

ÉVALUATION DU RÉSEAU
DE LA QUALITÉ DES EAUX

ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES DONNÉES
DE LA PÉRIODE 1967 - 1975

VOLUME I
texte, tableaux et figures

rapport no. QE-20

par

B. Bobbée, D. Cluis, M. Goulet, M. Lachance,
L. Potvin, A. Tessier

rédigé pour
le ministère des Richesses naturelles

QUÉBEC 1977

ÉVALUATION DU RÉSEAU
DE LA QUALITÉ DES EAUX

ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES DONNÉES
DE LA PÉRIODE 1967 - 1975

VOLUME I
texte, tableaux et figures

rapport no. QE-20

par

B. Bobbée, D. Cluis, M. Goulet, M. Lachance,
L. Potvin, A. Tessier

rédigé pour
le ministère des Richesses naturelles

QUÉBEC 1977



AUTEURS:

B. Bobbée (responsable) ingénieur,
D. Sc. Hydrologie Statistique, INRS-EAU

D. Cluis, ingénieur, D. Sc. Hydrologie, INRS-EAU

M. Goulet, physicien, M. Dc. Eau, SQE, MRN

M. Lachance, physicien, M. Sc. INRS-EAU

L. Potvin, géographe, INRS-EAU

A. Tessier, chimiste, D. Sc., INRS-EAU

SQE, MRN: Service de la qualité des eaux,
Ministère des Richesses naturelles,
du Québec.

INRS-EAU: Institut national de la recherche
scientifique,
Université du Québec.

MOTS CLÉS:

Réseau, rivière, Québec, qualité, eau, échantillonnage,
bassin versant, physico-chimie, validation, variabilité
spatiale, variabilité temporelle, saisons, valeur extrême,
autocorrélation, conductivité, ions majeurs, silicates,
température, fluorures, couleur, fer, manganèse, phosphate,
pH, alcalinité etc.

RÉFÉRENCES:

BOBBÉE, B., D. CLUIS, M. GOULET, M. LACHANCE, L. POTVIN,
A. TESSIER, (1977). Evaluation du reseau de la qualité
des eaux, analyse et interprétation des données de la
période 1967-1975, Service de la qualité des eaux,
ministère des Richesses naturelles, Québec, publications
no. QE-20 et QE-20A, 2 volumes, 4 annexes, 490 pages.



TABLE DES MATIERES

AVANT PROPOS	2
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	3
CHAPITRE 1. INTRODUCTION	17
1.1 Le réseau Qualité des eaux du M.R.N.: évolution générale et objectifs	17
1.2 Objectifs de l'étude	18
1,2.1 Aspects descriptifs	18
1,2.2 Analyse des données	19
1,2.3 Conclusions et recommandations	19
CHAPITRE 2. CARACTERISATION DU RESEAU	21
2.1 Stations et opérations sur le terrain	21
2.2 Paramètres mesurés	22
2.3 Caractéristiques de l'échantillonnage et de l'analyse de 1967 à 1975	25
2,3.1 Opération des stations	25
2,3.2 Fréquence de mesure des paramètres	30
CHAPITRE 3. ANALYSE DES DONNEES	33
3.1 Validation et critique des données	33
3,1.1 Découpage saisonnier	33
3,1.2 Filtrage des données	34
3,1.3 Caractérisation des données	36

3,2	Etude de la variabilité spatiale	37
3.2.1	Intérêt de l'analyse de la variabilité spatiale	37
3.2.2	Approche utilisée	37
3.2.3	Choix des stations pour l'étude de la variabilité spatiale des paramètres du premier groupe	40
3.2.4	Détermination et cartographie des moyennes annuelles et saisonnières des paramètres du groupe 1	45
3.2.5	Analyse statistique de la variabilité spatiale des ions majeurs, de la silice et de la conductivité	59
3.2.6	Interprétation de la variabilité spatiale des ions majeurs, de la conductivité et de la silice	64
3.2.7	Variabilité spatiale des nitrates et phosphates	72
3.2.8	Etude de la variabilité spatiale des paramètres du groupe 2	77
3.3	Etude des valeurs extrêmes	87
3.3.1	Cadre de l'étude	87
3.3.2	Valeurs maximales et minimales des paramètres du groupe 1	88
3.3.3	Valeurs maximales et minimales des paramètres du groupe 2	92
3,4	Etude de la variabilité temporelle	96
3.4.1	Approche utilisée	96
3.4.2	Méthodes de caractérisation de la variabilité temporelle	97
3.4.3	Sélection des données pour l'étude de la variabilité temporelle	99
3.4.4	Etude des autocorrélations des paramètres du groupe 1: séries hebdomadaire et mensuelles.....	103
3.4.5	Caractérisation de la gamme de variabilité temporelle .	111
3.4.6	Etude des tendances des paramètres du groupe 1.....	113
	LISTE DES REFERENCES	119

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE 2

2.1	Utilité des paramètres mesurés ou calculés	123
2.2	Caractéristiques ^a des mesures en laboratoire	124
2.3	Nombre maximum d'échantillons analysés par année pour chacune des stations et leur fréquence d'échantillonnage pour la région hydrographique 01	125
2.4	Nombre maximum d'échantillons analysés par année pour chacune des stations et leur fréquence d'échantillonnage pour la région hydrographique 02	126
2.5	Nombre maximum d'échantillons analysés par année pour chacune des stations et leur fréquence d'échantillonnage pour la région hydrographique 03	129
2.6	Nombre maximum d'échantillons analysés par année pour chacune des stations et leur fréquence d'échantillonnage pour la région hydrographique 04	133
2.7	Nombre maximum d'échantillons analysés par année pour chacune des stations et leur fréquence d'échantillonnage pour la région hydrographique 05	135
2.8	Nombre maximum d'échantillons analysés par année pour chacune des stations et leur fréquence d'échantillonnage pour la région hydrographique 06	138
2.9	Nombre maximum d'échantillons analysés par année pour chacune des stations et leur fréquence d'échantillonnage pour la région hydrographique 07	139
2.10	Nombre total de prélèvements journaliers et nombre moyen d'échantillons par composé () pour chacune des 5 années où des composés d'échantillons ont été effectués	141
2.11	Répartition par région et par année, du nombre de stations échantillonnées à différentes fréquences	142

2.12	Nombre total de stations échantillonnées par année et par région hydrographique.....	143
2.13	Nombre total de stations, par région hydrographique, pour une durée d'opération donnée.....	143
2.14	Fréquence d'analyse des paramètres pour les échantillons prélevés durant chacune des années (valables pour toutes les régions hydrographiques)	144

CHAPITRE 3

3.1	Caractéristiques statistiques des paramètres à la station 01080A pour la période 1967-1975.....	146
3.2	Caractéristiques statistiques de la silice aux stations de la région 01 pour la période 1967-75.....	147
3.3	Stations choisies pour l'étude de la variabilité spatiale..	148
3.4	Etude de la variabilité inter-annuelle par analyse de variance: détermination des groupes de moyennes non significativement différentes, à l'aide du test de Scheffé (niveau 5%).....	150
3.5	Caractéristiques des stations susceptibles d'être regroupées.....	151
3.6	Test de Fisher appliqué aux données des stations susceptibles d'être regroupées.....	152
3.7	Test de Student appliqué aux données des stations susceptibles d'être regroupées.....	153
3.8	Moyennes annuelles et saisonnières des paramètres du groupe 1, calculées sur la période 1973-75 aux 62 stations sélectionnées.....	154
3.9	Distribution, en pourcentage, de l'effectif de la valeur absolue des erreurs relatives ϵ_{HCO_3} et $\epsilon_{\text{cond.}}$ suivant les valeurs annuelles et saisonnières ou suivant les régions.....	163

3.10	Précisions relatives (%) atteintes sur la moyenne des paramètres du groupe 1 avec un niveau de confiance de 95% (période 1973-75).....	164
3.11	Distribution de l'effectif des 62 stations par classe de précision sur la moyenne annuelle pour chaque paramètre (période 1973-75).....	173
3.12	Valeurs moyennes par saison et pour chaque paramètre, du coefficient de variation et de l'erreur relative (%).....	174
3.13	Résultats de l'analyse de variance: classement des moyennes saisonnières par ordre croissant et détermination des groupes de moyennes non significativement différentes, à l'aide du test de Scheffé (niveau 5%).....	175
3.14	Analyse de variance et test de Scheffé sur les moyennes saisonnières: synthèse régionale pour chaque paramètre,....	178
3.15	Moyennes interannuelles et saisonnières de la dureté reconstituées à partir des moyennes de calcium et magnésium calculées sur la période 1973-75 aux 62 stations sélectionnées.....	179
3.16	Relation entre le code des stations dans la représentation d'A.F.C. et le code M.R.N.....	181
3.17	Composition des groupes de stations identifiées par la classification ascendante hiérarchique appliquée, en considérant pour chaque station, les 4 premiers facteurs calculés par l'analyse factorielle des correspondances,.....	182
3.18	Analyse de variance et test de Scheffé, effectués sur les moyennes interannuelles des nitrates et des phosphates,.....	183
3.19	Classification des stations, en fonction des moyennes interannuelles en nitrates et phosphates (période 1973-75)..	184
3.20	Caractéristiques des données de couleur sur chacune des 3 périodes retenues.....	185
3.21	Variabilité spatiale des valeurs moyennes de couleur (Période 1968-1972) pour chaque station.....	186

3.22	Caractéristiques des données de fer sur chacune des 3 périodes retenues.....	187
3.23	Caractéristiques des données de manganèse sur chacune des 2 périodes retenues.....	189
3.24	Caractéristiques des données des fluorures sur chacune des 4 périodes retenues.....	190
3.25	Gamme de variations annuelle et saisonnières des paramètres du groupe 1, pour chaque région hydrographique (période 1973-1975).....	192
3.26	Identification des paramètres du groupe 1 et décompte des stations par région, pour lesquelles les critères d'utilisation de l'eau pour l'alimentation ne sont pas respectés (période 1973-75).....	193
3.27	Identification, pour chaque paramètre du groupe 1, des stations par région où les critères d'utilisation pour l'alimentation ne sont pas respectés (période 1973-75).....	194
3.28	Valeurs extrêmes et gammes de variations, sur une base annuelle et saisonnière, des paramètres du groupe 2, dans les différentes régions hydrographiques (1967-75).....	195
3.29	Identification des paramètres du groupe 2 et décompte des stations pour lesquelles les critères d'utilisation de l'eau pour la vie aquatique, la récréation et l'alimentation ne sont pas respectés (période 1967-1975).....	196
3.30	Identification, pour chaque paramètre du groupe 2 des stations, par région où les critères d'utilisation pour la vie aquatique ne sont pas respectés (période 1967-75).....	197
3.31	Identification, pour chaque paramètre du groupe 2 des stations par région où les critères d'utilisation pour la récréation ne sont pas respectés (période 1967-1975).....	198
3.32	Identification, pour chaque paramètre du groupe 2 des stations, par région où les critères d'utilisation pour l'alimentation ne sont pas respectés (période 1967-75).....	199
3.33	Signification des autocorrélations: distribution des codes selon les régions.....	202

3,34	Signification des autocorrélations: distribution des codes selon les paramètres.....	203
3,35	Contenu en information des séries hebdomadaires relatives aux paramètres du groupe 1 très significativement autocorrélées (niveau 1%).....	204
3,36	Coefficient de variation C_v ($C_v = \text{écart-type/moyenne}$) des paramètres des groupes 1 et 2A calculés aux 21 stations retenues (Période 1970-75).....	205
3,37	Etude de la tendance des moyennes annuelles des paramètres du groupe 1.....	206

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE 2

2.1	Localisation et identification des stations d'échantillonnage des régions hydrographiques 01 et 02.....	208
2.2	Localisation et identification des stations d'échantillonnage de la région hydrographique 03.....	209
2.3	Localisation et identification des stations d'échantillonnage de la région hydrographique 04.....	210
2.4	Localisation et identification des stations d'échantillonnage de la région hydrographique 05.....	211
2.5	Localisation et identification des stations d'échantillonnage de la région hydrographique 06.....	212
2.6	Localisation et identification des stations d'échantillonnage de la région hydrographique 07.....	213
2.7	Répartition du nombre de stations du réseau échantillonnées suivant une fréquence de type donné.....	214
2.8	Répartition de l'effectif (N_T) des stations échantillonnées suivant les années pour chaque région.....	215

CHAPITRE 3

3.1	Localisation des bassins versants considérés dans l'étude spatiale (période 1973-75).....	216
3.2	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations des régions 01 et 02: moyennes interannuelles (période 1973-75).....	217
3.3	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 03: moyennes interannuelles (période 1973-75).....	218
3.4	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 04: moyennes interannuelles (période 1973-75).....	219
3.5	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 05: moyennes interannuelles (période 1973-75).....	220
3.6	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 06: moyennes interannuelles (période 1973-75).....	221
3.7	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 07: moyennes interannuelles (période 1973-75).....	222
3.8	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations des régions 01 et 02: moyennes d'hiver (période 1973-75).....	223
3.9	Représentation de la conductivité et de la répartition en ions majeurs des stations de la région 03: moyennes d'hiver (période 1973-75).....	224
3.10	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 04: moyennes d'hiver (période 1973-75).....	225
3.11	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 05: moyennes d'hiver (période 1973-75).....	226

3.12	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 06: moyennes d'hiver (période 1973-75).....	227
3.13	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 07: moyennes d'hiver (période 1973-75).....	228
3.14	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations des régions 01 et 02: moyennes de printemps (période 1973-75).....	229
3.15	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 03: moyennes de printemps (période 1973-75).....	230
3.16	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 04: moyennes de printemps (période 1973-75).....	231
3.17	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 05: moyennes de printemps (période 1973-75).....	232
3.18	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 06: moyennes de printemps (période 1973-75).....	233
3.19	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 07: moyennes de printemps (période 1973-75).....	234
3.20	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations des régions 01 et 02: moyennes d'été (période 1973-75).....	235
3.21	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 03: moyennes d'été (période 1973-75).....	236
3.22	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 04: moyennes d'été (période 1973-75).....	237
3.23	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 05: moyennes d'été (période 1973-75).....	238

3.24	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations des régions 01 et 02: moyennes d'automne (période 1973-75),.....	239
3.25	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 03: moyennes d'automne (période 1973-75),.....	240
3.26	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 04: moyennes d'automne (période 1973-75),.....	241
3.27	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 05: moyennes d'automne (période 1973-75),.....	242
3.28	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 06: moyennes d'automne (période 1973-75),.....	243
3.29	Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 07: moyennes d'automne (période 1973-75),.....	244
3.30	Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la silice et de la répartition des moyennes saisonnières des stations des régions 01 et 02 (période 1973-75),.....	245
3.31	Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la silice et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 03 (période 1973-75),.....	246
3.32	Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la silice et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 04 (période 1973-75),.....	247
3.33	Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la silice et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 05 (période 1973-75),.....	248
3.34	Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la silice et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 06 (période 1973-75),.....	249
3.35	Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la silice et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 07 (période 1973-75),.....	250

3.36	Représentation des concentrations moyennes interannuelles des nitrates et de la répartition des moyennes saisonnières des stations des régions 01 et 02 (période 1973-75).....	251
3.37	Représentation des concentrations moyennes interannuelles des nitrates et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 03 (période 1973-75).....	252
3.38	Représentation des concentrations moyennes interannuelles des nitrates et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 04 (période 1973-75).....	253
3.39	Représentation des concentrations moyennes interannuelles des nitrates et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 05 (période 1973-75).....	254
3.40	Représentation des concentrations moyennes interannuelles des nitrates et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 06 (période 1973-75).....	255
3.41	Représentation des concentrations moyennes interannuelles des nitrates et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 07 (période 1973-75).....	256
3.42	Représentation des concentrations moyennes interannuelles des phosphates et de la répartition des moyennes saisonnières des stations des régions 01 et 02 (période 1973-75).....	257
3.43	Représentation des concentrations moyennes interannuelles des phosphates et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 03 (période 1973-75).....	258
3.44	Représentation des concentrations moyennes interannuelles des phosphates et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 04 (période 1973-75).....	259
3.45	Représentation des concentrations moyennes interannuelles des phosphates et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 05 (période 1973-75).....	260
3.46	Représentation des concentrations moyennes interannuelles des phosphates et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 06 (période 1973-75).....	261
3.47	Représentation des concentrations moyennes interannuelles des phosphates et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 07 (période 1973-75).....	262

3.48	Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la dureté et de la répartition des moyennes saisonnières des stations des régions 01 et 02 (période 1973-75),.....	263
3.49	Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la dureté et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 03 (période 1973-75),.....	264
3.50	Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la dureté et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 04 (période 1973-75)	265
3.51	Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la dureté et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 05 (période 1973-75)	266
3.52	Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la dureté et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 06 (période 1973-75)	267
3.53	Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la dureté et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 07 (période 1973-75),.....	268
3.54	Analyse factorielle des correspondances sur les moyennes annuelles des ions majeurs, de la conductivité et de la silice - Représentation simultanée dans le plan des axes principaux 1 et 2 des "points-paramètre" et des "points-stations",.....	269
3.55	Classification ascendante hiérarchique obtenue en considérant les distances entre stations calculées à partir des quatre premiers facteurs de l'AFC appliquée aux moyennes annuelles des ions majeurs, de la conductivité et de la silice.....	270
3.56	Regroupement des stations obtenu par C.A.H. et représentation dans le plan des axes principaux 1 et 2.....	271
3.57	Régions physiographiques du Québec	272
3.58	Zonation des groupes de stations obtenus par classification ascendante hiérarchique et caractérisation physico-chimique....	273
3.59	Localisation des valeurs maximales régionales des paramètres du groupe 1, en fonction de la gamme des critères d'utilisation de l'eau et en particulier par rapport aux critères relatifs à l'alimentation en eau (période 1973-75),.....	274

3.60	Non respect des critères d'utilisation de l'eau pour l'alimentation: distribution en pourcentage de l'effectif des stations pour les paramètres du groupe 1 suivant les régions (période 1973-75).....	275
3.61	Localisation des valeurs extrêmes annuelles des paramètres du groupe 2 en fonction des critères d'utilisation de l'eau, en particulier par rapport aux critères relatifs à la vie aquatique, à la récréation et à l'alimentation en eau (période 1973-75).....	276
3.62	Non respect des critères d'utilisation de l'eau pour la vie aquatique, la récréation et l'alimentation en eau: distribution en pourcentage de l'effectif des stations pour les paramètres du groupe 2 suivant les régions (période 1973-75)...	277

AVANT PROPOS

Ce travail, effectué pour le compte du service Qualité des eaux du M.R.N., à partir d'un nombre important de mesures physico-chimiques obtenues à partir de 1967, vise trois buts principaux:

- identifier de quelle manière, les objectifs poursuivis lors de l'établissement du réseau ont été atteints
- valoriser l'information acquise en mettant au service des utilisateurs, des données fiables
- effectuer des recommandations pour l'acquisition future des données.

Il s'agit donc de faire le point sur l'opération passée du réseau et de contribuer à la planification de son opération future.

Pour faciliter et favoriser l'utilisation et l'exploitation de ce travail, le rapport comprendra les parties suivantes:

- le tome 1 du rapport, qui présente les principaux résultats de l'étude
- le tome 2, qui regroupe les figures et tableaux auxquels le rapport principal fait référence
- le tome 3, qui regroupe:
 - . l'annexe A, dans laquelle une étude physico-chimique détaillée de chacun des 23 paramètres considérés est effectuée
 - . l'annexe B, qui traite de manière détaillée, de l'étape importante de l'établissement d'une banque de données validées
 - . l'annexe C, qui regroupe les différentes méthodes de traitement statistique utilisées dans l'étude
 - . l'annexe D, qui traite des caractéristiques physiographiques et géologiques du territoire considéré; cette partie sert de support à l'interprétation des résultats obtenus.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Dans les différents chapitres de cette étude, plusieurs conclusions ont été explicitement formulées. Certaines autres peuvent également être tirées de l'examen général des données, tant du point de vue de leur obtention que de celui de leur validation et de leur regroupement en banques. Cet ensemble de conclusions relatives à la description, la mise en valeur et l'analyse des données disponibles conduit à un certain nombre de recommandations qui concernent l'opération future du réseau d'acquisition des données des paramètres de qualité considérés dans cette étude et, également, l'exploitation de l'information acquise.

Ces conclusions (C) et recommandations (R) sont présentées de manière synthétique en considérant successivement:

- l'acquisition des données
- le contrôle et la validation des données
- l'établissement des banques de données
- l'analyse des données

1. Acquisition des données

Conclusions

Il ressort de l'examen général des données et de l'analyse des propriétés des paramètres mesurés (annexe A)

- (C.1) La procédure de composés d'échantillons, abandonnée à partir de 1972 donne une information réduite, peu exploitable et dans certains cas douteuse, en raison des problèmes de conservation reliés aux délais entre le prélèvement et l'analyse.

(C.2) L'échantillonnage, par des observateurs locaux, introduit des biais, dus d'une part, à l'hétérogénéité du mode de prélèvements par les observateurs et d'autre part, à la technique de conservation utilisée (congélation après 1972). Ces biais, difficilement quantifiables, peuvent nuire à la qualité des données et rendre leur comparaison difficile.

Recommandations

- (R.1) L'utilisation des observateurs locaux, qui permet l'obtention d'observations concomittantes, nécessite un plus grand contrôle et une meilleure formation.
- (R.2) Il est important, pour l'homogénéité et la qualité des données acquises, que les meilleurs moyens de préservation soient identifiés et mis en oeuvre. Dans cette optique, les efforts entrepris par le M.R.N., concernant les techniques de conservation et l'influence des temps de délai devraient être intensifiés.

2. Contrôle et validation des données

Conclusions

- (C.3) Un nombre relativement important de valeurs aberrantes dues à des erreurs d'échantillonnage, d'analyse en laboratoire ou de transcription ont été détectées sur les cartes informatiques section B.2.2 de l'annexe B).
- (C.4) Le filtrage statistique (section B.3.4), basé sur la détection des valeurs extrêmes, a permis la détection de valeurs douteuses et aberrantes, pour l'ensemble des paramètres, sur une base annuelle et saisonnière.

- (C.5) Le filtrage physico-chimique (section B.3.3), basé sur le bilan ionique, a permis d'identifier les valeurs douteuses et aberrantes des ions majeurs et de la conductivité. Cette procédure n'est valable que lorsque les sept ions majeurs et la conductivité sont mesurés.

Recommandations

- (R.3) Un contrôle des résultats d'analyses doit être effectué pour détecter, sitôt après l'analyse en laboratoire, les valeurs douteuses et aberrantes et, éventuellement, recommencer les mesures. Les caractéristiques historiques (section 3.2.4, tableau 3.8), annuelles et saisonnières à chaque station, pour chaque paramètre (moyenne, intervalles de confiance), peuvent être utilisées pour cette identification. Un soin particulier devrait également être apporté pour éviter les erreurs de transcription des données sur cartes informatiques.
- (R.4) Dans les cas où les valeurs des sept ions majeurs et de la conductivité sont déterminées, un contrôle des données par filtrage physico-chimique (section B.3.3 de l'annexe B) devrait être effectué et, si possible, aussitôt après les analyses en laboratoire.
- (R.5) Un contrôle à posteriori des données devrait être effectué périodiquement, en utilisant un filtrage statistique (section B.3.4 de l'annexe B), pour détecter et codifier les valeurs douteuses et aberrantes des banques annuelle et saisonnières.

3. Banque de données

Conclusions

- (C.6) L'établissement de la banque de données, à partir des cartes informatiques a été rendu difficile, en raison de la forme rigide du support et des modifications analytiques (sensibilité, seuil de détection, mesure de nouveau paramètre) qui sont intervenues durant la période 1967-75.
- (C.7) Les synthèses de la banque, effectuées par station ou par paramètre (section 3.1.3), ainsi que le décompte et la classification des données (section B.3.5 de l'annexe B), donnent une vue générale de l'information disponible et ont constitué le support indispensable à l'analyse des données.
- (C.8) Le découpage saisonnier, basé sur les épisodes hydrologiques de hautes-eaux et de basses-eaux, a permis une meilleure interprétation des résultats d'analyse.

Recommandations

- (R.6) Les données devraient être regroupées dans une banque séquentielle bi-indexée qui, tout en étant compatible avec d'autres banques existantes au niveau national, serait très compacte et d'utilisation souple.
- (R.7) Des synthèses par station et par paramètre devraient être effectuées de manière systématique et, en raison de leur présentation compacte, pourraient être publiées.
- (R.8) Le découpage devrait être amélioré en mesurant ou estimant systématiquement les débits associés aux prélèvements et en les introduisant dans la banque. La connaissance de ce paramètre permettrait en outre le calcul des débits massiques, ce qui permet un autre niveau d'interprétation.

4. Analyse des données

De manière générale (cf section 2.3), dans l'analyse des données, on est amené, en se basant sur des critères de fréquence de prélèvement, de densité et de durée d'opération des stations, à considérer deux groupes de paramètres:

- Le groupe 1: qui comprend la silice, le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium, les sulfates, la conductivité, les nitrates et les phosphates.
- Le groupe 2: qui peut être subdivisé en:
 - . (2A): bicarbonates, dureté totale, dureté non carbonatée, pH et alcalinité
 - . (2B): solides dissous, couleur, oxygène dissous, fer, manganèse, carbonates et fluorures et la température.

L'analyse des données a été effectuée en examinant la variabilité spatiale, la variabilité temporelle et le comportement des valeurs extrêmes des paramètres considérés dans le réseau. On dégage ici, les principales conclusions établies dans les différentes parties de l'étude. En ce qui concerne les recommandations, elles sont présentées dans l'optique de l'opération du réseau, c'est à dire que l'on distingue ce qui concerne la densité du réseau, la fréquence de prélèvements et les paramètres effectivement mesurés.

Conclusions

Variabilité spatiale

- (C.9) Il est possible de mettre en évidence (section 3.2.3 b), pour les paramètres du groupe 1 dans la période 1973-75, une certaine variabilité inter-annuelle explicable par des conditions hydrologiques, mais sans influence notable sur l'interprétation de la variabilité spatiale.

- (C.10) La précision relative atteinte sur la moyenne inter-annuelle des paramètres du groupe 1 est, en général, inférieure à 15%, sauf pour les nitrates et les phosphates, où elle est inférieure à 25% (section 3.2.4 b).
- (C.11) Les moyennes saisonnières (au sens de saison hydrologique), pour un paramètre du groupe 1 à une station donnée, sont en général, significativement différentes entre elles (section 3.2.4 c) et plus élevées en hiver.
- (C.12) Deux effets, la variabilité des valeurs à l'intérieur d'une saison et l'effectif de la série saisonnière, influencent la précision relative des moyennes saisonnières. De manière générale (section 3.2.4 b), la précision atteinte sur la moyenne, est meilleure dans les périodes de hautes-eaux (printemps et surtout automne).
- (C.13) La variabilité spatiale des moyennes annuelles des ions majeurs, de la conductivité et de la silice est explicable par des considérations géologiques et physiographiques. On peut distinguer (section 3.2.6):
- la zone des basses terres, caractérisée par des valeurs moyennes élevées de sodium, chlorures et potassium
 - la zone des Appalaches et la péninsule gaspésienne, caractérisée par des valeurs moyennes élevées en calcium et magnésium
 - une zone de transition, située entre les Appalaches et les basses terres, caractérisée par des valeurs moyennes intermédiaires de sodium, chlorures, calcium et magnésium
 - la zone du Bouclier canadien, caractérisée par des valeurs moyennes relativement fortes en silice et, à un degré moindre, en sulfates, par rapport à ce que l'on observe pour les autres ions majeurs.

- (C.14) La variabilité spatiale des moyennes annuelles de nitrates et de phosphates, essentiellement reliée à l'utilisation du territoire, est caractérisée (section 3.2.7) par de faibles valeurs dans les régions 06, 07 et 01 et des valeurs élevées dans les régions 03, 05 et 02.
- (C.15) Les données disponibles pour les paramètres du groupe 2 n'ont permis que des études sommaires de la variabilité spatiale des moyennes annuelles de la couleur, du fer, du manganèse et des fluorures (section 3.2.8). C'est seulement dans le cas de la couleur, qu'une variabilité spatiale significative a pu être mise en évidence

Valeurs extrêmes

- (C.16) Pour les paramètres du groupe 1, les valeurs minimales observées varient peu d'une région à l'autre ou d'une saison à l'autre.
- (C.17) Les valeurs maximales des paramètres du groupe 1 sont variables suivant les régions et les saisons (section 3.3.2) :
- les plus fortes valeurs sont atteintes dans les régions 03, 02 et 05, et les plus faibles dans les régions 01, 06 et 07 (à l'exception de la silice)
 - les valeurs maximales sont observées en hiver et en automne.
- (C.18) Dans le cas des paramètres du groupe 1, les critères de qualité pour l'alimentation en eau ne sont pas toujours respectés pour les phosphates, dans les régions 02, 03, 04, 05 et 06.

- (C.19) En ce qui concerne les paramètres du groupe 2 (section 3.3.3), les valeurs minimales sont assez peu variables suivant les saisons et les régions; dans le cas des solides dissous, de la dureté totale, du pH et de l'alcalinité, on observe de faibles valeurs dans les régions 05, 06 et 07.
- (C.20) Les valeurs maximales des paramètres du groupe 2 sont les plus élevées dans la région 03 et atteignent leur plus bas niveau dans les régions 01, 06 et 07.
- (C.21) En ce qui concerne les paramètres du groupe 2, le non-respect des critères de qualité est indicatif de problèmes actuels ou potentiels:
- pour la vie aquatique, dans le cas des valeurs minimales d'alcalinité observées dans les régions 02, 04, 05, 06 et 07
 - pour la récréation, dans le cas des valeurs maximales et minimales de pH
 - pour l'alimentation en eau, dans le cas des valeurs maximales de fer et de manganèse (régions 02, 03 et 05), des valeurs maximales d'alcalinité et de pH (régions 01, 02 et 03) et des valeurs minimales de dureté totale, de pH et d'alcalinité (régions 04, 05, 06 et 07)
- (C.22) L'examen des séries hebdomadaires et mensuelles de l'ensemble des paramètres du groupe 1 (section 3.4.4), sur une base régionale, montre que:
- pour l'ensemble des régions 01 à 05, il y a redondance de l'information acquise avec une fréquence hebdomadaire (autocorrélation significative)

- pour la région 07, les valeurs acquises sont indépendantes, tant au niveau hebdomadaire que mensuel.

(C.23) L'examen, pour les paramètres du groupe 1, des séries hebdomadaires et mensuelles pour l'ensemble des 21 stations retenues (section 3.4.3) montre que:

- pour tous les paramètres, à l'exception de la silice, des sulfates et des nitrates, il y a, en général, redondance de l'information au niveau hebdomadaire, mais non au niveau mensuel
- les nitrates sont caractérisés par une redondance de l'information au niveau mensuel et hebdomadaire
- dans le cas de la silice et des sulfates, il y a une redondance de l'information, au niveau hebdomadaire et parfois mensuel.

(C.24) L'analyse de la variabilité des séries longues, aux 21 stations retenues, des paramètres des groupes 1 et 2A indique que:

- les coefficients de variation déterminés pour la silice, les ions majeurs, la conductivité, les bicarbonates, la dureté totale et l'alcalinité, sont relativement stables et peu élevés (30%)
- les coefficients de variation, déterminés pour les nitrates, et les phosphates (paramètres reliés à l'utilisation du territoire) sont élevés (60 à 80%). Il en est de même pour la dureté non carbonatée (paramètre calculé).

(C.25) La comparaison des moyennes annuelles ne permet pas de mettre en évidence des tendances dans le temps, pour les paramètres du groupe 1, sauf peut-être, dans le cas des chlorures, où l'hypothèse de tendance n'est pas contredite. La variabilité des moyennes annuelles peut, en général, être expliquée par des effets hydrologiques ou des considérations analytiques.

Recommandations

On peut distinguer deux types de recommandations:

- tout d'abord, des recommandations spécifiques, qui, reliées aux objectifs de connaissance générale de la variabilité spatiale et temporelle poursuivis lors de l'opération du réseau de 1967 à 1975, concernent les 23 paramètres effectivement mesurés
- ensuite, des recommandations générales qui donnent les bases méthodologiques de la planification future du réseau.

(R.9) En ce qui concerne les paramètres du groupe 1, il ressort des conclusions C.22 et C.23, que, de manière générale:

- pour les régions 01 à 05, la fréquence mensuelle de prélèvement est acceptable, sauf pour les nitrates où elle peut être réduite. Pour la silice et les sulfates, la fréquence mensuelle peut être trop élevée
- pour la région 07, la fréquence hebdomadaire peut être insuffisante
- pour la région 06, la fréquence de prélèvement à considérer varie selon le paramètre (hebdomadaire ou mensuelle)

- (R.10) La détermination de la fréquence de prélèvement des paramètres du groupe 1 devrait s'appuyer sur le niveau de précision, requis sur les moyennes annuelle ou saisonnières. Ceci conduit à recommander une fréquence variable par saison, si l'on veut atteindre la même précision pour chaque moyenne saisonnière (conclusions C.10 et C.12).
- (R.11) La densité de stations, relatives à la mesure des ions majeurs, de la conductivité et de la silice, peut être réduite en considérant quatre zones homogènes (conclusion C.13). Les stations retenues devraient être celles où l'on dispose déjà de séries longues (en particulier, les 21 stations choisies pour l'étude temporelle).
- (R.12) En ce qui concerne les nitrates et les phosphates, la densité et la localisation des stations devraient, dans chaque région, être déterminées en fonction de l'intensité des usages de l'eau, pour lesquelles ces paramètres ont une importance (conclusion C.14)
- (R.13) Une interprétation plus complète de la variabilité des nitrates et des phosphates devrait s'appuyer sur une identification des activités agricoles et des zones de rejet (sections 3.2.7 b et 3.4.5).
- (R.14) Si, dans certaines régions et pour certaines utilisations de l'eau, les valeurs extrêmes des paramètres du groupe 1 présentent un intérêt, les périodes d'hiver et d'automne devraient faire l'objet d'un échantillonnage plus fréquent (conclusion C.17).

- (R.15) L'acquisition de données supplémentaires concernant les paramètres du groupe 2 est nécessaire, si une connaissance de leur variabilité spatiale et temporelle présente un intérêt.
- (R.16) L'analyse de la température devrait prendre en compte l'ensemble des données disponibles concernant ce paramètre, en particulier, celles qui existent ailleurs que dans la banque considérée (sections 3.2.8 a et 3.4.3 c).
- (R.17) En ce qui concerne les bicarbonates, leur calcul direct à partir de l'alcalinité ou du carbone inorganique et du pH (section A.1.9 de l'annexe A) semble préférable à leur reconstitution, considérée à la section 3.2.4 c.

DE MANIERE GENERALE, POUR PROGRESSER DANS LA VOIE DE RATIONALISATION DU RESEAU QUALITE DES EAUX, IL EST SOUHAITABLE DE DEFINIR, EN PLUS DES OBJECTIFS ACTUELS DE CONNAISSANCE GENERALE (VARIABILITES SPATIALE ET TEMPORELLE) D'UN CERTAIN NOMBRE DE PARAMETRES, DES OBJECTIFS PLUS PRECIS, RELIES AUX DIVERSES UTILISATIONS DE L'EAU.

Dans cet esprit, il est recommandé:

- (R.18) De déterminer, pour chaque utilisation générale ou régionale de l'eau, les paramètres pertinents et plus précisément, la ou les caractéristiques statistiques d'intérêt de ces paramètres (moyenne, médiane, percentile...), en fonction des objectifs de connaissance visés.
- (R.19) De fixer, même grossièrement, pour chaque caractéristique, un niveau de précision requis en fonction de l'importance de cette caractéristique, pour l'utilisation considérée.

- (R.20) De planifier, à priori, les traitements de données qui seront effectués, en vue d'identifier les contraintes qu'ils peuvent imposer au plan d'échantillonnage (concomitance des observations à différentes stations, mesure simultanée de plusieurs paramètres, pas de temps systématique entre les observations à une station, etc...).
- (R.21) D'établir le plan d'échantillonnage, en vue d'atteindre l'objectif de précision visé (fréquence de prélèvements, densité et localisation des stations), en exploitant au mieux l'information historique déjà disponible.
- (R.22) D'évaluer périodiquement l'information acquise, afin de modifier progressivement le réseau jusqu'à ce que l'adéquation entre la précision atteinte et la précision désirée soit effective.

1. INTRODUCTION

1.1 Le réseau Qualité des eaux du M.R.N.: évolution générale et objectifs

La création du réseau Qualité des eaux du M.R.N. remonte à 1967; en effet, comme dans de nombreux autres pays, le besoin d'acquérir une connaissance de base de la qualité de l'eau et de son évolution dans le temps et l'espace, revêtait une importance de plus en plus grande pour répondre aux problèmes soulevés par l'utilisation de la ressource-eau au Québec.

L'année 1968 marque cependant les débuts véritables du réseau, avec un prélèvement plus systématique d'échantillons à un nombre plus important de stations. L'opération du réseau se précise ensuite à partir de 1971 et on constate des réaménagements dans l'opération du réseau suite à l'amélioration des méthodes d'analyse, à la diminution des délais de transfert au laboratoire et au changement de mode de conservation des échantillons. En 1973, à la suite des recommandations d'une étude de planification de l'acquisition des données de qualité de l'eau, réalisée par l'INRS (Caillé et al, 1974), il y a eu une modification importante de la localisation des sites d'échantillonnage se traduisant par la suppression ou le déplacement d'anciennes stations et l'établissement de nouvelles stations situées plus près de l'embouchure des rivières.

Le développement progressif du réseau a été orienté par une définition plus fine des objectifs visés par ce réseau. L'objectif, primaire et très général, de connaissance de base de la qualité de l'eau s'est en effet avéré insuffisant, et a été remplacé par des objectifs plus précis:

- caractérisation, sur une base annuelle ou saisonnière, de la qualité de l'eau des rivières.

- détection de la variabilité spatiale au niveau du Québec.
- détection de l'évolution temporelle des paramètres mesurés et prévisions de leur tendance à long terme.
- mise à la disposition des utilisateurs de données pertinentes et adéquates.

L'opération du réseau de 1967 à 1976 a conduit à l'acquisition d'une masse importante de données (3×10^5) relatives à 23 paramètres physico-chimiques (essentiellement des paramètres généraux et des ions majeurs). L'analyse critique de ces données n'a jamais été effectuée de manière systématique et globale. De plus, la pertinence des paramètres mesurés n'a pas été questionnée dans son ensemble, en fonction des objectifs visés par le réseau et des problèmes d'utilisation de l'eau; c'est pourquoi la nécessité d'effectuer une réévaluation du réseau, à partir des données obtenues depuis 1967, a conduit à la présente étude.

1.2 Objectifs de l'étude

Cette étude comporte trois (3) parties principales, ayant des objectifs différents.

1.2.1 Aspects descriptifs

Cette partie a pour but de caractériser de manière détaillée l'opération du réseau depuis 1967 et de montrer l'évolution du plan d'échantillonnage du point de vue de la localisation des stations, de leur type d'opération, de la fréquence d'échantillonnage et des paramètres mesurés. On effectue une synthèse de l'information disponible en dégagant les principales caractéristiques du réseau afin de valoriser l'information obtenue. Les différents paramètres mesurés sont également étudiés de manière détaillée, pour mettre en évidence leur signification, leur intérêt et le potentiel d'utilisation qu'ils présentent.

1.2.2 Analyse des données

Dans cette partie, une étude critique des données obtenues est d'abord effectuée, afin d'identifier les valeurs douteuses et aberrantes. Cette analyse préliminaire qui consiste en un filtrage de l'information sur des bases physico-chimique et statistique, permet d'établir une banque de données validées. Cette banque est ensuite divisée en sous-banques saisonnières, établies pour chaque région hydrographique du Québec, ce qui permet de caractériser les séries obtenues à chaque station, pour chacun des paramètres, sur une base annuelle et saisonnière.

L'analyse des données validées qui a pour but, lorsque les données le permettent, de mettre en évidence et de caractériser:

- la variabilité spatiale des paramètres mesurés, sur l'ensemble du territoire
- la variabilité temporelle des paramètres mesurés, aux stations où l'on dispose de séries longues
- les valeurs extrêmes observées et de les situer par rapport aux critères d'utilisation.

En raison du nombre important de données, ces études seront menées de façon globale et systématique sur une base régionale.

1.2.3 Conclusions et recommandations

Dans cette partie, on regroupe de manière synthétique, les principales conclusions du rapport qui ont trait à la méthodologie analytique, au contrôle et à la validation des données, à l'établissement des banques et à l'analyse des données,

Cet ensemble de conclusions permet d'en arriver à:

- des recommandations spécifiques quant à l'acquisition future des données (densité des stations, fréquence de prélèvement), dans le cadre des objectifs de connaissance générale définis lors de la mise en place du réseau;
- des recommandations générales qui jettent les bases de l'opération future du réseau, pour atteindre des objectifs précis, reliés aux diverses utilisations de l'eau.



2. CARACTERISATION DU RESEAU

Comme dans de nombreux autres pays, le besoin d'acquérir une connaissance de base de la qualité de l'eau des rivières et de son évolution dans le temps et l'espace, s'est fait sentir au Québec.

Dans ce qui suit, on décrit d'abord l'implantation des stations du réseau ainsi que le mode de prélèvement et d'acheminement des échantillons d'eau (section 2.1) et, ensuite, les principales caractéristiques des 23 paramètres qui ont été mesurés durant l'opération du réseau (section 2.2). Le détail des propriétés physico-chimiques de ces paramètres est décrit dans l'annexe A; ici il s'agit de montrer de manière succincte pour chacun des paramètres mesurés, l'intérêt et la signification de son prélèvement et de souligner dans le cadre de l'opération du réseau, l'évolution des techniques de prélèvement et d'analyse en laboratoire. A la section 2.3, une analyse de l'évolution du réseau est effectuée, du point de vue de la densité des stations, de leur durée d'opération et de la fréquence de mesure des différents paramètres.

2.1 Stations et opérations sur le terrain

Dès 1967, le Ministère des richesses naturelles (M.R.N.) a implanté cinquante stations sur une quarantaine de rivières et a prélevé un total d'environ soixante-quinze échantillons durant la première année d'opération. A partir de 1968, le réseau a fonctionné sur une base opérationnelle et systématique, la prise d'échantillons étant effectuée, d'une part, par des techniciens du service de l'hydrométrie du M.R.N. lors de leurs tournées régulières de mesure de caractéristiques hydrométriques et, d'autre part, par des observateurs locaux chargés d'échantillonner l'eau de rivière. Il est à noter que les observateurs étaient chargés également de mesurer sur place la température de l'eau lors du prélèvement et de l'acheminer ensuite, par la poste, aux laboratoires du M.R.N., sans aucun autre traitement. De 1968 à 1972, les observateurs accumulaient vingt échantillons d'eau avant de les expédier; à partir de l'été 1972, les bouteilles sont envoyées sur une base individuelle, après que l'échantillon ait été congelé.

Le plan d'échantillonnage a été établi de manière à avoir au moins une station sur chacune des rivières ayant un bassin versant supérieur ou égal à 200 milles carrés; certaines stations ont cependant été situées sur des bassins dont la superficie était inférieure à ce seuil. Dans la localisation des stations, on a cherché à obtenir des échantillons représentatifs des zones où le mélange de l'eau était effectif. Ces stations sont donc généralement éloignées des zones de rejet importants d'égout et des points de confluence.

Suite aux recommandations portant sur la planification de l'acquisition des données de qualité de l'eau du Québec (Caillé et al, 1974), il y a eu à la fin de l'année 1973, suppression d'un certain nombre de stations et création de plusieurs autres. Ces modifications avaient pour but de rapprocher les stations de mesure de la qualité de l'eau de l'embouchure des rivières.

De 1967 à la fin de l'année 1975, 332 stations ont donc été opérées dans les onze régions hydrographiques du Québec (définies par le M.R.N.). Dans cette étude, nous considérons les données obtenues aux 257 stations réparties dans les régions hydrographiques 01 à 07. Les 14 stations situées sur le St-Laurent (région 00), les stations des régions 9 et 10 qui ont déjà été étudiées (Bobée et al, 1976), ainsi que les 36 stations spéciales des bassins Yamaska et St-François qui ont déjà fait l'objet de travaux spéciaux (Campbell et al, 1976a; 1976b) ont été éliminées de l'étude. Pour certaines stations du réseau, on ne dispose que de peu de données et pendant une période réduite; ces stations ont en général été opérées dans le cadre d'études spéciales.

2.2 Paramètres mesurés

Les paramètres de qualité caractérisent les propriétés d'une eau. Ils sont souvent utilisés pour déterminer le potentiel d'une eau, pour des usages bénéfiques ou encore, pour évaluer le type et le degré de traitement nécessaire pour rendre cette eau acceptable. De plus, à un niveau plus académique, ils servent à interpréter des phénomènes ou réactions qui ont lieu dans le milieu aquatique.

De 1967 à 1972, après réception des échantillons au laboratoire, ceux-ci étaient laissés à la température de la pièce et, ensuite, analysés dans les meilleurs délais. Les paramètres susceptibles de varier lors de l'entreposage (nitrates, phosphates) étaient analysés les premiers. Le temps écoulé entre le prélèvement des échantillons et l'analyse en laboratoire était parfois très long (plusieurs semaines, voire des mois); depuis l'été 1972, ce délai est réduit à quelques jours (ordinairement un maximum de quatre jours).

Les paramètres mesurés ou calculés par le M.R.N., lors de l'opération de son réseau, de même qu'un résumé de leur utilité sont présentés dans le tableau 2.1. Il est à noter que l'utilité de la mesure des paramètres est discutée en détail et sur une base individuelle dans l'annexe A. Pour les paramètres calculés (bicarbonates, dureté totale, dureté non carbonatée), les équations permettant de les obtenir sont également donnés dans l'annexe A.

Afin de comprendre le choix de ces paramètres, il est nécessaire de se reporter aux objectifs initiaux du M.R.N., lors de l'élaboration du réseau qui étaient de fournir des données de base pour définir la qualité des eaux du Québec. De plus, on ne disposait, à l'époque, que de très peu de données, éparses et très sectorielles. Les contraintes existantes à ce moment (personnel, méthodes de mesure, technologie, etc), ont probablement été un autre facteur prédominant qui a influencé la sélection des paramètres.

Les paramètres mesurés se prêtent généralement bien à un inventaire de la ressource qui se veut un support ou un point de départ, pour la planification de réseaux plus élaborés, quoique dans l'optique d'un réseau de base, certains peuvent être considérés comme redondants (ex. conductivité vs solides dissous). Ils peuvent être utilisés pour déterminer de façon grossière, le potentiel d'une eau pour différents usages, mais on ne peut cependant prétendre qu'ils couvrent tout le spectre des paramètres qu'il est nécessaire de déterminer, pour définir le potentiel d'une eau pour un usage donné.

Soulignons que, pour quelques stations (28), échantillonnées journalièrement de 1968 à 1972, l'analyse a été effectuée sur un composé d'échantillons. On entend par composé, un mélange de l'eau d'un groupe d'échantillons consécutifs à une même station. Le composé était constitué d'un maximum de quinze échantillons consécutifs prélevés journalièrement dont la valeur de la conductivité ne variait pas de plus de 10% avec l'échantillon précédent; un échantillon représentatif du mélange était prélevé et analysé. Le but visé était de réduire le nombre d'analyses. Cette méthode a été abandonnée en 1973 à cause des délais encourus et aussi parce que le critère pour constituer les composés, basé sur la variation de la conductivité, était valable pour l'étude de celle-ci, mais pas nécessairement adéquat pour les autres paramètres.

Les méthodes analytiques utilisées pour évaluer ces paramètres ont évolué dans le temps avec l'implantation de nouvelles technologies et avec le recrutement accru de personnel technique. Dans l'évolution de l'analyse en laboratoire, on peut distinguer quelques étapes où des changements se sont produits:

- 1967; début de l'opération du réseau
- 1970-1971; installation d'auto-analyseurs Technicon AA-1
- 1973; installation d'auto-analyseurs Technicon AA-2
- 1976; installation d'un spectrophotomètre d'absorption atomique Perkin-Elmer (modèle 360).

Dans le tableau 2.2, on présente les principales caractéristiques (limite de sensibilité, fidélité, justesse) des mesures à différentes dates de l'opération du réseau. L'évolution de ces caractéristiques dans le temps est décrite en plus de détails dans l'annexe A. Elles ont été tirées de deux rapports internes du M.R.N. (M.R.N., 1972; M.R.N., 1974). La limite de sensibilité est définie comme la concentration nécessaire pour obtenir un signal égal à deux fois le bruit de fond. La fidélité se définit comme la mesure de la reproductibilité d'un résultat pour une justesse donnée; on la détermine à partir de réplicats. Dans le tableau 2.2, elle est exprimée en terme de coefficient de variation. La justesse est une mesure de la proximité du résultat par rapport à la valeur vraie; on peut l'estimer en dosant des ajouts de concentration connue. Elle est exprimée sous forme de pourcentage de récupération de ces ajouts.

2.3 Caractéristiques de l'échantillonnage et de l'analyse de 1967 à 1975

Le but de cette section est de dégager, de manière synthétique, les principales caractéristiques de l'opération du réseau qui a permis d'obtenir de 1967 à 1975, une masse considérable de données (de l'ordre de 3×10^5). Il importe en effet, de mettre en évidence de quelle manière ont évolué:

- l'opération de l'ensemble des stations (densité des stations, durée d'opération)
- la fréquence de mesure des différents paramètres.

A cette fin, des tableaux synthétiques obtenus par le traitement préliminaire de la banque générale non validée ont été utilisés. Ces tableaux sont du même type que ceux décrits dans la section B,3,5 de l'annexe B.

2.3.1 Opération des stations

Dans toute la suite de l'étude, nous considérons comme unité de base, la région hydrographique, suivant le découpage effectué par le M.R.N.

Les figures 2.1 à 2.6 indiquent pour les sept régions hydrographiques (suivant le découpage effectué par le M.R.N.), la localisation des stations et leur numéro de code (les deux premiers caractères du code identifient la région hydrographique, les deux suivants, la rivière et les deux derniers, la station). Pour tracer ces figures, afin de permettre une meilleure visualisation, on a seulement considéré les stations dont l'effectif total de données, sur la période 1967-1975 est supérieur à dix valeurs.

Les tableaux 2.3 à 2.9 donnent pour chaque station des sept régions hydrographiques:

- le numéro du code de la station selon le M.R.N.
- la rivière sur laquelle est localisée la station
- la superficie (en milles carrés) du bassin versant drainé au droit de la station

- les dates d'ouverture et de fermeture de la station; les données ne sont traitées dans cette étude, que jusqu'en décembre 1975; ainsi, lorsque la date de fin de station est 12/75, la station est encore en opération
- le total maximum de données dont on peut disposer pour l'ensemble de la période 1967-1975
- pour chacune des années, le nombre maximum d'analyses effectuées, ainsi que le code de la fréquence d'échantillonnage. Par exemple, dans le cas de la station 01080A (tableau 2.3), il y a eu 15 échantillons analysés en 1971, avec une fréquence mensuelle.

Ces tableaux permettent donc de caractériser l'ensemble des stations du réseau et de montrer, pour chacune d'entre elles, l'évolution de l'échantillonnage et des analyses suivant les années. Les valeurs du nombre maximum d'analyses ainsi que le code caractérisant la fréquence d'échantillonnage sont applicables aux paramètres les mieux mesurés, pour une année donnée. Une discrimination entre les paramètres sera effectuée dans un tableau subséquent (tableau 2.13).

En pratique, le nombre d'analyses d'un paramètre donné peut être inférieur au nombre maximum d'échantillons analysés, lorsque, pour ce paramètre, toutes les analyses n'ont pas été effectuées pour une raison quelconque, si la mesure de ce paramètre n'a pas été considérée à tous les prélèvements, ou si des composés d'échantillons ont été effectués.

Le code de fréquence journalier (J), hebdomadaire (H), mensuel (M) ou autre (A), indique la tendance générale du plan d'échantillonnage; il est possible d'obtenir 15 analyses avec une fréquence d'échantillonnage mensuelle, si au cours de plusieurs mois, on dispose de plus d'une donnée. De même, on peut obtenir, dans une année, 20 échantillons avec une fréquence hebdomadaire, si une période de l'année seulement est échantillonnée plus intensivement.

Le tableau 2.10 complète les tableaux 2.3 à 2.9 en donnant, pour chacune des stations échantillonnées journalièrement (où l'on retrouve donc des composés d'échantillons), le nombre d'échantillons prélevés au cours des années 1968 à 1972 et le nombre moyen d'échantillons que l'on retrouve par composé durant chaque année et pour l'ensemble des années. Ainsi, à la station 01150A, en 1968, 182 échantillons ont été prélevés pour former 24 composés qui furent analysés, ceux-ci contenaient en moyenne, 7.6 échantillons consécutifs par composé.

Il est intéressant de noter que, sur l'ensemble des stations dont le nombre total d'échantillons formant les composés est de l'ordre de 1000 ou plus, le nombre moyen d'échantillons par composé analysé se situe autour de 7 ou 8 sauf pour les stations de la région 03, où ce nombre baisse aux environs de 5. Un plus petit nombre d'échantillons par composé indique une plus grande variabilité de la conductivité, ce qui laisse présager une plus grande variabilité de la qualité générale de l'eau et possiblement l'occurrence de problèmes particuliers pour cette région.

Le tableau 2.11, établi à partir des tableaux 2.3 à 2.9, indique pour chaque région et chaque année, la répartition des stations échantillonnées, suivant le type de fréquence d'échantillonnage considéré: journalier, hebdomadaire, mensuel ou autre. Ce tableau peut servir de base pour examiner l'évolution de l'acquisition des données de qualité de l'eau durant la période 1968-1975:

- L'importance relative des 4 types de fréquence considérées (J, H, M, A) est visualisée à la figure 2.7, où l'on a tracé, pour l'ensemble du réseau, le pourcentage de stations échantillonnées suivant les 4 fréquences considérées (J, H, M et A). Sur cette figure, on peut distinguer 3 périodes:

- . de 1967 à 1969, l'échantillonnage est effectué sans fréquence vraiment définie (A), ceci est surtout vrai pour 1967, année où le réseau débute. On peut noter une tendance à effectuer davantage de prélèvements journaliers (24%) ou mensuels (13%) en 1968 et 1969.
- . de 1970 à 1972, il y a une nette augmentation de stations échantillonnées mensuellement dont la proportion atteint 40%. Le pourcentage de stations échantillonnées sans fréquence définie (A), reste important (35% environ) mais a fortement diminué par rapport à la période 1967-1969 tandis que le pourcentage de stations échantillonnées journalièrement décroît lentement.
- . de 1973 à 1975, le nombre de stations échantillonnées sans fréquence fixe (A) continue à décroître très rapidement pour atteindre 5%. Il n'y a pratiquement plus de stations échantillonnées journalièrement ou mensuellement, alors que l'échantillonnage hebdomadaire est effectué pour une importante proportion de l'ensemble des stations du réseau (de 80 à 90% suivant les régions).

Ces trois phases mettent bien en évidence, l'évolution du plan d'acquisition des données; les débuts du réseau sont caractérisés par un prélèvement sans fréquence fixe, par la suite, les prélèvements journaliers puis mensuels deviennent plus nombreux et dans la dernière phase, la plupart des stations sont échantillonnées sur une base hebdomadaire.

L'évolution du nombre de stations opérées suivant les années, pour chaque région, apparaît dans le tableau 2.12, qui résume l'information du tableau 2.11, en ne distinguant pas les fréquences d'échantillonnage. De manière générale, on peut remarquer que, durant les années 1971 et 1972, la densité des stations échantillonnées est la plus élevée pour pratiquement toutes les régions. Dans le cas de la région 03, le maximum observé durant l'année 1969, correspond à un échantillonnage spécial des bassins Yamaska et St-François.

La dernière colonne du tableau qui donne le nombre total de stations qui ont été opérées, pour chaque région, de 1967 à 1975, montre que les régions 2, 3 et 5 sont celles pour lesquelles, le nombre de stations échantillonnées est le plus élevé; en effet, ces 3 régions totalisent environ 70% de l'effectif total.

Le tableau 2.13, qui a été déduit des tableaux 2.3 à 2.9 montre la répartition du nombre total de stations opérées dans une région, en fonction de la durée d'opération. Les résultats obtenus montrent qu'environ 70% des stations ont été échantillonnées pendant 3 ans ou moins, et que l'on ne dispose que de très peu de stations longues. La figure 2.8 illustre les résultats du tableau 2.13; pour chaque région, on a tracé, en fonction de la durée d'opération, le pourcentage de stations de la région échantillonnées pendant cette durée, ainsi que la proportion cumulée qui donne le pourcentage de stations ayant été opérées X années ou moins.

Les histogrammes de la figure 2.8, doivent être considérés en tenant compte que:

- l'effectif total (N_T) est très variable suivant les régions et donc qu'un même pourcentage pour 2 régions ne correspond pas au même nombre de stations
- on a regroupé les stations par durée d'opération, indépendamment des années de la période 1967-1975, alors que comme le montre la figure 2.7, le type d'échantillonnage est très variable, suivant les années.

Les graphiques obtenus montrent que, pour toutes les régions, la durée d'opération la plus fréquente est de 1 an ou de 2 ans, à l'exception de la région 1 (figure 2.8.a), pour laquelle cette durée est de 4 ans.

L'histogramme cumulé permet de déterminer rapidement, le pourcentage de stations ayant une durée d'opération supérieure ou inférieure à celle indiquée, par exemple:

- pour la région 07 (figure 2.8.g), 84% des stations ont une durée d'opération de 3 ans ou moins
- pour la région 01 (figure 2.8.a), 40% des stations ont une durée d'opération de 5 ans ou plus
- pour l'ensemble des régions (figure 2.8.h), 70% des stations ont été opérées pendant 3 ans ou moins.

2.3.2 Fréquence de mesure des paramètres

Dans ce qui précède, on a mis en évidence, la manière dont chaque station est échantillonnée en termes de fréquence maximum de mesure et de durée d'opération. Cependant, durant la période 1967-1975, il y a eu plusieurs modifications en ce qui concerne les paramètres mesurés. Cette évolution a été guidée par l'intérêt que ces paramètres présentaient d'un point de vue physico-chimique et également, par l'évaluation critique des techniques d'analyse en laboratoire (section 2.2). Dans le tableau 2.14, on a identifié, pour chaque année, le type de fréquence d'analyse de chacun des 23 paramètres considérés dans l'étude, par rapport à la fréquence maximum de mesure; dans ce but, on a été amenés à considérer différents codes qui indiquent, de manière qualitative, si l'analyse d'un paramètre est effectuée systématiquement (A), souvent (B), irrégulièrement (C), rarement (D) ou jamais (E), lorsque les prélèvements sont effectués. Ce tableau, valable pour toutes les régions, dégage les grandes lignes du plan d'échantillonnage de chaque paramètre; quelques stations représentant des cas particuliers, peuvent cependant faire exception à cette classification. La signification de ce tableau, peut être précisée pour chacune des stations, par les tableaux 2.3 à 2.9, dans le cas de chaque station, comme le montre l'exemple suivant:

Le calcium est systématiquement analysé lorsqu'un échantillonnage est effectué à une station, ainsi, dans le cas de la station 01080A (tableau 2.3), on dispose d'une valeur de calcium par année en 1967 et 1968, de

valeurs mensuelles de 1969 à 1972 et de valeurs hebdomadaires de 1973 à 1975. Dans le cas de la station 02040A (tableau 2.4), on dispose par contre, de 1968 à 1972, de valeurs de calcium dont l'analyse se faisait sur un composé (puisque l'échantillonnage était journalier) constitué en moyenne de 8.6 échantillons (tableau 2.10), et de 1973 à 1975, de valeurs hebdomadaires.

L'analyse du tableau 2.14 fait ressortir plusieurs points:

- les nitrates, la conductivité et les ions majeurs calcium, magnésium, sodium, potassium, sulfates, chlorures sont systématiquement analysés à chaque année
- pour les bicarbonates, la dureté totale, la dureté non-carbonatée, le pH et l'alcalinité, des valeurs sont obtenues à chaque échantillonnage, jusqu'en 1970, ensuite on ne dispose que de peu ou pas de données. L'abandon de la mesure ou du calcul de ces paramètres s'explique en général par le peu de représentativité des données obtenues, par des délais trop longs de conservation avant l'analyse, ou par un manque d'intérêt de ce paramètre
- la silice et les phosphates sont mesurés à partir de 1970, sur une base régulière lors de chaque prélèvement. Ceci est devenu possible avec la mise en service d'auto-analyseurs Technicon AA-1, au laboratoire du M.R.N.
- la couleur, le fer, le manganèse et le fluor sont analysés systématiquement en 1967 et 1968 et ensuite sont, en général, peu analysés ou ne le sont que sur une base occasionnelle
- les carbonates, l'oxygène dissous et les solides dissous sont en général, échantillonnés irrégulièrement et de manière différente, suivant les années.
- la mesure de la température débute en 1970 et, à partir de 1973, on obtient des valeurs pour presque chaque prélèvement, à l'exception des périodes hivernales.

En résumé, les paramètres présentant un intérêt réduit, ont été progressivement abandonnés, en raison des faibles valeurs qu'ils prennent (couleur), du manque de fiabilité des résultats dû à des délais de transport (pH). Par contre, les ions majeurs, la conductivité et les nitrates ont été analysés à chaque échantillon prélevé, depuis 1967. Il en est de même pour la silice et les phosphates, depuis 1970.

