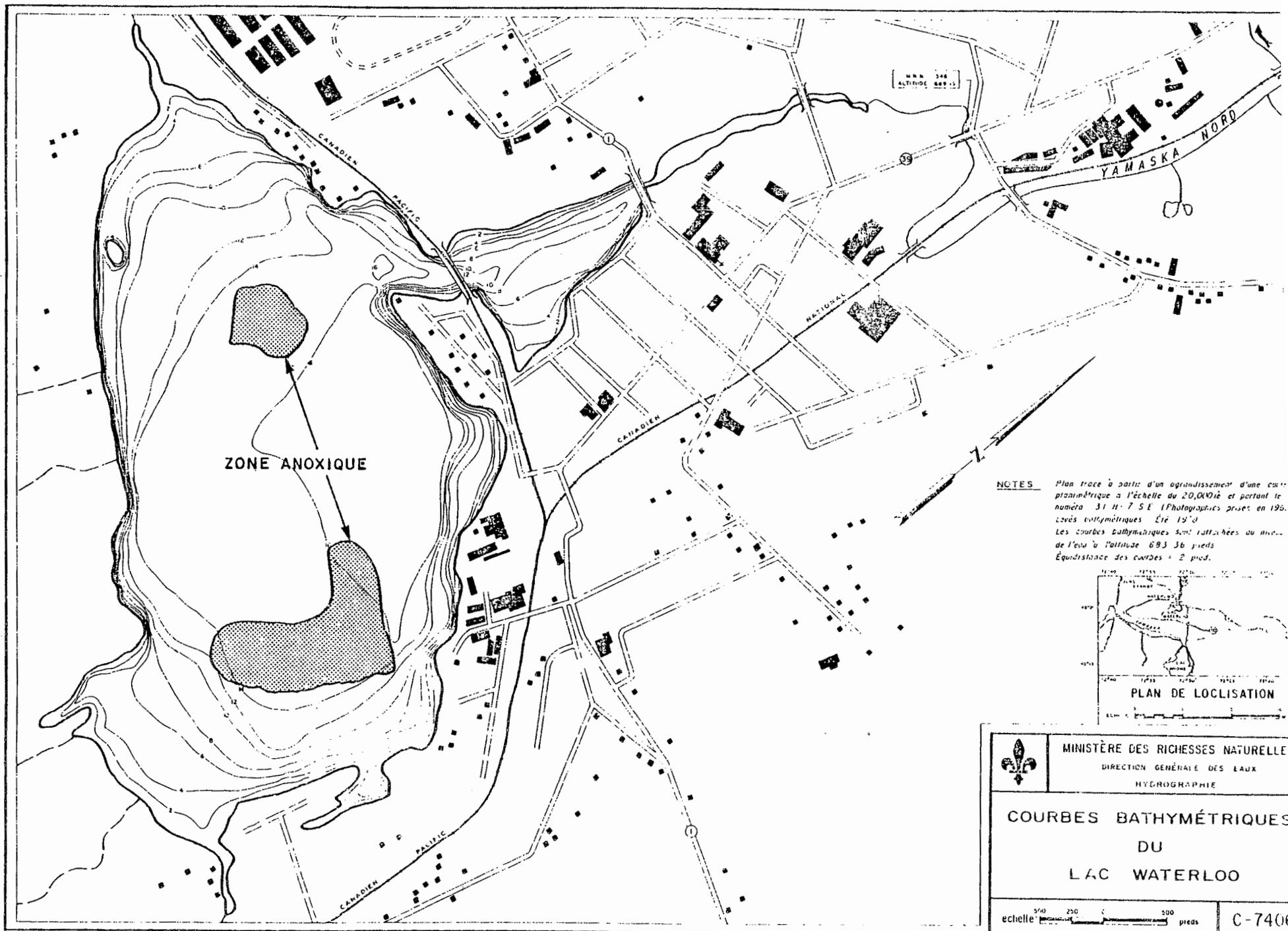


NOTES. Plan tracé à partir d'un agrandissement d'une carte planimétrique à l'échelle de 20,000^{ième} et portant le numéro 31 II 7 5 E (Photographies prises en 1960).
 Levés bathymétriques Été 1970.
 Les courbes bathymétriques sont rattachées au niveau de l'eau à l'altitude 683.36 pieds.
 Équidistance des courbes = 2 pieds.

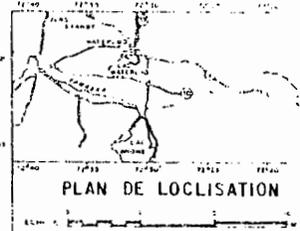


	MINISTÈRE DES RICHESSES NATURELLES DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX HYDROGRAPHIE
	COURBES BATHYMÉTRIQUES DU LAC WATERLOO
échelle:	C-7406

FIGURE: 5 DÉLIMITATION DE LA ZONE ANOXIQUE POUR LE MOIS DE FÉVRIER 1976 AU LAC WATERLOO

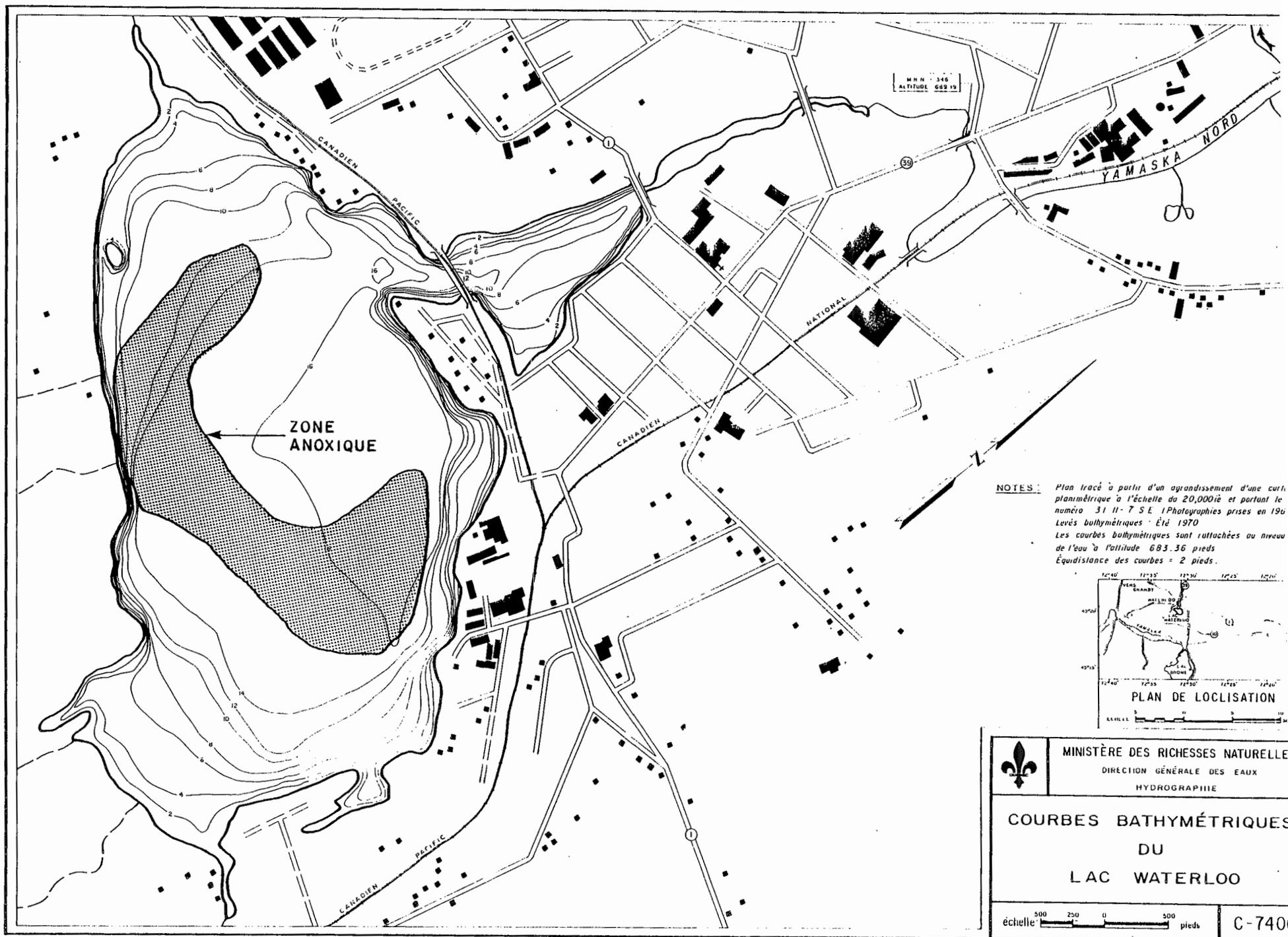


NOTES Plan trace à partir d'un agrandissement d'une coupe planimétrique à l'échelle de 20,000:1 et portant le numéro 31 II-7 SE (Photographies prises en 1956. Levés bathymétriques Été 1970). Les courbes bathymétriques sont attachées au niveau de l'eau à l'altitude 893.36 pieds. Équidistance des courbes = 2 pieds.

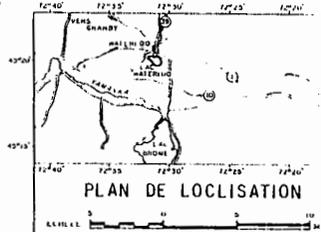


	MINISTÈRE DES RICHESSES NATURELLES DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX HYDROGRAPHIE
	COURBES BATHYMÉTRIQUES DU LAC WATERLOO
échelle 1:50,000 0 250 500 pieds	C-7406

FIGURE : 6 DÉLIMITATION DE LA ZONE ANOXIQUE POUR LE MOIS DE MARS 1976 AU LAC WATERLOO

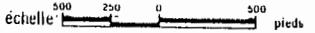


NOTES : Plan tracé à partir d'un agrandissement d'une carte planimétrique à l'échelle de 20,000^{ie} et portant le numéro 31 II-7 S.E. (Photographies prises en 1960)
 Levés bathymétriques : Été 1970
 Les courbes bathymétriques sont rattachées au niveau de l'eau à l'altitude 683.36 pieds
 Équidistance des courbes = 2 pieds.



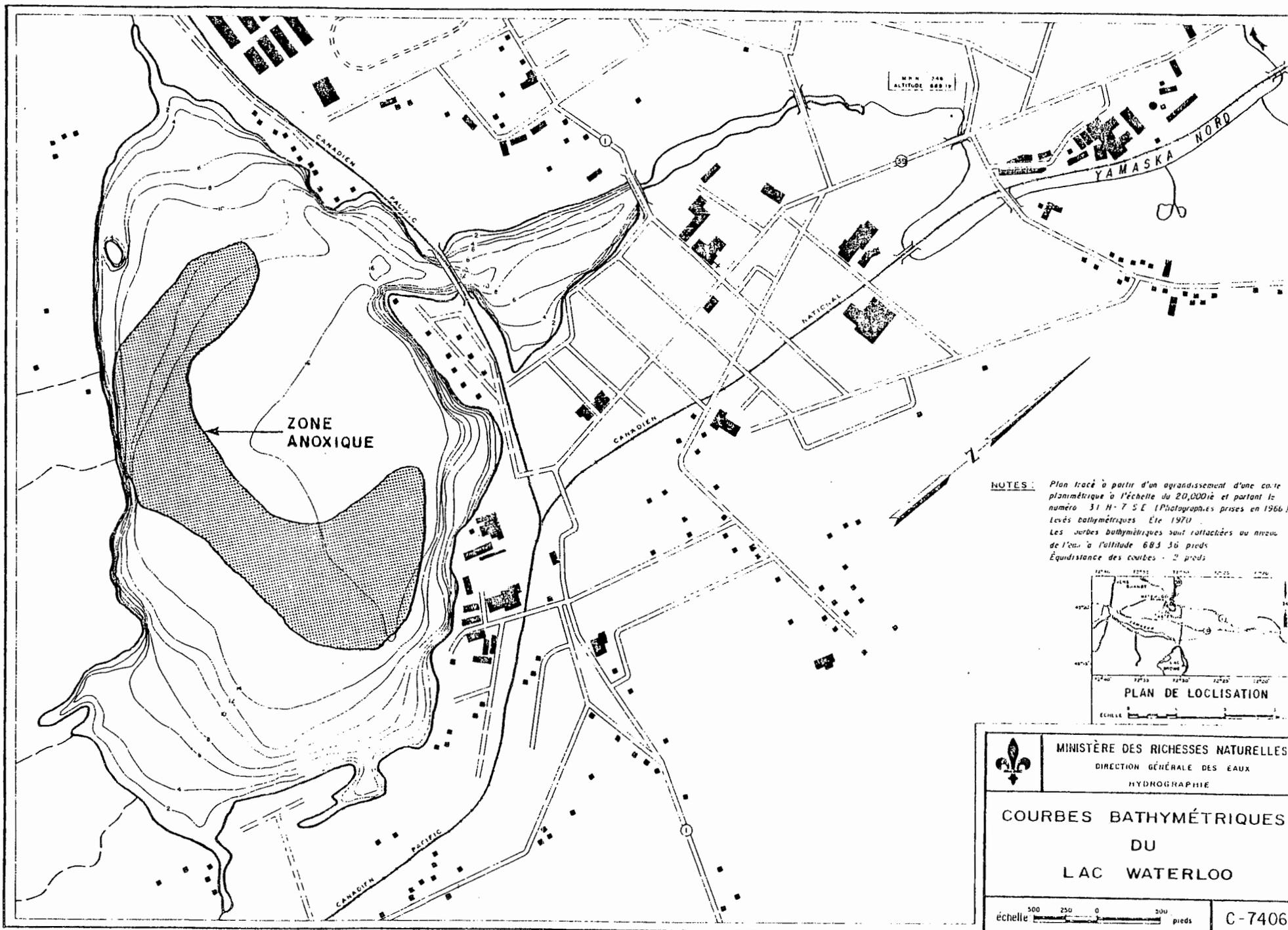

MINISTÈRE DES RICHESSES NATURELLES
 DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX
 HYDROGRAPHIE

COURBES BATHYMETRIQUES
 DU
LAC WATERLOO

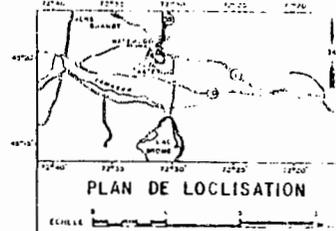
échelle:  500 250 0 500 pieds

C-7406

FIGURE: 6 DÉLIMITATION DE LA ZONE ANOXIQUE POUR LE MOIS DE MARS 1976 AU LAC WATERLOO



NOTES: Plan tracé à partir d'un agrandissement d'une carte planimétrique à l'échelle de 20,000^e et portant le numéro 31 H-7 S E (Photographies prises en 1966).
 Levés bathymétriques Été 1970.
 Les courbes bathymétriques sont rapportées au niveau de l'eau à l'altitude 683.56 pieds.
 Équidistance des courbes = 2 pieds.



	MINISTÈRE DES RICHESSES NATURELLES DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX HYDROGRAPHIE
	COURBES BATHYMÉTRIQUES DU LAC WATERLOO
échelle 	
C-7406	

7,0 mg P m⁻² j⁻¹ (section 3,1) pour l'année 1975. Les tableaux 6, 7 et 8 nous donnent un aperçu des charges en phosphore produites au cours de cette année. Ce calcul implique l'hypothèse selon laquelle la zone anoxique demeure stable (ne régresse, ni n'augmente) tout au long d'un même mois*. Connaissant maintenant les apports en provenance des sédiments (nous utiliserons pour tous les traitements subséquents la valeur moyenne de 687 kg P an⁻¹), nous sommes en mesure d'estimer l'apport total en phosphore pour ce plan d'eau (en l'occurrence 1975), il se chiffre à 2 647 kg P. Nous remarquons que les sédiments contribuent à 35% des apports totaux pour ce plan d'eau. Sachant que le lac Waterloo évacue annuellement 1 454 kg P, nous remarquons que le coefficient de rétention (45%) s'approche de façon notable du coefficient théorique de 50% tel que déterminé par Dillon et Rigler (1975, section 3.1).

3.5 Quantification des apports en phosphore des sédiments au lac Waterloo pour les régions anoxiques de l'année 1976

Les apports en phosphore en provenance des sédiments pour l'année 1976 sont présentés aux tableaux 9, 10 et 11. Comme nous pouvons le constater, ils se chiffrent en moyenne à 92 kg. Il est évident que cette dernière estimation n'est absolument pas comparable à celle de l'année précédente (687 kg) à cause de la réduction de la superficie des zones anoxiques pour les mois considérés. Cette diminution peut être attribuée à la différence temporelle de la période d'échantillonnage et dans une certaine mesure au temps où la prise des glaces a été observée (contrôlant la réserve en oxygène dissous). La période estivale de l'année 1976 a été caractérisée par la présence d'une zone anoxique pour le mois de juillet (superficie de 284 800 m²**) malgré l'installation du système

* La même superficie anoxique est utilisée pour tous les jours de chacun des mois où il y a un déficit en oxygène.

** Cette valeur ne fait pas partie des apports autochtones en phosphore pour l'année 1976.

TABLEAU 6

SOMMAIRE DES APPORTS JOURNALIERS EN PHOSPHORE DES SEDIMENTS AU LAC

WATERLOO POUR LES PERIODES ANOXIQUES DE L'ANNEE 1975

EN mg P m⁻² j⁻¹

MOIS	SUPERFICIE ZONE ANOXIQUE m ²	LARGAGE COEFFICIENT MINIMUM mg P m ⁻² j ⁻¹	LARGAGE COEFFICIENT MAXIMUM mg P m ⁻² j ⁻¹	LARGAGE COEFFICIENT MOYEN mg P m ⁻² j ⁻¹
Janvier	597 360	2 389 440	5 794 392	4 181 520
Février	825 370	3 301 480	8 006 089	5 777 590
Mars	776 600	3 106 400	7 533 020	5 436 200
Juin	-----	-----	-----	-----
Juillet	560 000	2 240 000	5 432 000	3 920 000
Août	500 950	2 003 800	4 859 215	3 506 650

TABLEAU 7

SOMMAIRE DES APPORTS MENSUELS EN PHOSPHORE DES SEDIMENTS AU LAC

WATERLOO POUR LES PERIODES ANOXIQUES DE L'ANNEE 1975

EN mg P m⁻² mois⁻¹

MOIS	NOMBRE DE JOURS	LARGAGE COEFFICIENT MINIMUM mg P m ⁻² mois ⁻¹	LARGAGE COEFFICIENT MAXIMUM mg P m ⁻² mois ⁻¹	LARGAGE COEFFICIENT MAXIMUM mg P m ⁻² mois ⁻¹
Janvier	31	74 072 640	179 626 152	129 627 120
Février	28	92 441 440	224 170 492	161 772 520
Mars	31	96 298 400	233 523 620	168 522 200
Juin	--	-----	-----	-----
Juillet	31	69 440 000	168 392 000	121 520 000
Août	30	60 114 000	145 776 450	105 199 500

TABLEAU 8

APPORTS TOTAUX MENSUELS ET ANNUELS EN PHOSPHORE DES SEDIMENTS AU

LAC WATERLOO POUR LES PERIODES ANOXIQUES DE L'ANNEE 1975

EN $\text{kg P m}^{-2} \text{ mois}^{-1}$

MOIS	LARGAGE COEFFICIENT MINIMUM $\text{Kg P m}^{-2} \text{ mois}^{-1}$	LARGAGE COEFFICIENT MAXIMUM $\text{Kg P m}^{-2} \text{ mois}^{-1}$	LARGAGE COEFFICIENT MOYEN $\text{Kg P m}^{-2} \text{ mois}^{-1}$
Janvier	74,07	179,63	129,63
Février	92,44	224,17	161,77
Mars	96,30	233,52	168,52
Juin	-----	-----	-----
Juillet	69,44	168,39	121,52
Août	60,11	145,78	105,20
APPORTS TOTAUX POUR 1975 Kg	392,36	951,49	<u><u>686,64</u></u>

TABLEAU 9

SOMMAIRE DES APPORTS JOURNALIERS EN PHOSPHORE DES SEDIMENTS AU LAC

WATERLOO POUR LES PERIODES ANOXIQUES DE L'ANNEE 1976

EN mg P m⁻² j⁻¹

MOIS	SUPERFICIE ZONE ANOXIQUE m ²	LARGAGE COEFFICIENT MINIMUM mg P m ⁻² j ⁻¹	LARGAGE COEFFICIENT MAXIMUM mg P m ⁻² j ⁻¹	LARGAGE COEFFICIENT MOYEN mg P m ⁻² j ⁻¹
Janvier	73 281	293 124	710 825	512 967
Février	95 295	381 180	924 361	667 065
Mars	265 956	1 063 824	2 579 773	1 861 692

TABLEAU 10

SOMMAIRE DES APPORTS MENSUELS EN PHOSPHORE DES SEDIMENTS AU LAC

WATERLOO POUR LES PERIODES ANOXIQUES DE L'ANNEE 1976

EN mg P m⁻² mois⁻¹

MOIS	NOMBRE DE JOURS	LARGAGE COEFFICIENT MINIMUM mg P m ⁻² mois ⁻¹	LARGAGE COEFFICIENT MAXIMUM mg P m ⁻² mois ⁻¹	LARGAGE COEFFICIENT MAXIMUM mg P m ⁻² mois ⁻¹
Janvier	31	9 086 844	22 035 575	15 901 977
Février	28	10 673 040	25 882 108	18 677 820
Mars	31	32 978 544	79 972 963	57 712 452

TABLEAU 11

APPORTS TOTAUX MENSUELS ET ANNUELS EN PHOSPHORE DES SEDIMENTS AU LAC

WATERLOO POUR LES PERIODES ANOXIQUES DE L'ANNEE 1976

EN kg P m⁻² mois⁻¹

MOIS	LARGAGE COEFFICIENT MINIMUM kg P m ⁻² mois ⁻¹	LARGAGE COEFFICIENT MAXIMUM kg P m ⁻² mois ⁻¹	LARGAGE COEFFICIENT MOYEN kg P m ⁻² mois ⁻¹
Janvier	9,09	22,04	15,90
Février	10,67	25,88	18,68
Mars	32,98	79,97	57,71
APPORTS TOTAUX POUR 1976 Kg	52,74	127,89	<u>92,29</u>

d'aération. Bourassa (1976) nous fait remarquer que ce phénomène est étroitement lié au mal fonctionnement du système. Un suivi technique méthodique, le nettoyage régulier des conduites d'aération et l'acquisition d'une certaine expérience au niveau du fonctionnement des compresseurs ont permis de corriger entièrement les problèmes d'anoxie par la suite. Il nous est donc permis de fixer "théoriquement" à 35%* la diminution de la charge en phosphore présente au lac Waterloo depuis l'aération.

3.6 Détermination du niveau trophique du lac Waterloo

Les différents modèles élaborés par Vollenweider (1968, 1975, 1976), visant la détermination de la charge en phosphore peuvent être utilisés pour prédire le niveau trophique d'un plan d'eau à partir d'un certain nombre de variables, telles: la charge en phosphore, la morphométrie et l'hydraulique du plan d'eau. Même si la représentation graphique qu'il nous suggère est statistique parce qu'elle correspond à une généralisation provenant d'un grand nombre de lacs, elle est déterministe, car une valeur prédite est le résultat d'une combinaison d'un groupe de variables indépendantes. Une telle prédiction est évidemment une excellente estimation de la valeur qu'il est le plus probable de retrouver, mais elle n'inclut pas l'information nous permettant de situer la fiabilité de cette prédiction. Chapra et Rocknow (1978) ont développé, en ce sens, une modélisation non linéaire (algorithme d'optimisation) incluant un calcul de probabilités à partir du modèle de Vollenweider (1976) qui s'exprime:

$$[\hat{P}]_{\lambda} = \frac{[P]}{1 + \sqrt{t_w}}$$

* Si l'on se base sur les apports allochtones et autochtones de l'année 1975.

Dans cette équation $[\hat{P}]_{\lambda}$ est la concentration prédite de phosphore total dans le plan d'eau (mg m^{-3}), t_w est le temps de renouvellement des eaux pour un plan d'eau donné (année) et P est la concentration en phosphore total retrouvée dans le plan d'eau qui est estimée par le rapport de la charge en phosphore total annuelle en fonction du volume d'eau arrivant au plan d'eau. La figure 7 nous montre la localisation actuelle du lac Waterloo (A_1) et sa localisation avant l'aération (A_2) qui inclut les apports autochtones en phosphore.

$$A_1 : [P] = \frac{1\,960 \text{ kg/an}}{0,62 \text{ m}^3/\text{sec}} = 100,24 \text{ mg m}^{-3} \text{ an}^{-1}$$

$$1 + \sqrt{t_w} = 1 + 0,22 \text{ an} = 1,47 \text{ an}$$

$$[\hat{P}]_{\lambda} = \frac{100,24}{1,47} = \underline{\underline{68,23 \text{ mg m}^{-3} \text{ an}^{-1}}}$$

$$A_2 : [P] = \frac{2\,657 \text{ kg/an}}{0,62 \text{ m}^3/\text{sec}} = 135,38 \text{ mg m}^{-3} \text{ an}^{-1}$$

$$1 + \sqrt{t_w} = 1 + 0,22 \text{ an} = 1,47 \text{ an}$$

$$[\hat{P}]_{\lambda} = \frac{135,38}{1,47} = \underline{\underline{92,09 \text{ mg m}^{-3} \text{ an}^{-1}}}$$

Nous pouvons donc constater qu'avant l'aération, le lac Waterloo était hyper-eutrophe avec une probabilité de 90%. L'aération a théoriquement résorbé le largage en phosphore des sédiments avec l'élimination des déficits en oxygène dissous, ce qui diminue à 75% la probabilité de faire face à un lac hyper-eutrophe. Les études de Provencher et al. (1979) ont permis de conclure qu'une réduction de 100% des sources ponctuelles et de 60% des sources diffuses étaient réalisables pour ce plan d'eau. Ceci porterait les apports totaux en phosphore à 866 kg an^{-1} . Cette solution est présentée en A_3 et comme nous

FIGURE : 7

PROBABILITÉ D'OBTENIR UN NIVEAU TROPHIQUE DONNÉ À PARTIR DES APPORTS EN PHOSPHORE

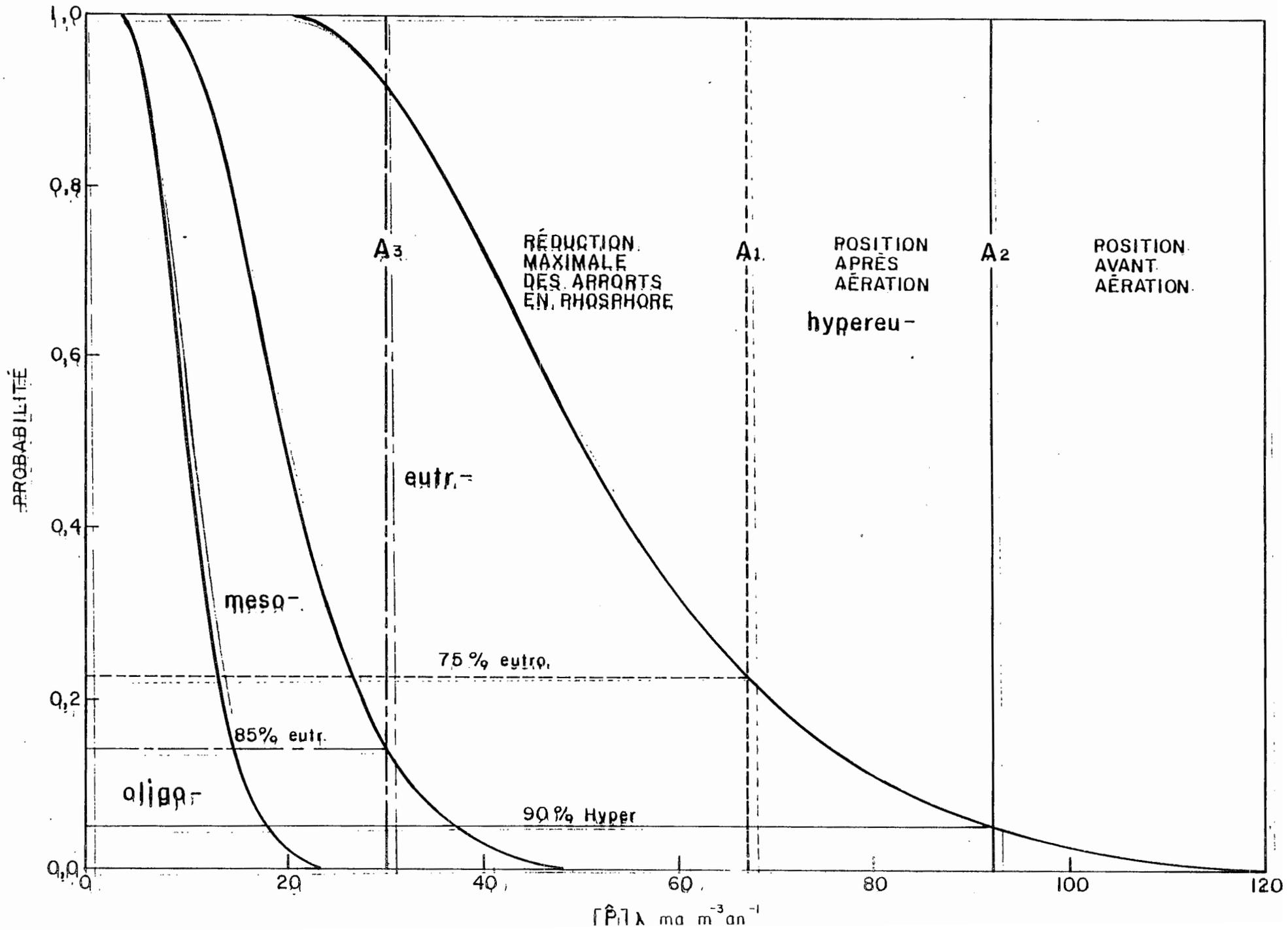


FIGURE : 8

PROBABILITÉ D'OBTENIR UN NIVEAU TROPHIQUE
 DONNÉ A PARTIR D'UNE DIMINUTION DE LA
 CONCENTRATION EN PHOSPHORE.

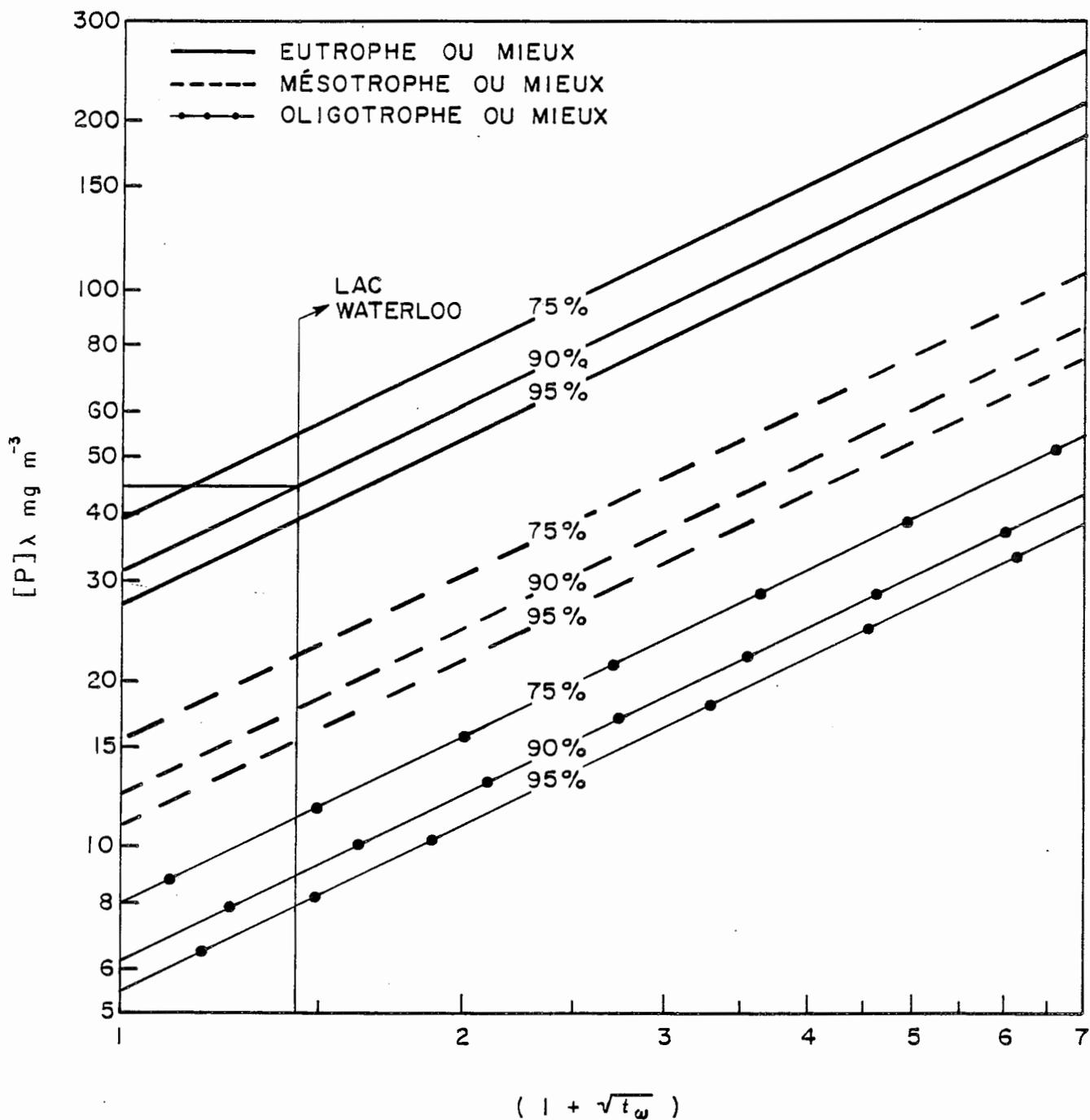
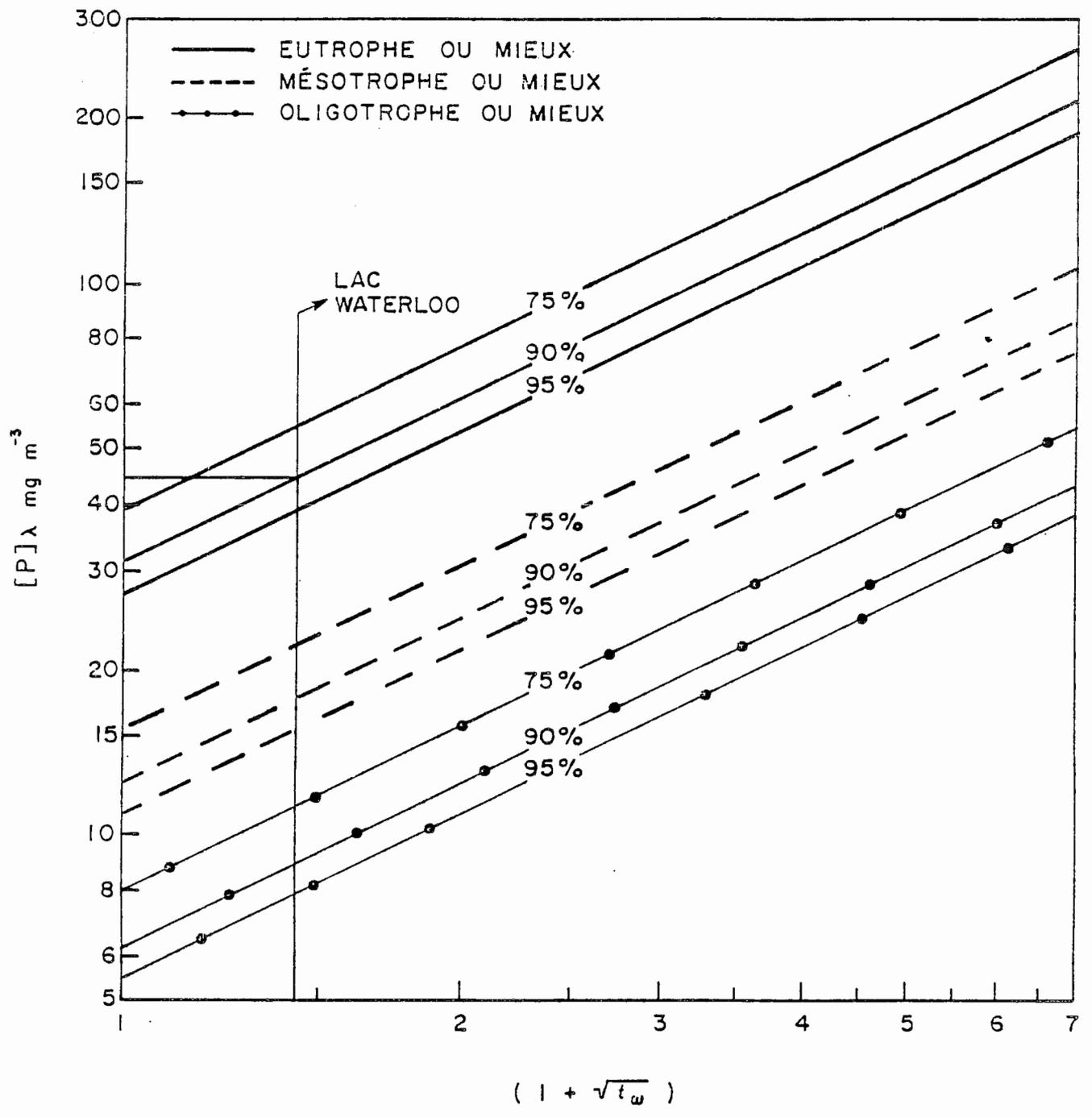


FIGURE : 8 PROBABILITÉ D'OBTENIR UN NIVEAU TROPHIQUE
 DONNÉ A PARTIR D'UNE DIMINUTION DE LA
 CONCENTRATION EN PHOSPHORE.



4. BILAN DE L'EFFICACITE DU SYSTEME D'AERATION AU LAC WATERLOO DEPUIS SA MISE EN OPERATION

4.1 Description sommaire du système d'aération "Air-aqua"

La figure 9 nous présente le système "Air-aqua" tel que développé par la compagnie "Hinde Manufacturing"*. De l'air comprimé est dirigé au travers de conduites perforées, localisées au fond (zones les plus profondes) du lac. Les boyaux sont troués sur toute leur surface supérieure. La base de ces conduites est lestée de plomb de façon à contrebalancer la force de flottabilité exercée par la pression de l'air. L'efficacité du transfert de l'oxygène à l'eau est fonction de trois composantes⁽¹⁾; la formation des bulles⁽²⁾, l'ascension des bulles d'air⁽³⁾, l'éclatement de ces bulles à l'interface air-eau. Comme il s'agit de petites ouvertures couplées à un faible débit d'air, le transfert d'oxygène, durant la formation et l'ascension des bulles, est appréciable.

L'aération au lac Waterloo est assurée par six boyaux d'aération disposés en deux groupes. Le premier est situé à environ 300 m du boyau d'accouplement principal et se dirige dans la zone la plus profonde du lac, alors que le second groupe est situé à 680 m du boyau d'alimentation principal et colle parfaitement au profil de la cuvette (figure 9).

Le tableau 12 nous présente un sommaire des caractéristiques principales du système d'aération "Air-aqua", telles que transmises par la compagnie.

* Hinde Manufacturing Ltd. est la filiale canadienne de "Hinde Engineering" Comp. Illinois; USA.

FIGURE 9

LOCALISATION DU SYSTÈME D'AÉRATION AU LAC WATERLOO
ET DES STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGES

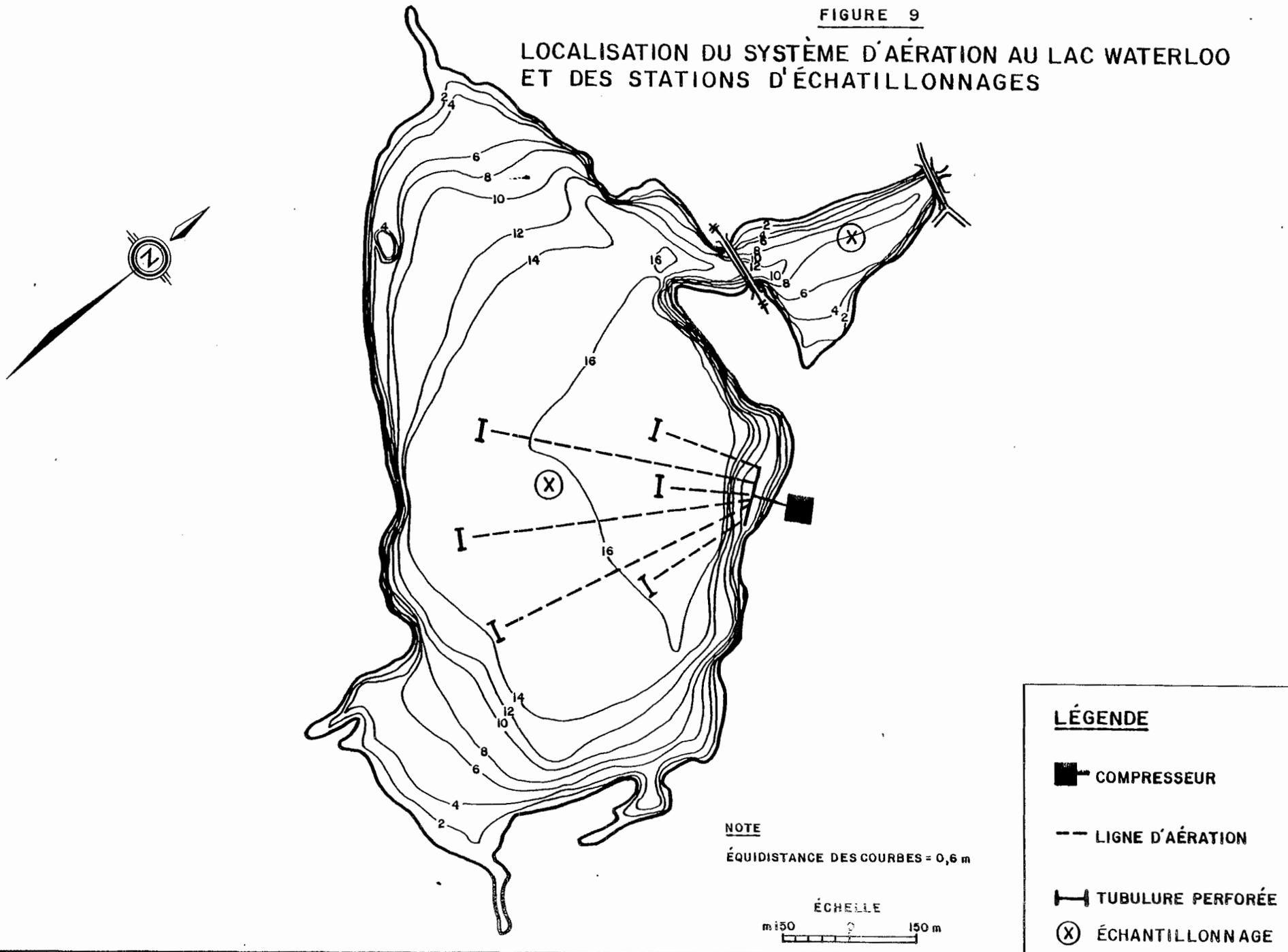
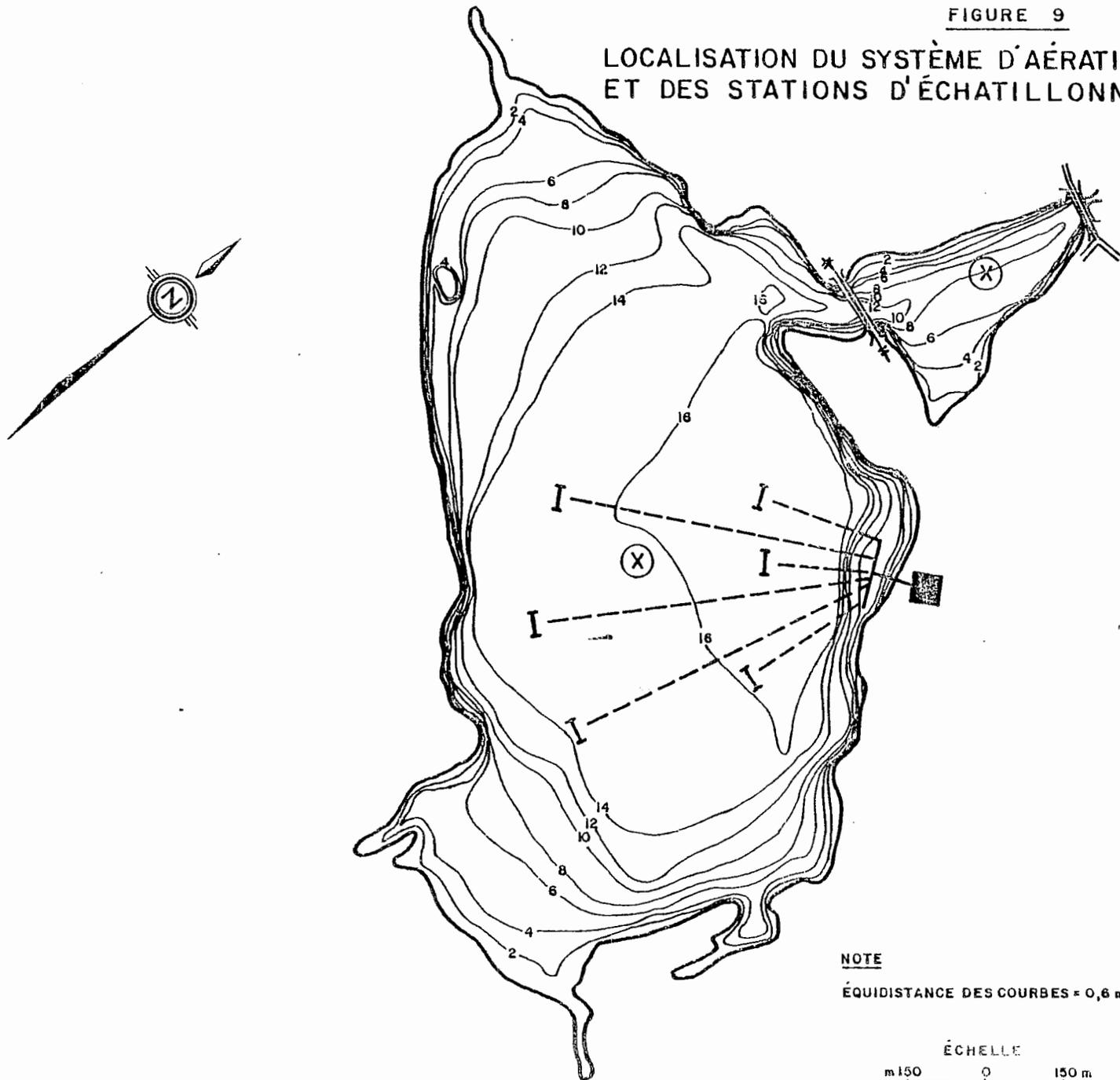


FIGURE 9

LOCALISATION DU SYSTÈME D'AÉRATION AU LAC WATERLOO
ET DES STATIONS D'ÉCHATILLONNAGES



LÉGENDE

 COMPRESSEUR

 LIGNE D'AÉRATION

 TUBULURE PERFORÉE

 ÉCHANTILLONNAGE

NOTE

ÉQUIDISTANCE DES COURBES = 0,8 m

ÉCHELLE



TABLEAU 12

SOMMAIRE DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU SYSTEME D'AERATION

"AIR AQUA" **

TRANSFERT D'OXYGENE

Grosueur d'une bulle	:	0,30 cm diamètre
Nombre de bulles par mc m* d'air	:	60×10^6
Aire des bulles par mc m d'air	:	$1\ 902\ m^2$
Taux d'élévation	:	24 cm/sec
Quantité d'oxygène transférée	:	35% à 0,0 ppm O.D. 18% à 4,0 ppm O.D.