3. ANALYSE DES DONNEES

Ce chapitre a pour but d'utiliser l'information fournie par le réseau depuis 1967 afin de mettre en évidence la variabilité spatiale des différents paramètres et faire ressortir leur évolution temporelle. Cependant, pour pouvoir atteindre de manière adéquate ces objectifs, il importe de disposer de données fiables; c'est pourquoi, dans une première étape, un examen très attentif des valeurs obtenues par l'opération du réseau a été effectué. Cette phase de validation et de critique des données contenues dans la banque du M.R.N. est importante, tant d'un point de vue quantitatif, en raison du nombre considérable de résultats (environ 3×10^5), que du point de vue de l'utilisation de la banque validée qui est faite dans cette étude ou qui pourra être faite lors d'études futures du service qualité des eaux du M.R.N.

3.1 Validation et critique des données

L'annexe B indique de manière détaillée, le processus qui a été suivi pour établir une banque de données validées à partir des cartes informatiques fournies par le service qualité des eaux du M.R.N. On s'attache ici à mettre en évidence les principes et les points importants de chaque étape du processus de validation des données, sans revenir sur la phase initiale de lecture des données et de création de fichiers de référence.

3.1.1 Découpage saisonnier

Les fluctuations de débit durant les différentes périodes de l'année sont une cause importante de la variation des concentrations de nombreux paramètres (ions majeurs en particulier) considérés dans l'étude. C'est pourquoi, un découpage saisonnier des séries annuelles, basé sur des considérations hydrologiques, permet une décomposition en séries saisonnières présentant une plus grande homogénéité et une gamme de variation des concentrations plus restreinte.

En pratique (annexe B, section B.3.2), la détermination des saisons a été effectuée pour chacune des sept régions hydrographiques en:

- identifiant, pour la région considérée, les stations de qualité où l'on dispose de données en nombre suffisant et réparties de manière adéquate dans le temps.
- déterminant le groupe de stations hydrométriques non influencées voisines des stations de qualité retenues.
- identifiant à partir des débits mesurés depuis 10 ans les périodes de hautes-eaux de printemps et d'automne.

Il a semblé préférable de définir de manière stricte les périodes d'étiage où les valeurs les plus élevées de concentration peuvent se produire; c'est pourquoi le découpage effectué (annexe B, tableau B.3.2) a tendance à conduire à des périodes de hautes-eaux d'une durée plus longue que les périodes de basses-eaux (hiver et été). Dans le cas des régions 06 et 07, la période de basses-eaux d'été n'existe pas.

L'identification des saisons pour chaque région hydrographique, permet de décomposer la banque générale relative à une région pour obtenir quatre banques saisonnières qui pourront être soumises à divers traitements de dénombrement des effectifs ou de calcul de caractéristiques statistiques.

3.1.2 Filtrage des données

La lecture des cartes perforées contenant les données du M.R.N. permet la détection d'erreurs grossières (Annexe B, section B.2.2). Il est cependant nécessaire d'envisager des techniques permettant de détecter des valeurs aberrantes ou suspectes, dont la prise en compte biaiserait les résultats des différents traitements effectués, et qui n'ont pas été éliminées lors de la lecture des cartes.

Le filtrage des données a été effectué d'une part sur une base physico-chimique et d'autre part, sur une base statistique.

a- Filtrage physico-chimique

Lorsque l'on dispose pour un échantillon de mesures des ions majeurs Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{-2} , Cl^- qui représentent l'essentiel de la charge ionique des eaux, on peut effectuer (annexe B, section B.3.3) le calcul du bilan ionique et (annexe A), le calcul de la conductivité.

Ces calculs et la méthodologie développée dans l'annexe B permettent de mettre en évidence des erreurs d'échantillonnage ou d'analyse pour les 7 ions majeurs et la conductivité.

Dans tous les cas où, soit le déséquilibre ionique (excès ou déficit en %) des cations sur les anions), soit l'écart de conductivité (écart relatif entre la conductivité mesurée et la conductivité déduite des valeurs d'ions majeurs) sont supérieurs à 25%, on identifie une possibilité d'erreur. Le résultat erroné est systématiquement recherché et identifié dans la banque de travail par un code. Ce type de filtrage n'a pu être appliqué qu'aux échantillons pour lesquels les données des 7 ions majeurs et de la conductivité sont mesurées simultanément. En pratique, c'est l'ion bicarbonate qui conduit aux principales limitations puisque, comme l'indique le tableau 2.14, il n'a été mesuré systématiquement sur chaque échantillon que jusqu'en 1970 seulement.

b- Filtrage statistique

Ce type de filtrage qui a été systématiquement appliqué à toutes les données contenues dans la banque initiale, est basé sur la détection des valeurs extrêmes d'une série. Les valeurs extrêmes sont en effet susceptibles d'être erronées et, en raison de leur écart par rapport à une tendance générale, elles peuvent aisément être détectées.

Le filtrage est plus efficace si les séries considérées sont homogènes, c'est-à-dire sont constituées d'observations d'un même phénomène, dans des conditions comparables. Par exemple, de fortes concentrations d'un ion majeur qui sont normales en période de basses-eaux et suspectes en période de crue seront mieux mises en évidence si l'on considère uniquement la période de crue. C'est pourquoi, afin

d'obtenir des séries homogènes, on a utilisé les banques saisonnières précédemment définies (section 3.1.1).

L'examen des valeurs centrées réduites de chaque série (annexe B, section B.3.4) permet de détecter de manière systématique, les valeurs extrêmes et d'identifier les valeurs suspectes ou aberrantes par un code dans la banque de données. Ce type de filtrage a été appliqué systématiquement à toutes les séries de banques saisonnières pour chacun des paramètres mesurés.

3.1.3 Caractérisation des données

Le filtrage décrit précédemment permet donc d'identifier des valeurs aberrantes et des valeurs suspectes et de les affecter d'un code dans la banque de données. Dans cette étude, seules les valeurs non suspectes ont été conservées, afin de ne pas introduire de biais dans les traitements qui seront effectués.

Pour chaque paramètre à chaque station, il est possible de calculer à partir des valeurs retenues après filtrage, des caractéristiques statistiques générales telles que la moyenne (M), l'écart-type (S), le maximum (MA) et le minimum (MI). L'effectif N des séries a déjà fait l'objet d'un dénombrement systématique dans l'annexe B (section B.3.5). Un programme de calcul a été établi pour permettre la détermination de ces caractéristiques qui a été effectuée sur une base annuelle (à partir de la banque générale) et sur une base saisonnière (à partir de chaque banque saisonnière), pendant une période donnée.

Le traitement systématique des données disponibles a été effectué et à titre d'exemple nous donnons ici les deux types de présentation retenus:

- le tableau 3.1 illustre les résultats obtenus pour la station 01080A, lors de la synthèse par station, pour les 23 paramètres. Dans cet exemple, les caractéristiques statistiques interannuelles présentées sont calculées pour la période 1967-75.

- Le tableau 3.2 illustre, pour la silice, aux stations de la région 01, les résultats obtenus lors de la synthèse par paramètre pour toutes les stations d'une région hydrographique donnée. Ce tableau donne les caractéristiques interannuelles obtenues pour la période 1967-75, dans le cas de la silice pour les stations de la région 01.

3.2 Etude de la variabilité spatiale

3.2.1 Intérêt de l'analyse de la variabilité spatiale

La détection de la variabilité spatiale des paramètres caractérisant la qualité de l'eau est un des objectifs visés par le service Qualité des Eaux. L'étude de la variabilité spatiale des paramètres physico-chimiques permet en effet de:

- mettre en évidence les principaux effets régionaux, ce qui peut conduire à l'identification de sous-régions homogènes ou à la mise en évidence de stations particulières;
- préciser la connaissance du comportement de ces paramètres en déterminant les principaux facteurs responsables de leur variabilité.

La connaissance de la variabilité spatiale d'un paramètre, en permettant une meilleure compréhension de son comportement, favorise la prise de décision des gestionnaires et contribue à la rationalisation du réseau d'acquisition de données.

3.2.2 Approche utilisée

La variabilité spatiale d'un paramètre dans une région donnée peut être étudiée pour différentes caractéristiques de ce paramètre; on peut, par exemple, considérer des valeurs extrêmes ou des valeurs moyennes sur une base hebdomadaire, mensuelle, saisonnière ou annuelle.

Dans cette étude nous ne considérons, du point de vue de la variabilité spatiale, que des valeurs moyennes annuelles ou saisonnières (en utilisant le découpage saisonnier déjà décrit); en effet, étant donné le grand nombre de données contenues dans la banque, l'analyse de données individuelles ou de moyennes calculées sur une durée plus courte que pour la saison serait impossible sur une base systématique.

D'autre part, pour effectuer l'analyse de la variabilité spatiale de la moyenne d'un paramètre dans une région donnée, il est nécessaire de connaître des moyennes représentatives de ce paramètre à un nombre suffisamment grand de points dans la région pendant une période donnée. Certaines conditions doivent être remplies:

- la moyenne annuelle ou saisonnière sera représentative si elle est calculée à partir de valeurs individuelles bien réparties dans le temps, pour tenir compte des fluctuations du paramètre.
- La moyenne annuelle ou saisonnière en différents points d'une région doit être calculée à partir de données obtenues sur une période de temps commune à toutes les stations de la région considérée (on peut, par exemple, calculer la moyenne annuelle en considérant 3 années de données). L'analyse de la variabilité spatiale a en effet, pour but essentiel, de faire ressortir le comportement relatif des stations de la région; le choix d'une période commune pour toutes les stations permet de minimiser l'influence de différents effets tels que la modification d'une technique d'analyse en laboratoire, la variabilité du régime hydrologique, puisque ces effets sont considérés de la même manière pour chacune des stations.
- Le nombre de stations retenues dans une région doit être suffisamment grand pour permettre de faire ressortir l'évolution spatiale des paramètres considérés.

C'est donc à partir de cet ensemble de contraintes que peut être effectué, pour chaque paramètre, le choix:

- de la période d'étude sur laquelle les moyennes annuelles et saisonnières sont calculées;
- des stations retenues dans chaque région hydrographique.

En pratique, dans l'opération du réseau de 1967 à 1975, on peut distinguer deux périodes:

- de 1967 à 1972
- de 1973 à 1975.

En effet, à partir de 1973, d'une part les prélèvements sont effectués sur une base hebdomadaire à un grand nombre de stations (comme l'indique la figure 2.7), ce qui assure une meilleure représentativité dans le calcul des moyennes saisonnières et d'autre part, les techniques d'analyse en laboratoire ont été modifiées (depuis 1970-1971): il en résulte que pour la période 1973-75, on dispose pour un groupe important de paramètres, de données fiables et importantes en quantité. L'examen du tableau 2.14 montre, par ailleurs, que seulement 10 des 23 paramètres sont mesurés sur une base systématique de 1973 à 1975; il s'agit de la silice, du calcium, du magnésium, du sodium, du potassium, des sulfates, des chlorures, des nitrates, des phosphates et de la conductivité.

L'étude de la variabilité spatiale portera essentiellement sur ces paramètres pour lesquels nous disposons d'une information importante et cohérente. Ce groupe de paramètres, à l'exception des bicarbonates non mesurés depuis 1973, est relatif aux ions majeurs, aux substances nutritives et à la silice.

En ce qui concerne les autres paramètres, l'information n'est en général disponible que pour la période 1967-1972. La mesure ou le calcul de la plupart de ces paramètres, après 1972, ont été abandonnés parce qu'ils présentent peu d'intérêt, ou encore parce que leur mesure, effectuée après un certain délai, n'est pas représentative. Pour ce deuxième groupe de paramètres, l'information est donc moins abondante, prise sur une base moins systématique et les données obtenues sont généralement moins fiables. Une étude de la variabilité spatiale détaillée des paramètres de ce deuxième groupe est donc difficile et peu justifiée; c'est pourquoi l'essentiel de l'étude portera sur les paramètres du premier groupe. Nous n'étudierons, parmi les paramètres du deuxième groupe que ceux qui ont une importance pratique et pour lesquels l'information est suffisante.

3.2.3 Choix des stations pour l'étude de la variabilité spatiale des paramètres du premier groupe

La période d'étude considérée va de 1973 à 1975. Durant cette période, pour les 10 paramètres du premier groupe, on dispose, à chaque station qui a été opérée sur une base hebdomadaire, d'un nombre approximativement égal de données; le tableau B.3.6 de l'annexe B, illustre ce point général dans le cas particulier de la station 01080A. Pour une année donnée de 1973 à 1975, les différences d'effectifs entre paramètres du premier groupe sont minimes et peuvent s'expliquer essentiellement par le filtrage effectué dans la validation de la banque de données. Pour déterminer les stations qui présentent le plus d'intérêt pour l'étude de la variabilité spatiale des paramètres du premier groupe, on peut donc se baser sur un paramètre de ce groupe ou, ce qui est équivalent, utiliser les tableaux 2.3 à 2.9 qui indiquent, pour chaque station, le nombre maximum d'échantillons analysés chaque année pour au moins un paramètre. En se basant sur ces tableaux, on peut identifier pour chaque région, les stations pour lesquelles on dispose d'un nombre important de données permettant la détermination de moyennes représentatives de la période 1973-75.

a- Sélection préliminaire des données

Pour chaque région hydrographique, on a effectué un relevé des stations possédant des données réparties à peu près uniformément sur au moins 2 des 3 années de la période 1973-75. Il est, en effet, impossible de trouver un nombre suffisamment important de stations possédant des données bien réparties sur les 3 années de l'étude, particulièrement dans le cas des régions 03, 04, 05 et 07. Cette sélection préliminaire résulte donc d'un compromis entre d'une part, la nécessité de disposer d'une densité régionale de stations assez grande pour pouvoir effectuer une étude spatiale et, d'autre part, celle d'obtenir pour chaque station des effectifs permettant le calcul de moyennes annuelles et saisonnières représentatives. Le tableau 3.3 donne la liste des stations retenues pour chaque région; la dernière colonne de ce tableau donne également le code de stations pouvant faire l'objet d'un regroupement avec une station retenue. Un tel regroupement, dont la justification est analysée dans une étape subséquente, présente l'intérêt d'augmenter l'information disponible à cette station.

Dans la région 03, les stations 03030C, 03030D, 03030E et 03030F, qui n'ont qu'une année complète de données, ont été quand même retenues, car elles présentent un intérêt pour la connaissance d'une sous-région située à l'intérieur du bassin de la Yamaska. De plus, dans le cas de la région 07, le critère de sélection a été appliqué de manière moins rigoureuse en raison du nombre restreint de données qui y sont disponibles.

b- Variabilité inter-annuelle

Dans l'étude de la variabilité spatiale, on est amené à comparer les moyennes annuelles ou saisonnières de différentes stations. Ces moyennes sont calculées à partir de données obtenues de 1973 à 1975; cependant, puisqu'à une station donnée les effectifs des données disponibles sont variables suivant les années, il est important d'examiner s'il y a une variabilité importante entre les moyennes des différentes années. L'étude de la variabilité inter-annuelle est en effet, particulièrement importante dans le cas des régions 02, 03, 04 et 05 pour lesquelles les effectifs varient d'une station à l'autre suivant les années; par exemple, dans la région 02, on dispose de données en 1973 pour la moitié seulement des stations et il est important d'examiner si la comparaison des stations pour lesquelles les moyennes sont calculées sur la période 1973-75, avec celles pour lesquelles les moyennes sont calculées sur la période 1974-75 a un sens. Dans le cas de chacune des régions 01, 06 et 07, les effectifs de chaque station retenues sont identiques en effectif et en répartition pour chaque année et il est inutile d'étudier la variabilité interannuelle.

L'analyse de la variabilité interannuelle a été effectuée en considérant les 9 stations: 02060A, 02140B, 02230A, 03030B, 03040G, 03090A, 04310A, 05030A et 05070A pour lesquelles on dispose de données hebdomadaires pour l'ensemble de la période 1973-1975. Pour chacune de ces stations et pour chacun des paramètres du groupe 1 (à l'exception des phosphates dont les valeurs sont proches du seuil de détection), on a effectué une analyse de variance à un critère pour comparer les moyennes des années 1973, 1974 et 1975. Dans le cas où l'analyse conduit au rejet de l'hypothèse d'égalité simultanée des 3 moyennes, on a examiné à l'aide du test de Scheffé appliqué

au niveau de signification de 5%, si 2 des 3 moyennes sont égales. L'annexe C indique les détails théoriques et les modalités d'application de l'analyse de variance et du test de Scheffé. Les résultats de l'ensemble des traitements sont regroupés dans le tableau 3.4 et permettent de mettre en évidence plusieurs points:

- dans 45 cas sur 81, il y a égalité simultanée des trois moyennes, au niveau de signification de 5% et il n'y a pas de variabilité
- lorsque l'égalité simultanée des 3 moyennes est rejetée, ce qui est indicatif d'une variabilité inter-annuelle significative, l'égalité partielle des moyennes de 1974 et 1975 se produit dans 23 cas et celle des moyennes de 1973 et 1974, dans 18 cas;
- pour tous les paramètres, à l'exception des sulfates, la moyenne obtenue en 1973, si elle est statistiquement différente de celle de 1974 ou 1975, est plus petite que ces dernières. Pour les sulfates, c'est l'effet inverse qui se produit;
- pour tous les paramètres, à l'exception des sulfates, lorsque les moyennes obtenues en 1974 et 1975 sont significativement différentes, la moyenne la plus élevée est généralement obtenue en 1975;
- dans le cas des nitrates, du magnésium et de la conductivité, on n'observe pas, en général, de variabilité inter-annuelle significative aux stations étudiées.

En résumé, pour l'ensemble des paramètres aux 9 stations considérées, on peut mettre en évidence une certaine variabilité interannuelle dans la moitié des cas. Lorsque cette variabilité est significative, la concentration moyenne d'un paramètre est la plus faible en 1973 et la plus élevée en 1975, seuls les sulfates ont un comportement différent.

Cette variabilité a sans doute une interprétation hydrologique; en effet, l'année 1973 a été humide et est caractérisée par des débits élevés, ce qui, par effet de dilution, conduit à une diminution des concentrations alors que l'année 1975 est caractérisée par de faibles débits, donc des concentrations plus élevées. En ce qui concerne les sulfates, leur origine atmosphérique peut expliquer que durant l'année 1973, humide, donc avec des précipitations au-dessus de la normale, un apport plus important de sulfates ait eu lieu.

Les résultats obtenus montrent donc que si une certaine variabilité interannuelle existe, elle n'est pas systématique et n'est pas susceptible d'avoir un effet prédominant dans l'étude de la variabilité spatiale; il est donc justifié de considérer le maximum de données en prenant en compte l'année 1973 lorsque cela est possible. Cependant, dans les régions 02, 03, 04 et 05 pour lesquelles nous avons dû retenir des stations pour lesquelles l'effectif des données durant l'année 1973 peut être très variable, la comparaison relative des moyennes obtenues à chacune de ces stations peut être légèrement biaisée (par surestimation pour les stations ne comportant pas de données en 1973).

c- Regroupement des données de stations voisines

Durant l'opération du réseau de 1973 à 1975, certaines stations ont été abandonnées et d'autres mises en opération à des distances relativement faibles des précédentes,

En se basant sur les dates de fermeture d'une station et d'ouverture d'une station voisine, il est possible d'envisager le regroupement des données obtenues à ces 2 stations, dans le but d'obtenir des séries plus longues de données permettant un calcul de moyennes plus représentatives. Le tableau 3,5 indique les paires de stations voisines et situées sur une même rivière pour lesquelles on peut envisager la possibilité d'un regroupement. L'étude du regroupement est effectuée en comparant, pour les deux stations considérées, les moyennes obtenues à l'intérieur de la période 1973-75, pour chaque paramètre du groupe 1, à l'exception des phosphates (pour ce paramètre les valeurs observées sont en effet fréquemment inférieures au seuil de détection). La comparaison est effectuée

à l'aide du test de Student, l'égalité des variances étant au préalable examinée par le test de Fisher (annexe C).

Le tableau 3.6 indique, pour chaque paire de stations, les résultats du test de Fisher (F) ainsi que le nombre de degrés de liberté associés à chacune des 2 séries (N_1) et (N_2). Le résultat de ce test permet de choisir le test approprié de comparaison des moyennes. Le tableau 3.7 indique, pour chaque comparaison, les résultats du test de Student (t) ainsi que le nombre de degrés de liberté (ν) de la distribution de Student. L'examen de la valeur calculée t permet de conclure si les 2 séries considérées proviennent de populations de moyennes égales ou significativement différentes aux niveaux de signification de 5%.

L'examen du tableau 3.7 montre que l'on observe des différences significatives dans toutes les possibilités de regroupement considérées, pour plusieurs paramètres. Ce résultat n'est pas surprenant si l'on prend en compte la variabilité interannuelle mise en évidence précédemment; en effet, chacune des 2 séries comparées dans chaque cas est relative à moins de 2 années de prélèvements. Cependant, dans le but de porter un jugement global, on a considéré l'ensemble des paramètres et on a donné, dans le tableau 3.7, un code relatif à la validité du regroupement: A(bon), B(satisfaisant), C(médiocre) et D(douteux). L'attribution de ce code a été effectuée en donnant peu de poids à la silice et aux sulfates soumis à une assez forte variabilité interannuelle et en donnant de l'importance aux nitrates, au magnésium et à la conductivité pour lesquels la variabilité interannuelle est faible (cf section 3.2.3b) et qui peuvent être considérés comme de bons indicateurs d'un regroupement valable. Le regroupement des paires de stations auxquelles le code C ou D a été attribué, a été rejeté bien que l'on ne puisse assurer, de manière certaine, qu'un tel regroupement est sans signification. Par contre, les six paires de stations pour lesquelles on a obtenu le code A ou B ont été regroupées.

Dans chaque cas où un tel regroupement des stations a été effectué, on a conservé comme code de la série regroupée, celui de la station qui est actuellement en opération; par exemple, le regroupement des stations 02160A et 02160B est possible et la nouvelle série, pour un paramètre donné, est formée par regroupement des valeurs des séries de ce même paramètre aux 2 stations et le code de la station regroupée est 02160B.

Dans les 3 cas où le regroupement de deux stations ne peut être envisagé, on a conservé, pour l'étude spatiale, la station qui avait été initialement sélectionnée (tableau 3.3). Dans chacun des trois cas, les stations retenues sont encore en opération.

Finalement, on dispose donc pour effectuer l'étude spatiale, de 62 stations pour lesquelles on possède, sur la période 1973-75, un nombre suffisant de données pour pouvoir déterminer des moyennes annuelles et saisonnières représentatives. L'effectif des stations retenues varie suivant les régions, mais à l'exception des stations de la région 07 et celles relatives au bassin de la Yamaska, on dispose d'au moins 2 années de données.

La figure 3.1 donne, de manière synthétique, la localisation géographique des stations retenues dans les 7 régions hydrographiques pour l'étude de la variabilité spatiale de 1973 à 1975, des paramètres du groupe 1.

3.2.4 Détermination et cartographie des moyennes annuelles et saisonnières des paramètres du groupe 1

Le but de cette partie est de caractériser globalement la variabilité spatiale des moyennes annuelles et saisonnières des paramètres du groupe 1 (ions majeurs, conductivité, silice, nitrates et phosphates).

Le découpage saisonnier considéré pour chaque région hydrographique est déduit de l'annexe B (section B.3.2), le printemps et l'automne correspondant aux périodes de hautes-eaux, l'hiver et l'été aux périodes de basses-eaux. Pour chacune des 62 stations sélectionnées précédemment, il est possible de déterminer l'effectif, la moyenne, l'écart-type des séries correspondant à chacun des paramètres du groupe 1, sur une base saisonnière (hiver, printemps, été et automne) et sur une base annuelle, pour la période 1973-75 (cf section 3.1.3). Les valeurs obtenues pour les moyennes sont synthétisées dans le tableau 3.8.

a. Reconstitution des bicarbonates

Parmi les ions majeurs, seuls les bicarbonates n'ont pas été mesurés de 1973 à 1975 (tableau 2.13); cependant, ce paramètre peut être déduit de la connaissance des autres ions majeurs en utilisant l'équation de l'électroneutralité:

$$[\text{HCO}_3^-]_{\text{ion}} = \sum_{i=1}^4 [\text{X}^+]_i - \sum_{j=1}^2 [\text{X}^-]_j \quad [\text{eq 3.1}]$$

où $[\text{HCO}_3^-]_{\text{ion}}$ représente la concentration des bicarbonates en meq/l et $[\text{X}^+]$ représente la concentration en meq/l, des cations (Ca, Mg, Na et K) et $[\text{X}^-]$ celle des anions (Cl, SO_4), les facteurs de conversion utilisés dans ce calcul sont donnés dans le tableau B.3.3 de l'annexe B.

Les valeurs de bicarbonates reconstituées par l'équation [eq 3.1] sont regroupées dans le tableau 3.8. Ce calcul conduit cependant à reporter l'ensemble des erreurs de mesure et d'analyse des différents ions, sur les bicarbonates; c'est pourquoi une vérification est effectuée en calculant la concentration en bicarbonates $[\text{HCO}_3^-]_{\text{cond.}}$ à partir de la contribution des différents ions à la conductivité mesurée:

$$[\text{HCO}_3]_{\text{cond.}} = \frac{(\text{COND.})_{\text{mes.}} - \sum_{i=1}^6 \lambda_i [\text{X}]_i}{\lambda_{\text{HCO}_3}} \quad [\text{eq 3.2}]$$

où

$[\text{HCO}_3]_{\text{cond.}}$ représente la concentration des bicarbonates et $[\text{X}]_i$ la concentration des ions mesurés (Ca, Mg, Na, K, SO_4 et Cl) et λ_i et λ_{HCO_3} les conductivités équivalentes à dilution infinie et à 25°C des ions mesurés et des bicarbonates (données par le tableau A.1.4 de l'annexe A).

Il est également possible de calculer une conductivité théorique en utilisant la valeur calculée de bicarbonates $[\text{HCO}_3]_{\text{ion}}$ par l'équation d'électroneutralité

$$(\text{COND.})_{\text{theo.}} = \sum_{i=1}^6 \lambda_i [\text{X}]_i + \lambda_{\text{HCO}_3} [\text{HCO}_3]_{\text{ion.}} \quad [\text{eq 3.3}]$$

Pour obtenir une indication sur la qualité de la reconstitution des bicarbonates, on a déterminé l'erreur relative E_{HCO_3} sur les bicarbonates par la relation:

$$E_{\text{HCO}_3} = \frac{100}{2} \cdot \frac{[\text{HCO}_3]_{\text{ion}} - [\text{HCO}_3]_{\text{cond.}}}{[\text{HCO}_3]_{\text{ion}} + [\text{HCO}_3]_{\text{cond.}}} \quad [\text{eq 3.4}]$$

De la même manière pour évaluer l'importance de l'erreur provenant de $[\text{HCO}_3]_{\text{ion}}$ dans la détermination de la conductivité théorique, on a calculé l'erreur relative $E_{\text{cond.}}$ telle que:

$$E_{\text{cond.}} = 100 \cdot \frac{(\text{COND.})_{\text{mes.}} - (\text{COND.})_{\text{theo.}}}{(\text{COND.})_{\text{mes.}}} \quad [\text{eq 3.5}]$$

Ces deux formules d'erreur relative doivent être considérées de manière indicative, car d'une part, les véritables valeurs des ions et en particulier des bicarbonates, sont inconnues et, d'autre part, les calculs effectués à partir de la conductivité sont rigoureusement valables dans des conditions particulières (25°C et dilution infinie) correspondant, en général, assez peu à la réalité.

Une synthèse des résultats obtenus pour E_{HCO_3} et $E_{\text{cond.}}$, suivant la période de temps où la région considérée, est présentée dans le tableau 3.9. Dans chaque cas, on a déterminé la distribution en pourcentage de l'effectif des erreurs relatives; par exemple, si on considère les moyennes annuelles pour l'effectif des 62 stations retenues, 44% de ce nombre ont une erreur relative E_{HCO_3} , comprise entre 30% et 50%. L'examen du tableau 3.9 permet de mettre en évidence plusieurs points particuliers:

- En ce qui concerne E_{HCO_3} , dans chaque cas, pour la plus grande partie de l'effectif, la valeur absolue de l'erreur est principalement répartie dans les gammes 30 à 50% et 50 à 100%. La distribution par région montre que l'erreur relative est en général plus faible pour les régions 01, 04 et 06. On a identifié dans le tableau 3.8, les valeurs reconstituées de $(\text{HCO}_3)_{\text{ion}}$ pour lesquelles l'erreur correspondante E_{HCO_3} dépasse 100%.
- En ce qui concerne $E_{\text{cond.}}$, dans tous les sous-groupes, l'erreur en valeur absolue est inférieure à 20% pour au moins 80% de l'effectif. La distribution de l'effectif par région (tableau 3.9) montre pour les régions 01, 04 et 06, que l'erreur est toujours inférieure à 20%.

Ces calculs d'erreurs, en plus de quantifier la précision sur la reconstitution des bicarbonates et la mesure de conductivité, permettent une évaluation globale, a priori, de la qualité générale des données du groupe des ions majeurs.

b- Précision dans la détermination des moyennes annuelles et saisonnières

Pour chacun des paramètres du groupe 1, nous avons (section 3.1.3) déterminé des caractéristiques statistiques de base pour les séries annuelles et saisonnières des 62 stations retenues dans la période 1973-75. Les résultats obtenus pour la moyenne sont regroupés dans le tableau 3.8. L'effectif et l'écart-type de chacune des séries, présentant un intérêt réduit pour l'analyse des résultats, n'ont pas été résumés ici dans un tableau de synthèse. Cependant, ces caractéristiques sont intéressantes en tant que variables intermédiaires permettant de quantifier les précisions atteintes sur la moyenne. En effet, il est possible de montrer (annexe C), qu'il existe une relation entre l'effectif (N), l'écart-type (s) et l'erreur admissible L sur la moyenne d'une série pour un niveau de confiance donné:

$$\sqrt{N} \geq \sqrt{N_0} = \frac{t_{N-1}(\alpha/2) \cdot s}{L} \quad [\text{Eq. 3.6}]$$

Dans cette équation, $t_{N-1}(\alpha/2)$ représente la variable de Student à (N-1) degrés de liberté correspondant à une probabilité au dépassement de ($\alpha/2$).

Cette relation indique la taille N_0 minimum que doit avoir un échantillon pour que l'erreur entre la moyenne \bar{x} de l'échantillon et la moyenne vraie inconnue μ ne dépasse pas L avec un niveau de confiance (1- α).

En pratique, il est plus intéressant de considérer l'erreur relative $\epsilon = 100 \cdot \frac{L}{\bar{x}}$ et la relation précédente devient:

$$\sqrt{N} \geq \sqrt{N_0} = 100 \cdot \frac{t_{N-1}(\alpha/2) \cdot C_v}{\epsilon} \quad [\text{Eq. 3.7}]$$

où $C_v = s/\bar{x}$, représente le coefficient de variation.

Puisqu'ici, la taille N_0 de chaque série est connue et fixée, on peut déterminer l'erreur relative ε qui peut être atteinte avec un niveau de confiance $(1-\alpha)$ par:

$$\varepsilon = 100. \frac{t_{N-1}(\alpha/2)C_v}{\sqrt{N_0}} \quad [\text{Eq. 3.8}]$$

Le tableau 3.10 indique les résultats numériques obtenus, pour un niveau de confiance de 95%, en considérant les séries annuelles et saisonnières pour les 62 stations retenues dans la période d'étude 1973-75 (les bicarbonates qui ont fait l'objet d'une reconstitution ne sont pas considérés dans ce tableau).

Les valeurs obtenues doivent être considérées comme des résultats approximatifs, puisque dans ces calculs, on fait l'hypothèse d'indépendance des valeurs de chaque série qui n'est pas toujours vérifiée dans le cas d'un échantillonnage hebdomadaire tel que celui des paramètres du groupe 1, dans la période 1973-75. Cette notion d'indépendance sera d'ailleurs développée de manière plus approfondie dans l'étude de la variabilité temporelle des paramètres.

De manière générale, pour interpréter le tableau 3.10, on doit considérer que deux effets agissent sur la précision:

- la précision s'améliore lorsque la variabilité exprimée par le coefficient de variation diminue;
- la précision s'améliore lorsque l'effectif N_0 , sur lequel est calculée la moyenne, augmente.

Puisque sur une base annuelle (ou sur une base saisonnière), à une station donnée, les séries relatives à chacun des 10 paramètres ont des effectifs de taille semblable, les différences entre les précisions obtenues doivent s'expliquer par des variabilités (c'est-à-dire des coefficients de variation différents).

Le tableau 3.11 indique de quelle manière la précision sur la moyenne annuelle de chaque paramètre est distribuée en considérant l'ensemble des stations.

Ainsi, pour la silice, 19 des 62 stations ont une précision sur la moyenne inférieure à 5%, et, pour 26 stations, la précision est comprise entre 5 et 10% etc...

Les résultats du tableau 3.11 montrent que pour l'ensemble des paramètres, la précision sur la moyenne annuelle est relativement bonne. En effet, cette précision est inférieure en général à 15% à l'exception des nitrates et des phosphates où elle est, en général, inférieure à 25%. Pour la conductivité, le calcium et le magnésium, une très bonne précision sur la moyenne annuelle est atteinte puisque, pour 90% des stations, on obtient une erreur relative inférieure à 10%. Régionalement, c'est dans la région 07 et pour la sous-région Yamaska (0303), que l'on observe des erreurs relatives plus élevées, en raison d'effectifs plus réduits des séries. Les valeurs relativement faibles, obtenues dans le cas de la moyenne annuelle sont dues à la taille importante des séries (100 valeurs, en moyenne, réparties sur 3 années). Si l'on ne disposait que des séries hebdomadaires d'une seule année, pour une variabilité constante, l'erreur relative serait multipliée par $\sqrt{2}$, environ.

Les erreurs relatives calculées sur une base saisonnière sont plus élevées que celles obtenues pour la moyenne annuelle, principalement parce que l'effectif des séries est moins grand. L'effectif saisonnier varie suivant les régions hydrographiques considérées mais, en général, le printemps et l'automne correspondant aux périodes de hautes-eaux comportent plus d'observations que l'hiver et surtout que l'été.

Pour mettre en évidence de façon globale l'influence relative de la taille de l'effectif pour chaque saison et du coefficient de variation, on a calculé (tableau 3.12), pour chaque paramètre et chaque saison, les valeurs moyennes du coefficient de variation et de l'erreur relative sur la moyenne.

Les résultats obtenus mettent en évidence que:

- le coefficient de variation est le plus élevé au printemps et le plus faible en été ou en hiver;
- l'erreur relative est, en moyenne, plus faible en automne et plus élevée en été ce qui, dans ce dernier cas, est explicable par le faible effectif de cette saison;
- l'erreur relative observée au printemps est plus élevée que celle de l'automne, en raison d'une plus grande variabilité, les effectifs de ces 2 saisons étant semblables.

Ces résultats ont une incidence quant à l'opération future du réseau; en effet, si l'on fixe a priori une précision à atteindre sur la moyenne annuelle ou sur une moyenne saisonnière, dans le cadre d'un objectif général de connaissance ou d'un objectif plus particulier relié à l'utilisation de l'eau, il est possible d'indiquer si la précision fixée est atteinte ou non:

- dans le cas où la précision obtenue est supérieure à la précision désirée, on est conduit à diminuer la fréquence d'échantillonnage;
- dans le cas où la précision obtenue est insuffisante, on est conduit à augmenter la fréquence d'échantillonnage.

Dans chaque cas, une évaluation sommaire de la fréquence à considérer pour atteindre une précision donnée ε_0 peut être effectuée à l'aide de la relation existant entre l'erreur, la variabilité et l'effectif:

$$\sqrt{N_0} = 100 \cdot t_{N-1}(\alpha/2) \cdot \frac{C_v}{\varepsilon_0}$$

Une estimation plus rigoureuse de N_0 , qui est inutile en première approximation, doit cependant prendre en compte une éventuelle dépendance des valeurs de la série.

Par ailleurs, à l'aide des tableaux 3.8 et 3.10, il est possible de déterminer sur une base annuelle ou saisonnière, l'intervalle de confiance de la moyenne. La série observée permet, en effet, l'estimation \bar{x} d'une moyenne vraie inconnue μ et l'on peut montrer (Annexe C), que l'intervalle de confiance, au niveau $(1-\alpha)$ de μ est donné par

$$\bar{x} \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon}{100}\right) \leq \mu \leq \bar{x} \cdot \left(1 + \frac{\varepsilon}{100}\right)$$

ε étant la précision limite atteinte pour le niveau de confiance $(1-\alpha)$ (tableau 3.10).

Si l'on considère, par exemple, la silice en été à la station 01080A:

- la moyenne observée est $\bar{x} = 4.00$ (tableau 3.8)
- l'erreur relative est $\varepsilon = 20\%$ (tableau 3.10)

on en déduit l'intervalle de confiance à 95% de la vraie moyenne μ de la silice à la station 01080A pour l'été:

$$3.2 \leq \mu \leq 4.8$$

c- Comparaison des moyennes saisonnières

Les moyennes saisonnières figurant dans le tableau 3.8, calculées à chaque station pour chacun des paramètres du groupe 1, ont des valeurs numériques différentes. Cependant, compte-tenu de l'effectif variable des séries considérées, suivant les régions, il est important de se demander si ces moyennes présentent des différences significatives. Dans le cas contraire, la distinction de moyennes saisonnières présente un intérêt réduit et la moyenne annuelle peut être considérée comme représentative pour l'ensemble des saisons. L'analyse de variance à une modalité (annexe C), qui permet d'effectuer la comparaison simultanée de plusieurs moyennes a été appliquée dans le cas de chaque série relative à un paramètre observé à une station. Lorsque l'hypothèse d'égalité des 4 moyennes saisonnières est rejetée, il est possible de tester l'égalité de 2 ou de 3 moyennes à l'aide du test de Scheffé (annexe C).

Les résultats de l'analyse de variance et de l'application du test de Scheffé pour déterminer au niveau de signification de 5% des groupes de moyennes saisonnières non significativement différentes, sont résumés dans le tableau 3.13. Les moyennes saisonnières représentées par les symboles H (hiver), P (printemps), E (été) et A (automne) sont classées par ordre croissant et les groupes de moyennes non significativement différentes sont identifiés. Si l'on considère, par exemple la station 01080A:

- pour la silice, on obtient (EPHA), ce qui signifie que les 4 moyennes saisonnières considérées simultanément, ne sont pas significativement différentes bien que numériquement elles aient des valeurs différentes, la moyenne de l'été étant inférieure à celle du printemps, elle même inférieure à celle de l'hiver, etc... On doit en conclure que, compte-tenu des erreurs d'échantillonnage dues à la taille réduite des séries, les moyennes saisonnières ne présentent pas des différences suffisamment grandes pour que les moyennes des populations, dont proviennent ces séries, soient significativement différentes.
- pour le magnésium, la moyenne de printemps est significativement inférieure au groupe des moyennes d'été, d'hiver et d'automne qui ne sont pas significativement différentes entre elles.
- pour les chlorures, les valeurs numériques des moyennes sont classées dans l'ordre printemps, été, automne et hiver. Il est cependant possible de distinguer deux groupes homogènes, printemps et été d'une part, été, automne et hiver d'autre part. La moyenne d'été a une valeur numérique intermédiaire et peut appartenir aux deux groupes.

Dans le cas des régions 06 et 07, on est amené à comparer seulement 3 moyennes saisonnières puisque la saison d'été n'est pas définie (section 3.1.1)

Afin de faciliter l'interprétation du tableau 3.13, on a essayé d'identifier, pour chaque paramètre, sur une base régionale, les groupes dominants, c'est-à-dire ceux que l'on retrouve le plus souvent. Cette démarche est en particulier justifiée par le fait que les découpages saisonniers ont été effectués sur la base des régions hydrographiques. Cette synthèse régionale du tableau 3.13 apparaît dans le tableau 3.14 avec la même symbolisation. Dans la région 02, on a distingué deux sous-régions présentant des comportements différents; la région 02A comprenant les stations 02040A à 02200A situées au nord de la rivière Trois-Pistoles et la région 02B où se trouvent les stations 02230A à 02400E. L'analyse des résultats du tableau 3.14 montre que:

- en général, la moyenne du printemps est la plus faible ou fait partie d'un groupe homogène ayant des valeurs peu élevées, alors que la moyenne d'hiver est la plus élevée causée probablement par une forte contribution des eaux souterraines.
- Dans le cas du potassium, qui a un comportement particulier, les plus faibles valeurs sont observées en hiver et les valeurs sont les plus élevées en été ou en automne pour les régions 01 à 05 et en automne pour les régions 06 et 07 à cause de la contribution faible des eaux souterraines et des apports agricoles artificiels.
- Dans le cas des nitrates, les valeurs les plus faibles sont observées en été, mais ce comportement n'est pas particulier, puisque la moyenne d'été n'est pas, en général, significativement différente de la moyenne de printemps. Il faut, de plus, noter que les moyennes d'hiver sont, pour la majorité des stations, significativement plus élevées que les moyennes des autres saisons; ceci s'explique par la diminution des débits qui a pour effet de mettre en évidence les contributions relatives des sources ponctuelles et celles des eaux souterraines (annexe A, section A.1.10).
- La région 04 est caractérisée par des moyennes souvent peu élevées, en été.

La principale conclusion de la comparaison des moyennes saisonnières observées sur l'ensemble du territoire est qu'il est impossible d'obtenir une égalité simultanée et systématique de plusieurs moyennes saisonnières pour un paramètre donné du groupe 1. Le regroupement de deux ou plusieurs saisons n'est donc pas justifié.

d- Représentation graphique des moyennes annuelles et saisonnières

Les paragraphes précédents montrent que les concentrations des différents paramètres du groupe 1 varient spatialement et qu'il est impossible, dans une région donnée, d'effectuer un regroupement de plusieurs saisons.

Il est donc important de représenter, de manière synthétique mais exploitable, l'évolution spatiale des concentrations des différents paramètres sur une base saisonnière et annuelle. Les valeurs utilisées comme point de départ de cette représentation graphique sont les moyennes annuelles et saisonnières contenues dans le tableau 3.8.

- En ce qui concerne les ions majeurs (y compris les bicarbonates et la conductivité, on a établi des cartes donnant simultanément les valeurs moyennes de ces huit paramètres aux différentes stations d'une région donnée, pour une saison ou pour l'année.
- A chaque station, on divise un cercle en sept parties, chacune ayant un angle proportionnel à la valeur moyenne d'un paramètre correspondant à la saison considérée, déduite du tableau 3.8 et transformée en meq/l. Dans cette représentation qui traduit l'équation d'électroneutralité, la somme des anions et la somme des cations occupent un angle égal à 180° . La superficie du cercle est proportionnelle à la conductivité. Cette représentation permet de faire ressortir la répartition relative des différents ions.
- En ce qui concerne la silice, les nitrates et les phosphates, on a représenté à chaque station d'une région donnée, chaque valeur saisonnière (déduite du tableau 3.8), par un vecteur proportionnel à la concentration moyenne du paramètre considéré exprimée en mg/l. Les moyennes des quatre saisons sont représentées simultanément par des vecteurs décalés successivement de 90° . Dans le cas particulier des régions 06

et 07, où on n'envisage que trois saisons, les vecteurs représentatifs des trois moyennes saisonnières sont décalés de 120° . La moyenne annuelle à la station est représentée par un cercle dont la superficie est proportionnelle à cette valeur moyenne. Cette échelle a été adoptée pour des raisons pratiques, en particulier dans le but d'éviter de trop grandes distorsions d'une carte à une autre. La longueur de chaque vecteur saisonnier est proportionnelle à la moyenne saisonnière correspondante, le coefficient de proportionalité étant le même que celui de la moyenne actuelle. Il en résulte qu'un vecteur saisonnier, plus grand ou plus petit que le rayon du cercle relatif à la moyenne annuelle, signifie que la moyenne de la saison est plus élevée ou plus faible que la moyenne annuelle. Cette représentation permet donc une comparaison des moyennes saisonnières entre elles et également, par rapport à la moyenne annuelle.

- En ce qui concerne la dureté, elle peut être calculée à partir des concentrations en calcium et magnésium (annexe A, section A.1.12 a). L'équation de reconstitution (annexe A, section A.1.12 b) est donnée par:

$$\text{Dureté} = 2.497 \cdot [\text{Ca}] + 4.116 \cdot [\text{Mg}]$$

La dureté est exprimée en mg CaCO_3/l . En raison de l'intérêt que peut présenter la connaissance de ce paramètre pour les usages domestiques et industriels de l'eau, des cartes régionales des valeurs moyennes annuelles et saisonnières de ce paramètre ont été établies en utilisant la technique décrite précédemment pour la silice. Ces cartes sont basées sur les valeurs moyennes de la dureté, reconstituées à partir des valeurs de calcium et de magnésium déduites du tableau 3.8, qui sont regroupées dans le tableau 3.15.

Cette cartographie des valeurs moyennes annuelles et saisonnières des paramètres du groupe 1 (et de la dureté) a été effectuée de manière synthétique et systématique pour permettre de:

- mettre en évidence la variabilité spatiale des paramètres, dans une région donnée
- favoriser la comparaison entre régions
- faire ressortir les effets saisonniers
- résumer l'information relative à l'étude de la variabilité spatiale des paramètres considérés sur la période 1973-75.

Les tableaux suivants donnent la liste des 52 figures (de 3.2 à 3.53) qui ont été établies pour, d'une part, les ions majeurs et la conductivité et, d'autre part, la silice, les nitrates, les phosphates et la dureté.

Numéros des figures relatives aux ions majeurs et conductivité

	Région					
	01-02	03	04	05	06	07
ANNEE	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7
HIVER	3.8	3.9	3.10	3.11	3.12	3.13
PRINTEMPS	3.14	3.15	3.16	3.17	3.18	3.19
ETE	3.20	3.21	3.22	3.23	-	-
AUTOMNE	3.24	3.25	3.26	3.27	3.28	3.29

Numéros des figures relatives aux autres paramètres

	Région					
	01-02	03	04	05	06	07
SILICE	3.30	3.31	3.32	3.33	3.34	3.35
NITRATES	3.36	3.37	3.38	3.39	3.40	3.41
PHOSPHATES	3.42	3.43	3.44	3.45	3.46	3.47
DURETE	3.48	3.49	3.50	3.51	3.52	3.53

3.2.5 Analyse statistique de la variabilité spatiale des ions majeurs, de la silice et de la conductivité

a- Démarche utilisée

Les ions majeurs, la conductivité et la silice sont des paramètres qui, en raison de leur variabilité essentiellement d'origine géologique, peuvent être étudiés globalement. Cet ensemble de paramètres est étudié de manière plus approfondie que les autres paramètres en raison de leur importance dans le réseau considéré et, également parce que les données existantes le permettent. Dans un premier temps, l'application de l'analyse factorielle des correspondances (A.F.C.) aux moyennes annuelles de ces paramètres est effectuée. Cette méthode, décrite en détail dans l'annexe C, permet en effet :

- de faire ressortir les groupes de stations ayant des comportements semblables par rapport à l'ensemble des paramètres considérés,
- d'identifier le comportement des différents paramètres,
- de caractériser le regroupement des stations en fonction du comportement des paramètres.

La classification hiérarchique ascendante est appliquée dans une deuxième étape, aux résultats de l'A.F.C., afin de déterminer de manière objective les groupes de stations. Les principales caractéristiques de cette méthode sont indiquées dans l'annexe C.

Dans cette étude plus approfondie des ions majeurs, de la silice et de la conductivité, on se limite à l'analyse de la variabilité spatiale des moyennes annuelles. La comparaison des moyennes saisonnières entre elles a, en effet, déjà fait l'objet d'une analyse (section 3.2.4 C) et les figures 3.2 à 3.35 illustrent de manière synthétique le comportement des moyennes saisonnières par rapport à la moyenne annuelle.

b- Application de l'analyse factorielle des correspondances (A.F.C.)

L'analyse factorielle des correspondances est appliquée sur les données des moyennes annuelles des ions majeurs (sauf les bicarbonates), de la conductivité et de la silice aux 62 stations. Ce tableau initial comprend donc 8 colonnes (une par paramètre) et 62 lignes (une par station).

Les bicarbonates ont été éliminés de l'étude car ce paramètre a été reconstitué et sa valeur peut être entachée d'erreur (section 3,2,4 a). La méthode a été appliquée à plusieurs reprises sur cette matrice des valeurs moyennes. Nous avons en particulier envisagé:

- l'analyse du tableau des valeurs brutes,
- l'analyse du tableau des valeurs codées.

Dans chacun des deux cas précédents, nous avons également effectué un essai en considérant la silice comme un élément supplémentaire, c'est à dire que l'on donne ou non un poids nul à ce paramètre qui, bien qu'ayant une origine géologique comme les ions majeurs, se comporte généralement de façon différente.

Afin de ne pas alourdir la discussion des résultats, nous décrivons seulement ici l'analyse sur les valeurs brutes en ne considérant pas la silice comme élément supplémentaire et ceci pour deux raisons:

- L'analyse des valeurs brutes se prête un peu mieux à l'interprétation géologique que l'on veut effectuer du comportement des ions majeurs
- Les quatre analyses possibles conduisent à des résultats voisins ne présentant que de légères différences entre eux.

La méthode d'A.F.C. consiste à rechercher:

- les axes principaux du nuage des 62 "points-station"; chacun de ces points est représentatif d'un vecteur de 8 composantes qui sont les valeurs moyennes des paramètres à la station considérée,
- les axes principaux du nuage des "points-paramètre"; chaque point est représentatif d'un vecteur de 62 composantes qui sont les valeurs moyennes obtenues pour ce paramètre à l'ensemble des stations.

Pour simplifier la représentation des "points-station" dans le plan des axes factoriels, on a remplacé le code M.R.N. de chaque station retenue, par un nombre allant de 1 à 62 comme l'indique le tableau 3,16.

Les 3 premiers axes principaux expliquent respectivement 59.9%, 26.9% et 9% de la variabilité. Le plan des 2 premiers axes contribue donc à 86.8% de l'explication de la variabilité.

La figure 3.54 qui indique la représentation simultanée des "points-paramètre" et des "points-station" dans le plan des 2 premiers axes principaux, sert de base à l'interprétation des résultats obtenus.

c- Etude des "points-station" par classification ascendante hiérarchique (C.A.H.)

Il est possible, à partir de l'examen de la proximité des points représentatifs des stations dans le plan des deux premiers axes, d'effectuer certains regroupements; en effet, la proximité de deux "points-stations" est indicative d'un comportement semblable. Cependant, une telle approche reste subjective et ne ferait intervenir que les deux premiers axes principaux. C'est pourquoi, afin d'effectuer un regroupement plus objectif des stations ayant un comportement semblable, la méthode de classification ascendante hiérarchique (C.A.H., Annexe C), a été utilisée en considérant pour chaque station, les coordonnées sur les quatre premiers axes principaux qui expliquent 98% de la variabilité totale. Chaque station est donc représentée par quatre coordonnées et il est possible de déterminer les distances euclidiennes, entre toutes les paires de stations prises deux à deux. La C.A.H. détermine,

automatiquement, de manière itérative, les groupes de points peu distants de sorte que la variance à l'intérieur de chaque groupe soit faible et la variance entre les différents groupes soit élevée (critère d'agrégation basé sur la maximisation du moment centré d'ordre 2). La classification obtenue en discriminant un maximum de 8 groupes apparaît à la figure 3.55. La composition de chacun des groupes A à H est décrite dans le tableau 3.17. La représentation des 8 groupements de base, obtenus par la C.A.H. dans le plan des axes principaux 1 et 2 apparaît à la figure 3.56.

Pour un nombre de groupements désiré, inférieur à 8, on peut directement effectuer la détermination de la composition de ces groupes, à partir de la figure 3.55. Si, par exemple, on veut obtenir seulement quatre groupes, on obtient (A+B+C), D, E et (F+G+H). Ces résultats sont obtenus uniquement sur la base de la classification des stations en considérant les résultats de l'A.F.C. Une analyse plus approfondie des groupements obtenus sera effectuée ultérieurement; cependant, un bref examen à priori montre que la classification s'effectue selon la localisation des stations. Ainsi, dans le cas où l'on considère seulement 4 groupes:

- le groupe D comprend la partie de la région 02 située au sud de la rivière Du Loup inclusivement et une partie de la région 03
- le groupe E comprend la partie de la région 02 située au nord de la rivière Trois-Pistoles inclusivement et les stations de la région 01
- Le groupe (A+B+C) comprend des stations des régions 03, 04 et 05
- Le groupe (F+G+H) comprend des stations des régions 04, 05, 06 et 07.

Le choix du nombre de groupes à considérer résulte d'un compromis entre le niveau de finesse désiré dans l'interprétation et le potentiel des données considérées.

d- Etude des "points-paramètre" et représentation simultanée

La représentation des "points-paramètre" dans le plan des axes 1 et 2 (figure 3.54) montre que:

- l'axe 1 est caractérisé par l'opposition entre, d'une part, le sodium et les chlorures et à un degré moindre, le potassium ayant des facteurs positifs élevés et, d'autre part, le calcium, le magnésium et la conductivité qui ont des facteurs négatifs élevés. Il faut cependant noter que le magnésium est principalement expliqué par le quatrième axe principal, ce paramètre contribuant peu à la variabilité générale

- l'axe 2 montre l'opposition entre, d'une part, le sodium et les chlorures et, d'autre part, les sulfates et surtout la silice. Cet axe fait ressortir le comportement particulier de la silice par rapport aux autres paramètres. L'analyse effectuée en considérant la silice en point supplémentaire qui n'est pas détaillée ici, ne modifie cependant pas les conclusions de l'étude

- l'axe 3 effectue la discrimination entre la silice et les sulfates qui, voisins sur l'axe 2, sont opposés sur cet axe.

La représentation dans le plan des axes 1 et 2, qui montre la proximité des points représentatifs du calcium, de la conductivité et du magnésium traduit la relation qui existe globalement, entre ces paramètres; on trouve également une association statistique entre le sodium et les chlorures.

La représentation simultanée dans le plan des axes 1 et 2 des "points-paramètre" et des "points-station" permet de caractériser chaque groupe de stations suivant leur proximité ou leur éloignement des points représentatifs des paramètres. Les groupes déterminés par la C.A.H. et identifiés dans le plan des axes 1 et 2 (figure 3.56) sont considérés:

- le groupe E est caractérisé par des valeurs élevées de calcium, des valeurs intermédiaires de conductivité et de magnésium et de faibles valeurs de sodium, chlorures et potassium
- le passage du groupe E au groupe D traduit une augmentation de chlorures, de sodium et de potassium et une diminution de calcium et de magnésium
- les groupes A et surtout B et C sont caractérisés par des valeurs élevées de sodium et de chlorures. Le groupe A occupe une position intermédiaire et est caractérisé par la présence de sulfates et de potassium
- les groupes F, G et H sont caractérisés par le comportement de la silice et, à un degré moindre, des sulfates. En effet, bien que les concentrations de ces paramètres ne soient pas très élevées dans l'absolu, leur niveau relatif par rapport à celui des autres paramètres (en particulier calcium, sodium et chlorures) leur donne un rôle important dans la caractérisation du groupe F, G, H.

3.2.6 Interprétation de la variabilité spatiale des ions majeurs, de la conductivité et de la silice

La composition des eaux en ions majeurs et silice, et les valeurs observées de conductivité sont reliées en grande partie à la géologie et à la physiographie (Annexe A); c'est pourquoi il est important, pour permettre l'interprétation des niveaux de concentrations observées pour les paramètres du groupe 1 et des regroupements de stations de comportement semblable, de décrire le cadre physiographique et géologique du territoire étudié (régions hydrographiques 01 à 07) qui correspond au Québec méridional.

L'annexe D décrit, de manière détaillée, pour chacune des régions hydrographiques, les différentes formations géologiques rencontrées, les minéraux les plus fréquents et leur incidence sur les paramètres physico-chimiques. Les points les plus importants de l'annexe D sont soulignés ici, dans le cadre de l'interprétation de la variabilité spatiale des paramètres du groupe 1.

a- Cadre physiographique et géologique

Le Québec méridional peut être divisé en trois grandes régions physiographiques, lesquelles concordent sensiblement avec les trois grandes régions géologiques: les hautes-terres laurentiennes (Bouclier canadien), les basses-terres du Saint-Laurent et les Appalaches.

- Les hautes-terres laurentiennes:

Les hautes-terres laurentiennes occupent la majeure partie du territoire situé au nord du fleuve et recouvrent la presque totalité des régions hydrographiques 04, 05, 06 et 07 (figure 3.57). Elles s'élèvent brusquement au nord des basses-terres du Saint-Laurent; leur surface est relativement uniforme et l'altitude moyenne est d'environ 600 m. Quelques massifs dominant toutefois cette pénéplaine: le massif du Parc des Laurentides au nord de Québec qui culmine à 1165 m et le Mont-Tremblant, au nord-ouest de Montréal qui atteint 967 m d'altitude. Les basses-terres du Lac Saint-Jean constituent une enclave à l'intérieur des hautes-terres de la région hydrographique 06.

Au point de vue géologique, les hautes-terres laurentiennes sont formées de roches appartenant à la province géologique de Grenville, laquelle est rattachée au Bouclier canadien.

Le Bouclier est formé de roches très anciennes datant de l'époque précambrienne. Ces roches sont cristallines, massives et peu altérables. La plupart d'entre elles sont des roches ignées: anorthosites, gabbros, granites, syénites et des roches métamorphiques: gneiss et paragneiss (calcaires cristallins, quartzites, gneiss à sillimanite et à biotite, amphibolites).

Les roches consolidées des hautes-terres laurentiennes sont généralement recouvertes d'une mince couche de till glaciaire dont l'épaisseur varie de 2 à 8 m; on rencontre plusieurs zones d'affleurements rocheux, notamment dans la région 07.

Les tills laurentiens ont une texture sableuse et ils sont non calcaires; les sols qui en dérivent sont des podzols. Quant aux basses-terres du Lac Saint-

Jean, elles sont en grande partie constituées de roches de l'Ordovicien: calcaires et shales. Comme cette cuvette a été envahie par la mer, on retrouve aussi des argiles marines dans cette partie de la région hydrographique 06.

- Les basses-terres du Saint-Laurent:

Les basses-terres du Saint-Laurent sont constituées de plaines qui bordent les rives du Saint-Laurent, en amont de la ville de Québec et qui s'étendent dans la partie sud-ouest de la province. Elles occupent la moitié du territoire de la région 03, ainsi qu'une petite partie du territoire des régions 02, 04 et 05, le long du fleuve, comme l'indique la figure 3.57.

Les basses-terres sont constituées de formations rocheuses presque horizontales, ce qui donne à la plaine du Saint-Laurent, son aspect plutôt uniforme. A l'exception des collines montérégiennes, l'altitude y dépasse rarement 150 m.

Toutes les roches consolidées des basses-terres, sauf celles des collines montérégiennes, sont des roches sédimentaires datant surtout de la période ordovicienne mais, également, de l'époque cambrienne. Ces roches comprennent des shales, des calcaires, des dolomies et des grès.

A cause du faible relief de la plaine et de la subhorizontalité des roches, les dépôts superficiels sont épais et les affleurements rocheux très rares. Les roches consolidées des basses-terres ont d'abord été recouvertes de dépôts glaciaires (tills), eux-mêmes recouverts en grande partie, par la suite de sédiments d'origine marine: argiles et sables. *Les argiles marines* représentent le type de dépôt meuble le plus abondant et le plus caractéristique des basses-terres. Leur épaisseur atteint 75 m dans la plaine de Montréal.

- Les Appalaches

La région des Appalaches s'étend au sud-est des basses-terres du Saint-Laurent et la limite entre ces deux régions physiographiques est marquée par la faille de Logan. Les Appalaches englobent la région des Cantons de l'Est et la péninsule gaspésienne, recouvrant ainsi la moitié du territoire de la région 03, la presque totalité de la région 02 et entièrement la région 01 (figure 3.57).

Sur le plan physiographique, la région des Appalaches se subdivise en zones montagneuses et en zones de bas-plateaux.

Les zones montagneuses comprennent:

- . les monts Notre-Dame, qui s'étendent sur près de 600 km de Thetford à la baie de Gaspé et dont les plus hauts sommets atteignent 1300 m, dans les Monts Chic-Chocs, en Gaspésie (région 02)
- . les monts Sutton, qui s'étendent dans les Cantons de l'Est et qui culminent à 1000 m (région 03)
- . les monts Mégantic (région 02)

Les zones de bas-plateaux comprennent:

- . les bas-plateaux du Québec oriental, dont la surface est tantôt plane, tantôt ondulée (régions 02 et 03)
- . les bas-plateaux de la Baie des Chaleurs, dont le relief est uniforme et l'altitude varie de 240 à 300 m (région 01).

Les Appalaches sont constituées de roches fortement plissées, ce qui explique le relief accentué de la région. Les formations rocheuses comprennent des roches sédimentaires de l'Ordovicien, du Silurien et du Dévonien dont plusieurs sont métamorphisées: ardoises, schistes, grès, grauwackes, quartzites, conglomérats et calcaires. Étroitement associées à ces roches sédimentaires, on rencontre des roches volcaniques du même âge. Cet assemblage de roches sédimentaires et volcaniques est fortement plissé, bouleversé et envahi par des roches ignées intrusives: granite, péridotite, etc...

Les formations rocheuses dominantes des Cantons de l'Est (région 03) diffèrent légèrement de celles de la péninsule gaspésienne (régions 01 et 02). Les Cantons de l'Est contiennent surtout des schistes et des ardoises, alors que la Gaspésie renferme surtout des calcaires et des grès.

Les roches consolidées sont recouvertes, en grande partie, de tills glaciaires. Les tills appalachiens ont une épaisseur très variable; 10 à 12 m dans les vallées et moins de 1 mètre sur les interfluves. Ils sont complètement absents sur les hauts sommets des monts Chic-Chocs où l'assise rocheuse affleure. Les tills appalachiens sont généralement calcaireux et leur texture est plus argileuse que celle des tills laurentiens.

On trouve des sédiments argileux d'origine marine sur le littoral des bas-plateaux du Québec oriental de même que sur le littoral des bas-plateaux de la Baie des Chaleurs.

b- Synthèse de l'analyse statistique et des caractéristiques géologiques

L'analyse statistique décrite à la section 3.2.5 b (A.F.C.) et à la section 3.2.5 c (C.A.H.) montre les groupements de stations qu'il est possible d'effectuer. Pour les fins de l'interprétation de la variabilité spatiale des moyennes annuelles d'ions majeurs, de silice et de conductivité, on considère les quatre groupes (A+B+C), D, E, (F+G+H) décrits à la figure 3.55 et dans le tableau 3.17. La prise en compte d'un nombre plus important de groupes rendrait l'interprétation plus difficile. Sur la figure 3.58, ces quatre groupes sont identifiés géographiquement et il est remarquable de constater que les groupes obtenus sur une base d'analyse statistique correspondent rigoureusement à des régions physiographiques. La seule exception à cette superposition est la station 06220A, située sur la Péribonca. Cette station, codée 56 dans l'A.F.C., a été introduite dans le groupe A, lors de la classification alors qu'elle n'a aucun lien géographique avec les stations de ce groupe; l'examen de la figure 3.56 montre qu'elle occupe une position extrême, dans le groupe A et qu'elle pourrait se trouver dans le groupe F (figure 3.58). De la même manière que sur la figure 3.1, les stations des grands bassins de l'Outaouais (04310A) et du Saguenay (06290B) ne sont pas délimités sur la figure 3.58.

Le but visé ici consiste à expliquer, à l'aide des caractéristiques physiographiques et géologiques du territoire décrites précédemment, les raisons du regrou-

pement des stations et l'influence des paramètres sur chaque groupe déjà obtenus sur une base d'analyse statistique, respectivement aux sections 3.2.5 c et d.

- . Le groupe (A+B+C) correspond géographiquement aux basses-terres (figures 3.57 et 3.58 qui comprennent des roches sédimentaires, généralement très altérables: shales, calcaires, dolomies, grès à ciment dolomitique ou calcaireux. Ces roches sont en majeure partie recouvertes d'argile marine.

Les shales sont formés de sédiments marins argileux très poreux qui, lors de leur consolidation, ont emprisonné des sels à l'intérieur de leurs pores. Les eaux en contact avec ces shales vont s'enrichir surtout en sodium et chlorures.

Les dépôts meubles sont constitués en majeure partie d'argile marine. Ces argiles étant très poreuses et peu perméables, la vitesse d'infiltration des eaux est très faible et le temps de contact des eaux avec les particules argileuses est très long, favorisant ainsi la dissolution des sels. De plus, les argiles par échange d'ions vont favoriser le relâchement du sodium et du potassium plutôt que du calcium. Les eaux en contact avec ces argiles marines sont donc fortement minéralisées et les teneurs en sodium, chlorures et potassium sont élevées, ce qui explique les résultats obtenus à la section 3.2.5 d.

Les calcaires, les dolomies et les grès à ciment dolomitique ou calcaireux constituent une grande partie des roches consolidées des basses-terres (voir annexe D) et peuvent expliquer, dans une large mesure, les apports en calcium et magnésium (voir Annexe A).

- . Le groupe E (figure 3.58), correspond aux Appalaches de la péninsule gaspésienne (figure 3.57), constituées de roches sédimentaires très altérables. Ces roches sont, de plus, fortement plissées et fissurées, ce qui favorise la circulation de l'eau à l'intérieur de ces formations.

Toutefois, en profondeur, la fissuration des roches étant moins élevée, la vitesse de circulation des eaux sera plus lente. Le temps de contact des eaux avec les roches étant plus long, la minéralisation sera importante.

Malgré la diversité des minéraux rencontrés dans les roches gaspésiennes (annexe D) et dont l'ensemble pourrait contribuer à l'apport d'ions majeurs dans les eaux, ce sont les calcaires qui contribuent probablement le plus à la composition des eaux et qui entraînent des concentrations élevées en calcium (Annexe A). L'importance des calcaires et des siltstones calcaires sur l'ensemble de la péninsule gaspésienne est mise en évidence dans l'annexe D. Les tills appalachiens qui recouvrent une bonne partie des roches consolidées, étant eux-mêmes calcaires, auront également une influence sur la teneur en calcium dans les eaux.

La teneur relativement importante en magnésium peut s'expliquer par la présence d'impuretés (magnésite) dans les calcaires de la Gaspésie. Les roches qui pourraient contribuer à l'apport en sodium sont des roches ignées peu altérables et peu nombreuses, telles que l'andésite et la diorite; ce qui explique la faible teneur en sodium.

On voit peu de différence dans les contributions en ions majeurs entre les bas-plateaux et les monts Notre-Dame, même si l'épaisseur des dépôts meubles est plus importante dans les bas-plateaux que dans les monts Notre-Dame.

L'interprétation physico-chimique confirme encore les résultats obtenus par l'analyse statistique (section 3.2.5 d) et permet de justifier les fortes valeurs moyennes observées pour le groupe E, en calcium et, à un degré moindre, en magnésium.

Le groupe D (figure 3.58), est une zone de transition entre les Appalaches (groupe E) et les basses-terres (groupe A+B+C). Les eaux de cette région possèdent donc les caractéristiques de celles des Appalaches et des basses-terres. Cette région comme l'a montré l'analyse statistique (section 3.2.5 c), est caractérisée par des teneurs en sodium et chlorures notables, mais plus faibles que celles observées pour les basses-terres. On observe

par contre, des concentrations en calcium et magnésium intermédiaires entre les valeurs élevées des Appalaches (groupe E) et les faibles valeurs observées dans les basses-terres (groupe A+B+C).

- Le groupe (F+G+H), comme l'indique la figure 3.58, occupe la plus grande partie des régions hydrographiques 04, 05, 06 et 07 et correspond (figure 3.57) au bouclier canadien. Cette région est constituée de roches ignées (anorthosites et granites) et de roches métamorphiques (gneiss). Ces roches sont des roches cristallines massives qui sont généralement peu altérables. Elles sont également imperméables et non poreuses, donc peu favorables à la présence d'aquifères. Le temps de contact des eaux avec les roches du bouclier étant très faible, les eaux seront donc assez peu minéralisées, ce qui explique les concentrations relativement faibles en ions majeurs. La silice tient une place relativement importante dans la composition chimique des eaux du bouclier, car les gneiss et les granites sont principalement composées de quartz et de feldspath, minéraux riches en silice.

Le sodium et le calcium peuvent provenir du feldspath plagioclase, qui représente un constituant caractéristique de l'anorthosite (Annexe D).

Les gneiss à sillimanite contenant des feldspaths potassiques (orthoses) pourraient contribuer, dans une certaine mesure à l'apport en potassium. La couche de dépôts meubles étant assez mince et les affleurements rocheux nombreux, la composition chimique de l'eau est davantage influencée par la composition des roches consolidées.

L'apport atmosphérique en sulfates peut expliquer en partie les niveaux de concentrations relativement élevées des sulfates dans les eaux. Les précipitations sont acides et favorisent l'altération des roches consolidées. Les eaux de surface du bouclier ont donc tendance à être acides à cause des apports des sols acides (podzols), des précipitations et de la faible minéralisation des eaux.

Les résultats obtenus à la section 3.2.5 d, particulièrement en ce qui concerne le rôle joué par la silice et les sulfates dans les eaux du bouclier canadien (groupe F+G+H), sont donc bien justifiés par la géologie de cette région.

3.2.7 Variabilité spatiale des nitrates et phosphates

Les nitrates et les phosphates n'ont pas été considérés dans l'analyse multidimensionnelle précédente, car ils ont un comportement surtout relié à l'utilisation du territoire (agriculture, élevage, rejets urbains) ou aux apports d'origine atmosphérique qui ne peuvent être expliqués par la géologie.

α- Caractérisation générale de la variabilité spatiale des nitrates et des phosphates

De manière globale, on peut voir, à l'examen du tableau 3.14 que, dans le cas des nitrates, les moyennes d'hiver sont significativement plus élevées que celles des autres saisons et que les valeurs d'été sont les plus basses. Dans le cas des phosphates, les différences entre moyennes saisonnières sont généralement beaucoup moins significatives, à l'exception de certaines stations de la région 02 et de la région 06.

Les tableaux 3.10 et 3.12 montrent, d'autre part, que les précisions atteintes sur les moyennes de nitrates et de phosphates sont moins bonnes que celles obtenues pour les moyennes des autres paramètres mesurés du groupe 1. Ce comportement peut s'expliquer par le fait que les concentrations observées en nitrates et phosphates, sont souvent reliées à l'utilisation du territoire et dues à des activités humaines locales, alors que les autres paramètres du groupe 1 sont d'origine géologique plus diffuse. En effet, la plus grande variabilité des nitrates et des phosphates se traduit par une grande imprécision dans la détermination des moyennes de ces paramètres et une plus grande difficulté de mettre en évidence des différences significatives entre les moyennes saisonnières lors de l'application de l'analyse de variance.

La cartographie des valeurs moyennes annuelle et saisonnières de nitrates et de phosphates, effectuée pour chaque région hydrographique, respectivement dans les figures 3.36 à 3.41 et 3.42 à 3.47 résume la variabilité spatiale des moyennes de ces paramètres et illustre de manière nette les concentrations élevées qui sont observées dans les régions 03 et 05 (zones agricoles).

b- Analyse de la variabilité spatiale des moyennes annuelles de nitrates et de phosphates

La comparaison des moyennes saisonnières a déjà été étudiée à la section 3.2.4 c et ici on se limite à l'étude des moyennes annuelles. Pour analyser la variabilité spatiale des moyennes annuelles de nitrates et de phosphates, on considère une comparaison des moyennes par analyse de variance et une classification des concentrations moyennes.

- L'analyse de variance (Annexe C) a pour but de comparer les moyennes annuelles de nitrates et de phosphates observées aux différentes stations. En se basant sur les valeurs du tableau 3.8, on a distingué à priori, trois sous-groupes correspondant respectivement aux stations des régions 01 et 02, des régions 03, 04 et 05 et des régions 06 et 07. Une analyse de variance considérant simultanément les 62 stations du réseau aurait en effet été trop globale et aurait pu conduire à des résultats trop généraux. L'analyse de variance effectuée sur chacun des trois sous-groupes montre que pour chacun des deux paramètres, il ne peut y avoir égalité simultanée des moyennes, à l'exception des phosphates pour le sous-groupe des régions 06 et 07. Dans les cas où il y a rejet de l'hypothèse d'égalité simultanée des moyennes, on a considéré le test de Scheffé, au niveau de 5% (Annexe C), afin de déterminer les regroupements possibles de stations ayant des moyennes non significativement différentes.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 3.18; les moyennes annuelles observées aux différentes stations sont classées par ordre croissant et représentées par le code précédemment utilisé (tableau 3.16).

L'examen du tableau 3.18 met en évidence:

- une hétérogénéité généralement plus grande pour les nitrates que pour les phosphates, ce qui se traduit par l'identification d'un nombre plus grand de sous-groupes homogènes
- Une hétérogénéité des moyennes de nitrates et de phosphates est particulièrement importante pour le groupe constitué des régions 03, 04 et 05, moins importante pour le groupe des régions 01 et 02 alors que pour les régions 06 et 07, on observe une grande homogénéité
- Dans chaque cas où il y a une hétérogénéité globale marquée, elle est principalement due aux stations qui ont des concentrations élevées. Si l'on considère, par exemple, les nitrates pour les régions 03, 04 et 05, il est possible de montrer qu'il y a égalité simultanée entre les 16 stations ayant les plus petites concentrations moyennes (stations 40, 38, ... 29, 35) alors que les stations ayant des moyennes élevées donnent lieu à des regroupements de faibles effectifs (31, 28, 47 ou 28, 47, 32 par exemple).
- En ce qui concerne les nitrates (tableaux 3.18 et 3.8), les concentrations moyennes les plus élevées se retrouvent:
 - . dans le sud de la région 02, particulièrement pour les rivières Bécancour (18) et Du Sud (23) avec des moyennes respectives de 1.20 et 1.51 mg/l de NO_3 ,
 - . dans les régions 03 et 05, pour les rivières Yamachiche (50), Yamaska (31 et 28), La Bayonne (47) et des Hurons (32), avec des moyennes annuelles respectives de 1.74, 2.18, 2.33, 3.04 et 3.27 mg/l de NO_3 .

- en ce qui concerne les phosphates, les concentrations moyennes les plus élevées se retrouvent:
 - . dans le sud de la région 02 sur les rivières Petite du Chêne (21), Du Loup (16), Gentilly (22) et Trois-Pistoles (15) avec des moyennes respectives de 0.067, 0.075, 0.077 et 0.106 mg/l de PO_4 .
 - . et surtout dans les régions 03, 04 et 05, sur les rivières Des Hurons (32), Yamaska (28, 30, 31 et 36) et La Bayonne (47) avec des valeurs variant de 0.228 à 0.310 mg/l de PO_4 .
- . la classification des valeurs moyennes de nitrates et de phosphates est effectuée de manière empirique en distinguant, pour chacun de ces paramètres, trois classes d'effectifs comparables (classes équiprobables) correspondant aux valeurs moyennes annuelles faibles, intermédiaires et élevées de chaque paramètre. Les seuils de chaque classe sont déterminés après avoir classé les moyennes observées par valeurs croissantes en divisant l'intervalle de variation de manière à respecter la contrainte des classes d'effectifs comparables; les valeurs limites de ces classes ne correspondent donc pas à des valeurs définies a priori en fonction d'un critère d'utilisation de l'eau. Dans le cas des phosphates, la classe des valeurs intermédiaires a un effectif de 11 stations seulement et la contrainte de classe équiprobable n'a pu être respectée afin de conserver un sens physique aux classes délimitées. Le tableau 3.19 indique la répartition des stations (avec le code défini dans le tableau 3.16), par classe de valeurs moyennes de nitrates et de phosphates. Bien que cette classification soit, en partie, subjective, puisque reliée à la valeur des seuils choisis, il est possible d'en tirer plusieurs conclusions:
 - Les cellules diagonales de la matrice des effectifs, donnés par le tableau 3.19, comprennent environ 75% du total des 62 stations, ce qui montre une relation assez forte entre les niveaux de concentration des phosphates et de nitrates (en effet, s'il n'y avait aucune relation, l'ensemble de ces 3 cellules aurait

un effectif de 33% du total des stations, en raison du découpage en classes quasi-équiprobables), Les valeurs moyennes annuelles faibles et élevées de nitrate ont tendance à correspondre respectivement à des valeurs faibles et élevées de phosphates. Les valeurs intermédiaires de nitrates ne suivent cependant pas complètement cette tendance, puisqu'elles sont réparties avec des effectifs voisins suivant les 3 classes de phosphates.

- La cellule correspondant aux valeurs moyennes annuelles faibles en nitrates et en phosphates, regroupe toutes les stations des régions 06 et 07 et quelques stations des régions 01 (Bonaventure [1], Matapédia [5] et Madawaska [6]), 02 (Metis [13], Rimouski [14] et Ouelle [17]), 04 (Gatineau [38]) et 05 (St-Maurice [40]).
- La cellule correspondant aux moyennes annuelles élevées en nitrates et phosphates comprend toutes les stations de la région 03, à l'exception de la St-François [25] et quelques stations de la région 05 (Portneuf [44], L'Assomption [46], Bayonne [47] et Yamachiche [50]) et de la région 02 (Du Sud [18] et Chaudière [19]).

D'un point de vue plus particulier, le tableau 3.19 permet de caractériser une station donnée en termes de niveau moyen annuel de concentration en nitrates et phosphates. Une interprétation plus approfondie de la variabilité spatiale des moyennes annuelles de nitrates et de phosphates nécessiterait une identification plus précise des activités d'agriculture et d'élevage et des zones de rejets ponctuels; de tels développements reliés à l'utilisation de l'eau à un niveau régional et local sortent du cadre de cette étude générale.

3.2.8 Etude de la variabilité spatiale des paramètres du groupe 2

a- Introduction

Le groupe 2 est défini comme l'ensemble des paramètres qui n'ont pas été considérés précédemment. En effet, la silice, les ions majeurs, la conductivité, les nitrates et les phosphates qui constituent le groupe 1, ont fait l'objet d'une étude spatiale détaillée dans ce qui précède.

Cette séparation en 2 groupes a été effectuée (section 3.2.2) sur la base des données disponibles en considérant les 2 phases distinctes d'opération du réseau avant 1973 et de 1973 à 1975. Le groupe 2 comprend les 13 paramètres pour lesquels les données sont généralement disponibles seulement pour la période 1967-1972:

- . bicarbonatés
- . solides dissous
- . dureté totale
- . dureté non carbonatée
- . pH
- . couleur
- . alcalinité
- . oxygène dissous
- . fer
- . manganèse
- . carbonates
- . fluorures
- . température

Pour les raisons déjà indiquées à la section 3.2.2, la possibilité d'analyse de la variabilité spatiale de ces paramètres est fortement conditionnée, tant par la quantité que par la qualité des données disponibles. C'est pourquoi, dans un premier temps, un examen attentif des paramètres du groupe 2 est effectué, pour déterminer ceux qui peuvent faire l'objet d'une analyse et pour justifier le rejet des autres.

b- Sélection des paramètres du groupe 2 pour l'analyse de la variabilité spatiale

Les 2 critères que l'on peut considérer pour retenir ou rejeter un paramètre sont:

- la qualité des données
- la quantité des données à une station et le nombre de stations où l'on dispose de données.

Dans cet examen, on doit également prendre en compte l'importance du paramètre considéré. En effet, si la connaissance de la variabilité spatiale d'un paramètre présente, même de manière indicative, une grande importance, on visera une exploitation optimale de l'information disponible.

Alcalinités, carbonates et bicarbonates:

En réalité, seuls l'alcalinité totale et l'alcalinité des carbonates ont été mesurés jusqu'en 1973 (annexe A, section A.1.9 d). L'alcalinité totale est identifiée dans la banque comme alcalinité et l'alcalinité des carbonates est assimilée au paramètre carbonates, bien que dans ce cas, la présence de certains anions organiques ou inorganiques puisse conduire à une surestimation des carbonates (annexe A, section A.1.9h).

L'alcalinité totale et l'alcalinité des carbonates ont été peu mesurés ou de façon très irrégulière, sauf pour l'alcalinité totale de 1967 à 1970. La mesure de ces 2 paramètres a été abandonnée depuis 1973, en raison des délais entre le prélèvement et l'analyse en laboratoire pouvant entraîner des modifications dues à des pertes ou des gains de CO_2 pendant le transport et l'entreposage. Cette décision peut être contestée (annexe A, section A.1.9 h) en ce qui concerne l'alcalinité totale.

En résumé, pour l'alcalinité, les carbonates et les bicarbonates, on dispose de peu de mesures, souvent douteuses et il n'est pas possible d'envisager une étude de leur variabilité spatiale.

Dans les cas des bicarbonates cependant, une reconstitution de ce paramètre a été effectuée à partir de la connaissance des ions majeurs, pour la période 1973-1975 et la qualité de la reconstitution a été examinée (section 3.2.4 a). Les moyennes annuelles et saisonnières des valeurs reconstituées sont résumées dans le tableau 3.8 et la représentation de la variabilité spatiale de ces moyennes reconstituées est donnée par les figures 3.2 à 3.29. Dans certaines conditions (pH < 9, concentrations de carbone inorganique supérieur à $10^{-3.5}$ M, contributions négligeables d'autres systèmes acide-base que celui des carbonates), les bicarbonates donnent une bonne estimation de l'alcalinité totale (annexe A, section A.1.9 e).

Solides dissous:

Comme l'indique le tableau 2.14, les solides dissous ont été très peu mesurés, sauf en 1967. En 1967, ils ont, relativement aux autres paramètres, été bien mesurés, mais cette année marque les débuts du réseau et seulement huit stations ont été opérées, sur une période non représentative de l'année. De plus, des réactions de précipitation et de dissolution ayant pu se produire entre le prélèvement des échantillons et l'analyse en laboratoire ont pu affecter les résultats obtenus (annexe A, section A.1.16 b). Les données obtenues ne peuvent être utilisées pour l'étude de la variabilité spatiale des solides dissous, tant d'un point de vue de la qualité des résultats que de leur quantité.

Dureté totale et dureté non-carbonatée:

Ces deux paramètres sont calculés. La dureté totale est déduite des concentrations de calcium et de magnésium (annexe A, section A.1.12 b). La représentation de la variabilité spatiale des moyennes annuelles et saisonnières de la dureté a été effectuée pour la période 1973-1975 à la section 3.2.4 d sur les figures 3.48 à 3.53.

En ce qui concerne la dureté non-carbonatée, elle est obtenue par différence entre la dureté totale et l'alcalinité (annexe A, section A.1.12 b) et ne peut donc être considérée dans une étude spatiale, pour les mêmes raisons que l'alcalinité totale.

Oxygène dissous

L'oxygène dissous a été très peu mesuré, comme le montre le tableau 2.14 et l'on ne dispose pas de données suffisantes pour étudier la variabilité spatiale de ce paramètre.

pH

Pour ce paramètre, on dispose de données de 1967 à 1970. Cependant, la qualité des données obtenues peut être fortement mise en doute car, en raison des délais entre le prélèvement des échantillons et l'analyse en laboratoire, différentes réactions peuvent affecter de manière notable les résultats obtenus (annexe A, section A.1.17 b); cette raison explique d'ailleurs, l'abandon progressif de la mesure du pH lors de l'opération du réseau.

Fer, manganèse, fluorure et couleur

Ces 4 paramètres ont été mesurés à toutes les stations du réseau en 1967 et 1968. Ensuite, ils sont mesurés sur une base beaucoup moins régulière jusqu'en 1972 (tableau 2.13). Cependant, en raison de l'augmentation progressive du réseau, à partir de 1968, on dispose de données en quantité suffisante pour examiner, au moins de manière sommaire, la variabilité spatiale de ces paramètres.

Bien que les délais entre le prélèvement des échantillons et l'analyse en laboratoire puissent favoriser des réactions et nuire à la représentativité des données (annexe A), l'analyse des données obtenues est justifiée en raison de l'importance particulière de la couleur, du fer, du manganèse et des fluorures pour différentes utilisations de l'eau (alimentation, par exemple).

Température

L'étude de ce paramètre physique, dont certaines caractéristiques sont déjà connues, nécessite la prise en compte des données du réseau mais, également, d'un nombre important de données du M.R.N. ainsi que provenant d'autres organismes,

qui ne sont pas contenues actuellement, dans la banque. Pour cette raison, il semble préférable de recommander une étude beaucoup plus approfondie de la variabilité spatiale de ce paramètre, basée sur la collecte et la synthèse de l'ensemble des données existantes plutôt que d'effectuer, dans le cadre de cette étude, un traitement sommaire n'aboutissant qu'à des conclusions trop générales et peu originales. L'envergure de l'étude à entreprendre dépend de l'importance pratique et de l'utilité de la connaissance de la variabilité spatiale de ce paramètre.

En conclusion:

Parmi l'ensemble des paramètres du groupe 2, seuls la couleur, le fer, le manganèse et les fluorures sont étudiés dans la suite, en ce qui concerne la variabilité spatiale. Cette sélection est basée sur la quantité et la qualité des données disponibles et sur la plus ou moins grande importance de chaque paramètre. La variabilité spatiale de la dureté totale et des bicarbonates, qui sont reliés aux autres ions majeurs, a déjà fait l'objet d'études dans ce qui précède. En ce qui concerne la température, une étude plus approfondie de sa variabilité spatiale, utilisant l'ensemble des données recueillies est recommandée.

c- Couleur

La couleur a été mesurée au cours de trois périodes:

- mars 1968 à mars 1969
- novembre 1969 à août 1970
- octobre 1971 à juin 1972

Des composés d'échantillons ont été effectués et ont été analysés par la même méthode, en laboratoire, au cours de ces trois périodes. En ce qui concerne la composition d'échantillons avant analyse, elle suit la procédure générale décrite à la section 2.2.

Le tableau 3.20 indique, pour chacune des 18 stations, où des données existent:

- les dates de début et de fin de chacune des 3 périodes de prélèvement
- le nombre (N) d'échantillons prélevés et le nombre (n) de composés d'échantillons analysés en laboratoire
- la moyenne (m) calculée, à partir de composés d'échantillons, pour chaque période, à chaque station.

L'examen de ce tableau montre que, pour une station donnée, il n'y a pas de grandes différences entre les moyennes de chacune des 3 périodes, alors que pour chacune des périodes, il y a des différences assez importantes entre les moyennes des différentes stations. Pour faire ressortir ce point, le calcul des moyennes de couleur à chacune des stations est effectué au tableau 3.21, en considérant l'ensemble des 3 périodes; un graphique des moyennes associé à ce tableau illustre la variabilité spatiale des valeurs moyennes de la couleur.

Ce regroupement des 3 périodes est également justifié, d'un point de vue analytique, car la même procédure a été utilisée en laboratoire et les données résultent toujours de la composition de plusieurs échantillons.

Les résultats du tableau 3.21 montrent que l'on observe de faibles valeurs moyennes de couleur pour la région 01 et le nord de la région 02. Une augmentation graduelle des moyennes se produit au sud de la région 02 pour atteindre les niveaux les plus élevés dans la région 03 et la rivière Outaouais, située dans la région 04. Les 2 stations 03020X et 03030B sont situées dans la partie supérieure de bassins versants importants et ne sont représentatives que d'une faible partie de ceux-ci, ce qui peut expliquer les valeurs moyennes intermédiaires observées.

Les stations de la région 05 ont de faibles valeurs moyennes de couleur alors que la région 06 (représentée par les rivières Chamouchouane et Saguenay) est caractérisée par des valeurs élevées.

L'étude de la variabilité spatiale présentée ici doit cependant être considérée comme indicative; en effet, le nombre réduit de stations (18) qui a pu être utilisé pour l'ensemble du territoire, s'il est suffisant pour dégager quelques caractéristiques générales, ne l'est pas pour une étude plus détaillée.

d- Fer

Les données de fer sont obtenues par des prélèvements effectués sur trois périodes distinctes:

- de mars 1968 à mars 1969
- de novembre 1969 à mai 1970
- de janvier 1973 à décembre 1973

Au cours des deux premières périodes, les données sont disponibles à 18 stations et ont été obtenues par composés d'échantillons (cf section 2.2); pour la troisième période, les échantillons analysés proviennent de prélèvements hebdomadaires non composés à un nombre plus important de stations. Une modification des méthodes d'analyse a également été introduite en 1971 (annexe A, section A,1,13 g).

Le tableau 3,22 indique, à chacune des stations pour lesquelles des résultats sont disponibles:

- les dates de début et de fin de période
- le nombre (N) d'échantillons prélevés et, dans le cas des deux premières périodes, le nombre (n) de composés d'échantillons analysés en laboratoire

- la moyenne (m) de fer en mg/l, calculée à chaque station (à partir de composés d'échantillons, dans le cas des 2 premières périodes)

L'examen du tableau 3.22 montre une faible variabilité entre les différentes stations, à l'intérieur de chacune des 3 périodes; par contre, les concentrations moyennes sont très variables d'une période à l'autre. Pour traduire cette homogénéité entre les différentes stations, au cours d'une période et l'hétérogénéité entre les périodes, la moyenne générale pour la période a été calculée à partir des moyennes obtenues aux différentes stations (tableau 3.22).

- pour la première période, la moyenne générale obtenue est de 0.26 mg/l et les moyennes aux stations varient dans l'intervalle (0.11, 0.34)
- pour la deuxième période, la moyenne générale est de 0.07 mg/l et l'intervalle des moyennes locales varie de 0.05 à 0.10 mg/l
- pour la troisième période, on obtient une moyenne générale de 0.42 mg/l et l'intervalle des moyennes locales varie de 0.27 à 0.69 mg/l.

Les valeurs faibles de la deuxième période, par rapport à celles de la première période ne peuvent s'expliquer que par le fait que la deuxième période ne couvre pas une année complète et que les moyennes obtenues sont représentatives de l'hiver et du début du printemps et non de l'année. En effet, le fait que les stations considérées soient les mêmes et les méthodes analytiques soient identiques pour les 2 premières périodes, élimine l'influence du choix des stations et de la procédure analytique.

La différence des résultats obtenus, pour la première et la troisième période, qui sont relatives à une année complète, peut sans doute être expliquée par la modification du processus de prélèvement et d'analyse. En effet, le fait que les stations considérées dans ces 2 périodes ne soient pas les mêmes ne semble pas jouer un rôle important, en raison de l'homogénéité que l'on observe entre les moyennes des stations, pour une période donnée.

En résumé, il est donc impossible, sur la base des données disponibles, de mettre en évidence une variabilité spatiale significative des moyennes annuelles de fer.

e- Manganèse

Les données de manganèse sont obtenues pour deux périodes distinctes:

- mars 1968 à décembre 1968
- janvier 1973 à décembre 1973

Ces deux périodes correspondent respectivement, à la première et à la troisième période de mesure du fer. Les stations considérées, pour chaque période, sont à peu près les mêmes que celles utilisées pour les périodes relatives correspondantes. Le tableau 3.23 qui indique les caractéristiques des données obtenues de manganèse, sous la forme déjà utilisée précédemment pour l'étude du fer, montre que:

- pour la première période, les moyennes aux stations considérées sont toutes inférieures au seuil de détection (0.05 mg Mn/l)
- en ce qui concerne la seconde période, les valeurs moyennes sont à peine plus élevées et ne dépassent jamais 0.08 mg Mn/l.

A partir des données disponibles, le manganèse présente de très faibles concentrations moyennes et il est impossible de mettre en évidence une variabilité spatiale significative.

f- Fluorures

Les fluorures ont été analysés sur 4 périodes distinctes avec 3 méthodes d'analyse différentes (la même méthode étant utilisée pour les 2 premières périodes, annexe A, section A.1.18 d)

- mars 1968 à mars 1969
- novembre 1969 à mai 1970
- mars 1971 à juin 1972
- janvier 1973 à novembre 1973

Pour les 3 premières périodes, les analyses sont effectuées sur des composés d'échantillons (composition selon la procédure décrite à la section 2.2), alors que dans la quatrième période, elles le sont directement sur les échantillons prélevés.

Le tableau 3.24 indique, pour chacune des périodes, les stations pour lesquelles on dispose d'un nombre suffisamment élevé de données:

- le nombre (N) de prélèvements et le nombre (n) de composés d'échantillons
- la moyenne (m) des concentrations de fluorures en mg F/l (calculées à partir des composés d'échantillons dans le cas des 3 premières périodes).

Les résultats du tableau 3.24 indiquent:

- une très faible variabilité entre les moyennes obtenues aux stations, dans une même période
- des différences, parfois marquées, entre les moyennes obtenues, pour une même station, au cours des 3 premières périodes, qui peuvent s'expliquer par le fait que seule la première période couvre une année complète

- des niveaux de concentrations beaucoup plus élevés, obtenus dans le cas des trois premières périodes, que dans celui de la quatrième période. Ces écarts peuvent s'expliquer par des procédures analytiques différentes (délais avant analyse, composition d'échantillons, méthodes d'analyse). La méthode adoptée pour l'analyse des données de la quatrième période conduit à des valeurs plus précises et plus fiables.

En conclusion, il est impossible, sur la base des données disponibles, de mettre en évidence une variabilité spatiale des moyennes annuelles de fluorures.

3.3 Etude des valeurs extrêmes

3.3.1 Cadre de l'étude

Les diverses utilisations de l'eau exigent le non-dépassement de valeurs critiques pour un nombre important de paramètres afin d'assurer une qualité d'eau acceptable. En ce qui concerne les paramètres mesurés par le Service Qualité des Eaux du M.R.N., lors de l'exploitation de son réseau de 1967 à 1975, une étude des relations entre la qualité de l'eau et son potentiel d'utilisation est effectuée dans l'annexe A (section A.2) et des critères de qualité de l'eau pour diverses utilisations sont regroupés dans le tableau A.2.1. La compilation de ces critères s'appuie essentiellement sur les travaux actuellement réalisés par le Service Qualité des Eaux (Provencher, 1977) et sur une étude réalisée pour le compte du M.R.N. (Campbell et al, 1974).

L'approche utilisée ici vise à identifier les paramètres critiques pour certaines utilisations de l'eau et à localiser les régions et les stations où des valeurs critiques sont atteintes; elle permet également de mettre en évidence la gamme de variation des paramètres. Cette approche est essentiellement descriptive et globale compte tenu de la nécessité d'effectuer une étude sur 23 paramètres mesurés sur l'ensemble du territoire couvert par les régions 01 à 07 et aussi parce que les rares études théoriques concernant les valeurs extrêmes (ajustement de lois statistiques, par exemple), ne peuvent s'appliquer que localement.

Les valeurs maximales et minimales, considérées ici, sont déterminées suivant la procédure décrite à la section 3.1.3, à partir des banques annuelle et saisonnières validées,

De la même manière que dans l'étude de la variabilité spatiale, on est amené à distinguer, sur la base de l'opération du réseau, deux groupes de paramètres:

- le groupe 1 qui est constitué des ions majeurs (à l'exception des bicarbonates), de la conductivité, de la silice, des nitrates et des phosphates. Les valeurs considérées sont celles de la période 1973-75.
- Le groupe 2 qui est formé des 13 paramètres autres que ceux du groupe 1. Pour les paramètres de ce groupe, on considère l'ensemble des données disponibles depuis le début de l'opération du réseau.

3.3.2 Valeurs maximales et minimales des paramètres du groupe 1

L'étude des valeurs maximales et minimales des paramètres du groupe 1 est effectuée sur la période 1973-75 pour les 62 stations retenues lors de l'étude de la variabilité spatiale (section 3.2.3). Les données considérées présentent l'avantage d'être homogènes, en qualité et relativement nombreuses. Dans cette étude, on détermine tout d'abord, les valeurs régionales des extrêmes, en les situant par rapport à la gamme des critères rencontrés pour les diverses utilisations de l'eau et, dans une deuxième partie, on considère de manière plus particulière, trois usages importants: la récréation, la vie aquatique et l'alimentation en eau.

α - Gamme de variabilité des valeurs extrêmes (groupe 1)

Pour chaque région hydrographique, on détermine les valeurs maximales (M) et minimales (m) des dix paramètres du groupe 1, sur une base annuelle et sur une base saisonnière. On identifie ainsi les extrêmes saisonniers et annuels qui

ont été mesurés à, au moins, une station de la région hydrographique considérée. Les résultats obtenus qui sont regroupés dans le tableau 3.25 mettent en évidence, pour chacun des paramètres, la gamme de variabilité régionale (M-m) et permettent de suivre l'évolution spatiale des valeurs extrêmes. En ce qui concerne les valeurs minimales, certaines valeurs du tableau peuvent être inférieures aux limites de sensibilité données par le tableau 2.2; en effet, lorsque dans les banques annuelles ou saisonnières une valeur est inférieure au seuil de sensibilité, elle est remplacée par le demi-seuil de sensibilité. Cette caractérisation qui est générale, puisque l'unité de base est la région et non la station, permet cependant de mettre en évidence plusieurs points:

- les valeurs minimales (m) varient généralement assez peu d'une région à l'autre pour une saison donnée et d'une saison à l'autre pour chaque région. Ces valeurs donnent une bonne idée des niveaux de base mesurés pour chaque paramètre.
- Les valeurs maximales (M) présentent, pour la plupart des paramètres considérés, une assez forte variabilité entre les régions pour une même saison ou entre les saisons pour une région.
- C'est dans les régions 03, 02 et 05 que l'on observe les plus fortes valeurs maximales tandis que les plus faibles valeurs maximales sont atteintes, dans les régions 01, 07 et 06, pour l'ensemble des paramètres, à l'exception de la silice.
- Les maxima sont généralement mesurés en hiver ou en automne et les minima ont lieu au printemps.
- En ce qui concerne la gamme de variations (M-m), son classement par ordre décroissant donne par région 03, 05, 02, 04, 01, 06 et 07. La silice est le seul paramètre qui échappe à cette classification, en raison de l'omniprésence des silicates.

- L'étude de la gamme de variabilité pour la conductivité, paramètre intégrateur de la minéralisation, confirme le classement précédent, valable pour la plupart des paramètres.

L'étude des valeurs extrêmes régionales permet de caractériser globalement les différentes régions et revêt une grande importance pratique pour déterminer le potentiel régional pour les divers usages de l'eau. Une analyse du potentiel d'utilisation des différents paramètres est effectuée en annexe A (section A,2); en utilisant les résultats du tableau A.2.1, on a classé les valeurs extrêmes annuelles (tableau 3.25) et on les a situées sur la figure 3.59, par rapport à la gamme des critères de qualité, relative à chaque paramètre pour l'ensemble des usages considérés. Pour les paramètres du groupe 1, seules les valeurs maximales qui peuvent restreindre l'utilisation de l'eau sont considérées, puisque les valeurs minimales ne posent pas de problème d'utilisation. Sur la figure 3.59, on a identifié pour chaque paramètre, les critères relatifs à l'alimentation en eau qui est une utilisation d'intérêt général pour la province.

En ce qui concerne les autres utilisations de l'eau, un examen simultané de la figure 3.59 et du tableau A.2.1 permet de déterminer si le critère relatif à chacune d'entre elles est ou n'est pas dépassé dans chaque région, dans le cas des paramètres pour lesquels des critères sont définis. L'étude plus approfondie des dépassements de critères à chaque station, pour l'ensemble des utilisations de l'eau n'est pas effectuée ici; elle devrait, en effet, pour présenter un intérêt pratique, être basée sur une identification régionale et locale des usages les plus importants. Il est à noter qu'en ce qui concerne la vie aquatique et la récréation, aucun critère n'est défini pour les paramètres du groupe 1. Le cas de l'alimentation en eau est considéré de manière particulière à la section suivante:

- b- Dépassement des critères de qualité relatifs aux paramètres du groupe 1, pour l'alimentation en eau,*

La figure 3.59 permet d'identifier, pour chaque paramètre du groupe 1, si le critère relatif à l'alimentation en eau est ou n'est pas dépassé. Il ressort de l'examen de cette figure que pour cette utilisation:

- les critères, définis dans le tableau A.2.1 de l'annexe A, ne sont jamais dépassés pour la silice, le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium, les nitrates et la conductivité
- les critères ne sont pas toujours respectés, dans la région 03 pour les chlorures et les sulfates et dans les régions 02, 03, 04, 05 et 06, pour les phosphates.

Ce non-respect des critères est identifié sur une base régionale, mais il peut arriver qu'il ne se produise qu'à une seule station de la région considérée; c'est pourquoi, pour chaque cas où il y a dépassement d'un critère d'utilisation, le tableau 3.26 indique, par région, le nombre de stations de la région pour lesquelles le critère n'est pas respecté; par exemple, dans le cas de l'alimentation en eau, pour les sulfates et les chlorures, le dépassement n'a lieu qu'à une seule des 14 stations de la région 03.

La figure 3.60 illustre les résultats du tableau 3.25 en indiquant, pour chaque région, le pourcentage de l'effectif des stations pour lesquelles il y a eu un non-respect des critères; cette figure fait ressortir que, dans le cas des phosphates, pour l'alimentation en eau, le non-respect des critères se produit en de nombreuses stations de chaque région, à l'exception de 07 et 01. Le tableau 3.27 identifie, de manière précise, les stations pour lesquelles les dépassements de critères ont lieu dans chacun des cas considérés. Cette étude plus approfondie menée à titre méthodologique, dans le cas de l'alimentation en eau permet donc:

- d'identifier les paramètres dont les critères sont dépassés (figure 3.59)
- de quantifier l'importance régionale (en termes de stations) des dépassements (tableau 3.26 et figure 3.60)

- de localiser les stations où les dépassements se produisent (tableau 3.27)

Une analyse de même type pour l'ensemble des utilisations de l'eau devrait cependant provenir d'une identification des usages actuels ou potentiels de chaque région.

3.3.3 Valeurs maximales et minimales des paramètres du groupe 2

Le groupe 2 comprend les bicarbonates, les solides dissous, la dureté totale, la dureté non carbonatée, le pH, la couleur, l'alcalinité, l'oxygène dissous, le fer, le manganèse, les carbonates, les fluorures et la température.

A partir de 1973, les données concernant ces paramètres sont peu nombreuses. C'est pourquoi, pour l'étude des valeurs extrêmes, on considère l'ensemble de la période d'opération du réseau de 1967 à 1975. La fréquence moins élevée de prélèvement et également la moins grande fiabilité des résultats de laboratoire, pour les paramètres du groupe 2 avant 1973 sont des facteurs qui empêchent une interprétation systématique des résultats obtenus dans l'analyse des valeurs extrêmes. Il faut cependant souligner que le filtrage statistique des données (annexe B, B.3.3) a permis l'élimination des valeurs extrêmes suspectes ou aberrantes qui ne sont pas prises en compte ici. Dans cette étude des paramètres du groupe 2, on suit cependant la même approche générale qu'en 3.3.2.

a- Gamme de variabilité des valeurs extrêmes des paramètres du groupe 2

La détermination des valeurs maximale (M) et minimale (m) est effectuée (tableau 3.28), dans chaque région hydrographique, pour chaque paramètre, à partir de la banque des valeurs annuelles et des banques des valeurs saisonnières. Suivant le paramètre considéré, le nombre de stations considérées dans une région peut varier. Il ressort du tableau 3.28 que:

- les valeurs minimales (m), qui donnent le niveau de base pour chaque paramètre, sont peu variables par région ou par saison pour la dureté non-carbonatée, la couleur, l'oxygène dissous, le fer, le manganèse,

Les carbonates, les fluorures et la température; cependant, dans le cas de l'oxygène dissous, une faible variation des niveaux minimum peut avoir des conséquences importantes sur le milieu. Pour les solides dissous, la dureté totale, le pH et l'alcalinité, les valeurs minimales les plus faibles sont observées dans les régions 05, 06 et 07 et les plus élevées le sont dans la région 01.

- Les valeurs maximales (M) sont beaucoup plus variables, aussi bien entre les régions pour une saison donnée, qu'entre les saisons dans une région. Les valeurs maximales sont plus élevées, pour l'ensemble des paramètres, dans la région 03 alors que dans les régions 06 et 07, elles atteignent leur plus bas niveau. Les valeurs maximales de la dureté non-carbonatée, du pH et de la couleur sont observées au printemps ou à l'automne; tandis que celles de l'oxygène dissous, du fer, du manganèse et des carbonates le sont au printemps. Les maxima de température sont observés en été alors qu'en ce qui concerne les valeurs maximales des bicarbonates, des solides dissous, de la dureté totale, de l'alcalinité et des fluorures, elles sont observées à l'une ou l'autre saison.
- De manière générale, le classement décroissant des régions, suivant les valeurs maximales observées est le suivant: 03, 02, 04, 05, 01, 06 et 07, pour l'ensemble des paramètres du groupe 2, à l'exception de l'oxygène dissous pour lequel peu de variabilité existe (cette légère variabilité peut cependant avoir une grande importance en pratique). Cet ordre est très voisin de celui obtenu dans l'étude des paramètres du groupe 1: la région 03 est caractérisée par des maxima élevés et les régions 01, 06 et 07, par des maxima beaucoup plus faibles.

La relation entre les valeurs extrêmes observés (tableau 3.28) et les critères d'utilisation des paramètres du groupe 2, pour différents usages (déduits du tableau A.2.1 de l'annexe A) est traduite dans la figure 3.61. Dans

Le cas de la dureté totale, du pH et de l'alcalinité, les valeurs maximales et minimales peuvent limiter l'usage de l'eau, alors que pour les autres paramètres, seules les valeurs maximales ont une importance.

Pour chaque paramètre du groupe 2, on a donc situé les valeurs classées maximales (dans le cas de critères d'utilisation supérieurs) et minimales (dans le cas de critères d'utilisation inférieurs) de chaque région, par rapport à la gamme des critères d'utilisation de l'eau. Les critères concernant plus particulièrement l'alimentation en eau, la récréation et la vie aquatique sont identifiés. L'oxygène dissous qui atteint rarement des valeurs critiques et la température, pour laquelle les critères sont peu applicables au Québec, ne sont pas considérés.

Un examen simultané de la figure 3.61 et du tableau A.2.1 (annexe A) permet d'identifier si, pour une utilisation quelconque de l'eau, un problème régional peut exister. Cette étude systématique nécessitant la connaissance des utilisations réelles dans chaque région n'est pas effectuée pour tous les usages, on analyse ici plus particulièrement, trois usages: alimentation en eau, récréation et vie aquatique, qui présentent un intérêt général pour les sept régions considérées.

b- Non-respect des critères de qualité relatifs aux paramètres du groupe 2 pour la vie aquatique, la récréation et l'alimentation en eau

Dans chacun des cas où, sur la figure 3.61, il y a non-respect d'un critère pour l'utilisation de la vie aquatique, la récréation et l'alimentation en eau, il est important de déterminer s'il s'agit d'un non-respect local ou généralisé. Dans cet esprit, le tableau 3.29 indique, pour chacun des cas de non-respect, par région et par paramètre, le nombre de stations dans la région pour lesquelles le critère d'utilisation n'est pas respecté, ainsi que le nombre total de stations de la région considérée. Les cas qui ne sont pas considérés dans le tableau 3.29 correspondent à l'absence de critère de qualité relatif à un paramètre ou encore traduisent le fait que pour l'ensemble des sept régions, les valeurs extrêmes observées pendant

La période 1967-75 respectent les critères d'utilisation pour la vie aquatique, la récréation et l'alimentation en eau. La figure 3.62, qui est déduite des résultats du tableau 3.29, indique, dans chaque cas de non-respect d'un critère, le pourcentage de stations de chaque région où des problèmes d'utilisation existent. Cette figure fait donc ressortir l'étendue des problèmes reliés aux trois usages considérés. Les tableaux 3.30, 3.31 et 3.32, qui précisent les résultats du tableau 3.29, indiquent respectivement pour la vie aquatique, la récréation et l'alimentation en eau, le numéro des stations où les critères de qualité ne sont pas respectés.

Les résultats obtenus font ressortir que:

- pour la vie aquatique, les valeurs minimales d'alcalinité sont en dessous du critère, particulièrement dans les régions 02, 04, 05, 06 et 07 (figure 3.62). Ceci ne constitue pas forcément un problème dans les cas où ce phénomène est d'origine naturelle.
- en ce qui concerne la récréation, cette utilisation peut être limitée par les critères minimaux de pH, surtout dans les régions 04, 05, 06 et 07 et par les critères maximaux de pH, essentiellement dans les régions 01, 02 et 03. La saison pendant laquelle a lieu l'utilisation n'est pas identifiée dans cette étude préliminaire.
- l'usage de l'eau pour l'alimentation est potentiellement limitée par la présence de concentrations élevées en fer et manganèse dans toutes les régions et particulièrement dans 02, 03 et 05. La sédimentation existant dans les usines de filtration peut cependant diminuer fortement ces concentrations. En ce qui concerne les autres paramètres, la figure 3.62 indique que les principales limitations proviennent des valeurs minimales de dureté totale, de pH et d'alcalinité dans les régions 04, 05, 06 et 07, de valeurs maximales d'alcalinité dans les régions 01, 02 et 03 et de valeurs maximales de pH dans les régions 02, 03 et 04. La couleur dépasse les critères d'utilisations dans toutes les régions, sauf 01, 05 et 07.

Cette étude fait donc ressortir les limitations de l'utilisation de l'eau pour la vie aquatique, la récréation et l'alimentation. Les résultats obtenus, quant à la localisation des régions où les problèmes sont susceptibles de se poser, s'appuient essentiellement sur les données prélevées jusqu'en 1972, puisque les paramètres du groupe 2 sont assez peu analysés à partir de 1973.

Les conclusions de cette étude, malgré la qualité réduite des données des paramètres du groupe 2 avant 1973, mettent cependant en évidence l'influence des valeurs extrêmes pour les diverses utilisations de l'eau.

3.4 Etude de la variabilité temporelle

3.4.1 Approche utilisée

La variabilité temporelle des paramètres de qualité de l'eau est en général analysée de manière succincte et descriptive. Deux raisons peuvent expliquer cet état de chose:

- les méthodes susceptibles de permettre une analyse plus détaillée sont peu utilisées et souvent mal identifiées
- les données existantes respectent souvent assez mal les contraintes d'utilisation des méthodes applicables, car la planification de l'acquisition des observations est souvent effectuée sans une bonne connaissance des méthodes de traitement qui peuvent ensuite être appliquées.

C'est pourquoi l'approche utilisée dans cette étude consiste à appliquer à un nombre réduit de stations choisies en raison de la longueur et de la cohérence des séries observées, les techniques statistiques souvent élémentaires, mais permettant de caractériser la variabilité temporelle des paramètres mesurés du réseau.

Deux objectifs qui sont reliés à l'opération rationnelle du réseau, sont visés dans l'analyse de la variabilité temporelle:

- la caractérisation de la variabilité temporelle qui consiste à mettre en évidence la persistance des phénomènes et la redondance des observations a une incidence sur la détermination de la fréquence de mesure à adopter
- la détection d'éventuelles tendances dans le comportement de certains paramètres étudiés; l'existence de telles tendances favorise une meilleure interprétation de l'évolution de la qualité et peut permettre d'identifier des indicateurs de la détérioration de la qualité du milieu.

De plus, la connaissance de base acquise dans l'analyse de la variabilité temporelle constitue un premier pas vers l'élaboration de modèles de prédiction et de synthèse de l'information.

3.4.2 Méthodes de caractérisation de la variabilité temporelle

Les méthodes utilisées pour analyser et caractériser la variabilité temporelle d'une série, sont décrites en détail dans l'annexe C. On considère seulement ici les principaux résultats de l'application de ces méthodes, leurs contraintes d'application et leur signification physique.

a- Coefficient d'autocorrélation

Pour une série de taille N , (x_1, \dots, x_n) le coefficient d'autocorrélation circulaire d'ordre 1, est donné (annexe C) par:

$$\rho = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i x_{i+1} \right) + x_N x_1 - N \bar{x}^2}{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - N \bar{x}^2}$$

Ce coefficient permet de mesurer la dépendance des observations successives de la série; une valeur voisine de 1 est caractéristique d'une forte dépendance, alors qu'une valeur faible ou voisine de 0 traduit l'indépendance des valeurs successives. D'un point de vue pratique, la dépendance des valeurs d'une série donne de l'information sur la structure du phénomène considéré mais implique aussi une redondance de l'information due à une fréquence de mesure trop élevée.

Le coefficient d'autocorrélation d'une série de taille N est une estimation de celui de la population dont provient la série; il est donc soumis à des erreurs d'échantillonnage liées à la taille N. L'examen de l'indépendance des observations de la série, tout en prenant en compte la taille de l'échantillon, peut être effectuée au moyen de tests statistiques; dans cette étude, on considère le test d'Anderson (décrit en annexe C) pour analyser si le coefficient d'autocorrélation est, ou non, significativement différent de zéro.

Les résultats obtenus par l'application d'un tel test sont un premier pas vers l'élaboration de modèles:

- représentatifs d'une éventuelle dépendance, modèle markovien par exemple;
- de synthèses telles que les lois statistiques, applicables pour représenter une population de valeurs indépendantes.

Le développement de tels modèles pour l'analyse de paramètres de qualité de l'eau est encore embryonnaire, mais les premières applications effectuées sont prometteuses (Cazaillet, 1977).

En pratique, pour calculer le coefficient d'autocorrélation, il faut disposer de séries complètes. Il est toujours possible de remplacer les données absentes, par interpolation par exemple. Une telle reconstitution peut cependant conduire à une surestimation du coefficient d'autocorrélation si plusieurs valeurs successives sont absentes; c'est pourquoi, dans cette étude, les séries contenant plus de deux valeurs manquantes successives sont généralement éliminées.

b- Contenu en information d'une série

Le contenu en information d'une série indique globalement la contribution en informations des éléments de cette série. Dans le cas où toutes les observations de la série sont indépendantes, le contenu de l'information est maximum; par contre, pour une série où il y a une certaine dépendance entre les observations successives (qui est mesurée par le coefficient d'autocorrélation), le contenu en information de la série est moins élevé, en raison de la redondance d'information.

On peut montrer (annexe C), en considérant la variance de la moyenne d'une série de taille N , dont le coefficient d'autocorrélation est ρ , que le contenu en information (I) est donné par:

$$I = \frac{1 + \rho}{1 - \rho} - \frac{2}{N} \frac{\rho(1 - \rho^N)}{(1 - \rho)}$$

et les N observations dépendantes sont équivalentes à $N' = NI$ observations indépendantes.

Pour une série de valeurs indépendantes ($\rho = 0$), la valeur optimale du contenu d'information vaut $I = 1$, alors que pour une série constituée d'observations successives dépendantes, on a $I < 1$, et le nombre effectif d'observations N' est plus petit que N .

Le contenu en information est donc un indice global qui quantifie la contribution effective des observations d'une série en terme d'information recueillie.

3.4.3 Sélection des données pour l'étude de la variabilité temporelle

a- Sélection des stations

L'étude de la variabilité temporelle doit être effectuée sur des stations représentatives où l'on dispose de séries suffisamment longues. C'est pourquoi, pour effectuer la sélection des stations retenues pour l'étude de la variabilité temporelle, on examine les tableaux 2.3 à 2.9 en considérant les critères suivants:

- la durée d'opération des stations: on identifie pour chaque région, les stations les plus longues de 1970 à 1975; c'est, en effet, dans cette période que les prélèvements ont été les plus fréquents et les plus réguliers;
- la fréquence de mesure: le pas de temps utilisé dans le calcul du coefficient d'autocorrélation d'un paramètre est, en effet, conditionné pour une période donnée par la fréquence de mesure. D'un point de vue pratique, il est souhaitable de déterminer, lorsque cela est possible, les coefficients d'autocorrélation sur une base hebdomadaire et ensuite mensuelle;
- la représentativité des stations: il a été décidé de retenir trois stations pour chacune des sept régions hydrographiques; dans chaque région, ces stations représentent trois des bassins versants de superficies différentes, de façon à examiner un éventuel effet de superficie du bassin.

Sur la base des critères précédents, les stations retenues sont:

- pour la région 01: 01080A, 01100B, 01120A. Si l'on se reporte au tableau 2.3, il s'agit des stations où l'on dispose de la plus grande quantité d'information pour 1970-75, les prélèvements y sont hebdomadaires à partir de 1973. Les bassins versants relatifs à ces stations sont respectivement 838, 1210 et 440 milles carrés et couvrent la gamme des bassins de cette région

De la même manière, on a retenu:

- pour la région 02: 02140B, 02200A et 02340A (cf tableau 2,4)
- pour la région 03: 03020A, 03030D et 03090A (cf tableau 2,5)

- pour la région 04: 04020A, 04080C et 04310A (cf tableau 2.6)
- pour la région 05: 05030A, 05070A et 05280C (cf tableau 2.7)
- pour la région 06: 06100A, 06190A et 06290A (cf tableau 2.8)
- pour la région 07: 07020B, 07190A et 07230C (cf tableau 2.9)

b- Choix des périodes de calcul

Pour chacune des 21 stations choisies, un examen attentif des fréquences d'échantillonnage durant la période 1970-75 a été effectué. L'objectif de cette analyse est de déterminer, pour chaque station, la période la plus longue entre 1970 et 1975 où l'on dispose d'une série hebdomadaire sans, ou avec peu de données manquantes. Si, pour une même semaine, on dispose de plusieurs valeurs, seule la dernière valeur est retenue. Les séries sélectionnées ne comprennent pas plus de 2 données absentes consécutives pour ne pas biaiser le calcul du coefficient d'autocorrélation. Dans la période choisie, les données absentes sont reconstituées par interpolation linéaire. On dispose donc alors, à chacune des 21 stations, pour la période d'intérêt et pour chacun des paramètres les mieux analysés:

- d'une série de valeurs hebdomadaires
- de quatre séries de valeurs mensuelles, chacune de ces séries est obtenue en considérant une valeur sur quatre de la série hebdomadaire avec un pas de quatre semaines; la première série mensuelle comprend les valeurs hebdomadaires 1, 5, 9 etc..., la seconde, les valeurs hebdomadaires 2, 6, 10 etc... et ainsi de suite. Chacune de ces séries correspond à un prélèvement réel effectué une fois toutes les quatre semaines.

c- Classification des paramètres

Les tableaux 2.3 à 2.9, qui ont servi de base à la sélection des 21 stations et au choix de la période d'intérêt donnent l'information relative aux paramètres les mieux mesurés. En réalité, la fréquence d'analyse peut être variable, suivant le paramètre considéré, comme l'indique le tableau 2.14, et comme il est possible de le vérifier à partir des séries chronologiques.

On est amené à considérer trois groupes de paramètres:

- le groupe 1 qui comprend la silice, le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium, les sulfates, les chlorures, les nitrates, les phosphates et la conductivité; pour ces paramètres, des séries hebdomadaires sont exploitables. (Ce groupe correspond au groupe 1 qui a déjà été utilisé dans l'analyse de la variabilité spatiale);
- le groupe 2A qui comprend les bicarbonates, la dureté totale, la dureté non carbonatée, le pH et l'alcalinité. Pour ce groupe de paramètres, on dispose en général dans la banque, d'un nombre de données réduit (20 par année) dont la répartition n'est pas équidistante. Ce groupe ne peut donc être considéré dans les études d'autocorrélations mais permet de caractériser les gammes de variabilités temporelles;
- le groupe 2B composé des solides dissous, de la couleur, de l'oxygène dissous, du fer, du manganèse, des carbonates et des fluorures. Pour ce groupe, les données sont peu nombreuses, non représentatives et surtout trop irrégulières pour permettre l'analyse de leur variabilité temporelle.

Le cas de la température n'est pas envisagé ici car d'une part, les données disponibles dans la banque sont assez irrégulières et d'autre part, le comportement dans le temps de ce paramètre physique a déjà fait l'objet d'autres études (analyses en série de temps, ...). Les groupes 2A, 2B et la température constituent le groupe 2 considéré précédemment aux sections 3.2 et 3.3.

3.4.4 Etude des autocorrélations des paramètres du groupe 1: séries hebdomadaire et mensuelles

Pour chacune des 21 stations retenues, et pour tous les paramètres du groupe 1, on considère:

- la série hebdomadaire la plus longue dans la période 1970-75 qui a un minimum de valeurs absentes. Cette série ne contient jamais plus de deux valeurs consécutives absentes.
- Les quatre séries mensuelles déduites de la série hebdomadaire, en considérant une valeur toutes les quatre semaines.

Pour chacune de ces séries, il est possible de calculer le coefficient d'autocorrélation d'ordre 1. Le coefficient d'autocorrélation d'ordre 1 de chacune des séries mensuelles correspond, en réalité, à un coefficient d'autocorrélation d'ordre 4 de la série hebdomadaire, en prenant comme valeur de départ, la première, deuxième, troisième ou quatrième valeur. La taille de chaque série hebdomadaire est variable suivant la station et le paramètre considérés c'est pourquoi il est préférable d'effectuer l'analyse des résultats en considérant la signification du coefficient d'autocorrélation plutôt que sa valeur calculée. En effet, une même valeur du coefficient d'autocorrélation peut être significativement différente de zéro, pour une série de grande taille, et non significativement différente de zéro, pour une autre série de taille plus petite. Le contenu en information de chaque série est également une caractéristique qui est analysée, car elle intègre à la fois la valeur du coefficient d'autocorrélation et la taille de la série.

a- Test de signification du coefficient d'autocorrélation

Pour chacune des 210 séries hebdomadaires considérées (dix paramètres à 21 stations), on examine si le coefficient d'autocorrélation calculé est significativement différent de zéro aux niveaux de signification de 5% et de 1%, à l'aide du test d'Anderson décrit en annexe C.

Si le coefficient d'autocorrélation est

- non significativement différent de zéro au niveau de 5%, le code "0" est utilisé;
- significativement différent de zéro au niveau de 5% et non significativement différent de zéro au niveau de 1%, on utilise le code "1";
- significativement différent de zéro au niveau de 1%, on utilise le code "2".

Pour chacune des quatre séries mensuelles, la codification précédente est utilisée. Pour un paramètre et une station donnés, chaque série mensuelle est également probable et l'on obtient quatre estimations d'un même coefficient d'autocorrélation théorique. La synthèse des résultats des quatre séries est effectuée en considérant la somme des codes des quatre séries. Si cette somme, qui peut varier de 0 à 8, vaut:

- . 0, 1 ou 2, le code mensuel utilisé est "0"; il correspond à un coefficient d'autocorrélation mensuel non significativement différent de zéro au niveau de 5%;
- . 3, 4 ou 5, le code mensuel utilisé est "1"; il correspond à un coefficient d'autocorrélation mensuel significativement différent de zéro au niveau de 5%, et non significativement différent de zéro à 1%;
- . 6, 7 ou 8, le code mensuel utilisé est "2"; il correspond à un coefficient d'autocorrélation mensuel significativement différent de 0 au niveau de 1%.

On obtient, pour chacun des 210 cas étudiés, un code hebdomadaire et un code mensuel qui peuvent être regroupés de la manière suivante:

		Code hebdomadaire		
		0 ($\rho = 0$)	1 ($\rho \neq 0 ; 5\%$)	2 ($\rho \neq 0 ; 1\%$)
Code mensuel	0 ($\rho = 0$)	43	17	71
	1 ($\rho \neq 0 ; 5\%$)	2	5	32
	2 ($\rho \neq 0 ; 1\%$)	0	1	39

Ces résultats sont indicatifs de trois classes de comportement:

- classe 1: Cette classe regroupe les cas des cellules situées au-dessus de la diagonale pour lesquels, soit le coefficient hebdomadaire (code 1 et 2) est significatif à 5% ou à 1% alors que le coefficient mensuel (code 0) est non significativement différent de 0, soit le coefficient hebdomadaire est significatif au niveau de 5%, alors que le coefficient mensuel (code 1) est seulement significatif à 5%. Le degré de signification du coefficient d'autocorrélation (donc le coefficient d'autocorrélation pour une taille donnée) augmente lorsque la fréquence de prélèvement croît (donc lorsque le pas de temps entre deux prélèvements successifs diminue). Pour les 120 (17 + 71 + 32) cas de cette classe (soit 57% du total), la dépendance entre les observations mensuelles est inexistante ou moins élevée que la dépendance entre les observations hebdomadaire.
- classe 2: Cette classe comprend les 87 (43 + 5 + 39) cas des cellules diagonales qui correspondent à un code hebdomadaire et à un code mensuel identiques. Le degré de signification est identique pour les séries hebdomadaires et les séries mensuelles. L'augmentation de la fréquence de prélèvements ne se traduit pas en une plus grande dépendance des observations.