DISPERSION D'OXYGENE

ET BRASSAGE

Taux d'élévation eau/air	:	24 cm/sec
Largeur de la colonne eau/air	:	5,0 cm pour une profondeur de 3,0 m
Pompage d'eau par mc m/15 de tubulure	:	401 000 l/min

* mc m: mètre cube par minute.

** Données provenant de la compagnie Hinde Manufacturing Ltd.

4.2 Résultats théoriques escomptés par l'aération d'un plan d'eau eutrophe

Le brassage artificiel des lacs a été régulièrement utilisé pour améliorer certains paramètres de la qualité de l'eau et pour augmenter la distribution verticale du biota qui est trop souvent déséquilibré par des problèmes d'anoxie. Un nombre assez considérable d'études ont démontré clairement une augmentation des concentrations en oxygène dissous pour tout le volume des plans d'eau étudiés (Hooper et al., 1953; Bryan 1964; Hedman et Tyley, 1966; Irwin et al., 1966; Leach et Harlin, 1970; Lakey, 1971; Malueg et al., 1971). Une diminution des concentration en manganèse et en fer (Wirth et Dunst, 1967), en ammoniacque (Symons et al., 1967; Brezonicket al., 1969; Leach et Harlin, 1970) et en sulfure d'hydrogène (Irwin et al., 1966; Leach et Harlin, 1970) a été observée dans les régions les plus profondes de certains lacs et réservoirs, suite à leur déstratification.

Certaines modifications au sein des populations autotrophes et hétérotrophes ont été observées. Celles-ci comprennent une diminution de la biomasse des algues bleues-vertes (Anon, 1971; Malueg et al., 1971) suivie d'une transition vers des groupes d'algues vertes et des flagellées (Robinson et al., 1969). Finalement, un accroissement notable de la distribution verticale de la truite (*Salmo gardneri*) (Fast, 1971) a été observé pour les plans d'eau où cette espèce était présente.

Certaines expériences de déstratification ont cependant donné peu ou pas de résultats probants en ce qui a trait à la spéciation des populations algales (Robinson et al., 1969) et de la distribution verticale du zooplancton et des macro-invertébrés benthiques (Lackey, 1971). Une analyse détaillée des effets de l'aération sur les différents types de population

dans un lac a été rédigée par Toetz et al. (1972) et résume bien les principaux avantages de cette technique de restauration. Nous présentons finalement (tableau 13) un sommaire des conclusions tirées des expériences de déstratification par l'aération.

4.3 Présentation de la méthodologie utilisée pour déterminer l'efficacité de l'aération au lac Waterloo

↳ Les tableaux 14 à 29 inclusivement correspondent aux valeurs moyennes* mensuelles pour les différents paramètres physico-chimiques et biologiques pour les années 1975 à 1979 inclusivement. Tous ces paramètres ont été regroupés sous forme d'une valeur moyenne mensuelle pour l'année 1975, 1976 à 1979 et 1979 (tableaux 30 à 48 inclusivement).

↳ Ces valeurs moyennes annuelles ont été divisées en deux périodes, la première correspondant aux saisons où le couvert de glace est absent (sans hiver) et sous couvert de glace (avec hiver). Les valeurs moyennes pour l'année 1975 nous permettront de percevoir les phénomènes physico-chimiques et biologiques avant l'aération, alors que les valeurs moyennes de 1976 à 1979 nous permettront de voir les changements occasionnés par cette intervention. L'année 1979 a été isolée de façon à mettre en évidence l'effet de l'aération sur cet écosystème aquatique après une période de trois années de fonctionnement. Le traitement en parallèle des valeurs moyennes "avec" et "sans hiver" nous permettra de voir "l'efficacité brute" associée aux périodes printanière, estivale et automnale et "l'efficacité nette" avec couvert de glace. Ces deux termes (brute et nette) font évidemment référence au fait qu'en absence d'un

* Moyennes effectuées à partir des données recueillies aux deux stations d'échantillonnage du lac Waterloo (figure 9), provenant de la banque de données "validées" du Service de la Qualité des Eaux, MEQ.

TABLEAU 13

PRINCIPALES CONCLUSIONS TIREES DES EXPERIENCES DE DESTRATIFICATION

PAR AERATION

AUTEURS	CONCLUSIONS
1) Hooper et al., 1953 Bryan, 1964 Hedman et Tyley, 1966 Irwin et al., 1966 Leach et Harlin, 1970	Augmentation appréciable des concentrations en oxygène dissous pour toute la colonne d'eau.
2) Wirth et Dunst, 1967	Diminution des concentrations en fer et manganèse.
3) Symons et al., 1967 Brezonicket al., 1969 Leach et Harlin, 1970	Diminution des concentrations en ammoniacque.
4) Irwin et al., 1966 Leach et Harlin, 1970	Diminution des concentrations en sulfure d'hydrogène.
5) Anon, 1971 Malueg et al., 1971	Diminution de la biomasse algale (bleu-verte).
6) Robinson et al., 1969	Transition des groupes d'algues bleues-vertes vers les algues vertes et finalement vers les flagellées.
7) Fast, 1971	Augmentation de la survie et de la distribution verticale de la truite (<i>Salmo gairdneri</i>)
8) Robinson et al., 1969	Absence d'une transition des populations d'algue.
9) Lackey, 1971	Aucune augmentation de la distribution du zooplancton et des macro-invertébrés.

couvert de glace, l'aération artificielle est avantageusement aidée par l'aération naturelle du plan d'eau. En hiver, même si de larges trous sont perceptibles à la surface de la glace*, l'aération artificielle est beaucoup plus responsable des concentrations en oxygène dissous retrouvées dans la colonne d'eau et des phénomènes physico-chimiques s'y rattachant.

De façon à permettre une appréciation rapide des changements au niveau des valeurs moyennes, nous avons repris la même structuration des tableaux 30 à 48 inclusivement, mais en exprimant cette fois en pourcentage la variation des moyennes des paramètres. Cet exercice a été effectué en comparant la différence des valeurs pour la période de pré-aération (1975), d'aération (1976-1979) et suite à une aération d'une durée de trois années** (tableaux 49 à 67 inclusivement).

Etant donné que les différences entre les valeurs moyennes des paramètres permettront d'établir l'efficacité ou la non-efficacité de ce système et indirectement de cette intervention, il est normal d'utiliser un test statistique qui nous permettra de juger plus objectivement la véracité des changements physico-chimiques observés. Nous avons à ce titre utilisé le test de student (t). Il est rapide d'utilisation, fiable et requiert un minimum d'information. Cet outil statistique permet de tester l'hypothèse selon laquelle la moyenne d'une population est égale ou non à une valeur donnée (en l'occurrence une autre moyenne). Pour un niveau de signification donné α (nous utilisons 0,05 ou 95%), nous n'avons qu'à déterminer la région critique à partir de la table*** des points de pourcentage de la distribu-

* L'ascension des bulles d'air provoque des mouvements de convection au-dessus des conduites d'aération, ce qui empêche la formation d'un couvert de glace à ces endroits.

** Les valeurs des différents paramètres de l'année 1975 sont utilisées comme point de comparaison.

*** Cette table est disponible dans tous les livres de statistiques.

tion en t à un degré $(N-1)$ de liberté. Les séries de données utilisées sont indépendantes et sont considérées comme étant distribuées de façon normale autour de la valeur moyenne du paramètre. De façon à ne pas "allourdir" inutilement cette étude, les tableaux correspondant aux éléments constituant ces tests seront placés en annexe⁽¹⁾ et seuls les résultats (changement significatif ou non significatif de la valeur moyenne des paramètres) seront inclus dans le texte (tableaux 68 à 86 inclusivement). De façon à permettre une visualisation plus globale des phénomènes associés aux paramètres physico-chimiques et biologiques, nous avons repris les résultats des tableaux 14 à 29 inclusivement et nous les avons représentés graphiquement. La formule générale est une simple mise en fonction du paramètre (ordonnée) versus les différents mois (abscisse) pour chacune des années disponibles (axe commun) (figures 10 à 38 inclusivement). Cet exercice permettra aux lecteurs de mieux situer les fluctuations temporelles des paramètres en fonction des périodes de pré-aération (1975) et d'aération (1976-1979).

4.4 Interprétation des données physico-chimiques et biologiques pour les périodes de pré-aération et d'aération au lac Waterloo

4.4.1 Température

Le tableau 14 nous permet de voir les différences de température à la surface et au fond du lac Waterloo avant la période de l'aération (1975). On remarque une faible différence entre ces deux points d'échantillonnage pour la période estivale, phénomène qui s'estompe pendant l'automne (homogénéisation intégrale de la masse d'eau). L'hiver 1975 présente des valeurs de température régulièrement retrouvées pour des plans d'eau similaires (faible profondeur moyenne), ce qui correspond au point de congélation pour la strate de surface,

TABLEAU 14

MOYENNES MENSUELLES DE LA TEMPERATURE (C°) DE L'EAU AU LAC

WATERLOO DE 1975 A 1979

PERIODES	Surface*	Fond**	(n)***
1975-03	0	1,4	1
1975-05	18,6	11,0	3
1975-06	20,1	19,5	4
1975-07	24,9	22,9	7
1975-08	22,8	21,8	4
1975-09	16,5	16,2	3
1975-10	11,8	11,8	4
1975-11	8,1	8,1	1
1976-01	0,6	4,7	1
1976-02	0,4	4,4	1
1976-03	0,4	3,8	2
1976-06	23,0	23,0	1
1976-07	24,0	22,3	8
1976-08	20,9	20,7	5
1976-09	16,1	15,6	4
1976-10	8,1	8,2	4
1976-11	3,0	3,0	1
1977-01	1,0	2,0	4
1977-02	1,7	2,4	4
1977-03	0,9	1,9	1
1977-05	17,1	13,0	2
1977-06	19,0	17,6	5
1977-07	22,0	21,4	4
1977-08	20,9	20,0	5
1977-09	17,5	16,7	1
1977-10	9,5	9,4	2

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage

TABLEAU 14 (suite)

MOYENNES MENSUELLES DE LA TEMPERATURE (C°) DE L'EAU AU LAC

WATERLOO DE 1975 A 1979

PERIODES	Surface*	Fond**	(n)***
1977-11	8,5	8,3	1
1978-01	1,3	1,3	2
1978-02	1,5	1,8	1
1978-03	1,5	2,5	2
1978-05	13,5	12,3	2
1978-06	19,0	18,5	2
1978-07	22,5	21,5	3
1978-08	22,0	20,8	2
1978-09	15,3	14,6	2
1978-10	9,5	10,0	1
1978-11	7,0	6,5	1
1979-02	1,0	1,0	1
1979-03	0,6	0,9	1
1979-05	16,5	16,5	1
1979-06	20,0	19,0	1
1979-07	25,5	24,5	1
1979-08	20,5	19,0	1
1979-09	15,0	15,0	1
1979-10	6,5	6,0	1

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage

qui repose sur des eaux de fond relativement plus chaudes. La période d'aération est caractérisée par une homogénéisation des valeurs de température à la surface et au fond (figure 10). Ce phénomène prévisible est provoqué par les courants ascendants occasionnés par la remontée continue des bulles d'air. Un certain "réchauffement" des eaux (tableau 30) de l'ordre de 11% est perceptible à la surface du lac Waterloo pour la période d'aération. Il en est de même pour les eaux de fond ($\approx 7\%$) (tableau 49). Ces augmentations des valeurs moyennes des températures pour la période 1976-1979 sont cependant non significatives (tableau 68).

Si cette tendance de l'indice thermique se maintenait dans le futur, il est certain que le test (t) tendrait à confirmer ce phénomène. Il serait alors possible d'expliquer ces accroissements des valeurs moyennes de température par la déstratification totale et permanente de ce plan d'eau résultant en une augmentation du bilan calorifique estival et deuxièmement par une sous-représentation des valeurs hivernales de température en raison des contraintes d'ordre physique (personnel, équipement, etc.).

4.4.2 L'oxygène dissous

Le tableau 15 nous présente les valeurs moyennes des concentrations en oxygène dissous. Nous remarquons aisément l'importance du gradient existant entre la surface et le fond avant la période d'aération. Les valeurs moyennes de ce paramètre sont beaucoup plus homogènes pour la période d'aération comme le démontre clairement la figure 11. La diminution des concentrations moyennes en oxygène dissous à la surface (tableau 50) pour la période d'aération est non significative (tableau 69), alors que l'augmentation de 32% pour ce paramètre au fond du lac est statistiquement acceptée. La comparaison

TABLEAU 49

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DE LA TEMPERATURE
EXPRIMEES EN POURCENTAGE AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	TEMPERATURE	
	SURFACE	FOND
	%	%
1975 vs 1976-1979	(+) 11,3	(+) 6,6
1975 vs 1979	(+) 11,0	(+) 6,6

(+) représente une augmentation de la valeur moyenne du paramètre.

(-) représente une diminution de la valeur moyenne du paramètre.

17 70

MOYENNES ET ECARTS-TYPE DES VALEURS DE LA TEMPERATURE

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNÉES	TEMPERATURE °C					
	SURFACE			FOND		
	\bar{x}	σ_x	n	\bar{x}	σ_x	n
1975	11,3	9,8	11	11,4	7,7	11
1976-1979	12,6	8,4	35	12,2	7,8	35
1979	12,7	8,9	9	12,3	8,5	9

TABLEAU 68

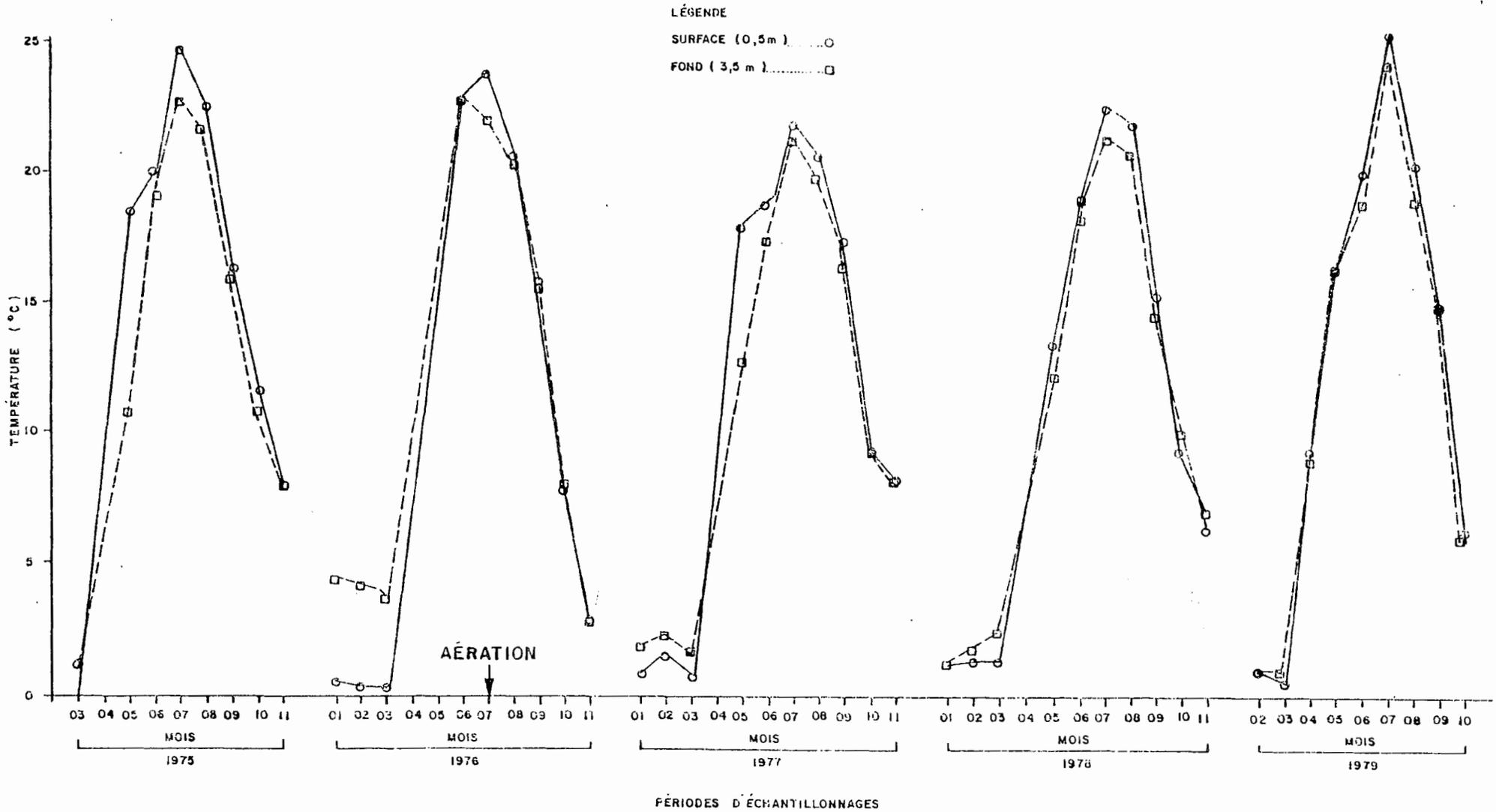
COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DE TEMPERATURE

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	TEMPERATURE (°C)	
	SURFACE	FOND
1975 vs 1976-1979	Pas significativement différent	Pas significativement différent
1975 vs 1979	Pas significativement différent	Pas significativement différent

FIGURE 10

COMPARAISON INTER - ANNUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA TEMPÉRATURE AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979



TABEAU 15

MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN OXYGENE DISSOUS (mg/l O₂)

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

PERIODES	Surface*	Fond**	(n)***
1975-03	12,2	0,8	1
1975-05	11,2	0,8	3
1975-06	8,4	7,1	4
1975-07	9,5	2,9	7
1975-08	9,4	4,6	5
1975-09	9,0	8,6	3
1975-10	10,2	10,1	4
1975-11	10,6	10,7	1
1976-01	12,7	3,4	1
1976-02	13,1	3,0	1
1976-03	12,8	2,0	2
1976-06	9,2	8,6	1
1976-07	11,4	5,2	8
1976-08	8,0	7,9	5
1976-09	10,8	9,7	4
1976-10	11,1	10,9	4
1976-11	12,4	12,4	1
1977-01	10,3	7,6	1
1977-02	6,2	4,7	2
1977-03	6,7	5,2	2
1977-05	10,4	6,7	2
1977-06	11,0	8,6	5
1977-07	8,6	7,2	4
1977-08	9,1	7,4	5
1977-09	7,4	6,5	1
1977-10	10,3	10,4	2
1977-11	11,2	11,3	1
1978-01	9,4	10,2	2

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage

TABLEAU 15 (suite)

MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN OXYGENE DISSOUS (mg/l O₂)
 AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

PERIODES	Surface*	Fond**	(n)***
1978-02	7,8	8,0	1
1978-03	5,7	6,1	1
1978-05	10,2	9,3	2
1978-06	9,7	9,5	2
1978-07	8,9	5,7	3
1978-08	11,3	6,1	2
1978-09	9,3	8,5	2
1978-10	8,8	9,1	1
1978-11	13,0	12,9	1
1979-02	7,5	7,9	1
1979-03	7,6	7,7	1
1979-04	13,0	13,2	1
1979-05	9,1	9,1	1
1979-06	11,4	9,6	1
1979-07	10,0	5,7	1
1979-08	10,8	5,3	1
1979-09	10,8	10,4	1
1979-10	11,8	11,2	1

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage

1 AU

MOYENNES ET ECARTS-TYPE DES VALEURS DE L'OXYGENE DISSOUS

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	OXYGENE DISSOUS mg/l O ₂					
	SURFACE			FOND		
<u>AVEC HIVER</u>	\bar{x}	σ_x	n	\bar{x}	σ_x	n
1975	10,8	1,7	11	5,8	3,7	11
1976-1979	9,7	1,8	35	8,5	2,3	35
1979	10,2	1,9	9	8,9	2,6	9
<u>SANS HIVER</u>						
1975	9,8	1,0	7	7,8	3,1	7
1976-1979	10,2	1,4	26	8,7	2,2	26
1979	10,7	1,0	6	8,6	2,5	6

TABLEAU 50

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DE L'OXYGENE DISSOUS

EXPRIMEES EN POURCENTAGE AU LAC WATERLOO, DE 1975 A 1979

ANNEES	OXYGENE DISSOUS	
	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>	%	%
1975 vs 1976-1979	(-) 10,2	(+) 31,8
1975 vs 1979	(-) 5,6	(+) 34,8
<u>Sans hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	(+) 3,9	(+) 10,3
1975 vs 1979	(+) 8,4	(+) 9,3

(+) représente une augmentation de la valeur moyenne du paramètre.

(-) représente une diminution de la valeur moyenne du paramètre.

TABLEAU 69

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS D'OXYGENE DISSOUS
AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	OXYGENE DISSOUS mg/l O ₂	
	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	Pas significativement différent	Significativement différent
1975 vs 1979	Pas significativement différent	Significativement différent
<u>Sans hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	Pas significativement différent	Significativement différent
1975 vs 1979	Pas significativement différent	Pas significativement différent

FIGURE 21

COMPARAISON INTER-ANUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN CALCIUM AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979

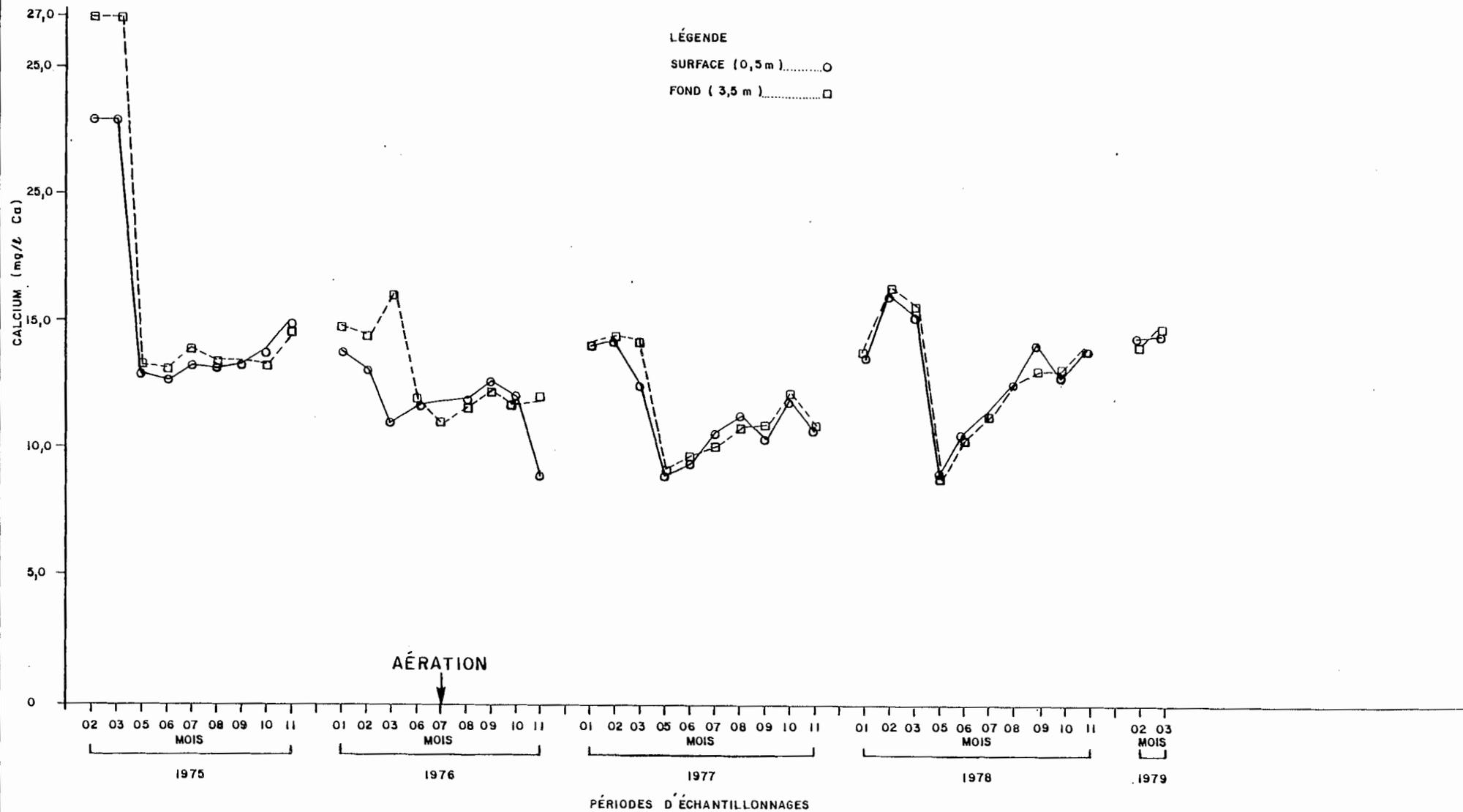


FIGURE 22

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN SODIUM AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979

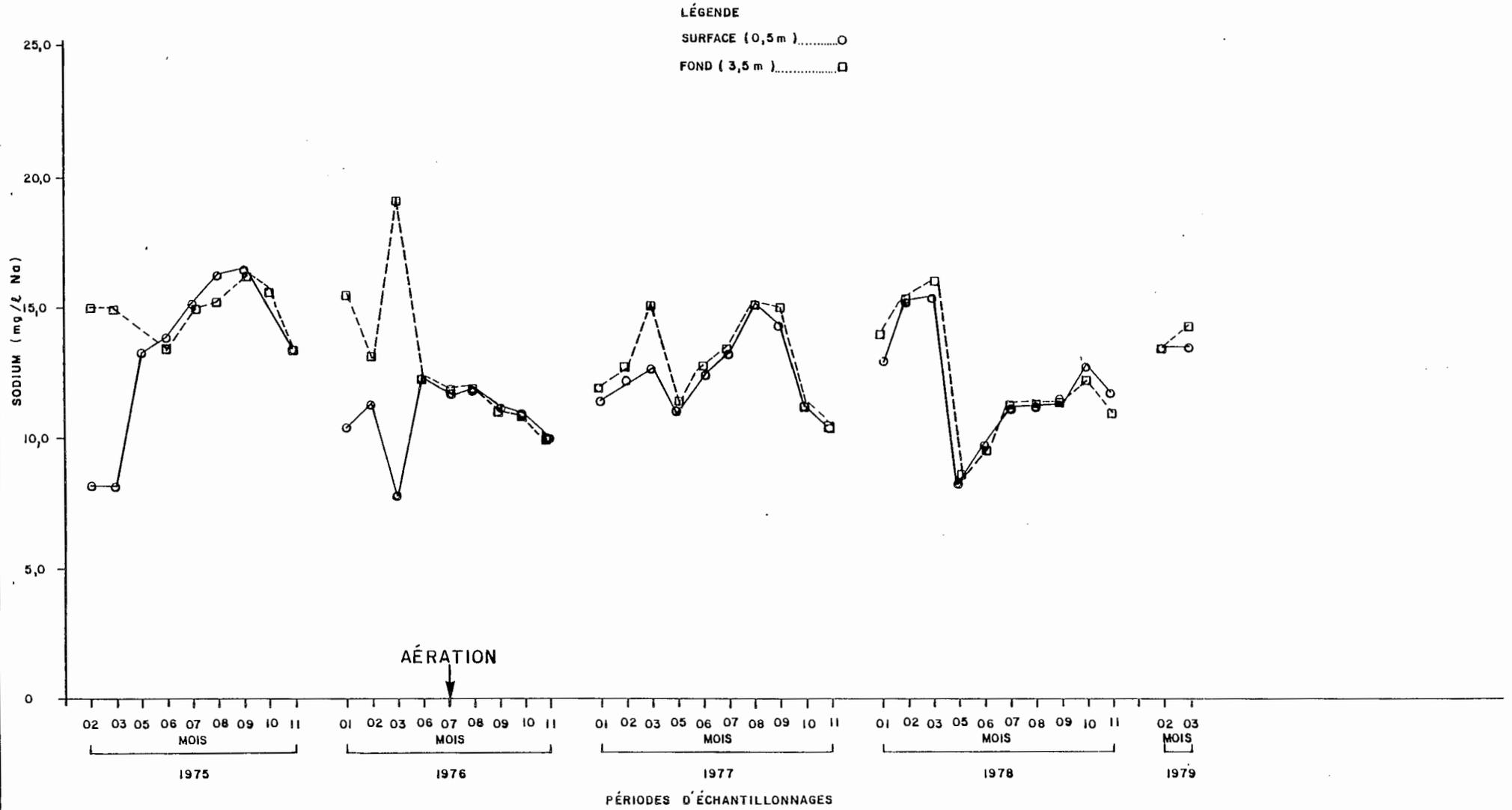
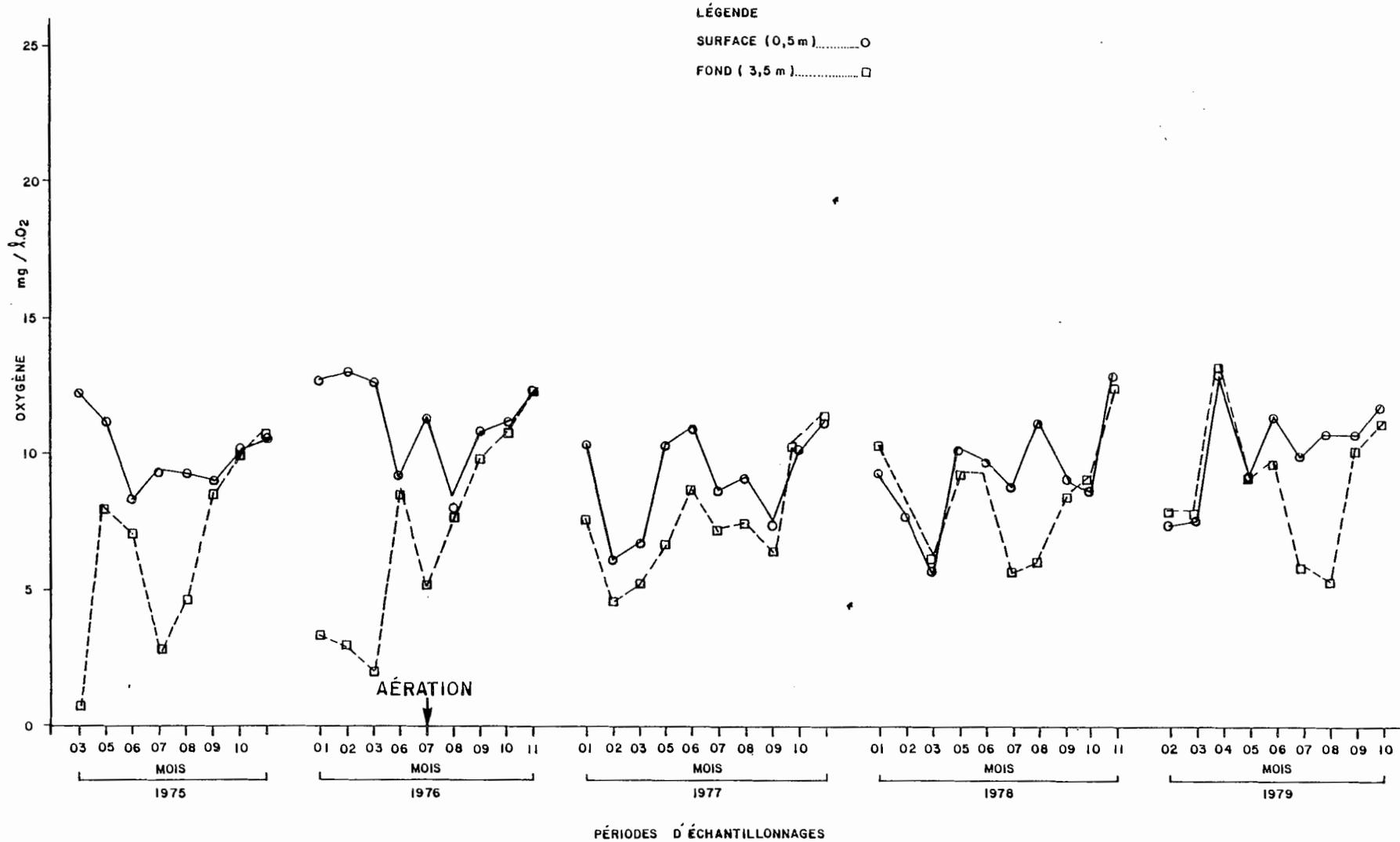


FIGURE II

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN OXYGÈNE DISSOUS
AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979



directe entre l'année 1975 et 1979 nous indique en gros les mêmes résultats. Le traitement statistique des valeurs moyennes de température pour la période d'aération en excluant les valeurs provenant des saisons hivernales nous incite à penser que l'aération artificielle a un impact positif beaucoup plus notable sous couvert de glace, ce qui revient à dire que l'aération naturelle du plan d'eau en période estivale est fortement responsable des concentrations en oxygène dissous que l'on y retrouve.

4.4.3 Pourcentage de saturation en oxygène dissous

Ce paramètre "complémentaire" intègre les valeurs des concentrations en oxygène dissous qui sont ajustées selon la température de l'eau et l'altitude du plan d'eau. L'évaluation quantitative qui en résulte traduit en pourcentage le niveau de dissolution de l'oxygène à la masse d'eau pour une température donnée. A concentration d'oxygène dissous stable, il sera ainsi possible d'observer des niveaux de saturation différents concomitant aux variations de température du lac.

La figure 12 nous permet de constater les différences énormes qui existaient dans les valeurs des pourcentages en oxygène dissous entre la surface et le fond du lac Waterloo avant l'aération. Nous remarquons les deux périodes d'isothermie caractérisées par des valeurs de ce paramètre à la hausse. L'éloignement des courbes s'accroît avant et après ces périodes de brassage, ce qui correspond aux périodes estivales et hivernales. Nous constatons que la période d'aération a provoqué un rapprochement des courbes surface-fond qui est moins notable pour les périodes estivales (août; période de production maximum des autotrophes et hétérotrophes).

L'augmentation des valeurs des pourcentages en oxygène dissous pour la période d'aération est nettement significative (tableau 70) et se situe aux environs de 40% au fond du lac (tableaux 32 et 51). En ce qui a trait aux valeurs de surface, leurs fluctuations sont non significatives et une fois de plus fortement liées à l'aération naturelle du plan d'eau. Le traitement des valeurs moyennes de ce paramètre en excluant les périodes hivernales pour la période d'aération correspond aux mêmes résultats gouvernant les concentrations en oxygène dissous élaborées à la section 4.4.2.

4.4.4 Turbidité et transparence

Ces deux paramètres donnent un indice de la qualité générale de l'aspect visuel de l'eau. La turbidité est relativement stable pour la période d'aération, présentant des maxima en surface pour les périodes estivales (prolifération du plancton) et une certaine stabilisation en période hivernale (tableaux 17 et 33). Même s'il est impossible de comparer la variation de ce paramètre avant et après aération, il est important de noter que les valeurs moyennes de ce paramètre sont quand même "acceptables" pour ce milieu fortement eutrophe. Le traitement des données sans les périodes hivernales montre une augmentation des valeurs moyennes de la turbidité qui est statistiquement non significative (non représentée).

La transparence, pour sa part, est globalement très médiocre avec un Secchi moyen avant et après aération de l'ordre de 1,0 m. La variation temporelle des valeurs de ce paramètre avant et après aération est relativement stable (tableau 17) et aucune différence significative n'a été observée depuis l'aération (tableaux 52 et 71). Ces résultats sont encourageants, car nous nous attendions à ce que les conduites d'aération situées sur les sédiments pro-

TABLEAU 16

MOYENNES MENSUELLES DES POURCENTAGES DE SATURATION EN OXYGENE DISSOUS

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

PERIODES	Surface*	Fond**	(n)***
1975-03	84,14	5,75	(2)
1975-05	119,15	16,36	(3)
1975-06	92,31	77,17	(4)
1975-07	114,46	33,72	(7)
1975-08	109,30	52,27	(5)
1975-09	92,31	87,76	(3)
1975-10	86,44	93,52	(4)
1975-11	90,21	90,21	(1)
1976-01	88,81	26,56	(1)
1976-02	91,61	23,26	(1)
1976-03	89,20	15,27	(2)
1976-06	106,98	100,00	(1)
1976-07	135,71	59,97	(8)
1976-08	89,89	88,27	(5)
1976-09	109,64	97,98	(4)
1976-10	94,47	93,16	(4)
1976-11	97,54	92,54	(1)
1977-01	73,05	55,07	(1)
1977-02	44,39	34,21	(2)
1977-03	47,35	37,33	(2)
1977-05	108,33	63,81	(2)
1977-06	98,92	90,53	(5)
1977-07	97,73	81,82	(4)
1977-08	102,25	81,32	(5)

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m.

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage

TABLEAU 16 (suite)

MOYENNES MENSUELLES DES POURCENTAGES DE SATURATION EN OXYGENE DISSOUS

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

PERIODES	Surface*	Fond**	(n)***
1977-09	77,89	67,01	(1)
1977-10	90,75	110,64	(2)
1977-11	96,75	96,58	(1)
1978-01	67,14	72,86	(2)
1978-02	55,91	57,55	(1)
1978-03	40,86	44,86	(2)
1978-05	98,55	89,20	(2)
1978-06	104,30	101,06	(2)
1978-07	102,30	64,77	(3)
1978-08	128,41	68,54	(2)
1978-09	92,50	84,16	(2)
1978-10	77,53	81,25	(1)
1978-11	107,44	105,31	(1)
1979-02	52,19	56,03	(1)
1979-03	53,15	54,42	(1)
1979-04	114,54	114,78	(1)
1979-05	93,33	93,33	(1)
1979-06	125,27	103,23	(1)
1979-07	121,95	68,26	(1)
1979-08	120,0	56,99	(1)
1979-09	106,93	102,97	(1)
1979-10	96,33	90,32	(1)

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage

MOYENNES ET ECARTS-TYPE DES VALEURS DES POURCENTAGES EN OXYGENE DISSOUS

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	POURCENTAGES DE SATURATION EN OXYGENE DISSOUS %					
	SURFACE			FOND		
<u>AVEC HIVER</u>	\bar{x}	σ_x	n	\bar{x}	σ_x	n
1975	96,2	12,1	11	47,4	33,8	11
1976-1979	92,3	24,8	335	78,4	21,4	3
1979	98,3	27,8	9	82,3	23,5	9
<u>SANS HIVER</u>						
1975	102,9	13,9	8	57,1	35,1	8
1976-1979	103,1	14,2	26	85,9	15,4	26
1979	110,6	13,8	6	85,9	19,1	6

TABLEAU 51

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DU POURCENTAGE
DE SATURATION EN OXYGENE DISSOUS EXPRIMEES EN POURCENTAGE
AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	OXYGENE DISSOUS % DE SATURATION	
	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>	%	%
1975 vs 1976-1979	(-) 4,1	(+) 40,0
1975 vs 1979	(+) 2,1	(+) 42,4
<u>Sans hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	0	(+) 33,5
1975 vs 1979	(+) 7,0	(+) 33,5

(+) représente une augmentation de la valeur moyenne du paramètre.

(-) représente une diminution de la valeur moyenne du paramètre.