- classe 3: Cette classe comprend les trois cas (moins de 2% de l'effectif) des cellules situées sous la diagonale pour lesquels la dépendance entre les valeurs mensuelles est plus élevée que celle qui existe entre les valeurs hebdomadaires. Le degré de signification du coefficient d'autocorrélation diminue lorsque la fréquence de prélèvement croît. Ces cas, qui n'ont aucune réalité physique, à moins d'envisager une périodicité de quatre semaines, ce qui n'a pas de sens, peuvent être expliqués par la notion même de test de signification; en effet, lorsque l'on étudie l'hypothèse que le coefficient d'autocorrélation n'est pas significativement différent de zéro à un niveau de signification α , il y a une probabilité α de rejeter cette hypothèse alors qu'elle est vraie (erreur de type 1). Il n'est donc pas anormal, d'un point de vue statistique, de trouver un nombre limité de cas physiquement aberrants.

b. Analyse des résultats d'autocorrélation par région et par paramètre

Précédemment, on a considéré de manière globale, l'association des codes hebdomadaires et mensuels. Il est intéressant, pour chacune des neuf paires de codes possibles (x, y) où x est le code hebdomadaire et y le code mensuel, de considérer la distribution:

- par région hydrographique pour l'ensemble des paramètres (tableau 3.33)
- par paramètre pour l'ensemble des régions hydrographiques (tableau 3.34)

Dans ces tableaux, on a regroupé les trois classes mises en évidence ci-dessus.

L'examen du tableau 3.33 (décomposition par région) montre que:

- pour l'ensemble des régions à l'exception des régions 06 et 07, le code (2,0) est dominant, ce qui indique une forte dépendance des valeurs hebdomadaires, alors que les valeurs mensuelles peuvent être considérées comme indépendantes;
- dans le cas des régions 03 et 06, les codes (2,0), (0,0) et (2,2) sont les plus fréquents, ce qui traduit une assez grande hétérogénéité des résultats;
- dans le cas de la région 07, le code (0,0) est très nettement dominant, ce qui est significatif d'une indépendance des valeurs tant hebdomadaires que mensuelles.

Il ressort du tableau 3.34 (décomposition par paramètre) que:

- pour tous les paramètres, sauf la silice, les sulfates et les nitrates, le code (2,0) est le plus fréquent;
- dans le cas de la silice, les codes (2,0), (2,1) et (2,2), se produisent de manière sensiblement identique; il y a donc dans tous les cas, une dépendance très significative des valeurs hebdomadaires alors que les valeurs ont tendance à être dépendantes au niveau mensuel;
- le cas des sulfates est voisin de celui de la silice, on peut cependant noter une certaine importance du code (0,0) qui traduit une indépendance, tant des valeurs hebdomadaires que mensuelles;
- les nitrates sont caractérisés par le code (2,2) qui indique une dépendance très significative des valeurs mensuelles et hebdomadaires. Ce code est également dominant mais de manière moins nette, pour la silice et les sulfates.

L'examen des paires de codes (x,y) associées aux valeurs des coefficients d'autocorrélation calculés sur une base hebdomadaire et mensuelle, a des implications relativement à l'opération du réseau, en termes de fréquence de prélèvements:

- les codes (0,1), (0,2) et (1,2) qui se produisent très rarement, correspondent à la classe 3, définie précédemment, n'ont aucune signification physique et ne sont pas considérés;
- le code (0,0) signifie que les séries hebdomadaires et mensuelles sont constituées de valeurs indépendantes. Il est donc probable qu'une augmentation de la fréquence de prélèvement conduise à l'obtention d'une information plus complète et non redondante. Ce code est essentiellement obtenu dans la région 07, pour la plupart des paramètres (tableau 3.33 et 3.34);
- les codes (1,0) et (2,0) indiquent que l'information obtenue au niveau hebdomadaire est redondante, alors que les valeurs des séries mensuelles sont indépendantes donc conduisent à une information plus adéquate. La fréquence hebdomadaire est donc trop élevée et peut être réduite sans perte d'information. Ces codes sont fréquemment obtenus dans les régions 01 à 05, pour l'ensemble des paramètres, à l'exception de la silice, des nitrates et des phosphates (tableaux 3.33 et 3.34);
- les codes (1,1), (2,1) et (2,2) indiquent que l'information obtenue est redondante tant au niveau hebdomadaire qu'au niveau mensuel et la fréquence de prélèvements peut être réduite (1 fois par 6 semaines, par exemple) sans perte d'information. Ces codes sont fréquents dans toutes les régions, sauf la région 07, essentiellement pour la silice, les sulfates et les nitrates;

De manière sommaire, on peut donc conclure que:

- dans la région 07, la fréquence peut être augmentée (2 fois par semaine) pour obtenir une information plus complète;
- dans les régions 01 à 05, pour l'ensemble des paramètres, à l'exception de la silice et des nitrates, la fréquence mensuelle est acceptable et la fréquence hebdomadaire trop élevée;
- dans les régions 01 à 05, pour la silice, les sulfates et les nitrates, la fréquence mensuelle trop élevée peut être réduite sans perte d'information;
- dans la région 06, la fréquence hebdomadaire est en général trop élevée mais, suivant les paramètres, la fréquence mensuelle peut être acceptable ou trop élevée.

L'étude de l'indépendance des valeurs d'une série sur une base de temps fixée est un pré-requis si l'on veut utiliser les distributions statistiques pour représenter des séries observées. Ce mode de représentation, qui présente un intérêt pour la détermination de la probabilité au dépassement de valeurs critiques d'un paramètre, semble prometteur.

Dans le cas où l'on montre que les valeurs observées d'une série sont dépendantes, cette dépendance chronologique peut être prise en compte à l'aide du modèle markovien. Il n'entre cependant pas dans le cadre de cette étude de discuter de l'application de ces méthodes.

c- Contenu en information des séries hebdomadaires

Lorsque le coefficient d'autocorrélation d'une série hebdomadaire est très significativement différent de 0 (niveau de 1%), on peut en déduire que les valeurs successives de la série sont dépendantes et apportent une information redondante.

Le calcul du contenu d'information (section 3.4.2 b) permet de quantifier cette redondance; cette caractéristique (I) permet en effet de déterminer le nombre effectif N' d'observations indépendantes équivalentes correspondant à la série de taille N . Une faible valeur du contenu en information correspond à une forte redondance des observations successives et permet d'envisager une fréquence plus faible de prélèvements sans perte notable d'information. Le tableau 3.35 donne les valeurs du contenu d'information pour toutes les séries hebdomadaires où le coefficient d'autocorrélation est très significativement différent de 0.

Si l'on multiplie chacune des valeurs du tableau par 100, on obtient le nombre équivalent d'observations indépendantes correspondant à une série observée de taille 100, par exemple dans le cas de la silice à la station 01080A, on aurait $N' = 16$.

Les valeurs absentes dans le tableau 3.35 correspondent à des séries dont les coefficients d'autocorrélation sont non significativement différents de 0 au niveau 1% (ces valeurs peuvent cependant être significativement différentes de 0 au niveau de 5%). Il s'agit de séries pour lesquelles l'on observe peu ou pas de dépendance et qui ont donc un contenu d'information élevé. L'examen du tableau confirme que dans toutes les régions, à l'exception de 07 (valeurs absentes), les séries hebdomadaires sont redondantes pour la plupart des paramètres. Cependant, dans le cas des chlorures et du calcium, pour la région 01, et du potassium dans la région 06, la redondance est faible ou inexistante, au niveau hebdomadaire puisque dans ces cas, le coefficient d'autocorrélation n'est pas significativement différent de 0, au niveau de 1%. En ce qui concerne les stations 03030D et 06290B, la redondance est faible ou inexistante pour la plupart des paramètres.

3.4.5 Caractérisation de la gamme de variabilité temporelle

L'examen des valeurs maximales et minimales de chaque paramètre des groupes 1 et 2, a été effectué aux sections 3.3.2 et 3.3.3, pour chaque région hydrographique sur une base annuelle et saisonnière. Cette étude était reliée aux normes relatives aux utilisations de l'eau. Du point de vue de l'analyse de la variabilité temporelle, il est important de caractériser l'amplitude des variations de chaque paramètre en considérant les 21 stations où l'on dispose du maximum d'information. En outre, cette analyse complète celle effectuée précédemment à la section 3.2, dans le cadre de la variabilité spatiale qui était basée sur le comportement des moyennes annuelles et saisonnières.

Pour caractériser globalement sur une base annuelle à chaque station, la gamme de variabilité d'un paramètre, on peut considérer le coefficient de variation (C_v) qui est le rapport de l'écart-type à la moyenne de la série étudiée. Compte tenu des données disponibles aux 21 stations retenues, la détermination du coefficient de variation ne peut être effectuée que pour le groupe 1 et le groupe 2A (définie à la section 3.4.3 c). Le tableau 3.36 donne les valeurs du coefficient de variation pour ces deux groupes, calculées en considérant les données de la période (1970-75). Dans le cas du groupe 2A, les données de certaines stations (particulièrement dans les régions 04 et 07) ne sont pas suffisamment représentatives et bien réparties dans le temps pour permettre la détermination du coefficient de variation.

L'examen du tableau 3.36 fait ressortir plusieurs points.

- Les coefficients de variation sont, pour l'ensemble des paramètres, beaucoup plus élevés à certaines stations; il s'agit en particulier de 03030D, 04020A, 05030A et des trois stations de la région 07. Ce fait, observé pour l'ensemble des paramètres a peut être des causes hydrologiques (fluctuations importantes de débit par exemple).

- En ce qui concerne les paramètres du groupe 1:
 - . Les coefficients de variation calculés pour les ions majeurs, la silice et la conductivité sont relativement stables (de l'ordre de 30%); ce qui peut s'expliquer par l'origine géologique de ces paramètres et par la composition des eaux souterraines (à temps de contact long) et des eaux superficielles à temps de séjour court.
 - . Les nitrates et les phosphates ont, pour l'ensemble des stations, des coefficients élevés (de 60% à 80%; en moyenne). Cette variabilité peut s'expliquer par l'origine de ces paramètres liés à des utilisations urbaines et agricoles de l'eau.

- En ce qui concerne les paramètres du groupe 2A, on peut noter:
 - . La faible valeur du coefficient de variation du pH (4% environ) qui est due au fait que ce paramètre est, en fait, mesuré sur une base logarithmique.
 - . Les fortes valeurs du coefficient de variation calculées pour la dureté non carbonatée. La variabilité de ce paramètre, qui est obtenue par différence entre la dureté totale et l'alcalinité est artificielle et pourrait être due, tout au moins en partie, à l'addition des erreurs de mesure.
 - . La variabilité des autres paramètres du groupe 2A est relativement homogène et du même ordre de grandeur que celle observée pour les ions majeurs.

Ces conclusions qui précisent la gamme de variabilité des paramètres étudiés sont assez convergentes pour l'ensemble des 21 stations considérées. On peut de plus leur attribuer une bonne fiabilité, puisqu'elles ont été obtenues sur une période assez longue (1970-75), à partir des stations où l'on dispose des séries de données les plus importantes et les mieux réparties dans le temps.

3.4.6 Etude des tendances des paramètres du groupe 1

a- Objectifs et contraintes de l'étude

L'examen des tendances a pour but d'identifier d'éventuelles évolutions temporelles et de les interpréter. Ici, on s'intéresse à l'évolution des moyennes annuelles, il ne saurait en effet, être question d'envisager systématiquement, pour chacun des paramètres retenus, des études de périodicité et d'évolution sur une base mensuelle ou saisonnière, par exemple. Cette étude nécessite de disposer de données bien réparties sur une période assez longue à suffisamment de stations. Il est, en effet, primordial de considérer des périodes d'opération compatibles avec la mise en évidence de tendances et, par ailleurs, il est nécessaire si on veut faire ressortir le caractère général ou tout au moins régional, d'éventuelles tendances, de disposer d'un nombre de stations permettant d'en arriver à des conclusions significatives.

En raison de ces contraintes, et afin de pouvoir disposer de moyennes annuelles représentatives, on a considéré:

- les paramètres du groupe 1, à l'exception des bicarbonates; pour les autres paramètres, on ne peut en effet déterminer de moyennes annuelles représentatives sur une période suffisamment longue
- la période 1970-75; pendant les trois premières années d'opération (1967 à 1969), l'acquisition des données pour les paramètres du groupe 1 n'est en effet pas effectuée sur une base systématique et avec une fréquence suffisante.

- les 21 stations longues retenues dans l'étude de la variabilité temporelle (section 3,4.3).

b- Approche utilisée

On dispose, en général pour chacun des dix paramètres du groupe 1 et pour chacune des 21 stations retenues, de six moyennes annuelles; ce nombre peut être inférieur pour certaines stations (en particulier, la région 07), pour lesquelles la période d'opération est inférieure à six années.

Le but poursuivi est de comparer les six moyennes annuelles pour chaque paramètre, à chaque station, afin d'examiner si on peut mettre en évidence un effet chronologique et si, dans le cas contraire, il est possible de mettre en évidence le comportement homogène de plusieurs années. Plusieurs facteurs peuvent, en effet, être à l'origine de différences entre les moyennes annuelles

- une tendance effective d'origine physique
- une modification des méthodes analytiques (conservation, temps de délai, analyse en laboratoire) qui, pour un paramètre donné, constitue un biais systématique
- des effets hydrologiques.

Pour chaque paramètre et chaque station, la comparaison des moyennes est effectuée par une analyse de variance (annexe C) et, dans le cas où l'hypothèse d'égalité globale des six moyennes est rejetée, la constitution de sous-groupes de moyennes non significativement différentes est réalisée à l'aide du test de Scheffé (annexe C).

c- Analyse des résultats obtenus

Le tableau 3.37 donne les résultats des analyses de variance, effectuées pour chaque paramètre à chacune des 21 stations. Dans chaque cas, on a examiné l'hypothèse d'égalité simultanée des moyennes des six années considérées. Les moyennes de chaque année, représentées par le code de l'année (70 pour la moyenne de l'année 1970), sont classées par ordre croissant. Il est normal que les six moyennes obtenues à partir des échantillons soient numériquement différentes mais, lorsqu'il y a égalité simultanée des six moyennes théoriques, on peut conclure que, compte tenu des erreurs d'échantillonnage, les différences ne sont pas significatives et que l'ordre de classement n'a pas d'importance. Dans le cas où l'hypothèse d'égalité globale des six moyennes est rejetée, on a constitué des sous-groupes à l'intérieur desquelles les moyennes ne sont pas significativement différentes; par exemple, dans le cas de la silice, à la station 01080A, on peut constituer les sous-groupes homogènes des années 1970, 1973, 1972, 1975 d'une part et 1972, 1975, 1974, 1971, d'autre part.

L'examen du tableau 3.37 montre que:

- pour la silice, il n'y a pas, en général, d'égalité globale des six moyennes et que l'on ne peut mettre en évidence une tendance temporelle. En ce qui concerne les stations des régions 01 et 02 (Appalaches), les concentrations moyennes des années sèches 1971, 1974 et 1975 sont les plus élevées, ce qui traduit un effet hydrologique notable. Par contre, pour les stations des régions 05, 06 et 07 (Bouclier), pour lesquelles la silice est un paramètre caractéristique (section 3.2.6 b), les moyennes des années 1973, 1974 et 1975 sont les plus faibles et forment un sous-groupe homogène; ce regroupement ne peut être expliqué par un effet hydrologique puisque l'année 1973 est humide et l'année 1975, sèche, mais plutôt par les procédures analytiques (conservation par congélation, temps de délai).

- pour le calcium et le magnésium, lorsque l'égalité simultanée des moyennes n'est pas respectée, on ne note pas de tendance nette dans le temps ni de sous-groupes constitués systématiquement des mêmes années; si l'année 1973 (humide) fait toujours partie du sous-groupe des moyennes faibles, en raison d'un effet de dilution, l'année 1975 (sèche) ne fait pas partie de manière systématique d'un sous-groupe.
- dans le cas de la conductivité, il n'y a pas égalité des moyennes dans les régions 01, 02 et 03 et l'on peut observer, en général, que les années 1970, 1971 et 1972 font partie du sous-groupe des moyennes faibles alors que les années 1973, 1974 et 1975 font partie du sous-groupe des moyennes élevées; cette dichotomie trouve sans doute son origine dans la modification des méthodes analytiques, à partir de 1973 (conservation, délai plus court avant analyse).
- pour le sodium et le potassium, dans le cas d'inégalité des six moyennes, la moyenne de l'année 1975 est la plus élevée, ce qui peut s'expliquer par un effet hydrologique. Les cas d'inégalité sont plus nombreux, dans le cas du potassium, particulièrement pour les stations des régions 01 et 02 (Appalaches) et 05, 06, 07 (Bouclier).
- dans le cas des sulfates, lorsqu'il n'y a pas égalité simultanée des moyennes, on peut opposer le sous-groupe des moyennes faibles, qui correspond aux années sèches (1971, 1974, 1975), à celui des années humides (1973 en particulier). Cette opposition s'explique par l'origine atmosphérique des sulfates déjà soulignée dans l'étude de la variabilité inter-annuelle (section 3.2.3 b).
- pour les chlorures, lorsque l'hypothèse d'égalité simultanée est rejetée, l'année 1970 appartient au sous-groupe des moyennes faibles et l'année 1975 à celui des moyennes élevées; le classement des moyennes ne contredit pas l'hypothèse d'une tendance dans le temps, bien que celle-ci

ne soit pas très nette. Une étude sur un nombre plus important de stations et sur une période plus longue, pourrait être entreprise pour ce paramètre, en raison du rôle d'indicateur de la détérioration de la qualité qu'il pourrait jouer.

- dans le cas des nitrates et des phosphates, les cas d'inégalité des moyennes (surtout dans les régions 02 et 03) font apparaître, en général, le groupe des moyennes élevées des années 1970, 1971 et 1972 qui s'opposent à celui des moyennes faibles des années 1973, 1974 et 1975. Cette séparation qui est l'inverse de celle constatée pour la conductivité, pourrait également s'expliquer par des considérations analytiques.

En conclusion, il n'est pas possible de mettre en évidence, pour les paramètres du groupe 1, de tendance dans le temps. Dans le cas des chlorures, l'existence d'une telle tendance n'est pas contredite et mériterait une étude plus approfondie.

LISTE DES REFERENCES

- CAMPBELL, P.G., MEYBECK, M. et TESSIER, A. (1973). "Planification de l'acquisition des données de Qualité de l'eau au Québec. Tome 1: Relations entre l'utilisation de la ressource eau et sa qualité INRS-Eau, rapport scientifique no. 32, 18 p., 3 annexes. (Pour le Ministère des Richesses naturelles, Québec).
- CAZAILLET, O. (1977). "Contribution à la rationalisation du réseau qualité des bassins Yamaska et Saint-François. Thèse de maîtrise es-sciences (Eau), Université du Québec (En voie de rédaction).
- PROVENCHER, M. (1977). "Index de qualité de l'eau". Ministère des Richesses naturelles, Service qualité des eaux. (En voie de rédaction).



TABLEAUX

TABLEAU 2.1 Utilité des paramètres mesurés ou calculés

Paramètre	Utilité
Silice	Consommation, utilisation industrielle, hydrogéochimie, vie aquatique
Calcium	Consommation, utilisation industrielle, hydrogéochimie, vie aquatique
Magnésium	Consommation, utilisation industrielle, hydrogéochimie, vie aquatique
Sodium	Consommation, utilisation industrielle, hydrogéochimie, vie aquatique
Potassium	Consommation, utilisation industrielle, hydrogéochimie, vie aquatique
Sulfate	Consommation, utilisation industrielle, hydrogéochimie
Chlorures	Consommation, utilisation industrielle, hydrogéochimie
Nitrates	Consommation, utilisation industrielle, eutrophisation, vie aquatique
Solides dissous	Consommation, utilisation industrielle, hydrogéochimie
Conductivité	Consommation, utilisation industrielle, hydrogéochimie
Dureté totale	Consommation, utilisation industrielle, vie aquatique
Dureté non carbonatée	Hydrogéochimie, utilisation industrielle
pH	Consommation, utilisation industrielle, vie aquatique, récréation
Couleur	Consommation, utilisation industrielle, récréation, esthétique
Bicarbonate et alcalinité totale	Vie aquatique, hydrogéochimie
Oxygène dissous	Vie aquatique, esthétique, consommation, utilisation industrielle, auto-épuration
Fer	Consommation, utilisation industrielle, hydrogéochimie
Manganèse	Consommation, utilisation industrielle, hydrogéochimie
Phosphate	Consommation, utilisation industrielle, eutrophisation, vie aquatique
Alcalinité des carbonates	Hydrogéochimie
Fluorures	Consommation, utilisation industrielle, hydrogéochimie
Température	Consommation, utilisation industrielle, récréation, vitesse des réactions.

TABLEAU 2.2 Caractéristiques des mesures en laboratoire

PARAMETRE	1967	1969	octobre 1970	1971	juin 1973	automne 1975
Silice lim. sens. (mg SiO ₂ /l) fidélité (%) récupération (%)			0.1 1.8(8.01) 94.7		0.1 9.8(4.63) 97.8	
Calcium lim. sens. (mg Ca/l) fidélité (%) récupération (%)	0.1 0.9(15.9) 91.7					
Magnésium lim. sens. (mg Mg/l) fidélité (%) récupération (%)	0.05 5.8(3.30) 93.8					
Sodium lim. sens. (mg Na/l) fidélité (%) récupération (%)	0.05 3.2(3.03) 96.8					
Potassium lim. sens. (mg K/l) fidélité (%) récupération (%)	0.005 1.6(0.998) 100					
Sulfate lim. sens. (mg SO ₄ /l) fidélité (%) récupération (%)	? ? ?	? 6.6(10.61) 83.3			0.5 1.4(12.39) 95.5	
Chlorure lim. sens. (mg Cl/l) fidélité (%) récupération (%)	? ? ?			0.25 2.6(7.70) 40	0.1 1.3(5.01) 102	
Fluorure lim. sens. (mg F/l) fidélité (%) récupération (%)	? ? ?			0.1 ? ?	.02 5.8(.059) 85.7	
Alcalinité totale lim. sens. (mg CaCO ₃ /l) fidélité (%) récupération (%)	? ? ?					
Alcalinité des carbonates lim. sens. (mg CaCO ₃ /l) fidélité (%) récupération (%)	? ? ?		? ? ?			
Nitrate lim. sens. (mg NO ₃ /l) fidélité (%) récupération (%)	? ? ?			0.02 ? ?	0.1 0(1.8) 100	
ortho- phosphate lim. sens. (mg PO ₄ /l) fidélité (%) récupération (%)			0.15 ? ?		0.02 10(0.297) 66.6	
fer lim. sens. (mg Fe/l) fidélité (%) récupération (%)	? ? ?			0.01 4.9(0.567) 122		
manganèse lim. sens. (mg Mn/l) fidélité (%) récupération (%)	? ? ?			0.05 9.1(0.221) 94.4		0.01
conductivité lim. sens. (µmho/cm) fidélité (%) récupération (%)	0.1 ? ?					
solides dissous lim. sens. (mg/l) fidélité (%) récupération (%)	? ? ?					
couleur lim. sens. (unités) fidélité (%)	? ?					
oxygène dissous lim. sens. (mg O ₂ /l) fidélité (%)	? ?					

TABLEAU 2.3 Nombre maximum d'échantillons analysés par année pour chacune des stations et leur fréquence d'échantillonnage pour la région hydrographique 01

Code de fréquence d'échantillonnage

J: Journalier
H: Hebdomadaire
M: Mensuel
A: Autre

Numéro de la station	Nom de la rivière	Superficie du bassin versant drainé (Ml. ²)	Date(mois/an)		Nombre maximum d'échantillons analysés et code de leur fréquence d'échantillonnage									
			Début de la station	Fin de la station	TOTAL	67	68	69	70	71	72	73	74	75
					01080A	Bonaventure	838	12/67	12/75	199	1A	1A	6M	14M	15M	15M	52H	52H	43H
01090A	P. Riv. Cascapedia	545	05/70	12/75	168	0	0	0	5A	7M	10M	52H	51H	43H
01100A	Cascapedia	566	12/67	08/72	8	2A	2A	0	0	0	4A	0	0	0
01100B	Cascapedia	1210	05/70	12/75	193	0	0	0	13M	16M	16M	52H	52H	44H
01100C	Cascapedia	923	07/71	03/72	7	0	0	0	0	5M	2M	0	0	0
01120A	Nouvelle	440	12/67	12/75	192	1A	0	0	8M	15M	16M	53H	52H	47H
01150A	Matapedia	1440	11/67	12/75	230	2A	24J	40J	27J	0	8J	52H	33H	44H
01150B	Matapedia	204	08/71	06/74	100	0	0	0	0	5M	17M	53H	25H	0
01160A	Ristigouche	2990	07/71	08/72	9	0	0	0	0	3A	6A	0	0	0
01170B	Madawaska	1050	07/71	12/75	75	0	0	0	0	5M	2M	0	28H	40H
01280A	Ruisseau Bastien	4.8	10/69	12/71	63	0	0	11H	48H	4A	0	0	0	0
01300A	Daaquam	227	10/71	07/74	98	0	0	0	0	4A	15H	50H	29H	0

TABLEAU 2.4 Nombre maximum d'échantillons analysés par année pour chacune des stations et leur fréquence d'échantillonnage pour la région hydrographique 02

Code de fréquence d'échantillonnage

J: Journalier
H: Hebdomadaire
M: Mensuel
A: Autre

Numéro de la station	Nom de la rivière	Superficie du bassin versant drainé (Mi. ²)	Date (mois/an)		Nombre maximum d'échantillons analysés et code de leur fréquence d'échantillonnage									
			Début de la station	Fin de la station	TOTAL	67	68	69	70	71	72	73	74	75
02030A	Saint-Jean	432	06/74	12/75	72	0	0	0	0	0	0	0	28H	44H
02040A	York	390	10/67	12/75	309	2A	26J	38J	38J	42J	31J	43H	47H	42H
02050A	Riv. au Renard	27.4	06/71	10/72	17	0	0	0	0	8M	9M	0	0	0
02060A	Dartmouth	380	12/67	12/75	171	1A	1A	0	0	7M	17M	51H	51H	43H
02080A	Madeleine	470	11/74	12/75	50	0	0	0	0	0	0	0	4H	46H
02080B	Madeleine	489	05/70	11/74	132	0	0	0	11M	10M	16M	52H	43H	0
02140A	Ste-Anne-Nord-Est	65.9	05/68	09/72	55	0	10M	14M	12M	10M	9M	0	0	0
02140B	Sainte-Anne	304	12/67	12/75	360	1A	33J	45J	49J	43J	39J	52H	52H	46H
02140C	Sainte-Anne	13.7	05/68	09/72	54	0	10M	14M	12M	9M	9M	0	0	0
02140D	Sainte-Anne	68	05/68	08/69	6	0	4A	2A	0	0	0	0	0	0
02140E	Sainte-Anne	63.3	05/68	08/69	6	0	4A	2A	0	0	0	0	0	0
02140F	Sainte-Anne	80.8	05/68	09/72	54	0	10M	14M	11M	10M	9M	0	0	0
02140G	Sainte-Anne	230	05/68	09/72	54	0	10M	14M	11M	10M	9M	0	0	0
02140H	Sainte-Anne	77.8	06/68	08/69	5	0	3A	2A	0	0	0	0	0	0
02140J	Sainte-Anne	280	05/68	08/69	5	0	4A	1A	0	0	0	0	0	0
02140K	Sainte-Anne	260	05/68	08/69	5	0	4A	1A	0	0	0	0	0	0
02140L	Sainte-Anne	189	05/68	08/69	6	0	4A	2A	0	0	0	0	0	0
02150A	Du Cap Chat	280	03/68	12/75	81	0	1A	0	0	4A	6A	0	27H	3H
02160A	Matane	636	10/67	06/74	266	2A	26J	41J	49J	42J	30J	53H	23H	0
02160B	Matane au Pont-Rouge	640	06/74	12/75	74	0	0	0	0	0	0	0	28H	46H

TABLEAU 2.4 Nombre maximum d'échantillons analysés par année pour chacune des stations
(SUITE) et leur fréquence d'échantillonnage pour la région hydrographique 02

Code de fréquence d'échantillonnage

J: Journalier
H: Hebdomadaire
M: Mensuel
A: Autre

Numéro de la station	Nom de la rivière	Superficie du bassin versant drainé (Mi. ²)	Date(mois/an)		Nombre maximum d'échantillons analysés et code de leur fréquence d'échantillonnage									
			Début de la station	Fin de la station	TOTAL	67	68	69	70	71	72	73	74	75
02170A	Blanche	88.4	08/71	12/75	154	0	0	0	0	7M	16M	52H	35H	44H
02190A	Metis	702	08/69	12/75	189	0	0	5M	14M	15M	15M	46H	51H	43H
02200A	Rimouski	612	10/67	12/75	280	2A	28J	39J	38J	40J	32J	31H	29H	41H
02210A	Bic	73.9	03/70	06/72	110	0	0	0	18J	59J	33A	0	0	0
02230A	Trois-Pistoles	375	08/71	12/75	169	0	0	0	0	8M	15M	53H	51H	42H
02250A	Du Loup	365	12/67	06/74	235	1A	36J	50J	38J	0	38J	51H	21H	0
02250B	Du Loup	190	07/71	03/72	6	0	0	0	0	4A	2A	0	0	0
02250C	Fourchue	103	08/71	03/72	6	0	0	0	0	4A	2A	0	0	0
02250D	Du Loup	390	06/74	10/75	52	0	0	0	0	0	0	0	24H	28H
02270A	Ouelle	303	08/71	02/72	5	0	0	0	0	3A	2A	0	0	0
02270B	Ouelle	315	06/74	12/75	72	0	0	0	0	0	0	0	29H	43H
02310A	Du Sud	317	08/69	06/74	121	0	0	4M	12M	13M	17M	52H	23H	0
02310B	Du Sud	399	11/71	11/71	1	0	0	0	0	1A	0	0	0	0
02310C	Bras St-Nicolas	188	07/71	12/71	5	0	0	0	0	5A	0	0	0	0
02310D	Du Sud	496	06/74	12/75	68	0	0	0	0	0	0	0	25H	43H
02330A	Etchemin	563	11/69	12/74	85	0	0	1A	3A	12M	14M	42H	13A	0
02340A	Chaudière	2250	06/67	12/75	346	8A	57J	53J	42J	50J	35J	45H	32H	24H
02340B	Chaudière	775	11/67	10/73	96	1A	23J	4J	13J	0	11J	44H	0	0
02340D	Linière	312	11/67	10/73	134	1A	20J	7J	20J	12J	31J	43H	0	0
02340E	Chaudière	1570	01/69	10/73	93	0	0	6M	13M	13M	17M	44H	0	0

TABLEAU 2.4 Nombre maximum d'échantillons analysés par année pour chacune des stations
(SUITE) et leur fréquence d'échantillonnage pour la région hydrographique 02

Code de fréquence d'échantillonnage

J: Journalier
H: Hebdomadaire
M: Mensuel
A: Autre

Numéro de la station	Nom de la rivière	Superficie du bassin versant drainé (Mi.²)	Date(mois/an)		Nombre maximum d'échantillons analysés et code de leur fréquence d'échantillonnage									
			Début de la station	Fin de la station	TOTAL	67	68	69	70	71	72	73	74	75
02340F	Famine	265	07/68	11/68	5	0	5A	0	0	0	0	0	0	0
02340G	Chaudière	439	06/70	10/73	80	0	0	0	7M	13M	16M	44H	0	0
02340H	Saint-Victor	241	05/70	07/72	12	0	0	0	9J	1A	2A	0	0	0
02340J	Des Castors	14.4	05/70	05/72	27	0	0	0	25J	1A	1A	0	0	0
02340K	Famine	272	10/71	10/73	53	0	0	0	0	1A	10M	42H	0	0
02340L	Beaurivage	273	06/71	07/72	8	0	0	0	0	4A	4A	0	0	0
02340M	Chaudière	453	06/71	07/72	9	0	0	0	0	5A	4A	0	0	0
02360A	Du Chêne	310	12/73	12/75	103	0	0	0	0	0	0	5H	52H	46H
02370A	Petite du Chêne	170	12/73	12/75	103	0	0	0	0	0	0	5H	52H	46H
02390A	Gentilly	115	12/73	12/75	103	0	0	0	0	0	0	5H	52H	46H
02400A	Bécancour	858	08/69	11/73	91	0	0	5M	12M	15M	15M	44H	0	0
02400C	Bécancour	903	11/71	11/71	1	0	0	0	0	1A	0	0	0	0
02400D	Bécancour	356	12/71	06/72	5	0	0	0	0	1A	4A	0	0	0
02400E	Bécancour	1010	12/73	10/75	68	0	0	0	0	0	0	2A	27H	39H

TABLEAU 2.5 Nombre maximum d'échantillons analysés par année pour chacune des stations et leur fréquence d'échantillonnage pour la région hydrographique 03

Code de fréquence d'échantillonnage

J: Journalier
 H: Hebdomadaire
 M: Mensuel
 A: Autre

Numéro de la station	Nom de la rivière	Superficie du bassin versant drainé (M ²)	Date(mois/an)		Nombre maximum d'échantillons analysés et code de leur fréquence d'échantillonnage									
			Début de la station	Fin de la station	TOTAL	67	68	69	70	71	72	73	74	75
03010A	Nicolet	594	08/69	11/73	76	0	0	5M	15M	9M	4A	43H	0	0
03010B	Nicolet Sud-Ouest	212	08/71	10/73	52	0	0	0	0	5A	5A	42H	0	0
03010C	Bulstrode	132	10/71	10/73	49	0	0	0	0	2A	7A	40H	0	0
03010D	Bulstrode	139	06/71	03/72	7	0	0	0	0	5A	2A	0	0	0
03010E	Nicolet	1310	12/73	12/75	85	0	0	0	0	0	0	2A	40H	43H
03020A	Saint-François	3710	11/67	11/73	263	1A	59J	38J	44J	45J	32J	44H	0	0
03020B	Saint-François	3130	09/68	09/68	1	0	1A	0	0	0	0	0	0	0
03020C	Eaton	248	07/69	07/69	1	0	0	1A	0	0	0	0	0	0
03020D	Eaton	93.9	07/68	07/69	2	0	1A	1A	0	0	0	0	0	0
03020E	Eaton	79.5	09/67	08/69	2	1A	0	1A	0	0	0	0	0	0
03020F	Eaton	76	05/68	07/69	3	0	2A	1A	0	0	0	0	0	0
03020G	Eaton	33.2	09/67	08/69	8	1A	5A	2A	0	0	0	0	0	0
03020H	Ruisseau Birchton	8.9	09/67	08/69	12	1A	9A	2A	0	0	0	0	0	0
03020J	Eaton-Nord	102	07/68	07/69	3	0	2A	1A	0	0	0	0	0	0
03020K	Eaton-Nord	67.4	09/67	08/69	3	1A	0	2A	0	0	0	0	0	0
03020L	Eaton-Nord	47.7	09/67	08/69	2	1A	0	1A	0	0	0	0	0	0
03020M	Ruisseau Sherman	7.8	07/68	08/69	3	0	1A	2A	0	0	0	0	0	0
03020N	Ruisseau Island	14.2	09/67	08/69	4	1A	1A	2A	0	0	0	0	0	0
03020P	Ruisseau Lyon	11.9	09/67	08/69	3	1A	0	2A	0	0	0	0	0	0
03020Q	Ruisseau au pin	5.2	09/67	08/69	2	1A	0	1A	0	0	0	0	0	0

TABLEAU 2.5 Nombre maximum d'échantillons analysés par année pour chacune des stations
(SUITE) et leur fréquence d'échantillonnage pour la région hydrographique 03

Code de fréquence d'échantillonnage

J: Journalier
H: Hebdomadaire
M: Mensuel
A: Autre

Numéro de la station	Nom de la rivière	Superficie du bassin versant drainé (Mi. ²)	Date(mois/an)		Nombre maximum d'échantillons analysés et code de leur fréquence d'échantillonnage									
			Début de la station	Fin de la station	TOTAL	67	68	69	70	71	72	73	74	75
03020S	Ruisseau Sawyer	9.4	09/67	08/69	4	1A	1A	2A	0	0	0	0	0	0
03020T	Clifton	39.7	09/67	08/69	5	1A	2A	2A	0	0	0	0	0	0
03020U	Clifton	35.6	08/68	12/68	9	0	9A	0	0	0	0	0	0	0
03020V	Clifton	22.4	09/67	08/69	5	1A	2A	2A	0	0	0	0	0	0
03020W	Ruisseau Stacey	28.5	07/68	08/69	12	0	10A	2A	0	0	0	0	0	0
03020X	Eaton	225	08/68	03/72	289	0	27J	75J	81J	90J	16J	0	0	0
03020Y	Saint-François	1590	07/70	10/73	63	0	0	0	6A	7M	12M	38H	0	0
03020Z	Eaton Pont-Route	223	03/72	10/73	76	0	0	0	0	0	38J	38H	0	0
03021B	Watopeka	131	08/71	10/73	60	0	0	0	0	6M	12M	42H	0	0
03021C	Au Saumon	324	08/71	10/73	60	0	0	0	0	7M	12M	41H	0	0
03021D	Saint-François	3350	06/71	03/72	7	0	0	0	0	4A	3A	0	0	0
03021E	Coaticook	201	06/71	03/72	8	0	0	0	0	5A	3A	0	0	0
03021F	Massawipi	239	06/71	03/72	7	0	0	0	0	4A	3A	0	0	0
03021G	Ascot	82.7	06/71	06/72	5	0	0	0	0	4A	1A	0	0	0
03021K	Lac Memphremagog	-	08/70	11/70	5	0	0	0	5A	0	0	0	0	0
03021L	Saint-François	3930	12/73	10/75	75	0	0	0	0	0	0	2A	38H	35H
03030A	Ruisseau de l'orme	37.4	01/68	01/68	1	0	1A	0	0	0	0	0	0	0
03030B	Yamaska	488	10/67	12/75	377	1A	61J	36J	41J	31J	71J	52H	47H	37H
03030C	Noire	567	10/67	12/73	104	1A	1A	14J	16J	18J	6H	48H	0	0
03030D	Yamaska	1300	10/67	12/73	276	1A	61J	57J	37J	41J	30J	49H	0	0

TABLEAU 2.5 Nombre maximum d'échantillons analysés par année pour chacune des stations
(SUITE) et leur fréquence d'échantillonnage pour la région hydrographique 03

Code de fréquence d'échantillonnage

J: Journalier
H: Hebdomadaire
M: Mensuel
A: Autre

Numéro de la station	Nom de la rivière	Superficie du bassin versant drainé (Mi. ²)	Date(mois/an)		Nombre maximum d'échantillons analysés et code de leur fréquence d'échantillonnage									
			Début de la station	Fin de la station	TOTAL	67	68	69	70	71	72	73	74	75
03030E	Noire	409	08/69	11/73	90	0	0	6M	12M	13M	14M	45H	0	0
03030F	Yamaska-Nord	59	01/69	12/73	105	0	0	27J	12M	12M	9M	45H	0	0
03030G	Yamaska	84.6	02/70	06/72	8	0	0	0	5A	1A	2A	0	0	0
03030H	Ruisseau Runnets	35.9	09/69	10/69	2	0	0	2A	0	0	0	0	0	0
03030J	Affluent de la Noire	22.3	09/69	10/69	2	0	0	2A	0	0	0	0	0	0
03030K	Noire	101	09/69	10/69	2	0	0	2A	0	0	0	0	0	0
03030L	Ruisseau Brandy	21.9	09/69	10/69	2	0	0	2A	0	0	0	0	0	0
03030M	Noire	65.7	09/69	10/69	2	0	0	2A	0	0	0	0	0	0
03030N	Noire	56.7	09/69	10/69	2	0	0	2A	0	0	0	0	0	0
03030P	Affluent de la Noire	15.4	09/69	10/69	2	0	0	2A	0	0	0	0	0	0
03030Q	Noire	221	09/69	10/69	2	0	0	2A	0	0	0	0	0	0
03030R	Noire	27.8	09/69	10/69	2	0	0	2A	0	0	0	0	0	0
03030S	Noire	3.8	09/69	10/69	2	0	0	2A	0	0	0	0	0	0
03030T	Affluent de la Noire	10.6	09/69	10/69	2	0	0	2A	0	0	0	0	0	0
03030U	Affluent de la Noire	4.2	09/69	10/69	2	0	0	2A	0	0	0	0	0	0
03030V	Affluent de la Noire	6.4	09/69	10/69	2	0	0	2A	0	0	0	0	0	0
03030W	Jaune	28.8	09/69	10/69	2	0	0	2A	0	0	0	0	0	0
03030X	Yamaska Sud-Est	80.8	06/71	09/71	3	0	0	0	0	3A	0	0	0	0
03030Y	Yamaska	1790	12/73	10/75	65	0	0	0	0	0	0	3H	34H	28H
03040A	Richelieu	9100	09/67	12/71	27	3A	6A	9A	1A	8A	0	0	0	0

TABLEAU 2.5 Nombre maximum d'échantillons analysés par année pour chacune des stations
(SUITE) et leur fréquence d'échantillonnage pour la région hydrographique 03

Code de fréquence d'échantillonnage

J: Journalier
H: Hebdomadaire
M: Mensuel
A: Autre

Numéro de la station	Nom de la rivière	Superficie du bassin versant drainé (M ²)	Date(mois/an)		Nombre maximum d'échantillons analysés et code de leur fréquence d'échantillonnage									
			Début de la station	Fin de la station	TOTAL	67	68	69	70	71	72	73	74	75
03040B	Richelieu	8870	05/70	07/72	23	0	0	0	10A	9A	4A	0	0	0
03040F	Baie Missisquoi	-	12/70	11/70	13	0	0	0	13M	0	0	0	0	0
03040G	Des Hurons	113	05/72	12/75	150	0	0	0	0	0	13M	51H	47H	39H
03040H	Richelieu	9150	12/73	08/75	80	0	0	0	0	0	0	4H	46H	30H
03040J	Richelieu	9140	08/75	12/75	11	0	0	0	0	0	0	0	0	11A
03090A	Chateauguay	906	02/68	12/75	372	0	38J	56J	48J	45J	45J	52H	48H	40H
03090B	Des Anglais	275	06/71	11/71	4	0	0	0	0	4A	0	0	0	0

TABLEAU 2.6 Nombre maximum d'échantillons analysés par année pour chacune des stations et leur fréquence d'échantillonnage pour la région hydrographique 04

Code de fréquence d'échantillonnage

J: Journalier
H: Hebdomadaire
M: Mensuel
A: Autre

Numéro de la station	Nom de la rivière	Superficie du bassin versant drainé (Mj. ²)	Date(mois/an)		Nombre maximum d'échantillons analysés et code de leur fréquence d'échantillonnage									
			Début de la station	Fin de la station	TOTAL	67	68	69	70	71	72	73	74	75
04010A	Du Nord	451	09/69	11/73	69	0	0	4M	13M	11M	7A	34H	0	0
04010C	Du Nord	798	01/72	10/75	61	0	0	0	0	0	11M	5A	31A	14A
04010D	Saint-André	54.6	01/72	09/72	11	0	0	0	0	0	11A	0	0	0
04020A	Rouge	2140	09/71	12/75	104	0	0	0	0	1A	0	5H	48H	50H
04020B	Rouge	2110	07/71	02/72	6	0	0	0	0	4A	2A	0	0	0
04040A	De la Petite Nation	873	09/71	09/71	1	0	0	0	0	1A	0	0	0	0
04040B	De la Petite Nation	811	07/71	02/72	6	0	0	0	0	4A	2A	0	0	0
04060A	Du Lièvre	1980	03/68	03/68	1	0	1A	0	0	0	0	0	0	0
04060B	Du Lièvre	3690	09/71	09/71	1	0	0	0	0	1A	0	0	0	0
04060C	Du Lièvre	3450	11/73	12/75	94	0	0	0	0	0	0	6H	48H	40H
04080A	Gatineau	8820	09/71	11/73	63	0	0	0	0	4M	14M	45H	0	0
04080B	Gatineau	6030	08/71	03/72	6	0	0	0	0	4A	2A	0	0	0
04080C	Gatineau	9130	11/73	12/75	96	0	0	0	0	0	0	4H	49H	43H
04130A	Coulonge	1990	06/67	03/72	7	1A	0	0	0	3A	3A	0	0	0
04140A	Noire	696	06/67	06/67	1	1A	0	0	0	0	0	0	0	0
04190A	Dumoine	1450	06/67	03/72	6	1A	0	0	0	3A	2A	0	0	0
04210A	Maganasipi	239	06/67	06/67	1	1A	0	0	0	0	0	0	0	0
04260A	Kipawa	2300	06/67	03/72	7	1A	0	0	0	3A	3A	0	0	0
04300A	Kinojevis	999	06/67	03/72	8	1A	0	0	0	4A	3A	0	0	0
04310A	Des Outaouais	55200	08/68	12/75	347	0	21J	37J	40J	61J	42J	53H	49H	44H

TABLEAU 2.6 Nombre maximum d'échantillons analysés par année pour chacune des stations
(SUITE) et leur fréquence d'échantillonnage pour la région hydrographique 04

Code de fréquence d'échantillonnage { J: Journalier
H: Hebdomadaire
M: Mensuel
A: Autre

Numéro de la station	Nom de la rivière	Superficie du bassin versant drainé (M ²)	Date(mois/an)		Nombre maximum d'échantillons analysés et code de leur fréquence d'échantillonnage									
			Début de la station	Fin de la station	TOTAL	67	68	69	70	71	72	73	74	75
04310C	Des Outaouais	56500	02/70	12/70	11	0	0	0	11H	0	0	0	0	0
04320A	Des Mille-Iles	56700	05/70	10/72	23	0	0	0	10M	8M	5M	0	0	0
04320B	Des Mille-Iles	56500	08/70	11/70	2	0	0	0	2A	0	0	0	0	0
04330A	Des Prairies	56600	05/70	08/70	3	0	0	0	3A	0	0	0	0	0
04330B	Des Prairies	56500	09/70	08/70	6	0	0	0	6A	0	0	0	0	0
04330D	Des Prairies-des-Mille-Iles	-	07/74	07/74	1	0	0	0	0	0	0	0	1A	0
04640A	Mascouche	99,5	02/72	05/72	4	0	0	0	0	0	4A	0	0	0
04670A	Du Chêne	77,2	01/72	05/72	5	0	0	0	0	0	5A	0	0	0

TABLEAU 2.7 Nombre maximum d'échantillons analysés par année pour chacune des stations et leur fréquence d'échantillonnage pour la région hydrographique 05

Code de fréquence d'échantillonnage

J: Journalier
H: Hebdomadaire
M: Mensuel
A: Autre

Numéro de la station	Nom de la rivière	Superficie du bassin versant drainé (Mi ²)	Date(mois/an)		Nombre maximum d'échantillons analysés et code de leur fréquence d'échantillonnage									
			Début de la station	Fin de la station	TOTAL	67	68	69	70	71	72	73	74	75
05010A	Saint-Maurice	16500	03/68	11/73	104	0	17J	31J	7J	0	5H	44H	0	0
05010B	Saint-Maurice	16500	08/70	12/71	6	0	0	0	2A	4A	0	0	0	0
05010C	Vermillon	1030	06/71	03/72	5	0	0	0	0	3A	2A	0	0	0
05010D	Croche	605	06/71	03/72	6	0	0	0	0	3A	3A	0	0	0
05010E	Mekinac	385	06/71	03/72	4	0	0	0	0	1A	3A	0	0	0
05010F	Mattawin	635	01/72	03/72	3	0	0	0	0	0	3A	0	0	0
05010G	Saint-Maurice	16700	11/73	12/75	89	0	0	0	0	0	0	5H	50H	34H
05020A	Champlain	123	12/73	12/75	102	0	0	0	0	0	0	5H	52H	45H
05030A	Batiscan	1780	03/68	12/75	198	0	2A	6A	13M	13M	15M	50H	53H	46H
05040A	Sainte-Anne	599	11/67	11/73	249	1A	35J	32J	49J	53J	35J	44H	0	0
05040C	Sainte-Anne	922	08/70	12/71	4	0	0	0	2A	2A	0	0	0	0
05040D	Sainte-Anne	283	06/71	01/72	2	0	0	0	0	1A	1A	0	0	0
05040E	Noire	109	06/71	02/72	4	0	0	0	0	2A	2A	0	0	0
05040F	Blanche	86.8	06/73	06/73	1	0	0	0	0	0	0	1A	0	0
05040G	Blanche	86.8	06/73	06/73	1	0	0	0	0	0	0	1A	0	0
05040H	Sainte-Anne	1040	11/73	10/75	93	0	0	0	0	0	0	5H	50H	38H
05070A	Portneuf	138	06/70	12/75	185	0	0	0	7M	14M	14M	52H	52H	46H
05080A	Jacques-Cartier	799	07/69	11/69	5	0	0	5M	0	0	0	0	0	0
05080B	Lac Saint-Joseph	-	09/68	09/68	1	0	1A	0	0	0	0	0	0	0
05080C	Jacques-Cartier	906	11/73	11/73	76	0	0	0	9M	12M	12M	43H	0	0
05080D	Jacques-Cartier	674	07/72	10/73	42	0	0	0	0	0	6A	36H	0	0

TABLEAU 2.7 Nombre maximum d'échantillons analysés par année pour chacune des stations
(SUITE) et leur fréquence d'échantillonnage pour la région hydrographique 05

Code de fréquence d'échantillonnage

J: Journalier
H: Hebdomadaire
M: Mensuel
A: Autre

Numéro de la station	Nom de la rivière	Superficie du bassin versant drainé (Mj. ²)	Date(mois/an)		Nombre maximum d'échantillons analysés et code de leur fréquence d'échantillonnage									
			Début de la station	Fin de la station	TOTAL	67	68	69	70	71	72	73	74	75
05080F	Jacques-Cartier	970	11/73	12/75	102	0	0	0	0	0	0	6H	52H	44H
05090A	Saint-Charles	131	10/67	12/70	117	2A	33J	44J	38J	0	0	0	0	0
05090B	Saint-Charles	196	11/73	12/74	20	0	0	0	0	0	0	3A	17A	0
05100A	Ruisseau Eaux-volées	1.52	10/67	07/72	70	2M	16M	16M	13M	15M	8M	0	0	0
05100B	Ruisseau Eaux-volées	3.54	01/68	07/75	232	0	41H	59H	53H	42H	35H	0	1A	1A
05100C	Ruis. Aulnaies-Ouest	0.47	10/67	07/72	68	2M	17M	15M	13M	13M	8M	0	0	0
05100D	Montmorency	104	10/67	07/72	68	2M	16M	17M	13M	13M	7M	0	0	0
05100E	Ruis. des Aulnaies	1.38	11/67	07/72	68	1M	17M	16M	13M	13M	8M	0	0	0
05100F	Lac Huppe	0.37	06/68	08/69	7	0	5A	2A	0	0	0	0	0	0
05100G	Lac Huppe	0.05	06/68	09/69	7	0	4A	3A	0	0	0	0	0	0
05100H	Ruis. Eaux-volées	1.43	04/68	09/69	10	0	7A	3A	0	0	0	0	0	0
05100J	Ruis. Eaux-Volées	3.31	06/68	10/68	5	0	5A	0	0	0	0	0	0	0
05100K	Ruis. Aulnaies-Ouest	0.60	06/68	09/69	8	0	4A	4A	0	0	0	0	0	0
05100L	Ruis. des Aulnaies	0.39	06/68	09/69	8	0	5A	3A	0	0	0	0	0	0
05100M	Ruis. des Aulnaies	1.02	06/68	09/69	8	0	5A	3A	0	0	0	0	0	0
05100N	Ruis. des Aulnaies	1.09	06/68	09/69	8	0	5A	3A	0	0	0	0	0	0
05100P	Montmorency	425	10/67	12/74	111	2A	3A	5M	13M	11M	14M	46H	17A	0
05120A	Ste-Anne-du-Nord	376	11/67	12/74	21	1A	0	0	0	0	0	3A	17A	0
05120B	Ste-Anne-du-Nord	320	06/70	11/73	73	0	0	0	5M	12M	11M	45H	0	0
05130A	Du Gouffre	267	11/67	12/71	99	1A	18J	15J	24J	41J	0	0	0	0

TABLEAU 2.7
(SUITE)

Nombre maximum d'échantillons analysés par année pour chacune des stations
et leur fréquence d'échantillonnage pour la région hydrographique 05

Code de fréquence d'échantillonnage

J: Journalier
H: Hebdomadaire
M: Mensuel
A: Autre

Numéro de la station	Nom de la rivière	Superficie du bassin versant drainé (M ²)	Date(mois/an)		Nombre maximum d'échantillons analysés et code de leur fréquence d'échantillonnage									
			Début de la station	Fin de la station	TOTAL	67	68	69	70	71	72	73	74	75
05150A	Malbaie	714	11/73	11/73	1	0	0	0	0	0	0	1A	0	0
05150B	Malbaie	708	08/74	01/75	21	0	0	0	0	0	0	0	18H	3H
05190A	Ruisseau Mailloux	11,5	03/70	05/70	6	0	0	0	6J	0	0	0	0	0
05220A	L'Assomption	512	05/68	12/73	83	0	2A	4A	11A	9A	8M	49H	0	0
05220B	Quareau	492	03/68	06/68	3	0	3A	0	0	0	0	0	0	0
05220C	L'assomption	1630	12/73	12/75	88	0	0	0	0	0	0	4H	43H	41H
05240A	La Bayonne	134	12/73	12/75	88	0	0	0	0	0	0	3H	44H	41H
05260A	Maskinongé	397	03/68	06/68	3	0	3A	0	0	0	0	0	0	0
05260B	Maskinongé	407	07/70	11/73	79	0	0	0	6M	14M	14M	45H	0	0
05260C	Maskinongé	424	11/73	12/75	91	0	0	0	0	0	0	6H	47H	38H
05280B	Du Loup	586	06/71	11/73	66	0	0	0	0	9M	13M	44H	0	0
05280C	Du Loup	551	03/68	12/75	84	0	3A	0	0	0	0	6H	41H	34H
05300A	Yamachiche	105	12/73	12/75	101	0	0	0	0	0	0	5A	51H	45H

TABLEAU 2.8 Nombre maximum d'échantillons analysés par année pour chacune des stations et leur fréquence d'échantillonnage pour la région hydrographique 06

Code de fréquence d'échantillonnage

J: Journalier
H: Hebdomadaire
M: Mensuel
A: Autre

Numéro de la station	Nom de la rivière	Superficie du bassin versant drainé (Mj. ²)	Date(mois/an)		Nombre maximum d'échantillons analysés et code de leur fréquence d'échantillonnage									
			Début de la station	Fin de la station	TOTAL	67	68	69	70	71	72	73	74	75
06010A	Petit Saguenay	292	08/74	12/75	60	0	0	0	0	0	0	0	18H	42H
06100A	Chicoutimi	1310	12/67	12/75	198	1A	3A	4M	14M	15M	15M	52H	51H	43H
06100B	Aux Ecorces	430	08/71	05/74	98	0	0	0	0	7M	16M	53H	22H	0
06150A	Metabetchouane	898	05/74	12/75	56	0	0	0	0	0	0	0	21H	35H
06160A	Ouiatachouane	369	06/70	12/75	188	0	0	0	8M	16M	17M	53H	50H	44H
06190A	Chamouchouane	5920	10/67	12/75	300	2A	27J	31J	40J	35J	28J	52H	39H	46H
06190B	Chamouchouane	4300	07/71	08/72	4	0	0	0	0	2A	2A	0	0	0
06190C	Chamouchouane	1610	07/71	08/72	3	0	0	0	0	2A	1A	0	0	0
06210A	Mistassini	4760	08/69	12/75	196	0	0	7M	13M	16M	19M	52H	47H	42H
06210B	Mistassibi	3600	06/70	12/75	184	0	0	0	8M	16M	18M	52H	47H	43H
06210C	Ouasienska	1330	06/70	05/74	107	0	0	0	8M	10M	16M	51H	22H	0
06210D	Mistassini	3810	12/67	03/68	4	1A	3A	0	0	0	0	0	0	0
06210E	Mistassini	1730	07/71	01/72	2	0	0	0	0	1A	1A	0	0	0
06220A	Peribonka	10400	01/69	12/75	183	0	0	6M	14M	16M	11M	51H	48H	37H
06220B	Bonnard	-	10/71	08/72	11	0	0	0	0	4M	7M	0	0	0
06280A	Ste-Marguerite	818	08/74	12/75	60	0	0	0	0	0	0	0	18H	42H
06290A	Saguenay	28500	05/67	11/69	16	4A	6A	6A	0	0	0	0	0	0
06290B	Saguenay	30800	07/68	12/75	368	0	25J	49J	46J	61J	45J	48H	53H	41H

TABEAU 2.9 Nombre maximum d'échantillons analysés par année pour chacune des stations et leur fréquence d'échantillonnage pour la région hydrographique 07

Code de fréquence d'échantillonnage

J: Journalier
H: Hebdomadaire
M: Mensuel
A: Autre

Numéro de la station	Nom de la rivière	Superficie du bassin versant drainé (Mi.²)	Date(mois/an)		Nombre maximum d'échantillons analysés et code de leur fréquence d'échantillonnage									
			Début de la station	Fin de la station	TOTAL	67	68	69	70	71	72	73	74	75
07010A	Petites Bergeronnes	89.1	11/73	11/73	1	0	0	0	0	0	0	1A	0	0
07020A	Des Escoumains	306	02/69	03/69	2	0	0	2A	0	0	0	0	0	0
07020B	Des Escoumains	308	11/73	12/75	58	0	0	0	0	0	0	1A	19H	38H
07030A	Du Sault	178	11/73	11/73	1	0	0	0	0	0	0	1A	0	0
07050A	Du Sault	785	11/73	11/73	1	0	0	0	0	0	0	1A	0	0
07070A	Betsiamites	7220	11/73	11/73	1	0	0	0	0	0	0	1A	0	0
07100A	Aux Outardes	7360	11/73	11/73	1	0	0	0	0	0	0	1A	0	0
07110A	Manicouagan	17700	11/73	11/73	1	0	0	0	0	0	0	1A	0	0
07120A	Des Anglais	172	11/73	11/73	1	0	0	0	0	0	0	1A	0	0
07190A	Aux Rochers	1600	01/70	12/75	51	0	0	0	1A	0	0	0	19H	31H
07210A	Ste-Marguerite	2370	01/70	01/70	1	0	0	0	1A	0	0	0	0	0
07230A	Moisie	7350	06/68	08/72	6	0	1A	2A	2A	0	1A	0	0	0
07230B	Aux Pekans	1310	07/70	07/70	1	0	0	0	1A	0	0	0	0	0
07230C	Moisie	7400	08/74	12/75	61	0	0	0	0	0	0	0	19H	42H
07250B	Matamek	264	08/74	12/75	61	0	0	0	0	0	0	0	19H	42H
07350A	Magpie	2930	08/67	08/72	22	3A	6A	11A	0	1A	1A	0	0	0
07380A	Romaine	5030	01/68	04/72	7	0	2A	2A	0	2A	1A	0	0	0
07380B	Romaine	2530	08/72	08/72	1	0	0	0	0	0	1A	0	0	0
07380C	Romaine	5540	09/74	10/75	20	0	0	0	0	0	0	0	7A	13M
07470A	Aguanus	2160	01/69	09/71	5	0	0	4A	0	1A	0	0	0	0

TABLEAU 2.9 Nombre maximum d'échantillons analysés par année pour chacune des stations
(SUITE) et leur fréquence d'échantillonnage pour la région hydrographique 07

Code de fréquence d'échantillonnage

J: Journalier
H: Hebdomadaire
M: Mensuel
A: Autre

Numéro de la station	Nom de la rivière	Superficie du bassin versant drainé (Mi. ²)	Date(mois/an)		Nombre maximum d'échantillons analysés et code de leur fréquence d'échantillonnage									
			Début de la station	Fin de la station	TOTAL	67	68	69	70	71	72	73	74	75
07490A	Natashquan	6170	02/69	08/72	6	0	0	2A	0	2A	2A	0	0	0
07570A	Du Petit Mecatina	7390	06/68	08/72	7	0	1A	4A	0	1A	1A	0	0	0
07610A	Saint-Augustin	2220	01/69	09/71	7	0	0	5A	0	2A	0	0	0	0
07660A	Saint-Paul	2560	01/68	09/71	9	0	2A	5A	0	2A	0	0	0	0

TABLEAU 2.10 Nombre total de prélèvements journaliers et nombre moyen d'échantillons par composé () pour chacune des 5 années où des composés d'échantillons ont été effectués.

STATIONS	68	69	70	71	72	GRAND TOTAL 68-72
01150A	182 (7.6)	318 (8.0)	205 (7.6)	-	26 (3.3)	731 (7.4)
02040A	183 (7.0)	359 (9.5)	367 (9.7)	357 (8.5)	240 (7.7)	1506 (8.6)
02140B	216 (6.6)	358 (8.0)	368 (7.5)	376 (8.7)	260 (6.7)	1578 (7.6)
02160A	175 (6.7)	349 (8.5)	371 (7.6)	368 (8.8)	230 (7.7)	1493 (7.9)
02200A	210 (7.5)	361 (9.3)	368 (9.7)	347 (8.7)	242 (7.6)	1528 (8.6)
02210A	-	-	80 (4.4)	130 (2.2)	33 (1.0)	243 (2.2)
02250A	272 (7.6)	358 (7.2)	355 (9.3)	-	230 (6.0)	1215 (7.5)
02340A	264 (4.6)	364 (6.9)	311 (7.4)	360 (7.2)	225 (6.4)	1524 (6.4)
02340B	70 (3.0)	60 (15.0)	62 (4.8)	-	39 (3.6)	231 (4.5)
02340D	70 (3.5)	60 (8.6)	81 (4.1)	48 (4.0)	67 (2.2)	326 (3.6)
02340H	-	-	61 (6.8)	1 (1.0)	2 (1.0)	64 (5.3)
02340J	-	-	81 (3.2)	1 (1.0)	1 (1.0)	83 (3.1)
03020A	279 (4.7)	330 (8.7)	374 (8.5)	371 (8.2)	249 (7.8)	1603 (7.4)
03020X	134 (5.0)	361 (4.8)	340 (4.2)	340 (3.8)	53 (3.3)	1228 (4.3)
03020Z	-	-	-	-	125 (3.3)	125 (3.3)
03030B	265 (4.3)	244 (6.8)	245 (6.0)	138 (4.5)	264 (3.7)	1156 (4.8)
03030C	1 (1.0)	63 (4.5)	73 (4.6)	122 (6.8)	6 (1.0)	265 (4.8)
03030D	1 (1.0)	263 (4.3)	275 (4.8)	262 (7.1)	279 (6.8)	1242 (5.5)
03030F	-	80 (3.0)	12 (1.0)	12 (1.0)	9 (1.0)	113 (1.9)
03090A	169 (4.3)	352 (6.3)	346 (7.2)	366 (8.1)	255 (5.7)	1481 (6.4)
04310A	134 (6.4)	358 (9.7)	374 (9.4)	363 (6.0)	255 (6.1)	1484 (7.4)
05010A	127 (7.5)	275 (8.9)	80 (11.4)	-	5 (1.0)	487 (8.1)
05040A	277 (7.9)	360 (11.3)	371 (7.6)	365 (6.9)	247 (7.1)	1620 (7.9)
05090A	235 (7.1)	367 (8.3)	365 (9.6)	-	-	967 (8.4)
05130A	63 (3.5)	80 (5.3)	58 (2.4)	238 (5.8)	-	439 (4.5)
05190A	-	-	20 (3.3)	-	-	20 (3.3)
06190A	184 (6.8)	359 (11.6)	375 (9.4)	370 (10.6)	253 (9.0)	1541 (9.6)
06290B	175 (7.0)	365 (7.5)	372 (8.1)	360 (5.9)	247 (5.5)	1519 (6.7)

TABLEAU 2.11 Répartition par région et par année, du nombre de stations échantillonnées à différentes fréquences (J = journalier, H = hebdomadaire, M = mensuel, A = autre)

Année Région		1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975
		J	0	1	1	1	0	1	0	0	0
H	0	0	1	1	0	1	7	8	6	
M	0	0	1	3	7	7	0	0	0	
A	4	2	0	1	3	2	0	0	0	
J	0	8	8	11	7	8	0	0	0	
H	0	0	0	0	0	0	22	23	19	
M	0	4	8	10	15	16	0	0	0	
A	10	9	7	1	13	10	1	1	0	
J	0	5	7	6	6	6	0	0	0	
H	0	0	0	0	0	1	17	7	7	
M	0	0	2	4	6	6	0	0	0	
A	16	16	32	5	12	10	2	0	1	
J	0	1	1	1	1	1	0	0	0	
H	0	0	0	1	3	0	6	4	4	
M	0	0	1	2	0	3	0	0	0	
A	6	1	0	3	10	11	1	2	1	
J	0	4	4	5	2	2	0	0	0	
H	0	1	4	1	1	2	19	12	12	
M	4	4	3	10	11	12	0	0	0	
A	5	15	9	3	8	6	6	4	1	
J	0	2	2	2	2	2	0	0	0	
H	0	0	0	0	0	0	9	12	10	
M	0	0	3	6	8	8	0	0	0	
A	4	3	1	0	3	3	0	0	0	
J	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
H	0	0	0	0	0	0	0	4	4	
M	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
A	1	5	9	4	7	6	8	1	0	
J	0	21	23	26	18	20	0	0	0	
H	0	1	5	3	4	4	80	70	62	
M	4	8	18	35	47	52	0	0	1	
A	46	51	58	17	52	48	18	8	3	

TABLEAU 2.12 Nombre total de stations échantillonnées par année et par région hydrographique

Région hydrographique	NOMBRE TOTAL DE STATIONS échantillonnées par année et globalement sur les neufs années									
	67	68	69	70	71	72	73	74	75	Global sur les 9 ans
01	4	3	3	6	10	11	7	8	6	12
02	10	21	23	22	35	34	23	24	19	54
03	16	21	41	15	24	23	19	7	8	67
04	6	2	2	7	14	15	7	6	5	28
05	9	24	20	19	22	22	25	16	13	54
06	4	5	6	8	13	13	9	12	10	18
07	1	5	9	4	7	6	8	5	5	24
Ensemble des régions	50	81	104	81	125	124	98	78	66	257

TABLEAU 2.13 Nombre total de stations, par région hydrographique, pour une durée d'opération donnée

Région hydrographique	NOMBRE DE STATIONS AYANT FONCTIONNE PENDANT									TOTAL
	1 AN	2 ANS	3 ANS	4 ANS	5 ANS	6 ANS	7 ANS	8 ANS	9 ANS	
01	0	2	2	3	0	2	1	1	1	12
02	4	18	9	1	10	3	4	1	4	54
03	24	16	15	2	5	0	3	0	2	67
04	13	3	8	2	1	0	0	1	0	28
05	10	17	10	5	2	6	2	2	0	54
06	0	8	1	1	1	2	2	1	2	18
07	11	5	4	3	1	0	0	0	0	24
Ensemble des régions	62	69	49	17	20	13	12	6	9	257

TABLEAU 2.14 Fréquence d'analyse des paramètres pour les échantillons prélevés durant chacune des années (valables pour toutes les régions hydrographiques).

Code A: Analysé à chaque échantillon
 B: Analysé à presque chaque échantillon
 C: Analysé irrégulièrement
 D: Très peu analysé
 E: Non analysé

NOM DU PARAMETRE	67	68	69	70	71	72	73	74	75
Silice (SiO ₂)	E	E	E	A	A	A	A	A	A
Calcium (Ca)	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Magnésium (Mg)	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Sodium (Na)	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Potassium (K)	A	A	A	A	A	A	A	A	A
*Bicarbonate (HCO ₃)	A	A	A	A	C	D	D	E	E
Sulfate (SO ₄)	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Chlorure (Cl)	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Nitrate (NO ₃)	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Solides Dissous	A	C	D	D	D	D	D	E	E
Conductivité	A	A	A	A	A	A	A	A	A
*Dureté totale	A	A	A	A	A	D	E	E	E
*Dureté non carbonatée	A	A	A	A	C	E	E	E	E
pH	A	A	A	A	C	D	E	E	E

* paramètre calculé

TABLEAU 2.14: (SUITE)

NOM DU PARAMETRE	67	68	69	70	71	72	73	74	75
Couleur	A	A	D	C	D	D	E	E	E
Alcalinité	A	A	A	A	C	D	E	E	E
Oxygène Dissous	E	E	D	D	C	D	E	E	E
Fer (Fe)	A	A	D	D	D	D	D	D	D
Manganèse (Mn)	B	A	E	E	D	D	D	D	D
Phosphate (PO ₄)	E	E	E	A	A	A	A	A	A
Carbonate (CO ₃)	E	E	E	C	C	D	E	E	E
Fluorure (F)	A	A	D	D	D	D	C	E	E
Température	E	E	C	C	C	C	B	B	B

TABLEAU 3.1 Caractéristiques statistiques des paramètres à la station 01080A pour la période 1967-1975

N = effectif, M = moyenne, S = écart-type, MA = maximum, MI = minimum

STATION 01080A	N	M	S	MA	MI
Silice	178	4.32	.65	6.00	.60
Calcium	189	28.03	5.05	39.60	16.00
Magnésium	189	3.53	.51	4.50	.80
Sodium	184	1.59	.34	3.20	.80
Potassium	185	.36	.15	.90	.05
Bicarbonate	34	120.76	11.52	140.00	95.00
Sulfate	181	5.86	1.55	10.50	2.00
Chlorure	182	1.31	.50	4.50	.05
Nitrate	179	.48	.24	1.30	.05
Solides dissous	34	104.03	16.69	137.00	74.00
Conductivité	197	166.82	29.04	245.00	103.00
Dureté totale	36	102.00	9.65	119.00	81.00
Dureté non carbonatée	31	3.29	3.55	13.00	.50
pH	34	7.96	.28	8.50	6.90
Couleur	17	5.09	4.91	19.00	1.00
Alcalinité	29	99.45	8.96	115.00	78.00
Oxygène dissous	8	10.40	1.20	12.60	9.00
Fer	9	.06	.03	.13	.01
Manganèse	4	.02	.00	.03	.03
Phosphate	171	.03	.02	.10	.01
Carbonate	19	.60	.44	2.40	.50
Fluorure	32	.05	.04	.20	.01
Température	137	46.25	10.25	72.00	32.00

TABLEAU 3.2 Caractéristiques statistiques de la silice aux stations de la région 01 pour la période 1967-75

N = effectif, M = moyenne, S = écart-type, MA = maximum, MI = minimum

SILICE	N	M	S	MA	MI
01080A	178	4.32	.65	6.00	.60
01090A	157	4.48	1.36	8.60	.40
01100A	4	3.35	2.14	5.50	.50
01100B	178	5.08	.80	8.00	2.50
01100C	7	4.70	2.56	7.00	1.00
01120A	174	5.21	.69	7.30	3.00
01150A	152	3.86	.62	6.00	2.80
01150B	94	1.74	.60	4.50	.05
01160A	9	4.33	2.14	7.40	.70
01170B	71	2.71	.59	3.40	.50
01280A	45	4.94	1.22	7.00	2.30
01300A	94	2.91	1.58	6.50	.05

TABLEAU 3.3 Stations choisies pour l'étude de la variabilité spatiale

REGION	STATIONS	Nombre maximum possible de données en			Regroupement possible
		1973	1974	1975	
01	01080A	52	52	43	
	01090A	52	51	43	
	01100B	52	52	44	
	01120A	52	52	47	
	01150A	52	33	44	
	01170B	0	28	40	
02	02040A	43	47	42	
	02060A	51	51	43	
	02080B	52	43	0	02080A
	02140B	52	52	46	
	02160B	0	28	46	02160A
	02170A	52	35	44	
	02190A	46	51	43	
	02200A	31	29	41	
	02230A	53	41	42	
	02250D	0	24	28	02250A
	02270B	0	29	43	
	02310D	0	25	43	
	02340A	45	32	24	
	02360A	5	52	46	
	02370A	5	52	46	
	02390A	5	52	46	
02400E	2	27	39	02400A	
03	03010E	2	40	43	03010A
	03021L	2	38	35	03020A
	03030B	52	47	37	
	03030C	48	0	0	
	03030D	49	0	0	
	03030E	45	0	0	
	03030F	45	0	0	
	03030Y	3	34	28	
	03040G	51	47	39	
	03040H	4	46	30	
	03090A	52	48	40	

TABLEAU 3.3 (SUITE) Stations choisies pour l'étude de la variabilité spatiale

REGION	STATIONS	Nombre maximum possible de données en			Regroupement possible
		1973	1974	1975	
04	04010C	5	31	14	04080A
	04020A	5	48	50	
	04060C	6	48	40	
	04080C	4	49	43	
	04310A	53	49	44	
05	05010G	5	50	34	05010A
	05020A	5	52	45	
	05030A	50	53	46	
	05040H	5	50	38	
	05070A	52	52	46	
	05080F	6	52	44	05280B
	05220C	4	43	41	
	05240A	3	44	41	
	05260C	6	47	38	
	05280C	6	41	34	
	05300A	5	51	45	
06	06100A	52	51	43	
	06160A	53	50	44	
	06190A	52	39	46	
	06210A	52	47	42	
	06210B	52	47	43	
	06220A	51	48	37	
	06290B	48	53	41	
07	07020B	1	19	38	
	07190A	0	19	31	
	07230C	0	19	42	
	07250B	0	19	42	
	07380C	0	7	13	

TABLEAU 3.4 Etude de la variabilité inter-annuelle par analyse de variance: détermination des groupes de moyennes non significativement différentes, à l'aide du test de Scheffé (niveau 5%)

Stations	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	Cond.
02060A	73-75-74 ↔	73-74-75 ↔	73-74-75 ↔	74-73-75 ↔	73-75-74 ↔	74-75-73 ↔	73-74-75 ↔	75-74-73 ↔	73-74-75 ↔
02140B	73-75-74 ↔	73-74-75 ↔	73-74-75 ↔	73-74-75 ↔	73-75-74 ↔	74-75-73 ↔	73-74-75 ↔	75-73-74 ↔	73-74-75 ↔
02230A	73-74-75 ↔	73-74-75 ↔	73-75-74 ↔	73-74-75 ↔	73-74-75 ↔	75-74-73 ↔	73-74-75 ↔	75-73-74 ↔	73-74-75 ↔
03030B	73-75-74 ↔	73-74-75 ↔	73-74-75 ↔	73-74-75 ↔	73-74-75 ↔	74-73-75 ↔	73-74-75 ↔	74-73-75 ↔	73-74-75 ↔
03040G	73-74-75 ↔	73-75-74 ↔	73-75-74 ↔	73-74-75 ↔	73-74-75 ↔	73-74-75 ↔	73-74-75 ↔	74-75-73 ↔	73-74-75 ↔
03090A	75-73-74 ↔	75-73-74 ↔	75-73-74 ↔	73-74-75 ↔	73-75-74 ↔	74-75-73 ↔	73-74-75 ↔	75-74-73 ↔	73-75-74 ↔
04310A	73-74-75 ↔	74-73-75 ↔	74-75-73 ↔	75-74-73 ↔	73-74-75 ↔	74-75-73 ↔	73-74-75 ↔	73-74-75 ↔	74-75-73 ↔
05030A	74-75-73 ↔	73-74-75 ↔	74-73-75 ↔	74-73-75 ↔	73-74-75 ↔	74-73-75 ↔	73-74-75 ↔	73-74-75 ↔	74-73-75 ↔
05070A	73-74-75 ↔	73-74-75 ↔	73-74-75 ↔	74-73-75 ↔	73-74-75 ↔	74-75-73 ↔	74-73-75 ↔	73-74-75 ↔	73-74-75 ↔

* Les moyennes des années 1973, 1974 et 1975, représentées par les symboles 73, 74 et 75, sont classées par ordre ascendant.

L'égalité des moyennes est représentée par le symbole ↔

TABLEAU 3.5 Caractéristiques des stations susceptibles d'être regroupées

Station	fermeture	station	ouverture	rivière	distance entre les stations (km)
02080B	11-74	02080A	11-74	Madeleine	10
02160A	06-74	02160B	06-74	Matane	5
02250A	06-74	02250D	06-74	Du Loup	10
02400A	11-73	02400E	12-73	Bécancour	20
03010A	11-73	03010E	12-73	Nicolet	40
03020A	11-73	03021L	12-73	Saint-François	32
04080A	11-73	04080C	11-73	Gatineau	40
05010A	11-73	05010G	11-73	Saint-Maurice	15
05280B	11-73	05280C	11-73	Du Loup	10

TABLEAU 3.6 Test de Fisher appliqué aux données des stations
susceptibles d'être regroupées

Stations		Paramètres								
		SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	Cond.
02080B	F	2.33	2.23	2.58	*1.31	*1.00	2.42	21.66	*1.40	3.81
avec	N ₁	86	89	89	89	89	91	84	83	94
02080A	N ₂	39	40	40	40	40	38	39	36	49
02160A	F	2.35	*1.02	*1.02	2.08	1.96	*1.37	2.55	*1.39	*1.06
avec	N ₁	73	66	74	65	64	74	64	62	75
02160B	N ₂	63	74	66	72	73	64	72	72	73
02250A	F	2.94	1.85	*1.07	2.05	4.90	*1.61	*1.29	3.84	1.71
avec	N ₁	67	70	70	70	49	70	49	69	71
02250D	N ₂	49	48	49	49	68	48	67	47	51
02400A	F	1.96	*1.41	*1.11	*1.27	2.17	1.92	*1.30	*1.34	*1.12
avec	N ₁	61	63	63	63	63	61	42	60	43
02400E	N ₂	43	43	43	43	41	43	61	42	66
03010A	F	*1.62	*1.44	2.02	3.06	*1.10	1.81	*1.19	2.05	*1.10
avec	N ₁	65	42	68	68	41	65	65	57	42
03010E	N ₂	42	68	42	41	68	41	42	41	83
03020A	F	*1.16	*1.40	2.00	*1.47	2.54	*1.09	2.28	*1.16	*1.07
avec	N ₁	64	66	66	66	66	64	64	57	43
03021L	N ₂	43	42	43	42	41	43	43	42	73
04080A	F	*1.28	*1.11	*1.09	*1.07	*1.13	1.74	6.67	2.98	*1.31
avec	N ₁	40	77	77	77	78	39	69	60	91
04080C	N ₂	70	36	36	39	39	77	40	36	43
05010A	F	*1.51	2.18	*1.17	*1.32	*1.44	*1.65	*1.10	*1.12	*1.51
avec	N ₁	80	41	83	43	43	41	81	42	43
05010G	N ₂	43	82	43	83	82	80	43	82	87
05280B	F	*1.00	2.28	6.91	*1.24	2.81	1.80	1.86	2.92	3.12
avec	N ₁	43	43	43	42	42	60	43	42	43
05280C	N ₂	58	63	62	63	63	43	57	48	78

* l'égalité des variances est acceptée au niveau de signification de 5%

TABLEAU 3.7 Test de Student appliqué aux données des stations susceptibles d'être regroupées

Stations		Paramètres									Evaluation globale
		SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	Cond	
02080B avec 02080A	t v	** -3.01 110	- .99 111	.08 117	1.81 129	1.86 120	1.50 108	** 3.49 99	.50 119	1.91 143	A
02160A avec 02160B	t v	** -2.86 127	-1.25 140	.94 140	.00 114	** -3.51 114	** 4.37 138	- .75 105	* 2.02 134	- .20 148	B
02250A avec 02250D	t v	- .42 111	** -4.44 118	** -5.86 119	** -4.33 119	** -7.35 64	* 2.43 118	** -5.24 116	** 4.22 108	** -2.85 122	D
02400A avec 02400E	t v	- .30 105	** -4.21 106	-1.41 106	- .30 106	** -5.66 105	.63 104	-1.76 103	.67 102	** -2.43 109	C
03010A avec 03010E	t v	- .62 107	- .87 110	** -6.39 108	** -3.68 109	** -3.26 109	- .85 103	** -2.74 107	1.53 98	-1.12 125	C
03020A avec 03021L	t v	** 2.79 107	-1.73 108	.49 108	-1.02 108	** -3.13 107	** 2.81 107	- .33 107	- .63 99	.48 116	B
04080A avec 04080C	t v	* -2.30 110	- .74 113	.44 113	1.56 116	-1.85 117	** 5.53 63	** -3.37 98	-1.65 96	1.03 134	B
05010A avec 05010G	t v	** 9.84 123	-1.26 61	0.00 126	* 2.00 126	-1.33 125	** 7.93 121	-1.67 124	.31 124	* 1.98 130	B
05280B avec 05280C	t v	* 2.11 101	0.00 69	** 3.16 52	.43 105	1.65 62	** 2.84 1.03	- .05 76	1.41 66	1.43 59	A

** valeur de t significativement différente de zéro au niveau de 1%

* valeur de t significativement différente de zéro au niveau de 5%

A, B, C, D: codes indiquant la validité du regroupement par qualité décroissante

TABLEAU 3.8 Moyennes annuelles et saisonnières des paramètres du groupe 1, calculées sur la période 1973-75
aux 62 stations sélectionnées.

STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.
01080A	Année	4,33	26,06	3,51	1,60	,36	92	5,75	1,33	,48	,024	154,1
	Hiver	4,26	26,59	3,68	1,79	,29	94	5,96	1,50	,75	,018	157,3
	Printemps	4,22	24,88	3,09	1,35	,36	87	5,06	1,03	,33	,021	147,2
	Eté	4,00	27,10	3,55	1,68	,50	95	6,17	1,37	,29	,033	159,2
	Automne	4,50	26,40	3,71	1,66	,38	94	6,04	1,44	,48	,028	156,9
01090A	Année	4,41	21,49	2,83	1,94	,45	76	5,12	1,60	,80	,027	133,4
	Hiver	3,06	17,26	2,30	2,41	,53	61	5,13	2,24	1,06	,031	115,4
	Printemps	4,62	21,34	2,74	1,54	,36	76	4,60	1,10	,68	,019	133,3
	Eté	5,04	23,67	3,02	1,85	,42	84	5,39	1,25	,55	,024	142,9
	Automne	4,87	23,29	3,11	2,01	,47	83	5,44	1,70	,81	,031	140,7
01100B	Année	5,06	17,71	3,25	2,20	,39	65	6,98	1,81	,53	,021	118,5
	Hiver	5,38	19,78	3,69	2,36	,34	72	8,02	2,11	,84	,018	129,4
	Printemps	4,54	14,87	2,62	1,84	,35	55	5,19	1,36	,36	,020	104,7
	Eté	5,19	18,28	3,49	2,28	,44	68	7,08	1,58	,30	,028	120,8
	Automne	5,25	18,55	3,43	2,35	,43	67	7,70	2,00	,53	,022	123,7
01120A	Année	5,17	17,08	2,34	1,54	,34	61	4,23	,96	,44	,030	107,0
	Hiver	5,06	17,39	2,39	1,48	,26	62	4,41	,97	,65	,022	107,6
	Printemps	4,94	16,05	2,18	1,39	,38	58	3,70	,83	,31	,025	103,9
	Eté	5,55	16,97	2,53	1,59	,42	62	4,69	,75	,29	,060	103,7
	Automne	5,31	17,64	2,38	1,66	,33	63	4,43	1,08	,44	,032	109,6
01150A	Année	3,84	20,44	3,40	1,93	,42	76	4,68	1,84	,48	,020	130,6
	Hiver	3,81	21,95	3,87	2,37	,32	82	5,14	2,61	,90	,021	140,6
	Printemps	3,64	18,85	2,97	1,57	,44	70	3,84	1,51	,41	,020	122,8
	Eté	4,10	21,00	3,35	1,97	,57	78	4,81	1,60	,24	,020	127,2
	Automne	3,96	21,00	3,56	2,03	,40	78	5,14	1,86	,44	,020	133,9
01170B	Année	2,82	19,03	2,30	2,03	,47	65	4,90	2,25	,45	,013	117,5
	Hiver	3,13	19,95	2,37	2,10	,41	68	4,51	2,72	,65	,013	123,0
	Printemps	2,39	18,77	2,26	2,01	,47	65	4,69	2,02	,39	,013	116,4
	Eté	2,54	18,69	2,31	2,09	,64	66	4,40	2,20	,33	,018	115,4
	Automne	2,74	18,97	2,30	2,01	,45	65	5,33	2,25	,43	,011	116,9
02040A	Année	4,23	27,69	3,96	4,21	,61	93	10,84	5,40	,70	,029	180,7
	Hiver	4,74	27,74	4,27	5,06	,53	95	10,50	6,84	,98	,022	191,4
	Printemps	3,86	24,66	3,40	3,12	,51	83	8,19	4,40	,69	,030	159,8
	Eté	4,21	31,18	4,29	4,11	,79	102	13,73	5,50	,52	,026	206,2
	Automne	4,44	30,39	4,39	5,05	,72	102	13,71	5,85	,62	,033	197,9
STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.

* Station ayant fait l'objet d'un regroupement

** Valeur calculée d'une précision douteuse

NOTE: les concentrations sont exprimées en mg/l, sauf pour la conductivité en µmhos/cm.

TABLEAU 3.8 (SUITE) Moyennes annuelles et saisonnières des paramètres du groupe 1, calculées sur la période 1973-75
aux 62 stations sélectionnées

STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.
02060A	Année	3,46	25,48	5,31	3,97	,60	101	6,10	4,11	,68	,020	177,4
	Hiver	3,87	25,80	6,18	4,92	,69	105	7,32	5,71	1,09	,024	188,5
	Printemps	3,17	22,46	4,53	3,28	,55	88	5,00	3,57	,63	,017	155,6
	Eté	3,52	30,27	5,86	4,03	,66	120	5,78	3,64	,38	,023	200,2
	Automne	3,55	27,61	5,60	3,91	,60	108	6,80	3,91	,57	,019	191,2
02080A*	Année	3,96	22,71	4,75	3,22	,41	88	6,80	3,48	,54	,025	156,4
	Hiver	4,39	24,97	5,60	4,53	,35	98	7,91	5,29	,68	,024	175,9
	Printemps	3,66	22,66	4,58	2,67	,38	87	6,18	2,89	,56	,020	155,3
	Eté	3,82	23,49	4,61	2,48	,44	87	6,92	3,32	,32	,054	154,4
	Automne	4,10	21,15	4,46	3,24	,47	82	6,82	3,02	,46	,026	146,4
02140B	Année	4,95	22,03	4,09	2,37	,53	82	5,92	3,01	,76	,023	148,4
	Hiver	5,24	27,68	4,88	2,64	,45	101	7,06	3,75	1,03	,022	182,0
	Printemps	4,58	20,94	3,78	2,40	,52	78	5,23	3,02	,78	,023	140,6
	Eté	5,40	20,18	3,96	2,25	,55	78	4,86	2,55	,53	,029	138,1
	Automne	5,12	20,62	4,05	2,20	,57	77	6,39	2,70	,63	,021	141,7
02160B*	Année	3,53	23,03	3,47	2,99	,47	83	6,16	3,26	,70	,020	147,8
	Hiver	4,13	27,13	4,25	3,74	,45	98	7,22	4,12	1,18	,021	175,2
	Printemps	3,18	21,09	3,08	2,83	,48	75	5,36	3,28	,71	,020	134,5
	Eté	3,63	24,55	3,82	2,61	,54	90	5,70	2,44	,30	,027	157,5
	Automne	3,57	22,50	3,37	2,81	,47	80	6,64	2,87	,47	,018	145,9
02170A	Année	3,20	27,44	2,84	5,64	,74	96	7,60	4,69	,63	,023	174,8
	Hiver	4,06	27,49	2,80	5,80	,59	96	8,12	4,75	1,02	,019	177,5
	Printemps	2,83	24,86	2,45	4,48	,66	86	6,17	3,91	,61	,025	155,1
	Eté	2,95	34,48	3,61	6,93	1,19	126	6,89	5,26	,19	,031	220,8
	Automne	3,15	29,58	3,29	7,08	,88	104	9,87	5,91	,48	,021	193,1
02190A	Année	3,07	22,87	4,42	2,42	,58	88	5,77	2,10	,43	,022	150,1
	Hiver	3,78	24,07	5,11	2,69	,47	95	6,57	2,20	,83	,025	161,7
	Printemps	2,89	22,19	4,15	2,19	,57	85	5,08	2,02	,47	,019	144,8
	Eté	2,67	20,78	3,73	2,17	,67	80	4,51	1,63	,08	,025	138,4
	Automne	2,91	23,52	4,52	2,61	,64	90	6,54	2,27	,19	,021	153,0
02200A	Année	3,27	19,95	3,16	3,26	,55	72	8,46	2,05	,39	,020	133,5
	Hiver	4,19	22,42	3,73	3,66	,53	80	10,85	2,29	,80	,025	151,8
	Printemps	2,85	18,53	2,94	2,75	,52	66	7,87	1,81	,37	,018	124,7
	Eté	3,39	20,60	3,05	3,46	,59	76	7,25	1,91	,13	,019	136,7
	Automne	3,27	20,37	3,14	3,74	,60	74	8,20	2,31	,21	,020	134,2
STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.

* Station ayant fait l'objet d'un regroupement

** Valeur calculée d'une précision douteuse

NOTE: les concentrations sont exprimées en mg/l, sauf pour la conductivité en µmhos/cm.

TABLEAU 3.8 (SUITE) Moyennes annuelles et saisonnières des paramètres du groupe 1, calculées sur la période 1973-75 aux 62 stations sélectionnées

STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.
02230A	Année	2,87	19,20	1,84	4,41	,77	64	8,10	3,71	,84	,106	126,6
	Hiver	4,27	18,86	1,78	3,93	,62	61	8,13	3,71	1,47	,068	122,3
	Printemps	2,49	16,50	1,65	3,79	,71	56	6,24	3,33	,81	,075	108,8
	Eté	2,10	25,08	2,34	6,92	1,12	89	8,86	4,36	,30	,354	170,1
	Automne	2,71	21,11	1,99	4,77	,80	68	10,19	4,00	,62	,101	140,5
02250D	Année	3,87	10,12	1,32	3,76	1,23	36	7,08	2,72	,21	,075	75,5
	Hiver	5,27	10,34	1,49	4,17	1,63	37	7,33	3,64	,69	,207	82,0
	Printemps	3,20	9,10	1,19	3,36	1,08	33	5,44	2,37	,11	,046	66,4
	Eté	3,90	10,66	1,46	3,66	1,84	41	5,38	2,40	,11	,093	76,8
	Automne	3,84	10,56	1,32	3,88	1,07	35	8,37	2,72	,15	,047	79,4
02270B	Année	3,53	8,65	1,29	4,26	,73	29	6,70	4,35	,45	,025	74,3
	Hiver	5,08	10,11	1,64	5,86	,77	35	8,27	5,81	1,41	,024	91,8
	Printemps	3,07	7,71	1,19	3,76	,74	27	5,33	3,98	,37	,023	69,6
	Eté	3,54	10,00	1,32	5,79	,80	39	5,31	4,86	,14	,032	80,9
	Automne	3,44	8,59	1,25	3,74	,69	27	7,77	4,04	,32	,021	71,2
02310D	Année	4,12	11,07	1,71	5,09	1,39	37	9,45	5,40	1,51	,051	95,2
	Hiver	6,82	12,11	1,82	7,10	1,39	42	10,49	6,59	3,38	,068	109,0
	Printemps	3,41	10,26	1,56	4,77	1,46	36	7,51	5,08	1,42	,058	90,2
	Eté	2,74	11,09	1,54	4,85	1,14	38	7,34	5,25	,47	,027	90,9
	Automne	4,32	11,50	1,87	4,75	1,41	35	11,88	5,31	1,24	,047	96,7
02340A	Année	3,16	10,52	2,34	3,21	1,06	36	9,00	3,99	,92	,060	88,3
	Hiver	5,15	9,47	2,27	4,21	,84	31	10,21	5,29	1,97	,079	90,6
	Printemps	2,74	8,92	2,11	2,73	,92	32	6,96	3,38	,84	,084	74,6
	Eté	2,31	12,14	2,56	3,72	1,32	43	8,63	4,42	,50	,036	99,9
	Automne	3,22	11,94	2,53	3,22	1,18	39	10,68	4,05	,80	,039	97,7
02360A	Année	4,82	24,12	2,52	9,28	1,43	82	11,76	9,21	,57	,048	166,4
	Hiver	7,94	26,16	2,52	9,41	1,11	88	11,71	9,31	1,06	,045	177,5
	Printemps	3,85	19,53	2,02	6,61	1,25	67	7,24	7,32	,55	,066	132,7
	Eté	3,03	30,27	3,30	14,74	1,93	107	12,64	15,88	,12	,037	225,6
	Automne	4,74	26,61	2,89	10,71	1,66	89**	16,92	9,56	,44	,031	185,2
02370A	Année	5,84	21,34	2,61	7,81	1,43	74	10,26	8,39	,57	,067	151,9
	Hiver	9,03	22,22	2,44	7,60	1,06	76	9,89	7,54	,88	,056	157,3
	Printemps	4,75	17,64	2,33	6,35	1,40	63	6,87	7,45	,59	,101	125,4
	Eté	4,42	27,41	3,09	12,06	1,79	101	10,53	10,98	,28	,036	200,6
	Automne	5,86	23,46	2,89	8,47	1,71	77	14,55	9,30	,44	,038	168,2
STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.

* Station ayant fait l'objet d'un regroupement

** Valeur calculée d'une précision douteuse

NOTE: les concentrations sont exprimées en mg/l, sauf pour la conductivité en $\mu\text{mhos/cm}$.

TABLEAU 3.8 (SUITE) Moyennes annuelles et saisonnières des paramètres du groupe 1, calculées sur la période 1973-75
aux 62 stations sélectionnées

STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.
02390A	Année	6,93	19,25	3,67	9,70	2,14	80	11,81	6,51	,75	,077	156,3
	Hiver	9,52	19,69	4,09	10,79	1,69	82	12,74	7,69	1,26	,071	179,2
	Printemps	5,07	16,07	2,99	7,23	1,82	66	8,25	5,54	,71	,059	122,6
	Eté	8,36	24,28	4,46	14,74	2,80	111	11,97	7,64	,34	,132	203,3
	Automne	7,32	21,10	3,99	10,46	2,54	85	15,49	6,65	,61	,086	172,3
02400E	Année	3,65	16,89	4,55	7,33	1,69	66	11,56	8,87	1,20	,039	152,1
	Hiver	6,39	18,36	4,67	8,09	1,39	70	12,43	10,22	2,67	,055	167,9
	Printemps	2,87	14,78	3,87	6,69	1,66	59	8,81	8,23	1,00	,038	134,0
	Eté	2,79	19,70	5,31	8,43	1,91	80	12,19	9,61	,30	,037	175,9
	Automne	3,33	18,16	5,26	7,40	1,86	69	15,70	8,62	,80	,029	159,8
03010E	Année	3,43	25,87	3,62	8,68	2,34	85**	15,77	11,05	1,37	,088	186,6
	Hiver	6,91	27,31	4,20	8,72	1,67	90	15,25	12,22	3,56	,090	220,3
	Printemps	4,10	20,37	3,01	5,79	1,72	68	10,02	8,60	1,77	,127	146,9
	Eté	2,69	25,74	3,83	9,83	2,56	91	13,76	11,38	,81	,083	198,1
	Automne	2,77	27,31	3,54	8,89	2,57	85**	19,20	11,27	1,05	,080	196,2
03021L*	Année	2,95	14,80	3,12	7,14	1,14	56	10,97	6,87	,70	,047	130,4
	Hiver	4,85	15,31	3,65	8,01	1,07	58	11,85	8,52	1,38	,074	142,6
	Printemps	3,23	12,47	2,68	4,86	,82	45	8,48	5,66	1,06	,065	105,6
	Eté	2,03	15,21	3,09	7,25	1,16	58	9,86	6,92	,31	,035	134,1
	Automne	2,83	15,90	3,27	8,34	1,37	60	13,35	7,13	,50	,034	142,0
03030B	Année	2,95	15,51	2,61	13,80	1,71	54	12,71	17,06	1,46	,310	163,7
	Hiver	4,30	13,68	2,44	13,00	1,53	47	12,71	16,28	1,58	,383	157,3
	Printemps	2,42	12,83	2,16	10,66	1,25	44	9,75	13,67	1,25	,200	135,8
	Eté	2,12	16,49	2,83	15,79	1,80	60**	10,99	20,30	1,17	,336	175,2
	Automne	3,27	17,20	2,83	14,76	2,00	59**	15,78	17,33	1,73	,331	177,3
03030C	Année	3,77	18,85	3,17	5,90	1,93	59	15,83	7,50	1,62	,138	153,1
	Hiver	5,72	15,57	2,77	5,98	1,36	43	16,00	9,44	1,90	,067	146,5
	Printemps	2,81	17,06	2,98	5,03	1,49	52	14,86	6,71	1,41	,186	137,3
	Eté	2,96	19,97	3,28	6,40	2,11	69	11,95	7,75	1,74	,084	157,6
	Automne	4,38	20,25	3,34	6,23	2,33	62	18,69	7,42	1,66	,141	165,8
03030D	Année	3,48	22,00	4,74	14,57	2,15	76	18,02	19,98	2,33	,246	220,2
	Hiver	5,53	18,24	4,11	11,83	1,61	65	17,57	12,96	2,84	,157	182,7
	Printemps	3,12	21,40	4,41	10,85	1,64	69	17,11	16,15	2,24	,206	199,6
	Eté	2,14	22,80	5,37	16,72	2,00	74	15,94	28,60	2,49	,266	242,7
	Automne	3,71	23,57	4,92	17,29	2,82	86	19,94	20,68	2,11	,301	227,1
STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.

* Station ayant fait l'objet d'un regroupement

** Valeur calculée d'une précision douteuse

NOTE: les concentrations sont exprimées en mg/l, sauf pour la conductivité en µmhos/cm.

TABLEAU 3.8 (SUITE) Moyennes annuelles et saisonnières des paramètres du groupe 1, calculées sur la période 1973-75 aux 62 stations sélectionnées

STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.
03030E	Année	3,38	16,42	2,68	5,59	1,68	51	13,94	6,91	1,23	,144	136,0
	Hiver	5,56	14,49	2,47	5,00	1,29	44	13,29	6,41	2,03	,150	122,9
	Printemps	2,38	14,10	2,32	4,05	1,23	43	12,31	5,12	,87	,080	110,5
	Eté	2,51	19,26	3,00	7,14	1,92	67	11,45	8,37	1,22	,151	155,3
	Automne	3,81	17,43	2,88	6,22	2,09	52	17,33	7,71	1,16	,192	151,4
03030F	Année	3,33	13,45	2,53	10,34	1,93	45	12,55	13,60	1,48	,248	146,2
	Hiver	5,22	10,48	2,40	11,22	1,82	34	13,50	14,72	2,02	,175	163,8
	Printemps	2,59	10,78	1,97	8,00	1,45	33	10,25	11,55	1,14	,173	111,7
	Eté	2,73	15,93	2,78	10,74	2,08	51**	12,22	16,02	1,22	,309	152,1
	Automne	3,77	15,47	2,94	12,11	2,39	55	14,71	13,68	1,77	,309	167,2
03030Y	Année	3,19	25,48	6,01	20,44	3,76	103**	19,12	23,63	2,18	,295	245,6
	Hiver	6,12	25,77	6,48	21,38	2,15	106	19,75	23,03	2,95	,237	272,8
	Printemps	3,28	20,57	5,07	11,20	2,03	81	13,98	12,82	1,84	,118	187,1
	Eté	2,46	24,10	5,76	18,57	3,05	102**	14,42	21,04	1,62	,327	235,8
	Automne	2,95	27,67	6,33	23,92	5,10	108**	24,19	28,60	2,63	,331	278,5
03040G	Année	5,17	46,80	19,29	87,55	7,54	195**	100,34	93,67	3,27	,228	741,7
	Hiver	5,86	43,26	15,95	61,68	5,07	208**	58,42	58,75	5,98	,156	655,7
	Printemps	3,92	35,78	13,93	50,20	4,51	169**	42,15	56,01	3,81	,179	430,0
	Eté	4,83	49,99	22,34	109,57	9,43	235**	79,05	136,14	1,89	,474	910,5
	Automne	5,84	52,55	21,66	105,87	9,05	184**	163,88	99,65	2,90	,106	885,0
03040H	Année	1,26	21,82	5,00	8,57	1,54	73	17,41	12,29	,91	,056	189,1
	Hiver	1,73	19,57	4,48	6,94	1,26	66	15,64	9,76	1,32	,076	164,3
	Printemps	1,39	18,75	4,29	6,18	1,42	66	12,76	8,47	,96	,032	159,8
	Eté	,96	22,73	5,20	9,70	1,41	78	16,87	13,76	,61	,061	200,5
	Automne	1,25	24,60	5,64	10,17	1,89	78	23,09	14,88	,97	,057	217,8
03090A	Année	4,14	28,43	9,49	9,22	2,29	113	26,25	9,28	1,63	,199	247,3
	Hiver	6,38	28,98	10,02	8,43	2,06	110	28,32	10,46	2,90	,167	252,9
	Printemps	3,73	24,97	7,81	6,21	1,74	99	18,25	7,16	1,67	,144	201,0
	Eté	3,50	27,93	9,73	10,09	2,21	121	21,15	9,52	1,14	,228	247,0
	Automne	3,90	30,38	10,12	10,72	2,77	116	33,52	9,97	1,47	,226	276,4
04010C	Année	5,45	10,80	2,68	12,97	1,09	37	9,71	19,15	1,24	,070	145,1
	Hiver	6,61	11,60	2,99	13,87	,98	38	10,51	21,92	1,67	,060	160,8
	Printemps	3,92	9,06	2,23	11,67	,94	37	7,71	14,21	,90	,091	121,3
	Eté	5,02	12,08	3,07	15,68	1,78	35	11,62	27,16	1,28	,068	183,3
	Automne	5,72	10,79	2,56	11,75	,93	38	9,75	16,32	1,07	,061	137,5
STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.

* Station ayant fait l'objet d'un regroupement

** Valeur calculée d'une précision douteuse

NOTE: les concentrations sont exprimées en mg/l, sauf pour la conductivité en µmhos/cm.

TABLEAU 3.8 (SUITE) Moyennes annuelles et saisonnières des paramètres du groupe 1, calculées sur la période 1973-75
aux 62 stations sélectionnées

STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.
04020A	Année	5.72	9.67	3.11	2.72	.89	37	8.55	3.31	.58	.030	91.7
	Hiver	6.53	12.98	4.93	2.46	.79	50	12.42	3.49	1.12	.028	125.0
	Printemps	6.11	9.25	3.16	2.20	.73	37	7.62	2.31	.53	.027	88.8
	Eté	5.86	11.02	3.34	3.48	1.05	42	8.59	4.79	.28	.026	103.9
	Automne	4.19	6.17	1.39	2.71	.98	21	6.46	2.80	.58	.041	69.2
04060C	Année	3.69	5.69	.92	1.23	.75	17	5.48	1.23	.52	.019	45.0
	Hiver	3.85	5.32	.96	1.56	.60	17	5.82	1.10	.66	.022	43.7
	Printemps	3.62	5.88	.92	1.16	.79	18	5.45	1.25	.63	.021	46.4
	Eté	3.42	6.19	.91	1.23	.83	19	5.27	1.34	.32	.020	46.8
	Automne	3.94	5.19	.89	1.11	.71	15	5.48	1.17	.48	.010	42.3
04080C*	Année	3.38	5.57	1.05	1.17	.64	16	6.33	1.15	.49	.017	46.5
	Hiver	3.28	4.86	.99	1.17	.57	14	6.29	1.02	.87	.021	42.8
	Printemps	3.73	6.62	1.19	1.24	.72	20	6.47	1.30	.57	.019	52.7
	Eté	2.92	5.04	.92	1.12	.62	14	6.61	.95	.32	.017	44.0
	Automne	3.20	4.51	.94	1.09	.55	13	5.80	1.13	.35	.010	40.4
04310A	Année	3.66	9.45	2.29	3.12	1.02	32	10.27	3.23	.80	.038	86.9
	Hiver	4.21	11.28	2.72	3.67	1.05	37	12.26	3.95	.95	.054	101.3
	Printemps	3.74	10.10	2.42	2.98	1.04	35	9.49	3.21	.86	.041	91.2
	Eté	3.16	7.55	1.76	2.53	.89	24	9.15	2.41	.50	.024	69.4
	Automne	3.56	8.76	2.20	3.46	1.07	29	11.08	3.46	.82	.031	82.6
05010G*	Année	3.13	2.78	.65	2.50	.51	9	5.37	2.00	.29	.022	34.2
	Hiver	3.40	2.88	.71	2.64	.49	9	5.63	2.06	.34	.032	35.6
	Printemps	2.97	2.70	.62	2.23	.44	9	4.72	1.78	.41	.028	32.9
	Eté	3.01	2.97	.64	2.75	.64	9**	5.69	2.23	.12	.011	35.5
	Automne	3.16	2.72	.65	2.58	.52	8	5.73	2.10	.22	.014	34.1
05020A	Année	7.93	10.82	3.68	15.93	2.20	55**	8.54	17.95	1.12	.044	150.7
	Hiver	9.65	10.54	3.77	17.61	1.73	56	7.72	20.29	1.26	.041	165.4
	Printemps	6.37	8.87	3.03	10.26	1.67	45**	6.27	11.01	.99	.046	107.5
	Eté	8.55	12.81	3.89	19.91	2.45	65	8.51	22.94	1.22	.024	184.9
	Automne	8.25	11.85	4.18	18.60	2.93	60**	11.25	21.16	1.10	.054	175.4
05030A	Année	3.42	2.81	.70	1.98	.63	8	5.14	2.00	.69	.030	34.3
	Hiver	4.62	3.01	.79	2.38	.61	9	5.72	2.30	.01	.035	38.7
	Printemps	3.09	2.84	.74	2.00	.69	9	5.11	2.10	1.00	.045	35.6
	Eté	3.13	2.88	.62	1.87	.67	9	4.68	1.69	.31	.018	31.8
	Automne	3.10	2.62	.65	1.76	.55	7	5.00	1.87	.43	.018	31.5
STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.

* Station ayant fait l'objet d'un regroupement

** Valeur calculée d'une précision douteuse

NOTE: les concentrations sont exprimées en mg/l, sauf pour la conductivité en μ mhos/cm.

TABLEAU 3.8 (SUITE) Moyennes annuelles et saisonnières des paramètres du groupe 1, calculées sur la période 1973-75 aux 62 stations sélectionnées.

STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.
05040H	Année	3.76	3.95	.67	1.90	.62	13	4.47	1.75	.79	.027	37.6
	Hiver	6.05	4.82	.81	3.04	.73	17	5.36	2.46	1.25	.036	49.9
	Printemps	2.68	3.29	.60	1.46	.55	11	3.74	1.34	.90	.033	30.8
	Été	3.91	4.85	.65	2.07	.69	17	3.89	1.74	.35	.015	40.5
	Automne	3.43	3.66	.67	1.62	.60	10	4.99	1.77	.61	.021	36.0
05070A	Année	6.86	8.20	1.51	3.93	1.25	30	7.32	3.47	1.18	.094	75.2
	Hiver	8.02	8.12	1.53	3.92	1.12	29	7.56	3.33	1.72	.114	76.9
	Printemps	5.71	7.55	1.43	3.28	1.16	28	6.40	2.87	1.15	.095	67.4
	Été	6.95	8.90	1.46	4.77	1.40	34	6.52	4.24	.89	.082	79.8
	Automne	7.27	8.56	1.61	4.17	1.37	30	8.49	3.83	1.02	.085	80.0
05080F	Année	4.54	3.96	.58	1.78	.47	11	4.04	2.25	.79	.016	37.0
	Hiver	5.95	4.83	.75	2.18	.57	15	4.43	2.77	1.29	.016	43.9
	Printemps	3.78	3.73	.49	1.57	.41	11	3.47	2.01	.87	.016	35.7
	Été	4.78	4.14	.57	1.85	.54	13	3.36	2.25	.35	.013	34.9
	Automne	4.32	3.58	.57	1.68	.42	9	4.64	2.17	.66	.016	35.2
05220C	Année	5.64	11.02	2.61	8.29	1.59	43	9.26	9.76	1.53	.207	113.9
	Hiver	7.24	9.31	2.34	7.03	1.02	34	8.63	9.19	1.36	.199	104.2
	Printemps	4.69	8.18	2.03	4.99	1.07	31	6.63	6.31	1.32	.142	83.0
	Été	5.57	14.36	3.21	10.97	2.21	59	9.81	12.46	1.40	.284	149.3
	Automne	5.43	12.12	2.83	9.80	1.93	47	11.24	11.22	1.86	.222	128.9
05240A	Année	8.60	14.34	5.19	21.56	4.00	81**	11.43	22.01	3.04	.260	202.7
	Hiver	11.52	13.36	5.32	22.59	2.81	79	11.01	22.59	3.07	.202	211.6
	Printemps	7.66	12.76	4.57	17.21	2.74	74**	8.63	15.43	2.38	.206	165.9
	Été	8.45	17.38	5.90	26.72	5.59	96**	13.59	28.35	2.73	.391	241.7
	Automne	7.58	14.84	5.30	22.12	5.07	80**	13.26	24.39	3.60	.282	215.2
05260C	Année	4.20	5.32	1.79	7.14	1.36	24	6.73	7.84	.74	.070	77.5
	Hiver	4.94	5.19	1.69	5.86	1.09	19	7.41	7.34	1.00	.056	73.8
	Printemps	4.07	4.83	1.57	4.74	1.03	21	5.74	4.98	.92	.054	60.6
	Été	3.55	5.52	1.83	8.04	1.54	29	5.52	7.74	.42	.093	79.3
	Automne	4.22	5.64	1.98	9.07	1.63	27	7.59	10.19	.66	.074	92.9
05280C*	Année	4.57	4.10	1.34	4.58	.93	15	6.81	5.19	.58	.150	56.6
	Hiver	5.31	4.27	1.53	5.46	.87	16	8.11	6.10	.88	.235	65.4
	Printemps	4.65	4.14	1.40	3.65	.96	16	6.19	3.88	.66	.248	51.5
	Été	3.95	3.98	1.16	4.69	.99	15**	6.05	5.20	.37	.050	53.4
	Automne	4.42	4.02	1.26	4.99	.90	14	7.18	6.15	.49	.064	59.0
STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.

* Station ayant fait l'objet d'un regroupement

** Valeur calculée d'une précision douteuse

NOTE: les concentrations sont exprimées en mg/l, sauf pour la conductivité en µmhos/cm.

TABLEAU 3.8 (SUITE) Moyennes annuelles et saisonnières des paramètres du groupe 1, calculées sur la période 1973-75 aux 62 stations sélectionnées.

STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.
05300A	Année	7.79	6.83	2.66	13.74	1.89	39	6.85	15.16	1.74	.080	119.3
	Hiver	8.72	6.25	2.52	12.87	1.48	33	6.59	15.38	2.11	.074	116.3
	Printemps	6.09	6.03	2.27	9.07	1.66	32	6.05	9.84	1.56	.069	90.5
	Eté	8.44	7.82	2.95	19.69	2.16	51**	5.97	20.98	1.71	.092	147.0
	Automne	8.58	7.42	2.97	15.74	2.20	42	8.31	17.70	1.68	.083	138.1
06100A	Année	3.75	3.81	.56	1.66	.33	11	3.80	2.08	.40	.015	33.9
	Hiver	5.22	4.53	.67	1.80	.31	13	4.08	2.29	.65	.018	39.0
	Printemps	2.91	3.27	.50	1.56	.35	9	3.48	1.01	.34	.014	31.3
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	3.17	3.60	.52	1.63	.33	10	3.81	2.03	.23	.013	31.4
06160A	Année	2.84	5.61	.51	1.23	.36	16	3.70	1.55	.36	.017	39.3
	Hiver	3.10	5.20	.51	1.24	.34	15	3.71	1.46	.52	.024	37.7
	Printemps	2.60	5.24	.48	1.22	.36	15	3.41	1.55	.38	.016	37.3
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	2.77	6.34	.54	1.24	.37	18	3.97	1.64	.20	.011	42.7
06190A	Année	3.78	3.34	1.14	1.00	.44	14	3.28	.84	.24	.021	32.0
	Hiver	5.49	4.07	1.41	1.33	.53	18	3.40	.94	.45	.031	39.7
	Printemps	2.64	2.66	.89	.71	.39	10	2.74	.66	.13	.020	25.1
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	3.18	3.23	1.08	.93	.39	12	3.59	.90	.14	.014	29.8
06210A	Année	5.16	2.81	.83	1.09	.46	10	3.52	.93	.25	.017	27.7
	Hiver	6.99	3.47	1.08	1.38	.52	14	3.52	1.07	.46	.022	34.5
	Printemps	3.67	2.21	.64	.84	.45	8	3.26	.70	.15	.020	22.8
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	4.76	2.68	.75	1.01	.41	9	3.75	1.00	.15	.012	25.5
06210B	Année	2.52	2.05	.44	.82	.30	6	3.15	.75	.18	.015	19.8
	Hiver	3.85	2.43	.54	1.11	.36	8	3.39	.94	.34	.019	24.3
	Printemps	1.57	1.71	.35	.62	.29	4	2.95	.57	.12	.015	17.8
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	2.15	1.99	.42	.74	.26	5**	3.10	.74	.10	.011	17.7
06220A	Année	1.75	1.87	.45	1.45	.34	6	2.89	1.55	.24	.017	22.5
	Hiver	1.80	1.61	.45	.66	.26	5	2.60	.52	.23	.024	18.3
	Printemps	1.80	2.00	.43	1.42	.39	6	3.00	1.90	.27	.015	23.3
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	1.66	2.00	.48	2.25	.37	7	3.07	2.18	.21	.013	25.6
STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.

* Station ayant fait l'objet d'un regroupement

** Valeur calculée d'une précision douteuse

NOTE: les concentrations sont exprimées en mg/l, sauf pour la conductivité en µmhos/cm.

TABLEAU 3.6 (SUITE) Moyennes annuelles et saisonnières des paramètres du groupe 1, calculées sur la période 1973-75 aux 62 stations sélectionnées.

STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.
06290B	Année	2.55	3.24	.70	1.38	.45	11	3.69	1.25	.31	.024	30.1
	Hiver	2.57	3.17	.71	1.45	.38	11	3.74	1.26	.36	.025	29.9
	Printemps	2.50	3.33	.70	1.30	.47	12	3.44	1.15	.31	.035	30.6
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	2.58	3.22	.68	1.37	.48	10	3.85	1.32	.27	.014	29.9
07020B	Année	3.16	2.92	.52	1.17	.43	10	2.52	1.01	.18	.012	25.7
	Hiver	3.37	3.03	.57	1.28	.36	11	2.39	1.07	.37	.010	27.4
	Printemps	2.61	2.45	.44	.98	.36	8	2.46	.78	.13	.012	23.0
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	3.23	3.01	.54	1.18	.48	11	2.58	1.04	.12	.013	26.0
07190A	Année	1.50	1.50	.32	.83	.25	3**	3.00	1.09	.15	.012	15.3
	Hiver	.76	1.56	.30	.99	.14	4**	2.89	.97	.18	.010	15.1
	Printemps	1.96	1.30	.29	.88	.28	2**	3.21	1.03	.12	.011	14.7
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	1.57	1.55	.33	.76	.27	3**	2.94	1.14	.16	.012	15.5
07230C	Année	3.29	2.38	.82	1.23	.59	11	3.15	1.20	.15	.017	28.0
	Hiver	4.09	3.97	1.15	2.13	.87	17	3.84	1.96	.30	.018	41.9
	Printemps	1.88	1.94	.56	.64	.52	6	2.74	.75	.07	.014	20.9
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	3.58	2.72	.76	1.04	.47	10	2.97	1.02	.11	.015	24.9
07250B	Année	2.17	1.17	.40	.98	.24	2**	3.38	1.44	.12	.014	16.6
	Hiver	2.21	1.19	.45	1.12	.16	2**	3.29	1.51	.19	.011	16.9
	Printemps	1.53	1.01	.35	.81	.22	1	3.37	1.21	.09	.019	16.1
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	2.53	1.24	.40	.99	.30	2**	3.41	1.53	.11	.012	16.7
07380C	Année	2.96	1.92	.39	1.35	.33	4**	2.65	2.49	.16	.017	18.7
	Hiver	5.20	2.15	.40	1.30	.20	6**	2.35	2.20	.20	.010	21.0
	Printemps	1.70	1.07	.23	.45	.27	2	1.90	.67	.05	.010	13.0
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	3.26	2.23	.46	1.74	.39	4**	3.01	3.64	.21	.022	21.2
STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.

* Station ayant fait l'objet d'un regroupement

** Valeur calculée d'une précision douteuse

NOTE: les concentrations sont exprimées en mg/l, sauf pour la conductivité en µmhos/cm.

TABLEAU 3.9 Distribution, en pourcentage, de l'effectif de la valeur absolue des erreurs relatives ϵ_{HCO_3} et $\epsilon_{\text{cond.}}$, suivant les valeurs annuelles et saisonnières ou suivant les régions.

GROUPE	SOUS-GROUPE	EFFECTIF	ERREUR RELATIVE SUR HCO_3 (ϵ_{HCO_3})				ERREUR RELATIVE SUR LA CONDUCTIVITE ($\epsilon_{\text{cond.}}$)			
			$\epsilon < 30\%$	$30\% < \epsilon < 50\%$	$50\% < \epsilon < 100\%$	$\epsilon > 100\%$	$\epsilon < 10\%$	$10\% < \epsilon < 20\%$	$20\% < \epsilon < 30\%$	$\epsilon > 30\%$
PERIODE	Année	62	3	44	40	13	24	60	16	0
	Hiver	62	15	38	42	5	39	59	2	0
	Printemps	62	19	42	33	6	35	52	11	2
	Eté	50	2	36	46	16	10	76	14	0
	Automne	62	5	27	50	18	13	72	13	2
REGION	01	30	17	76	7	0	17	83	0	0
	02	85	0	49	50	1	1	80	19	0
	03	55	2	11	65	22	11	69	18	2
	04	25	32	44	24	0	80	20	0	0
	05	55	11	20	51	18	36	53	11	0
	06	28	14	54	28	4	54	46	0	0
	07	30	15	20	15	50	35	55	5	5

TABLEAU 3.10 Précisions relatives (%) atteintes sur la moyenne des paramètres du groupe 1 avec un niveau de confiance de 95% (période 1973-75)

STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.
01080A	Année	2.5	2.4	2.1	3.5	7.4	4.7	5.8	8.6	12.3	2.0
	Hiver	5.5	5.6	3.5	7.6	12.3	7.0	8.6	8.7	20.5	5.0
	Printemps	4.3	4.6	3.5	5.9	11.0	10.7	8.9	18.2	19.4	3.5
	Eté	20.0	4.7	6.2	10.9	24.5	22.1	26.0	25.9	52.9	2.5
	Automne	2.8	3.8	2.8	4.6	12.8	6.9	9.0	11.2	19.2	3.0
01090A	Année	5.3	5.3	5.1	6.4	11.2	5.8	11.1	6.6	12.0	4.4
	Hiver	23.7	23.5	23.7	16.2	31.0	14.1	23.2	9.2	21.1	18.6
	Printemps	4.1	5.9	4.6	6.7	10.1	12.4	9.4	14.6	20.1	5.2
	Eté	13.7	8.7	8.4	13.6	19.8	26.3	21.2	17.2	63.7	11.8
	Automne	5.4	6.2	5.6	9.1	17.6	7.5	17.2	9.2	18.8	5.2
01100B	Année	2.7	3.9	4.3	5.2	8.7	6.6	6.9	10.2	13.5	3.5
	Hiver	6.6	10.6	12.0	14.1	25.1	15.5	15.3	12.3	19.5	10.5
	Printemps	4.7	6.9	6.2	9.8	10.7	14.9	11.0	23.4	26.8	6.2
	Eté	14.5	7.4	7.2	7.1	28.4	22.3	22.2	27.1	58.8	3.6
	Automne	3.2	4.2	5.0	7.1	13.7	7.1	9.3	13.9	21.9	3.8
01120A	Année	2.2	4.1	3.3	5.5	8.0	5.5	8.0	8.8	15.9	3.4
	Hiver	4.0	10.4	7.6	12.2	21.9	11.3	16.7	9.5	26.6	9.4
	Printemps	4.2	6.7	6.0	10.5	11.1	10.4	13.3	20.2	28.9	5.4
	Eté	10.1	13.6	15.8	16.6	17.1	29.5	25.6	23.8	42.0	10.6
	Automne	3.3	6.6	5.0	8.5	14.1	7.7	12.8	12.8	26.0	5.5
01150A	Année	2.5	2.8	3.3	4.8	6.9	5.7	7.4	13.2	12.1	2.6
	Hiver	6.3	6.9	7.9	14.0	18.7	9.5	20.9	10.2	19.9	6.5
	Printemps	3.8	5.8	5.3	6.8	7.5	10.0	9.2	26.3	26.1	4.9
	Eté	11.4	8.4	9.3	11.8	26.5	15.5	21.5	38.2	51.4	5.7
	Automne	3.8	3.7	4.3	5.8	11.6	9.0	9.0	21.7	17.9	3.8
01170B	Année	3.1	1.4	2.0	3.7	7.0	4.9	7.9	11.9	14.3	1.4
	Hiver	3.2	2.6	4.2	3.6	17.1	9.7	39.3	10.3	36.6	4.6
	Printemps	5.8	3.3	3.7	7.3	8.4	10.9	7.4	27.6	35.5	3.2
	Eté	15.0	5.1	9.0	10.0	26.4	30.3	13.1	61.9	53.6	4.3
	Automne	4.1	1.8	3.3	6.7	10.6	4.6	7.7	16.8	11.8	1.5
02040A	Année	2.8	4.0	4.4	10.1	7.3	7.0	8.2	8.7	21.1	3.9
	Hiver	6.7	10.1	10.2	25.6	14.1	12.5	26.6	15.4	41.4	10.3
	Printemps	4.3	7.2	7.7	10.7	11.0	13.1	12.9	13.0	39.7	6.6
	Eté	10.0	11.3	9.4	14.5	20.5	17.0	7.6	20.1	116.3	8.5
	Automne	3.3	4.9	5.9	17.4	12.0	7.4	7.7	16.8	26.6	4.6
STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.