TABLEAU 70

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DES POURCENTAGES
EN OXYGENE DISSOUS AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	POURCENTAGES DE SATURATION EN OXYGENE DISSOUS	
	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	Pas significativement différent	Significativement différent
1975 vs 1979	Pas significativement différent	Significativement différent
<u>Sans hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	Pas significativement différent	Significativement différent
1975 vs 1979	Pas significativement différent	Significativement différent

FIGURE 12

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNE MENSUELLES DU POURCENTAGE DE SATURATION EN OXYGÈNE DISSOUS
 AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979

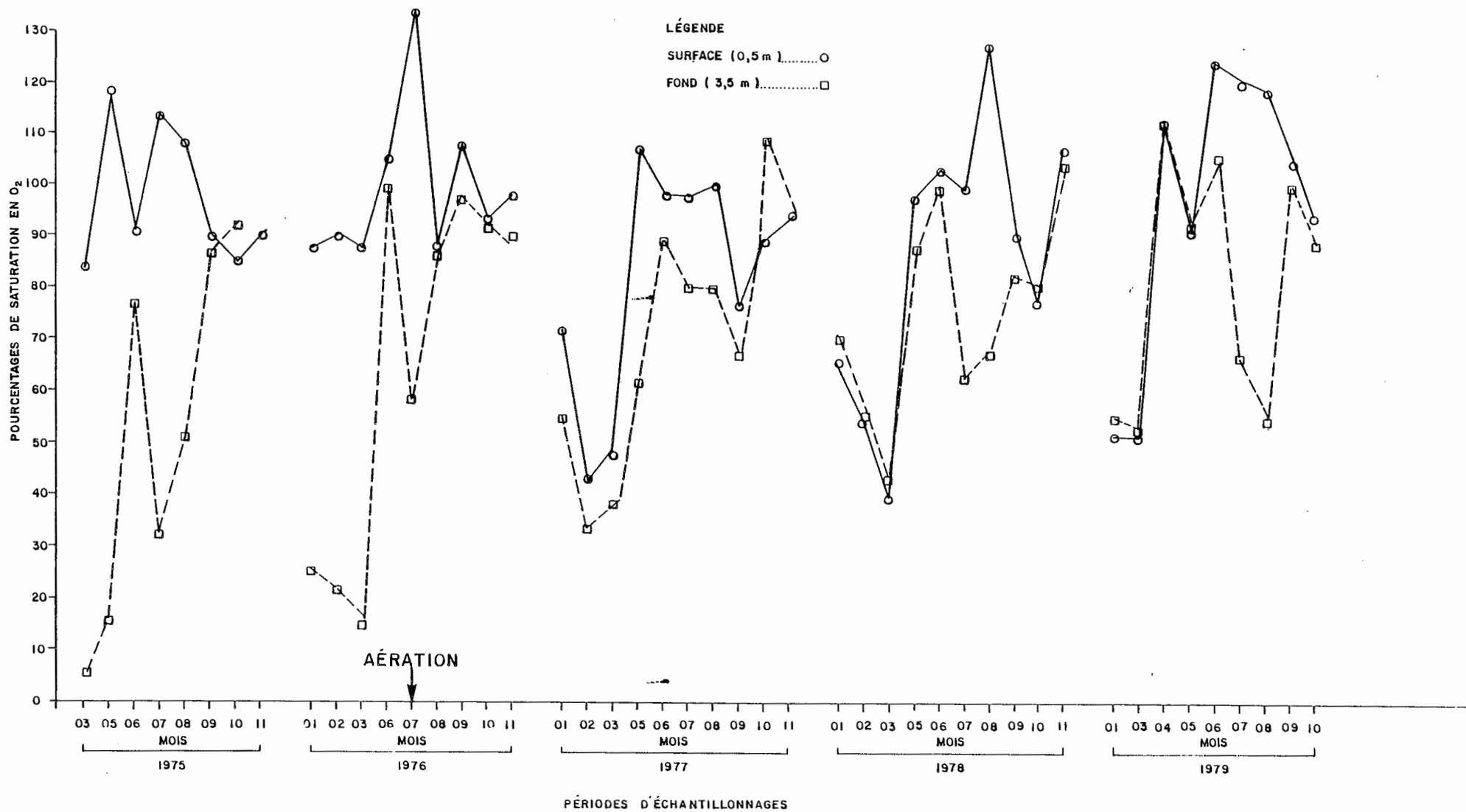


FIGURE 12

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNE MENSUELLES DU POURCENTAGE DE SATURATION EN OXYGÈNE DISSOUS
AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979

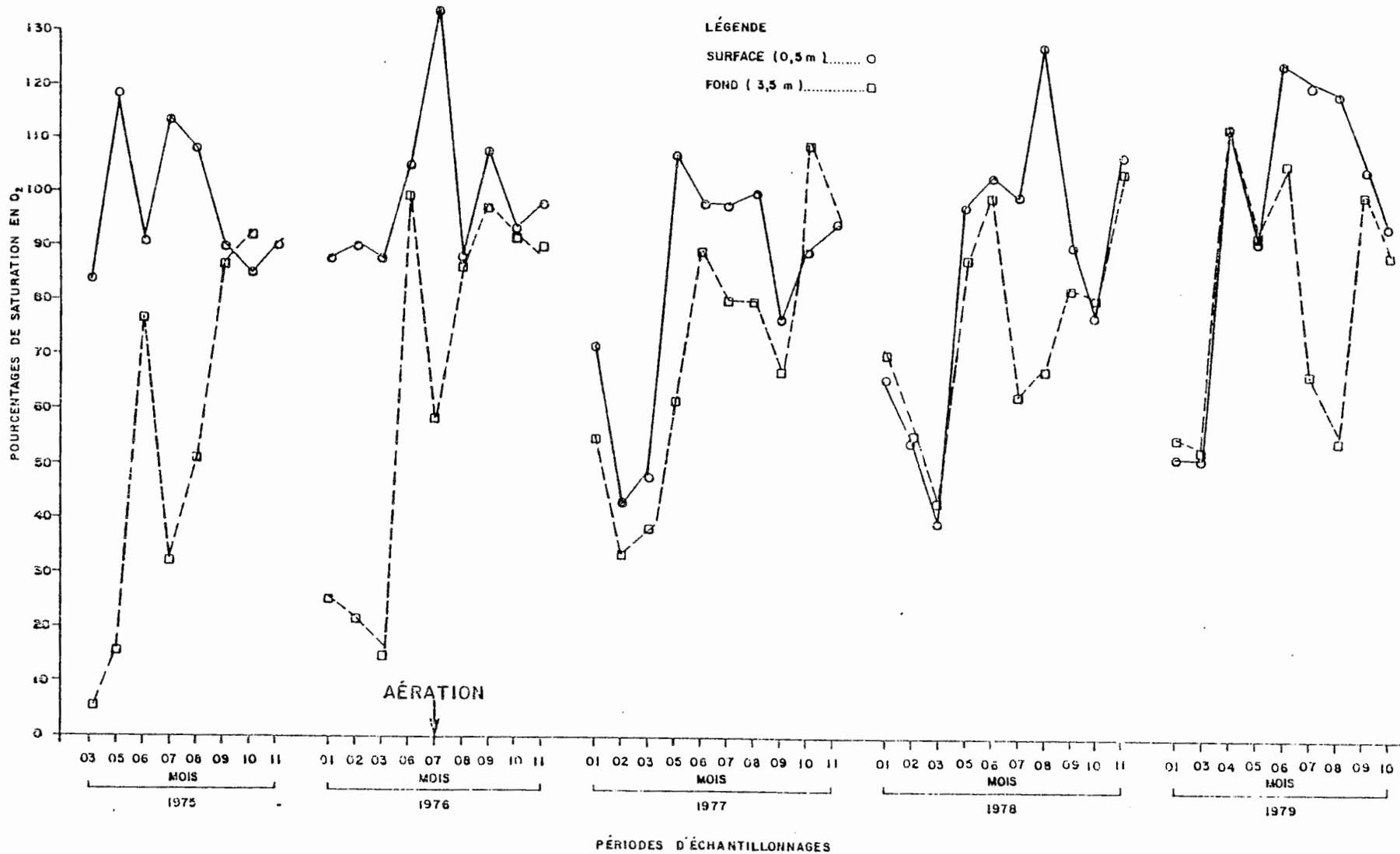


TABLEAU 17

MOYENNES MENSUELLES DE LA TURBIDITE (JTU) ET DE LA TRANSPARENCE (m)

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

PERIODES	TURBIDITE		(n)***	TRANSPARENCE	(n)***
	Surface*	Fond**			
1975-05	---	---	---	1,0	1
1975-06	---	---	---	1,2	3
1975-07	---	---	---	1,0	4
1975-08	---	---	---	0,69	4
1975-09	---	---	---	0,65	4
1975-10	---	---	---	1,0	3
1975-11	---	---	---	1,6	1
1976-06	7,8	7,7	1	0,7	1
1976-07	10,7	9,0	4	0,63	4
1976-08	12,0	9,5	4	0,61	4
1976-09	11,3	9,2	4	0,69	4
1976-10	5,3	5,0	4	1,2	4
1976-11	2,0	2,0	1	2,6	1
1977-01	0,9	2,0	1	---	1
1977-02	2,0	2,5	2	---	---
1977-03	1,5	1,5	2	---	---
1977-05	3,0	3,0	2	1,1	2
1977-06	6,0	4,0	5	0,73	5
1977-07	27,0	25,0	4	0,56	4
1977-08	17,0	15,8	5	0,46	5
1977-09	8,0	8,0	1	0,50	1
1977-10	3,5	3,5	2	1,3	2
1977-11	2,0	2,0	1	1,9	1
1978-01	2,0	3,0	2	1,5	2
1978-02	6,5	6,5	2	1,1	2

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage.

TABLEAU 17 (suite)

MOYENNES MENSUELLES DE LA TURBIDITE (JTU) ET DE LA TRANSPARENCE (m)

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

PERIODES	TURBIDITE		(n)***	TRANSPARENCE	(n)***
	Surface*	Fond**			
1978-03	11,7	4,7	3	1,03	3
1978-05	2,0	3,0	2	1,5	2
1978-06	6,5	6,5	2	1,1	2
1978-07	11,7	4,7	3	1,0	3
1978-08	13,0	7,5	2	1,1	2
1978-09	5,0	5,0	2	1,1	2
1978-10	5,0	4,0	2	1,1	2
1978-11	2,0	2,0	1	1,1	1
1979-02	0,9	0,9	1	---	---
1979-03	1,0	1,0	1	---	---
1979-04	2,0	2,0	1	1,3	1
1979-05	2,0	2,0	1	2,0	1
1979-06	14,0	9,0	1	0,8	1
1979-07	10,0	6,0	1	0,5	1
1979-08	9,0	5,0	1	0,5	1
1979-09	7,0	8,0	1	0,7	1

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage

TABLEAU 33

MOYENNES ET ECARTS-TYPE DES VALEURS DE LA TURBIDITE ET DE LA TRANSPARENCE

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	TURBIDITE (unité JTU)						TRANSPARENCE (m)		
	SURFACE			FOND			\bar{X}	σ_x	n
<u>AVEC HIVER</u>	\bar{X}	σ_x	n	\bar{X}	σ_x	n			
1975	---	---	---	---	---	---	1,02	0,29	7
1976-1979	6,8	5,63	34	5,6	4,64	34	1,1	0,49	29
1979	5,7	4,64	8	4,2	3,00	8	0,97	0,53	6
<u>SANS HIVER</u>									
1976-1979	7,3	4,31	6	5,3	2,69	6	0,97	0,53	6
1979	7,9	5,71	26	6,5	4,89	26	1,0	0,51	26

TABLEAU 52

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DE TURBIDITE ET DE
TRANSPARENCE EXPRIMEES EN POURCENTAGE AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	TURBIDITE		TRANSPARENCE
	SURFACE	FOND	
<u>Avec hiver</u>	%	%	%
1975 vs 1976-1979	-----	-----	(+) 7,3
1975 vs 1979	-----	-----	(-) 4,9
<u>Sans hiver</u>			
1975 vs 1976-1979	-----	-----	-----
1975 vs 1979	-----	-----	-----

(+) représente une augmentation de la valeur moyenne du paramètre.

(-) représente une diminution de la valeur moyenne du paramètre.

TABLEAU 71

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DE LA TURBIDITE ET DE LA TRANSPARENCE AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	TURBIDITE (unité JTU)		TRANSPARENCE (m)
	SURFACE	FOND	
<u>Avec hiver</u>			
1975 vs 1976-1979	-----	-----	Pas significativement différent
1975 vs 1979	-----	-----	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>			
1975 vs 1976-1979	-----	-----	-----
1975 vs 1979	-----	-----	-----

FIGURE 13

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA TURBIDITÉ (JTU) ET DE LA TRANSPARENCE (m) AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979

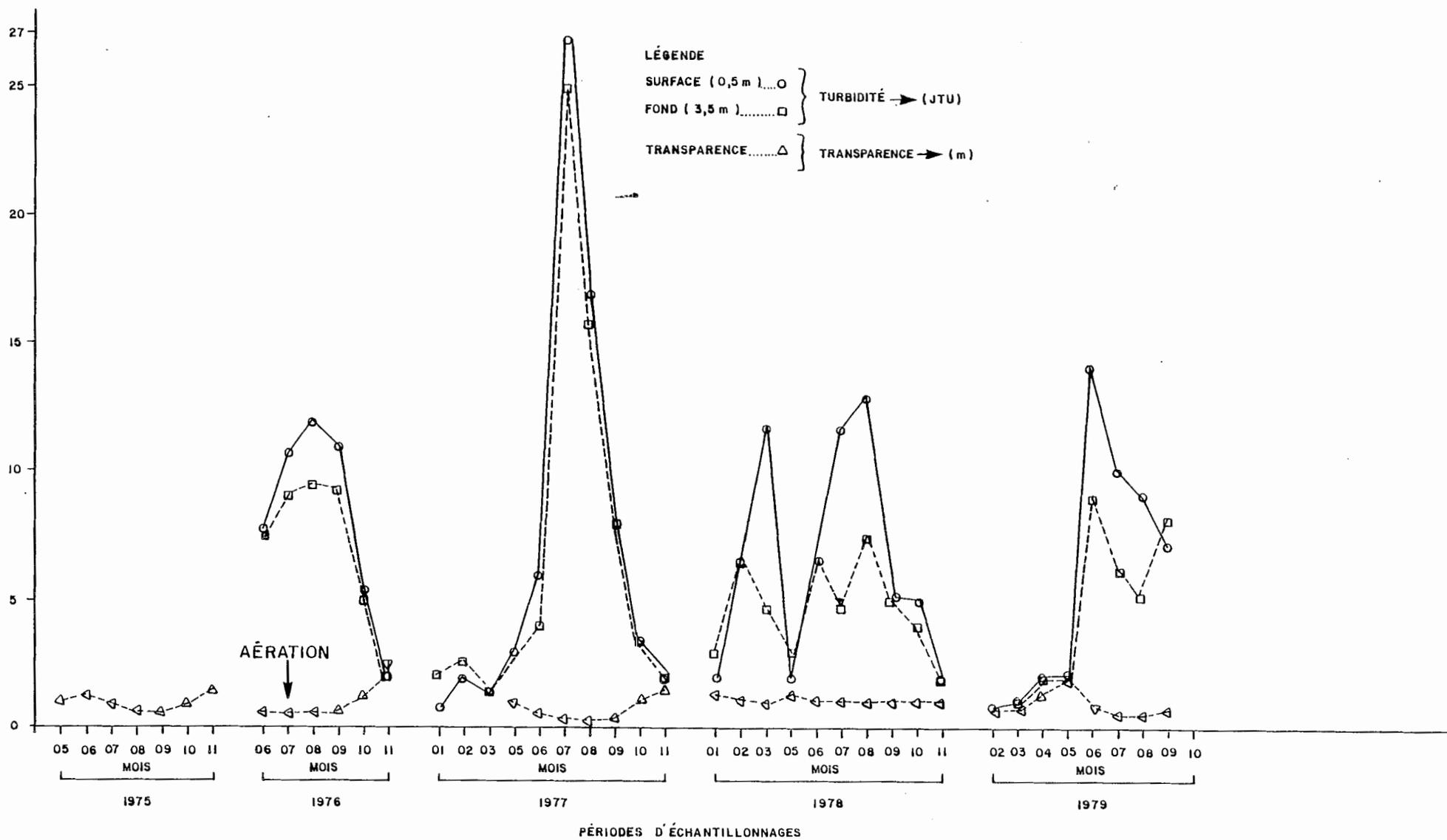
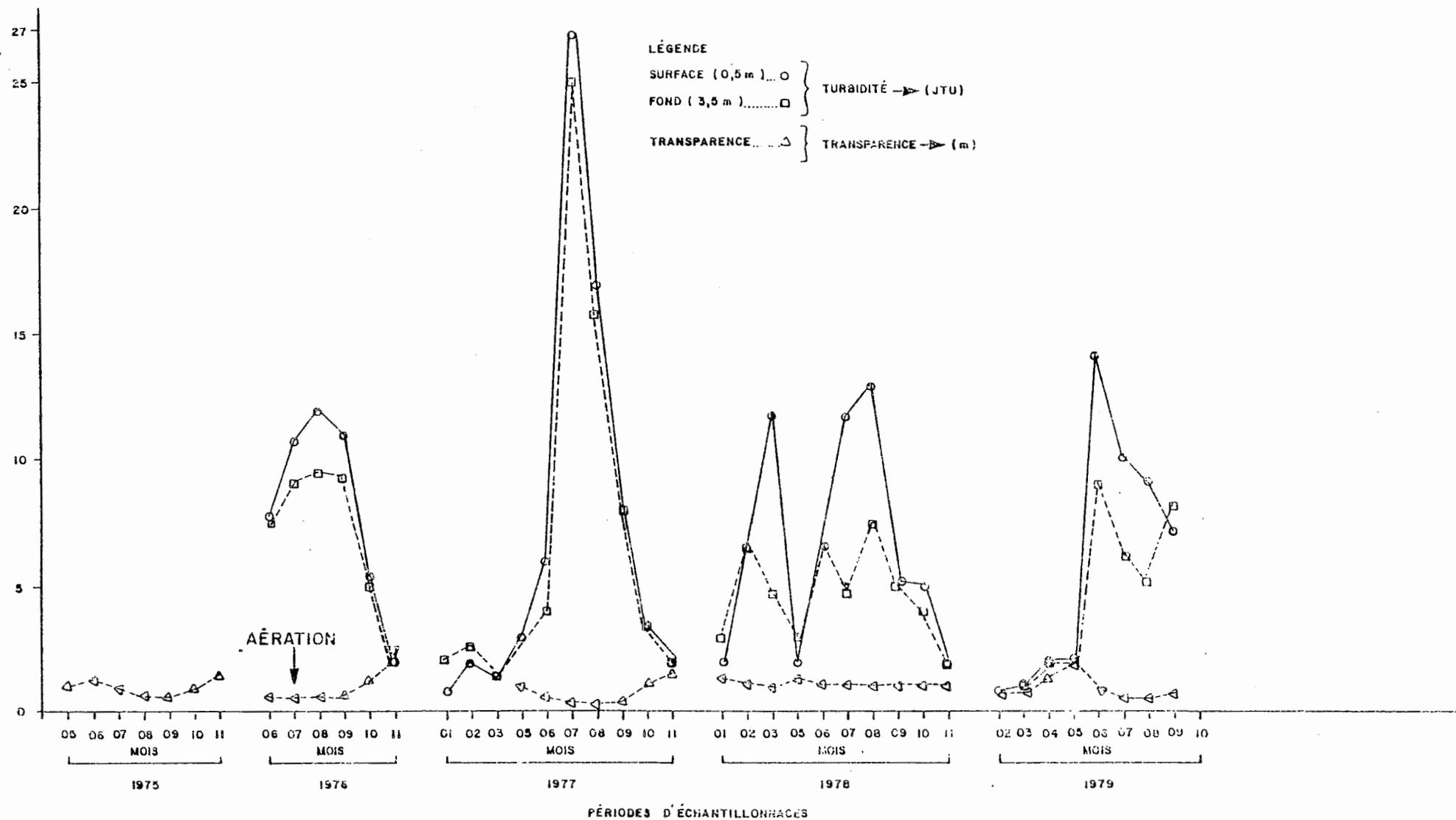


FIGURE 13

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA TURBIDITÉ (JTU) ET DE LA TRANSPARENCE (m) AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979





voquent une remise en suspension plus ou moins massive de ceux-ci accompagnée inévitablement par une détérioration marquée de la transparence. Il semble donc que ce paramètre soit encore entièrement dépendant des populations biologiques présentes dans la colonne d'eau.

4.4.5 pH et alcalinité

Le pH des lacs est en grande partie contrôlé par l'interaction des ions H^+ produits par la dissociation du H_2CO_3 et des ions OH^- provenant de l'hydrolyse des bicarbonates. La plage de variation des valeurs du pH est généralement entre 6 et 9. La majorité de ces lacs sont du type "bicarbonate", c'est-à-dire qu'ils contiennent une quantité variable de carbonates qui est réglée par le système tampon $CO_2-HCO_3^-CO_3^{--}$. Nous verrons par la suite (section 4.4.12) que les concentrations en dioxyde de carbone CO_2 , maillon primaire du système tampon, (correspondant au carbone inorganique) sont distribuées uniformément en période de déstratification thermique. La teneur en CO_2 des eaux est contrôlée par l'équilibre existant entre le CO_2 de l'atmosphère, le système bicarbonate-carbonate, la contribution des processus de respiration et finalement par la bioassimilation de cette molécule pour la photosynthèse (Irwin et al., 1966). La distribution verticale du pH suit approximativement l'inverse de celle du CO_2 . Le tableau 18 présente les valeurs moyennes du pH pour la période de pré-aération et d'aération. Nous remarquons que les fluctuations de ce paramètre sont insignifiantes (<5%; tableaux 34 et 53) et statistiquement non significatives (tableau 72). Il est possible de visualiser l'effet de la photosynthèse sur ce paramètre, avec l'aide de la figure 14. Nous voyons clairement qu'en période estivale (juillet-août), au moment de la productivité maximale des organismes photosynthétiques, le pH en surface tend vers des valeurs basiques provoquées par la diminution des concentrations en

TABLEAU 18

MOYENNES MENSUELLES DU pH (UNITES pH) ET DE L'ALCALINITE (mg/l Ca CO₃)

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

PERIODES	pH		(n)***	ALCALINITE		(n)***
	Surface*	Fond**		Surface*	Fond**	
1975-03	6,7	6,6	1	32,0	30,0	1
1975-05	8,8	7,0	3	29,0	24,0	3
1975-06	8,0	7,4	4	19,0	30,0	3
1975-07	9,0	7,0	6	26,0	41,0	5
1975-08	9,3	8,5	4	27,0	28,0	4
1975-09	8,9	8,8	3	26,0	21,0	3
1975-10	8,2	8,1	4	29,0	29,0	4
1975-11	7,5	7,5	1	27,0	28,0	1
1976-01	6,6	6,6	1	27,0	30,0	1
1976-02	6,2	6,3	1	29,0	33,0	1
1976-03	6,2	6,2	2	19,5	35,0	2
1976-06	9,0	8,8	4	27,0	34,0	1
1976-07	9,4	7,6	8	30,0	31,0	5
1976-08	8,2	8,1	3	----	----	---
1976-09	9,0	8,8	4	32,0	34,0	4
1976-10	8,1	8,0	4	36,0	34,0	4
1976-11	7,4	7,4	1	35,0	35,0	1
1977-01	6,9	6,9	1	38,0	40,0	1
1977-02	6,8	6,8	2	41,0	39,0	2
1977-03	6,7	6,7	2	31,5	37,0	2
1977-05	8,3	7,4	1	22,0	22,0	2
1977-06	8,7	7,6	5	25,0	25,0	5
1977-07	8,4	7,8	4	27,0	27,0	4
1977-08	8,4	7,5	5	29,4	28,9	5
1977-09	7,1	6,7	1	31,0	31,5	1

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage

TABLEAU 18 (suite)

MOYENNES MENSUELLES DU pH (UNITES pH) ET DE L'ALCALINITE (mg/l Ca CO₃)

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

PERIODES	pH		(n)***	ALCALINITE		(n)***
	Surface*	Fond**		Surface*	Fond**	
1977-10	7,0	7,0	2	30,5	30,0	2
1977-11	7,1	7,2	1	29,0	30,0	1
1978-01	6,5	6,3	1	18,0	31,5	2
1978-02	6,1	6,2	1	21,5	31,0	2
1978-03	6,4	6,3	1	26,0	33,0	3
1978-05	7,5	6,9	2	18,0	18,5	2
1978-06	8,1	7,9	1	21,5	22,5	2
1978-07	8,3	7,2	1	26,0	29,3	3
1978-08	8,2	7,0	2	30,0	29,5	2
1978-09	6,8	6,7	2	30,0	30,5	2
1978-10	6,8	6,8	1	31,0	31,0	1
1978-11	6,9	6,9	1	31,0	30,0	1
1979-02	6,9	6,9	1	40,0	41,0	1
1979-03	6,2	6,2	1	32,0	34,0	1
1979-04	8,1	8,5	1	22,0	22,0	1
1979-05	7,1	7,1	1	23,0	21,0	1
1979-06	9,0	8,5	1	28,0	29,0	1
1979-07	9,0	7,4	1	35,0	32,0	1
1979-08	8,9	6,7	1	30,0	30,0	1
1979-09	8,2	8,2	1	28,0	28,0	1
1979-10	7,6	7,0	1	----	----	---

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage

MOYENNES ET ECARTS-TYPE DES VALEURS DE pH ET DE L'ALCALINITE

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	pH UNITE pH						ALCALINITE mg/l CaCO ₃					
	SURFACE			FOND			SURFACE			FOND		
	\bar{X}	σ^2	n	\bar{X}	σ^2	n	\bar{X}	σ^2	n	\bar{X}	σ^2	n
<u>AVEC HIVER</u>												
1975	7,8	1,2	11	7,3	0,9	11	27,3	3,1	11	29,9	5,3	11
1976-1979	7,6	0,9	35	7,2	0,7	35	28,9	5,7	33	30,4	5,3	33
1979	7,9	0,1	9	7,4	0,8	9	29,8	5,9	8	29,6	6,0	8
<u>SANS HIVER</u>												
1975	8,3	0,9	8	7,6	0,8	8	28,1	2,0	8	28,9	5,8	8
1976-1979	8,0	0,8	27	7,5	0,6	27	28,3	4,4	25	28,6	4,4	25
1979	8,3	0,7	7	7,6	0,70	7	27,7	4,4	6	27,0	4,1	6

TABLEAU 53

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DU pH ET DE
L'ALCALINITE EXPRIMEES EN POURCENTAGE AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	pH UNITES		ALCALINITE	
	SURFACE	FOND	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>	%	%	%	%
1975 vs 1976-1979	(-) 2,6	(-) 1,4	(+) 5,6	(+) 1,6
1975 vs 1979	(+) 1,3	(+) 1,4	(+) 8,4	(-) 1,0
<u>Sans hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	(-) 3,6	(-) 1,3	(+) 0,7	(-) 1,0
1975 vs 1979	0	0	(-) 1,4	(-) 6,6

(+) représente une augmentation de la valeur moyenne du paramètre.

(-) représente une diminution de la valeur moyenne du paramètre.

TABLEAU 72

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DE pH ET
D'ALCALINITE AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	pH (unité pH)		ALCALINITE (mg/l CaCO ₃)	
	SURFACE	FOND	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	Pas significativement différent	Pas significativement différent	Pas significativement différent	Pas significativement différent
1975 vs 1979	Pas significativement différent	Pas significativement différent	Pas significativement différent	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	Pas significativement différent	Pas significativement différent	Pas significativement différent	Pas significativement différent
1975 vs 1979	Pas significativement différent	Pas significativement différent	Pas significativement différent	Pas significativement différent

FIGURE 14

COMPARAISON INTER - ANNUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE pH AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979

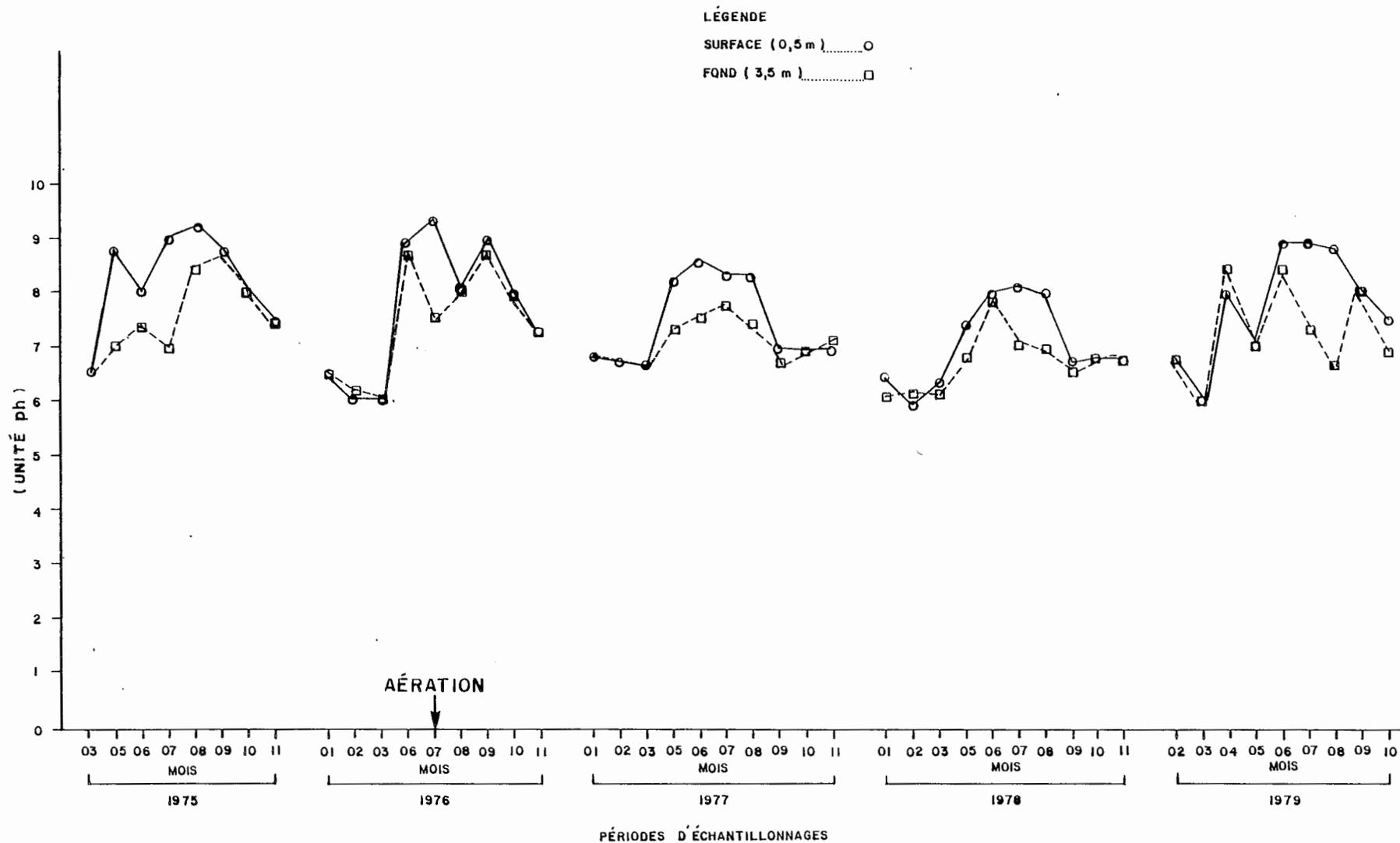


FIGURE 14

COMPARAISON INTER - ANNUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE pH AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979

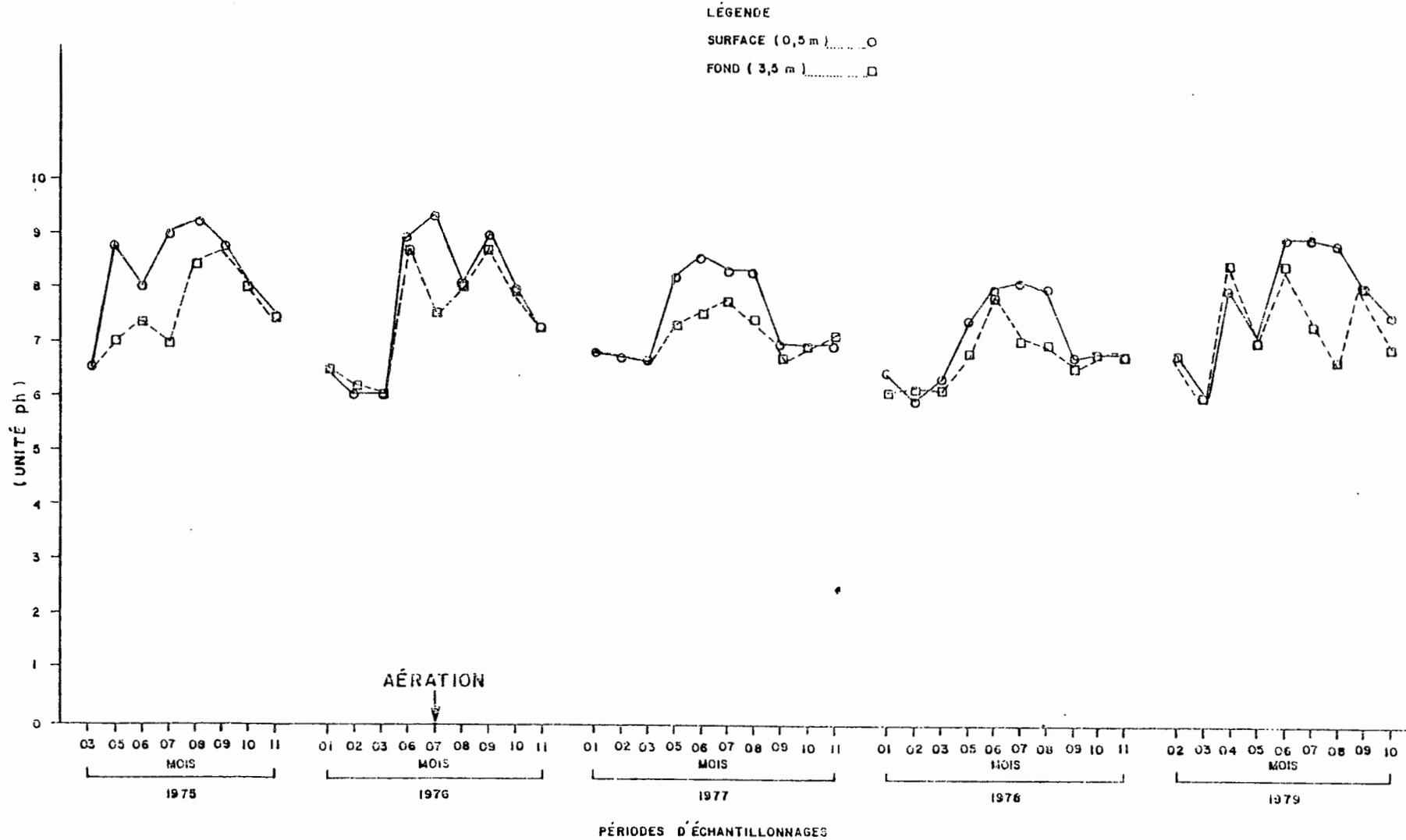


FIGURE 15

COMPARAISON INTER-ANUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE L'ALCALINITÉ AU LAC WATERLOO
DE 1975 À 1979

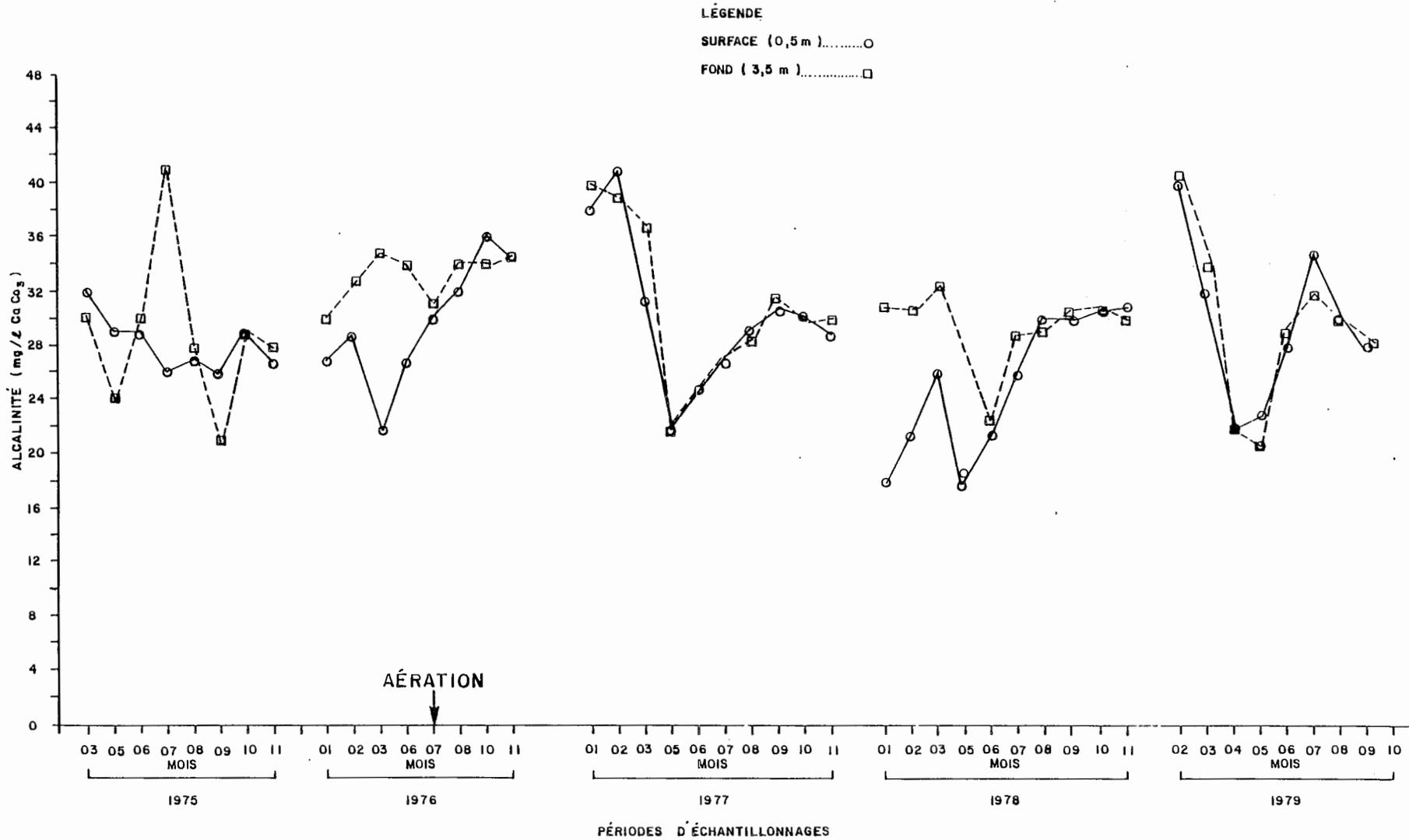
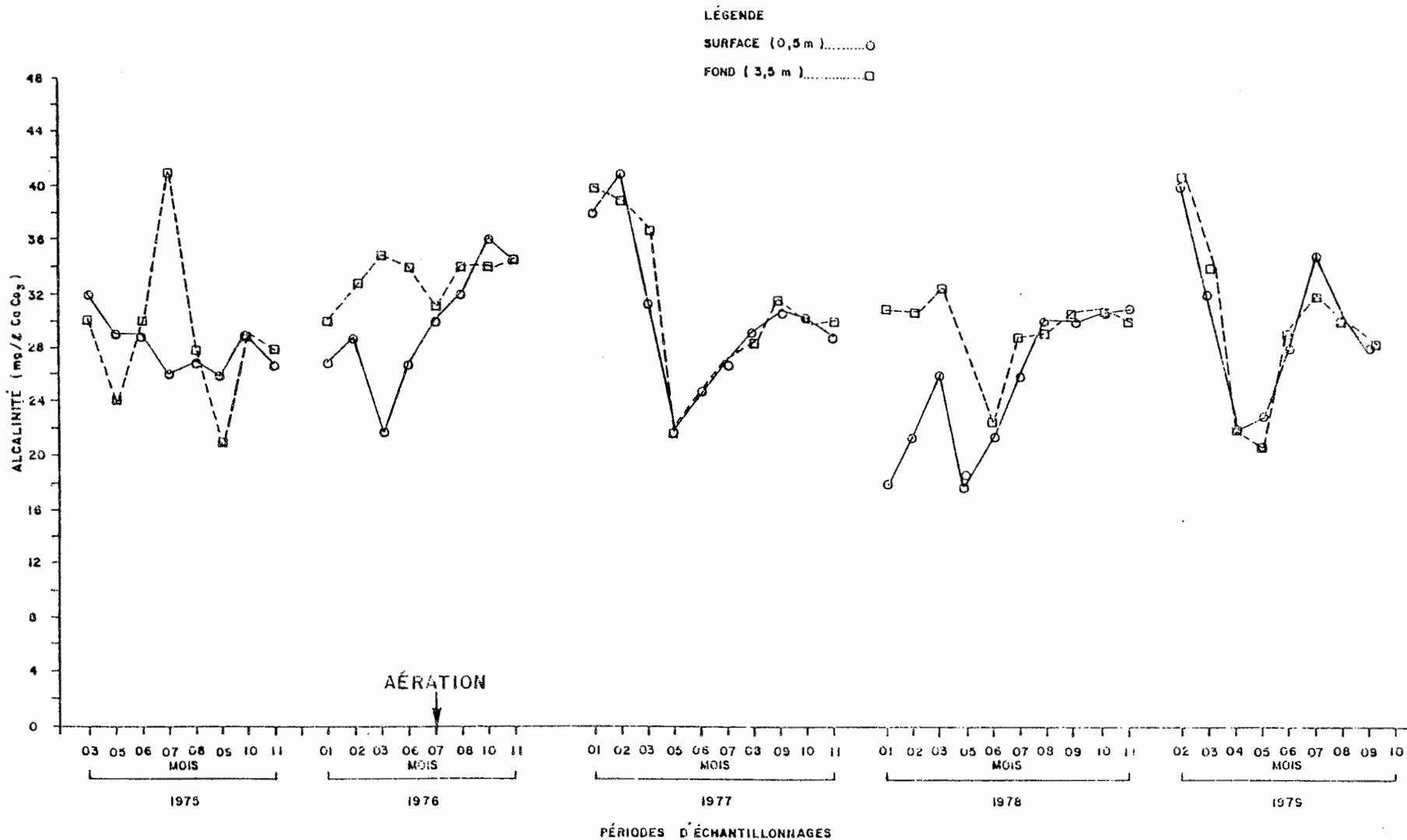


FIGURE 15

COMPARAISON INTER-ANUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE L'ALCALINITÉ AU LAC WATERLOG DE 1975 À 1979





CO₂. Ce phénomène disparaît aux périodes d'homogénéisation, de même qu'en hiver, ce qui rapproche appréciablement les courbes surface-fond. L'alcalinité est généralement interprétée comme étant la mesure qualitative et quantitative des composés qui peuvent provoquer une transition des valeurs du pH. Comme nous l'avons vu précédemment, le pouvoir tampon d'une eau est directement proportionnel aux concentrations des composés: CO₂-HCO₃⁻-CO₃⁼ présents en solution. L'alcalinité est demeurée à peu près au même niveau pour la période d'aération (tableau 18) et les faibles fluctuations (8% en surface et 1% au fond) des valeurs moyennes de ce paramètre (tableau 34) sont statistiquement non significatives (tableau 53) pour la période d'aération. La figure 15 met en évidence des cycles surface-fond homogènes qui semblent étroitement liés avec le niveau d'oxygène dissous présent dans l'eau, ce qui contrôle le largage et/ou la précipitation des ions Ca⁺⁺ en solution (contrôle des bicarbonates).

4.4.6 La conductivité

La conductivité d'une eau est la mesure de la résistance d'une solution au passage d'un courant électrique. Cette résistance d'une solution est réduite avec l'augmentation des sels ionisés. La conductivité des eaux d'un lac du type "bicarbonate" est directement proportionnelle à la concentration des ions majeurs (cations: Ca⁺⁺ > Mg⁺⁺ ≥ Na⁺ > K⁺; Anions: Cl⁻ ≥ SO₄⁼ > CO₃⁼). Cette relation n'est cependant pas vraie pour les éléments mineurs tels l'azote, le fer, le manganèse et spécialement le phosphore. Une corrélation directe existe entre la conductivité et le pH pour la plage intermédiaire des valeurs de ce dernier paramètre, relation qui diminue considérablement à l'intérieur des plans d'eau présentant une faible salinité couplée avec des teneurs élevées en matière organique. Mortimer (1941) a démontré clairement qu'en période

d'anoxie une augmentation notable de la conductivité était perceptible à la surface des sédiments en raison du largage massif de plusieurs ions majeurs (son étude a démontré que les éléments responsables de cette hausse étaient le calcium, le sodium, le chlore et, de façon moins notable, le manganèse). La déstratification produisait évidemment le phénomène inverse et les valeurs de la conductivité se stabilisaient aux environs des valeurs moyennes estivales de surface. Pour ce qui est du lac Waterloo, il nous est possible d'observer les mêmes résultats. Ainsi, nous remarquons (figure 16) qu'avant l'aération en période hivernale (02-03-75 et 01-02-03-76), une augmentation des valeurs de la conductivité est directement reliée aux faibles valeurs des concentrations en oxygène dissous (figure 14). La période d'aération se traduit par une diminution de la conductivité (tableaux 19 et 35) de l'ordre de 14% qui est significative au fond du lac (tableaux 54 et 73). Le traitement des valeurs moyennes de ce paramètre, en excluant les périodes hivernales pour la période d'aération, montre globalement le même genre de résultats. Les valeurs en surface ne présentent aucune fluctuation significative, ce qui laisse entendre que l'aération naturelle du plan d'eau règle les valeurs de ce paramètre pour les couches d'eau superficielles.

4.4.7 Fer soluble et fer total

Le fer existe en solution sous deux formes distinctes; la première étant l'état ferreux (Fe^{++}); la seconde étant l'état ferrique (Fe^{+++}). La concentration de fer présente en solution et la vitesse d'oxydation du Fe^{++} à la forme Fe^{+++} dépendant principalement du pH, Eh (potentiel d'oxydo-réduction) et de la température (régularisant la vitesse des réactions). Les constituants ferreux sont plus solubles que leurs homologues ferriques. Les ions ferreux sont généralement présents sous la forme d'hydrates de Fe^{++} et

TABLEAU 19

MOYENNES MENSUELLES DE LA CONDUCTIVITE (micromhos/cm)

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

Période	Surface*	Fond**	(n)***
1975-02	131	181	1
1975-03	131	181	1
1975-05	148	149	3
1975-06	151	150	4
1975-07	157	158	6
1975-08	127	132	4
1975-09	136	137	3
1975-10	168	168	4
1975-11	165	165	1
1976-01	151	184	1
1976-02	162	184	1
1976-03	112	203	2
1976-06	140	145	11
1976-07	150	148	8
1976-08	137	133	5
1976-09	133	133	4
1976-10	123	123	4
1976-11	135	135	1
1977-01	159	162	1
1977-02	158	159	2
1977-03	143	173	2
1977-05	128	128	2
1977-06	139	135	5
1977-07	144	144	4
1977-08	150	149	5
1977-09	155	155	1
1977-10	135	137	2
1977-11	130	130	1

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage.