* Station ayant fait l'objet d'un regroupement

TABLEAU 3.10 (SUITE) Précisions relatives (%) atteintes sur la moyenne des paramètres du groupe 1 avec un niveau de confiance de 95% (période 1973-75)

STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.
02060A	Année	3.1	4.5	4.3	5.6	6.6	5.8	6.6	9.9	11.9	3.5
	Hiver	9.2	8.3	7.8	10.9	16.7	8.6	12.1	8.4	24.6	6.7
	Printemps	4.5	7.6	7.3	10.3	9.1	10.5	12.4	19.5	15.3	5.7
	Eté	9.8	8.7	6.1	18.2	22.0	29.6	13.4	26.0	58.3	5.8
	Automne	3.4	7.9	6.5	6.6	12.4	7.9	6.0	11.9	24.8	5.7
02080A *	Année	2.4	4.1	5.5	13.6	8.6	6.2	15.7	10.3	19.4	4.6
	Hiver	3.7	9.9	12.2	31.3	17.6	12.6	39.2	14.5	29.4	12.3
	Printemps	3.8	6.9	9.3	18.4	10.1	10.6	17.1	18.6	22.6	7.3
	Eté	8.1	13.1	14.2	37.9	50.1	23.2	59.9	22.2	108.5	11.7
	Automne	3.4	5.9	8.5	24.6	17.0	10.7	21.3	16.6	31.4	7.0
02140B	Année	3.0	5.3	4.0	7.7	7.2	6.2	6.3	9.2	14.3	4.2
	Hiver	3.6	6.8	4.5	5.4	10.7	8.0	9.7	5.1	28.0	5.3
	Printemps	5.3	11.4	9.0	18.8	12.3	12.3	12.2	19.9	25.7	9.0
	Eté	8.6	10.5	6.0	7.7	23.3	21.1	20.4	12.7	50.4	5.0
	Automne	5.3	6.1	3.7	5.9	13.1	9.5	8.6	8.3	23.4	4.4
02160B *	Année	2.9	4.0	4.2	6.4	6.7	5.9	7.8	11.9	12.3	3.5
	Hiver	3.6	6.4	5.6	8.9	16.6	10.2	11.9	9.2	20.8	5.3
	Printemps	5.1	7.5	8.0	13.8	9.0	10.7	15.6	20.4	20.1	6.6
	Eté	8.8	8.2	11.3	9.2	23.5	21.4	11.1	17.9	61.5	8.1
	Automne	3.5	6.2	6.1	7.3	14.0	9.3	9.4	21.1	19.8	4.6
02170A	Année	4.2	4.1	5.0	6.0	7.8	6.9	5.7	14.1	14.9	3.9
	Hiver	4.8	5.8	6.5	8.4	11.1	9.4	10.1	7.7	17.0	6.0
	Printemps	6.1	7.1	7.8	9.9	8.0	10.8	7.6	24.3	26.2	6.5
	Eté	11.6	10.7	11.9	13.6	37.0	25.4	9.7	52.1	60.1	8.6
	Automne	6.4	6.9	9.4	8.7	13.9	11.4	10.8	36.8	22.2	5.6
02190A	Année	3.2	2.9	3.3	4.9	6.2	6.1	6.6	15.8	11.0	2.9
	Hiver	4.1	7.1	4.7	7.5	12.8	10.4	11.3	11.1	21.8	6.2
	Printemps	4.5	4.5	5.6	9.0	9.1	9.8	9.3	23.1	16.0	4.6
	Eté	11.1	12.8	14.0	14.3	26.1	24.8	18.4	48.9	45.7	9.9
	Automne	4.1	4.8	5.1	8.1	11.1	11.0	15.4	42.3	23.9	5.2
02200A	Année	4.7	3.2	3.8	4.8	5.1	5.9	6.5	19.2	14.6	3.0
	Hiver	3.4	4.2	2.5	5.0	9.5	10.0	12.2	10.8	28.7	2.8
	Printemps	6.9	5.9	7.3	8.7	8.6	10.0	11.9	32.1	21.9	5.7
	Eté	21.7	11.2	8.0	14.7	5.8	21.1	24.6	36.9	59.0	8.0
	Automne	6.2	3.3	5.4	5.6	9.9	7.1	9.0	43.7	33.3	3.3
STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.

* Station ayant fait l'objet d'un regroupement

TABEAU 3.10 (SUITE) Précisions relatives (%) atteintes sur la moyenne des paramètres du groupe 1 avec un niveau de confiance de 95% (période 1973-75)

STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.
02230A	Année	6.5	4.9	4.5	6.8	7.7	6.1	5.3	13.4	23.2	4.7
	Hiver	4.9	9.0	10.6	13.7	28.3	11.0	14.5	10.8	19.9	9.0
	Printemps	8.8	9.5	9.3	12.8	11.4	10.6	10.3	22.7	32.5	8.7
	Eté	10.5	9.7	7.9	14.9	14.2	21.3	12.1	21.9	56.4	7.3
	Automne	12.8	6.6	5.2	8.6	10.7	7.3	5.5	29.5	32.4	6.2
02250D	Année	7.0	5.2	6.3	7.2	14.2	8.9	10.4	34.3	40.3	5.4
	Hiver	11.3	9.9	17.5	15.2	35.1	13.8	20.6	19.1	92.1	7.6
	Printemps	12.0	12.5	13.7	13.0	33.9	15.4	24.8	85.6	32.9	13.8
	Eté	37.2	17.8	20.5	19.4	50.9	13.6	39.8	113.3	141.6	15.2
	Automne	7.0	7.3	9.1	12.1	17.0	11.2	14.2	49.1	27.2	6.8
02270B	Année	8.6	5.2	6.3	10.1	7.2	7.7	9.5	29.3	19.8	6.3
	Hiver	18.6	6.7	8.6	11.5	13.9	19.3	15.3	14.6	60.7	7.6
	Printemps	18.3	11.7	13.8	15.9	14.7	12.0	17.3	59.9	27.6	12.7
	Eté	17.4	18.5	14.6	47.8	17.2	19.7	45.2	73.9	101.0	25.6
	Automne	10.6	5.2	8.7	11.2	12.3	9.2	12.6	44.4	25.7	8.3
02310D	Année	11.4	5.1	6.4	11.2	7.5	9.0	7.4	20.4	19.9	5.5
	Hiver	4.0	4.4	10.7	42.5	12.9	5.6	17.2	8.0	14.5	5.2
	Printemps	20.8	12.8	13.6	20.2	16.3	18.6	16.5	37.0	36.6	13.6
	Eté	40.1	12.1	22.7	19.6	13.8	31.5	22.2	76.9	44.1	12.9
	Automne	15.7	5.6	8.2	12.2	10.1	9.1	8.1	30.1	37.5	5.2
02340A	Année	9.3	5.4	4.4	8.1	7.1	6.2	8.3	15.2	23.5	4.9
	Hiver	7.5	11.2	10.1	27.5	13.7	8.7	34.3	16.5	36.7	11.3
	Printemps	13.8	9.6	8.5	16.8	10.6	12.6	14.3	27.4	40.1	9.8
	Eté	36.1	11.0	7.2	17.7	14.5	15.3	17.6	49.1	58.7	10.5
	Automne	15.2	7.4	6.3	8.7	12.2	6.4	9.7	22.1	32.2	5.7
02360A	Année	9.9	6.4	8.2	10.7	9.5	11.3	12.6	16.6	23.5	7.3
	Hiver	12.4	13.1	17.6	17.6	20.0	18.6	20.1	19.7	17.4	15.9
	Printemps	14.9	13.5	17.3	21.9	15.6	15.6	18.3	25.1	41.0	14.6
	Eté	38.1	10.6	17.5	25.7	20.6	21.8	60.7	98.3	58.2	14.8
	Automne	13.5	7.8	10.6	15.1	16.0	15.5	13.7	31.4	20.6	8.7
02370A	Année	8.7	6.8	8.5	10.1	11.3	11.0	10.0	13.6	29.8	7.1
	Hiver	12.4	14.2	16.8	16.6	18.6	18.6	17.8	18.5	21.2	14.3
	Printemps	13.5	13.1	17.2	19.9	17.1	19.6	17.7	21.2	46.7	13.9
	Eté	26.0	14.4	21.6	26.9	24.1	33.9	28.9	66.9	83.6	16.0
	Automne	12.1	9.5	12.9	15.7	21.7	13.7	18.0	26.3	26.5	9.7
STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.

* Station ayant fait l'objet d'un regroupement

TABLEAU 3.10 (SUITE) Précisions relatives (%) atteintes sur la moyenne des paramètres du groupe 1 avec un niveau de confiance de 95% (période 1973-75)

STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.
02390A	Année	8.5	6.8	6.4	10.4	9.1	9.3	9.0	15.9	19.2	7.3
	Hiver	18.0	15.9	15.0	21.7	19.8	16.0	28.0	23.7	28.9	19.0
	Printemps	16.0	14.4	12.4	19.4	11.5	14.3	13.6	24.9	29.3	13.3
	Eté	12.2	13.2	12.7	22.2	26.6	23.1	19.5	61.1	85.1	12.7
	Automne	8.1	8.6	7.8	16.2	16.1	13.7	13.3	30.7	27.9	8.6
02400E	Année	13.9	6.5	6.7	9.7	7.9	9.4	8.1	20.3	19.9	5.5
	Hiver	8.0	7.4	10.2	15.4	10.5	12.0	18.7	8.0	37.9	7.0
	Printemps	14.8	13.5	10.2	19.7	12.8	17.7	14.1	26.5	35.4	11.3
	Eté	75.7	15.1	20.1	21.4	27.7	17.0	20.5	123.4	58.5	11.7
	Automne	32.8	8.6	11.8	18.0	15.5	9.6	15.3	42.0	36.2	7.3
03010E	Année	15.3	5.4	6.7	12.8	8.2	10.6	9.2	23.6	18.3	5.7
	Hiver	7.0	14.7	21.3	24.6	10.3	19.7	23.2	18.6	45.1	6.1
	Printemps	28.1	18.1	13.1	34.2	10.5	29.3	28.0	36.1	84.2	14.9
	Eté	19.7	8.8	11.0	24.3	14.2	22.0	18.1	46.9	33.0	10.0
	Automne	28.4	7.9	11.2	20.3	11.8	13.4	14.4	39.4	22.1	7.8
03021L *	Année	7.9	3.4	4.0	8.7	6.5	6.7	6.4	15.5	19.7	3.8
	Hiver	7.9	8.1	8.9	19.2	10.3	10.5	20.3	13.7	27.4	8.0
	Printemps	10.1	7.3	9.6	17.2	9.7	11.6	14.5	21.6	33.7	7.8
	Eté	17.0	6.9	8.4	17.1	11.9	16.2	12.1	31.4	69.6	6.7
	Automne	11.8	4.1	5.0	13.3	9.4	8.2	8.7	26.0	22.9	5.1
03030B	Année	8.5	4.6	3.8	8.5	6.9	7.1	8.4	11.5	13.4	5.0
	Hiver	13.2	10.7	9.9	15.7	13.7	10.6	18.1	17.4	33.3	9.5
	Printemps	16.5	9.4	8.3	19.3	18.1	12.2	21.1	19.0	35.0	10.4
	Eté	15.5	6.7	6.0	18.0	11.1	15.8	17.7	25.1	27.9	9.6
	Automne	13.4	7.5	5.2	13.6	10.1	10.7	12.4	21.3	19.5	8.1
03030C	Année	11.9	6.3	5.9	10.5	10.9	8.8	10.5	15.1	32.9	6.0
	Hiver	31.9	34.1	30.7	28.6	22.0	22.9	71.3	48.4	79.6	17.7
	Printemps	18.2	14.8	13.8	20.8	10.1	8.1	13.1	20.7	75.4	12.5
	Eté	20.9	12.0	12.8	22.7	21.5	27.1	24.1	59.8	50.0	13.0
	Automne	15.6	7.8	7.8	19.2	17.2	13.4	12.9	19.6	28.0	9.9
03030D	Année	13.8	6.4	11.1	16.1	13.8	7.1	16.8	17.6	20.0	8.5
	Hiver	18.2	18.4	14.5	10.7	13.3	12.4	36.6	17.4	44.7	9.6
	Printemps	25.6	15.4	21.2	25.0	14.1	11.1	22.0	32.5	35.1	16.4
	Eté	46.3	11.8	39.2	49.7	31.3	23.9	42.1	71.1	80.4	21.4
	Automne	18.9	9.3	18.0	23.9	22.2	12.4	24.4	22.1	18.3	14.4
STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.

* Station ayant fait l'objet d'un regroupement

TABLEAU 3.10 (SUITE) Précisions relatives (%) atteintes sur la moyenne des paramètres du groupe 1 avec un niveau de confiance de 95% (période 1973-75)

STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.
03030E	Année	14.2	7.7	7.0	14.1	12.3	10.5	12.1	14.7	26.0	8.0
	Hiver	25.1	24.7	19.2	20.8	16.8	16.3	17.5	31.0	62.0	17.2
	Printemps	20.0	12.8	12.6	13.7	14.4	16.2	10.5	20.2	60.7	11.9
	Eté	23.7	14.0	9.3	37.3	25.9	35.2	33.5	31.1	85.5	15.6
	Automne	20.2	13.6	14.0	22.7	20.1	15.1	19.7	22.2	29.7	14.0
03030F	Année	12.8	11.7	9.9	13.8	11.0	10.7	11.5	20.2	33.2	10.1
	Hiver	14.0	54.5	23.2	51.8	12.9	18.1	36.8	27.7	157.5	28.2
	Printemps	32.4	18.5	19.0	20.9	16.3	16.9	23.4	41.4	62.6	14.7
	Eté	26.9	15.5	13.9	26.4	29.2	30.5	20.7	31.8	92.4	19.3
	Automne	11.7	21.5	17.6	26.6	15.0	18.2	22.9	41.3	45.0	17.8
03030Y	Année	17.3	6.0	7.0	12.8	16.7	15.3	16.3	21.3	19.6	7.1
	Hiver	12.0	16.2	12.4	22.7	18.3	19.5	26.8	13.6	25.0	12.5
	Printemps	52.4	13.1	12.2	7.8	13.8	16.3	9.2	72.8	64.4	15.4
	Eté	32.8	8.6	9.5	26.9	16.2	22.6	33.6	45.2	38.8	12.3
	Automne	27.7	9.7	13.3	17.0	22.4	24.2	22.7	32.2	22.0	10.1
03040G	Année	7.2	6.3	6.6	11.8	12.0	19.3	13.1	18.2	35.4	8.3
	Hiver	22.8	21.4	26.8	32.9	22.8	40.0	28.5	26.4	73.2	21.0
	Printemps	17.9	11.5	17.5	21.7	16.4	33.6	24.3	31.7	42.1	16.4
	Eté	11.2	12.6	7.1	16.5	21.4	24.7	23.4	50.2	56.4	11.6
	Automne	10.0	8.6	8.7	18.3	18.4	25.1	16.8	33.0	45.6	11.7
03040H	Année	13.4	5.8	6.4	9.0	7.9	10.8	10.2	16.1	17.2	5.7
	Hiver	10.0	12.4	13.2	18.6	15.3	14.9	20.7	32.4	41.5	12.3
	Printemps	30.9	6.5	8.3	8.4	12.6	16.0	10.8	21.8	34.7	5.1
	Eté	24.9	11.2	12.7	15.7	12.0	21.3	19.4	21.3	29.3	10.6
	Automne	28.8	11.0	12.2	15.0	15.5	18.3	14.9	38.7	32.0	10.7
03090A	Année	8.1	3.1	4.0	7.8	6.0	7.7	7.9	15.6	11.1	3.4
	Hiver	13.1	8.5	7.9	15.3	14.8	9.2	27.6	21.1	28.3	7.5
	Printemps	14.0	8.1	11.4	19.7	18.8	13.5	20.8	27.0	23.4	8.3
	Eté	16.4	5.1	5.2	19.1	9.0	16.3	16.4	39.3	21.1	4.2
	Automne	13.6	4.4	6.1	8.5	6.6	10.3	8.7	29.8	17.8	4.3
04010C	Année	9.1	9.3	9.4	15.8	17.1	11.1	15.1	14.6	39.9	7.2
	Hiver	10.2	11.1	14.0	37.0	12.6	13.2	24.2	15.5	25.9	11.1
	Printemps	29.3	23.1	14.6	28.6	36.2	24.1	42.5	42.2	143.4	13.0
	Eté	26.8	35.9	35.2	56.4	37.2	40.1	33.0	34.4	14.1	13.8
	Automne	3.8	17.4	18.6	23.6	39.1	24.0	26.3	26.7	22.9	13.5
STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.

* Station ayant fait l'objet d'un regroupement

TABLEAU 3.10 (SUITE) Précisions relatives (%) atteintes sur la moyenne des paramètres du groupe 1 avec un niveau de confiance de 95% (période 1973-75)

STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.
04020A	Année	8.4	15.0	24.0	13.1	13.1	12.9	12.7	20.6	31.7	11.7
	Hiver	23.7	31.7	42.2	15.4	10.0	28.3	18.0	21.4	105.2	24.3
	Printemps	14.0	28.2	43.5	16.2	15.4	25.4	27.9	49.3	68.4	18.9
	Eté	9.4	29.4	51.8	14.7	11.8	23.8	18.1	25.6	44.0	27.6
	Automne	14.6	23.3	44.9	45.0	44.3	13.1	27.2	33.1	64.5	24.1
04060C	Année	5.4	4.6	6.1	14.6	5.9	6.1	7.6	14.4	27.3	3.6
	Hiver	15.3	9.9	26.0	77.4	20.4	11.3	18.6	20.7	79.3	8.1
	Printemps	11.7	7.9	8.1	10.8	8.0	12.2	12.0	27.9	47.4	5.8
	Eté	5.9	7.1	7.3	9.7	12.0	12.9	18.4	18.8	56.0	4.8
	Automne	8.8	12.3	14.6	11.2	12.2	13.5	17.8	21.3	-	10.2
04080C *	Année	4.5	5.2	4.1	4.7	4.9	5.0	8.7	13.7	15.2	3.5
	Hiver	18.9	10.0	11.7	9.5	15.9	13.0	28.4	67.8	63.8	7.4
	Printemps	5.9	7.1	5.7	7.9	5.2	7.5	13.5	12.6	19.5	5.2
	Eté	7.0	7.7	5.1	11.0	8.1	13.1	17.3	21.1	39.0	5.8
	Automne	7.9	7.9	6.6	9.1	14.7	9.6	15.8	15.0	9.5	4.9
04310A	Année	2.9	4.7	4.2	5.0	3.8	4.4	6.1	9.5	20.5	3.7
	Hiver	6.4	5.7	7.0	13.8	5.3	7.8	13.4	11.5	33.4	6.1
	Printemps	4.2	8.0	6.6	7.9	6.7	7.4	9.7	17.0	38.8	5.9
	Eté	5.1	3.7	4.5	5.3	6.7	8.4	8.4	19.2	37.8	3.0
	Automne	4.7	9.5	7.6	8.1	8.2	8.8	11.6	17.3	25.9	6.7
05010G *	Année	7.6	3.3	3.3	5.5	5.5	5.1	5.7	10.4	18.7	2.6
	Hiver	17.6	2.5	4.0	7.7	10.2	10.3	8.2	7.8	41.0	4.6
	Printemps	14.7	8.2	8.1	13.4	6.5	9.8	12.0	15.3	27.7	6.2
	Eté	18.4	5.6	7.6	12.9	15.0	18.2	15.8	34.9	11.7	4.7
	Automne	13.2	5.8	4.6	8.6	11.2	6.4	10.0	17.0	25.4	3.0
05020A	Année	8.4	5.1	6.1	10.8	10.3	7.7	11.5	9.4	17.3	7.1
	Hiver	17.3	10.5	10.8	17.4	11.3	14.6	15.5	15.0	30.9	9.2
	Printemps	16.1	10.9	14.8	22.8	13.6	12.9	26.1	23.0	31.9	14.4
	Eté	19.8	8.9	13.6	25.6	18.7	20.3	24.2	25.9	34.8	14.5
	Automne	14.4	6.6	8.8	17.2	18.8	9.1	19.6	14.3	31.6	10.3
05030A	Année	7.3	5.1	5.3	8.6	6.5	6.1	10.8	17.9	24.5	5.2
	Hiver	13.1	3.4	5.3	9.8	8.9	8.7	11.6	6.9	37.3	6.3
	Printemps	15.6	14.7	13.8	24.3	15.0	16.4	29.0	37.2	44.8	14.0
	Eté	11.8	7.5	9.0	15.1	11.1	16.4	21.7	16.6	37.7	7.8
	Automne	11.6	6.9	7.5	9.0	10.9	5.9	11.6	13.4	43.2	5.2
STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.

* Station ayant fait l'objet d'un regroupement

TARLEAU 3.10 (SUITE) Précisions relatives (%) atteintes sur la moyenne des paramètres du groupe I avec un niveau de confiance de 95% (période 1973-75)

STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.
05040H	Année	10.5	8.1	7.4	13.7	9.0	6.0	11.6	13.0	32.3	8.6
	Hiver	15.6	25.7	12.9	36.1	18.0	12.2	24.7	19.2	35.4	26.7
	Printemps	20.5	11.8	18.2	19.0	19.1	11.6	19.5	21.3	79.7	10.5
	Eté	13.5	15.3	14.6	24.7	19.2	15.8	36.0	43.0	33.4	13.6
	Automne	16.2	9.8	11.1	17.0	16.7	6.7	17.7	17.1	32.9	12.3
05070A	Année	3.7	3.4	3.3	5.8	4.3	4.8	6.7	7.0	11.2	3.3
	Hiver	4.8	2.8	3.9	5.4	5.1	9.5	10.4	6.1	21.9	3.4
	Printemps	7.3	7.5	7.1	12.9	7.7	6.7	10.3	11.7	19.1	7.2
	Eté	9.1	6.9	7.6	16.8	7.6	18.7	21.0	14.4	47.6	7.5
	Automne	4.5	6.2	6.2	8.6	8.9	7.1	11.5	14.0	16.6	5.3
05080F	Année	7.2	5.7	5.8	6.5	6.4	7.6	7.7	12.4	12.1	6.3
	Hiver	8.2	7.7	6.2	10.0	14.5	7.9	19.2	6.6	25.6	6.7
	Printemps	17.1	13.0	14.6	15.5	10.6	11.8	14.8	22.0	22.4	12.4
	Eté	12.7	12.2	10.0	13.4	12.8	17.3	19.3	18.8	20.9	9.5
	Automne	12.5	9.2	8.2	10.9	10.4	15.2	11.4	22.0	24.1	14.3
05220C	Année	6.1	8.0	8.0	11.6	11.7	9.8	9.8	12.2	17.4	7.3
	Hiver	5.4	15.6	17.4	25.5	21.9	18.8	24.4	23.9	20.5	14.8
	Printemps	16.0	17.9	17.5	23.2	19.1	17.2	22.6	23.2	59.3	14.2
	Eté	9.7	11.6	16.3	21.0	20.0	22.3	12.1	40.6	49.7	9.3
	Automne	8.7	11.9	11.5	16.5	15.9	15.6	13.7	19.4	17.0	10.4
05240A	Année	6.9	4.7	5.2	7.3	11.2	9.8	9.7	12.0	13.2	5.7
	Hiver	7.0	8.2	9.2	15.9	13.1	10.2	14.2	13.9	15.9	9.1
	Printemps	11.5	9.1	10.5	14.4	13.8	11.8	17.6	27.1	35.3	12.8
	Eté	11.7	9.3	7.8	9.2	14.5	44.6	23.4	50.7	22.5	7.9
	Automne	13.6	7.6	10.6	13.0	18.8	10.8	16.6	18.6	21.5	9.3
05260C	Année	5.5	5.3	6.4	12.1	10.2	6.0	11.3	15.8	22.0	7.1
	Hiver	8.7	6.4	10.2	14.8	17.8	7.6	10.7	18.8	33.1	6.1
	Printemps	14.4	12.4	16.0	22.5	19.0	12.9	23.0	35.2	67.2	11.9
	Eté	12.3	10.0	18.7	28.1	20.7	14.0	30.6	49.5	55.4	18.5
	Automne	7.0	10.2	9.7	18.8	16.5	9.2	15.4	26.2	31.9	11.0
05280C *	Année	6.3	4.9	9.8	8.4	9.2	6.4	10.6	15.2	37.9	5.0
	Hiver	19.4	8.9	18.5	17.3	19.2	9.8	23.5	22.9	94.0	10.5
	Printemps	11.6	11.7	23.1	19.5	23.1	10.1	22.3	32.1	51.1	10.9
	Eté	7.4	7.5	12.3	13.5	17.4	19.3	14.7	23.6	46.1	5.9
	Automne	9.1	8.0	15.2	13.6	10.0	13.1	18.8	22.8	57.7	8.1
STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.

* Station ayant fait l'objet d'un regroupement

TABLEAU 3.10 (SUITE) Précisions relatives (%) atteintes sur la moyenne des paramètres du groupe 1 avec un niveau de confiance de 95% (période 1973-75)

STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.
05300A	Année	4.7	4.4	4.9	9.7	7.7	6.0	9.8	6.8	16.1	6.2
	Hiver	5.7	12.0	11.1	15.2	20.7	12.1	13.1	13.7	18.2	12.2
	Printemps	11.0	9.3	11.0	19.6	16.1	11.3	19.8	17.3	45.7	11.9
	Eté	7.8	6.2	8.2	17.1	9.5	16.2	22.2	10.4	40.3	10.5
	Automne	5.1	6.0	7.0	15.7	12.5	7.9	14.6	8.9	25.8	8.8
06100A	Année	5.7	3.4	3.7	3.5	6.0	5.1	4.6	10.6	11.4	2.7
	Hiver	5.3	4.4	4.7	4.7	7.3	7.7	6.2	5.3	20.4	3.3
	Printemps	8.5	5.7	6.9	6.9	6.4	11.8	10.3	23.3	14.7	5.6
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	4.4	3.6	3.9	6.2	14.6	7.6	7.5	17.6	20.9	2.0
06160A	Année	4.3	4.5	4.7	4.2	7.5	5.6	4.1	9.5	15.8	3.7
	Hiver	8.6	10.4	11.3	7.7	13.9	8.0	7.1	8.2	29.0	8.8
	Printemps	5.3	6.1	6.7	7.8	10.3	11.9	7.5	14.9	19.8	5.0
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	6.5	6.0	5.8	6.9	14.9	9.1	6.7	19.0	8.7	4.5
06190A	Année	7.2	4.6	4.5	7.8	7.1	5.7	10.0	18.7	17.4	4.2
	Hiver	5.7	4.2	4.9	10.6	10.6	8.5	20.9	21.0	29.6	4.3
	Printemps	11.2	7.7	7.3	11.7	8.7	12.1	14.2	31.7	26.2	5.8
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	8.2	7.2	5.3	11.5	14.5	9.0	13.5	32.6	23.5	4.5
06210A	Année	6.0	4.2	4.9	5.1	5.3	6.0	6.5	12.9	13.8	3.8
	Hiver	4.3	3.7	4.9	5.0	6.3	6.2	7.5	7.9	19.9	3.1
	Printemps	10.8	7.5	8.1	11.4	7.7	17.1	14.9	33.6	31.2	7.4
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	7.9	5.2	3.9	5.9	12.3	8.0	10.2	19.6	9.1	2.6
06210B	Année	11.2	4.7	5.8	7.4	7.6	5.7	10.6	14.1	12.8	4.2
	Hiver	13.4	6.5	9.6	10.6	10.6	9.0	19.1	12.5	22.5	6.0
	Printemps	20.9	7.7	8.4	10.0	10.2	12.6	11.1	26.5	25.2	6.4
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	17.0	7.5	7.1	10.0	17.0	8.6	17.9	20.3	11.7	4.8
06220A	Année	10.0	6.8	6.3	35.3	9.0	6.9	34.7	13.1	15.7	13.1
	Hiver	16.9	5.0	5.1	7.0	10.9	5.8	19.1	12.1	28.9	8.7
	Printemps	20.3	8.3	9.4	38.6	11.4	16.5	48.9	19.2	19.8	15.7
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	16.1	16.0	15.1	61.1	19.1	10.3	57.1	34.6	21.2	29.4
STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.

* Station ayant fait l'objet d'un regroupement

TABLEAU 3.10 (SUITE) Précisions relatives (%) atteintes sur la moyenne des paramètres du groupe 1 avec un niveau de confiance de 95% (période 1973-75)

STATIONS	SAISON	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.
06290B	Année	4.3	3.6	3.1	5.2	5.3	5.4	6.7	6.4	29.6	2.8
	Hiver	7.5	4.3	5.0	9.2	7.5	5.9	11.7	5.9	30.2	5.0
	Printemps	10.1	8.3	6.2	9.3	8.0	12.3	10.7	15.7	62.7	6.0
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	5.1	6.1	5.1	8.6	9.8	10.0	12.3	10.1	20.5	3.8
07020B	Année	10.8	5.6	5.4	7.9	8.2	6.8	13.5	22.1	12.2	3.9
	Hiver	24.5	7.9	6.6	7.2	17.3	20.0	21.5	18.4	-	3.9
	Printemps	29.3	13.9	15.4	31.2	24.2	12.5	44.4	58.2	22.7	10.6
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	14.1	7.1	7.4	9.7	7.6	9.3	17.7	29.4	17.6	5.0
07190A	Année	23.8	6.0	6.1	16.8	19.3	6.4	11.9	16.7	16.2	3.2
	Hiver	21.4	16.5	17.2	62.9	33.4	13.7	23.0	49.8	-	9.7
	Printemps	51.7	18.3	20.4	63.4	75.3	22.4	33.2	36.4	25.6	7.3
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	30.9	7.1	6.8	10.7	16.5	7.3	16.1	21.5	24.8	4.3
07230C	Année	15.7	14.3	14.5	26.5	18.6	12.4	20.6	29.3	23.2	14.6
	Hiver	38.5	32.2	34.0	49.6	42.4	35.7	39.9	46.7	51.1	34.7
	Printemps	30.8	11.5	10.3	25.6	21.1	14.9	39.6	21.9	28.1	14.3
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	15.3	11.6	7.1	18.9	10.5	9.8	19.5	27.0	32.4	7.9
07250B	Année	16.3	6.9	6.7	8.3	16.4	5.4	8.5	15.5	18.5	3.3
	Hiver	40.5	15.5	15.8	16.4	23.6	9.9	12.3	21.7	15.4	8.5
	Printemps	38.3	7.6	14.0	18.3	25.0	11.2	21.9	27.6	43.4	4.4
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	19.2	10.6	7.7	11.1	23.4	9.0	12.7	21.3	22.8	5.2
07380C	Année	37.4	35.2	67.3	87.5	51.3	39.5	90.2	88.4	78.0	32.4
	Hiver	-	10.0	-	66.2	-	64.1	-	-	-	38.9
	Printemps	109.7	19.9	45.5	73.6	39.8	53.8	42.1	-	-	17.5
	Eté	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	39.0	51.3	107.6	123.7	78.4	58.8	116.2	131.7	116.8	58.6

* Station ayant fait l'objet d'un regroupement

TABLEAU 3.11 Distribution de l'effectif des 62 stations par classe de précision sur la moyenne annuelle pour chaque paramètre (période 1973-75)

INTERVALLE (%)	PARAMETRES									
	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	Cond.
0 ≤ <5	19	29	27	8	3	4	2	0	0	32
5 ≤ <10	26	29	31	29	40	46	35	12	0	25
10 ≤ <15	11	3	2	19	13	9	18	22	20	4
15 ≤ <20	4	0	0	3	5	2	4	17	20	0
20 ≤ <25	1	0	1	0	0	0	1	7	9	0
25 ≤ <30	0	0	0	1	0	0	0	2	4	0
30 ≤ <35	0	0	0	0	0	0	1	1	4	1
35 ≤ <40	1	1	0	1	0	1	0	0	3	0
≥40	0	0	1	1	1	0	1	1	2	0

TABLEAU 3.12 Valeurs moyennes par saison et pour chaque paramètre, du coefficient de variation et de l'erreur relative (%)

Coefficient de variation

$$C_V$$

ϵ Erreur relative (%)

SAISON	EFFECTIF MOYEN	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	Cond.
Hiver	20	.23 12.2	.21 11.7	.23 12.3	.34 19.3	.32 16.2	.25 13.8	.38 20.3	.30 17.2	.66 37.8	.20 10.6
Printemps	32	.35 16.7	.26 10.7	.29 12.0	.42 17.8	.35 14.8	.36 14.5	.44 18.1	.67 27.9	.89 38.3	.27 9.8
Eté	14	.28 18.2	.18 11.1	.21 12.9	.32 19.7	.31 20.1	.36 22.1	.37 23.2	.61 40.3	.84 54.9	.18 10.6
Automne	34	.30 11.7	.22 8.7	.25 10.5	.40 15.7	.42 16.0	.30 11.5	.41 16.3	.64 25.9	.69 27.4	.23 8.6

TABLEAU 3.13 Résultats de l'analyse de variance: classement des moyennes saisonnières par ordre croissant et détermination des groupes de moyennes non significativement différentes, à l'aide du test de Scheffé (niveau 5%)
(H = moyenne de l'hiver, P = moyenne de printemps, E = moyenne de l'été et A = moyenne de l'automne)

REGION	STATIONS	PARAMETRES									
		SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.
01	01080A	EPHA	PAHE	P-EHA	P-AEH	HPA-PAE	PHAE	PE-EAH	EP-A-H	HPAE	PAHE
	01090A	H-PAE	HPAE	HPE-PEA	PE-EAH	PEAH	PHEA	PE-EA-AH	EPA-H	PEAH	HPAE
	01100B	PE-EAH	PE-EAH	P-AEH	PE-EAH	HPAE	PE-EAH	PE-EAH	EPA-H	HPAE	PE-EAH
	01120A	PHAE	PEHA	PAHE	PHEA	HA-APE	PHAE	EPHA	EPA-H	HPA-E	EPHA
	01150A	PHAE	PE-EAH	PE-EAH	PE-EAH	HA-AP-PE	PE-EAH	PEA-H	EPA-H	PAEH	PE-EAH
	01170B	EAP-PH	EPAH	PAEH	PAEH	HAP-E	EHPA	PEAH	EPA-H	APHE	EPAH
02	02040A	PE-EAH	PH-HAE	PHE-HEA	PE-EAH	PH-HAE	PH-HAE	PE-EAH	EAP-H	HEPA	P-HAE
	02060A	PE-EAH	PH-HAE	P-AEH	PAE-EH	PAEH	PE-EAH	PEA-H	EAP-H	PAEH	P-HAE
	02080A	PE-EA-AH	APE-PEH	APE-EH	EPAH	HPEA	PAE-AEH	PAE-EH	EAP-PH	PHA-AE	AEP-EPH
	02140B	P-AHE	EAP-H	PEA-H	AEPH	HPEA	EPA-AH	EAP-H	EAP-PH	PHA-E	EPA-H
	02160B	P-AE-H	PAE-EH	PA-AE-EH	EAP-H	HAPE	PE-EAH	EAP-PH	EA-P-H	APHE	PAE-EH
	02170A	PEA-H	PH-HA-AE	PH-HA-AE	P-HE-EA	HP-A-E	PE-EH-HA	PH-HE-EA	EAP-H	HAPE	P-HA-AE
	02190A	EPA-H	EPAH	EP-PA-H	EPAH	HP-PAE	EP-AH	EPHA	EA-P-H	PAHE	EPAH
	02200A	PAE-H	PAE-AEH	PEA-H	P-EHA	PHEA	EPA-H	PEH-EHA	EAP-H	PEAH	PAE-EH
	02230A	EPA-H	PH-HA-AE	PH-HA-AE	PH-HA-E	HPA-E	P-HE-EA	PH-HAE	EAP-H	HPA-E	PH-HA-E
	02250D	PAE-H	PHAE	PAEH	PEAH	APHA	EPH-HA	PEA-EAH	PEA-H	PAE-EH	PEAH
	02270B	PAE-EH	PA-AEH	PAE-EH	AP-EH	APHE	EP-AH	PAE-AEH	EAP-H	AHPE	PAE-AEH
	02310D	EPA-H	PEAH	EPHA	APEH	EHAP	EPH-HA	PEAH	EAP-H	EAPH	PEAH
	02340A	EPA-H	PH-HAE	PHAE	PAE-AEH	HP-AE	PE-EHA	PAE-AEH	EAP-H	EAHP	PH-HAE
	02360A	EPA-H	P-HAE	PH-HAE	PH-HA-AE	HP-PA-AE	PHE-EA	PHA-E	EA-AP-H	AHPE	P-HAE
	02370A	EPA-H	PH-HAE	PHAE	PHA-AE	HPAE	PHE-EA	PHAE	EAP-H	EAHP	PH-HAE
	02390A	P-AE-EH	PH-HAE	P-AHE	PAH-AHE	HP-AE	PE-EHA	PAEH	EAP-H	PHA-HAE	P-AHE
02400E	EPA-H	PAH-AHE	PH-HAE	PAHE	HPAE	PE-EHA	PAEH	EAP-H	AEPH	PA-AHE	

TABLEAU 3.13 (SUITE): Résultats de l'analyse de variance: classement des moyennes saisonnières par ordre croissant et détermination des groupes de moyennes non significativement différentes, à l'aide du test de Scheffé (niveau 5%)
(H = moyenne de l'hiver, P = moyenne de printemps, E = moyenne de l'été et A = moyenne de l'automne)

REGION	STATIONS	PARAMETRES									
		SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.
03	03010E	EAP-H	PEH-EHA	PAEH	PHAE	HP-EA	PEH-HA	PAEH	EAP-H	AEHP	P-AEH
	03021L	E-AP-H	P-EHA	PE-EAH	P-EHA	PH-HEA	PE-EH-HA	PEA-EAH	EA-PH	AEPH	P-EAH
	03030B	EP-A-H	PH-HE-EA	PH-HAE	PHA-HAE	PH-HE-EA	PEH-HA	PHA-HAE	EPHA	PAEH	PH-HEA
	03030C	PE-AH	HPEA	HPEA	PHAE	HPE-EA	EPH-PHA	PAEH	PAEH	HEAP	PHEA
	03030D	EPA-H	HPEA	HPAE	PHEA	HPE-EA	EPHA	HPA-PAE	APEH	HPEA	HPAE
	03030E	PE-EA-H	PHA-HAE	PHAE	PHA-HAE	PHE-EA	EPH-HA	PHA-HAE	PAE-H	PHEA	PH-HAE
	03030F	PEA-AH	HPAE	PHE-HEA	PEHA	PHE-HEA	PEH-EHA	PAHE	PEAH	PHEA	PEH-EHA
	03030Y	EAP-PH	PEH-EHA	PEAH	PEH-EHA	PHE-A	PEHA	PEHA	EPAH	PHEA	PEH-EHA
	03040G	PE-EAH	PH-HEA	PH-AE	PH-AE	PH-AE	PHE-A	PH-HA-AE	EAP-PH	AHP-HPE	PH-HA-AE
	03040H	EAP-APH	PHE-HEA	PHE-HEA	PH-HE-EA	HEP-A	PHE-HEA	PH-HE-EA	EPA-PAH	PAE-AEH	PH-HE-EA
03090A	EPA-H	PE-EHA	P-EHA	PH-HEA	PHE-A	PE-EH-HA	PEAH	EAP-H	PHAE	P-EH-HA	
04	04010C	PE-EAH	PAHE	PAHE	PAHE	APH-E	PAHE	PAH-AHE	PAE-EH	HAEP	PA-AH-HE
	04020A	AE-EPH	APE-PEH	APE-PEH	PHAE	PHAE	APE-EH	PAH-HE	EPA-H	EPHA	APE-PEH
	04060C	EPHA	AHPE	AEPH	APEH	HA-APE	EPAH	HAPE	EA-APH	AEPH	AHPE
	04080C	EAH-AHP	AHE-P	EAH-P	AEHP	AHE-EP	AHPE	EHAP	EA-PH	AEPH	AHE-P
	04310A	E-AP-H	EA-AP-PH	E-AP-PH	EP-PA-AH	EPH-PHA	EP-AH	E-PAH	EA-APH	EAPH	E-AP-PH

TABLEAU 3.13 (SUITE) Résultats de l'analyse de variance: classement des moyennes saisonnières par ordre croissant et détermination des groupes de moyennes non significativement différentes, à l'aide du test de Scheffé (niveau 5%)
(H = moyenne de l'hiver, P = moyenne de printemps, E = moyenne de l'été et A = moyenne de l'automne)

REGION	STATIONS	PARAMETRES									
		SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.
05	05010G	PEAH	PAHE	PEA-EAH	PAHE	PHA-AE	PHE-HEA	PHAE	EA-HP	EAP-PH	PAEH
	05020A	PEA-EAH	PH-HA-AE	PHE-HEA	P-HAE	PHE-EA	PH-HE-A	P-HAE	PAEH	EHPA	P-HAE
	05030A	PAE-H	APEH	EAPH	AEPH	AHEP	EAPH	EAPH	EA-HP	EAHP	AEP-EPH
	05040H	PAE-H	PA-AHE	PEA-EAH	PAE-EH	PAEH	PE-AH	PEA-EAH	EA-AP-H	EAPH	PAE-EH
	05070A	P-EA-AH	PH-HAE	PEH-EHA	PH-HAE	HP-AE	PEH-HA	PH-HAE	EAP-H	EAPH	P-HEA
	05080F	PAE-EH	APE-EH	PAE-H	PAE-EH	PA-EH	EPH-HA	PAE-AEH	EA-AP-H	EHPA	EAPH
	05220C	PAE-H	PH-HA-AE	PH-HA-AE	PH-HA-AE	HP-AE	PHE-HEA	PH-HAE	PHEA	PHAE	PH-HA-AE
	05240A	APE-H	PHA-AE	PAH-AHE	PAH-AHE	PH-AE	PH-HAE	PH-HAE	PEHA	HPA-AE	P-HAE
	05260C	EPA-PAH	PHEA	PHEA	PHE-EA	PHE-EA	EP-HA	PHE-HEA	EA-APH	PHAE	PHE-HEA
	05280C	EAP-APH	EAPH	EAPH	PE-EAH	HAPE	EPA-AH	PE-EHA	EAP-PH	EAHP	PEA-EAH
05300A	P-EAH	PH-AE	PH-HEA	PH-HA-AE	HP-PAE	EPH-A	P-HAE	PAE-AEH	PHAE	P-HA-AE	
06	06100A	PA-H	P-A-H	PA-H	PA-AH	HAP	PA-AH	PA-AH	A-P-H	AP-PH	PA-H
	06160A	PA-H	HP-A	PHA	PHA	HPA	PHA	HPA	A-P-H	AP-H	PH-A
	06190A	P-A-H	P-A-H	P-A-H	P-A-H	AP-H	P-HA	PA-AH	PA-H	AP-PH	P-A-H
	06210A	P-A-H	P-A-H	P-A-H	P-A-H	AP-PH	PHA	P-AH	PA-H	A-PH	P-A-H
	06210B	PA-H	P-A-H	P-A-H	PA-H	AP-H	PAH	PA-AH	AP-H	AP-PH	AP-H
	06220A	APH	HAP	PHA	HP-PA	H-AP	HPA	HP-PA	AHP	AP-H	HPA
	06290B	PHA	HAP	APH	PAH	H-PA	PHA	PHA	AP-PH	AH-HP	AHP
07	07020B	PAH	P-AH	P-AH	PAH	PH-A	HPA	PAH	AP-H	HPA	P-AH
	07190A	HAP	PAH	PHA	APH	HAP	HAP	HPA	PAH	HPA	PHA
	07230C	P-AH	PA-H	PA-H	PA-H	AP-PH	PAH	PA-H	PA-H	PAH	PA-H
	07250B	PHA	PHA	PA-AH	PA-AH	HP-PA	HPA	PHA	PA-H	HAP	PAH
	07380C*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Nombre trop faible d'échantillons

TABLEAU 3.14 Analyse de variance et test de Scheffé sur les moyennes saisonnières:
synthèse régionale pour chaque paramètre.

REGION	PARAMETRES									
	SiO ₂	Ca	Mg	Na	K	SO ₄	Cl	NO ₃	PO ₄	COND.
01	PHAE	PEAH PE-EAH	P-EHA PE-EHA	PE-EAH	HAP-APE	PHEA	PE-EAH PEAH	EPA-H	HPAE	PEAH PE-EAH
02A	PE-EAH	PH-HAE APE-PEH	PAE-EH PAE-AEH	PEAH PEA-EAH	PHAE PH-AE	PE-EAH	PAE-EH	EAP-H	PAEH PHA-AE	PAE-AEH
02B	EPA-H	P-HAE PH-HAE	PHAE PH-HAE	PAH-AHE	HP-AE HPAE	PEH-EHA	PAEH PAE-AEH	EAP-H	EAPH PAE-AEH	P-HAE
03	EAP-H	PHE-HEA	PHEA PHE-HEA	PH-HEA PHEA	PH-EA PHE-EA	PEH-HA	PHA-HAE PHAE	EAP-PH EAP-H	PHEA	P-EAH PH-HEA
04	EA-APH	AEH-P	EA-HP	APEH	AHP-E AHP-PE	APEH APE-H	PAH-E PAH-AHE PAHE	EAP-PH EA-PH	AEPH	APE-PEH APE-EH
05	PAE-H PAE-AEH	PH-HAE PHAE	PAE-AEH	PH-HAE	PH-HAE PHA-AE	PEH-HA PE-EHA	PH-HAE P-HAE	EA-PH EAP-H	EAPH	P-HAE PH-HAE PHA-HAE
06	PA-H P-A-H	P-A-H	P-A-H PAH	P-A-H PA-H	HAP H-AP	P-AH PAH	PA-AH	A-P-H AP-H	AP-H	P-A-H PA-H
07	PHA	PAH P-AH PA-H	P-AH PA-H	PAH PA-H	HP-A HP-PA	HPA	PHA	PA-H	HPA	P-AH PA-H PAH

02A : 02040A à 02200A

02B : 02230A à 02400E

TABLEAU 3.15 Moyennes interannuelles et saisonnières de la dureté reconstituées à partir des moyennes de calcium et magnésium calculées sur la période 1973-75 aux 62 stations sélectionnées.

STATIONS	Valeurs moyennes (mg CaCO ₃ /l)				
	Année	hiver	printemps	été	automne
01080A	79.5	81.6	74.9	82.3	81.2
01090A	65.3	52.6	64.6	71.5	71.0
01100B	57.6	64.6	47.9	60.0	60.4
01120A	52.3	53.3	49.1	52.8	53.8
01150A	65.0	70.8	59.3	66.2	67.1
01170B	57.0	59.6	56.2	56.2	56.8
02040A	85.4	86.8	75.6	95.5	94.0
02060A	85.5	89.8	74.7	99.7	92.0
02080A*	76.2	85.4	75.4	77.6	71.2
02140B	71.8	89.2	67.9	66.7	68.2
02160B*	71.8	85.2	65.3	77.0	70.1
02170A	80.2	80.2	72.2	101.0	87.4
02190A	75.3	81.2	72.5	67.2	77.3
02200A	62.8	71.3	58.4	64.0	63.8
02230A	55.5	54.4	48.0	72.3	60.9
02250D	30.7	31.9	27.6	32.6	31.8
02270B	26.9	32.0	24.1	30.4	26.6
02310D	34.7	37.7	32.1	34.0	36.4
02340A	35.9	33.0	30.9	40.8	40.2
02360A	70.6	75.7	57.1	89.2	78.3
02370A	64.0	65.5	53.7	81.2	70.5
02390A	63.2	66.0	52.4	79.0	69.1
02400E	60.9	65.0	52.8	71.1	67.0
03010E	79.5	85.5	63.3	80.0	82.8
03021L*	49.8	53.3	42.2	50.7	53.2
03030B	49.5	44.2	40.9	52.8	54.6
03030C	60.1	50.3	54.9	63.4	64.3
03030D	74.4	62.5	71.6	79.1	79.1
03030E	52.0	46.3	44.7	60.4	55.4
03030F	44.0	36.0	35.0	51.0	50.7
03030Y	88.4	91.0	72.2	83.9	95.2
03040G	196.2	173.7	146.7	216.8	220.4
03040H	75.1	67.3	64.5	78.1	84.6
03090A	110.1	113.6	94.5	109.8	117.5

* Stations ayant fait l'objet d'un regroupement

TABLEAU 3.15 (SUITE) Moyennes interannuelles et saisonnières de la dureté reconstituées à partir des moyennes de calcium et magnésium calculées sur la période 1973-75 aux 62 stations sélectionnées

STATIONS	Valeurs moyennes (mg CaCO ₃ /l)				
	Année	hiver	printemps	été	automne
04010C	38.0	41.3	31.8	42.8	37.5
04020A	36.9	52.7	36.1	41.2	21.1
04060C	18.0	17.2	18.5	19.2	16.6
04080C*	18.2	16.2	21.4	16.4	15.1
04310A	33.0	39.4	35.2	26.1	30.9
05010G*	9.6	10.1	9.3	10.0	9.5
05020A	42.2	41.9	34.6	48.0	46.8
05030A	9.9	10.8	10.1	9.7	9.2
05040H	12.6	15.4	10.7	14.8	11.9
05070A	26.7	26.6	24.7	28.2	28.0
05080F	12.3	15.2	11.3	12.7	11.3
05220C	38.3	32.9	28.8	49.1	41.9
05240A	57.2	55.3	50.7	67.7	58.9
05260C	20.7	19.9	18.5	21.3	22.3
05280C*	15.8	17.0	16.1	14.7	15.2
05300A	28.0	26.0	24.4	31.7	30.7
06100A	11.8	14.1	10.2	-	11.1
06160A	16.1	15.1	15.1	-	18.1
06190A	13.0	16.0	10.3	-	12.5
06210A	10.4	13.1	8.2	-	9.8
06210B	6.9	8.3	5.7	-	6.7
06220A	6.5	5.9	6.7	-	6.9
06290B	11.0	10.9	11.2	-	10.9
07020B	9.5	9.9	7.9	-	9.7
07190A	5.1	5.1	4.4	-	5.2
07230C	10.6	14.6	7.2	-	9.9
07250B	4.6	4.8	4.0	-	4.8
07380C	6.4	7.0	3.6	-	7.4

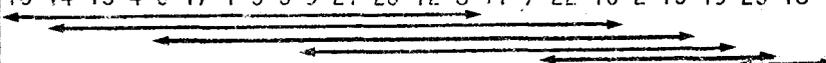
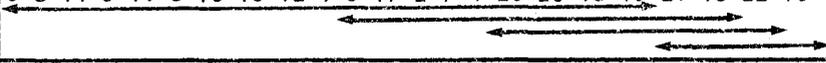
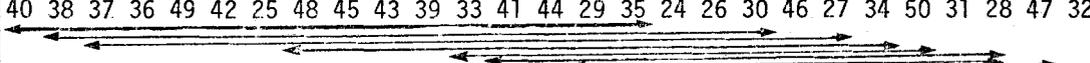
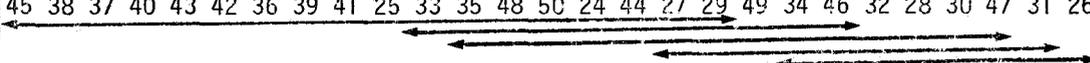
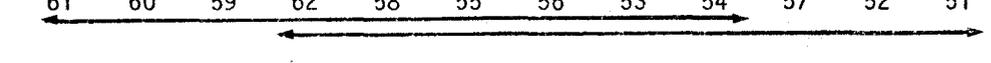
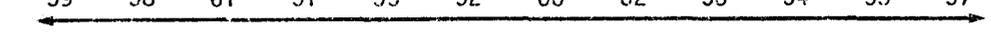
TABLEAU 3.16 Relation entre le code des stations dans la représentation d'A.F.C. et le code M.R.N.

CODE A.F.C.	CODE M.R.N.	CODE A.F.C.	CODE M.R.N.	CODE A.F.C.	CODE M.R.N.
1	01080A	22	02390A	43	05040H
2	01090A	23	02400E	44	05070A
3	01100B	24	03010E	45	05080F
4	01120A	25	03021L	46	05220C
5	01150A	26	03030B	47	05240A
6	01170B	27	03030C	48	05260C
7	02040A	28	03030D	49	05280C
8	02060A	29	03030E	50	05300A
9	02080A	30	03030F	51	06100A
10	02140B	31	03030Y	52	06160A
11	02160B	32	03040G	53	06190A
12	02170A	33	03040H	54	06210A
13	02190A	34	03090A	55	06210B
14	02200A	35	04010C	56	06220A
15	02230A	36	04020A	57	06290B
16	02250D	37	04060C	58	07020B
17	02270B	38	04080C	59	07190A
18	02310D	39	04310A	60	07230C
19	02340A	40	05010G	61	07250B
20	02360A	41	05020A	62	07380C
21	02370A	42	05030A		

TABLEAU 3.17 Composition des groupes de stations identifiés par la classification ascendante hiérarchique appliquée, en considérant pour chaque station, les 4 premiers facteurs calculés par l'analyse factorielle des correspondances

A	B	C	D	E	F	G	H
05220C	04010C	03030B	02250D	01080A	05040H	04020A	05010G
05260C		03030D	02270B	01090A	05070A	04060C	05030A
05280C	05020A	03030F	02310D	01100B	05080F	04080C	
	05240A	03030Y	02340A	01120A			07190A
06220A	05300A	03040G	02360A	01150A	06100A	06160A	07380C
			02370A	01170B	06190A		07250B
			02390A		06210A		
			02400E	02040A	06210B		
				02060A	06290B		
			03010E	02080A			
			03021L	02140B	07020B		
			03030C	02160B	07230C		
			03030E	02170A			
			03040H	02190A			
			03090A	02200A			
				02230A			
			04310A				

TABLEAU 3.18 Analyse de variance et test de Scheffé, effectués sur les moyennes interannuelles des nitrates et des phosphates

GRUPE	PARAMETRE	STATIONS
01, 02	NO ₃	16 14 13 4 6 17 1 5 3 9 21 20 12 8 11 7 22 10 2 15 19 23 18 
	PO ₄	6 8 14 5 11 3 13 10 12 1 9 17 2 7 4 23 20 18 19 21 16 22 15 
03, 04 05	NO ₃	40 38 37 36 49 42 25 48 45 43 39 33 41 44 29 35 24 26 30 46 27 34 50 31 28 47 32 
	PO ₄	45 38 37 40 43 42 36 39 41 25 33 35 48 50 24 44 27 29 49 34 46 32 28 30 47 31 26 
06, 07	NO ₃	61 60 59 62 58 55 56 53 54 57 52 51 
	PO ₄	59 58 61 51 55 52 60 62 56 54 53 57 

Note:

- Les moyennes des stations sont classées par ordre croissant
- L'égalité simultanée des moyennes d'un groupe de stations est représentée par le symbole \longleftrightarrow
- La correspondance du code des stations apparaît au tableau 3.16.

TABLEAU 3.19 Classification des stations, en fonction des moyennes interannuelles en nitrates et phosphates (période 1973-75)

		CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES		
		FAIBLES $[\text{NO}_3] < 0.5$	INTERMEDIAIRES $0.5 \leq [\text{NO}_3] < 0.9$	ELEVEES $0.9 \leq [\text{NO}_3]$
CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES	FAIBLES $[\text{PO}_4] < 0.026$	1, 5, 6, 13, 14, 17, 38, 40, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62	3, 8, 9, 10, 11, 12, 37, 45	
	INTERMEDIAIRES $0.026 \leq [\text{PO}_4] < 0.050$	4	2, 7, 20, 25, 36, 39, 42, 43	23, 41
	ELEVEES $0.050 \leq [\text{PO}_4]$	16	15, 21, 22, 48, 49	18, 19, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 44, 46, 47, 50

Note:

La correspondance du code des stations apparaît au tableau 3.16

TABLEAU 3.20 Caractéristiques des données de couleur sur chacune des 3 périodes retenues

(N: nombre d'échantillons prélevés, n: nombre de composés d'échantillons analysés,

m: moyenne des données pour chaque période)

STATION	PERIODE		N (n)	m (unités)	PERIODE		N (n)	m (unités)	PERIODE		N (n)	m (unités)
01150A	7/68	12/68	177(21)	5.26	11/69	6/70	101(14)	8.79	4/72	5/72	21(3)	8.71
02040A	9/68	2/69	233(30)	5.42	12/69	6/70	180(21)	6.76	11/71	5/72	184(26)	5.64
02140B	5/68	1/69	232(34)	7.15	1/70	7/70	211(27)	9.68	11/71	5/72	212(24)	4.40
02160A	3/68	2/69	238(30)	6.49	1/70	6/70	160(17)	12.06	10/71	5/72	201(18)	9.23
02200A	4/68	1/69	224(27)	13.89	11/69	6/70	174(20)	17.68	11/71	5/72	169(19)	19.09
02250A	4/68	12/68	271(35)	18.56	1/70	8/70	174(18)	29.79	1/72	5/72	139(21)	43.50
02340A	3/68	6/68	76(23)	17.22	-	-	-	-	11/71	6/72	153(23)	24.88
03020A	3/68	1/69	292(59)	19.88	1/70	6/70	181(22)	26.62	11/71	5/72	193(22)	37.45
03020X	8/68	2/69	158(32)	13.13	1/70	6/70	174(39)	9.95	10/71	3/72	119(37)	13.61
03030B	3/68	3/69	308(67)	14.84	1/70	5/70	127(22)	13.06	10/71	6/72	199(45)	20.18
03030D	3/68	12/68	262(60)	22.77	11/69	6/70	102(13)	26.47	10/71	5/72	132(17)	36.18
03090A	3/68	1/69	171(38)	13.12	1/70	6/70	179(26)	19.64	10/71	5/72	218(28)	27.59
04310A	8/68	2/69	200(28)	23.47	1/70	7/70	200(21)	38.40	11/71	6/72	219(37)	47.28
05010A	3/68	1/69	143(20)	14.67	-	-	-	-	-	-	-	-
05040A	3/68	1/69	292(36)	8.61	1/70	7/70	201(20)	9.35	11/71	5/72	201(20)	8.56
05090A	4/68	1/69	246(33)	13.98	1/70	6/70	160(15)	6.19	-	-	-	-
06190A	3/68	2/69	242(29)	25.39	1/70	6/70	180(20)	32.96	10/71	5/72	203(19)	37.00
06290B	7/68	1/69	180(28)	20.99	1/70	7/70	219(26)	34.95	10/71	5/72	182(32)	36.55

TABLEAU 3.21 Variabilité spatiale des valeurs moyennes de couleur (Période 1968-1972) pour chaque station (N: nombre total des échantillons prélevés sur les 3 périodes, n: nombre total de composés d'échantillons prélevés sur les 3 périodes, \bar{m} : moyenne des valeurs moyennes sur les 3 périodes pour chacune des stations).