TABLEAU 19 (suite)

MOYENNES MENSUELLES DE LA CONDUCTIVITE (micromhos/cm)

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

Période	Surface*	Fond**	(n)***
1978-01	152	160	2
1978-02	171	173	1
1978-03	186	188	2
1978-05	116	114	2
1978-06	128	125	2
1978-07	113	112	3
1978-08	136	136	2
1978-09	141	141	2
1978-10	145	145	1
1978-11	149	181	1
1979-02	140	140	1
1979-03	135	135	1
1979-04	100	100	1
1979-05	130	130	1
1979-06	140	140	1
1979-07	150	150	1
1979-08	155	150	1

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage.

MOYENNES ET ECARTS-TYPE DES VALEURS DE LA CONDUCTIVITE

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	CONDUCTIVITE μmhos					
	SURFACE			FOND		
<u>AVEC HIVER</u>	\bar{x}	σ_x	n	\bar{x}	σ_x	n
1975	144,9	17,4	12	166,0	21,5	12
1976-1979	140,9	16,4	33	142,8	19,3	33
1979	135,7	17,9	7	135,0	17,1	7
<u>SANS HIVER</u>						
1975	146,0	15,4	9	157,9	17,6	9
1976-1979	136,2	13,4	25	136,8	15,9	25
1979	135,0	21,8	5	134	20,7	5

TABLEAU 54

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DE CONDUCTIVITE
EXPRIMEES EN POURCENTAGE AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	CONDUCTIVITE	
	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>	%	%
1975 vs 1976-1979	(-) 2,8	(-) 13,9
1975 vs 1979	(-) 6,3	(-) 18,7
<u>Sans hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	(-) 6,7	(-) 13,4
1975 vs 1979	(-) 7,5	(-) 15,1

(+) représente une augmentation de la valeur moyenne du paramètre.

(-) représente une diminution de la valeur moyenne du paramètre.

TABLEAU 73

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DE LA
CONDUCTIVITE AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	CONDUCTIVITE μ mhos	
	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	Pas significativement différent	Significativement différent
1975 vs 1979	Pas significativement différent	Significativement différent
<u>Sans hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	Significativement différent	Significativement différent
1975 vs 1979	Pas significativement différent	Pas significati- vement différent

FIGURE 16

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA CONDUCTIVITÉ AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979

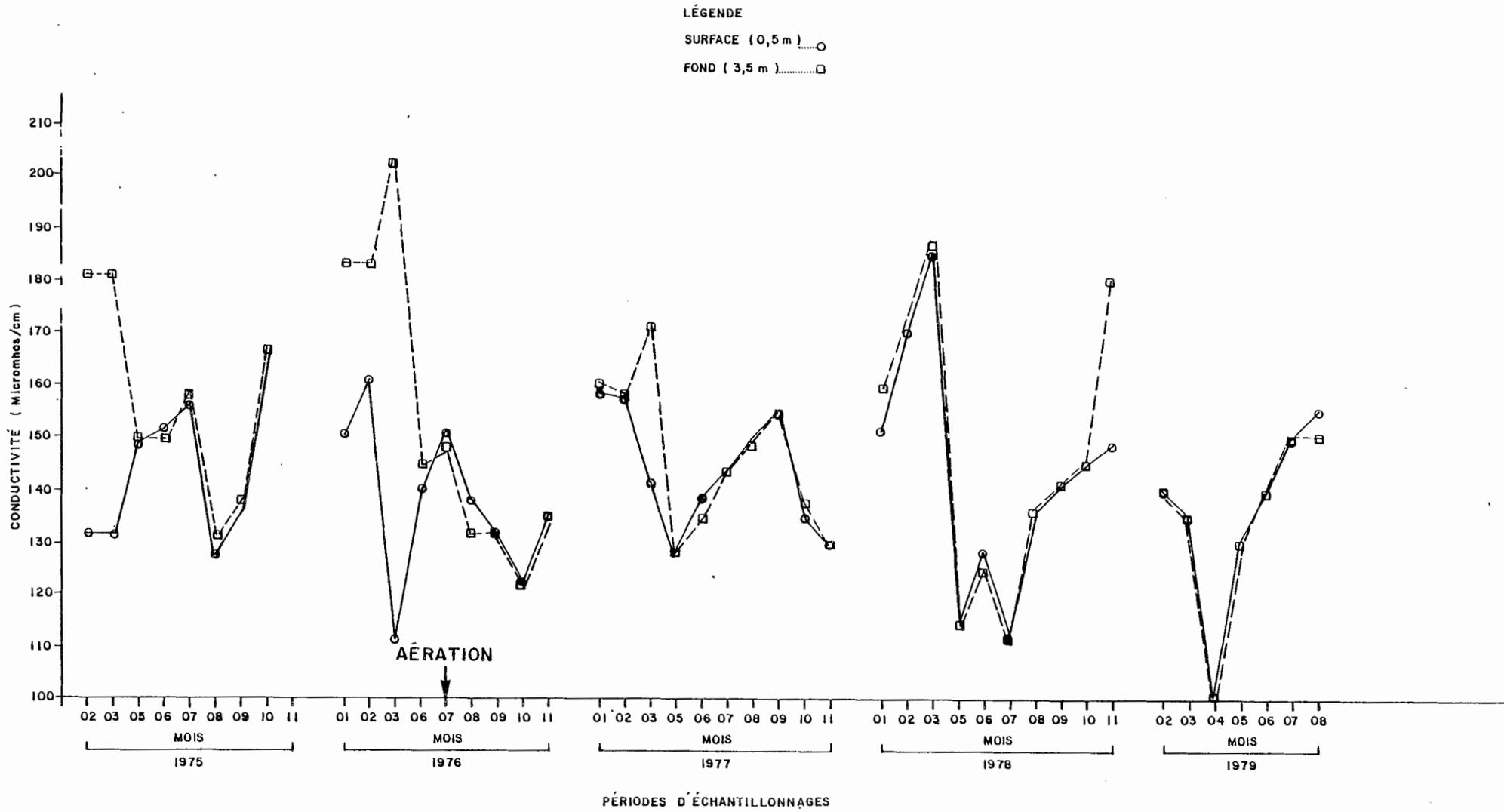
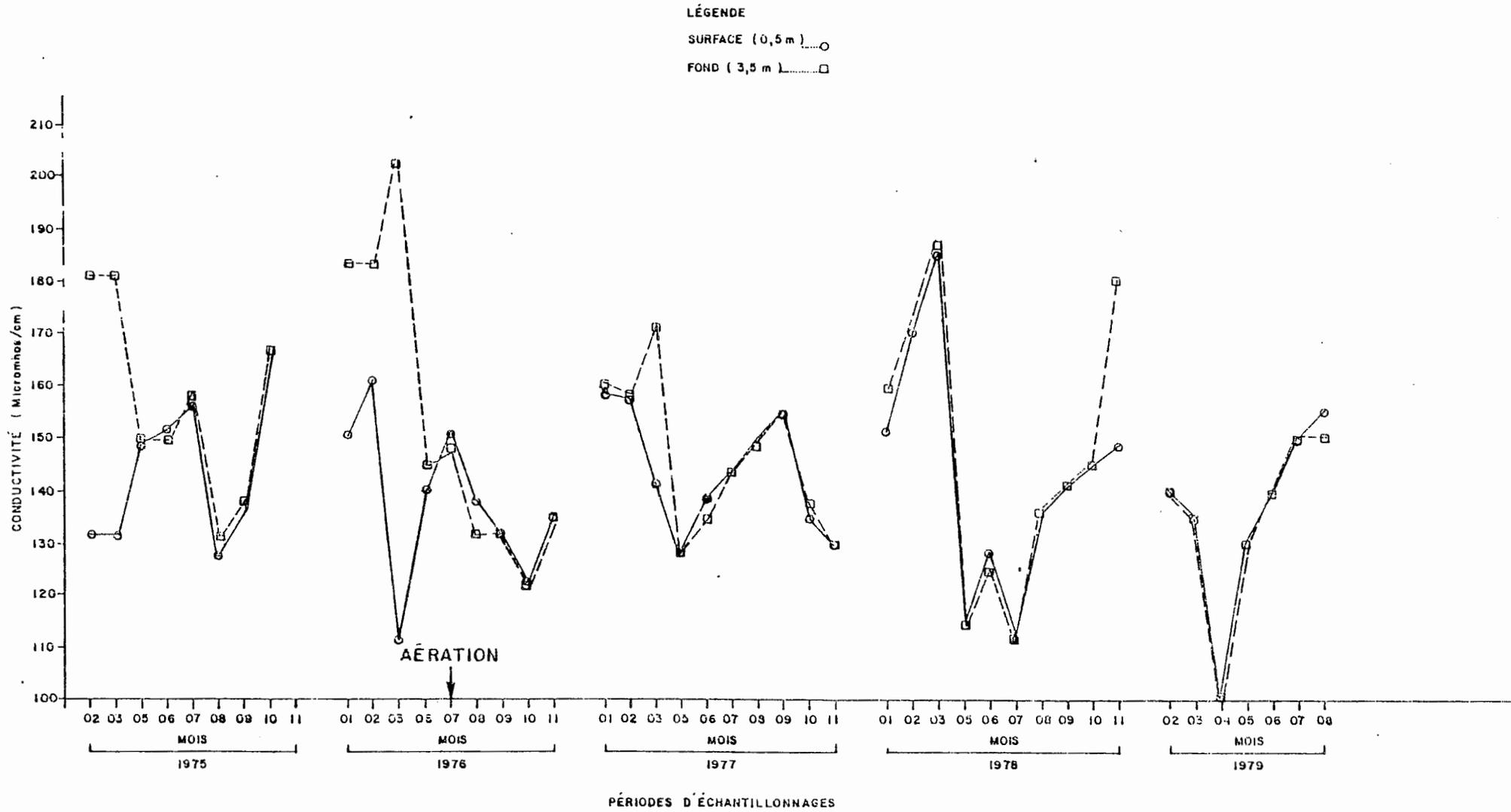


FIGURE 16

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA CONDUCTIVITÉ AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979



d'ions hydroxo hydratés qui présentent une solubilité qui est largement fonction de la solubilité des hydroxides ferreux $Fe(OH)_2$ et des carbonates de fer ($FeCO_3$). La forme du composé ferrique le plus régulièrement retrouvé dans nos lacs est la forme hydratée de l'hydroxide ferrique $Fe(OH)_3$. Ce composé est fortement insoluble à l'intérieur de la plage de pH variant entre 5 et 8. La plus grande partie du fer retrouvé dans nos lacs est sous forme d'une suspension d'hydroxydes ferriques flocculés. Le fer peut se complexer avec certaines molécules organiques, ce qui cause une diminution de la solubilité, de même que de la disponibilité de cet élément. Un certain enrichissement des eaux en fer est donc parfaitement plausible pour les eaux superficielles des lacs présentant une quantité appréciable de matière organique dissoute (Wetzel, 1975). Les concentrations en fer soluble présentaient avant l'aération des valeurs moyennes annuelles surface-fond relativement élevées (tableau 20). Nous remarquons, entre autres, qu'un largage unidirectionnel "actif" était détectable au fond du lac, lorsque les eaux de fond présentaient un déficit en oxygène dissous. Ce phénomène, largement visible pendant l'hiver et l'été (juin-juillet), disparaissait totalement avec l'isothermie printanière et automnale, explicable par l'oxydation des ions ferreux et la formation subséquente de précipités (figure 17). Le tableau 55 nous montre que cet élément a subi une diminution au fond de l'ordre de 46% pour la période d'aération, diminution qui est d'ailleurs fortement significative (tableau 74). Les eaux de surface, pour leur part, ne présentent pas d'augmentation ou de diminution significative; ce qui peut être expliqué comme nous l'avons vu précédemment par la présence d'une fraction organique importante en solution (voir concentration de carbone organique au tableau 25).

TABLEAU 20

MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN FER SOLUBLE ET EN FER
TOTAL (mg/l Fe) AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

PERIODES	FER SOLUBLE		(n)***	FER TOTAL		(n)***
	Surface*	Fond**		Surface*	Fond**	
1975-02	----	----		0,08	0,83	1
1975-03	0,05	0,15	1	0,08	0,83	1
1975-05	0,07	0,18	3	0,17	0,58	3
1975-06	0,04	0,04	4	0,20	0,21	4
1975-07	0,09	0,14	5	0,23	0,42	5
1975-08	0,08	0,07	4	0,22	0,28	4
1975-09	0,06	0,06	3	0,18	0,19	3
1975-10	0,03	0,04	1	0,13	0,14	1
1975-11	----	----	1	0,09	0,09	1
1976-01	0,04	0,08	1	0,07	0,11	1
1976-02	0,10	0,26	1	0,06	0,17	1
1976-03	0,05	0,24	2	0,07	0,11	1
1976-06	0,05	0,05	1	0,24	0,24	1
1976-07	0,04	0,04	6	0,17	0,18	6
1976-08	0,02	0,02	5	0,18	0,21	5
1976-09	0,02	0,02	4	0,13	0,14	4
1976-10	0,04	0,04	4	0,15	0,16	4
1976-11	0,06	0,05	1	0,12	0,12	1
1977-01	0,12	0,14	1	0,20	0,22	1
1977-02	0,13	0,14	2	0,24	0,26	2
1977-03	0,11	0,12	2	0,19	0,31	2
1977-05	0,01	0,01	4	0,12	0,12	4
1977-06	0,02	0,02	5	0,07	0,10	5
1977-07	0,01	0,02	4	0,09	0,09	4
1977-08	0,03	0,03	5	0,23	0,14	5

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage

TABLEAU 20 (suite)

MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN FER SOLUBLE ET EN FER
TOTAL (mg/l Fe) AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

PERIODES	FER SOLUBLE		(n)***	FER TOTAL		(n)***
	Surface*	Fond**		Surface*	Fond**	
1977-09	0,09	0,08	1	0,35	0,32	1
1977-10	0,09	0,09	2	0,21	0,21	2
1977-11	0,09	0,08	1	0,12	0,14	1
1978-01	0,14	0,16	2	0,21	0,21	2
1978-02	0,13	0,15	1	0,20	0,22	1
1978-03	0,15	0,17	2	0,22	0,24	2
1978-05	0,03	0,01	2	0,13	0,16	2
1978-06	0,05	0,04	2	0,19	0,21	2
1978-07	0,10	0,12	3	0,24	0,28	3
1978-08	0,06	0,05	2	0,16	0,19	2
1978-09	0,03	0,03	2	0,15	0,16	2
1978-10	0,03	0,03	1	0,20	0,22	1
1978-11	0,07	0,06	1	0,17	0,15	1
1979-02	0,10	0,21	1	0,23	0,21	1
1979-03	0,10	0,09	1	0,19	0,20	1
1979-04	----	----	---	0,10	0,10	1
1979-05	----	----	---	0,11	0,11	1
1979-06	----	----	---	0,28	0,31	1
1979-07	----	----	---	0,35	0,38	1
1979-08	----	----	---	0,11	0,16	1
1979-09	----	----	---	0,10	0,18	1

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage

MOYENNES ET ECARTS-TYPE DES VALEURS EN FER SOLUBLE ET FER TOTAL

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	FER SOLUBLE mg/l Fe						FER TOTAL mg/l Fe					
	SURFACE			FOND			SURFACE			FOND		
<u>AVEC HIVER</u>	\bar{X}	σ_x	n	\bar{X}	σ_x	n	\bar{X}	σ_x	n	\bar{X}	σ_x	n
1975	0,06	0,02	10	0,13	0,08	10	0,13	0,06	12	0,34	0,27	12
1976-1979	0,07	0,05	28	0,07	0,06	28	0,18	0,06	34	0,19	0,06	34
1979	0,10	0,0	2	0,15	0,08	2	0,18	0,09	8	0,20	0,09	8
<u>SANS HIVER</u>												
1975	0,06	0,02	6	0,1	0,06	6	0,15	0,06	9	0,39	0,29	9
1976-1979	0,05	0,03	20	0,04	0,03	20	0,17	0,07	26	0,18	0,07	26
1979	----	----	--	----	----	--	0,18	0,11	6	0,21	0,11	6

TABLEAU 55

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DE FER SOLUBLE ET
FER TOTAL EXPRIMEES EN POURCENTAGE AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	FER SOLUBLE		FER TOTAL	
	SURFACE	FOND	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>	%	%	%	%
1975 vs 1976-1979	(+) 14,3	(-) 46,2	(+) 27,8	(-) 44,1
1975 vs 1979	(+) 40,0	(+) 13,3	(+) 27,8	(-) 41,2
<u>Sans hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	(-) 16,7	(-) 60,0	(+) 11,8	(-) 53,8
1975 vs 1979	-----	-----	(+) 16,7	(-) 46,2

(+) représente une augmentation de la valeur moyenne du paramètre.

(-) représente une diminution de la valeur moyenne du paramètre.

TABEAU 74

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS EN FER
SOLUBLE ET EN FER TOTAL AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	FER SOLUBLE mg/l Fe		FER TOTAL mg/l Fe	
	SURFACE	FOND	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	Pas significativement différent	Significativement différent	Significativement différent	Significativement différent
1975 vs 1979		Pas significativement différent	Pas significativement différent	Significativement différent
<u>Sans hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	Pas significativement différent	Significativement différent	Pas significativement différent	Significativement différent
1975 vs 1979			Pas significativement différent	Significativement différent

FIGURE 17

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN FER SOLUBLE AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979

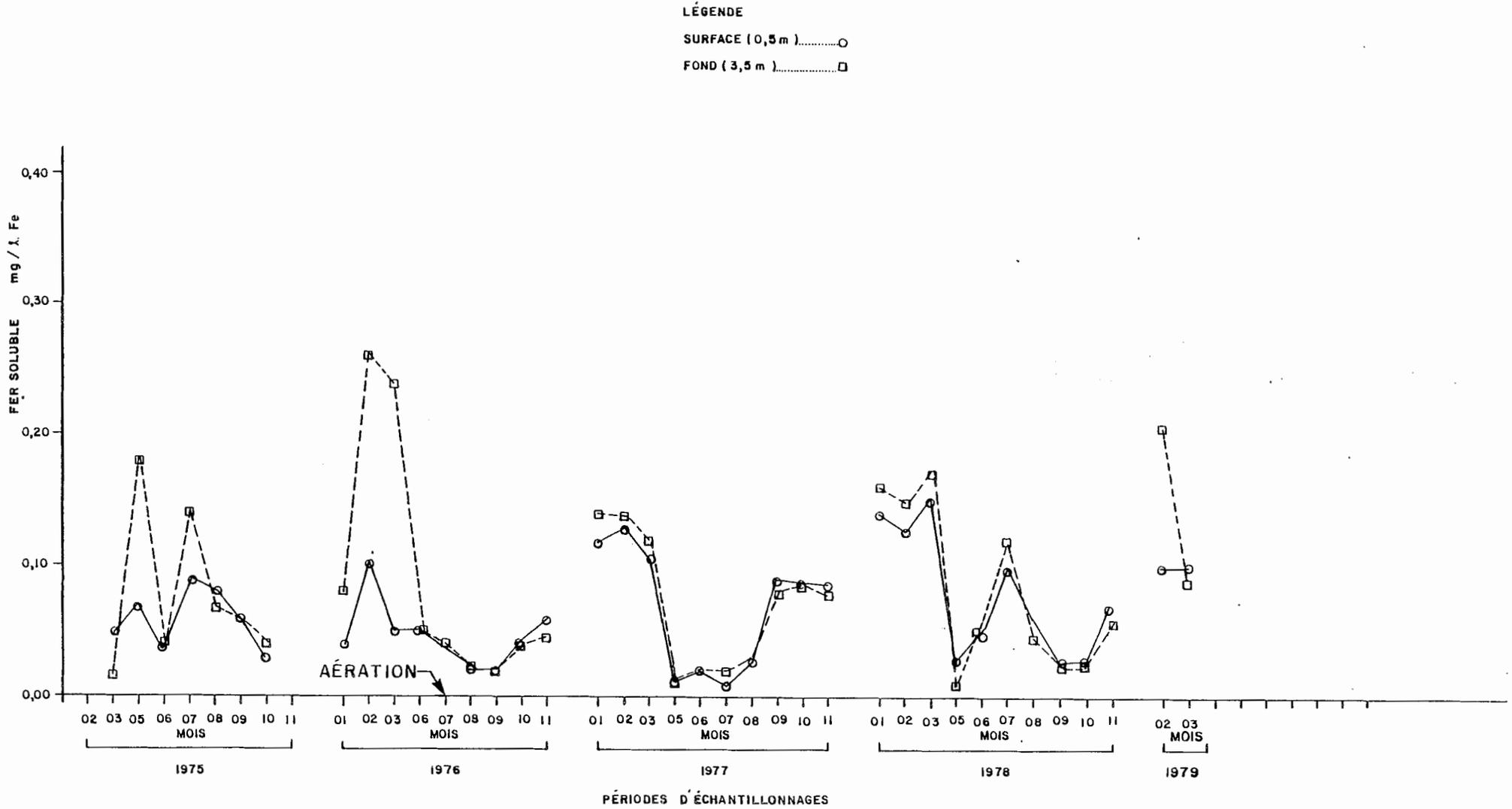
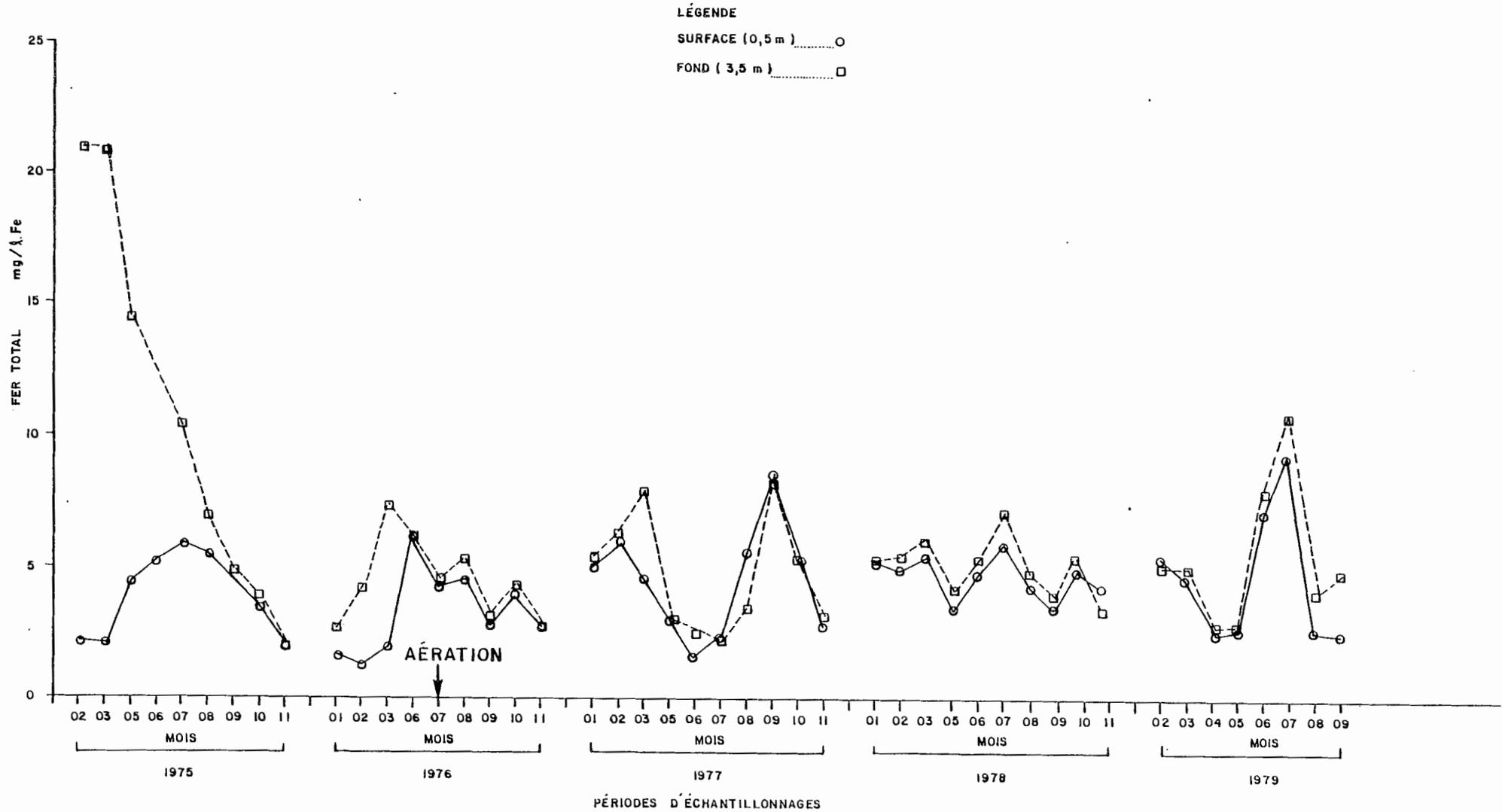


FIGURE 18

COMPARAISON INTER-ANUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN FER TOTAL, AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979



L'exclusion des valeurs moyennes hivernales pour la période d'aération démontre clairement l'impact du couvert de glace sur ce plan d'eau avec une diminution significative beaucoup plus notable de 60%. Les termes efficacité "brute" et efficacité "nette" prennent ainsi toute leur signification avec la mise en évidence de l'apport atmosphérique en oxygène dissous en période estivale.

En ce qui a trait aux concentrations moyennes en fer total, nous pouvons mettre en évidence les mêmes phénomènes régissant les teneurs en fer soluble. La figure 18 nous permet d'apprécier pleinement l'action du largage en anaérobiose telle que perçue au travers de la période hivernale de l'année 1975. Le rapprochement des courbes surface-fond induit par l'aération a permis de retrouver des concentrations moyennes en fer total plus "acceptables". Nous remarquons, dans le même ordre d'idées, une permutation des deux courbes en période estivale, depuis l'aération (les concentrations moyennes en fer total en surface sont plus élevées que les concentrations moyennes au fond). La formation d'hydroxydes ferriques insolubles est vraisemblablement à l'origine de ce phénomène. Cette oxydation des ions ferreux est moins notable en période hivernale pour la période d'aération et serait imputable une fois de plus à l'absence des échanges atmosphériques. Le fer total a donc présenté une diminution significative de ses concentrations au fond du lac Waterloo depuis l'aération (tableau 74). L'augmentation en surface de ce paramètre est statistiquement significative pour les années 1976 à 1979, alors qu'elle ne l'est pas pour l'année 1979, lorsque prise isolément. Nous avons vu précédemment que l'aération a causé l'homogénéisation de toute la colonne d'eau, ce phénomène a donc eu pour effet de stabiliser les valeurs moyennes des concentrations en fer total aux environs de $1,3 \text{ mg l}^{-1}$. Il serait donc tout à fait plausible

plexation de carbonate de manganèse ($MnCO_3$), de sulfure de manganèse (MnS) et d'hydroxyde de manganèse $Mn(OH)_2$.

La figure 19 nous montre clairement l'effet de largage responsable de l'enrichissement autochtone en Mn soluble avant l'aération. En effet, les courbes surface-fond présentent des concentrations record en période hivernale pendant l'anaérobiose. De la même façon, nous remarquons en période estivale que le largage, même s'il est moins notable, n'en demeure pas moins largement perceptible. Les concentrations minimales de ce paramètre sont retrouvées, comme pour le fer, en période d'isothermie printanière et automnale. L'aération a provoqué une diminution très marquée des concentrations en manganèse soluble et il est même possible de noter une permutation des courbes surface-fond pour certaines périodes de l'année depuis l'aération (concentration en surface plus élevée que les concentrations au fond du plan d'eau). La diminution moyenne des concentrations en manganèse soluble pour la période d'aération se chiffre à 50% en surface et à 70% au fond (tableaux 37 et 56). Il va sans dire que ces fortes diminutions sont statistiquement significatives (tableau 75). L'année 1979 prise isolément présente une diminution du même ordre de grandeur que pour la période 1976-1979, mais cette fois, la différence est statistiquement non significative en raison de la petitesse de l'échantillonnage pour la période considérée (deux valeurs). Le traitement des valeurs, en faisant abstraction des périodes hivernales, met en évidence, comme dans le cas du fer soluble et total, l'importance des échanges gazeux en période où le couvert de glace est absent (diminution respective des concentrations surface-fond de 68-80%).

En ce qui a trait aux concentrations en manganèse total, elles sont globalement régies par les processus physico-chimiques régularisant la fraction soluble. La figure 20 met en évidence, à peu de choses près, les

TABLEAU 21

MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN MANGANESE SOLUBLE
ET MANGANESE TOTAL (mg/1 Mn) AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

PERIODES	MANGANESE SOLUBLE		(n)***	MANGANESE TOTAL		(n)***
	Surface*	Fond**		Surface*	Fond**	
1975-02	----	----	---	0,08	0,48	1
1975-03	0,05	0,15	1	0,08	0,48	1
1975-05	0,07	0,21	3	0,10	0,27	3
1975-06	0,05	0,05	4	0,08	0,08	4
1975-07	0,08	0,10	5	0,09	0,24	5
1975-08	0,05	0,07	4	0,07	0,06	4
1975-09	0,05	0,05	3	0,06	0,06	3
1975-10	0,05	0,05	4	0,05	0,05	4
1975-11	----	----	---	0,05	0,05	1
1976-01	0,02	0,14	1	0,03	0,16	1
1976-02	0,06	0,20	1	0,08	0,25	1
1976-03	0,28	0,28	2	0,02	0,32	2
1976-06	0,01	0,01	1	0,11	0,11	1
1976-07	0,02	0,02	6	0,07	0,08	6
1976-08	0,01	0,01	5	0,08	0,08	5
1976-09	0,01	0,01	4	0,06	0,06	4
1976-10	0,01	0,01	4	0,03	0,03	4
1976-11	0,01	0,01	1	0,03	0,02	1
1977-01	0,07	0,10	1	0,07	0,11	1
1977-02	0,11	0,13	2	0,14	0,15	2
1977-03	0,10	0,15	2	0,13	0,19	2
1977-05	0,01	0,01	2	0,05	0,05	2
1977-06	0,01	0,01	5	0,05	0,05	5
1977-07	0,01	0,01	4	0,06	0,06	4

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage

MOYENNES ET ECARTS-TYPE DES VALEURS DU MANGANESE SOLUBLE ET DU MANGANESE TOTAL

AU LAC WATERLLO DE 1975 A 1979

ANNEES	MANGANESE SOLUBLE mg/l Mn						MANGANESE TOTAL mg/l Mn					
	SURFACE			FOND			SURFACE			FOND		
	\bar{X}	σ_x	n	\bar{X}	σ_x	n	\bar{X}	σ_x	n	\bar{X}	σ_x	n
<u>AVEC HIVER</u>												
1975	0,08	0,07	10	0,13	0,08	10	0,07	0,02	12	0,21	0,16	12
1976-1979	0,04	0,03	28	0,04	0,04	28	0,07	0,03	34	0,07	0,04	34
1979	0,04	0,01	2	0,04	0,02	2	0,08	0,04	8	0,08	0,06	8
<u>SANS HIVER</u>												
1975	0,06	0,01	7	0,10	0,06	7	0,07	0,02	9	0,20	0,18	9
1976-1979	0,02	0,02	20	0,02	0,02	20	0,07	0,03	26	0,07	0,03	26
1979	----	----	--	----	----	--	0,09	0,05	5	0,10	0,07	5

- 100 -

TABLEAU 56

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DE MANGANESE SOLUBLE
ET DU MANGANESE TOTAL EXPRIMEES EN POURCENTAGE AU LAC WATERLOO

DE 1975 A 1979

ANNEES	MANGANESE SOLUBLE		MANGANESE TOTAL	
	SURFACE	FOND	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>	%	%	%	%
1975 vs 1976-1979	(-) 50,0	(-) 69,2	0	(-) 66,7
1975 vs 1976-1979	(-) 50,0	(-) 69,2	(+) 12,5	(-) 61,9
<u>Sans hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	(-) 66,7	(-) 80,0	0	(-) 65,0
1975 vs 1979	-----	-----	(+) 22,2	(-) 50,0

(+) représente une augmentation de la valeur moyenne du paramètre.

(-) représente une diminution de la valeur moyenne du paramètre.

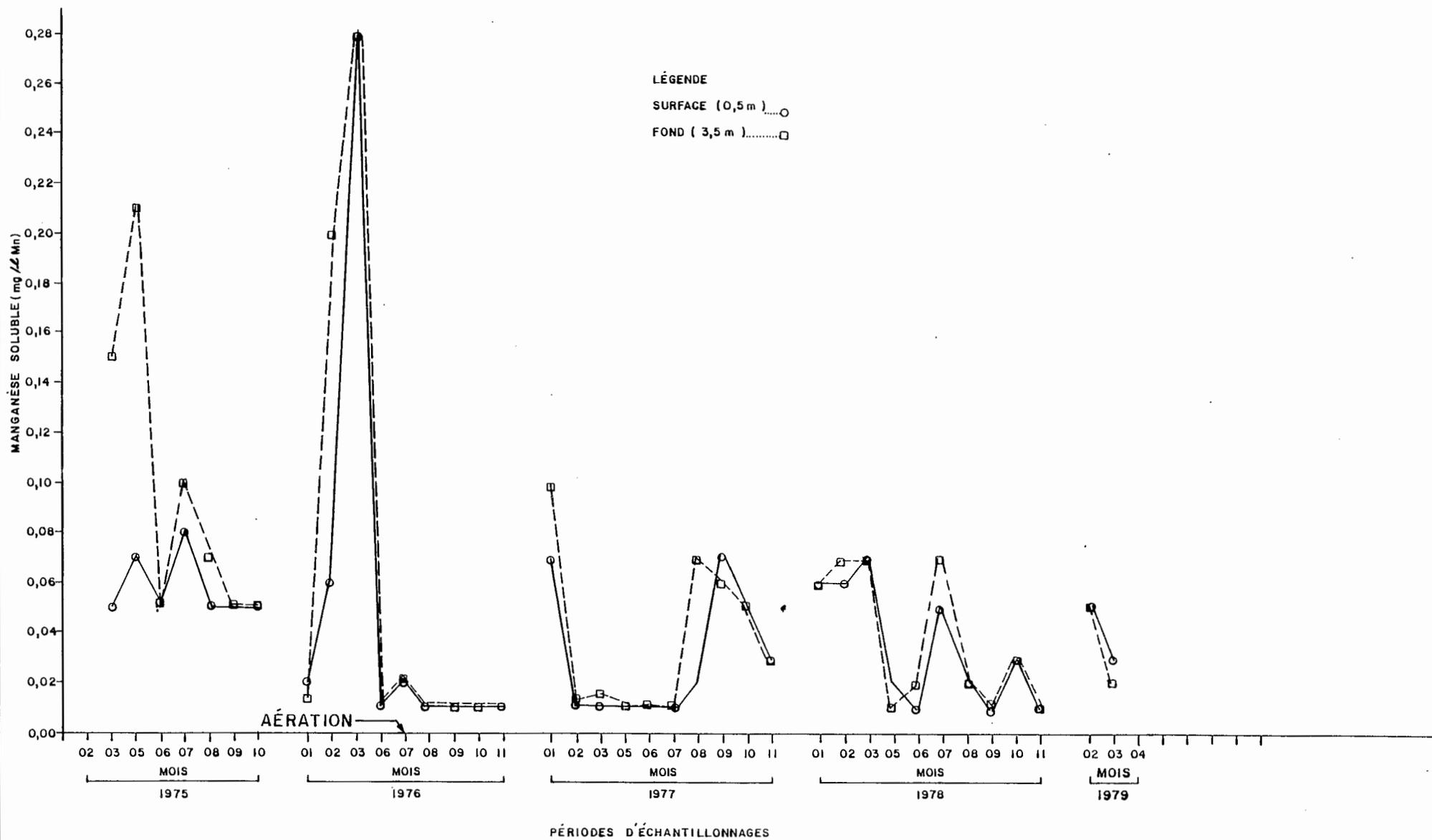
TABEAU 75

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DE MANGANESE SOLUBLE
ET DE MANGANESE TOTAL AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	MANGANESE SOLUBLE mg/l Mn		MANGANESE TOTAL mg/l Mn	
	SURFACE	FOND	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	Significative- ment différent	Significative- ment différent	Pas significa- tivement dif- férent	Significative- ment différent
1975 vs 1979	Pas significa- tivement dif- férent	Pas significa- tivement dif- férent	Pas significa- tivement dif- férent	Significative- ment différent
<u>Sans hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	Significative- ment différent	Significative- ment différent	Pas significa- tivement dif- férent	Significative- ment différent
1975 vs 1979	----- -----	----- -----	Pas significa- tivement dif- férent	Significative- ment différent

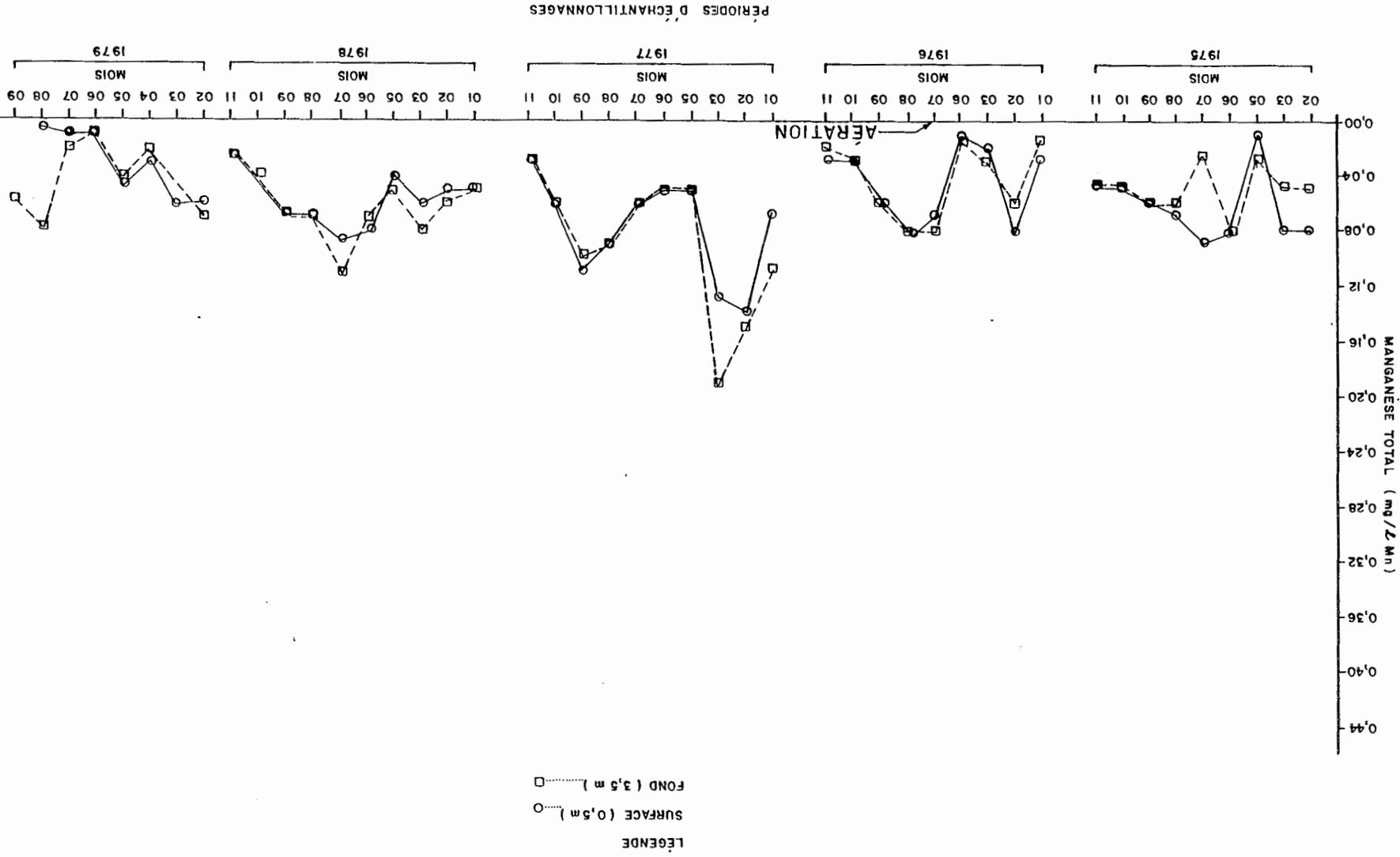
FIGURE 19

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN MANGANESE SOLUBLE AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979



COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION DE MANGANESE TOTAL AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

FIGURE 20



mêmes fluctuations que pour le manganèse soluble. Ainsi, les concentrations moyennes en manganèse total et l'aération étaient intimement liées aux saisons où l'anaérobiose apparaissait. La permutation régulière des courbes surface-fond, suite à l'aération, corrobore les explications données lors de l'analyse du manganèse soluble. L'aération a donc permis de diminuer de 67% (tableau 56) en moyenne les concentrations en manganèse total au fond du lac. Ce résultat est statistiquement significatif (tableau 75) et il en est de même pour l'année 1979, lorsque prise isolément. La légère augmentation en surface des concentrations en manganèse soluble (13%) est statistiquement non significative et pourrait être expliquée par la formation de précipités d'hydroxydes de manganèse qui ont des propriétés colloïdales (0,001 à 0,05 μm) et ne sont donc pas retenues par les membranes de filtration conventionnelles (0,5 μm) (Wetzel 1975). Le traitement des valeurs, en excluant les périodes hivernales, a donné des résultats similaires au manganèse soluble et nous référons le lecteur aux explications décrites précédemment.

4.4.9 Calcium et sodium

Le calcium joue un rôle actif de plusieurs façons dans la croissance et la dynamique des populations de la flore et de la faune de nos lacs. Cet élément s'avère un nutriment essentiel aux végétaux en permettant le maintien des structures cellulaires et en assurant l'efficacité d'absorption de certains ions et de leur rétention. La distribution de certaines populations phytoplanctoniques a été corrélée avec des gradients de concentration en calcium. Le même genre de relation existe chez les crustacés, mais à un degré moindre et de façon plus variable (Bremond et al., 1973). Les lacs d'eau douce (dureté $\leq 200 \text{ mg l}^{-1} \text{ CaCO}_3$) présentent des teneurs en calcium qui sont globalement en-dessous du point de saturation et ces concentrations ne pré-

sentent que de faibles variations saisonnières pour toute la colonne d'eau. En général, les quantités de calcium utilisées pour la biosynthèse du biota sont très faibles en comparaison des concentrations retrouvées dans le milieu. Une certaine accumulation de cet élément peut cependant se produire dans l'hypolimnion des lacs eutrophes en période de stratification.

La figure 21 nous montre qu'avant l'aération une accumulation de calcium était décelable sous couvert de glace à la surface et au fond du lac Waterloo. Ce phénomène est imputable comme pour plusieurs autres paramètres (ex.: Fe, Mn, etc.) au développement de zones anoxiques. En condition oxydante, le Ca^{++} est fortement complexé aux sédiments. En condition réductrice, le Ca^{++} est massivement relâché en proportion à peu près égale au bicarbonate, même si une bonne portion du Ca^{++} est complexée avec des acides humiques (lorsqu'ils sont présents) (Wetzel 1975). La diminution de ce paramètre est d'environ 18% à la surface et de 24% au fond du lac pour la période d'aération (tableaux 38 et 57). Ces résultats sont significatifs pour la période 1976-1979 et ne le sont cependant pas pour l'année 1979 prise isolément (faible échantillonnage: deux valeurs). Le traitement des valeurs moyennes en calcium, en excluant les périodes hivernales pendant l'aération, présente des diminutions encore plus notables (tableau 57), ce qui met une fois de plus en évidence l'importance de l'impact du couvert de glace au lac Waterloo.