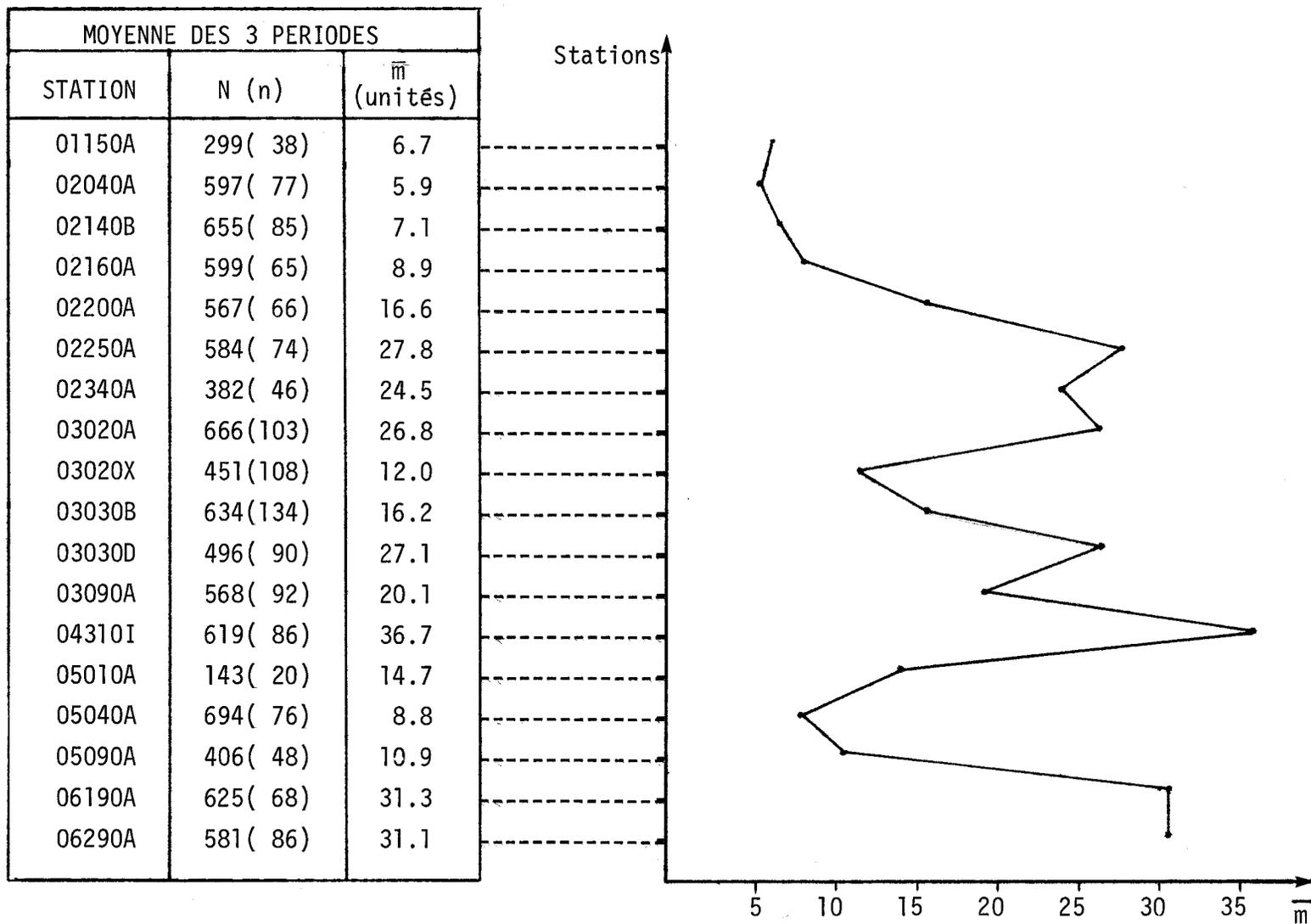


TABLEAU 3.22 Caractéristiques des données de fer sur chacune des 3 périodes retenues

(N: nombre d'échantillons prélevés, n: nombre de composés d'échantillons analysés, m: moyenne des données pour chaque période, \bar{m} : moyenne des valeurs moyennes sur chacune des périodes)

STATION	PERIODE		N (n)	m (mg/l)	PERIODE		N (n)	m (mg/l)	PERIODE		N (n)	m (mg/l)
01150A	7/68	12/68	177(21)	.12	11/69	12/69	41(4)	.10	-	-	-	-
02040A	9/68	2/69	233(30)	.25	12/69	3/70	100(11)	.06	-	-	-	-
02140B	5/68	12/68	216(33)	.25	11/69	4/70	105(14)	.05	-	-	-	-
02160A	3/68	2/69	238(30)	.28	1/70	5/70	120(12)	.07	-	-	-	-
02200A	4/68	1/69	224(27)	.23	11/69	4/70	116(16)	.08	-	-	-	-
02250A	4/68	12/68	271(35)	.26	1/70	3/70	89(9)	.09	-	-	-	-
02330A	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	12/73	41(41)	.39
02340A	3/68	6/68	76(23)	.11	-	-	-	-	1/73	12/73	42(42)	.38
02340B	3/68	6/68	69(22)	.07	-	-	-	-	1/73	10/73	43(43)	.34
02340D	3/68	6/68	69(19)	.09	-	-	-	-	1/73	10/73	43(43)	.38
02340E	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	44(44)	.46
02340G	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	44(44)	.41
02340K	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	42(42)	.38
02400A	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	11/73	44(44)	.46
03010A	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	11/73	42(42)	.38
03010B	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	42(42)	.63
03010C	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	40(40)	.33
03020A	3/68	1/69	292(59)	.30	1/70	5/70	121(16)	.08	1/73	11/73	41(41)	.36
03020X	8/68	2/69	158(32)	.22	1/70	5/70	133(27)	.05	-	-	-	-
03020Y	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	38(38)	.44
03020Z	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	37(37)	.29
03021B	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	42(42)	.69
03021C	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	41(41)	.36
03030B	3/68	3/69	308(67)	.26	1/70	4/70	91(18)	.07	-	-	-	-
03030D	3/68	12/68	262(60)	.33	-	-	-	-	-	-	-	-
03090A	3/68	1/69	171(38)	.30	1/70	4/70	120(19)	.08	-	-	-	-

TABLEAU 3.22 (SUITE) Caractéristiques des données de fer sur chacune des 3 périodes retenues
 (N: nombre d'échantillons prélevés, n: nombre de composés d'échantillons analysés, m: moyenne des données pour chaque période, \bar{m} : moyenne des valeurs moyennes sur chacune des périodes)

STATION	PERIODE		N (n)	m (mg/l)	PERIODE		N (n)	m (mg/l)	PERIODE		N (n)	m (mg/l)
04310A	8/68	2/69	200(28)	.33	1/70	3/70	93(10)	.08	-	-	-	-
05010A	3/68	1/69	127(19)	.26	-	-	-	-	1/73	11/73	44(44)	.40
05030A	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	11/73	43(43)	.39
05040A	3/68	1/69	292(36)	.19	1/70	4/70	101(12)	.07	1/73	11/73	43(43)	.32
05070A	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	11/73	46(46)	.57
05080C	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	11/73	43(43)	.42
05080D	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	36(36)	.44
05090A	4/68	1/69	246(33)	.23	11/69	4/70	101(10)	.05	-	-	-	-
05100P	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	12/73	46(46)	.48
05120B	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	11/73	44(44)	.27
05260B	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	11/73	45(45)	.42
05280B	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	11/73	44(44)	.61
06190A	3/68	2/69	242(29)	.34	1/70	5/70	140(17)	.07	-	-	-	-
06290B	7/68	1/69	180(28)	.28	1/70	5/70	140(17)	.10	-	-	-	-
POUR L'ENSEM- BLE DES STATIONS	PERIODE		N (n)	\bar{m} (mg/l)	PERIODE		N (n)	\bar{m} (mg/l)	PERIODE		N (n)	\bar{m} (mg/l)
	03/68	03/69			11/69	05/70			01/73	12/73		
			4051(669)	.26			1611(212)	.07			1100(1100)	.42

TABLEAU 3.23 Caractéristiques des données de manganèse sur chacune des 2 périodes retenues.
(N: nombre d'échantillons prélevés, n: nombre de composés d'échantillons prélevés, m: moyenne des données pour chaque période, \bar{m} : moyenne des valeurs moyennes sur chacune des périodes).

STATION	PERIODE		N (n)	m (mg/l)	PERIODE		N (n)	m (mg/l)
01150A	7/68	11/68	120(17)	.02	-	-	- -	-
02040A	9/68	11/68	133(22)	.02	-	-	- -	-
02140B	5/68	12/68	180(30)	.02	-	-	- -	-
02160A	3/68	11/68	158(23)	.02	-	-	- -	-
02200A	4/68	11/68	165(23)	.02	-	-	- -	-
02250A	4/68	11/68	214(30)	.02	-	-	- -	-
02330A	-	-	- -	-	1/73	12/73	42(42)	.07
02340A	-	-	- -	-	1/73	12/73	45(45)	.07
02340B	3/68	6/68	58(20)	.02	1/73	10/73	42(42)	.04
02340D	3/68	6/68	57(16)	.02	1/73	10/73	42(42)	.05
02340E	-	-	- -	-	1/73	10/73	44(44)	.05
02340G	-	-	- -	-	1/73	10/73	44(44)	.06
02340K	-	-	- -	-	1/73	10/73	41(41)	.04
02400A	-	-	- -	-	1/73	11/73	44(44)	.07
03010A	-	-	- -	-	1/73	11/73	43(43)	.07
03010B	-	-	- -	-	1/73	10/73	42(42)	.08
03010C	-	-	- -	-	1/73	10/73	40(40)	.06
03020A	3/68	11/68	237(48)	.02	1/73	11/73	43(43)	.07
03020X	8/68	11/68	100(20)	.02	-	-	- -	-
03020Y	-	-	- -	-	1/73	10/73	37(37)	.05
03020Z	-	-	- -	-	1/73	10/73	37(37)	.04
03021B	-	-	- -	-	1/73	10/73	42(42)	.07
03021C	-	-	- -	-	1/73	10/73	40(40)	.04
03030D	3/68	11/68	243(52)	.02	-	-	- -	-
03090A	3/68	11/68	109(22)	.02	-	-	- -	-
04310A	8/68	11/68	100(13)	.02	-	-	- -	-
05010A	3/68	11/68	78(13)	.02	1/73	11/73	43(43)	.04
05030A	-	-	- -	-	1/73	11/73	42(42)	.03
05040A	3/68	12/68	234(31)	.02	1/73	11/73	42(42)	.03
05070A	-	-	- -	-	1/73	11/73	46(46)	.04
05080C	-	-	- -	-	1/73	11/73	42(42)	.03
05080D	-	-	- -	-	1/73	10/73	36(36)	.03
05100P	-	-	- -	-	1/73	12/73	45(45)	.03
05120B	-	-	- -	-	1/73	11/73	44(44)	.03
05260B	-	-	- -	-	1/73	11/73	45(45)	.04
05280B	-	-	- -	-	1/73	11/73	43(43)	.04
POUR L'ENSEM- BLE DES STATIONS	PERIODE		N (n)	\bar{m} (mg/l)	PERIODE		N (n)	\bar{m} (mg/l)
	3/68	12/68			2186(380)	.02			1/73	12/73	1096(1096)	.05

TABLEAU 3.24 Caractéristiques des données des fluorures sur chacune des 4 périodes retenues (N: nombre d'échantillons prélevés, n: nombre de composés d'échantillons prélevés, m: moyenne des données pour chaque période, m: moyenne des valeurs moyennes sur chacune des périodes)

STATION	PERIODE		N (n)	m (mg/l)	PERIODE		N (n)	m (mg/l)	PERIODE		N (n)	m (mg/l)	PERIODE		N (n)	m (mg/l)
01080A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	18(18)	.03
01090A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	18(18)	.03
01100B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	18(18)	.02
01120A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	18(18)	.02
01150A	7/68	12/68	180(22)	.13	11/69	12/69	41(4)	.24	-	-	-	-	1/73	10/73	18(18)	.02
01150B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	18(18)	.02
01300A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	18(18)	.02
02040A	9/68	2/69	233(30)	.11	12/69	5/70	138(17)	.17	3/71	5/71	80(8)	.12	1/73	10/73	15(15)	.04
02060A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	15(15)	.03
02080B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	18(18)	.03
02140B	5/68	1/69	232(34)	.12	11/69	5/70	141(20)	.12	3/71	5/71	72(9)	.10	1/73	10/73	15(15)	.02
02160A	3/68	2/69	238(30)	.07	1/70	5/70	120(12)	.12	3/71	4/71	37(3)	.10	1/73	10/73	18(18)	.02
02170A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	18(18)	.03
02190A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	16(16)	.03
02200A	4/68	1/69	224(27)	.12	11/69	4/70	116(16)	.17	3/71	5/71	80(12)	.10	1/73	7/73	13(13)	.03
02230A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	18(18)	.04
02250A	4/68	12/68	251(32)	.10	1/70	5/70	129(14)	.11	-	-	-	-	1/73	10/73	17(17)	.04
02310A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	17(17)	.03
02330A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	14(14)	.03
02340A	3/68	6/68	76(23)	.07	-	-	-	-	6/71	5/71	69(10)	.12	1/73	10/73	17(17)	.02
02340B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	17(17)	.02
02340D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	16(16)	.02
02340E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	17(17)	.02
02340G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	17(17)	.02
02340K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	16(16)	.02
02400A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	16(16)	.03
03010A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	16(16)	.03
03010B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	16(16)	.02
03010C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	15(15)	.02
03020A	3/68	1/69	292(59)	.13	1/70	5/70	121(16)	.12	3/71	5/71	80(7)	.14	1/73	10/73	17(17)	.03
03020X	8/68	2/69	158(32)	.08	1/70	5/70	118(26)	.15	3/71	5/71	65(15)	.10	-	-	-	-
03020Y	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2/73	10/73	14(14)	.02
03020Z	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	14(14)	.02
03021B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	17(17)	.02
03021C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	15(15)	.02
03030B	3/68	2/69	290(63)	.13	1/70	4/70	91(18)	.17	-	-	-	-	1/73	10/73	18(18)	.04

TABLEAU 3.24 (SUITE) Caractéristiques des données des fluorures sur chacune des 4 périodes retenues (N: nombre d'échantillons prélevés, n: nombre de composés d'échantillons prélevés, m: moyenne des données pour chaque période, \bar{m} : moyenne des valeurs moyennes sur chacune des périodes.

STATION	PERIODE		N (n)	\bar{m} (mg/l)	PERIODE		N (n)	\bar{m} (mg/l)	PERIODE		N (n)	\bar{m} (mg/l)	PERIODE		N (n)	\bar{m} (mg/l)
03030C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	16(16)	.05
03030D	3/68	12/68	262(60)	.16	1/69	5/70	42(7)	.10	3/71	4/71	39(9)	.18	1/73	10/73	18(18)	.06
03030E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	17(17)	.05
03030F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	12(12)	.04
03030G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	16(16)	.24
03090A	3/68	1/69	171(38)	.11	1/70	4/70	120(19)	.16	-	-	-	-	1/73	10/73	18(18)	.07
04010A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	12(12)	.02
04080A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	15(15)	.03
04310A	8/68	2/69	200(28)	.16	1/70	5/70	120(13)	.11	3/71	5/71	40(8)	.19	1/73	10/73	17(17)	.04
05010A	3/68	1/69	143(20)	.11	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	18(18)	.03
05030A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	17(17)	.03
05040A	3/68	1/69	292(36)	.12	1/70	4/70	101(12)	.15	4/71	5/71	40(4)	.10	1/73	10/73	16(16)	.03
05070A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	18(18)	.05
05080C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	17(17)	.03
05080D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	8/73	15(15)	.03
05090A	4/68	1/69	167(22)	.19	1/70	4/70	100(9)	.14	-	-	-	-	-	-	-	-
05100P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	16(16)	.03
05120B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	17(17)	.02
05220A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	17(17)	.03
05260B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	18(18)	.04
05280B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	18(18)	.04
06100A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	18(18)	.03
06100B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	18(18)	.03
06160A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	18(18)	.04
06190A	3/68	2/69	188(22)	.12	1/70	5/70	140(17)	.07	3/71	6/71	80(8)	.07	1/73	10/73	18(18)	.02
06210A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	18(18)	.03
06210B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	18(18)	.03
06210C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	16(16)	.03
06220A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/73	10/73	17(17)	.02
06290B	7/68	1/69	46(9)	.14	1/70	5/70	140(17)	.08	3/71	5/71	73(17)	.11	1/73	10/73	15(15)	.04
POUR L'ENSEM- BLE DES STATIONS	PERIODE		N (n)	\bar{m} (mg/l)	PERIODE		N (n)	\bar{m} (mg/l)	PERIODE		N (n)	\bar{m} (mg/l)	PERIODE		N (n)	\bar{m} (mg/l)
	03/68	03/69	3643(607)	.12	11/69	05/70	1778(237)	.13	03/71	106/71	755(110)	.11	01/73	10/73	1061(1061)	.03

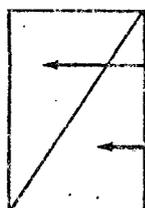
TABLEAU 3.25 Gammes de variations annuelle et saisonnières des paramètres du groupe 1, pour chaque région hydrographique (période 1973-1975)
(M: valeur maximale, m: valeur minimale)

REGION	SAISON	Silice		Calcium		Magnésium		Sodium		Potassium		Bicar- bonates		Sulfates		Chlorures		Nitrates		Phosphates		Conductivité	
		M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m
01	Année	8.6	0.4	39.0	2.6	6.3	0.2	6.4	0.5	2.0	0.05	-	-	16.5	0.5	9.0	0.05	1.6	0.05	0.14	0.01	230	26
	Hiver	8.0	0.4	36.0	2.6	6.3	0.2	6.1	0.6	2.0	0.05	-	-	16.5	1.0	7.6	0.4	1.6	0.30	0.08	0.10	230	26
	Printemps	6.5	2.1	39.0	7.2	4.3	1.1	3.3	0.5	0.7	0.05	-	-	11.5	0.5	3.2	0.1	1.4	0.05	0.09	0.10	191	59
	Été	7.3	0.6	30.0	12.5	4.1	1.7	2.5	0.9	1.0	0.2	-	-	10.5	2.0	2.7	0.3	0.8	0.10	0.14	0.01	175	78
	Automne	8.6	1.4	33.5	5.2	4.6	1.1	6.4	0.5	1.4	0.05	-	-	12.0	1.4	9.0	0.05	1.4	0.05	0.14	0.01	198	49
02	Année	15.0	0.05	49.2	1.8	9.5	0.4	23.5	0.7	5.0	0.05	55	15	32.0	1.0	49.0	0.3	4.7	0.05	1.20	0.01	352	15
	Hiver	15.0	2.1	40.0	1.8	9.5	0.4	20.5	0.7	3.3	0.1	38	20	22.0	2.0	24.0	0.9	4.2	0.20	0.80	0.10	352	15
	Printemps	10.6	0.05	49.2	3.5	9.4	0.5	19.5	0.7	3.7	0.05	46	15	21.0	1.0	21.0	0.7	4.7	0.05	0.58	0.01	326	29
	Été	10.3	0.5	43.0	7.4	6.7	1.0	21.0	1.3	5.0	0.05	55	30	19.5	1.0	49.0	0.8	1.2	0.05	1.20	0.01	304	52
	Automne	10.7	0.3	40.0	6.8	9.4	0.5	23.5	0.8	4.9	0.05	50	26	32.0	2.0	22.0	0.3	3.4	0.05	0.38	0.01	304	51
03	Année	10.0	0.05	96.0	2.0	37.0	0.4	316	0.9	22.5	0.05	67	32	520	2.0	330	1.0	12.3	0.05	2.50	0.01	1920	40
	Hiver	10.0	1.0	70.0	2.0	26.0	1.4	150	3.1	10.0	0.6	55	38	140	7.0	115	1.8	12.3	0.40	0.90	0.01	1430	92
	Printemps	7.2	0.05	52.5	3.8	24.0	0.4	118	1.2	10.0	0.1	59	32	160	3.0	139	1.0	10.0	0.05	1.00	0.01	912	40
	Été	8.2	0.1	84.0	5.6	27.9	0.6	220	1.6	21.0	0.4	67	52	187	2.0	330	3.4	8.8	0.05	2.50	0.01	1570	77
	Automne	9.4	0.2	96.0	4.7	37.0	0.8	316	0.9	22.5	0.05	67	46	520	3.5	248	1.5	9.6	0.05	0.97	0.01	1920	41
04	Année	10.3	0.5	23.5	1.0	10.0	0.3	31.0	0.4	3.3	0.05	-	-	21.5	0.8	40.0	0.1	2.9	0.05	0.42	0.01	219	15
	Hiver	9.2	0.5	22.0	3.0	9.0	0.5	31.0	0.6	1.3	0.2	-	-	21.5	3.5	40.0	0.5	2.9	0.25	0.16	0.01	216	25
	Printemps	10.3	1.7	20.8	2.0	9.4	0.6	20.0	0.7	1.7	0.2	-	-	16.0	2.5	28.0	0.2	2.9	0.05	0.42	0.01	176	34
	Été	8.1	1.7	23.5	1.0	10.0	0.6	26.5	0.7	2.7	0.4	-	-	17.6	3.0	37.0	0.1	1.7	0.05	0.08	0.01	219	34
	Automne	6.3	1.5	16.0	1.5	4.2	0.3	19.5	0.4	3.3	0.05	-	-	17.3	0.8	31.0	0.5	1.5	0.05	0.13	0.01	201	15
05	Année	15.5	0.2	21.1	0.9	8.0	0.1	38.0	0.5	11.0	0.05	44	3	42.0	1.5	52.0	0.2	7.7	0.05	1.60	0.01	321	17
	Hiver	15.5	1.6	17.0	1.8	7.0	0.4	35.0	1.0	4.0	0.3	44	7	15.0	2.5	36.5	0.3	4.2	0.20	1.60	0.01	274	17
	Printemps	12.5	0.4	17.5	0.9	6.9	0.1	27.5	0.5	4.4	0.1	32	3	14.6	1.5	32.0	0.4	5.0	0.05	1.20	0.01	271	18
	Été	12.3	1.3	21.1	2.0	7.2	0.4	36.0	0.7	8.0	0.3	34	6	42.0	1.5	51.0	0.2	5.2	0.05	0.75	0.01	276	21
	Automne	15.0	0.2	18.8	1.0	8.0	0.2	38.0	0.5	11.0	0.05	40	6	24.0	2.5	52.0	0.7	7.7	0.05	0.64	0.01	321	19
06	Année	10.0	0.2	12.5	0.6	2.1	0.2	26.0	0.03	1.2	0.05	-	-	10.0	0.25	20.5	0.05	2.0	0.05	0.40	0.01	162	7
	Hiver	10.0	0.7	12.5	0.9	2.1	0.2	3.1	0.4	1.2	0.05	-	-	8.0	1.5	3.7	0.1	2.0	0.05	0.13	0.01	85	11
	Printemps	6.0	0.2	7.6	1.0	1.5	0.2	9.0	0.03	0.9	0.05	-	-	10.0	0.25	15.0	0.05	1.1	0.05	0.40	0.01	68	11
	Été	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	7.2	0.7	9.5	0.6	1.9	0.2	26.0	0.1	0.9	0.05	-	-	7.0	0.5	20.5	0.05	1.2	0.05	0.07	0.10	162	7
07	Année	11.0	0.1	9.8	0.8	2.6	0.2	7.8	0.2	2.4	0.05	-	-	9.3	1.1	5.1	0.05	0.9	0.05	0.06	0.01	96	10
	Hiver	11.0	0.5	9.8	1.0	2.6	0.2	7.8	0.5	2.4	0.1	-	-	9.3	1.1	5.1	0.5	0.9	0.05	0.06	0.01	96	10
	Printemps	5.1	0.3	3.3	0.8	0.7	0.2	2.8	0.2	1.0	0.1	-	-	5.3	1.3	2.1	0.05	0.4	0.05	0.05	0.01	35	11
	Été	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	6.8	0.1	6.0	0.8	1.7	0.2	7.2	0.3	1.1	0.05	-	-	8.1	1.5	0.5	0.05	0.5	0.05	0.05	0.01	71	10

Note: les valeurs sont exprimées en mg/l sauf pour la conductivité, en $\mu\text{mhos/cm}$

TABLEAU 3.26 Identification des paramètres du groupe 1 et décompte des stations par région, pour lesquelles les critères d'utilisation de l'eau pour l'alimentation ne sont pas respectés (période 1973-75)

		Région						
		01	02	03	04	05	06	07
CRITÈRE POUR L'ALIMENTATION	Sulfates 320	0 7	0 20	1 14	0 7	0 17	0 7	0 6
	Chlorures 200	0 7	0 20	1 14	0 7	0 17	0 7	0 6
	Phosphates 0.20	0 7	10 20	12 14	2 7	10 17	1 7	0 6



nombre de stations dans la région où le critère n'est pas respecté

nombre de stations considérées dans la région



critère de qualité (mg/l)

TABLEAU 3.27 Identification, pour chaque paramètre du groupe 1, des stations par région où les critères d'utilisation pour l'alimentation ne sont pas respectés (période 1973-75)

Para- mètre et critère	Région	01	02	03	04	05	06	07
SO ₄ 320		-	-	040G	-	-	-	-
		-	-	040G	-	-	-	-
Cl 200		-	-	040G	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-
PO ₄ 0.20		-	040A	010A	010C	020A	290B	-
		-	080B	010B	310A	030A	-	-
		-	250D	010E	-	040H	-	-
		-	310D	020A	-	070A	-	-
		-	340A	030B	-	220C	-	-
		-	360A	030C	-	240C	-	-
		-	370A	030D	-	260B	-	-
		-	390A	030E	-	260C	-	-
		-	400E	030F	-	280B	-	-
		-	-	030Y	-	280C	-	-
		-	-	040G	-	-	-	-
		-	-	090A	-	-	-	-



critère de qualité (mg/l)

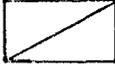
TABLEAU 3.28 Valeurs extrêmes et gammes de variation, sur une base annuelle et saisonnière,
des paramètres du groupe 2, dans les différentes régions hydrographiques (1967-1975)
(M: valeur maximale, m: valeur minimale)

REGION	SAISON	Bicar- bonates *		Solides dissous		Dureté totale		Dureté non carbonatée		pH		Couleur		Alcalinité *		Oxygène dissous		Fer		Manganèse		Carbonates		Fluorures		Température		
		M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m	M	m
01	Année	173	7	226	33	154	24	17	1	8.5	6.2	46	1	142	14	13.0	6.0	.60	.01	.13	.03	2.4	.5	.3	.01	77	32	
	Hiver	167	17	223	55	148	30	14	1	8.2	6.6	35	1	137	22	11.5	11.0	.10	.05	.03	.03	.5	.5	.2	.01	38	32	
	Printemps	173	7	226	65	151	33	17	1	8.5	6.2	46	2	142	25	13.0	7.5	.60	.01	.13	.03	2.4	.5	.1	.01	76	36	
	Été	171	68	113	80	141	61	6	1	8.2	7.6	15	3	140	56	7.5	7.5	.06	.06	.03	.03	.5	.5	.3	.01	77	54	
	Automne	173	17	183	33	154	24	17	1	8.4	6.4	45	1	142	14	13.0	6.0	.34	.02	.03	.03	1.2	.5	.3	.01	70	32	
02	Année	174	4	244	21	150	4	55	1	9.4	5.7	125	1	143	8	16.0	6.0	4.05	.01	.67	.01	7.2	.1	.5	.01	88	32	
	Hiver	148	10	165	21	130	22	19	1	8.4	6.2	45	1	122	15	14.5	9.0	0.89	.05	.60	.03	.5	.5	.5	.01	36	32	
	Printemps	149	4	244	21	125	13	24	1	9.4	5.7	125	1	123	8	16.0	6.0	4.05	.01	.67	.01	3.6	.5	.4	.01	63	32	
	Été	174	10	177	51	150	4	20	1	6.5	6.3	68	2	143	8	10.5	6.5	1.26	.05	.34	.02	1.2	.5	.2	.01	65	50	
	Automne	154	11	174	35	148	11	55	1	9.3	6.6	90	1	135	9	14.0	6.5	2.36	.02	.20	.01	7.2	.1	.3	.01	76	32	
03	Année	735	4	904	19	288	20	71	1	9.6	5.0	250	1	236	1	15.0	3.0	35.0	.04	1.06	.01	8.4	.1	1.7	.01	85	32	
	Hiver	283	4	489	53	288	21	52	5	8.2	5.2	250	2	236	4	14.5	9.0	1.14	.65	.20	.03	.5	.5	.5	.01	44	32	
	Printemps	735	4	904	26	125	23	56	2	9.5	5.0	105	1	97	13	14.5	8.5	1.92	.05	.15	.01	8.4	.1	1.7	.01	72	32	
	Été	237	22	661	19	154	32	35	1	9.6	6.2	52	5	132	23	10.5	3.0	1.40	.05	.25	.01	2.0	.1	.2	.01	86	52	
	Automne	169	17	934	59	210	20	71	1	9.2	6.6	90	1	139	1	15.0	3.1	35.0	.04	1.06	.02	8.0	.1	.5	.01	82	32	
04	Année	251	5	347	34	121	11	27	1	9.0	5.6	130	1	48	4	10.5	6.0	1.00	.05	.15	.03	7.2	.5	.5	.01	79	32	
	Hiver	251	5	112	45	58	18	25	3	7.7	6.1	77	4	40	8	-	-	.34	.05	-	-	.8	.5	.3	.01	33	32	
	Printemps	163	7	131	84	64	13	22	4	9.0	5.6	108	1	48	6	-	-	1.00	.05	.15	.03	7.2	.5	.2	.01	73	32	
	Été	93	6	347	42	121	11	13	2	7.4	6.0	49	5	29	5	9.5	6.0	.82	.05	.06	.03	.5	.5	.3	.02	79	56	
	Automne	43	5	214	34	51	11	27	1	7.6	5.9	130	5	35	4	10.5	10.5	.50	.05	.03	.03	.5	.5	.5	.02	72	32	
05	Année	127	1	171	13	104	1	17	1	8.9	4.7	135	1	104	1	14.7	6.1	5.00	.02	.37	.01	2.4	.1	.4	.01	85	32	
	Hiver	66	2	100	14	42	6	13	1	8.9	5.8	35	1	29	4	14.7	12.0	.87	.05	.14	.03	1.2	.5	.4	.02	34	32	
	Printemps	127	1	171	1	104	4	17	1	8.1	4.7	135	1	104	1	14.5	7.6	5.00	.05	.29	.01	2.4	.1	.4	.01	78	32	
	Été	56	4	80	33	57	1	14	1	7.9	5.9	39	2	45	4	11.0	6.1	4.5	.06	.18	.01	.5	.5	.3	.01	85	44	
	Automne	83	2	73	13	39	5	10	1	7.7	5.7	45	2	31	2	14.5	8.0	1.44	.02	.37	.01	.5	.1	.4	.01	78	32	
06	Année	88	2	96	20	24	5	9	1	8.2	5.9	75	1	22	2	14.2	7.0	.90	.05	.10	.03	.5	.1	.4	.01	73	32	
	Hiver	88	3	55	20	22	5	8	1	8.0	5.1	45	2	18	2	14.2	12.3	.58	.05	-	-	.5	.1	.4	.01	38	32	
	Printemps	20	4	37	32	24	7	9	1	7.4	5.9	75	1	22	2	13.0	7.0	.90	.05	.10	.03	.5	.1	.2	.01	73	32	
	Été	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	21	2	96	29	24	6	7	1	8.2	5.9	65	9	17	5	12.5	8.0	.62	.06	.03	.03	.5	.1	.3	.01	78	32	
07	Année	21	4	54	2	23	3	15	1	7.2	5.8	41	2	14	3	9.0	9.0	1.01	.02	.07	.03	.5	.1	.3	.05	75	32	
	Hiver	21	4	54	2	17	4	8	1	7.2	6.0	41	2	14	4	-	-	.42	.05	.03	.03	.5	.5	.3	.05	33	32	
	Printemps	17	4	24	18	15	3	2	1	7.2	5.8	32	7	14	3	9.0	9.0	.62	.05	.03	.03	.1	.1	.1	.05	75	32	
	Été	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Automne	15	5	-	-	23	5	15	1	6.9	6.0	15	3	8	5	-	-	1.01	.02	.07	.03	.5	.5	.3	.20	66	32	

Note: Le pH est exprimé en unités de pH
La couleur est exprimée en unité relative
La température est exprimée en degrés Fahrenheit
Les autres paramètres sont exprimés en mg/l.

* Les valeurs extrêmes de bicarbonates ne correspondent pas toujours aux valeurs extrêmes d'alcalinité à cause du filtrage effectué sur la banque de données (section 3.1.2)

TABLEAU 3.29 Identification des paramètres du groupe 2 et décompte des stations pour lesquelles les critères d'utilisation de l'eau pour la vie aquatique, la récréation et l'alimentation ne sont pas respectés (période 1967-1975)

Nombre de stations où le critère n'est pas respecté →  ← Nombre de stations dans la région

Para- mètre & critère		Région							
		01	02	03	04	05	06	07	
VIE AQUATIQUE	pH max. ◇ 9.0	0 12	2 45	4 62	1 22	0 47	0 15	0 12	
	pH min. ◇ 5.4	0 12	0 45	2 62	0 22	5 47	0 15	0 12	
	Alcalinité max. ◇ 130	2 12	1 43	3 56	0 15	0 38	0 15	0 12	
	Alcalinité min. ◇ 30	2 12	23 43	13 56	13 15	37 38	13 15	12 12	
RECREATION	pH max. △ 3.2	4 12	13 45	19 62	4 22	2 47	0 15	0 20	
	pH min. △ 5.5	2 12	7 45	8 62	6 22	34 47	12 15	10 20	
	Couleur □ 100	0 12	2 45	1 45	2 22	1 39	0 15	0 20	
ALIMENTATION	Solides dissous □ 605	0 12	0 45	1 34	0 21	0 39	0 15	0 12	
	Dureté totale max. □ 180	0 12	0 45	2 60	0 21	0 39	0 15	0 12	
	Dureté totale min. □ 13	0 12	2 45	0 60	3 21	29 39	14 15	12 12	
	pH max. □ 8.7	0 12	4 45	9 62	2 22	1 47	0 15	0 20	
	pH min. □ 6	0 12	3 45	2 62	2 22	15 47	3 15	2 20	
	Couleur □ 50	0 12	12 45	6 45	4 22	1 39	5 14	0 20	
	Alcalinité max. □ 82	8 12	12 43	16 56	0 22	1 38	0 15	0 12	
	Alcalinité min. □ 7	0 12	0 43	2 56	3 15	26 38	9 15	9 12	
	Fer □ .3	4 10	29 45	21 41	7 15	44 46	10 14	10 22	
	Manganèse □ .05	1 10	18 35	16 29	5 15	21 31	3 12	1 17	

 }
 } critère de qualité (mg/l pour l'alcalinité, la dureté, le fer, le manganèse et les solides dissous et en unités pour le pH et la couleur)
 }

TABLEAU 3.30 Identification, pour chaque paramètre du groupe 2 des stations, par région où les critères d'utilisation pour la vie aquatique ne sont pas respectés (période 1967-1975)

Paramètre et critère	Région	Stations
pH max. ◇ 9.0	02 03 04	210A - 310A 021E - 030B - 040A - 040B 010D
pH min. ◇ 5.4	03 05	021C - 021D 040A - 080D - 100B - 100C - 100D
Alcalinité max. ◇ 130	01 02 03	150A - 280A 050A 030A - 090A - 090B
Alcalinité min. ◇ 30	01 02 03 04 05 06 07	080A - 100A - 100B - 100C - 120A - 150A - 160A - 170A - 280A 140A - 140B - 140C - 140F - 140G - 210A - 250A - 250B - 250C - 270A - 310A - 310B - 310C - 330A - 340A - 340B - 340D - 340E - 340F - 340G - 340J - 340M - 400A 010A - 020A - 020X - 020Y - 021B - 021C - 030B - 030C - 030D - 030E - 030F - 030G - 030X 010A - 020B - 040B - 060A - 080A - 130A - 140A - 190A - 210A - 260A - 300A - 310A - 320A - 330A 010A - 010B - 010C - 010D - 010E - 030A - 040A - 040C - 040D - 040E - 070A - 080A - 080B - 080C - 090A - 100A - 100B - 100C - 100D - 100E - 100F - 100G - 100H - 100K - 100L - 100M - 100N - 100P - 120A - 120B - 130A - 220A - 220B - 260A - 260B - 280B - 280C 100A - 100B - 160A - 190A - 190B - 190C - 210A - 210B - 210C - 210D - 210E - 220A - 220B - 290A - 290B 020A - 190A - 210A - 230A - 230B - 350A - 380A - 470A - 490A - 570A - 610A - 660A



critère de qualité

(mg/l pour l'alcalinité et unités pour le pH)

TABLEAU 3.31 Identification, pour chaque paramètre du groupe 2 des stations, par région où les critères d'utilisation pour la récréation ne sont pas respectés (période 1967-1975)

Paramètre et critère	Région	Stations
pH max. 	01	080A - 150A - 160A - 280A
	02	040A - 050A - 080A - 140B - 140G - 160A - 210A - 310A - 330A - 340A - 340E - 340K - 400A
	03	010A - 010C - 020H - 020X - 020Y - 020Z - 021E - 021F - 030B - 030C - 030E - 030K - 030M - 030N - 030P - 030T - 040A - 040B - 090A
	04	010D - 080B - 640A - 670A
	05	100A - 100E
pH min. 	01	100A - 300A
	02	250A - 310A - 310C - 330A - 340A - 340B - 340D
	03	010B - 020A - 021B - 021C - 021D - 030B - 030D - 040A
	04	010A - 060A - 190A - 260A - 320A - 320B
	05	010A - 010B - 010C - 010D - 010E - 030A - 040A - 040D - 040E - 070A - 080A - 080C - 080D - 090A - 100A - 100B - 100C - 100D - 100E - 100F - 100G - 100H - 100J - 100K - 100L - 100M - 100N - 100P - 120A - 120B - 130A - 220A - 260B - 280B
	06	100A - 100B - 160A - 190A - 210A - 210B - 210C - 210D - 220A - 220B - 290A - 290B
	07	120A - 190A - 210A - 350A - 380A - 470A - 490A - 570A - 610A - 660A
Couleur 	02	250A - 340E
	03	021D
	04	190A - 310A
	05	280B



critère de qualité (unités)

TABLEAU 3.32 Identification, pour chaque paramètre du groupe 2 des stations, par région où les critères d'utilisation pour l'alimentation ne sont pas respectés (période 1967-1975)

Paramètre et critère	Région	Stations
Solides dissous 605	03	040G
Dureté totale max. 180	03	030A - 090B
Dureté totale min. 13	02	340A - 360A
	04	080B - 190A - 260A
	05	010A - 010B - 010C - 010D - 030A - 040A - 040C - 040D - 040E - 080A - 080C - 090A - 100A - 100B - 100C - 100D - 100E - 100F - 100G - 100H - 100J - 100K - 100L - 100M - 100N - 100P - 120B - 130A - 280C
	06	100A - 100B - 160A - 190A - 190C - 210A - 210B - 210C - 210D - 210E - 220A - 220B - 290A - 290B
	07	020A - 190A - 210A - 230A - 230B - 350A - 380A - 470A - 490A - 570A - 610A - 660A
pH max. 8.7	02	040A - 160A - 210A - 310A
	03	020Z - 021E - 030B - 030C - 030E - 030M - 030P - 040A - 040B
	04	010D - 640A
	05	100E
pH min. 6.0	02	340A - 340B - 340D
	03	021C - 021D
	04	060A - 260C
	05	040A - 040E - 080A - 080C - 080D - 090A - 100A - 100B - 100C - 100D - 100E - 100H - 100P - 120A - 120B
	06	210A - 210B - 220B
	07	570A - 610A

☐ critère de qualité (mg/l, sauf pour le pH, en unités)

TABLEAU 3.32 (SUITE) Identification, pour chaque paramètre du groupe 2 des stations, par région où les critères d'utilisation pour l'alimentation ne sont pas respectés (période 1967-1975)

Paramètre et critère	Région	Stations
	03	010A - 010B - 010C - 010E - 020A - 020U - 020X - 020Y - 020Z - 021B - 021C - 021L - 030B - 030D - 030F - 030Y - 040A - 040B - 040G - 040H - 090A
	04	010A - 010G - 020A - 060C - 080C - 310A
	05	010A - 010G - 020A - 030A - 040A - 040C - 040F - 040G - 040H - 070A - 080A - 080C - 080D - 080F - 090A - 090B - 100A - 100B - 100C - 100D - 100E - 100F - 100G - 100H - 100J - 100K - 100L - 100M - 100N - 100P - 120A - 120B - 130A - 150A - 150B - 190A - 220B - 220C - 240A - 260B - 260C - 280B - 280C - 300A
	06	100A - 100B - 160A - 190A - 210A - 210B - 210C - 210D - 290A - 290B
	07	010A - 020B - 030A - 050A - 230A - 350A - 380A - 490A - 570A - 660A
Manganèse <input type="checkbox"/> .05	01	300A
	02	250D - 270B - 310A - 310D - 330A - 340A - 340B - 340D - 340E - 340G - 340H - 340J - 340K - 360A - 370A - 390A - 400A - 400E
	03	010A - 010B - 010C - 010E - 020A - 020Y - 020Z - 021B - 021C - 021L - 030B - 030F - 030Y - 040B - 040G - 090A
	04	010A - 010C - 010D - 020A - 080C
	05	010A - 020A - 030A - 040C - 040G - 040H - 070A - 080C - 080D - 090B - 100P - 120A - 120B - 150A - 220C - 240A - 260B - 260C - 280B - 280C - 300A
	06	100A - 100B - 290B
	07	020B

critère de qualité (mg/l)

TABLEAU 3.32 (SUITE) Identification, pour chaque paramètre du groupe 2 des stations, par région où les critères d'utilisation pour l'alimentation ne sont pas respectés (période 1967-1975)

Paramètre et critère	Région	Stations
Couleur 50	02	140K - 190A - 250A - 250C - 270A - 330A - 340A - 340B - 340E - 340F - 340L - 400A
	03	020X - 020Y - 021B - 021D - 040B - 090A
	04	010D - 190A - 300A - 310A
	05	280B
	06	190A - 210A - 210B - 210C - 290B
Alcalinité max. 82	01	080A - 090A - 100A - 100B - 120A - 150A - 150B - 280A
	02	040A - 050A - 060A - 080A - 140B - 150A - 160A - 170A - 190A - 210A - 340J
	03	010A - 010C - 010D - 020H - 020S - 020T - 020W - 020X - 021E - 030A - 030B - 030C - 030D - 030E - 030H - 090A - 090B
	05	190A
Alcalinité min. 7	03	020H - 021C
	04	080B - 190A - 260A
	05	010A - 010C - 010D - 030A - 040A - 040D - 040E - 080A - 080C - 090A - 100A - 100B - 100C - 100D - 100E - 100G - 100H - 100K - 100M - 100N - 100P - 120B - 130A - 150A - 220A - 220B
	06	100B - 190A - 210A - 210B - 210C - 210D - 220A - 220B - 290B
	07	190A - 210A - 350A - 380A - 470A - 490A - 570A - 610A - 660A
Fer 3	01	100A - 150A - 280A - 300A
	02	040A - 140A - 140B - 140C - 140D - 140E - 140F - 140G - 200A - 230A - 250A - 250D - 310A - 330A - 340A - 340B - 340D - 340E - 340F - 340G - 340H - 340J - 340K - 360A - 370A - 390A - 400A - 400E

critère de qualité (mg/l, sauf pour la couleur, en unités)

TABLEAU 3.33 Signification des autocorrélations: distribution des codes selon les régions

		Région							TOTAL
		Code	01	02	03	04	05	06		07
CLASSE 1	1, 0 *	6	0	2	1	4	1	3	17
	2, 0	8	18	9	12	14	8	2	71
	2, 1	7	3	6	7	6	3	0	32
	TOTAL	21	21	17	20	24	12	5	120
CLASSE 2	0, 0	3	3	7	1	0	7	22	43
	1, 1	2	0	0	1	0	1	1	5
	2, 2	4	6	6	7	6	9	1	39
	TOTAL	9	9	13	9	6	17	24	87
CLASSE 3	0, 1	0	0	0	0	0	1	1	2
	0, 2	0	0	0	0	0	0	0	0
	1, 2	0	0	0	1	0	0	0	1
	TOTAL	0	0	0	1	0	1	1	3

* code (x, y) $\left\{ \begin{array}{l} x = \text{code hebdomadaire} \\ y = \text{code mensuel} \end{array} \right.$

TABLEAU 3.34 Signification des autocorrélations: distributions des codes selon les paramètres

	Paramètre	Silice	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Sulfates	Chlorures	Nitrates	Phosphates	Conductivité	TOTAL
	Code											
CLASSE 1	1, 0 *	0	5	4	0	2	0	4	0	2	0	17
	2, 0	5	7	10	12	7	4	6	2	9	9	71
	2, 1	6	2	3	1	4	4	2	3	3	4	32
	TOTAL	11	14	17	13	13	8	12	5	14	13	120
CLASSE 2	0, 0	3	4	1	6	4	5	6	3	6	5	43
	1, 1	0	0	0	0	1	2	1	1	0	0	5
	2, 2	7	3	3	2	1	6	2	11	1	3	39
	TOTAL	10	7	4	8	6	13	9	15	7	8	87
CLASSE 3	0, 1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
	0, 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1, 2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
	TOTAL	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	3

* code (x, y) $\left\{ \begin{array}{l} x = \text{code hebdomadaire} \\ y = \text{code mensuel} \end{array} \right.$

TABLEAU 3.36 Coefficients de variation C_v ($C_v = \text{écart-type/moyenne}$) des paramètres des groupes 1 et 2A calculés aux 21 stations retenues (Période 1970-75)

	GROUPE 1										GROUPE 2A				
	Silice	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Sulfates	Chlorures	Nitrates	Phosphates	Conductivité	Bicarbonates	Dureté totale	Dureté non carbonatée	pH	Alcalinité
01080A	0.15	0.18	0.15	0.21	0.41	0.26	0.38	0.50	0.67	0.17	0.10	0.09	1.08	.03	0.09
01100B	0.16	0.23	0.24	0.31	0.49	0.37	0.41	0.58	0.67	0.21	0.19	0.20	1.03	.03	0.18
01120A	0.13	0.25	0.20	0.30	0.45	0.31	0.46	0.51	0.82	0.24	0.20	0.16	1.31	.05	0.18
02140B	0.21	0.28	0.27	0.40	0.39	0.33	0.49	0.58	0.70	0.25	0.26	0.24	0.64	.04	0.26
02200A	0.26	0.16	0.24	0.26	0.23	0.34	0.44	0.85	0.79	0.17	0.17	0.16	0.61	.04	0.17
02340A	0.50	0.27	0.34	0.49	0.30	0.29	0.60	0.84	0.99	0.29	0.32	0.26	0.44	.06	0.28
03020A	0.39	0.21	0.30	0.43	0.20	0.29	0.39	0.72	0.86	0.20	0.20	0.15	0.44	.06	0.19
03030B	0.62	0.23	0.40	0.59	0.34	0.25	0.64	0.58	0.92	0.33	0.28	0.24	0.36	.06	0.28
03090A	0.47	0.20	0.30	0.48	0.31	0.38	0.47	0.76	0.67	0.20	0.21	0.21	0.48	.04	0.22
04020A	0.34	0.64	1.03	0.55	0.55	0.54	0.54	0.77	1.17	0.59	-	-	-	-	-
04080C	0.22	0.28	0.22	0.26	0.26	0.24	0.49	0.73	0.64	0.22	-	-	-	-	-
04310A	0.32	0.25	0.26	0.30	0.21	0.27	0.41	0.79	0.99	0.21	0.33	0.23	0.34	.04	0.33
05090A	0.43	0.29	0.33	0.57	0.45	0.34	0.63	1.03	1.45	0.31	0.28	0.24	0.62	.04	0.34
05070A	0.23	0.20	0.21	0.36	0.27	0.28	0.45	0.46	0.72	0.20	0.29	0.22	0.59	.04	0.22
05280C	0.34	0.25	0.33	0.43	0.44	0.38	0.48	0.60	1.28	0.22	0.32	-	-	-	-
05100A	0.35	0.22	0.23	0.23	0.35	0.30	0.31	0.53	0.56	0.17	0.22	0.19	0.48	.04	0.23
06190A	0.37	0.27	0.32	0.38	0.36	0.32	0.60	1.01	0.86	0.21	0.23	0.18	0.65	.04	0.21
05290B	0.38	0.27	0.27	0.32	0.36	0.31	0.47	0.77	4.05	0.20	0.27	0.21	0.52	.05	0.25
07020B	0.40	0.21	0.20	0.29	0.30	0.25	0.50	0.82	0.44	0.15	-	-	-	-	-
07190A	0.78	0.19	0.20	0.55	0.63	0.20	0.40	0.65	0.51	0.11	-	-	-	-	-
07230C	0.58	0.53	0.53	0.97	0.68	0.45	0.74	1.05	0.83	0.57	-	-	-	-	-

(-): données insuffisantes

FIGURES

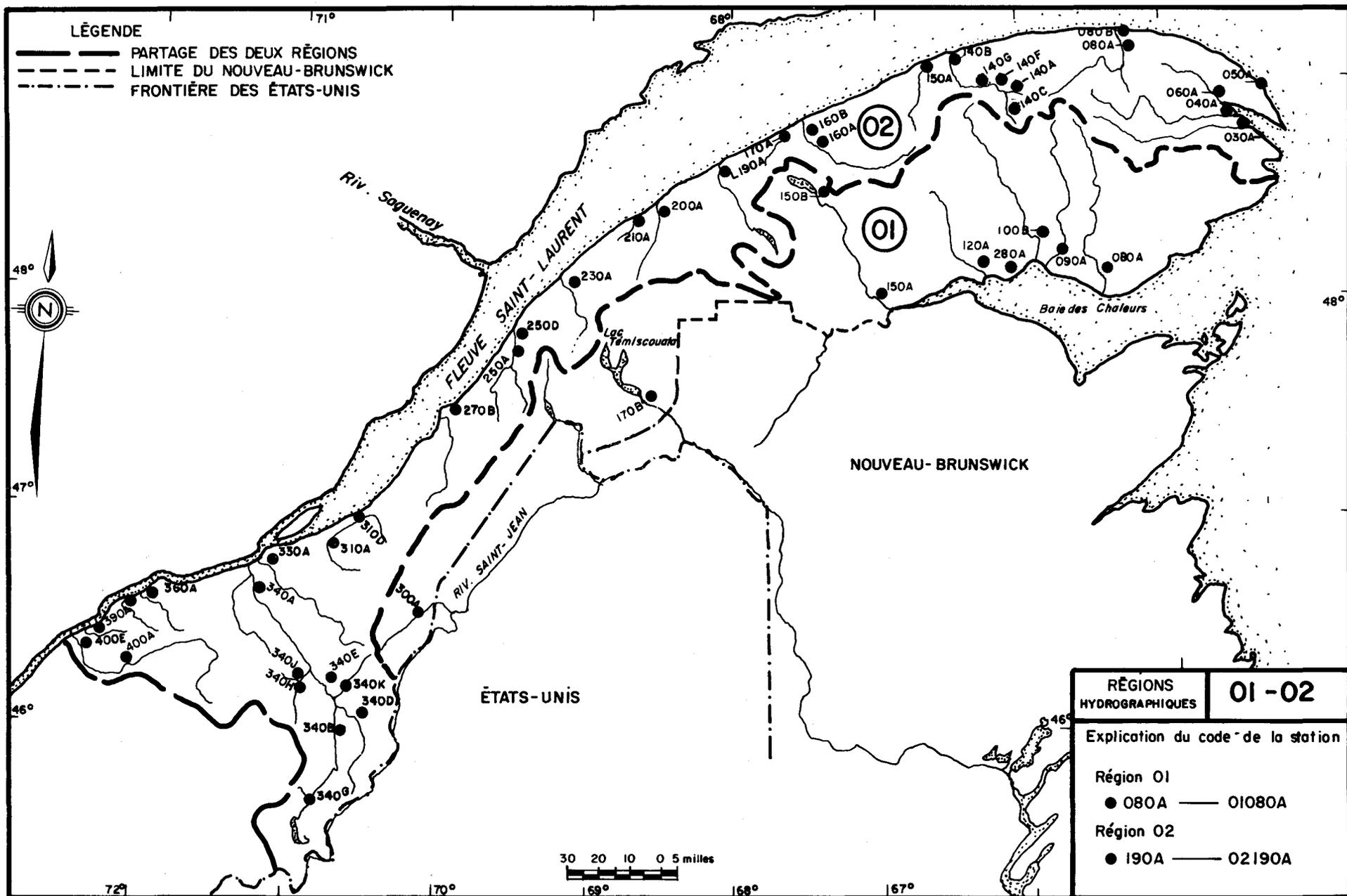


Figure 2.1 . Localisation et identification des stations d'échantillonnage des régions hydrographiques 01 et 02.

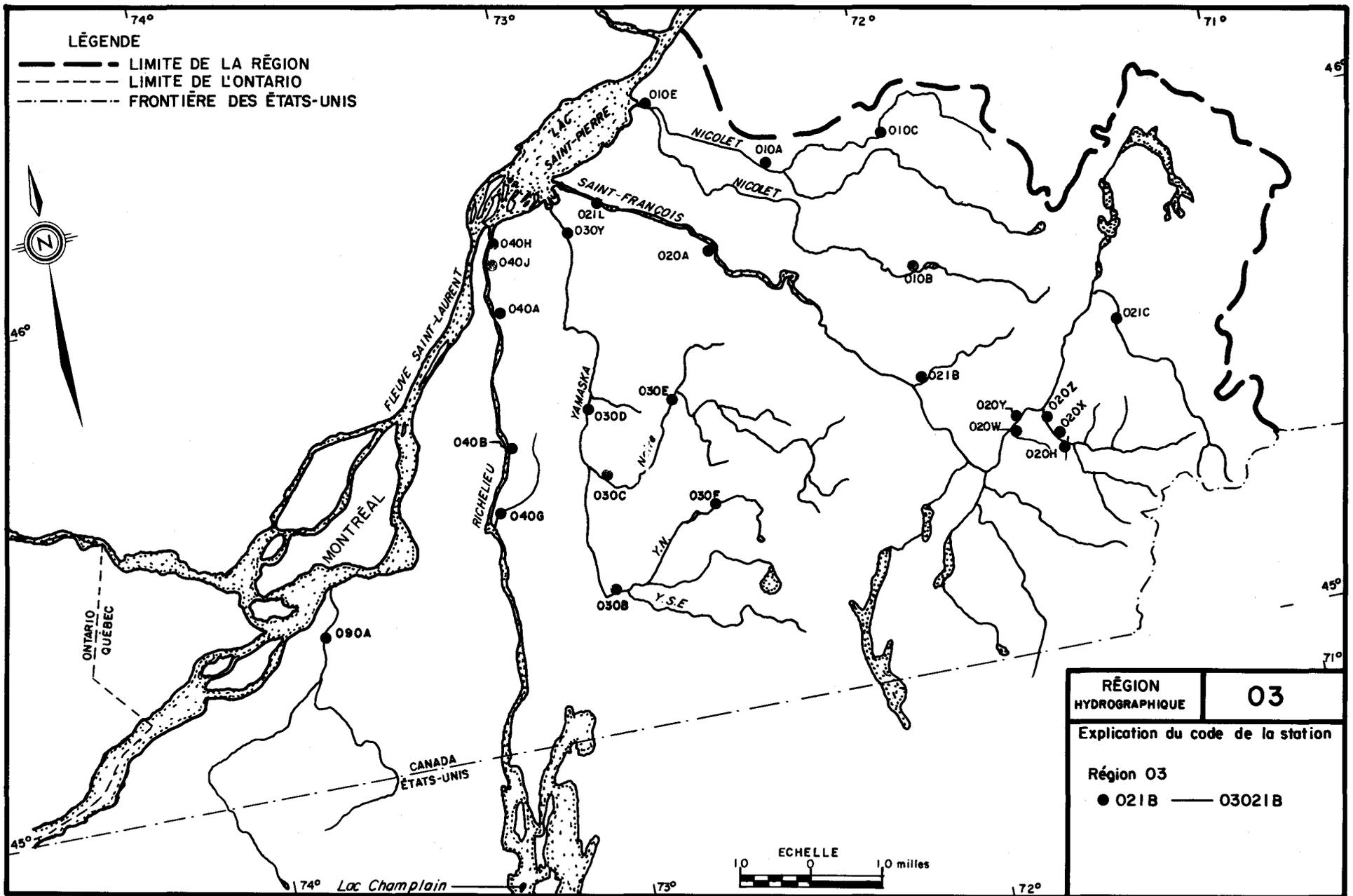


Figure 2.2 . Localisation et identification des stations d'échantillonnage de la région hydrographique 03.

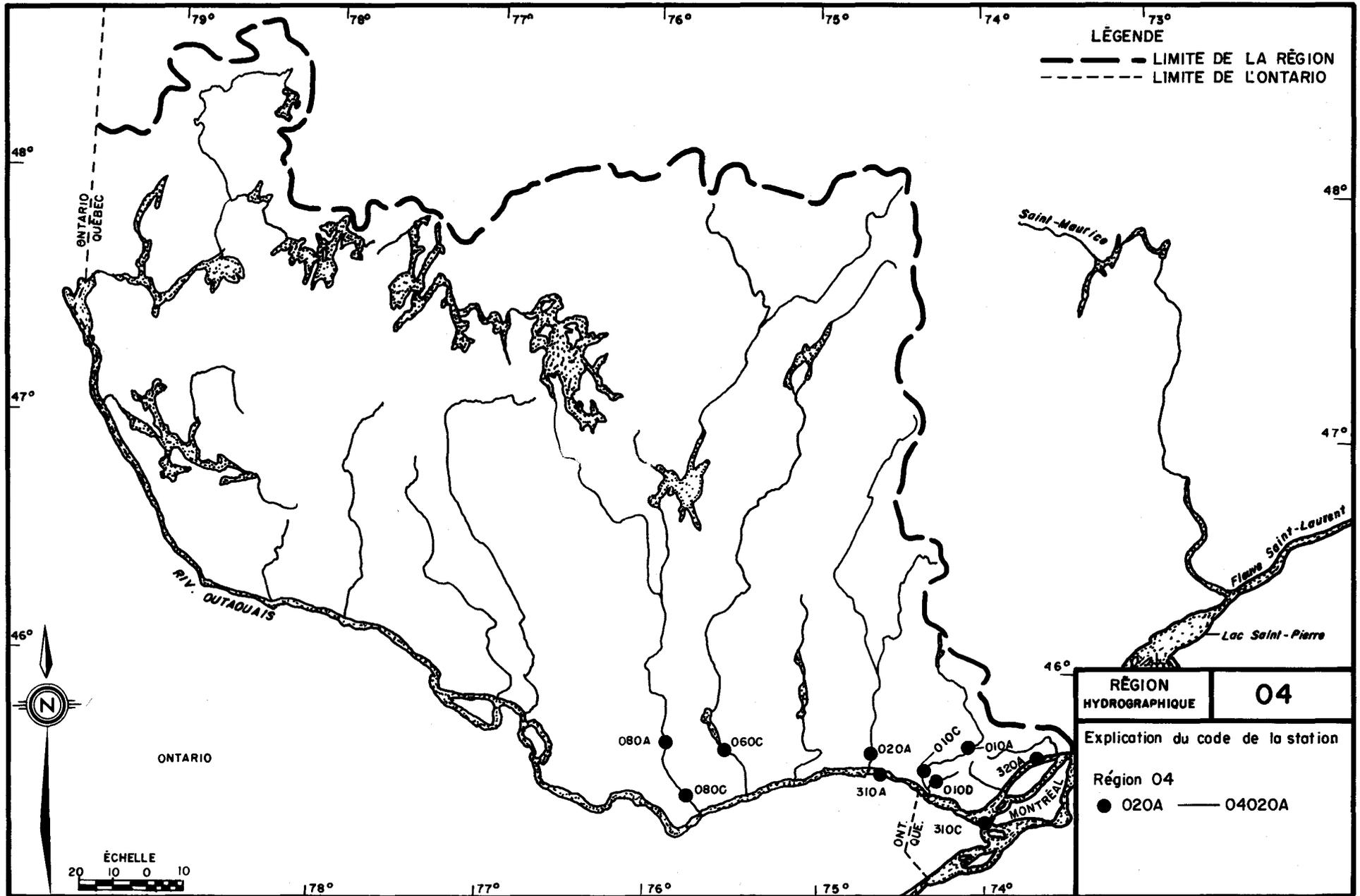


Figure 2.3 . Localisation et identification des stations d'échantillonnage de la région hydrographique 04.

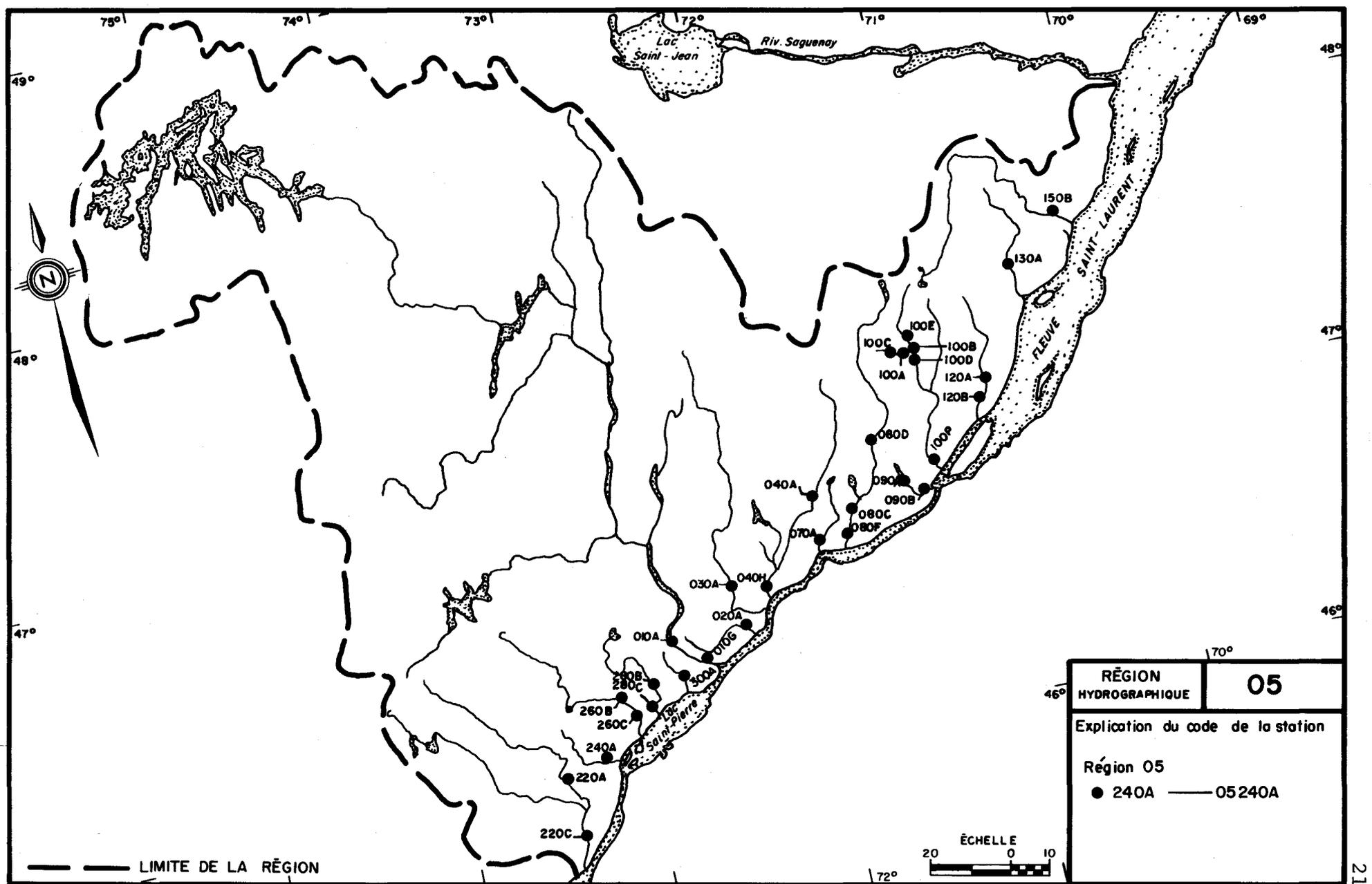


Figure 2.4 . Localisation et identification des stations d'échantillonnage de la région hydrographique 05.