Le cation monovalent sodium est principalement impliqué dans le transport et les échanges des ions. La variation spatiale et temporelle de cet ion en milieu naturel est très uniforme pour toute la colonne d'eau et ne démontre que de très faibles fluctuations saisonnières. Certains plans d'eau très eutrophes ont déjà démontré certaines diminutions des concentrations en surface du sodium et ce phénomène a été imputé au développement

TABLEAU 22

MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION DE CALCIUM ET DE SODIUM

(mg/l) AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

PERIODES	CALCIUM		(n)***	SODIUM		(n)***
	Surface*	Fond**		Surface*	Fond**	
1975-02	23,0	27,0	1	8,2	15,0	1
1975-03	23,0	27,0	1	8,2	15,0	1
1975-05	13,0	13,4	4	13,4	14,2	4
1975-06	12,8	13,2	4	13,8	13,6	4
1975-07	13,4	14,1	4	15,2	15,1	4
1975-08	13,2	13,3	4	16,4	15,3	4
1975-09	13,4	13,4	4	16,6	16,4	4
1975-10	13,9	13,5	4	15,3	15,4	4
1975-11	15,0	14,8	4	13,5	13,5	4
1976-01	13,8	14,9	1	10,5	15,5	1
1976-02	13,2	14,5	1	11,5	13,2	1
1976-03	11,1	16,1	2	7,9	19,2	2
1976-06	10,9	11,0	1	12,3	12,3	1
1976-07	11,1	11,1	1	11,8	11,8	1
1976-08	12,0	11,9	1	11,9	11,9	1
1976-09	12,7	12,6	1	11,2	11,2	1
1976-10	12,2	12,1	1	11,0	11,0	1
1976-11	9,0	12,2	1	10,0	10,0	1
1977-01	14,2	14,2	1	11,5	12,0	1
1977-02	14,4	14,5	2	12,3	12,0	2
1977-03	12,6	14,4	2	12,6	15,2	2
1977-05	9,0	9,0	1	11,0	11,0	1
1977-06	9,7	9,9	1	12,5	12,8	1
1977-07	10,6	10,4	1	13,1	13,3	1
1977-08	11,5	11,0	1	15,2	15,2	1

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage

TABLEAU 22 (suite)

MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION DE CALCIUM ET DE SODIUM

(mg/l) AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

PERIODES	CALCIUM		(n)***	SODIUM		(n)***
	Surface*	Fond**		Surface*	Fond**	
1977-09	10,5	11,0	1	14,5	15,0	1
1977-10	12,1	12,2	1	11,2	11,2	1
1977-11	10,8	10,9	1	10,5	10,5	1
1978-01	13,8	14,2	1	13,0	14,1	1
1978-02	16,2	16,5	1	15,3	15,3	1
1978-03	15,6	15,7	1	15,5	16,0	1
1978-05	9,1	8,9	1	8,3	8,3	1
1978-06	10,6	10,6	1	9,9	9,9	1
1978-07	11,7	11,6	1	11,2	11,2	1
1978-08	12,7	12,7	1	11,3	11,3	1
1978-09	14,2	13,3	1	11,5	11,5	1
1978-10	13,1	13,1	1	12,7	12,5	1
1978-11	14,0	14,0	1	11,9	11,0	1
1979-02	14,5	14,3	1	13,5	13,5	1
1979-03	14,5	14,8	1	13,5	14,2	1

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage

TABLEAU 57

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DE CALCIUM ET DE SODIUM EXPRIMEES EN POURCENTAGE AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	CALCIUM		SODIUM	
	SURFACE	FOND	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>	%	%	%	%
1975 vs 1976-1979	(-) 18,1	(-) 23,5	(-) 2,4	(-) 17,9
1975 vs 1979	(-) 2,6	(-) 9,8	(+) 7,4	(-) 7,9
<u>Sans hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	(-) 26,9	(-) 30,7	(-) 12,7	(-) 20,9
	-----	-----	-----	-----

(+) représente une augmentation de la valeur moyenne du paramètre.

(-) représente une diminution de la valeur moyenne du paramètre.

TABLEAU 76

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DU CALCIUM ET DU SODIUM AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	Calcium mg/l Ca		SODIUM mg/l Na	
	SURFACE	FOND	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	Significative- ment différent	Significative- ment différent	Pas significa- tivement dif- férent	Significative- ment différent
1975 vs 1979	Pas significa- tivement dif- férent	Pas significa- tivement dif- férent	Pas significa- tivement dif- férent	Pas significa- tivement dif- férent
<u>Sans hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	Significative- ment différent	Significative- ment différent	Significative- ment différent	Significative- ment différent
1975 vs 1979				

TABLEAU 58

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DU MAGNESIUM ET DU
POTASSIUM EXPRIMEES EN POURCENTAGE AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

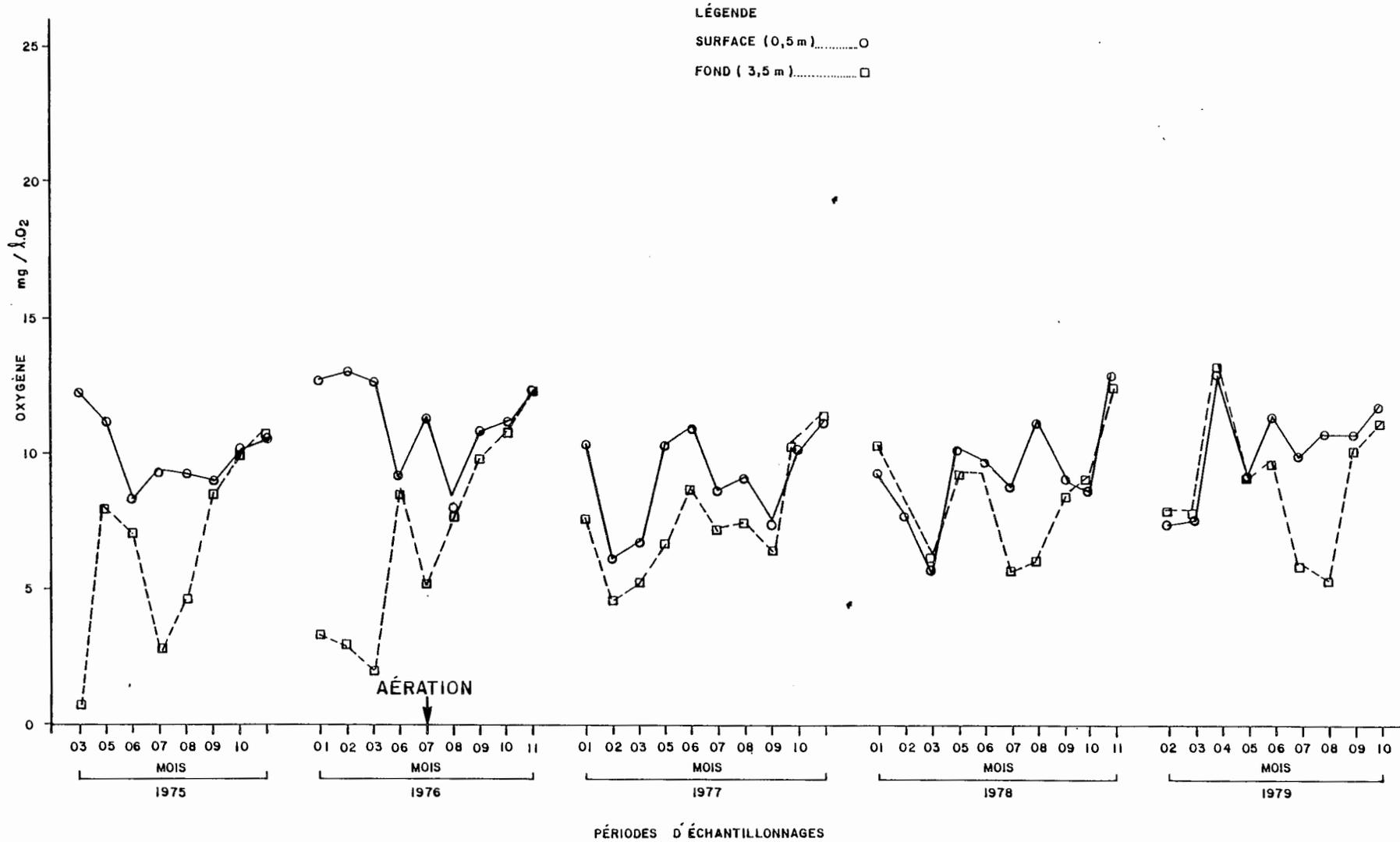
ANNEES	MAGNESIUM mg/1 Mg		POTASSIUM mg/1 K	
	SURFACE	FOND	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>	%	%	%	%
1975 vs 1976-1979	(-) 8,7	(-) 4,35	(-) 14,0	(-) 25,0
1975 vs 1979	(-) 4,3	(-) 4,35	(+) 6,7	(-) 12,5
<u>Sans hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	(-) 9,09	(-) 13,0	(-) 20,0	(-) 25,0
1975 vs 1976-1979	0	0	0	0

(+) représente une augmentation de la valeur moyenne du paramètre.

(-) représente une diminution de la valeur moyenne du paramètre.

FIGURE II

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN OXYGÈNE DISSOUS
AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979



massif du phytoplancton en période estivale.

Pour ce qui est du lac Waterloo, nous pouvons remarquer qu'en période hivernale avant l'aération, un espacement assez marqué était perceptible entre les concentrations en sodium de surface et de fond (figure 22). L'anoxie ne semble pas être responsable de ce phénomène, car l'aération a maintenu, grosso-modo, les mêmes concentrations pour les périodes hivernales suivantes. Les courbes surface-fond présentent cependant un rapprochement très significatif imputable au brassage occasionné par la remontée des bulles d'air. La diminution des concentrations moyennes en sodium (18%) est significative au fond pour la période d'aération (tableau 57) et cette dernière l'est encore plus si nous excluons les périodes hivernales. La littérature ne fait aucune mention directe d'une précipitation de cet élément en milieu oxydant. Il est cependant probable que la formation de différents types de composés occasionnés par la présence d'oxygène ait favorisé la co-précipitation de cet élément. L'année 1979 ne présente aucune fluctuation significative de ce paramètre en raison du faible nombre de valeurs.

4.4.10 Magnésium et potassium

Le magnésium est un élément qui est universellement utilisé pour les processus photosynthétiques et à l'intérieur de certaines réactions enzymatiques (algues, bactéries, moisissures). La demande métabolique en magnésium dans un écosystème lacustre est globalement très faible en comparaison aux concentrations retrouvées naturellement dans le milieu. Les composés de magnésium sont généralement plus solubles que leurs homologues de calcium, ce qui résulte en une absence presque complète de précipités de magnésium.

En ce qui a trait au lac Waterloo, nous ne pouvons mettre en évidence, pour la période d'aération, des fluctuations significatives de ce paramètre (tableau 17). Il en est de même pour la variation temporelle des concentrations moyennes de ce paramètre représentée à la figure 23. Mise à part une très forte diminution inexplicable des concentrations moyennes en magnésium pour le mois de février 1976 (pré-aération), nous pouvons dire que cet élément ne subit à peu près pas de fluctuations depuis l'aération.

Le potassium est un cation monovalent et comme le sodium, cet élément est principalement impliqué dans le transport de certains ions. La distribution spatio-temporelle du potassium dans les lacs est relativement uniforme et les très faibles variations saisonnières sont le reflet de la nature peu réactive de cet ion.

La figure 24 traduit bien les observations théoriques et nous ne remarquons qu'une très faible fluctuation des concentrations moyennes en potassium avant et après l'aération. Le rapprochement des courbes surface-fond, pour les périodes hivernales, est imputable à l'homogénéisation causée par l'aération et la diminution moyenne des concentrations (surface 14% et fond 25%) qui est significative (tableau 58) pourrait être due à certains phénomènes de co-précipitation en condition oxydante (Wetzel, 1975).

Le traitement des données, en excluant les périodes hivernales, montre des diminutions encore plus significatives (tableaux 39 et 58) et ce phénomène pourrait être lié d'une certaine façon à l'aération naturelle de ce plan d'eau. L'année 1979, prise isolément, ne présente pas de fluctuation majeure en raison du nombre restreint de valeurs.

TABLEAU 23

MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN MAGNESIUM ET EN POTASSIUM

(mg/l) AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

PERIODES	MAGNESIUM		(n)***	POTASSIUM		(n)***
	Surface*	Fond**		Surface*	Fond**	
1975-02	2,2	2,6	1	1,6	2,3	1
1975-03	2,2	2,6	1	1,6	2,3	1
1975-05	2,1	2,2	1	1,4	1,5	4
1975-06	2,3	2,3	1	1,9	1,8	4
1975-07	2,2	2,3	1	1,6	1,6	4
1975-08	2,3	2,3	1	1,5	1,5	4
1975-09	2,2	2,2	1	1,3	1,3	4
1975-10	2,3	2,3	1	1,3	1,4	4
1975-11	2,3	2,2	1	1,1	1,1	4
1976-01	2,6	2,8	1	1,3	1,6	1
1976-02	2,6	0,7	2	1,2	1,4	2
1976-03	1,9	2,8	1	0,8	1,7	1
1976-06	1,9	1,9	1	0,9	0,9	1
1976-07	2,0	2,1	1	1,0	1,0	6
1976-08	2,0	2,0	1	1,2	1,3	5
1976-09	2,6	2,5	1	1,2	1,2	4
1976-10	2,5	2,5	1	1,3	1,3	4
1976-11	2,5	2,5	1	1,3	1,3	1
1977-01	2,6	2,7	1	1,2	1,2	1
1977-02	2,8	2,9	1	1,3	1,3	2
1977-03	2,5	2,7	1	1,3	1,4	2
1977-05	2,0	2,0	1	1,0	1,0	2
1977-06	2,1	2,1	1	1,1	1,1	5
1977-07	2,3	2,3	1	1,3	1,3	4
1977-08	2,3	2,3	1	1,3	1,2	5

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage

TABLEAU 23 (suite)

MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN MAGNESIUM ET EN POTASSIUM

(mg/l) AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

PERIODES	MAGNESIUM		(n)***	POTASSIUM		(n)***
	Surface*	Fond**		Surface*	Fond**	
1977-09	1,9	2,0	1	1,1	1,3	1
1977-10	2,0	2,0	2	1,3	1,4	2
1977-11	2,0	2,0	1	1,2	1,2	1
1978-01	2,2	2,3	2	1,3	1,3	2
1978-02	2,3	2,3	2	1,3	1,3	2
1978-03	2,4	2,4	1	1,4	1,5	1
1978-05	1,3	1,3	1	1,1	0,9	1
1978-06	1,5	1,5	2	1,0	1,0	2
1978-07	1,7	1,7	2	1,0	0,9	2
1978-08	1,8	1,8	2	1,1	1,0	2
1978-09	1,9	1,9	3	1,2	1,2	3
1978-10	1,9	2,0	2	1,2	1,3	2
1978-11	2,1	2,0	2	1,4	1,4	2
1979-02	2,3	2,3	1	1,6	1,5	1
1979-03	2,2	2,2	1	1,4	1,4	1

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage

MOYENNES ET ECARTS-TYPE DES VALEURS DU MAGNESIUM ET DU POTASSIUM

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	MAGNESIUM mg/l Mg						POTASSIUM mg/l K					
	SURFACE			FOND			SURFACE			FOND		
<u>AVEC HIVER</u>	\bar{X}	σ_x	n	\bar{X}	σ_x	n	\bar{X}	σ_x	n	\bar{X}	σ_x	n
1975	2,3	0,19	12	2,3	0,54	12	1,4	0,29	12	1,6	0,36	12
1976-1979	2,1	0,34	28	2,2	0,36	28	1,2	0,16	28	1,2	0,18	28
1979	2,2	0,05	2	2,2	0,05	2	1,5	0,10	2	1,4	0,05	2
<u>SANS HIVER</u>												
1975	2,2	0,07	9	2,3	0,16	9	1,5	0,23	9	1,6	0,42	9
1976-1979	2,0	0,32	20	2,0	0,31	20	1,2	0,13	20	1,2	0,17	20
1979	---	---	--	---	---	--	---	---	--	---	---	--

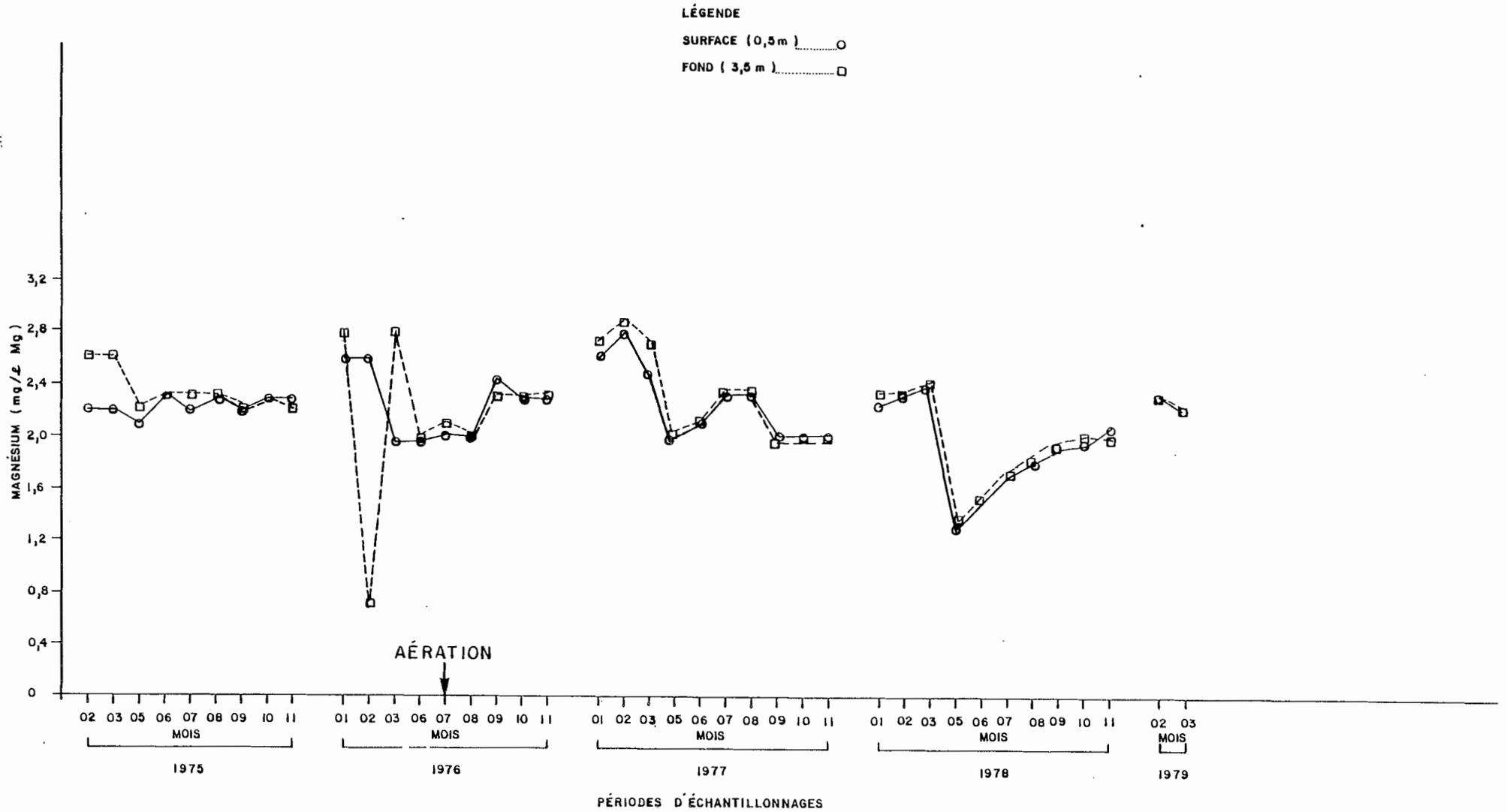
TABLEAU 77

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DU MAGNESIUM ET
DU POTASSIUM AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	MAGNESIUM mg/l Mg		POTASSIUM mg/l K	
	SURFACE	FOND	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	Pas significativement différent	Pas significativement différent	Significativement différent	Significativement différent
1975 vs 1979	Pas significativement différent	Pas significativement différent	Pas significativement différent	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	Significativement différent	Significativement différent	Significativement différent	Significativement différent
1975 vs 1979	-----	-----	-----	-----

FIGURE 23

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN MAGNÉSIUM AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979



4.4.11 Sulfates

La forme prédominante du soufre dans les eaux naturelles est généralement la forme oxydée ou sulfate ($\text{SO}_4^{=}$). La presque totalité de l'assimilation se fait sous cette forme, alors que les processus de décomposition de la matière organique produisent principalement de l'hydrogène sulfureux. En présence d'oxygène, le H_2S est oxydé rapidement, ce qui implique donc théoriquement une faible quantité de ce composé dans l'hypolimnion des lacs bien aérés (Pesson et al., 1976). Une certaine quantité de $\text{SO}_4^{=}$ est larguée des sédiments et ce phénomène peut être accentué dans l'hypolimnion des lacs mésotrophes et eutrophes (anoxie). La réduction chimique des sulfates, sous la forme de H_2S , se produit lorsque le potentiel rédox, en raison d'une forte décomposition, est abaissé (≈ 100 mv). Une certaine portion du H_2S produite au niveau des sédiments peut réagir avec le fer (Fe^{+2}) qui est larguée au même moment et peut ainsi produire le composé insoluble FeS . La réduction des sulfates aux sulfures, avec la perte concomitante au sédiment de sulfure métallique, et l'oxydation du H_2S à la forme sulfate en présence d'oxygène permettent d'initier une pléiade d'autres réactions intimement liées aux sels nutritifs et plus spécialement au phosphore. Il est malheureusement très difficile de préciser exactement la tendance prise par chacun des constituants à l'intérieur du cycle du soufre, car plusieurs des réactions sont chimiquement lentes et impliquent les hétérotrophes bactériens.

La figure 25 représente la variation temporelle des concentrations en sulfate. Nous remarquons que les concentrations de ce composé sont minimales en périodes estivales (pré-aération), alors qu'elles sont à la hausse pour les périodes d'isothermie. Les processus de décomposition de la matière organique étant favorisés en période estivale, il est fort probable que nous assistons à une production de H_2S qui ne peut être efficacement oxydée en raison du défi-

cit en oxygène régulièrement retrouvé avant l'aération. Les hausses des concentrations de ce paramètre, précédemment décrites à la fin de la stratification thermique estivale, proviendraient de l'oxydation du H₂S accumulé dans la strate d'eau sus-jacente aux sédiments. L'aération, qui a débuté à l'été 1976, a eu pour effet d'éliminer la hausse automnale des concentrations en sulfates en diminuant fort probablement les quantités en H₂S oxydables. Ce phénomène est évidemment lié au fait que l'aération a inhibé les processus de fermentation responsables, entre autres, de l'accumulation du H₂S. Le tableau 59 met donc en évidence une diminution significative (tableau 78) surface-fond de l'ordre de 29% qui s'est révélée stable même pour l'année 1979 prise isolément. Le traitement des valeurs moyennes en sulfates, en excluant les périodes hivernales, présente des diminutions qui sont, somme toute, comparables aux valeurs moyennes annuelles prises en entier. L'homogénéité des valeurs surface-fond est difficilement explicable sans l'analyse du paramètre correspondant aux sulfures dans le milieu (non disponible).

4.4.12 Carbone inorganique et carbone organique

Une bonne partie du carbone présent en solution provient de l'équilibre des différents sous-produits de l'acide carbonique. Le reste du carbone est sous forme organique, qui est globalement divisé en carbone organique dissous ou particulaire (détritus) et en carbone organique "structuré" originant des différents niveaux trophiques. Le carbone inorganique est donc réparti selon l'équilibre régissant la teneur totale de ce composé et peut se résumer comme suit: $\Sigma \text{CO}_2 = \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{CO}_3^{=}$. Même si le transfert du CO₂ atmosphérique avec l'eau est relativement rapide et complet, il n'en demeure pas moins que la présence de ce composé à toutes les profondeurs d'un lac est régie par certains processus biologiques (phytoplancton, bactéries, etc.).

TABLEAU 24

MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN SULFATE (mg/l SO₄)

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

Période	Surface*	Fond**	(n)***
1975-02	10,1	10,1	1
1975-03	10,1	10,1	1
1975-05	8,1	7,8	3
1975-06	7,2	7,1	4
1975-07	6,7	6,5	5
1975-08	7,4	7,5	4
1975-09	9,7	9,7	3
1975-10	12,4	12,4	4
1975-11	14,5	14,6	1
1976-01	15,7	16,0	1
1976-02	16,1	15,8	1
1976-03	11,8	14,5	2
1976-06	8,2	8,1	1
1976-07	6,9	6,9	6
1976-08	6,1	5,6	5
1976-09	6,1	6,4	4
1976-10	6,6	6,5	4
1976-11	6,8	6,8	1
1977-01	9,5	9,0	1
1977-02	9,1	9,5	2
1977-03	7,9	8,8	2
1977-05	7,2	7,2	2
1977-06	6,7	6,2	5
1977-07	6,8	6,8	4
1977-08	6,6	6,6	5
1977-09	8,4	8,2	1
1977-10	9,1	9,1	2
1977-11	9,8	9,8	1

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage.

TABLEAU 24 (suite)

MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN SULFATE (mg/l SO₄)

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

Période	Surface*	Fond**	(n)***
1978-01	10,5	11,0	2
1978-02	0,5	0,5	2
1978-03	12,5	12,3	2
1978,05	6,3	6,4	2
1978-06	6,6	6,6	2
1978-07	6,2	6,3	3
1978-08	7,0	6,9	2
1978-09	6,8	6,8	2
1978-10	7,5	7,5	1
1978-11	8,6	8,6	1
1979-02	9,9	10,0	1
1979-03	10,8	10,7	1
1979-04	7,6	7,6	1
1979-05	8,2	8,3	1
1979-06	7,0	7,0	1
1979-07	5,3	5,2	1
1979-08	6,7	6,9	1
1979-09	7,8	7,8	1

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage.

TABLEAU 40

MOYENNES ET ECARTS-TYPE DES VALEURS EN SULFATE

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	SULFATES mg/l SO ₄					
	SURFACE			FOND		
<u>AVEC HIVER</u>	\bar{X}	$\sigma^2 \times$	n	\bar{X}	$\sigma^2 \times$	n
1975	10,8	3,3	12	11,0	3,5	12
1976-1979	7,7	1,6	34	7,7	1,7	34
1979	7,9	1,8	8	7,9	1,8	8
<u>SANS HIVER</u>						
1975	9,6	2,6	9	9,5	2,7	9
1976-1979	7,2	1,0	25	7,1	1,1	25
1979	7,0	1,0	5	7,0	1,2	5

TABLEAU 59

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DE SULFATES
EXPRIMEES EN POURCENTAGE AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	SULFATES	
	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>	%	%
1975 vs 1976-1979	(-) 28,7	(-) 30,0
1975 vs 1979	(-) 26,8	(-) 28,2
<u>Sans hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	(-) 25,0	(-) 25,3
1975 vs 1979	(-) 27,1	(-) 26,3

(+) représente une augmentation de la valeur moyenne du paramètre.

(-) représente une diminution de la valeur moyenne du paramètre.

TABLEAU 78

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DE SULFATE

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	SULFATES mg/l SO ₄ ⁼	
	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	Significativement différent	Significativement différent
1975 vs 1979	Significativement différent	Significativement différent
<u>Sans hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	Significativement différent	Significativement différent
1975 vs 1979	Significativement différent	Significativement différent

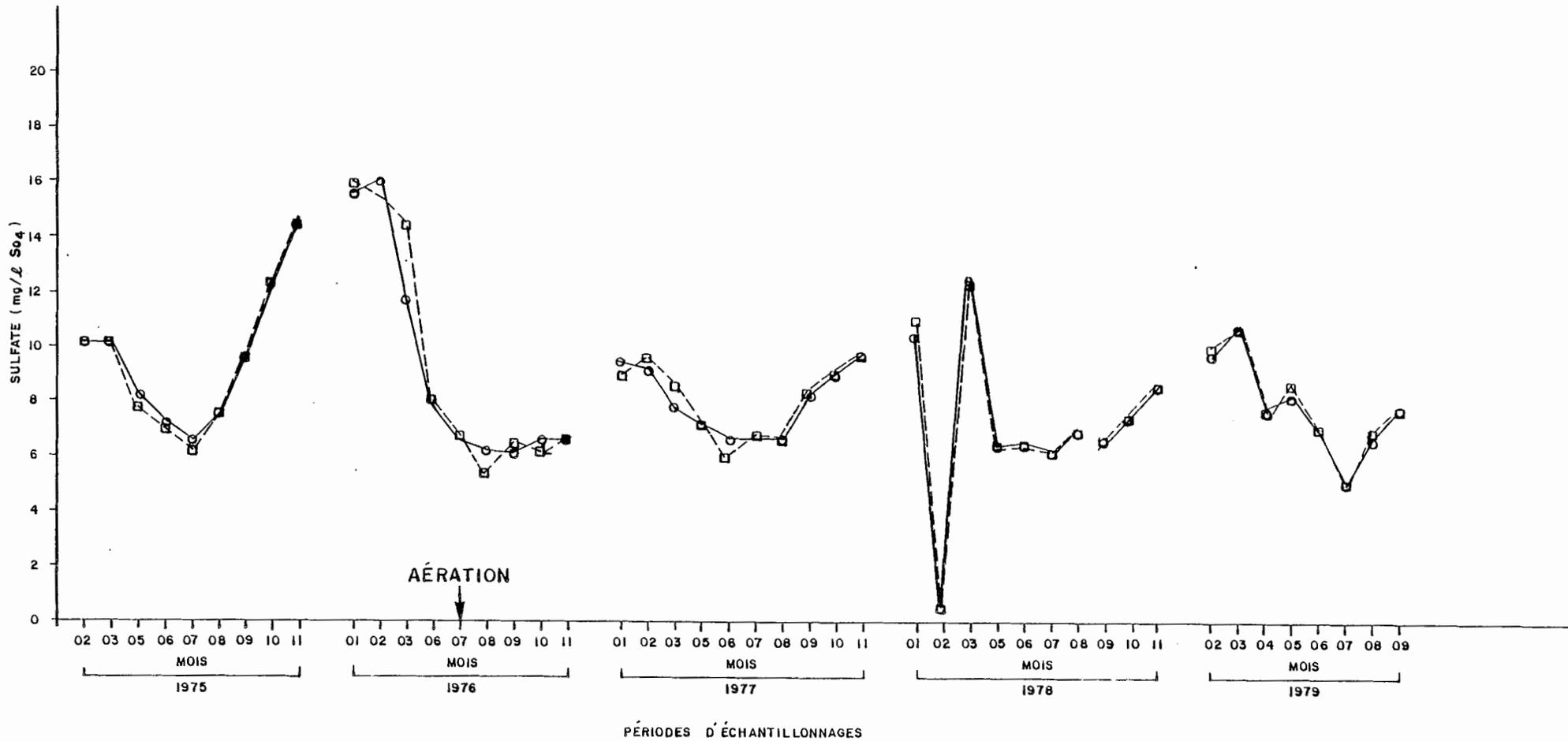
FIGURE 25

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN SULFATE AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979

LÉGENDE

SURFACE (0,5 m) ○

FOND (3,5 m) □



Il est généralement reconnu que la distribution du ΣCO_2 est orthograde pour les lacs où les concentrations en oxygène dissous sont orthogrades, alors que pour les milieux plus productifs (mésotrophe \rightarrow eutrophe \rightarrow), la courbe d'oxygène dissous étant clinograde, celle du ΣCO_2 suit une relation clinograde inverse. Le carbone inorganique est un des principaux éléments nécessaires à la photosynthèse des populations algales et des macrophytes et n'a jamais été officiellement reconnu comme pouvant être un élément nutritif limitant.

Les processus de fermentation de la matière organique éliminent la production du CO_2 au niveau des sédiments lorsque ceux-ci sont en anoxie, alors que la photosynthèse par le phytoplancton et les macrophytes diminuent les concentrations de ce composé en surface. Les périodes d'isothermie printanière et automnale présentent généralement les concentrations maximales de ce composé pour toute la masse d'eau en raison du brassage intégral de toute la masse d'eau, de la diminution de l'activité des populations végétales et de l'abondance relative des substrats organiques biologiquement oxydables par la flore micro-hétérotrophe.

La figure 26 tend à confirmer les observations théoriques faites précédemment. En effet, la période de pré-aération est caractérisée par une diminution en surface des concentrations moyennes en CO_2 pour la période estivale de l'année 1975 qui peut être imputée à la forte prolifération des organismes phytoplanctoniques et des plantes aquatiques. Cette biomasse présente des cycles très dynamiques et la matière organique issue des organismes morts est oxydée par les bactéries qui produisent du CO_2 . L'espacement des courbes surface-fond peut être attribué à la bioassimilation du CO_2 (diminution des concentrations en surface) pour les processus photosynthétiques et au phénomène de sédimentation et d'oxydation de la matière détritale (augmentation

des concentrations au fond). Le rapprochement et la juxtaposition des courbes surface-fond en période d'isothermie automnale avant l'aération est attribuable comme nous l'avons vu précédemment à l'homogénéisation de la masse d'eau. L'aération a eu pour effet de rapprocher, sur une base annuelle, les courbes surface-fond, même si les cycles biologiques (phytoplancton - détritus) semblent encore perceptibles. Nous remarquons, entre autres, qu'il y a une forte augmentation du CO_2 sous couvert de glace pour la période d'aération. Cette "accumulation" provient fort probablement de l'oxydation des substances détritales qui est rendue possible par l'aération artificielle du lac et, dans une certaine mesure, à la simple addition d'air à toute la colonne d'eau. Nous avons remarqué à ce titre une augmentation moyenne des concentrations en CO_2 depuis l'aération en surface de 30% et au fond de 15% (tableau 60). Ces hausses sont significatives (tableau 79) et beaucoup moins notables en excluant les périodes hivernales. Cette différence est une fois de plus liée à l'absence quasi-totale de photosynthèse en période hivernale et aux processus de dégradation de la matière organique. Le traitement des valeurs pour l'année 1979 présente aussi une augmentation des concentrations moyennes surface-fond en CO_2 , mais qui ne sont pas significatives statistiquement en raison du nombre restreint des valeurs.

La presque totalité du carbone organique est constituée de carbone organique dissous et de carbone organique particulaire. Le rapport de ces deux substances est presque universellement de 6:1 à 10:1. Ces substances ont majoritairement les mêmes origines, soit le bassin de drainage, même si une bonne portion de ces substances énergétiques est produite "in situ" par le maillon primaire. La figure 27 met en évidence des cycles surface-fond qui sont globalement reliés avec la croissance et la mort des populations bio-

TABLEAU 25

MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN CARBONE ORGANIQUE,
INORGANIQUE ET TOTAL (mg/l C) AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

PERIODES	CARBONE INORGANIQUE			CARBONE ORGANIQUE			CARBONE TOTAL		
	Surface*	Fond**	(n)***	Surface*	Fond**	(n)***	Surface*	Fond**	(n)***
1975-02	2,3	3,8	1	12,7	15,7	1	15,0	19,5	1
1975-03	2,3	3,8	1	12,7	15,7	1	15,0	19,5	1
1975-05	3,7	5,3	4	9,2	9,0	4	12,9	14,3	3
1975-06	5,1	5,5	4	10,1	9,8	4	15,2	15,3	4
1975-07	3,9	5,6	4	17,2	16,9	5	21,1	22,5	5
1975-08	3,5	4,0	4	19,0	17,0	4	22,5	21,0	4
1975-09	4,0	4,0	1	19,5	19,5	1	23,5	23,5	1
1975-10	4,4	4,4	1	17,4	17,6	1	21,8	22,0	1
1975-11	6,0	6,0	1	9,0	9,0	1	15,0	15,0	1
1976-03	5,0	9,0	2	7,0	7,0	2	12,0	16,0	2
1976-06	3,5	3,5	1	17,0	15,5	1	20,5	19,0	1
1976-07	5,8	6,0	6	21,5	21,8	6	27,3	27,8	6
1976-08	5,5	5,8	5	31,0	31,3	5	36,5	37,1	5
1976-09	3,3	3,8	4	48,5	45,8	4	51,8	49,6	4
1976-10	6,9	6,9	4	21,6	21,0	4	28,5	27,9	4
1976-11	5,5	5,5	1	21,0	20,0	1	26,5	25,5	1
1977-01	10,0	10,5	1	13,0	14,0	1	23,0	24,5	1
1977-02	10,3	10,3	2	12,0	12,0	2	22,3	22,3	2
1977-03	8,5	10,3	2	9,0	9,8	2	17,5	20,0	2
1977-05	5,0	5,0	2	8,5	8,0	2	13,5	13,0	2
1977-06	3,9	4,3	5	11,1	10,3	5	15,0	14,6	5
1977-07	5,3	5,3	4	14,6	14,3	4	19,9	19,6	4
1977-08	3,6	3,7	5	18,0	13,8	5	21,6	17,6	5
1977-09	4,0	4,0	1	16,5	15,5	1	20,5	19,5	1

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage

TABLEAU 25 (suite)

MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN CARBONE ORGANIQUE,
INORGANIQUE ET TOTAL (mg/l C) AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

PERIODES	CARBONE INORGANIQUE		(n)***	CARBONE ORGANIQUE		(n)***	CARBONE TOTAL		(n)***
	Surfa- ce*	Fond**		Surface*	Fond**		Surface*	Fond**	
1977-10	5,0	5,0	2	11,3	12,3	2	16,3	17,3	2
1977-11	5,5	5,5	1	12,5	12,0	1	18,0	18,5	1
1978-01	7,5	8,3	2	1,5	8,7	2	19,0	17,0	2
1978-02	8,0	8,3	2	1,5	8,7	2	19,0	17,0	2
1978-03	9,7	7,0	1	20,5	10,5	1	28,5	17,5	1
1978-05	3,8	3,8	1	4,2	5,2	1	8,0	9,0	1
1978-06	3,8	2,6	2	8,2	6,9	2	12,0	9,5	2
1978-07	4,2	4,5	2	13,3	12,5	2	17,5	17,0	2
1978-08	6,5	7,5	2	17,3	18,0	2	23,8	25,5	2
1978-09	3,7	4,0	2	20,6	20,3	2	24,3	24,3	2
1978-10	2,0	4,5	1	21,0	20,5	1	23,0	25,0	1
1978-11	7,5	6,5	1	11,5	12,0	1	19,0	18,5	1
1979-02	9,0	9,5	1	10,0	9,5	1	19,0	19,0	1
1979-03	1,5	12,0	1	12,0	11,5	1	23,5	23,5	1
1979-04	----	----	-	----	----	-	----	----	-
1979-05	4,5	4,0	1	8,5	9,0	1	13,0	13,0	1
1979-06	3,5	4,0	1	16,5	13,0	1	20,0	17,0	1
1979-07	6,0	6,5	1	23,0	15,5	1	29,0	22,0	1
1979-08	4,0	4,0	1	14,5	15,0	1	19,5	19,0	1
1979-09	4,0	4,0	1	29,0	20,0	1	33,0	24,0	1

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage

MOYENNES ET ECARTS-TYPE DES VALEURS DU CARBONE INORGANIQUE ET CARBONE ORGANIQUE

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	CARBONE INORGANIQUE mg/l C						CARBONE ORGANIQUE mg/l C					
	SURFACE			FOND			SURFACE			FOND		
	\bar{X}	σ_x	n	\bar{X}	σ_x	n	\bar{X}	σ_x	n	\bar{X}	σ_x	n
<u>AVEC HIVER</u>												
1975	4,0	1,2	10	5,1	1,6	10	14,1	4,2	10	14,5	4,1	10
1976-1979	5,8	2,4	33	6,0	2,4	33	15,5	9,0	34	14,7	7,7	34
1979	6,1	3,0	7	6,3	3,3	7	16,2	7,4	7	13,4	3,8	7
<u>SANS HIVER</u>												
1975	3,9	1,2	9	4,7	0,88	9	14,1	4,2	9	14,5	4,1	9
1976-1979	4,7	1,3	25	4,8	1,2	25	15,8	9,0	25	16,4	8,3	25
1979	4,4	1,0	5	4,5	1,2	5	18,3	7,9	5	14,5	4,0	5

TABLEAU 60

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DU CARBONE ORGANIQUE
EXPRIMEES EN POURCENTAGE AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	CARBONE INORGANIQUE		CARBONE ORGANIQUE	
	SURFACE	FOND	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>	%	%	%	%
1975 vs 1976-1979	(+) 31,0	(+) 15,0	(+) 9,0	(+) 1,4
1975 vs 1979	(+) 34,4	(+) 19,0	(+) 13,0	(-) 7,6
<u>Sans hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	(+) 17,0	(+) 2,0	(+) 10,8	(+) 11,6
1975 vs 1979	(+) 11,3	(-) 4,3	(+) 23,0	0

(+) représente une augmentation de la valeur moyenne du paramètre.

(-) représente une diminution de la valeur moyenne du paramètre.

TABLEAU 79

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DU CARBONE INORGANIQUE
ET CARBONE ORGANIQUE AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	CARBONE INORGANIQUE mg/l C		CARBONE ORGANIQUE mg/l C	
	SURFACE	FOND	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	Significative- ment différent	Significative- ment différent	Pas significa- tivement dif- férent	Pas significa- tivement dif- férent
1975 vs 1979	Pas significa- tivement dif- férent	Pas significa- tivement dif- férent	Pas significa- tivement dif- férent	Pas significa- tivement dif- férent
<u>Sans hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	Significative- ment différent	Pas significa- tivement dif- férent	Pas significa- tivement dif- férent	Pas significa- tivement dif- férent
1975 vs 1979	Pas significa- tivement dif- férent	Pas signivica- tivement dif- férent	Pas significa- tivement dif- férent	Pas significa- tivement dif- férent

FIGURE 26

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN CARBONE INORGANIQUE AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979

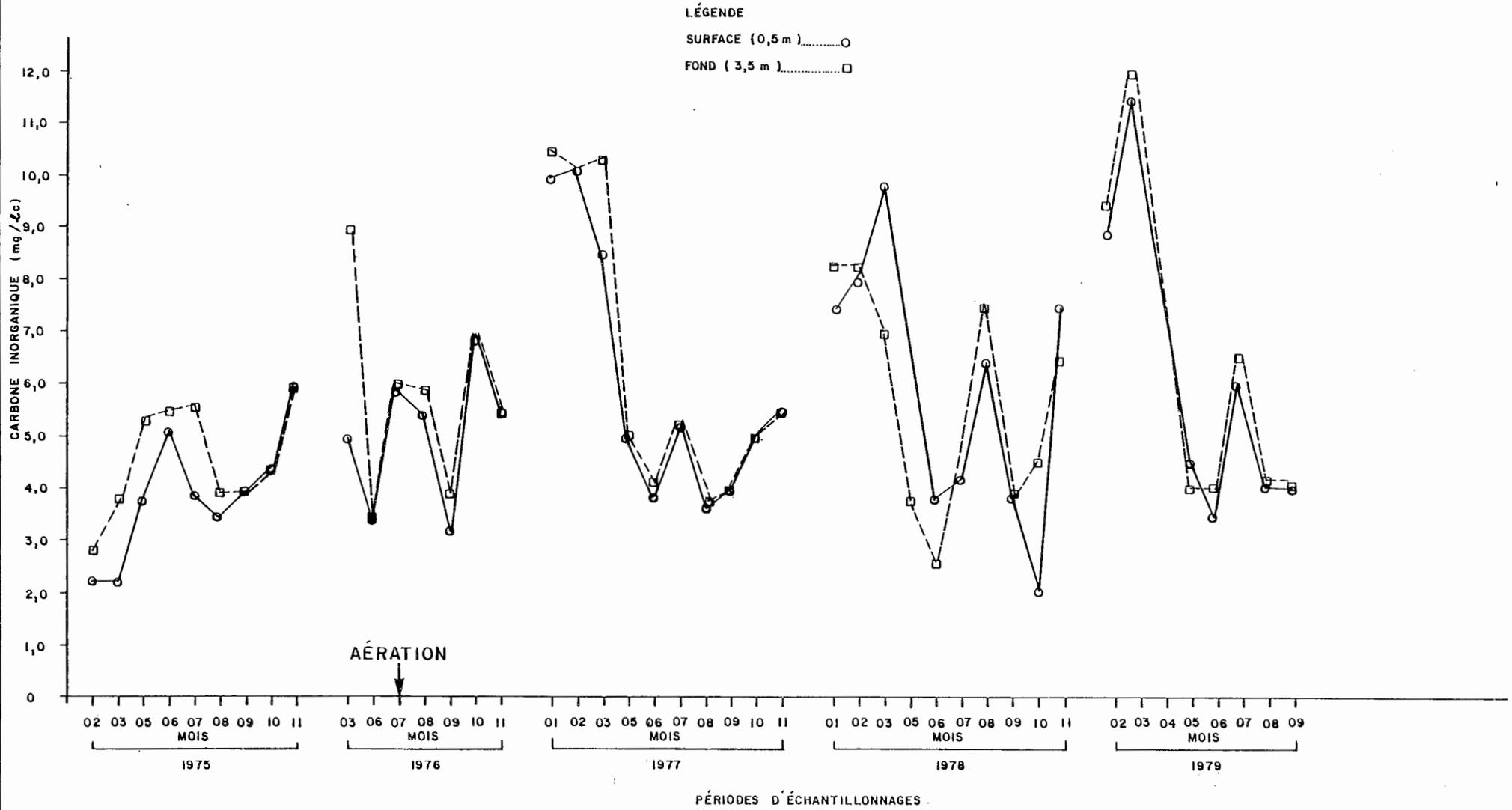
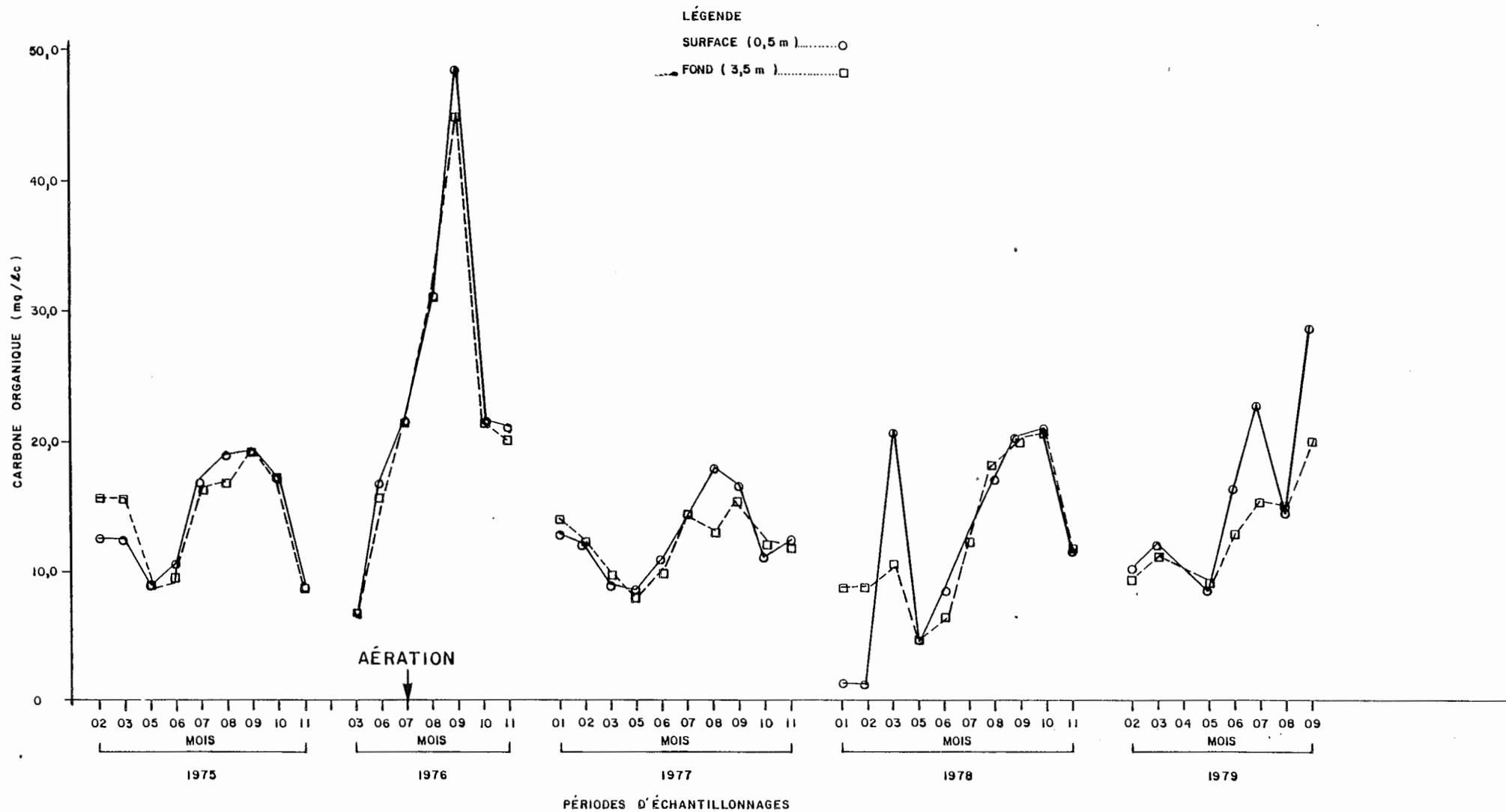


FIGURE 27

COMPARAISON INTER-ANUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN CARBONE ORGANIQUE AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1978



logiques. L'aération ne semble pas avoir provoqué de changement au niveau de ce paramètre biologique (tableaux 41 et 60) et aucune différence significative n'a pu être mise en évidence (tableau 79). Il semble ainsi que l'augmentation des teneurs en oxygène dissous et l'amélioration subséquente des processus d'oxydation biologique de la matière organique ne suffisent pas à produire une augmentation de ce paramètre. Nous pouvons dire, dans le même ordre d'idées, qu'il semble peu probable que les conduites d'aération, situées à la surface des sédiments, occasionnent une remise en suspension des sédiments. En effet, ce phénomène, s'il avait été présent, aurait certainement provoqué une augmentation notable et, somme toute, permanente des concentrations en carbone organique.

4.4.13 Carbone total

Le carbone total est un paramètre qui englobe les observations faites au cours de l'analyse des concentrations en carbone inorganique et carbone organique. Il serait donc superflu de reprendre les explications données au cours de l'interprétation des données correspondant à ces paramètres. Mentionnons simplement que les variations des concentrations en carbone total sont relativement faibles (tableaux 42 et 61) et, en gros, statistiquement non significatives (tableau 80).

4.4.14 Phosphore inorganique

Le niveau de la production biologique d'un grand nombre de lacs* est régularisé par le cycle du phosphore qui est en relation directe avec les apports allochtones et autochtones. Le phosphore organique occupe la plus im-

* Le phosphore est l'élément nutritif limitant la croissance des organismes photosynthétiques au lac Waterloo (Provencher et al., 1979).

MOYENNES ET ECARTS-TYPE DES VALEURS DU CARBONE TOTAL

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	CARBONE TOTAL mg/l C					
	SURFACE			FOND		
<u>AVEC HIVER</u>	\bar{X}	σ_x	n	\bar{X}	σ_x	n
1975	18,1	4,3	10	19,6	3,4	10
1976-1979	21,3	8,2	33	20,9	7,6	33
1979	22,3	4,9	7	19,6	3,9	7
<u>SANS HIVER</u>						
1975	18,0	4,1	9	19,2	3,5	9
1976-1979	20,5	9,0	25	21,2	8,6	25
1979	22,7	8,0	5	19,0	4,3	5

TABLEAU 61

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DE CARBONE TOTAL
EXPRIMEES EN POURCENTAGE AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	CARBONE TOTAL	
	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>	%	%
1975 vs 1976-1979	(+) 15,0	(+) 6,2
1975 vs 1979	(+) 18,8	0
<u>Sans hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	(+) 12,2	(+) 9,4
1975 vs 1979	(+) 20,7	(-) 1,0

(+) représente une augmentation de la valeur moyenne du paramètre.

(-) représente une diminution de la valeur moyenne du paramètre.

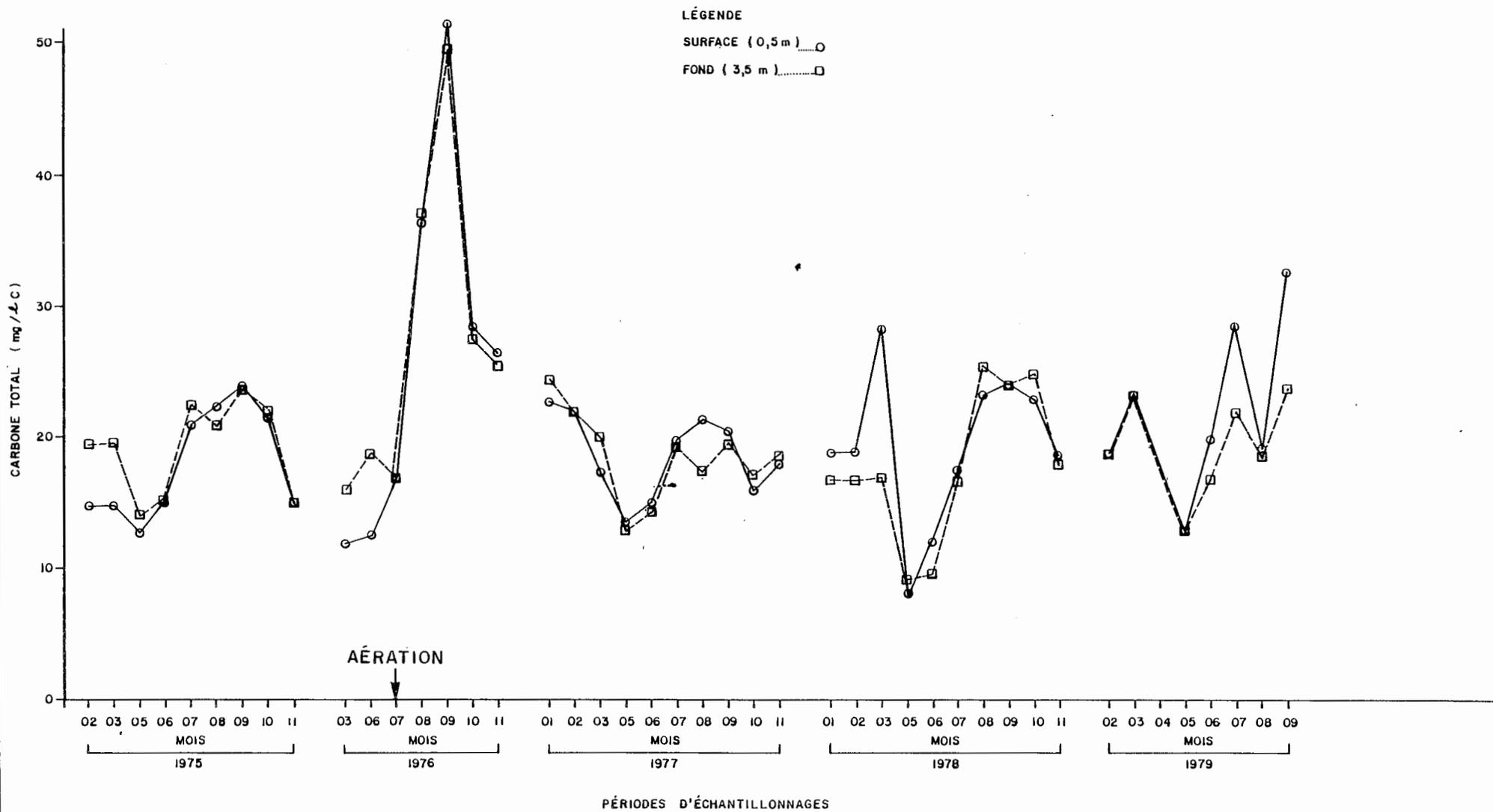
TABLEAU 80

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DU CARBONE TOTAL
AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	CARBONE TOTAL mg/l C	
	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	Significativement différent	Pas significativement différent
1975 vs 1979	Pas significativement différent	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	Significativement différent	Pas significativement différent
1975 vs 1979	Pas significativement différent	Pas significativement différent

FIGURE 28

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN CARBONE TOTAL AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979



portante fraction de cet élément en solution (>90%) et on le retrouve dans le tissu vivant et la portion détritale sédimentée ou en décantation. Le phosphore inorganique est donc retrouvé en faible quantité et est utilisé très rapidement.

Les formes inorganiques les plus souvent retrouvées sont les phosphates, le pyrophosphate, le triphosphate et plusieurs types d'anions polyphosphatés. Ces substances ont évidemment des propriétés de complexation et de chélation qui dépendent fortement des concentrations en phosphate, des ions métalliques, du pH et de la présence de ligands adéquats (sulfate, carbonate, etc.). Les échanges au niveau des sédiments sont régis par des mécanismes associés à l'équilibre des minéraux en solution, par des processus de sorption, par les interactions avec le potentiel rédox qui dépend des concentrations en oxygène dissous et par l'activité des populations biologiques telles les bactéries, le plancton et les invertébrés benthiques. La microzone oxydée présente à l'interface sédiment-eau (lorsque les conditions le permettent) joue le rôle d'un piège efficace pour le fer, le manganèse et les phosphates qui sont absorbés et complexés avec les oxydes ferriques et les hydroxydes. Le largage du phosphore, du fer et du manganèse est, comme nous l'avons vu précédemment, intimement lié aux fluctuations du potentiel rédox. Avec la réduction des hydroxides ferriques et de certains autres complexes (en condition anoxique), les ions ferreux et les phosphates absorbés sont largués et apparaissent immédiatement dans la couche d'eau sus-jacente aux sédiments.

La figure 29 confirme les observations faites précédemment. En effet, nous remarquons que les concentrations en phosphore inorganique sont globalement plus élevées au fond du lac qu'à la surface avant l'aération. Les maxima sont perceptibles en période hivernale, alors que l'anoxie est présente

et en période estivale au moment où le déficit en oxygène est généralement à son apogée (août). Les périodes d'isothermie automnale et printanière sont caractérisées respectivement par une diminution plus marquée des concentrations en phosphore inorganique au fond du lac en comparaison de la surface de ce plan d'eau. Ce phénomène est largement visible au mois de septembre 1975 et l'addition d'oxygène atmosphérique, par le biais du brassage automnal, permet la précipitation d'une certaine portion du phosphore inorganique présent en solution (permutation des courbes surface-fond). L'aération a, dans un premier temps, éliminé le largage du phosphore par les sédiments. Nous remarquons, en effet, que depuis l'été 1976, la courbe de fond ne se situe plus au-dessus de la courbe correspondant aux concentrations en phosphore inorganique en surface. Les fluctuations des courbes surface-fond suivent, en grande partie, les processus de production biologique saisonniers. Les concentrations moyennes en phosphore inorganique depuis l'aération ont subi une forte diminution au fond (52%), alors qu'en surface, la diminution est de l'ordre de 25% (tableaux 43 et 62). Ces diminutions sont statistiquement significatives (tableau 81) et se sont maintenues même après une période de trois années de fonctionnement (année 1979 prise isolément). L'abstraction des valeurs hivernales pour la période d'aération montre les mêmes tendances qui sont statistiquement significatives, mais avec une amplitude moins marquée. Ces résultats montrent bien que le largage était plus notable sous couvert de glace.

4.4.15 Phosphore organique

Cette forme de phosphore est, comme nous l'avons vu au cours de l'analyse des concentrations en phosphore inorganique, la fraction la plus importante du phosphore total. Le phosphore organique est très variable dans sa composition et dépend fortement des apports allochtones en provenance du

TABLEAU 26

MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN PHOSPHORE INORGANIQUE,
EN PHOSPHORE ORGANIQUE ET EN PHOSPHORE TOTAL (mg/l P) AU LAC WATERLOO

DE 1975 A 1979

PERIODES	PHOSPHORE INORGANIQUE		(n)***	PHOSPHORE ORGANIQUE		(n)***	PHOSPHORE TOTAL		(n)***
	Surface*	Fond**		Surface*	Fond**		Surface*	Fond**	
1975-02	0,037	0,067	1	0,006	0,023	1	0,043	0,090	1
1975-03	0,036	0,065	1	0,006	0,023	1	0,042	0,088	1
1975-05	0,007	0,020	3	0,009	0,000	3	0,016	0,020	3
1975-06	0,013	0,013	4	0,010	0,007	4	0,023	0,020	4
1975-07	0,013	0,020	5	0,030	0,036	5	0,043	0,056	5
1975-08	0,026	0,026	4	0,039	0,020	4	0,065	0,046	4
1975-09	0,013	0,010	3	0,020	0,023	3	0,033	0,033	3
1975-10	0,013	0,013	4	0,029	0,016	4	0,042	0,029	4
1975-11	0,007	0,007	1	0,006	0,013	1	0,013	0,020	1
1976-01	0,007	0,007	1	0,019	0,013	1	0,026	0,020	1
1976-02	0,010	0,016	1	0,000	0,000	1	0,010	0,016	1
1976-03	0,007	0,007	2	0,008	0,012	2	0,015	0,019	2
1976-06	0,013	0,010	1	0,003	0,003	1	0,016	0,013	1
1976-07	0,010	0,010	6	0,026	0,023	6	0,036	0,033	6
1976-08	0,020	0,016	5	0,016	0,013	5	0,036	0,029	5
1976-09	0,022	0,020	4	0,011	0,023	4	0,033	0,043	4
1976-10	0,016	0,013	4	0,010	0,013	4	0,026	0,026	4
1976-11	0,013	0,013	1	0,003	0,003	1	0,016	0,016	1
1977-01	0,010	0,012	1	0,008	0,009	1	0,018	0,021	1
1977-02	0,007	0,010	2	0,011	0,009	2	0,018	0,019	2
1977-03	0,010	0,011	2	0,008	0,002	2	0,018	0,013	2
1977-05	0,006	0,006	1	0,003	0,000	1	0,009	0,006	1
1977-06	0,007	0,007	5	0,012	0,010	5	0,019	0,016	5
1977-07	0,011	0,011	4	0,012	0,010	4	0,023	0,021	4
1977-08	0,016	0,011	5	0,038	0,043	5	0,054	0,054	5

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage

TABLEAU 26 (suite)

MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN PHOSPHORE INORGANIQUE,
EN PHOSPHORE ORGANIQUE ET EN PHOSPHORE TOTAL (mg/l P) AU LAC WATERLOO
DE 1975 A 1979

PERIODES	PHOSPHORE INORGANIQUE		(n)***	PHOSPHORE ORGANIQUE		(n)***	PHOSPHORE TOTAL		(n)***
	Surface*	Fond**		Surface*	Fond**		Surface*	Fond**	
1977-09	0,015	0,012	1	0,036	0,042	1	0,051	0,054	1
1977-10	0,014	0,014	2	0,023	0,017	2	0,036	0,030	2
1977-11	0,009	0,006	1	0,018	0,015	1	0,027	0,021	1
1978-01	0,014	0,017	2	0,011	0,007	2	0,025	0,024	2
1978-02	0,015	0,012	2	0,009	0,006	2	0,024	0,018	2
1978-03	0,013	0,017	2	0,012	0,013	2	0,025	0,030	2
1978-05	0,006	0,008	2	0,012	0,013	2	0,018	0,021	2
1978-06	0,008	0,006	2	0,007	0,006	2	0,015	0,012	2
1978-07	0,006	0,009	3	0,028	0,014	3	0,034	0,023	3
1978-08	0,020	0,001	2	0,020	0,020	2	0,040	0,030	2
1978-09	0,013	0,009	2	0,018	0,021	2	0,031	0,030	2
1978-10	0,024	0,021	1	0,018	0,018	1	0,042	0,039	1
1978-11	0,012	0,009	1	0,006	0,009	1	0,018	0,018	1
1979-02	0,018	0,018	1	0,006	0,006	1	0,024	0,024	1
1979-03	0,012	0,009	1	0,003	0,015	1	0,015	0,024	1
1979-04	0,006	0,006	1	0,012	0,012	1	0,018	0,024	1
1979-05	0,006	0,006	1	0,012	0,009	1	0,018	0,015	1
1979-06	0,006	0,006	1	0,021	0,024	1	0,027	0,030	1
1979-07	0,012	0,006	1	0,054	0,069	1	0,066	0,075	1
1979-08	0,015	0,015	1	0,030	0,006	1	0,045	0,021	1
1979-09	0,006	0,009	1	0,006	0,000	1	0,012	0,009	1

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage

TABLEAU 43

MOYENNES ET ECARTS-TYPE DES VALEURS DU PHOSPHORE INORGANIQUE

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	PHOSPHORE INORGANIQUE mg/l P					
	SURFACE			FOND		
<u>AVEC HIVER</u>	\bar{x}	σ_x	n	\bar{x}	σ_x	n
1975	0,016	0,011	12	0,023	0,021	12
1976-1979	0,012	0,005	34	0,011	0,004	34
1979	0,010	0,005	8	0,009	0,005	8
<u>SANS HIVER</u>						
1975	0,013	0,005	7	0,015	0,006	7
1976-1979	0,012	0,005	25	0,010	0,004	25
1979	0,009	0,003	5	0,008	0,003	5

TABLEAU 62

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DE PHOSPHORE INORGANIQUE
EXPRIMEES EN POURCENTAGE AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	PHOSPHORE INORGANIQUE	
	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>	%	%
1975 vs 1976-1979	(-) 25,0	(-) 52,2
1975 vs 1979	(-) 37,5	(-) 60,9
<u>Sans hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	(-) 7,7	(-) 33,3
1975 vs 1979	(-) 30,8	(-) 46,7

(+) représente une augmentation de la valeur moyenne du paramètre.

(-) représente une diminution de la valeur moyenne du paramètre.

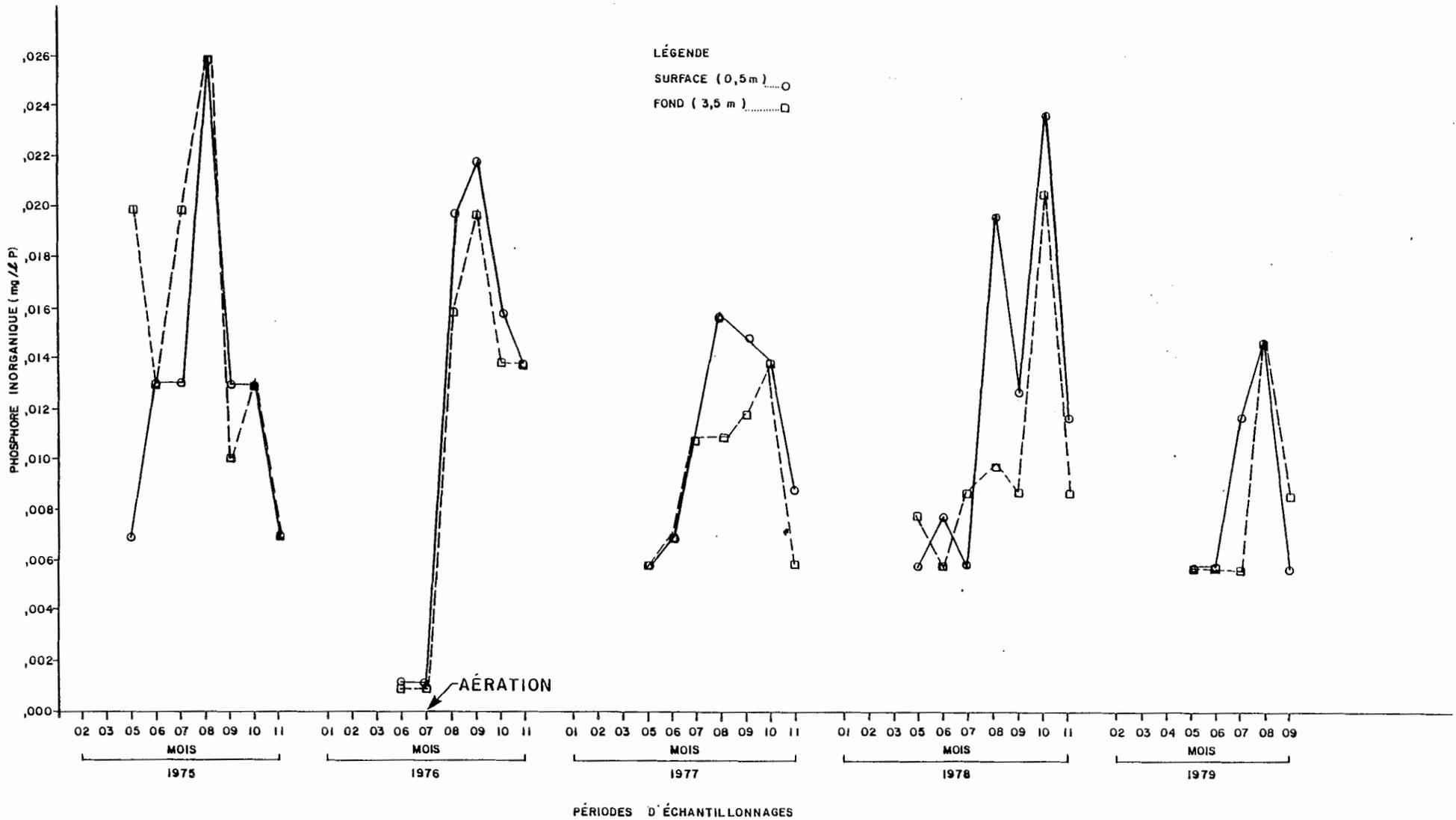
TABLEAU 81

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DU
PHOSPHORE INORGANIQUE AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	PHOSPHORE INORGANIQUE mg/l P	
	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	Significativement différent	Significativement différent
1975 vs 1979	Significativement différent	Significativement différent
<u>Sans hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	Pas significativement différent	Significativement différent
1975 vs 1979	Significativement différent	Significativement différent

FIGURE 29

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN PHOSPHORE INORGANIQUE AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979



bassin versant et/ou des apports ponctuels véhiculés par les activités humaines. La portion produite "in situ" est non négligeable et elle est principalement issue des populations phytoplanctoniques. La distribution verticale du phosphore organique dans un écosystème lacustre est fonction de la portion vivante et morte des différentes populations qui l'occupent. Nous pouvons ainsi parler du phosphore organique faisant partie du tissu vivant, du phosphore organique détritique et bien sûr du phosphore organique issu des processus d'excrétion pour tous les niveaux trophiques (Guimont et Northon, 1980).

La figure 30 met en évidence des cycles surface-fond avant aération qui sont comparables à ceux retrouvés dans la littérature pour les plans d'eau eutrophe. Nous remarquons, en effet, que les concentrations maximales sont retrouvées en période estivale (juin-juillet-août), alors qu'en période hivernale, les valeurs se stabilisent à leur plus bas niveau. L'aération n'a pas provoqué de diminution, ni d'augmentation de ce paramètre. Le traitement des données de l'année 1979, lorsque prises isolément, montre une légère augmentation surface-fond ($\approx 17\%$) (tableau 63) qui est cependant non significative statistiquement (tableau 82). Le traitement des données, en excluant les périodes hivernales au moment de l'aération, présente quelques fluctuations des concentrations moyennes en phosphore organique qui sont statistiquement non significatives. L'aération ne semble donc pas avoir "activé" le lac Waterloo et l'analyse de ce paramètre corrobore les observations faites au cours de l'analyse du carbone organique* (section 4.4.12).

* La transition des processus de fermentation vers une oxydation des substances détritales au niveau des sédiments aurait pu théoriquement occasionner une remise en solution du phosphore organique.

TABLEAU 44

MOYENNES ET ECARTS-TYPE DES VALEURS DU PHOSPHORE ORGANIQUE

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	PHOSPHORE ORGANIQUE mg/l P					
	SURFACE			FOND		
<u>AVEC HIVER</u>	\bar{x}	σ_x	n	\bar{x}	σ_x	n
1975	0,015	0,012	12	0,015	0,012	12
1976-1979	0,015	0,011	34	0,015	0,014	34
1979	0,018	0,017	8	0,018	0,022	8
<u>SANS HIVER</u>						
1975	0,020	0,013	7	0,016	0,012	7
1976-1979	0,018	0,012	25	0,017	0,015	25
1979	0,025	0,018	5	0,021	0,024	5

TABLEAU 63

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DE PHOSPHORE ORGANIQUE
EXPRIMEES EN POURCENTAGE AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	PHOSPHORE ORGANIQUE	
	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>	%	%
1975 vs 1976-1979	0	0
1975 vs 1979	(+) 16,7	(+) 16,7
<u>Sans hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	(-) 10,0	(-) 5,9
1975 vs 1979	(+) 20,0	(-) 20,0

(+) représente une augmentation de la valeur moyenne du paramètre.

(-) représente une diminution de la valeur moyenne du paramètre.

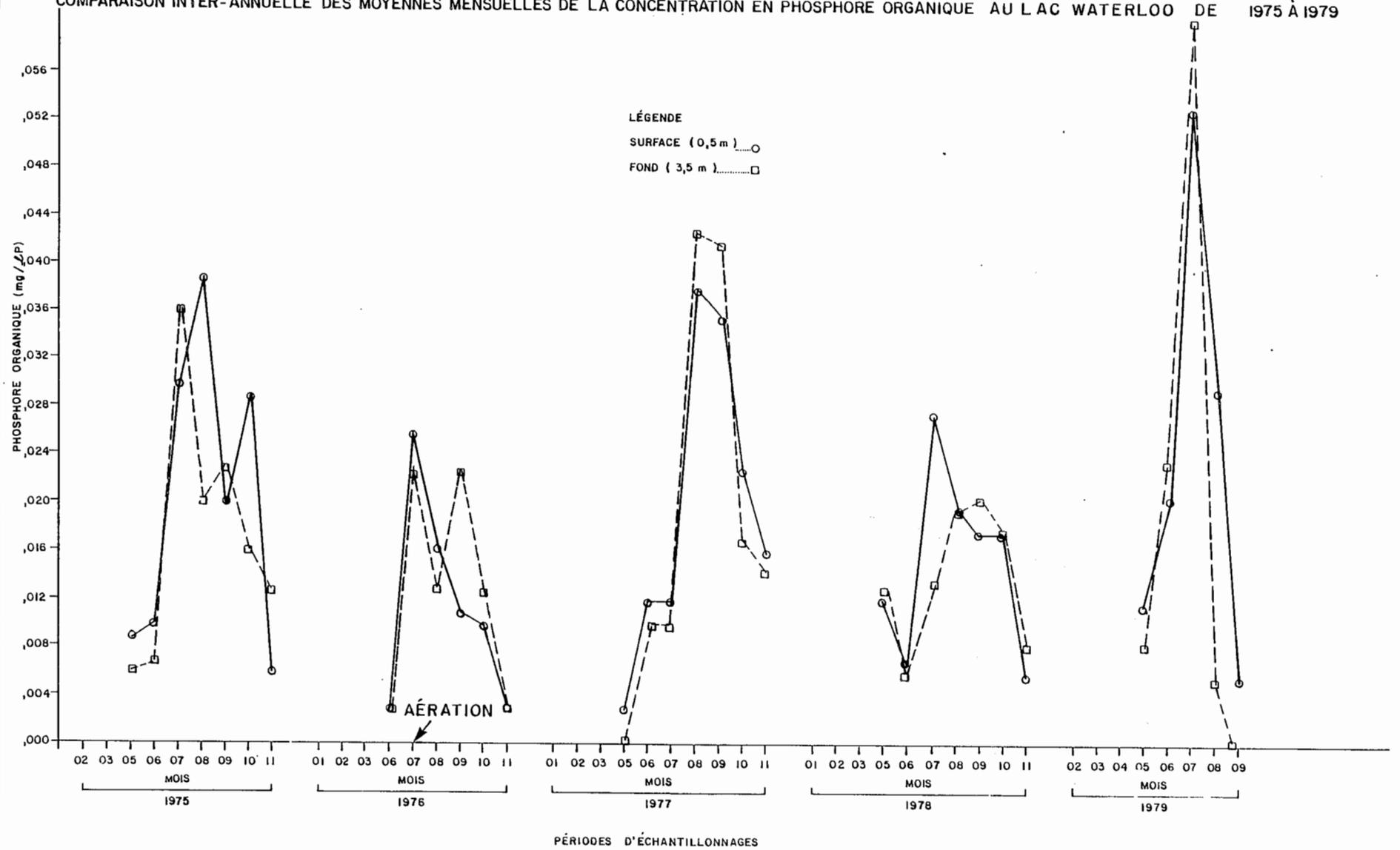
TABLEAU 82

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DU
DU PHOSPHORE ORGANIQUE AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	PHOSPHORE ORGANIQUE mg/l P	
	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	Pas significativement différent	Pas significativement différent
1975 vs 1979	Pas significativement différent	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	Pas significativement différent	Pas significativement différent
1975 vs 1979	Pas significativement différent	Pas significativement différent

FIGURE 30

COMPARAISON INTER-ANUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN PHOSPHORE ORGANIQUE AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979



4.4.16 Phosphore total

Ce paramètre est le reflet exact, comme pour le cas du carbone total, des concentrations en phosphore inorganique et organique retrouvées dans le milieu. La figure 31 met donc en évidence le cumul des phénomènes retrouvés au cours de l'analyse de ces deux paramètres précédemment décrits. Il nous est ainsi possible de visualiser l'alternance entre l'importance relative des concentrations en phosphore inorganique et organique, tout dépendamment des processus de production biologique (assimilation, excrétion - mort) et des processus physico-chimiques (largage). La période d'aération est caractérisée par une diminution (significative) (32%) des concentrations en phosphore total au fond du lac (tableau 64) qui est imputable à l'élimination du largage en anoxie. Cette diminution est évidemment moins notable si l'on exclut les périodes hivernales en raison de l'importance du déficit présent durant cette saison avant l'aération. Les concentrations en phosphore total en surface semblent plus dépendantes des concentrations en phosphore organique (populations biologiques) et ne présentent pas à ce titre des fluctuations qui sont significatives. La diminution des concentrations en phosphore total se maintient pour l'année 1979 ($\approx 29\%$) au fond du lac Waterloo. Ces quelques observations sont en accord avec les principes limnologiques classiques, à savoir que le phosphore organique est la fraction du phosphore total qui est la plus importante pour la zone trophogénique, alors que le phosphore inorganique régularise, pour les strates d'eau inférieures, les concentrations en phosphore total.

4.4.17 Nitrites - nitrates et azote ammoniacal

L'ammoniaque est produite par la dégradation hétérotrophe (oxydation microbienne) de la matière organique. Même si plusieurs composés azotés

TABLEAU 45

MOYENNES ET ECARTS-TYPE DES VALEURS DU PHOSPHORE TOTAL

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	PHOSPHORE TOTAL mg/l P					
	SURFACE			FOND		
<u>AVEC HIVER</u>	\bar{X}	σx	n	\bar{X}	σx	n
1975	0,031	0,017	12	0,038	0,027	12
1976-1979	0,027	0,013	34	0,026	0,014	34
1979	0,028	0,017	8	0,027	0,018	8
<u>SANS HIVER</u>						
1975	0,032	0,018	7	0,032	0,013	7
1976-1979	0,029	0,014	25	0,028	0,015	25
1979	0,033	0,019	5	0,03	0,023	5

TABLEAU 64

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DE PHOSPHORE TOTAL
EXPRIMEES EN POURCENTAGE AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	PHOSPHORE TOTAL	
	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>	%	%
1975 vs 1976-1979	(-) 12,9	(-) 31,6
1975 vs 1979	(-) 9,7	(-) 28,9
<u>Sans hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	(-) 9,4	(-) 12,5
1975 vs 1979	(+) 3,0	(-) 6,3

(+) représente une augmentation de la valeur moyenne du paramètre.

(-) représente une diminution de la valeur moyenne du paramètre.

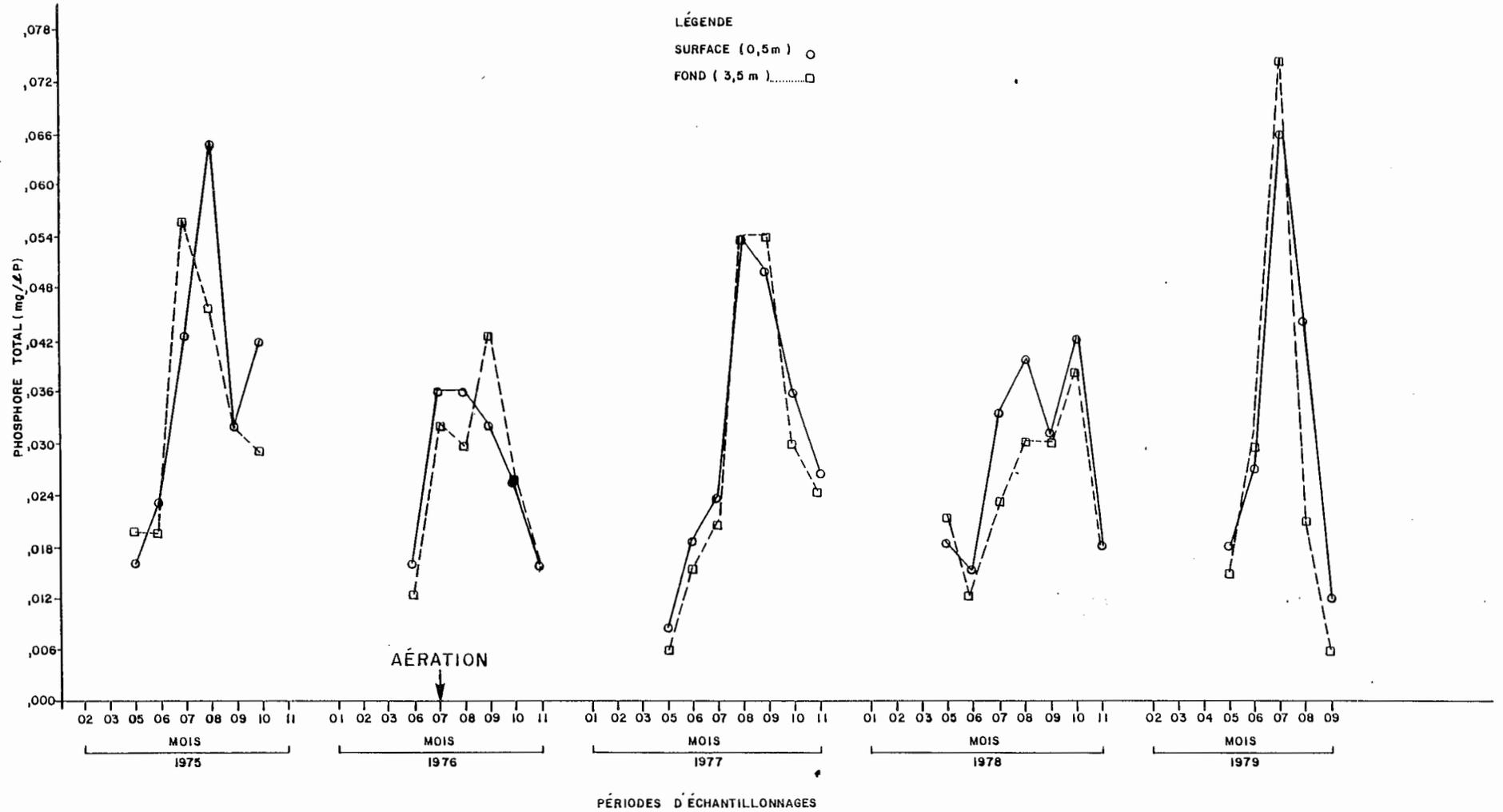
TABLEAU 83

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DU PHOSPHORE
TOTAL AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	PHOSPHORE TOTAL mg/l P	
	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	Pas significativement différent	Significativement différent
1975 vs 1979	Pas significativement différent	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>		
1975 vs 1976-1979	Pas significativement différent	Pas significativement différent
1975 vs 1979	Pas significativement différent	Pas significativement différent

FIGURE 31

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION DE PHOSPHORE TOTAL AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979



NO_2^- et NO_3^- sera inhibé. En plus de ce phénomène purement biologique, nous assisterons à une diminution de la capacité d'absorption du sédiment avec la disparition concomitante de la microzone oxydée, ce qui résultera en un flux unidirectionnel "actif" en ammoniacque.

Les figures 32 et 33 montrent respectivement les variations temporelles des concentrations en nitrites-nitrates et en ammoniacque au lac Waterloo. Nous remarquons facilement l'importance de l'accumulation d'ammoniacque avant l'aération au fond du lac. Ce phénomène est perceptible en période estivale (06-07-08-1975) et en période hivernale (01-02-03-1976) au moment où les déficits en oxygène sont présents. L'homogénéisation et l'oxygénation de la masse d'eau en période de déstratification thermique printanière et automnale provoquent la disparition des teneurs élevées en NH_4^+ . L'aération a donc provoqué une diminution marquée de ce paramètre au fond du lac (61%) (tableau 65) qui est statistiquement significative (tableau 84). L'année 1979, prise isolément, démontre les mêmes tendances, alors que le traitement des données, en faisant abstraction des périodes hivernales, présente des diminutions qui sont moins spectaculaires (les déficits en oxygène les plus marqués sont retrouvés sous couvert de glace). Les concentrations en nitrites - nitrates démontrent (figure 33), en gros, les mêmes fluctuations que celles de l'ammoniacque. Ainsi, nous retrouvons des maxima sous couvert de glace, alors que les concentrations en ammoniacque sont maximales. Nous pourrions avoir tendance à croire que l'anoxie élimine totalement les processus de nitrification. Cependant, il est reconnu que la nitrification peut se produire à des concentrations en oxygène dissous atteignant $0,3 \text{ mg l}^{-1} \text{ O}_2$, même si les processus métaboliques sont plus lents. L'aération a donc produit une diminution des concentrations de l'ordre de 45% à la surface et au fond du lac Waterloo (tableau 65). Ces diminutions

TABLEAU 27

MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN NITRATES ET NITRITES
ET AZOTE AMMONIACAL (mg/1N) AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

Périodes	Nitrates + Nitrites		(n)***	Azote ammoniacal		(n)***
	Surface*	Fond**		Surface*	Fond**	
1975-02	1,20	1,10	1	0,02	0,45	1
1975-03	0,27	0,25	1	0,02	0,45	1
1975-05	0,05	0,08	3	0,01	0,12	3
1975-06	0,02	0,02	4	0,03	0,03	4
1975-07	0,02	0,02	5	0,08	0,17	5
1975-08	0,02	0,02	4	0,02	0,01	4
1975-09	0,02	0,02	3	0,14	0,12	3
1975-10	0,02	0,02	4	0,02	0,020	4
1975-11	0,02	0,02	1	0,01	0,01	1
1976-01	0,14	0,15	1	0,04	0,14	1
1976-02	0,23	0,18	1	0,13	0,35	1
1976-03	0,41	0,31	2	0,04	0,25	2
1976-06	0,02	0,02	1	0,03	0,04	1
1976-07	0,02	0,02	6	0,03	0,04	6
1976-08	0,02	0,02	5	0,01	0,01	5
1976-09	0,02	0,02	4	0,01	0,02	4
1976-10	0,02	0,02	4	0,01	0,01	4
1976-11	0,02	0,02	1	0,04	0,04	1
1977-01	0,23	0,21	2	0,17	0,22	2
1977-02	0,34	0,33	2	0,13	0,14	2
1977-03	0,45	0,45	2	0,06	0,11	2
1977-05	0,01	0,01	2	0,01	0,01	2
1977-06	0,01	0,01	5	0,02	0,02	5
1977-07	0,02	0,02	4	0,02	0,05	4
1977-08	0,02	0,02	5	0,02	0,03	5
1977-09	0,02	0,02	1	0,05	0,06	1
1977-10	0,13	0,14	2	0,19	0,20	2

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage.

TABLEAU 27 (suite)

MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN NITRATES ET NITRITES
ET AZOTE AMMONIACAL (mg/1N) AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

Périodes	Nitrates + Nitrites		(n)***	Azote ammoniacal		(n)***
	Surface*	Fond**		Surface*	Fond**	
1977-11	0,10	0,10	1	0,04	0,05	1
1978-01	0,37	0,29	2	0,06	0,15	2
1978-02	0,34	0,34	2	0,12	0,15	2
1978-03	0,50	0,51	2	0,14	0,15	2
1978-05	0,10	0,10	2	0,02	0,01	2
1978-06	0,02	0,02	3	0,02	0,02	3
1978-07	0,02	0,02	3	0,02	0,08	3
1978-08	0,02	0,02	2	0,02	0,01	2
1978-09	0,02	0,02	2	0,15	0,25	2
1978-10	0,02	0,02	2	0,03	0,03	2
1978-11	0,02	0,02	1	0,04	0,04	1
1979-02	0,23	0,23	1	0,22	0,22	1
1979-03	0,33	0,32	1	0,16	0,17	1
1979-04	0,03	0,04	1	0,04	0,04	1
1979-05	0,02	0,02	1	0,03	0,03	1
1979-06	0,02	0,02	1	0,01	0,01	1
1979-07	0,02	0,02	1	0,01	0,02	1
1979-08	0,02	0,02	1	0,01	0,03	1
1979-09	0,02	0,02	1	0,02	0,01	1

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage.

TABLEAU 46

MOYENNES ET ECARTS-TYPE DES VALEURS DE NITRITES ET NITRATES ET DE L'AZOTE AMMONIACAL
 AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	NITRITES ET NITRATES mg/l N						AZOTE AMMONIACAL mg/l N					
	SURFACE			FOND			SURFACE			FOND		
<u>AVEC HIVER</u>	\bar{X}	σ_x	n	\bar{X}	σ_x	n	\bar{X}	σ_x	n	\bar{X}	σ_x	n
1975	0,20	0,34	12	0,18	0,30	12	0,05	0,05	12	0,18	0,16	12
1976-1979	0,11	0,15	34	0,10	0,14	34	0,06	0,06	34	0,07	0,07	34
1979	0,09	0,12	8	0,09	0,11	8	0,06	0,08	8	0,07	0,08	8
<u>SANS HIVER</u>												
1975	0,02	0,01	7	0,03	0,02	7	0,04	0,05	7	0,07	0,06	7
1976-1979	0,03	0,03	26	0,03	0,03	26	0,04	0,04	26	0,05	0,06	26
1979	0,02	0,003	6	0,02	0,007	6	0,02	0,01	6	0,02	0,01	6

TABLEAU 65

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DES NITRITES
ET NITRATES ET DE L'AZOTE AMMONIACAL EXPRIMEES EN POURCENTAGE
AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	NITRITES ET NITRATES		AZOTE AMMONIACAL	
	SURFACE	FOND	SURFACE	FOND
<u>Aver hiver</u>	%	%	%	%
1975 vs 1976-1979	(-) 45,0	(-) 44,4	(+) 16,7	(-) 61,1
1975 vs 1979	(-) 55,0	(-) 50,0	(+) 16,7	(-) 61,1
<u>Sans hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	(+) 33,33	0	0	(-) 28,57
1975 vs 1979	0	(-) 33,33	(-) 50,0	(-) 71,43

(+) représente une augmentation de la valeur moyenne du paramètre.

(-) représente une diminution de la valeur moyenne du paramètre.

TABEAU 84

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DES NITRITES ET NITRATES ET DE L'AZOTE AMMONIACAL AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	NITRITES ET NITRATES mg/l N		AZOTE AMMONIACAL mg/l N	
	SURFACE	FOND	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	Significative- ment différent	Pas significa- tivement dif- férent	Pas significa- tivement dif- férent	Significative- ment différent
1975 vs 1979	Significative- ment différent	Pas significa- tivement dif- férent	Pas significa- tivement dif- férent	Significative- ment différent
<u>Sans hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	Pas significa- tivement dif- férent	Pas significa- tivement dif- férent	Pas significa- tivement dif- férent	Pas significa- tivement dif- férent
1975 vs 1979	Pas significa- tivement dif- férent	Significative- ment différent	Pas significa- tivement dif- férent	Significative- ment différent

FIGURE 32

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN NITRATES ET NITRITES AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979

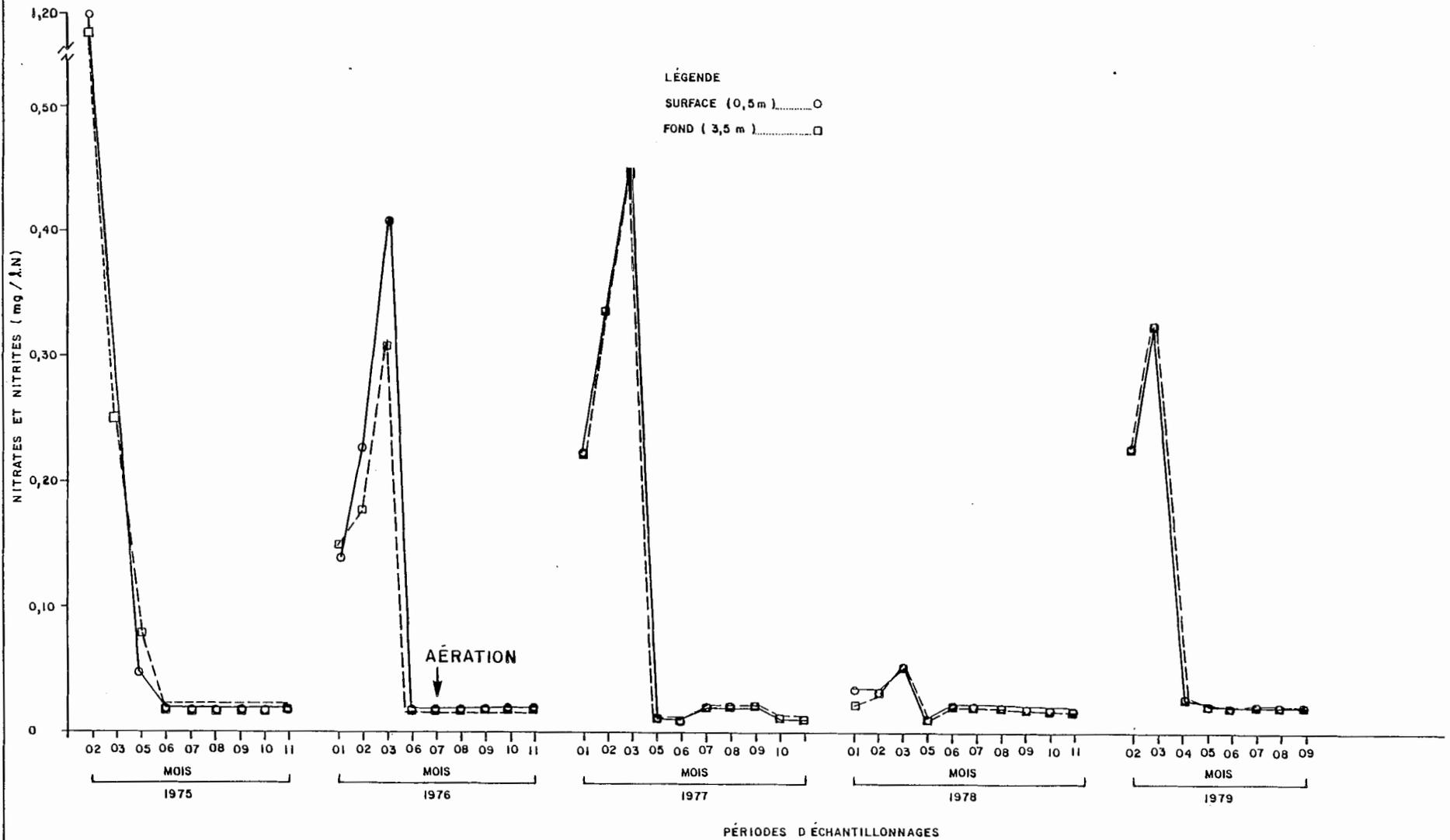
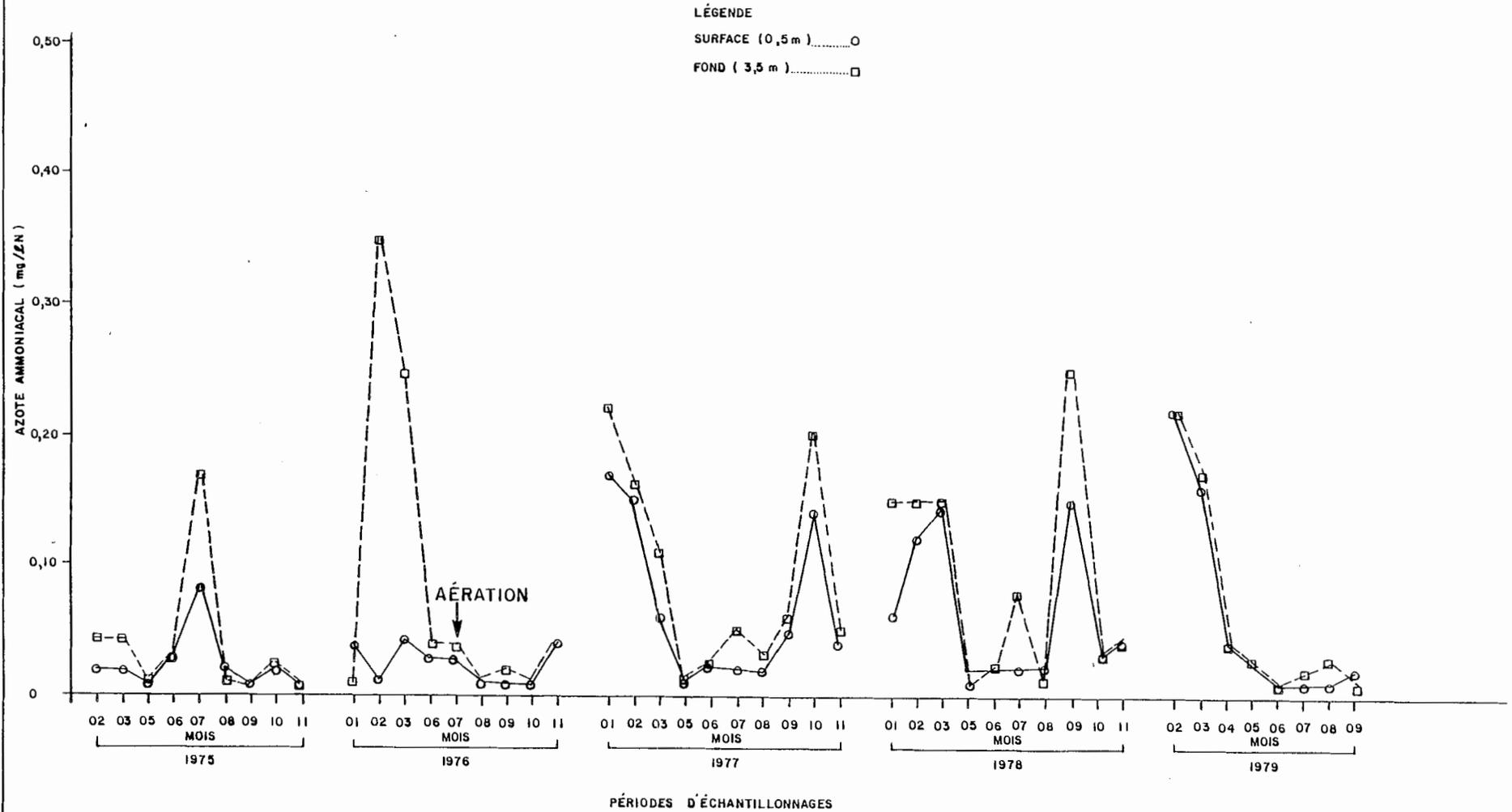


FIGURE 33

COMPARAISON INTER-ANUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN AZOTE AMMONIACAL AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979



sont statistiquement significatives et sont concomitantes à l'abaissement des concentrations en ammoniacque pour toute la colonne d'eau. L'année 1979, lorsque prise isolément, tend à confirmer les mêmes phénomènes (diminution surface-fond $\approx 52\%$), alors que le traitement des données sans les périodes hivernales démontre assez bien l'effet de l'aération naturelle et artificielle du plan d'eau (diminution moins notable de ce paramètre).

4.4.18 Azote organique et azote total

L'azote organique peut être retrouvé sous forme particulaire et soluble. Ces composés azotés prennent origine du bassin versant et, bien entendu, de toutes les sources ponctuelles pouvant alimenter ce plan d'eau. Une certaine partie de l'azote organique est produite "in situ" par le biais des cycles de croissance et de mort des différentes populations biologiques.

La figure 34 correspond aux variations saisonnières de l'azote organique. Les cycles estivaux se ressemblent passablement avant et après l'aération, avec un rapprochement plus notable des courbes surface-fond depuis l'aération (homogénéisation de la masse d'eau). Les fluctuations de ce paramètre avant et après l'aération sont globalement négligeables (tableaux 47 et 66) et statistiquement non significatives (tableau 85). Ces observations corroborent parfaitement l'analyse des variations des concentrations en carbone organique et en phosphore organique. Il aurait été, en effet, surprenant de noter une augmentation de ce paramètre sans aucune répercussion au niveau de ces deux autres paramètres complémentaires.

L'azote total reflète la sommation des différentes formes azotées précédemment analysées. La figure 35 nous montre donc la variation saisonnière globale de ce paramètre avant et après l'aération. Les fluctuations surface-

TABLEAU 28

MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN AZOTE ORGANIQUE ET EN AZOTE
TOTAL (mg/1 N) AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

PERIODES	AZOTE ORGANIQUE		(n)***	AZOTE TOTAL		(n)***
	Surface*	Fond**		Surface*	Fond**	
1975-02	----	----	---	0,35	0,71	1
1975-03	0,33	0,26	1	0,62	0,96	1
1975-05	1,51	1,45	3	1,57	1,65	3
1975-06	0,36	0,27	4	0,41	0,32	4
1975-07	0,70	0,47	5	0,80	0,66	5
1975-08	0,89	0,76	4	0,93	0,79	4
1975-09	0,91	0,76	3	1,07	0,90	3
1975-10	0,83	0,68	4	0,87	0,72	4
1975-11	0,32	0,37	1	0,35	0,40	1
1976-01	0,40	0,38	1	0,49	0,63	1
1976-02	0,24	0,22	1	0,59	0,75	1
1976-03	0,17	0,58	2	0,64	0,83	2
1976-06	0,39	0,63	1	0,44	0,69	1
1976-07	0,67	0,71	6	0,72	0,77	6
1976-08	0,95	0,84	5	0,98	0,87	5
1976-09	0,89	0,90	4	0,92	0,95	4
1976-10	0,64	0,67	4	0,67	0,70	4
1976-11	0,38	0,39	1	0,44	0,45	1
1977-01	0,25	0,22	1	0,65	0,65	1
1977-02	0,18	0,25	2	0,65	0,72	2
1977-03	0,19	0,19	2	0,70	0,74	2
1977-05	0,30	0,25	2	0,30	0,25	5
1977-06	0,46	0,35	5	0,49	0,41	4
1977-07	0,72	0,58	4	0,76	0,65	5
1977-08	1,32	1,31	5	1,36	1,36	1

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage

TABLEAU 28 (suite)

MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN AZOTE ORGANIQUE ET EN AZOTE
TOTAL (mg/l N) AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

PERIODES	AZOTE ORGANIQUE		(n)***	AZOTE TOTAL		(n)***
	Surface*	Fond**		Surface*	Fond**	
1977-09	1,03	0,89	1	1,10	0,97	2
1977-10	0,45	0,46	2	0,76	0,79	1
1977-11	0,41	0,42	1	0,55	0,57	1
1978-01	0,24	0,25	2	0,72	0,70	2
1978-02	0,30	0,16	1	0,78	0,65	1
1978-03	0,22	0,22	2	0,85	0,88	2
1978-05	0,23	0,33	2	0,24	0,34	2
1978-06	0,35	0,33	3	0,33	0,39	3
1978-07	0,85	0,55	3	0,89	0,65	3
1978-08	0,70	0,62	2	0,70	0,61	2
1978-09	0,54	0,48	2	0,57	0,53	2
1978-10	0,47	0,46	1	0,51	0,50	1
1978-11	0,35	0,38	1	0,40	0,41	1
1979-02	0,22	0,22	1	0,67	0,67	1
1979-03	0,20	0,18	1	0,69	0,67	1
1979-04	0,24	0,30	1	0,31	0,38	1
1979-05	0,21	0,18	1	0,26	0,23	1
1979-06	0,66	0,57	1	0,69	0,60	1
1979-07	1,24	0,88	1	1,27	0,92	1
1979-08	0,59	0,57	1	0,62	0,62	1
1979-09	0,37	0,41	1	0,41	0,44	1

* Surface: 0,5 m

** Fond : 3,5 m

*** (n) : Nombre de données d'échantillonnage

TABLEAU 47

MOYENNES ET ECARTS-TYPE DES VALEURS DE L'AZOTE ORGANIQUE ET DE L'AZOTE TOTAL

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	AZOTE ORGANIQUE mg/l N						AZOTE TOTAL mg/l N					
	SURFACE			FOND			SURFACE			FOND		
<u>AVEC HIVER</u>	\bar{X}	σ_x	n	\bar{X}	σ_x	n	\bar{X}	σ_x	n	\bar{X}	σ_x	n
1975	0,60	0,40	11	0,56	0,35	11	0,72	0,35	12	0,78	0,33	12
1976-1979	0,51	0,31	34	0,48	0,27	34	0,65	0,25	34	0,64	0,23	34
1979	0,47	0,36	8	0,41	0,25	8	0,62	0,32	8	0,57	0,21	8
<u>SANS HIVER</u>												
1975	0,73	0,40	8	0,63	0,39	8	0,77	0,39	9	0,79	0,38	9
1976-1979	0,61	0,30	25	0,57	0,25	25	0,67	0,30	25	0,63	0,26	25
1979	0,61	0,39	5	0,52	0,26	5	0,65	0,39	5	0,56	0,25	5

TABEAU 66

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS D'AZOTE ORGANIQUE
ET D'AZOTE TOTALE EXPRIMEES EN POURCENTAGE AU LAC WATERLOO
DE 1975 A 1979

ANNEES	AZOTE ORGANIQUE		AZOTE TOTAL	
	SURFACE	FOND	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>	%	%	%	%
1975 vs 1976-1979	(-) 15,0	(-) 14,3	(-) 9,7	(-) 17,9
1975 vs 1979	(-) 21,7	(-) 26,8	(-) 13,9	(-) 26,9
<u>Sans hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	(-) 16,4	(-) 9,5	(-) 12,9	(-) 20,3
1975 vs 1979	(-) 16,4	(-) 17,5	(-) 15,6	(-) 29,1

(+) représente une augmentation de la valeur moyenne du paramètre.

(-) représente une diminution de la valeur moyenne du paramètre.

TABLEAU 85

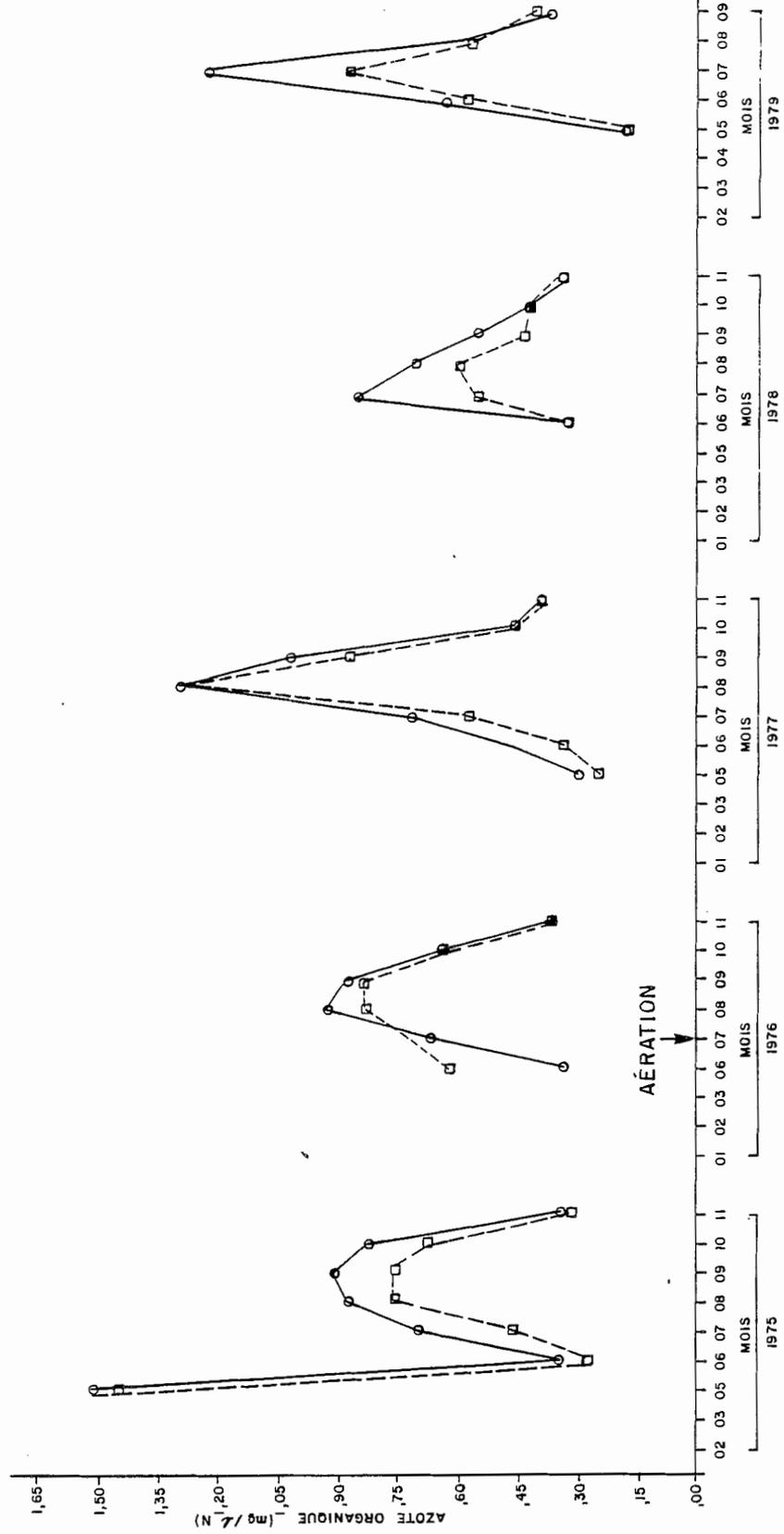
COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DE L'AZOTE ORGANIQUE
ET D'AZOTE TOTAL AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	AZOTE ORGANIQUE mg/l N		AZOTE TOTAL mg/l N	
	SURFACE	FOND	SURFACE	FOND
<u>Avec hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	Pas significativement différent	Pas significativement différent	Pas significativement différent	Significativement différent
1975 vs 1979	Pas significativement différent	Pas significativement différent	Pas significativement différent	Significativement différent
<u>Sans hiver</u>				
1975 vs 1976-1979	Pas significativement différent	Pas significativement différent	Pas significativement différent	Significativement différent
1975 vs 1979	Pas significativement différent	Pas significativement différent	Pas significativement différent	Pas significativement différent

FIGURE 34

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA CONCENTRATION EN AZOTE ORGANIQUE AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979

LÉGENDE
 SURFACE (0,5 m)○
 FOND (3,5 m)□



PÉRIODES D'ÉCHANTILLONNAGES

fond dans la concentration en azote total sont à peu de chose près similaires avant et après l'aération. Le tableau 47 met cependant en évidence une diminution significative (tableau 35) de l'ordre de 10% au fond du lac (tableau 56). Cette diminution, qui est constante pour les différents traitements expérimentaux, si l'année 1979 prise isolément, sans hiver, etc... est attribuée aux fortes diminutions en azote ammoniacal.

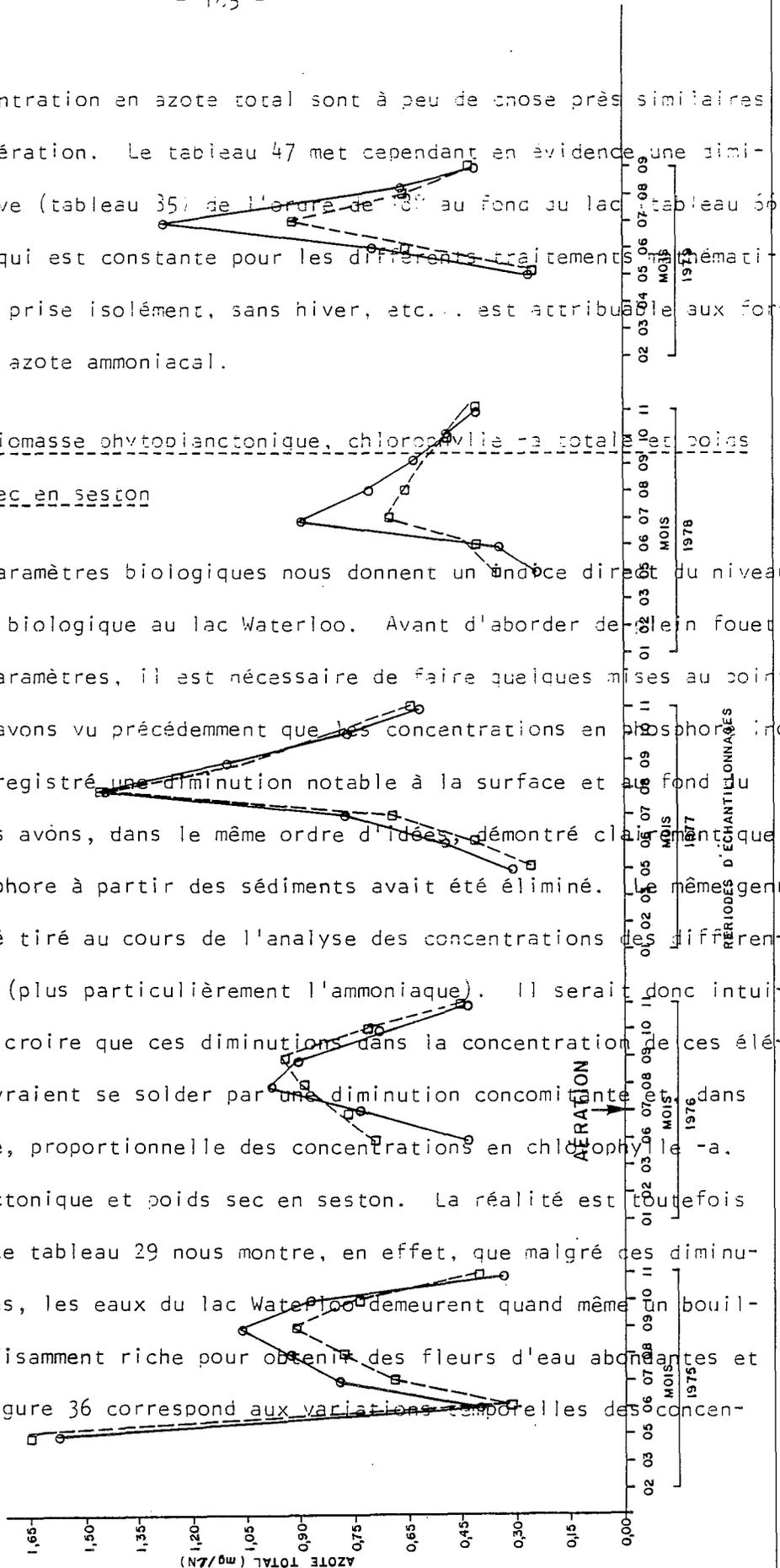
4.4.19 Biomasse phytoplanctonique, chlorophylle *a* total et poids sec en seston

Ces paramètres biologiques nous donnent un indice direct du niveau de productivité biologique au lac Waterloo. Avant d'aborder de plein fouet l'analyse de ces paramètres, il est nécessaire de faire quelques mises au point théoriques. Nous avons vu précédemment que les concentrations en phosphore inorganique avaient enregistré une diminution notable à la surface et au fond du lac Waterloo. Nous avons, dans le même ordre d'idées, démontré clairement que le relargage en phosphore à partir des sédiments avait été éliminé. La même conclusion a été tirée au cours de l'analyse des concentrations des différentes formes d'azote (plus particulièrement l'ammoniaque). Il serait donc intuitivement permis de croire que ces diminutions dans la concentration de ces éléments nutritifs devraient se solder par une diminution concomitante dans une certaine mesure, proportionnelle des concentrations en chlorophylle *a*, biomasse phytoplanctonique et poids sec en seston. La réalité est toutefois fort différente. Le tableau 29 nous montre, en effet, que malgré ces diminutions substantielles, les eaux du lac Waterloo demeurent quand même un bouillon de culture suffisamment riche pour observer des fleurs d'eau abondantes et successives. La figure 36 correspond aux variations temporelles des concen-

FIGURE 35

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES, DE LA CONCENTRATION EN AZOTE TOTAL AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979

LÉGENDE
SURFACE (0,5 m) ○
FOND (3,5 m) □



trations en chlorophylle -a active*. Nous pouvons constater que ce paramètre offre relativement peu de stabilité et ce, même pour la période d'aération. Cette remarque prend toute sa signification, si l'on se rappelle que le lac Waterloo est un plan d'eau hyper-eutrophe où les facteurs limitants sont probablement carrément physiques (température, transparence, compétition inter et intra-spécifique) et donc fortement variables. Le lac Waterloo présente, à toute fin pratique, une fleur d'eau à peu près constante pour toutes les périodes estivales, phénomène qui est fort différent de la distribution théorique bimodale (printemps-automne) des populations phytoplanctoniques en milieu naturel, relativement bien pourvu en sels nutritifs. Le tableau 67 présente une diminution non significative de l'ordre de 23% dans la concentration moyenne de la chlorophylle -a totale pour la période d'aération. La biomasse phytoplanctonique a, pour sa part, enregistré une augmentation de 63% (tableau 67) qui est statistiquement significative (tableau 86).

Puisque les résultats de la biomasse phytoplanctonique ne sont pas "corrélés" avec la baisse des concentrations en phosphore inorganique, tel que nous aurions pu nous attendre, il y a lieu de revoir sommairement la méthode d'analyse de la biomasse phytoplanctonique pour y trouver certaines explications.

Cette méthode d'analyse consiste essentiellement à prélever un volume d'eau, en effectuer la centrifugation et à en faire une analyse au microscope en identifiant, en dénombrant et en mesurant le biovolume de chaque espèce. Lorsque les biovolumes sont mesurés ($\mu^3 \text{ ml}^{-1}$), ils sont convertis en biomasse (mg m^{-3}) en les multipliant par la densité de l'eau (1 gr cm^{-1}).

* Inklus donc la portion morte des populations phytoplanctoniques, les phéopigments.

Nous pourrions d'une part relier la hausse de la biomasse au raffinement de la technique et du personnel affecté à ces mesures, puisqu'au début de 1975, cette méthode venait tout juste d'être mise au point et que la précision concernant la mesure des biovolumes de chaque espèce a augmenté d'année en année. D'autre part, la hausse de la biomasse phytoplanctonique, depuis l'aération, pourrait être imputable à la transition des espèces et à leur biovolume respectif, donc à un changement de dimension plutôt qu'à un changement proprement dit de la biomasse comme tel. Citons à titre d'exemple les biovolumes associés aux genres *Melosira sp.*, *Cyclotella sp.* et *Tabellaria sp.*, de la classe des *Bacellariophycées* (200 à 3 000 $\mu^3 \text{ ml}^{-1}$), alors que les genres de la classe des *Cyanophycées* tels que *Anabaena sp.* et *Aphanizomenon sp.* possèdent une plage de valeurs qui varie entre 25 à 500 $\mu^3 \text{ ml}^{-1}$.

Ces observations sont confirmées dans l'étude menée par Choquette (1980) qui démontre clairement que le lac Waterloo, depuis son aération, subit une transition de ses populations phytoplanctoniques dominantes, des *Cyanophycées* vers les *Bacillariophycées*.

En ce qui a trait aux invertébrés benthiques, Choquette (1980) démontre qu'il y a une augmentation de la densité des espèces par substrat, mais qui ne s'est cependant pas soldée par un accroissement notable de la spéciation du benthos.

Les populations piscicoles du lac Waterloo subissaient régulièrement, avant l'aération, les assauts dévastateurs du développement des zones anoxiques. L'élimination des déficits chroniques en oxygène dissous depuis l'aération a donc théoriquement permis d'accroître la densité des populations piscicoles dans ce plan d'eau. Cette hypothèse sera vérifiée par une pêche expérimentale qui aura lieu durant la période estivale de l'année 1981*.

* Cette pêche sera effectuée en région par le MLCP.

TABLEAU 29

MOYENNES MENSUELLES DE LA BIOMASSE PHYTOPLANCTONIQUE DE LA
CHLOROPHYLLE -a TOTALE ET DU POIDS SEC DE SESTON (mg/m³) AU LAC WATERLOO
DE 1975 A 1979

PERIODES	BIOMASSE PHYTO- PLANCTO- NIQUE	CHLOROPHYLLE -a TOTALE	POIDS SEC DE SESTON
1975-03	21,59	1,17	-----
1975-05	4494,41	22,56	246,95
1975-06	7131,14	23,29	937,00
1975-07	3351,79	78,43	1114,00
1975-08	2966,87	85,76	1630,00
1975-09	4161,28	64,30	2476,67
1975-10	4014,50	-----	1867,50
1975-11	2936,38	13,46	832,00
1976-01	131,00	-----	-----
1976-03	134,00	-----	-----
1976-04	-----	30,12	-----
1976-07	-----	73,40	-----
1976-08	-----	77,13	-----
1976-09	1077,00	71,43	782,10
1976-10	1867,50	47,87	933,90
1976-11	2001,00	5,94	352,70
1977-01	26,00	3,10	96,60
1977-03	5,00	6,01	82,0
1977-05	2764,00	11,88	-----
1977-06	3112,25	34,59	1147,40
1977-07	3297,95	49,16	1224,65
1977-08	7769,87	110,88	1270,13
1977-09	55515,00	69,91	1372,80

TABLEAU 29 (suite)

MOYENNES MENSUELLES DE LA BIOMASSE PHYTOPLANCTONIQUE DE LA
 CHLOROPHYLLE -a TOTALE ET DU POIDS SEC DE SESTON (mg/m³) AU LAC WATERLOO
 DE 1975 A 1979

PERIODES	BIOMASSE PHYTOPLANC- TONIQUE	CHLOROPHYLLE -a TOTALE	POIDS SEC DE SESTON
1977-10	6569,00	15,94	1274,30
1977-11	5739,00	11,27	721,60
1978-01	139,00	0,90	90,45
1978-02	102,00	0,11	66,50
1978-03	111,00	0,29	39,10
1978-05	1859,00	37,13	227,35
1978-06	7947,00	49,49	668,45
1978-07	14698,00	37,95	1059,00
1978-08	18355,00	49,04	16,65
1978-09	11025,00	36,21	1155,00
1978-10	3963,00	18,95	1605,00
1978-11	1722,00	15,88	972,00
1979-02	-----	0,65	-----
1979-03	-----	1,56	-----
1979-04	3320,00	7,96	321,00
1979-05	4107,00	7,21	652,00
1979-06	21108,00	39,85	1060,00
1979-07	10296,00	42,85	1040,00
1979-08	15926,00	31,24	1309,70
1979-09	18664,00	66,4	-----
1979-10	6510,00	25,4	428

TABLEAU 48

MOYENNES ET ECARTS-TYPE DES VALEURS DE LA BIOMASSE PHYTOPLANCTONIQUE

DE LA CHLOROPHYLLE -a TOTALE ET DU POIDS SEC EN SESTON

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	BIOMASSE PHYTOPLANCTONIQUE mg/m ³			CHLOROPHYLLE -a TOTALE mg/m ³			POIDS SEC DE SESTON mg/m ³		
	\bar{X}	σ_x	n	\bar{X}	σ_x	n	\bar{X}	σ_x	n
<u>AVEC HIVER</u>									
1975	2934,1	2286,9	10	41,3	34,0	7	1300,6	742,7	7
1976-1979	7917,1	11053,6	29	31,7	27,7	34	739,6	497,5	27
1979	11418,7	7200,7	7	24,8	22,5	9	801,8	393,6	6
<u>SANS HIVER</u>									
1975	4150,6	1445,3	7	47,9	31,8	6	1300,6	742,7	7
1976-1979	9821,3	11695,4	23	41,0	25,5	26	917,7	411,3	21
1979	12768,5	6849,5	6	35,5	19,7	6	897,9	352,6	5

TABLEAU 67

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DE LA BIOMASSE
PHYTOPLANCTONIQUE, DE LA CHLOROPHYLLE -a TOTALE ET DU POIDS SEC DE SESTON
AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	BIOMASSE PHYTOPLANCTONI- QUE	CHLOROPHYLLE -a TOTALE	POIDS SESTON
<u>Avec hiver</u>	%	%	%
1975 vs 1976-1979	(+) 63,1	(-) 23,2	(-) 43,1
1975 vs 1979	(+) 74,3	(-) 40,0	(-) 38,4
<u>Sans hiver</u>			
1975 vs 1976-1979	(+) 57,7	(-) 14,4	(-) 29,4
1975 vs 1979	(+) 67,5	(-) 25,9	(-) 30,9

(+) représente une augmentation de la valeur moyenne du paramètre.

(-) représente une diminution de la valeur moyenne du paramètre.

TABLEAU 86

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES DES VALEURS DE LA BIOMASSE
PHYTOPLANCTONIQUE DE LA CHLOROPHYLLE -a TOTALE ET DU POIDS SEC EN SESTON
AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	BIOMASSE PHYTOPLANCTONIQUE mg/m ³	CHLOROPHYLLE -a TOTALE mg/m ³	POIDS SEC SESTON mg/m ³
<u>Avec hiver</u>			
1975 vs 1976-1979	Significativement différent	Pas significativement différent	Significativement différent
1975 vs 1979	Pas significativement différent	Pas significativement différent	Significativement différent
<u>Sans hiver</u>			
1975 vs 1976-1979	Significativement différent	Pas significativement différent	Significativement différent
1975 vs 1979	Significativement différent	Pas significativement différent	Pas significativement différent

FIGURE 36

COMPARAISON INTER-ANNUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA CHLOROPHYLLE "a" TOTALE AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1978

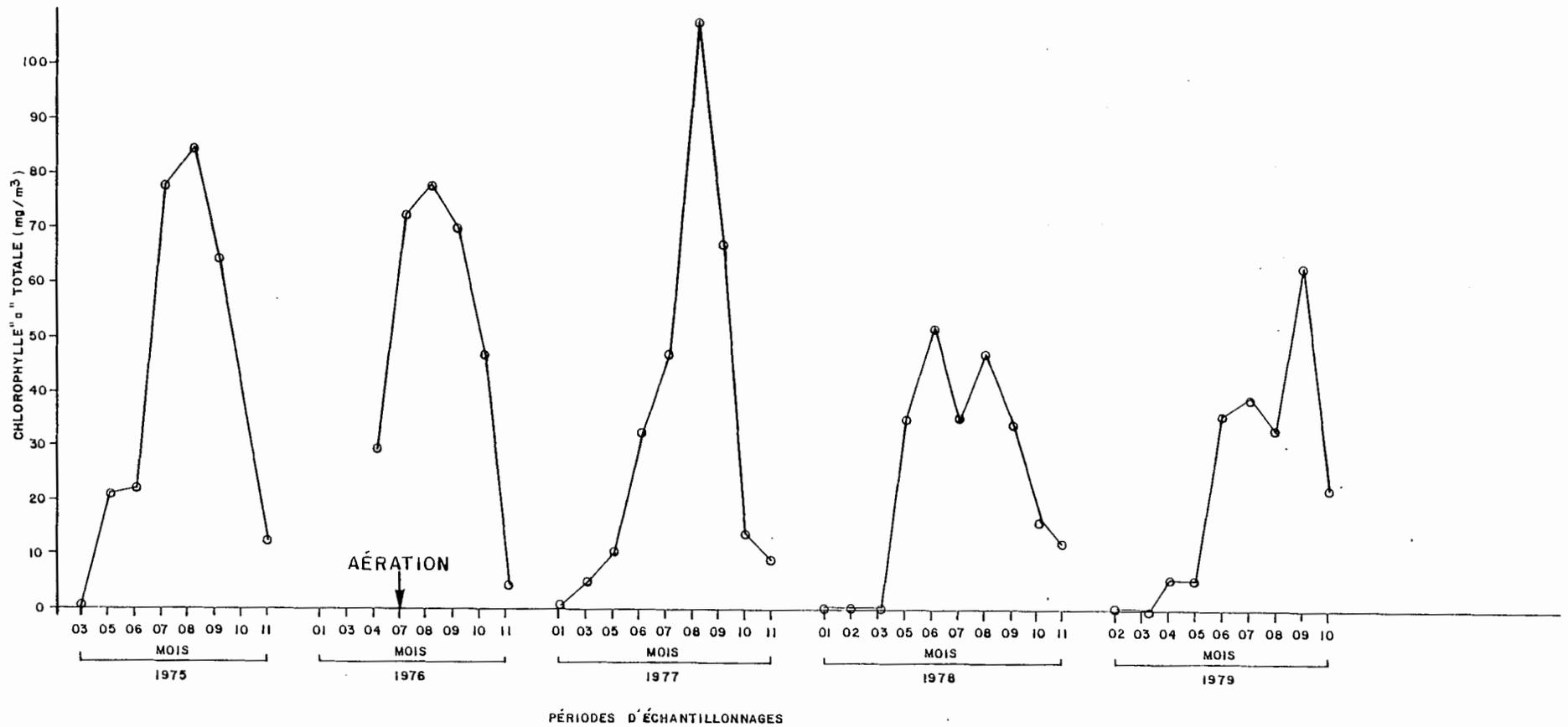


FIGURE 37

COMPARAISON INTER-ANUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE POIDS SEC DE SESTON AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979

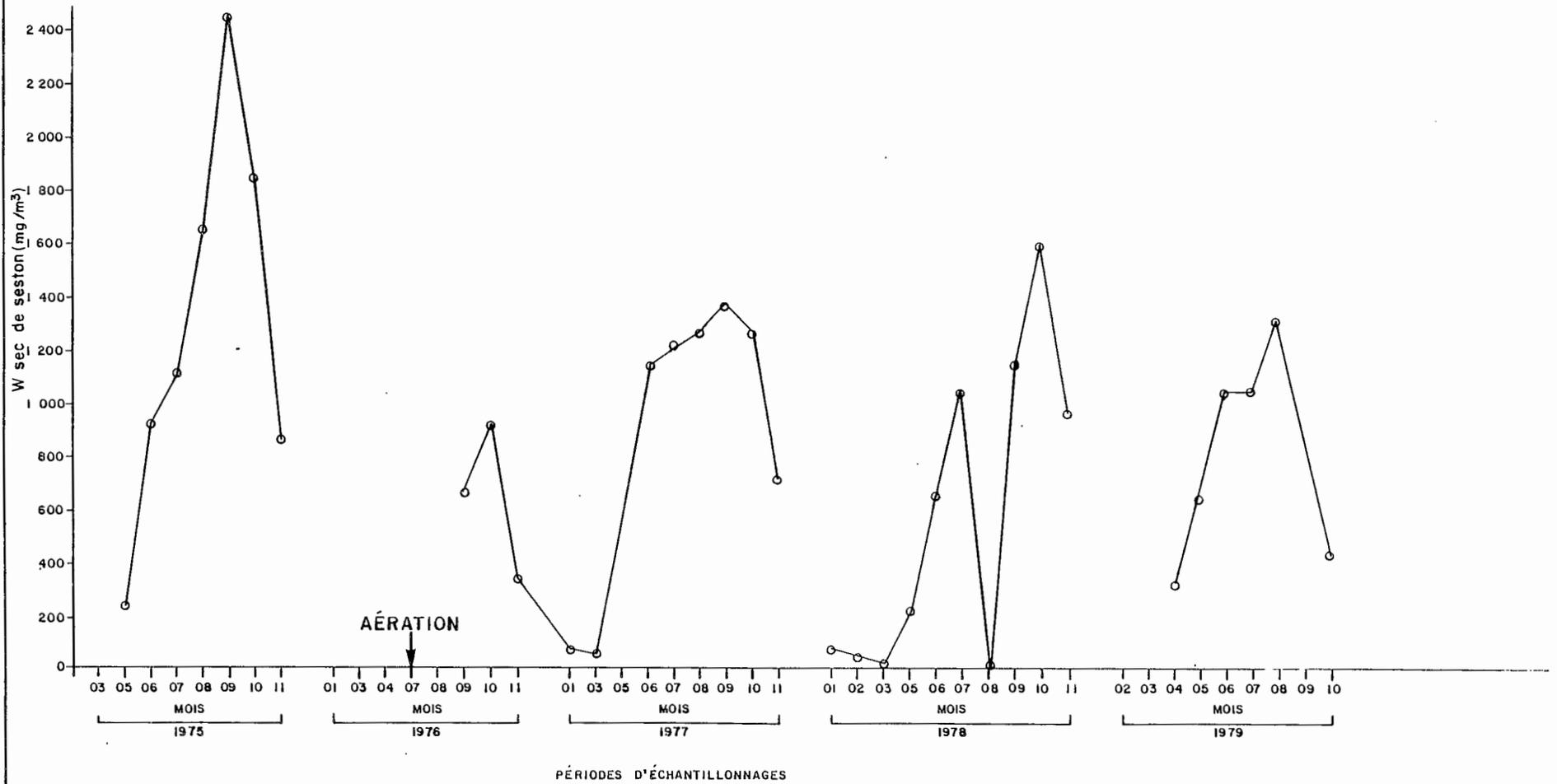
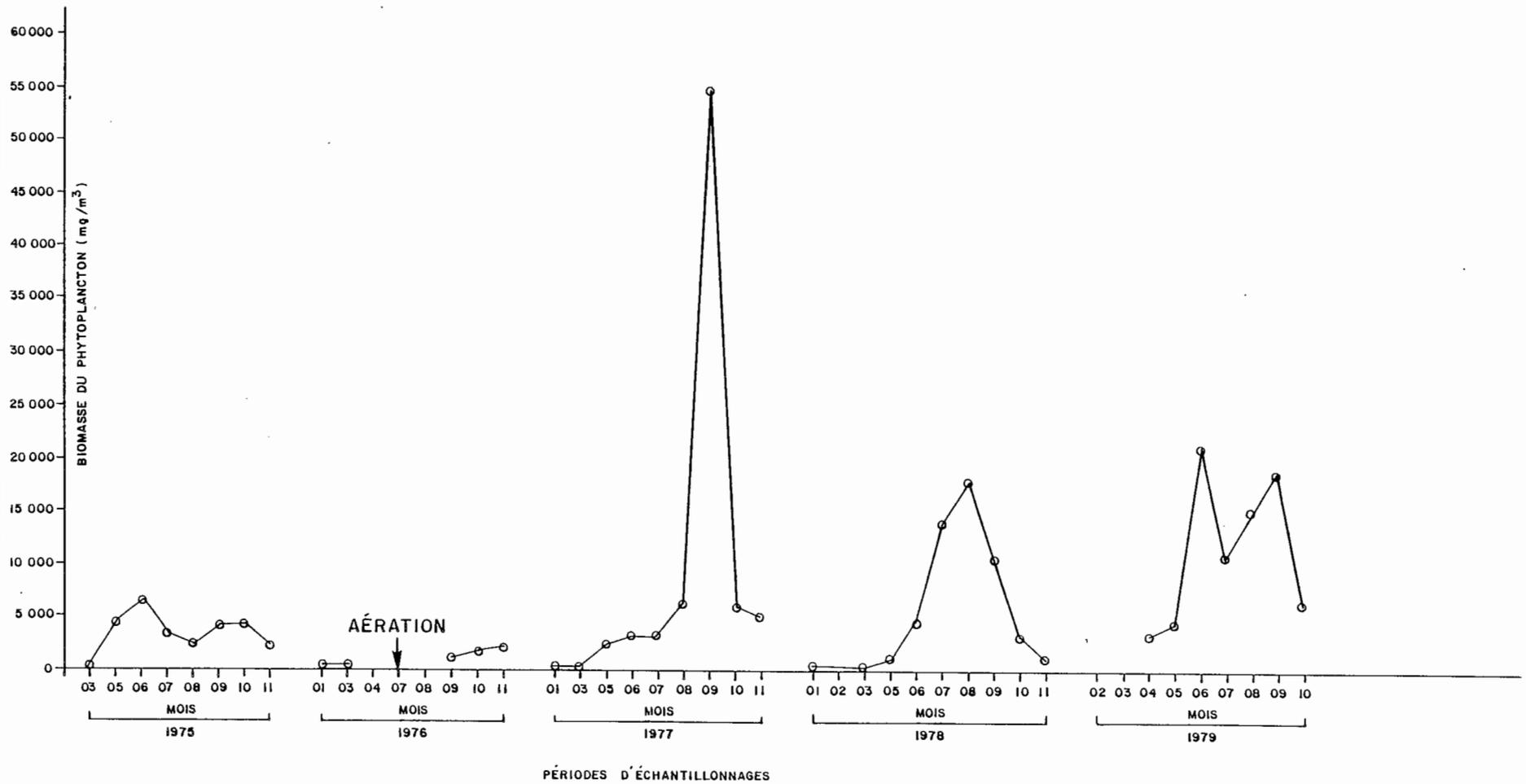


FIGURE 38

COMPARAISON INTER-ANUELLE DES MOYENNES MENSUELLES DE LA BIOMASSE PHYTOPLANCTONIQUE AU LAC WATERLOO DE 1975 À 1979



CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'étude des variations des différents paramètres physico-chimiques et biologiques au lac Waterloo depuis l'aération nous a permis de mettre en évidence une série d'améliorations notables de la qualité physico-chimique de l'eau.

Ce bilan de trois années de fonctionnement nous permet de qualifier cette intervention de "positive" et "nécessaire", même si elle n'a pas permis à elle seule la restauration des usages récréatifs.

Aucun des paramètres que nous avons étudiés n'a présenté de détérioration significative depuis la mise en opération du système d'aération. Plusieurs autres sont demeurés à peu près stables pour cette même période. Citons, à titre d'exemple, la température, le pH, la turbidité, la transparence, l'alcalinité, etc. Les "winterkills" sont maintenant éliminés avec l'augmentation concomitante des concentrations en oxygène dissous. Nous avons démontré, dans le même ordre d'idées, l'influence de l'élimination des zones anoxiques sur plusieurs paramètres tels le fer total (diminution au fond de 44%), le manganèse total (diminution au fond de 67%), les sulfates (diminution au fond de 30%), le phosphore inorganique (diminution au fond de 52%), les nitrites - nitrates (diminution au fond de 44%) et l'azote ammoniacal (diminution au fond de 61%).

L'analyse des données, en faisant abstraction des périodes hivernales avant et après l'aération, nous a permis de démontrer clairement la nécessité d'opérer en continu le système d'aération sous couvert de glace et l'importance des échanges atmosphériques en périodes printanière, estivale et automnale.

La comparaison des concentrations surface-fond des paramètres physico-chimiques (concentration des paramètres au fond moins élevée qu'en surface), la stabilité quelque peu variable dans la diminution des concentrations de ces derniers, concomitante aux arrêts sporadiques du système d'aération*, de même que l'homogénéité des transitions physico-chimiques (oxydation de l'ammoniaque en nitrites - nitrates, diminution des concentrations en phosphore inorganique, en fer total, en manganèse total, liées à l'élimination du largage des sédiments, etc.) nous démontrent que l'aération artificielle est responsable des phénomènes décrits au cours de l'étude**.

Compte tenu des résultats observés, nous recommandons que:

- 1- L'aération du lac Waterloo se poursuive en continu jusqu'à ce que l'assainissement des sources polluantes soit effectué dans le bassin versant de ce plan d'eau.

* Selon les relevés journaliers du fonctionnement du système d'aération, nous pouvons dire que sur les trois années de fonctionnement présentées dans cet ouvrage, une valeur totale d'environ 20 jours d'arrêt a été enregistrée, soit moins de 2% de la période d'aération totale (en excluant la période de rodage de l'été 1976).

** Cette observation n'exclut certes pas la possibilité que des interventions en vue de corriger certaines sources ponctuelles et/ou diffuses puissent avoir eu un effet bénéfique au niveau de l'équilibre physico-chimique de ce plan d'eau, mais il serait difficile d'admettre que ces changements se soient opérés à partir du fond du lac Waterloo et qu'ils subissent des fluctuations saisonnières associées à l'aération naturelle et artificielle de ce plan d'eau. Certaines régressions ont été effectuées à partir des données d'oxygène dissous (abscisse) associées aux valeurs des différents paramètres (ordonnée). Nous remarquons rapidement de fortes dépendances entre les teneurs en oxygène dissous et les variations dans la concentration de plusieurs paramètres physico-chimiques. Par exemple: O₂ vs NO₂ - NO₃ (fond) $r = -0,64$; 37 valeurs, significatif à 95%, O₂ vs Mn total (fond) $r = -0,72$; 37 valeurs, significatif à 95%, O₂ vs C inorganique (fond) $r = -0,55$; 34 valeurs, significatif à 95%, O₂ vs P inorganique (fond) $r = -0,69$; 36 valeurs, significatif à 95%, O₂ vs N- ammoniacal (fond) $r = -0,60$; 37 valeurs, significatif à 95%.

- 2- La fréquence d'échantillonnage du lac Waterloo par les services gouvernementaux, soit réduite au même niveau que les autres plans d'eau de la province inclus dans le réseau de surveillance.
- 3- Qu'une étude scientifique soit entreprise immédiatement en vue d'élaborer un plan précis des techniques de restauration pouvant permettre une récupération définitive du lac Waterloo.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier mademoiselle Andrée Gagnon pour la compilation et le calcul des données nécessaires au cheminement de cette étude et par la même occasion l'excellent travail de dactylographie effectué par mademoiselle Sylvie Lafrenière.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANON. 1971. Artificial destratification in reservoirs, a committee report. J. Am. Water Works Assoc. 63 (9): 597-604.
- ARMSTRONG, W.C., J.D. WILLIAMS, R.F. HARRIS et J.K. SYERS. 1972. Rate and extent of inorganic phosphate exchange in lake sediments. Soil Sci. Amer. Proc., Vol. 36, 279-285.
- BOURASSA, F. 1976. Surveillance des conditions du milieu lors de la mise en opération de l'aérateur. Groupe Conseil en Ecologie, Québec, R no 1, MRN, 14 p.
- BREZONICK, P.L. et C.L. HARPER. 1969. Nitrogen fixation and some anoxic lacustrine environment. Science. 164: 1277-1279.
- BRYAN, J.G. 1964. Improvement in the quality of reservoir discharges through reservoir mixing and aeration. J.F. McLean; Symposium on stream flow regulation for quality control. U.S. Public service pub. 999-WP-30. Cincinnati, V. p. 317-334. !
- BREMOND, R., R. VUICHARD. 1973. Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de la Protection de la nature et de l'Environnement. Paris. 179 p.
- BURN, N.M. et C.ROSS. 1971. Nutrient relationships in a stratified eutrophic lake. Proc. Conf. Great lakes Res., Int. Assoc. Great lakes Res. 14: 749-760.
- CAMPBELL, P.G.C., D. CLUIS et P. COUTURE. 1978. Dynamique des transformations d'éléments nutritifs dans les écosystèmes aquatiques: Etude de deux réservoirs dans la province de Québec. INRS-Eau. 155 p.

- CHAPRA, S.C. et K.H. RECKHOW. 1978. Expressing the phosphorus loading concept in probabilistic terms. J. Fish. Res. Board Can. 36: 2; 225-229.
- CHOQUETTE, S. 1980. Evaluation des impacts des processus de restauration sur les organismes biologiques. MRN. Service de la Qualité des Eaux, 315 p.
- DILLON, P.J. et F.H. RIGLER. 1975. A simple method for predicting the capacity of a lake for development based on lake trophic status. J. Fish. Res. Bd. Can. 32 (9), 1519-1531.
- FAST, A.W. 1971. The effects of artificial aeration in lake ecology, Ph. D. Thesis, Michigan state University East Lansing. 566 p.
- FILLOS, J. 1976. Effect of sediments on the quality of the overlying water. Proc. of an international symposium held at Amsterdam. Sep. 6-10, 473 p.
- FILLOS, J. et W.R. SWANSON. 1975. The release rate of nutrients from river and lake sediments. Journal WPCF, 47: (5), 1032-1042.
- FEKETE, D.N., RIEMER et H.L. MOTTO. 1976. A bioassay using Common duckweed to evaluate the release of available phosphorus from pond sediments J. Aqua. Plant Manag. Vol. 1, No. 14, p. 19-25.
- GUIMONT, F. 1979. Détermination de la zone anoxique au réservoir Choinière pour l'année 1978. Q.E. 030340-5, 22 p.
- GUIMONT, F. et R. NORTHON. 1980. Caractérisation de la production autotrophe et hétérotrophe en milieu aquatique. Thèse de maîtrise. INRS-Eau. 144 p.
- HAYES, F.R. et J.E. PHILLIPS. 1958. Lake water and Sediment. Limnol. and Oceanogr. Vol: 3 p. 459-475.

- HEDMAN, E. et S. TYLEY. 1966. Elimination of stratification at lake Cachuma, California. United States Geol. Surv., Water resour. Div. Menlo Park, Calif., 40 p.
- HOOPER, F.F., R.C. BALL et H.A. TANNER. 1953. An experiment in the artificial circulation of small Michigan lake. Trans. Am. Fish Soc. 82: 222-241.
- IRWIN, E.W., J.M. SYMONS et G.G. ROBECK. 1966. Impoundment destratification by mechanical pumping. J. Sanit. Eng. Div. Proc. Am. Soc. Civ. Eng. 92 (SA6): 21-40.
- KAMP-NIELSEN, L. 1974. Mud-water exchange of phosphate and water ions in undisturbed sediments cores and factors influencing the exchange rates. Arch. Hydrobiol. 73, p. 218-238.
- LACKEY, R.T. 1971. Effects of artificial destratification of a lake ecosystem. Colorado Div. Game, Fish and Parks, Dingell-Johnson Job Completion Rep., Colorado Proj., F-46-R, Job 2, 71 p.
- LEACH, L.E. et C.C. HARLIN, Jr. 1970. Induced aeration of small mountain lakes. Nat. Water quality control Res. Program, Region VI, and Environmental protection Agency, Water Quality office program, 16080, 63 p.
- LEROUZES, M. 1978. Estimation indirecte des apports de phosphore au lac Waterloo. MRN. Manuscrit.
- LI, W.C., D.E. ARMSTRONG, J.D.H. WILLIAMS, R.F. HARRIS et J.K. SYERS. 1972. Rate and extent of inorganic phosphate exchange in lake sediments. Proc. Soil Sci. Soc. Amer., 36: 279-285.
- MALUEG, K., J. TILSTRA, D. SCHULTS et C.F. POWERS. 1971. The effect of induced aeration upon stratification and eutrophication processes in an Oregon Farm pond. International Symposium on Man-made lakes, Knoxville, Tennessee, May 1971.

- MORTIMER, C.H. 1941. The exchange of Dissolved substances between mud and water in lakes, Part I et II, J. Ecol., 29 (2): 280-329.
- OLSEN, S. 1964. Phosphate equilibrium between reduced sediments and water, laboratory experiment with radioactive phosphorus. Verh. int. Ver. Limnol., 15: 333-341.
- OUELLET, M. 1976. Etudes paléoécologiques des sédiments du lac Waterloo. Québec. INRS-Eau. Rapp. 64, 87 p.
- PESSON, P., G. LEYNAUD, P. VIVIER. 1976. La pollution des eaux continentales. Incidences sur les biocénoses aquatiques. Gauthier-Villars, 285 p.
- PROVENCHER, M., B. BELANGER et H. DUROCHER. 1979. Caractérisation de la qualité de l'eau de la rivière Yamaska-Nord: Rapport complémentaire. Service Qualité des Eaux. MRN. 140 p.
- ROBINSON, E.L., W.H. IRWIN et J.M. SYMONS. 1969. Influence of artificial destratification on plankton populations in Impoundments. Trans. Ky. Acad. Sci. 30 (1 2): 1-18.
- SONZOGNI, W.C., D.P. LARSEN. K.W. MALUEG et M.D. SCHULDT. 1977. Use of large submerged chambers to measure sediment-water interactions. Water Research Vol. 11, p. 461-464.
- SERODES, J.B. 1980. Influence des sols et arbres noyés sur l'oxygène dissous et la qualité de l'eau du réservoir LG2. Rapp. No CRE- 80/07, Centreau, 94 p.
- STEVENS, R.J. et C.E. GIBSON. 1976. Sediment release of phosphorus in Lough Neagh, Northern Ireland. Proc. of an international symposium held at Amsterdam, Sept. 6-10. 473 p.
- STUMM, W. et J.O. LECKIE. 1971. Phosphate exchange with sediments; Its role in the productivity of surface waters. Proc. Water Poll. Res. Conf. III, Art. 26, 16 p.

- SYMONS, J.J., W.H. IRWIN et G.G. ROBECK. 1967. Impoundment water quality changes caused by mixing. J. Sanit. Eng. Div., Proc. Am. Soc. Civ. Eng. 93 (SA2): 1-20.
- TOETZ, D., R.C. SUMMERFELT et J. WILHM. 1972. Biological effects of artificial destratification in lakes and reservoirs analysis and Bibliography, U.S. Dept. Interior, Bureau of reclamation, Denver, Colorado, Rept. Rec-Erc-72-33. 177 p.
- VOLLENWEIDER, R.A. 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. OECD. Technical Report, Paris, DAS/CSI 68, 27, 1-182.
- VOLLENWEIDER, R.A. 1975. Input-output models with special reference to the phosphorus loading concept in limnology. Schweiz.Z. Hydrol. 37: 53-84.
- VOLLENWEIDER, R.A. 1976. Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. Mem. Ist. Ital. Idrobiol. 33: 53-83. †
- WELCH, E.B. et D.E. SPYRIDAKIS. 1972. Dynamics of nutrient supply and primary production in lake Sammaish, Washington. Proc. Symp., Res. on Coniferous Forest Ecosystem. March 23-24. Bellingham, Washington, p. 301-315.
- WETZEL, R.G. 1975. Limnology. W.B. Saunders Co., Philadelphie. 743 p.
- WIRTH, T.L. et R.C. DUNST. 1967. Limnological changes resulting from artificial destratification and aeration of an Impoudment. Wisconsin conservation department, Res. Rep. No. 22 (Fisheries), 15 p.

ANNEXE 1

DETAIL DES CALCULS DU TEST DE STUDENT (t)

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DE LA TEMPERATURE

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	TEMPERATURE (°C)						
	SURFACE						
	\bar{x}	σ_x	N	s^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{s^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
	1975	11,3	9,8	11			
1976-1979	12,6	8,4	5	70,56	0,784	± 2,042	Pas significativement différent
1979	12,7	8,9	9	79,21	1,280	± 2,306	Pas significativement différent
FOND							
1975	11,4	7,7	11				
1976-1979	12,2	7,8	5	60,84	0,607	± 2,042	Pas significativement différent
1979	12,3	8,5	9	72,25	0,318	± 2,306	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT. (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS D'OXYGENE DISSOUS

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	OXYGENE DISSOUS mg/l O ₂						
	SURFACE						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S ²	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	10,8	1,7	11				
1976-1979	9,7	1,8	35	3,24	3,615	± 2,042	Significativement différent
1979	10,2	1,9	9	3,61	0,947	± 2,306	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	9,8	1,0	7				
1976-1979	10,2	1,4	26	1,96	1,457	± 2,060	Pas significativement différent
1979	10,7	1,0	6	1,0	2,205	± 2,671	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS D'OXYGENE DISSOUS

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	OXYGENE DISSOUS mg/l O ₂						
	FOND						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S ²	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	5,8	3,7	11				
1976-1979	8,5	2,3	35	5,29	6,945	± 2,042	Significativement différent
1979	8,9	2,6	9	6,76	3,577	± 2,306	Significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	7,8	3,1	7				
1976-1979	8,7	2,2	26	4,84	2,086	± 2,060	Significativement différent
1979	8,6	2,5	6	6,25	0,784	± 2,671	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DES POURCENTAGES EN OXYGENE DISSOUS

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	POURCENTAGES DE SATURATION EN OXYGENE DISSOUS %						
	SURFACE						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	96,2	12,1	11				
1976-1979	92,3	24,8	35	615,04	0,930	± 2,042	Pas significativement différent
1979	98,3	27,8	9	772,84	0,227	± 2,306	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	102,9	13,9	8				
1976-1979	103,1	14,2	26	201,64	0,072	± 2,060	Pas significativement différent
1979	110,6	13,8	6	190,44	0,191	± 2,671	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DES POURCENTAGES EN OXYGENE DISSOUS

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	POURCENTAGES DE SATURATION EN OXYGENE DISSOUS %						
	FOND						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σX	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	47,4	33,8	11				
1976-1979	78,9	21,4	35	457,96	8,708	± 2,042	Significative- ment différent
1979	82,3	23,5	9	552,25	4,455	± 2,306	Significative- ment différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	57,1	35,1	8				
1976-1979	85,9	15,4	26	237,16	9,536	± 2,060	Significative- ment différent
1979	85,9	19,1	6	364,81	3,693	± 2,671	Significative- ment différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DE TURBIDITE ET DE TRANSPARENCE

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	TRANSPARENCE (m)						
	\bar{x}	σ_x	N	s^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{s^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
<u>Avec hiver</u>							
1975	1,02	0,29	7				
1976-1979	1,1	0,49	29	0,240	0,879	± 2,048	Pas significativement différent
1979	0,97	0,53	6	0,281	0,231	± 2,571	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	----	----	--	-----	-----	-----	-----
1976-1979	0,97	0,53	6	0,281	-----	-----	-----
1979	1,0	0,51	26	0,260	-----	-----	-----

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU pH ET DE L'ALCALINITE

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	pH (unité pH)						
	SURFACE						
	\bar{x}	σ_x	N	s^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{s^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
<u>Avec hiver</u>							
1975	7,8	1,2	11				
1976-1979	7,6	0,9	35	0,81	1,315	± 2,042	Pas significativement différent
1979	7,9	1,0	9	1,0	0,300	± 2,306	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	8,3	0,9	8				
1976-1979	8,0	0,8	27	0,64	1,949	± 2,052	Pas significativement différent
1979	8,3	0,7	7	0,49	0	± 2,447	Pas significativement différent

MOYENNES ET ECARTS-TYPE DES VALEURS DU pH ET DE L'ALCALINITE

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	pH (UNITE pH)						
	FOND						
<u>Avec hiver</u>	\bar{x}	σ_x	N	s^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	7,3	0,9	11				
1976-1979	7,2	0,7	35	0,49	0,845	± 2,042	Pas significativement différent
1979	7,4	0,8	9	0,64	0,375	± 2,306	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	7,6	0,8	8				
1976-1979	7,5	0,6	27	0,36	0,866	± 2,056	Pas significativement différent
1979	7,6	0,7	7	0,49	0	± 2,447	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU pH ET DE L'ALCALINITE

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	ALCALINITE (mg/l CaCO ₃)						
	SURFACE						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S^2	$t = \frac{y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	27,3	3,1	11				
1976-1979	28,9	5,7	33	32,49	1,613	±2,042	Pas significati- vement différent
1979	29,8	5,9	8	34,81	1,198	±2,365	Pas significati- vement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	28,1	2,0	8				
1976-1979	28,3	4,4	25	19,36	0,227	±2,064	Pas significati- vement différent
1979	27,7	4,4	6	19,36	0,222	±2,571	Pas significati- vement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU pH ET DE L'ALCALINITE

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	ALCALINITE (mg/l CaCO ₃)						
	FOND						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S ²	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	29,9	5,3	11				
1976-1979	30,4	5,3	33	28,09	0,542	± 2,042	Pas significati- vement différent
1979	29,6	6,0	8	36,00	0,141	± 2,365	Pas significati- vement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	28,9	5,8	8				
1976-1979	28,6	4,4	25	19,36	0,341	± 2,064	Pas significati- vement différent
1979	27,0	4,1	6	16,81	1,135	± 2,571	Pas significati- vement différent

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DE LA CONDUCTIVITE

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	CONDUCTIVITE μmhos						
	SURFACE					ZONE CRITIQUE	RESULTATS
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$		
1975	144,9	17,4	12				
1976-1979	140,9	16,4	33	268,96	1,401	$\pm 2,042$	Pas significativement différent
1979	135,7	17,9	7	320,41	1,359	$\pm 2,447$	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	146,0	15,4	9				
1976-1979	136,2	13,4	25	179,56	3,657	$\pm 2,064$	Significativement différent
1979	135,0	21,8	5	475,24	1,128	$\pm 2,776$	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DE LA CONDUCTIVITE

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES.	CONDUCTIVITE μhos						
	FOND						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	166,0	21,5	12				
1976-1979	142,8	19,3	33	372,49	6,905	$\pm 2,042$	Significativement différent
1979	135,0	17,1	7	292,41	4,796	$\pm 2,447$	Significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	157,9	17,6	9				
1976-1979	136,8	15,9	25	252,81	6,635	$\pm 2,064$	Significativement différent
1979	134,0	20,7	5	428,49	2,581	$\pm 2,776$	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS EN FER SOLUBLE ET FER TOTAL

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	FER SOLUBLE mg/1 Fe						
	SURFACE						
	\bar{X}	σ_X	N	s^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{s^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
<u>Avec hiver</u>							
1975	0,06	0,02	10				
1976-1979	0,07	0,05	28	0,0025	1,058	± 2,052	Pas significativement différent
1979	0,10	0	2	0	-----	-----	-----
<u>Sans hiver</u>							
1975	0,06	0,02	6				
1976-1979	0,05	0,03	20	0,0009	1,491	± 2,093	Pas significativement différent
1979	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS EN FER SOLUBLE ET FER TOTAL

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	FER SOLUBLE mg/1 Fe						
	FOND						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	0,13	0,08	10				
1976-1979	0,07	0,06	28	0,0036	5,292	± 2,052	Significativement différent
1979	0,15	0,08	2	0,0064	0,354	±12,706	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	0,01	0,06	6				
1976-1979	0,04	0,03	20	0,0009	8,944	± 2,093	Significativement différent
1979	-----	-----	--	-----	-----	-----	-----

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS EN FER SOLUBLE ET EN FER TOTAL

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	FER TOTAL mg/l Fe						
	SURFACE						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	0,13	0,06	12				
1976-1979	0,18	0,06	34	0,0036	4,859	± 2,042	Significativement différent
1979	0,18	0,09	8	0,0081	1,571	± 2,365	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	0,15	0,06	9				
1976-1979	0,17	0,07	26	0,0049	1,457	± 2,060	Pas significativement différent
1979	0,18	0,11	6	0,0121	0,668	± 2,571	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS EN FER SOLUBLE ET FER TOTAL

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	FER TOTAL mg/l Fe						
	FOND						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	0,34	0,27	12				
1976-1979	0,19	0,06	34	0,0036	14,577	± 2,042	Significativement différent
1975	0,20	0,09	8	0,0081	4,399	± 2,365	Significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	0,39	0,29	9				
1976-1979	0,18	0,07	26	0,0049	15,297	± 2,060	Significativement différent
1979	0,21	0,11	6	0,0121	4,008	± 2,571	Significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU MANGANESE SOLUBLE ET DU

MANGANESE TOTAL AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	MANGANESE SOLUBLE mg/l Mn						
	SURFACE						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σX	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	0,08	0,07	10				
1976-1979	0,04	0,03	28	0,0009	7,055	± 2,052	Significativement différent
1979	0,04	0,01	2	0,0001	5,657	±12,706	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	0,06	0,01	7		-----		
1976-1979	0,02	0,02	20	0,0004	8,944	± 2,903	Significativement différent
1979	-----	-----	--	-----	-----	-----	-----

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU MANGANESE SOLUBLE ET DU

MANGANESE TOTAL AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	MANGANESE SOLUBLE mg/l Mn						
	FOND						
<u>Avec hiver</u>	\bar{x}	σ_x	N	s^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{s^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	0,13	0,08					
1976-1979	0,04	0,04	10	0,0016	11,906	$\pm 2,052$	Significative- ment différent
1979	0,04	0,02	28	0,0004	6,363	$\pm 12,706$	Pas significa- tivement dif- férent
<u>Sans hiver</u>							
1975	0,10	0,06	7		-----		
1976-1979	0,02	0,02	20	0,0004	17,889	$\pm 2,093$	Significative- ment différent
1979	----	----	--	-----	-----	-----	-----

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU MANGANESE SOLUBLE ET DU

MANGANESE TOTAL AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	MANGANESE TOTAL mg/l Mn						
	SURFACE						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σX	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	0,07	0,02	12				
1976-1979	0,07	0,03	34	0,009	0	± 2,021	Pas significativement différent
1979	0,08	0,04	8	0,0016	0,707	± 2,365	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	0,07	0,02	9				
1976-1979	0,07	0,03	26	0,009	0	-----	Pas significativement différent
1979	0,09	0,05	5	0,0016	1,118	± 2,776	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU MANGANESE SOLUBLE ET DU

MANGANESE TOTAL AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	MANGANESE TOTAL mg/l Mn						
	FOND						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	0,21	0,16	12				
1976-1979	0,07	0,04	34	0,0016	20,408	± 2,021	Significative- ment différent
1979	0,08	0,06	8	0,0036	6,128	± 2,365	Significative- ment différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	0,20	0,18	9				
1976-1979	0,07	0,03	26	0,0009	22,096	± 2,060	Significative- ment différent
1979	0,10	0,07	5	0,0049	3,194	± 2,776	Significative- ment différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU CALCIUM ET DU SODIUM AU

LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	CALCIUM mg/l Ca						
	SURFACE						
<u>Avec hiver</u>	\bar{x}	σ_x	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{\frac{S^2}{N}}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	14,9	3,9	12				
1976-1979	12,2	2,0	28	4,00	7,143	± 2,052	Significativement différent
1979	14,5	0,0	2	0	-----	±12,706	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	15,6	4,2	9				
1976-1979	11,4	1,5	20	2,25	12,522	± 2,093	Significativement différent
1979	-----	-----	--	-----	-----	-----	-----

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU CALCIUM ET DU SODIUM

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	CALCIUM mg/l Ca						
	FOND						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	16,2	5,1	12				
1976-1979	12,4	1,9	28	3,61	10,583	± 2,052	Significative- ment différent
1979	14,6	0,25	2	0,06	9,238	±12,706	Pas significa- tivement dif- férent
<u>Sans hiver</u>							
1975	16,6	5,9	9				
1976-1979	11,5	1,	20	1,96	16,29	± 2,093	Significative- ment différent
1979	-----	-----	--	---	-----	-----	-----

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU CALCIUM ET DU SODIUM

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	SODIUM mg/l Na						
	SURFACE						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σX	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	12,5	3,2	12				
1976-1979	12,2	1,7	28	2,89	0,093	± 2,052	Pas significati- vement différent
1979	13,5	0,0	2	0	-----	±12,706	Pas significa- tivement dif- férent
<u>Sans hiver</u>							
1975	13,4	3,2	9				
1976-1979	11,7	1,5	20	2,25	5,068	± 2,093	Significative- ment différent
1979	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU CALCIUM ET DU SODIUM

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	SODIUM mg/l Na						
	FOND						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	15,1	1,6	12				
1976-1979	12,4	1,9	28	3,61	7,519	± 2,052	Significativement différent
1979	13,9	0,35	2	0,12	4,899	± 12,706	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	14,8	0,9	9				
1976-1979	11,7	1,6	20	2,56	8,665	± 2,093	Significativement différent
1979	----	----	--	----	-----	-----	-----

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU MAGNESIUM ET DU

POTASSIUM AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	MAGNESIUM mg/1 Mg						
	SURFACE						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	2,2	0,19	12				
1976-1979	2,1	0,34	28	0,116	1,553	± 2,052	Pas significativement différent
1979	2,2	0,05	2	0,0025	0	±12,706	Pas signigicativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	2,2	0,07	9		2,801		
1976-1979	2,0	0,32	20	0,102		± 2,093	Significativement différent
1979	---	----	--	-----	-----	-----	-----

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU MAGNESIUM ET DU

POTASSIUM AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	MAGNESIUM mg/l Mg						
	FOND						
<u>Avec hiver</u>	\bar{x}	σ_x	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	2,3	0,54	12				
1976-1979	2,2	0,36	31	0,1296	1,469	± 2,052	Pas significativement différent
1979	2,2	0,05	2	0,0025	2,828	±12,706	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	2,3	0,16	9				
1976-1979	2,0	0,31	20	0,0961	4,328	± 2,093	Significativement différent
1979	----	----	--	-----	-----	-----	-----

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU MAGNESIUM ET DU

POTASSIUM AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	POTASSIUM mg/l K						
	SURFACE						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σX	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	1,4	0,29	12				
1976-1979	1,2	0,16	28	0,0256	6,614	± 2,052	Significative- ment différent
1979	1,5	0,10	2	0,01	1,414	±12,706	Pas significa- tivement dif- férent
<u>Sans hiver</u>							
1975	1,5	0,23	9				
1976-1979	1,2	0,13	20	0,0169	10,320	± 2,093	Significative- ment différent
1979	---	----	--	-----	-----	-----	-----

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU MAGNESIUM ET DU

POTASSIUM AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	POTASSIUM mg/l K						
	FOND						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	1,6	0,36	12				
1976-1979	1,2	0,18	28	0,0	11,758	± 2,052	Significative- ment différent
1979	1,4	0,05	2	0,0025	5,656	±12,706	Pas significa- tivement dif- férent
<u>Sans hiver</u>							
1975	1,6	0,42	9				
1976-1979	1,2	0,17	20	0,0289	10,522	± 2,093	Significative- ment différent
1979	---	----	--	-----	-----	-----	-----

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DE SULFATES

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	SULFATES (mg/l SO ₄)						
	SURFACE						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S ²	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	10,8	3,3	12				
1976-1979	7,7	1,6	34	2,56	11,297	± 2,042	Significativement différent
1979	7,9	1,8	8	3,24	4,557	± 2,365	Significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	9,6	2,6					
1976-1979	7,2	1,0	2	1,0	12,000	± 2,060	Significativement différent
1979	7,0	1,0	5	1,0	5,814	± 2,776	Significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DE SULFATES

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	SULFATES (mg/l SO ₄)						
	FOND						
<u>Avec hiver</u>	\bar{x}	σ_x	N	S ²	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	11,0	3,5	12				
1976-1979	7,7	1,7	34	2,89	11,319	± 2,042	Significative- ment différent
1979	7,9	1,8	8	3,24	4,871	± 2,365	Significative- ment différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	9,5	2,7	9				
1976-1979	7,2	1,1	25	1,21	10,455	± 2,064	Significative- ment différent
1979	7,0	1,2	5	1,44	4,658	± 2,776	Significative- ment différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU CARBONE INORGANIQUE ET

CARBONE ORGANIQUE AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	CARBONE INORGANIQUE mg/l C						
	SURFACE						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σX	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	4,0	1,2	10				
1976-1979	5,8	2,4	33	5,76	4,308	± 2,042	Significativement différent
1979	6,1	3,0	7	9,00	1,852	± 2,447	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	3,9	1,2	9				
1976-1979	4,7	1,3	25	1,69	3,077	± 2,064	Significativement différent
1979	4,4	1,0	5	1,00	1,118	± 2,776	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU CARBONE INORGANIQUE ET

CARBONE ORGANIQUE AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	CARBONE INORGANIQUE mg/l C						
	FOND						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σX	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	5,1	1,6	10				
1976-1979	6,0	2,4	33	5,76	2,154	± 2,042	Significativement différent
1979	6,3	3,3	7	10,89	0,962	± 2,447	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	4,7	0,88	9				
1976-1979	4,8	1,2	25	1,44	0,417	± 2,064	Pas significativement différent
1979	4,5	1,2	5	1,44	0,373	± 2,776	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU CARBONE INORGANIQUE ET
CARBONE ORGANIQUE AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	CARBONE ORGANIQUE mg/l C						
	SURFACE						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	14,1	4,2	10				
1976-1979	15,5	9,0	33	81,00	0,907	± 2,042	Pas significativement différent
1979	16,2	7,4	7	54,76	0,751	± 2,447	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	14,1	4,2	9				
1976-1979	15,8	9,0	25	81,00	0,944	± 2,064	Pas significativement différent
1979	18,3	7,9	5	62,41	1,189	± 2,776	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU CARBONE INORGANIQUE ET

CARBONE ORGANIQUE AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	CARBONE ORGANIQUE mg/l C						
	FOND						
<u>Avec hiver</u>	\bar{x}	σ_x	N	s^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{s^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	14,5	4,1	10				
1976-1979	14,7	7,7	33	59,29	0,151	± 2,042	Pas significativement différent
1979	13,4	3,8	7	14,44	0,767	± 2,447	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	14,5	4,1	9				
1976-1979	16,4	8,3	25	68,89	1,144	± 2,064	Pas significativement différent
1979	14,5	4,0	5	16,00	0	± 2,776	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU CARBONE TOTAL

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	CARBONE TOTAL mg/l C						
	SURFACE						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	18,1	18,1	10				
1976-1979	21,3	21,3	3	67,24	3,395	± 2,042	Significativement différent
1979	22,3	4,9	7	24,01	1,619	± 2,447	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	18,0	4,1	9				
1976-1979	20,5	9,0	25	81,00	2,389	± 2,064	Significativement différent
1979	22,7	9,0	5	64,00	1,369	± 2,776	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU CARBONE TOTAL

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	CARBONE TOTAL mg/l C						
	FOND						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	19,6	3,4	10				
1976-1979	20,9	7,6	33	57,76	1,512	± 2,042	Pas significativement différent
1979	19,6	3,9	7	15,21	0,475	± 2,447	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	19,2	3,5	9				
1976-1979	21,2	8,6	25	73,96	1,163	± 2,064	Pas significativement différent
1979	19,0	4,3	5	18,49	0,104	± 2,776	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU PHOSPHORE INORGANIQUE

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	PHOSPHORE INORGANIQUE mg/l P						
	SURFACE						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σX	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	0,016	0,011	12				
1976-1979	0,012	0,005	34	0,000025	4,665	± 2,042	Significativement différent
1979	0,010	0,005	8	0,000025	3,394	± 2,365	Significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	0,013	0,005	7				
1976-1979	0,012	0,005	25	0,000025	1,000	± 2,064	Pas significativement différent
1979	0,009	0,003	5	0,0000	2,981	± 2,776	Significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU PHOSPHORE INORGANIQUE

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	PHOSPHORE INORGANIQUE mg/l P						
	FOND						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	0,023	0,021	12				
1976-1979	0,011	0,004	34	0,000016	17,499	± 2,042	Significative- ment différent
1979	0,009	0,005	8	0,000025	7,919	± 2,365	Significative- ment différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	0,015	0,006	7				
1976-1979	0,010	0,004	25	0,000016	6,250	± 2,064	Significative- ment différent
1979	0,008	0,003	5	0,000009	5,217	± 2,776	Significative- ment différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU PHOSPHORE ORGANIQUE

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	PHOSPHORE ORGANIQUE mg/l P						
	SURFACE						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	0,015	0,012	12				
1976-1979	0,015	0,011	34	0,00012	0	± 2,042	Pas significativement différent
1979	0,018	0,017	8	0,00028	0,507	± 2,365	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	0,020	0,013	7				
1976-1979	0,018	0,012	25	0,00014	0,845	± 2,064	Pas significativement différent
1979	0,025	0,018	5	0,00032	0,625	± 2,776	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU PHOSPHORE ORGANIQUE

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	PHOSPHORE ORGANIQUE mg/1 P						
	FOND						
<u>Avec hiver</u>	\bar{x}	σ_x	N	s^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{s^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	0,015	0,012	12				
1976-1979	0,015	0,014	34	0,00019	0	± 2,042	Pas significativement différent
1979	0,018	0,020	8	0,0004	0,024	± 2,365	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	0,017	0,012	7				
1976-1979	0,017	0,015	25	0,00022	0		Pas significativement différent
1979	0,021	0,024	5	0,00058	0,373	± 2,776	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU PHOSPHORE TOTAL

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	PHOSPHORE TOTAL						
	SURFACE mg/l P						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	0,031	0,017	12				
1976-1979	0,027	0,013	34	0,00017	1,789	± 2,042	Pas significativement différent
1979	0,028	0,017	8	0,00029	0,498	± 2,365	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	0,032	0,018	7				
1976-1979	0,029	0,014	25	0,0002	1,071	± 2,064	Pas significativement différent
1979	0,033	0,019	5	0,00036	0,118	± 2,776	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU PHOSPHORE TOTAL

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	PHOSPHORE TOTAL mg/l P						
	FOND						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	0,038	0,027	12				
1976-1979	0,026	0,014	34	0,00020	4,948	± 2,042	Significativement différent
1979	0,027	0,018	8	0,00022	2,098	± 2,365	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	0,032	0,013	7				
1976-1979	0,028	0,015	25	0,00023	1,333	± 2,060	Pas significativement différent
1979	0,03	0,023	5	0,00053	0,194	± 2,776	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DU NITRITES ET NITRATES ET DE

L'AZOTE AMMONIACAL AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	NITRITES ET NITRATES mg/l N						
	SURFACE						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S^2	$t = Y - \mu / \sqrt{S^2/N}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	0,20	0,34	12				
1976-1979	0,11	0,15	34	0,0225	3,499	± 2,042	Significative- ment différent
1979	0,09	0,12	8	0,0144	2,593	± 2,365	Significative- ment différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	0,02	0,01	7				
1976-1979	0,03	0,03	26	0,0009	1,701	± 2,060	Pas significa- tivement dif- férent
1979	0,02	0,003	6	0,000009	0	± 2,571	Pas significa- tivement dif- férent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DE NITRITES ET NITRATES ET DE

L'AZOTE AMMONIACAL AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	NITRITES ET NITRATES mg/l N						
	FOND						
<u>Avec hiver</u>	\bar{x}	σ_x	N	s^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{s^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	0,18	0,30	12				
1976-1979	0,14	0,34	34	0,01156	0,686	± 2,042	Pas significativement différent
1979	0,09	0,11	8	0,0121	2,314	± 2,365	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	0,03	0,02	7				
1976-1979	0,03	0,03	26	0,0009	0	± 2,060	Pas significativement différent
1979	0,02	0,007	6	0,000049	3,499	± 2,571	Significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DE NITRITES ET NITRATES ET DE

L'AZOTE AMMONIACAL AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	AZOTE AMMONIACAL mg/l N						
	SURFACE						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σX	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	0,05	0,05	12				
1976-1979	0,06	0,06	34	0,0036	0,972	± 2,042	Pas significativement différent
1979	0,06	0,08	8	0,0064	0,354	± 2,365	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	0,04	0,05	7				
1976-1979	0,04	0,04	26	0,0016	0	± 2,060	Pas significativement différent
1979	0,02	0,01	6	0,001	1,550	± 2,571	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DE NITRITES ET NITRATES ET DE

L'AZOTE AMMONIACAL AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	AZOTE AMMONIACAL mg/l N						
	FOND						
Avec hiver	\bar{X}	σ_X	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	0,18	0,16	12				
1976-1979	0,07	0,07	34	0,0049	6,664	± 2,042	Significative- ment différent
1979	0,07	0,08	8	0,0064	2,828	± 2,365	Significative- ment différent
Sans hiver							
1975	0,07	0,06	7				
1976-1979	0,05	0,06	26	0,0036	1,699	± 2,056	Pas significa- tivement dif- férent
1979	0,02	0,01	6	0,0001	12,247	± 2,571	Significative- ment différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DE L'AZOTE ORGANIQUE ET DE

L'AZOTE TOTAL AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	AZOTE ORGANIQUE mg/l N						
	SURFACE						
<u>Avec hiver</u>	x	σ_x	N	S ²	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	0,60	0,40	11				
1976-1979	0,51	0,31	34	0,0961	1,693	± 2,042	Pas significativement différent
1979	0,47	0,36	8	0,1296	1,021	± 2,365	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	0,73	0,40	8				
1976-1979	0,61	0,30	25	0,09	2,00	± 2,064	Pas significativement différent
1979	0,61	0,39	5	0,1521	0,688	± 2,776	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DE L'AZOTE ORGANIQUE ET DE

L'AZOTE TOTAL AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	AZOTE ORGANIQUE mg/l N						
	FOND						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	0,56	0,35	11				
1976-1979	0,48	0,27	34	0,0729	1,723	± 2,042	Pas significativement différent
1979	0,41	0,25	8	0,0625	1,697	± 2,365	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	0,63	0,39	8				
1976-1979	0,57	0,25	25	0,0625	1,20	± 2,064	Pas significativement différent
1979	0,52	0,26	5	0,0676	0,946	± 2,776	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DE L'AZOTE ORGANIQUE ET DE

L'AZOTE TOTAL AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	AZOTE TOTAL mg/l N						
	SURFACE						
<u>Avec hiver</u>	\bar{X}	σ_X	N	S^2	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975	0,72	0,35	12				
1976-1979	0,65	0,25	34	0,063	1,626	± 2,042	Pas significativement différent
1979	0,62	0,32	8	0,102	0,886	± 2,365	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	0,77	0,39	9				
1976-1979	0,67	0,30	25	0,090	1,667	± 2,064	Pas significativement différent
1979	0,65	0,39	5	0,152	0,688	± 2,776	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DE L'AZOTE ORGANIQUE ET DE

L'AZOTE TOTAL AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	AZOTE TOTAL mg/l N						
	FOND					ZONE CRITIQUE	RESULTATS
<u>Avec hiver</u>	X	σ_X	N	S ²	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$		
1975	0,78	0,33	12				
1976-1979	0,64	0,23	34	0,053	3,546	± 2,042	Significative- ment différent
1979	0,57	0,21	8	0,044	2,832	± 2,365	Significative- ment différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	0,79	0,38	9				
1976-1979	0,63	0,26	25	0,068	3,068	± 2,064	Significative- ment différent
1979	0,56	0,25	5	0,063	2,049	± 2,776	Pas significa- tivement dif- férent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DE LA BIOMASSE PHYTOPLANCTONIQUE,

DE LA CHLOROPHYLLE -a TOTALE ET DU POIDS SEC EN SESTON

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	BIOMASSE DE PHYTOPLANCTON mg/m ³							
	Avec hiver	\bar{X}	σX	N	S ²	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
1975		2934,1	2286,9	10				
1976-1979		7917,1	11053,6	29	122182073	2,428	± 2,048	Significative- ment différent
1979		11418,71	7200,7	7	122182073	1,287	± 2,447	Pas significa- tivement dif- férent
	Sans hiver							
1975		4150,6	1445,3	7				
1976-1979		9821,3	11695,4	23	136782381	2,325	± 2,074	Significative- ment différent
1979		12768,5	6849,5	6	46915650	3,082	± 2,571	Significative- ment différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DE LA BIOMASSE PHYTOPLANCTONIQUE,

DE LA CHLOROPHYLLE -a TOTALE ET DU POIDS SEC EN SESTON

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	CHLOROPHYLLE -a TOTALE mg/m ³						
	\bar{X}	σ_X	N	S ²	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
<u>Avec hiver</u>							
1975	41,3	34,0	7				
1976-1979	31,7	27,7	34	767,29	2,020	± 2,042	Pas significativement différent
1979	24,8	22,5	9	506,25	2,20	± 2,306	Pas significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	47,9	31,8	6				
1976-1979	41,0	25,5	26	650,25	1,380	± 2,060	Pas significativement différent
1979	35,5	19,7	6	388,09	1,542	± 2,571	Pas significativement différent

TEST DE STUDENT (t)

MOYENNES ET ECARTS-TYPES DES VALEURS DE POIDS SEC EN SESTON,

DE BIOMASSE PHYTOPLANCTONIQUE ET DE CHLOROPHYLLE -a TOTALE

AU LAC WATERLOO DE 1975 A 1979

ANNEES	POIDS SEC EN SESTON mg/m ³						
	\bar{X}	σ_X	N	S ²	$t = \frac{Y - \mu}{\sqrt{S^2/N}}$	ZONE CRITIQUE	RESULTATS
<u>Avec hiver</u>							
1975	1300,6	742,7	7				
1976-1979	739,6	497,5	27	247506	5,859	± 2,021	Significativement différent
1979	801,8	393,6	6	154920	3,104	± 2,571	Significativement différent
<u>Sans hiver</u>							
1975	1300,6	742,7	7				
1976-1979	917,7	411,3	21	169167	4,267	± 2,086	Significativement différent
1979	897,9	352,6	5	124326	2,554	± 2,776	Pas significativement différent