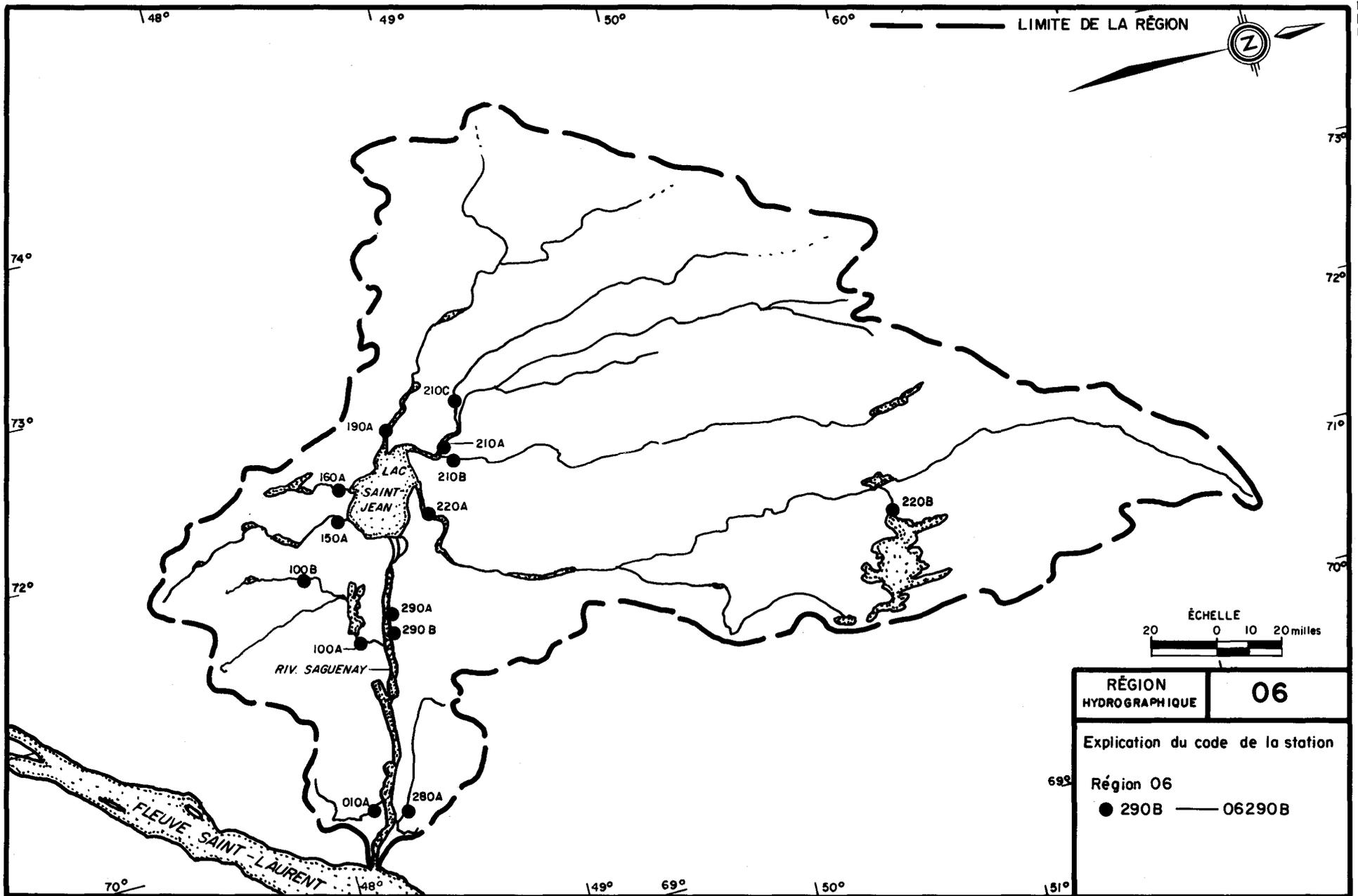


Figure 2.5 . Localisation et identification des stations d'échantillonnage de la région hydrographique 06.

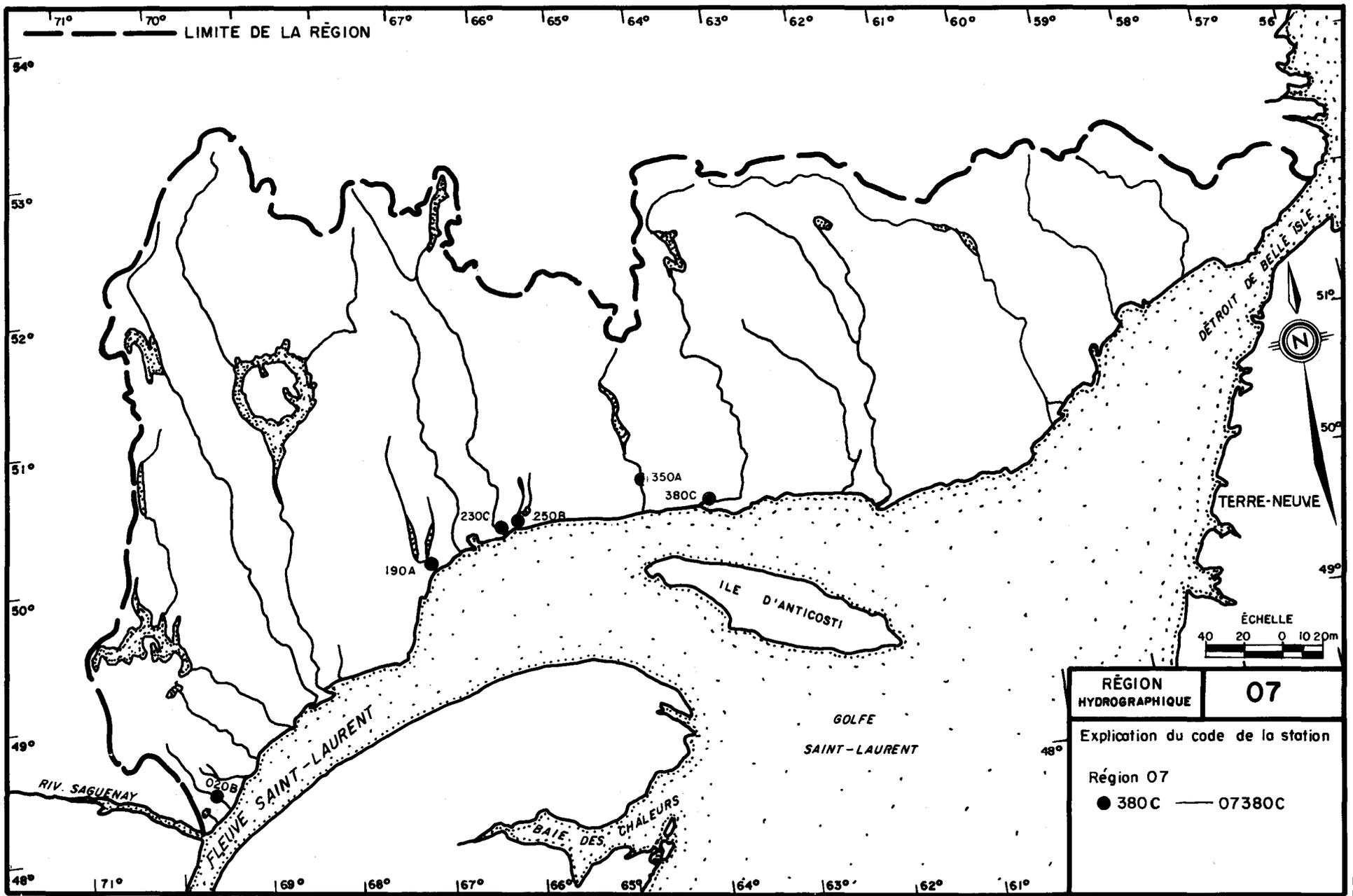


Figure 2.6. Localisation et identification des stations d'échantillonnage de la région hydrographique 07.

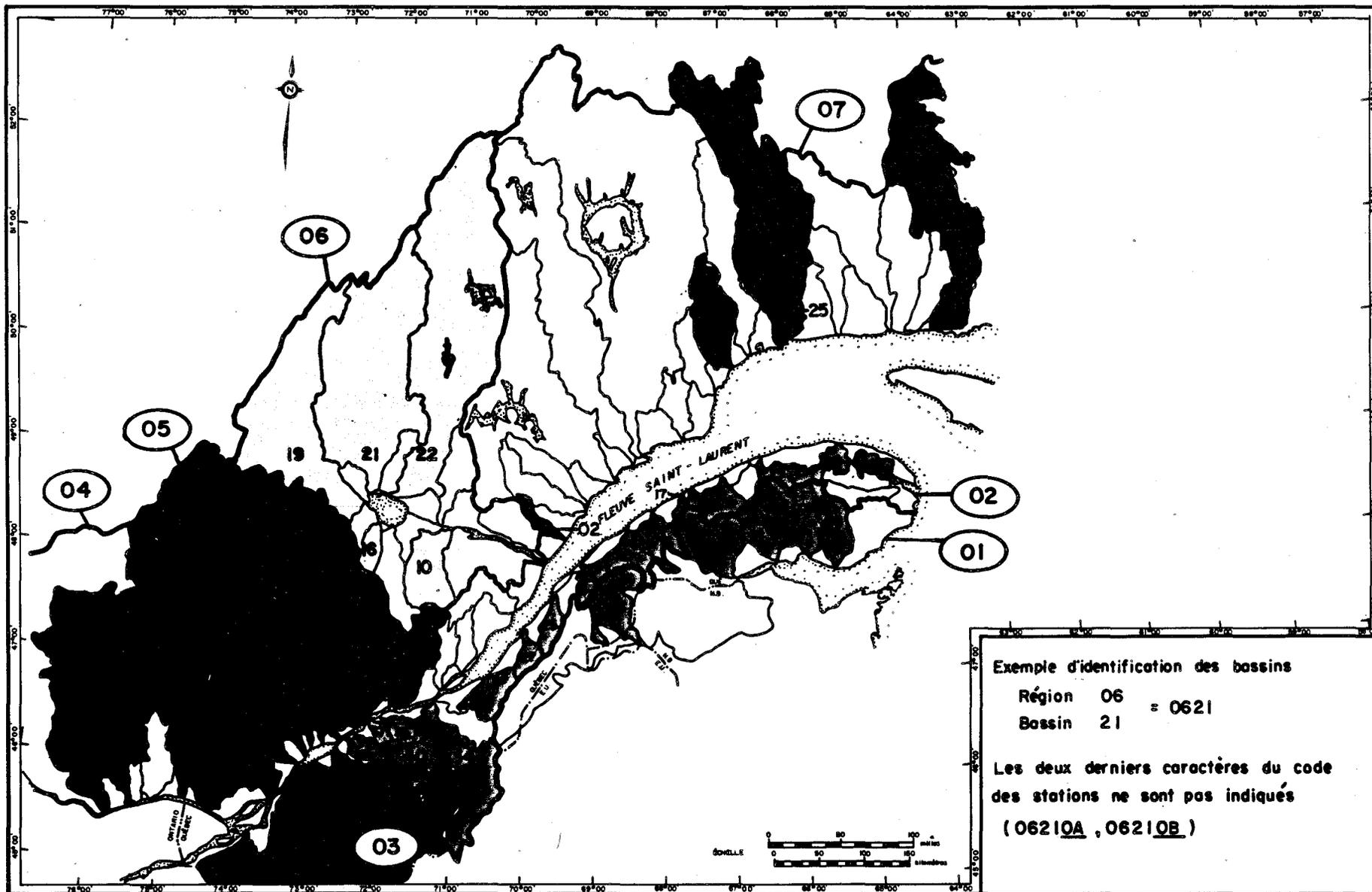


Figure 3.1. Localisation des bassins versants considérés dans l'étude spatiale (période 1973-75).

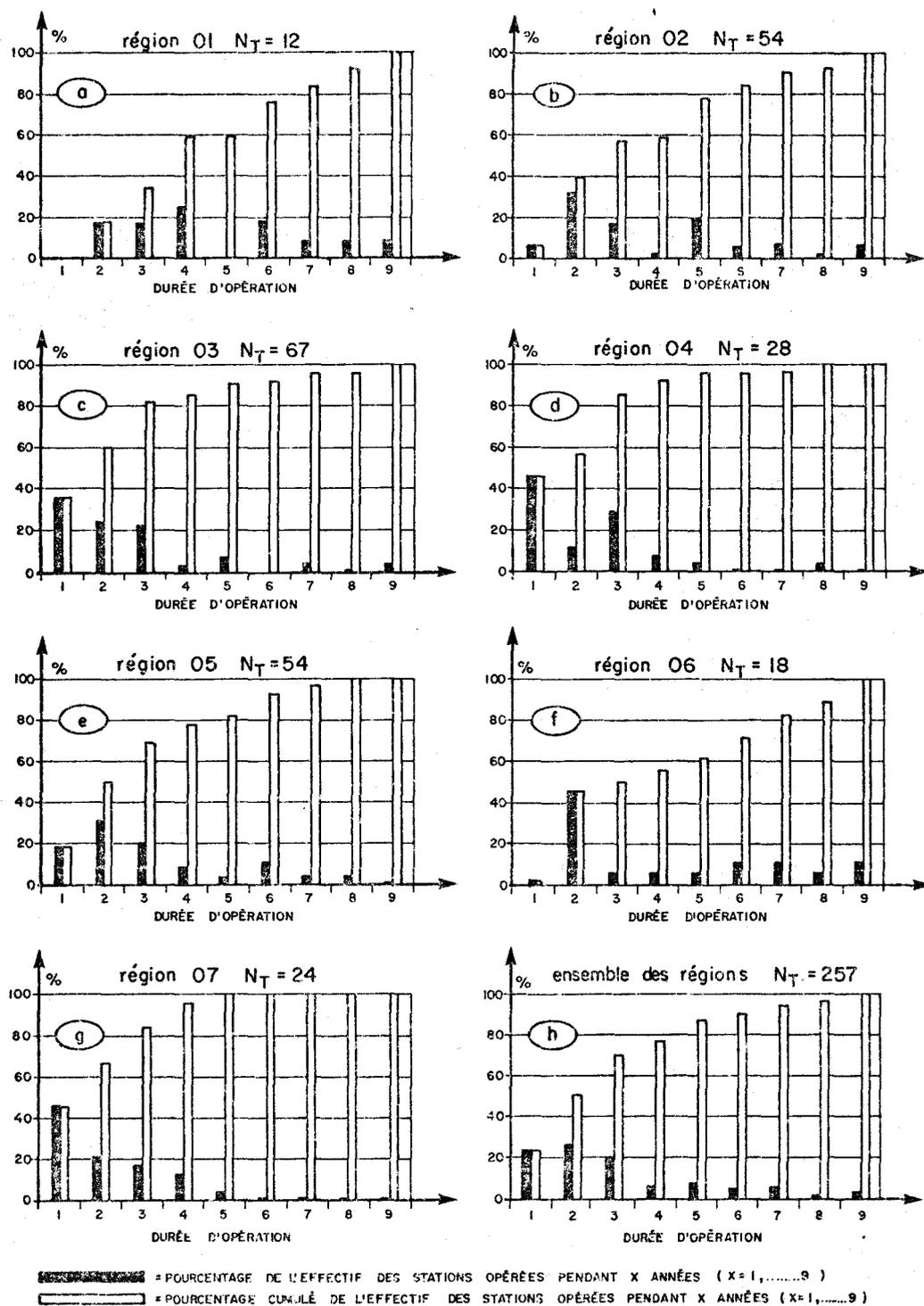


Figure 2.8 . Répartition de l'effectif (N_T) des stations échantillonnées suivant les années pour chaque région .

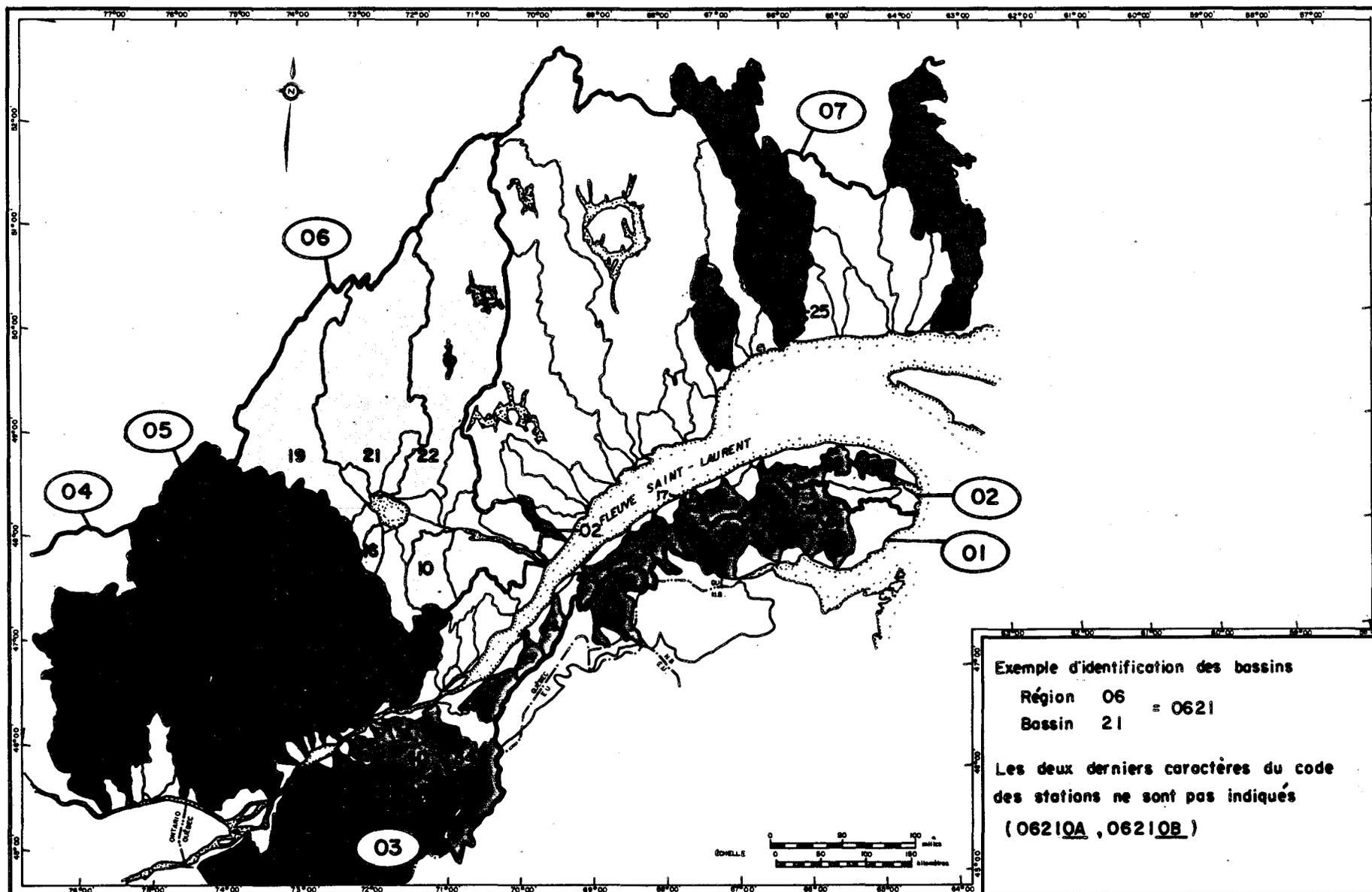


Figure 3.1. Localisation des bassins versants considérés dans l'étude spatiale (période 1973-75).

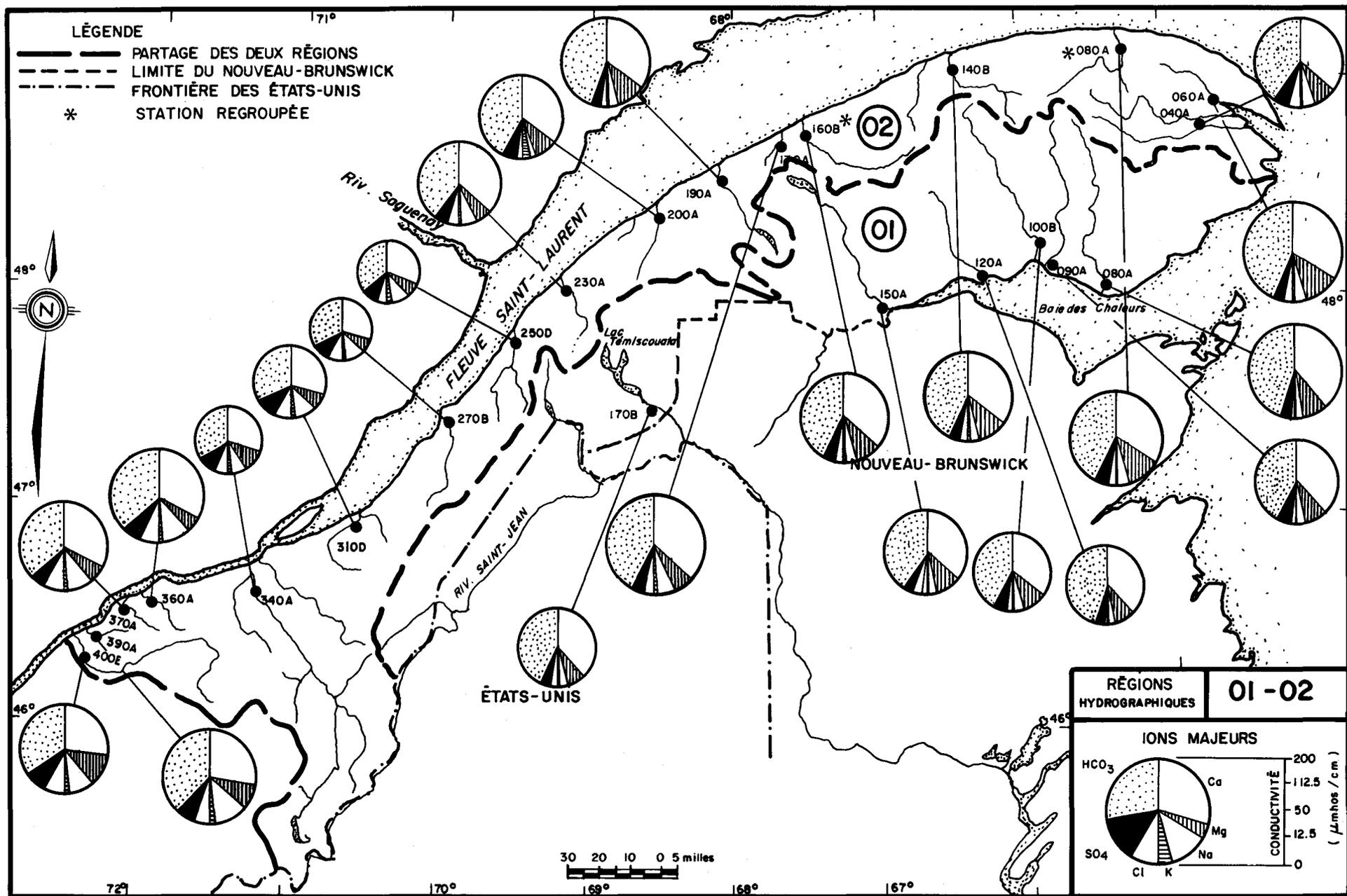


Figure 3.2. Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations des régions 01 et 02 : moyennes interannuelles (période 1973-75)

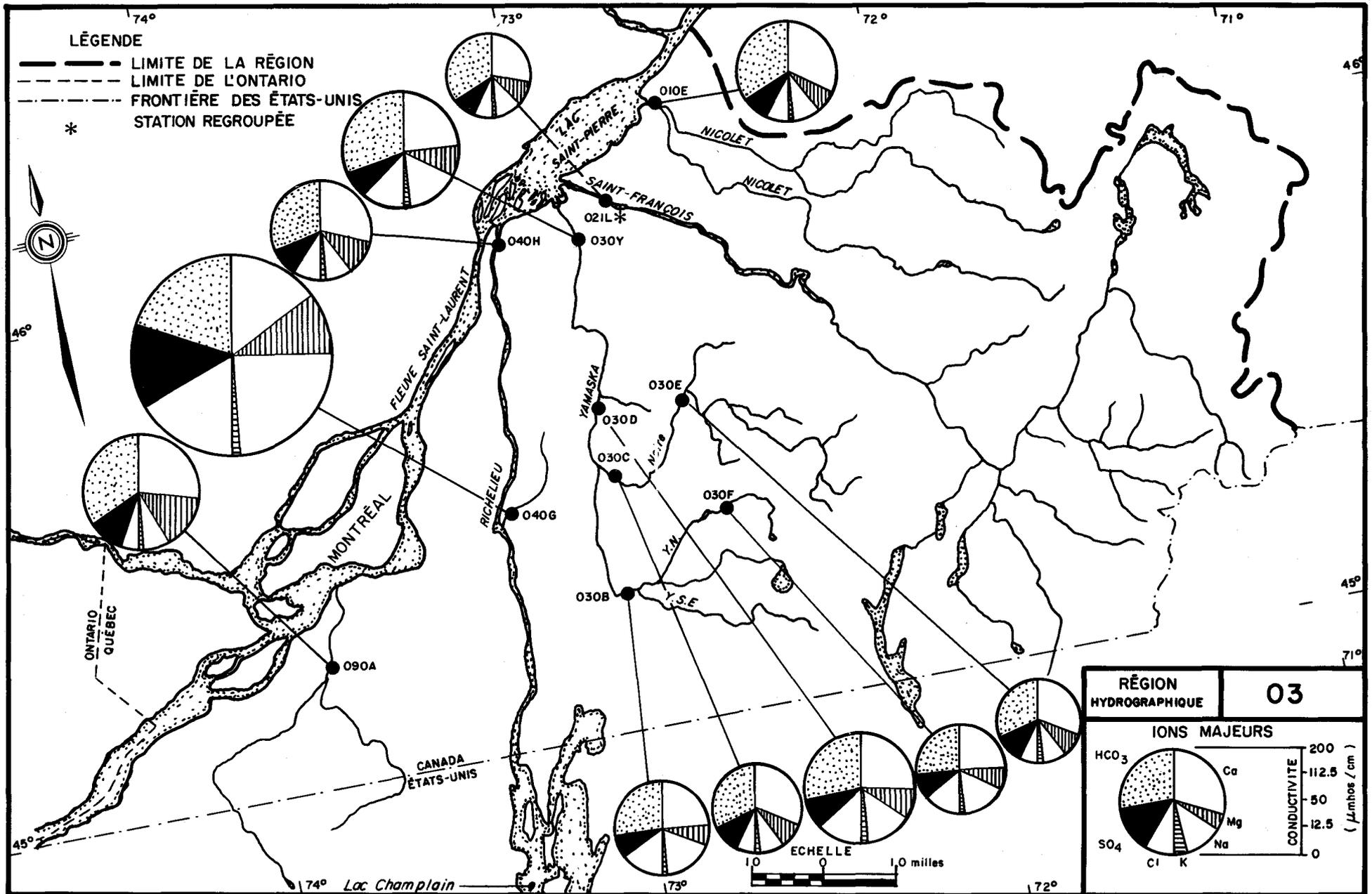


Figure 3.3 . Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 03 : moyennes interannuelles (période 1973 - 75).

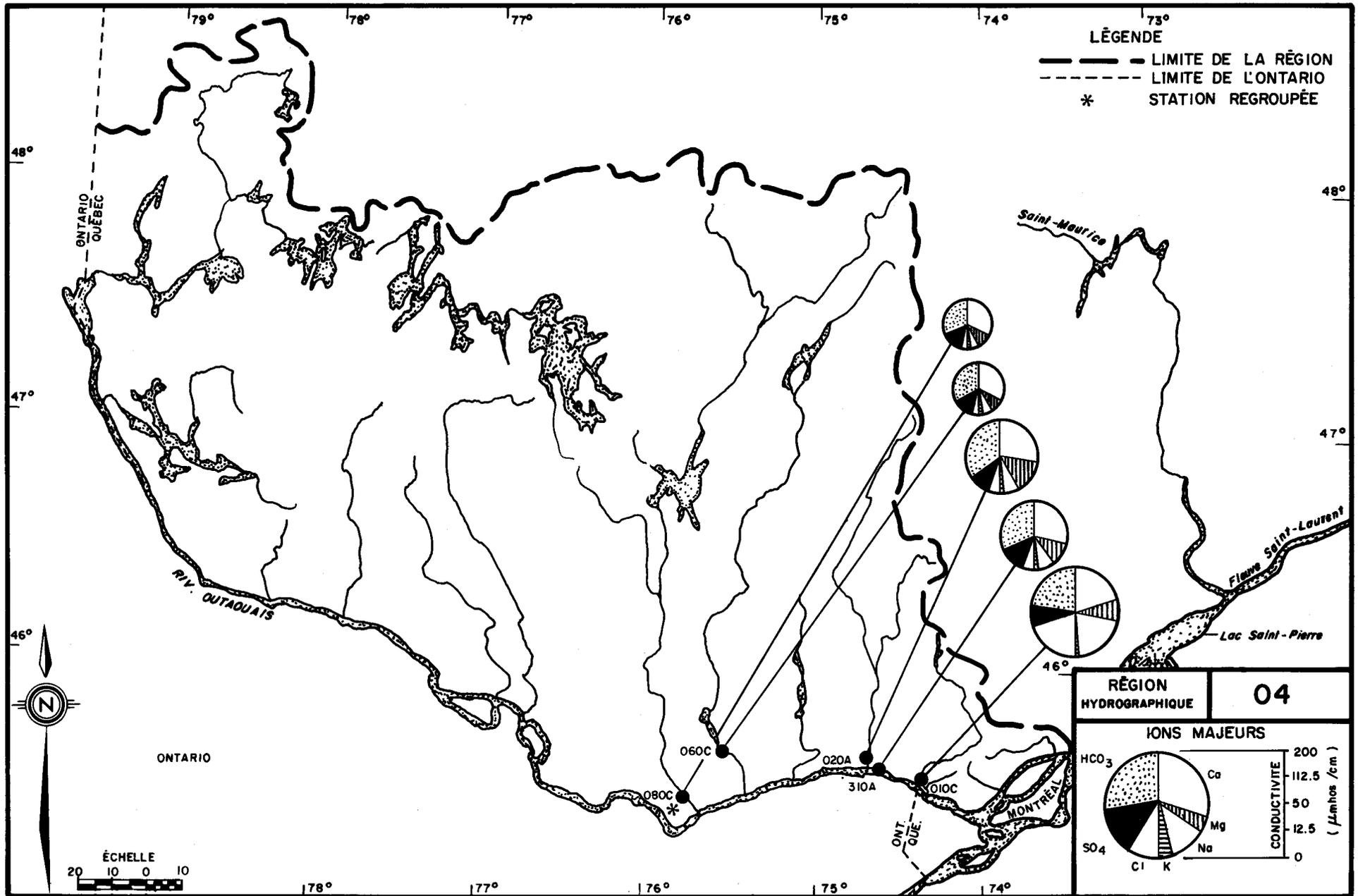


Figure 3.4. Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 04 : moyennes interannuelles (période 1973-75) .

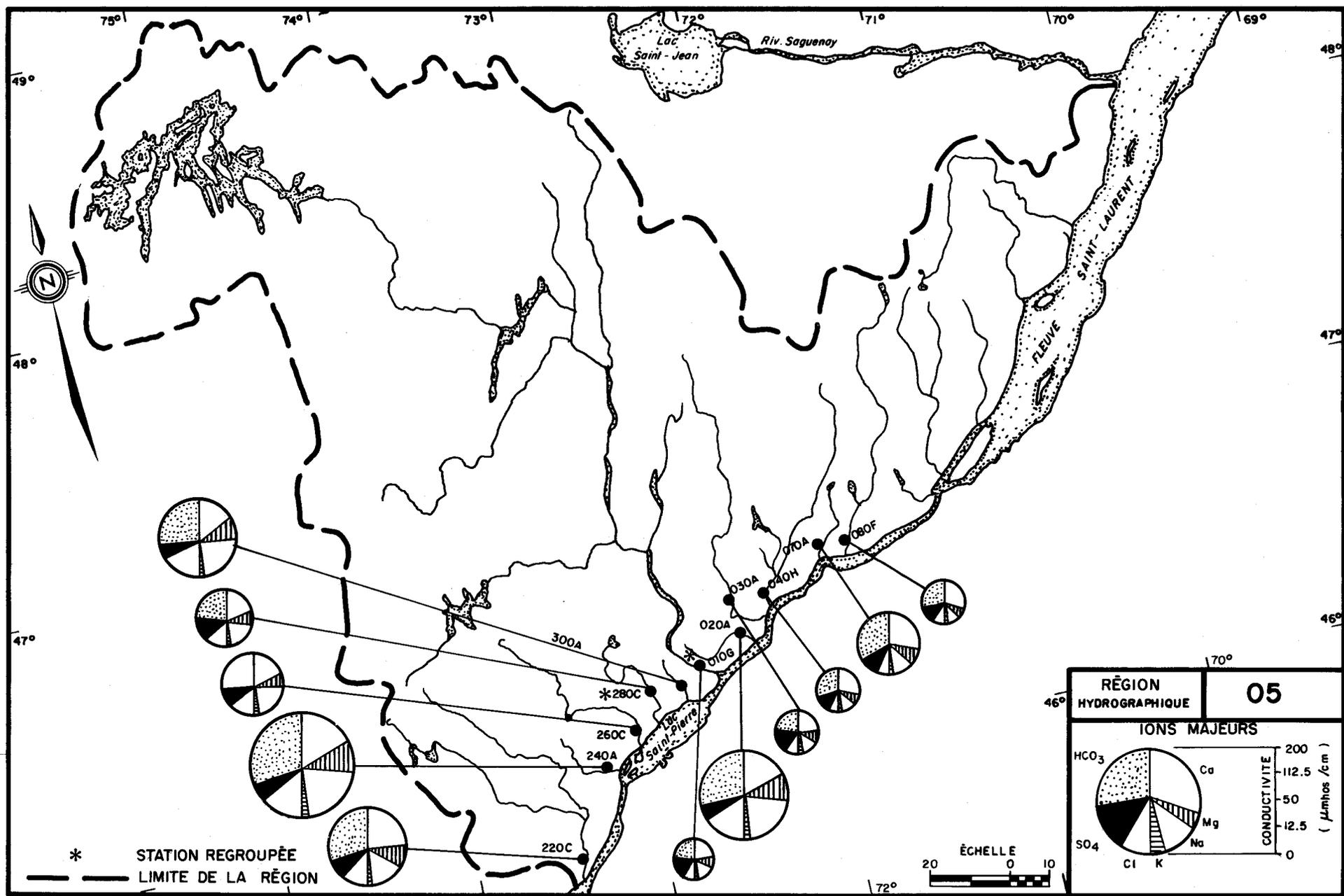


Figure 3.5. Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 05 : moyennes interannuelles (période 1973 - 75).

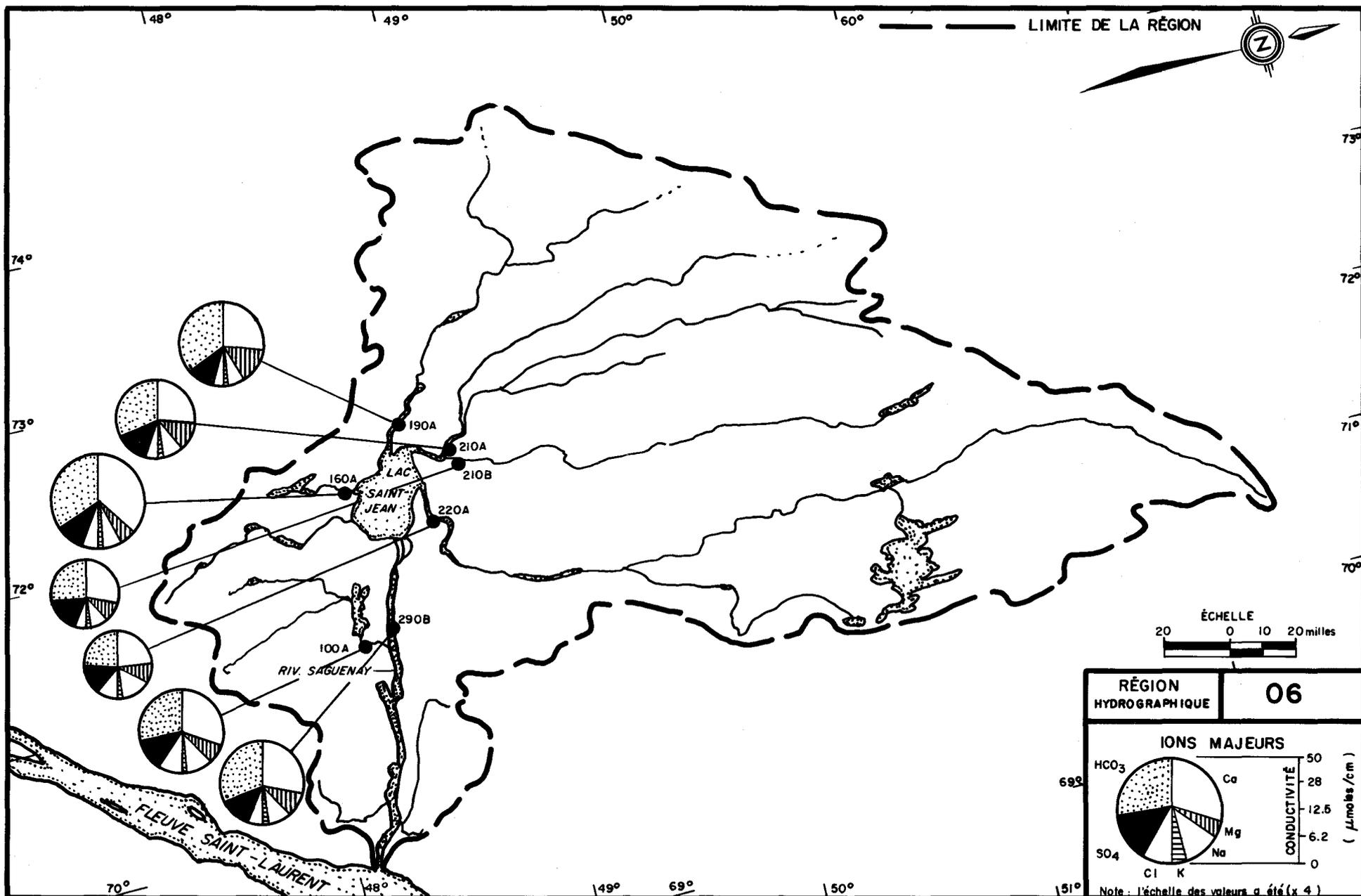


Figure 3.6. Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 06 : moyennes interannuelles (période 1973-75).

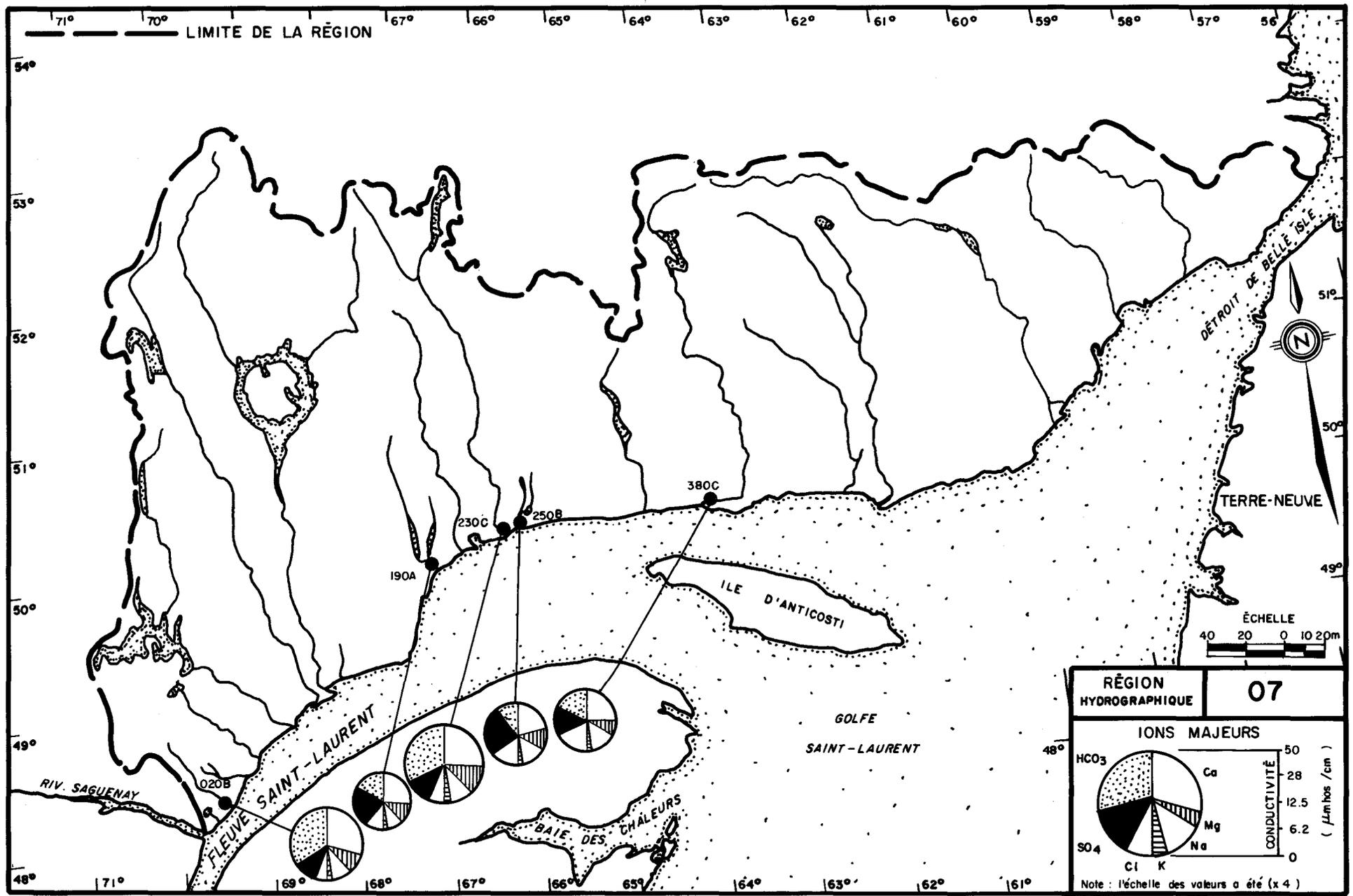


Figure 3.7. Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 07 : moyennes interannuelles (période 1973-75) .

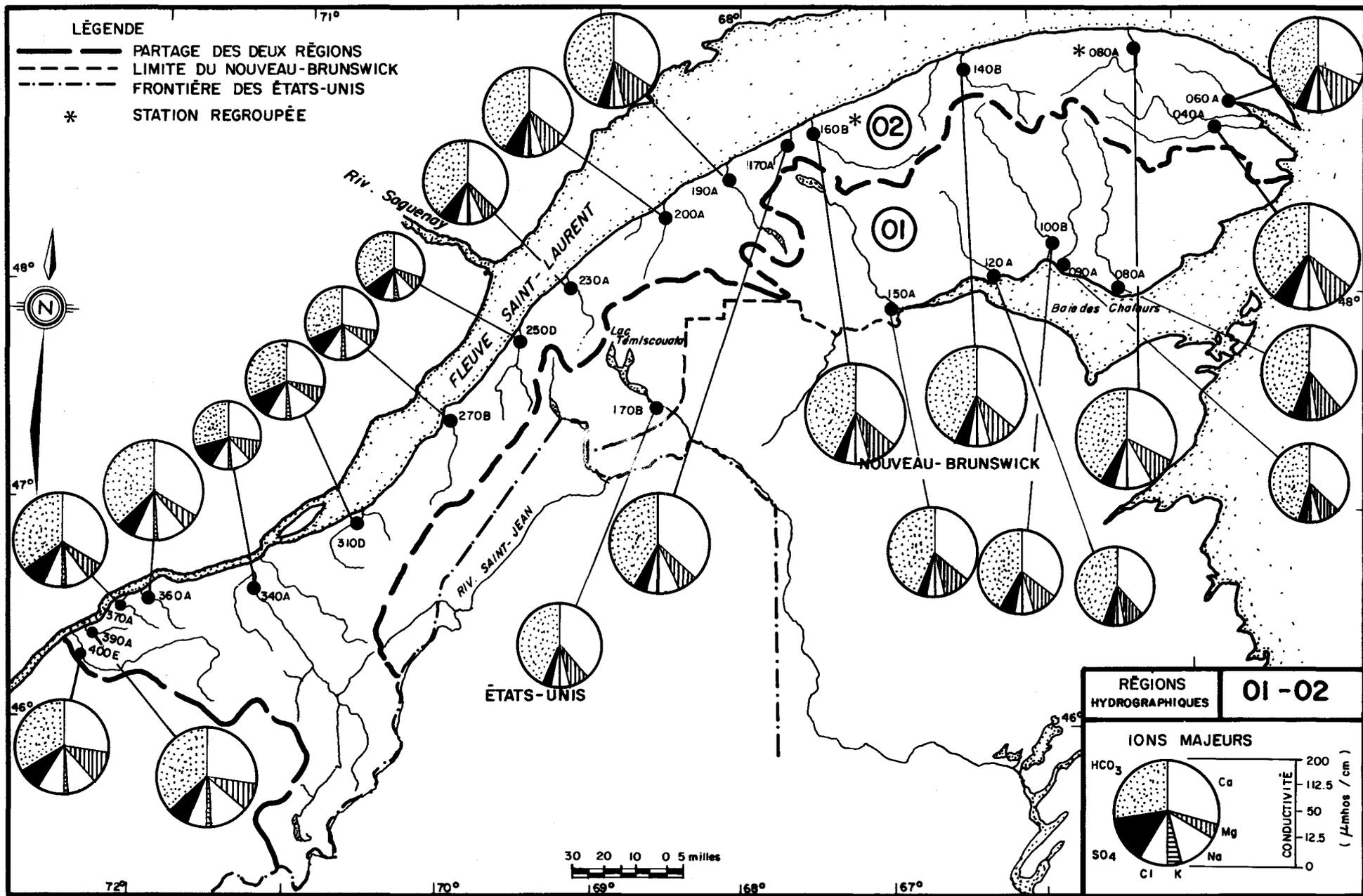


Figure 3.8. Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations des régions 01 et 02 : moyennes d'hiver (période 1973-75)

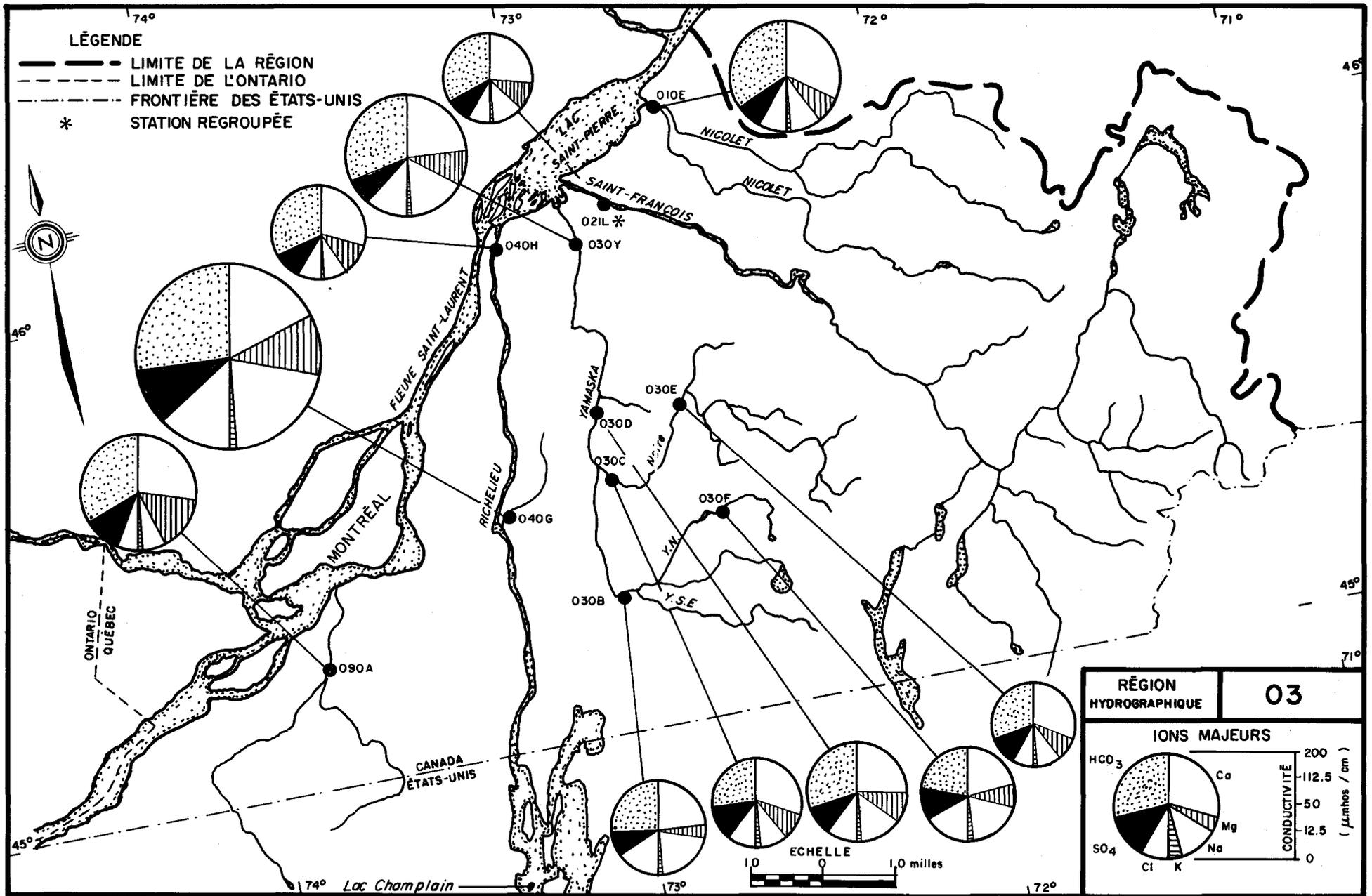


Figure 3.9. Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 03 : moyennes d'hiver (période 1973 -75).

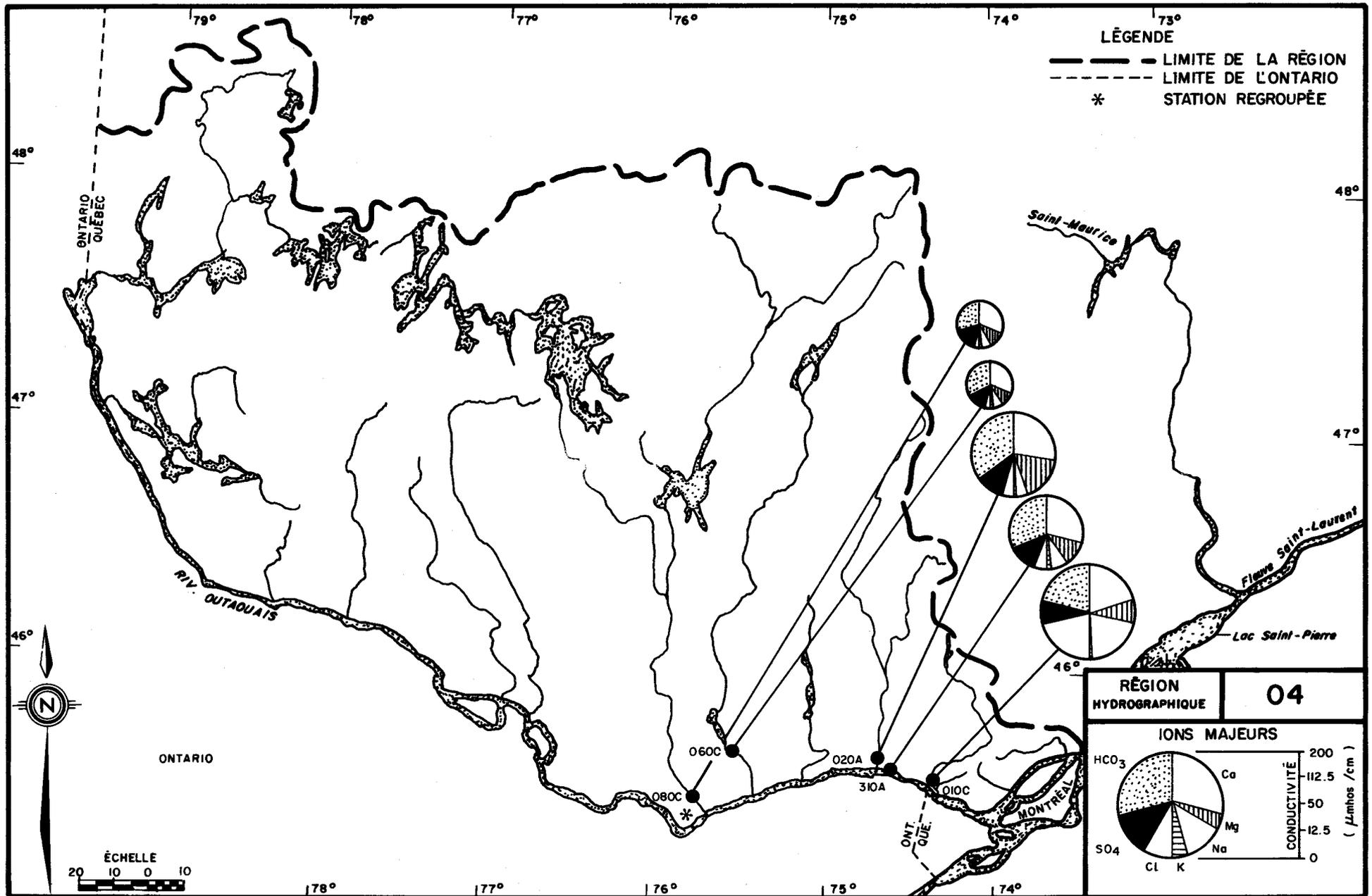


Figure 3. 10 . Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 04 : moyennes d'hiver (période 1973-75).

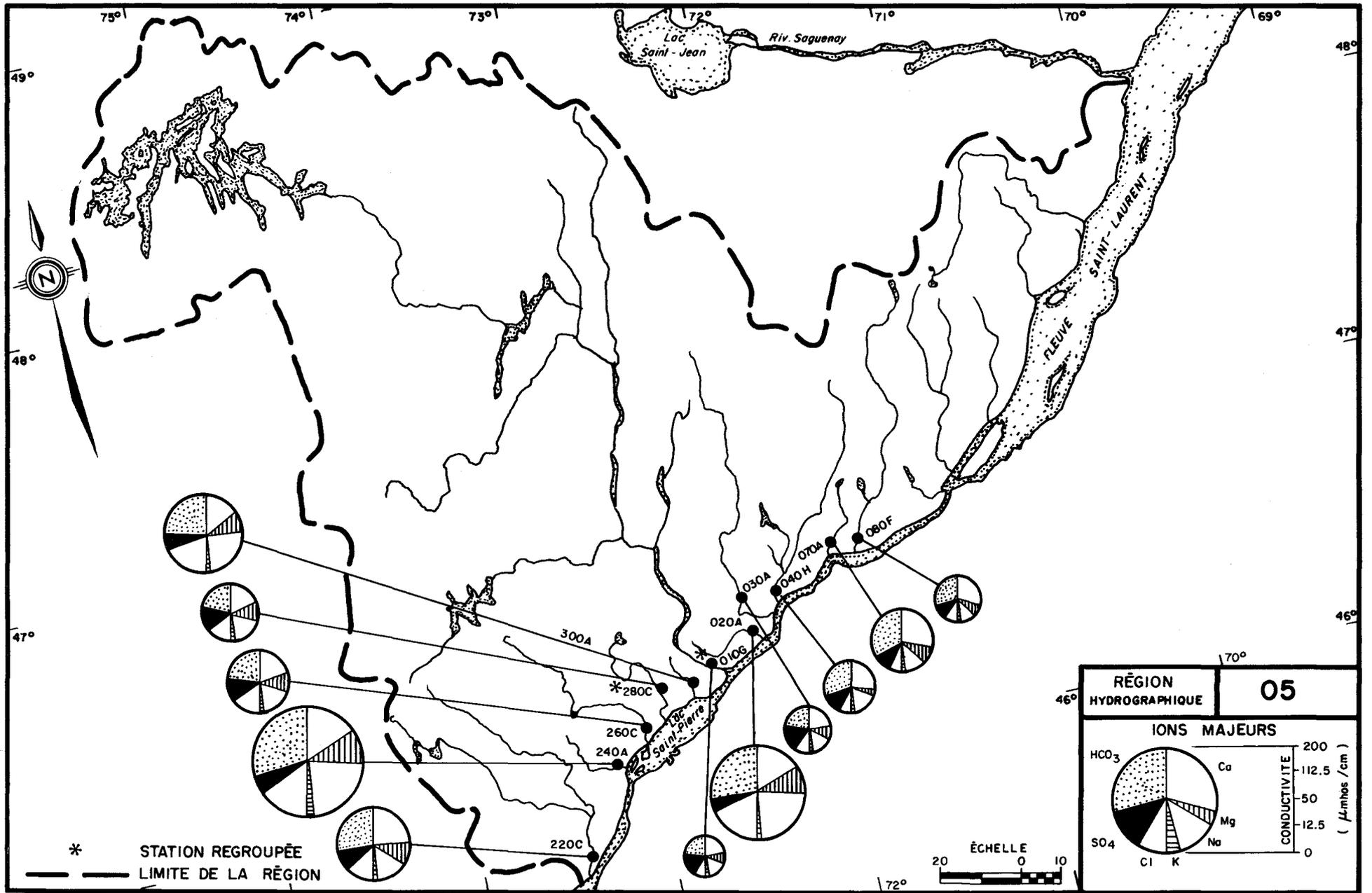


Figure 3.11. Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 05 : moyennes d'hiver (période 1973-75).

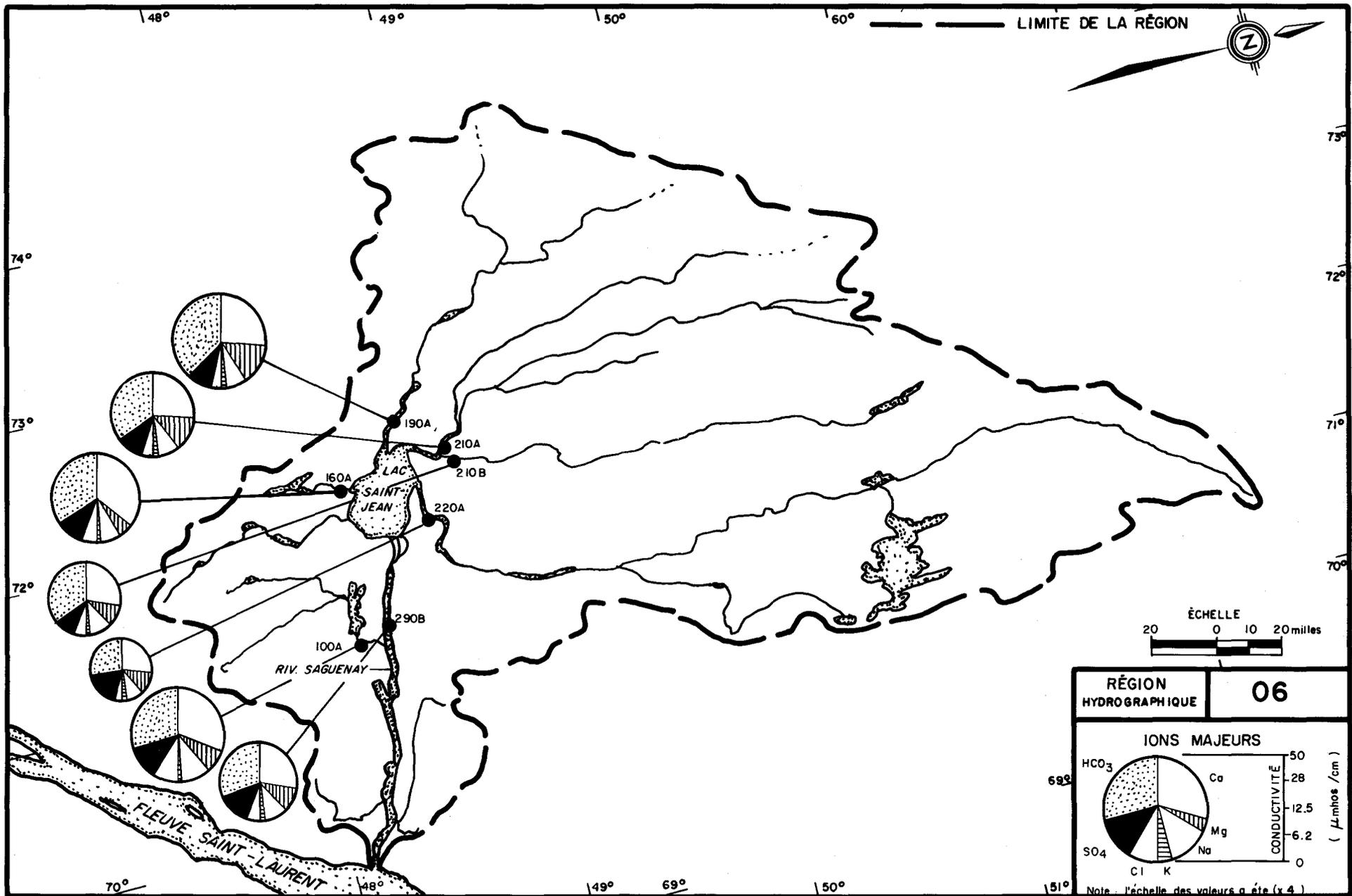


Figure 3.12. Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 06 : moyennes d'hiver (période 1973-75).

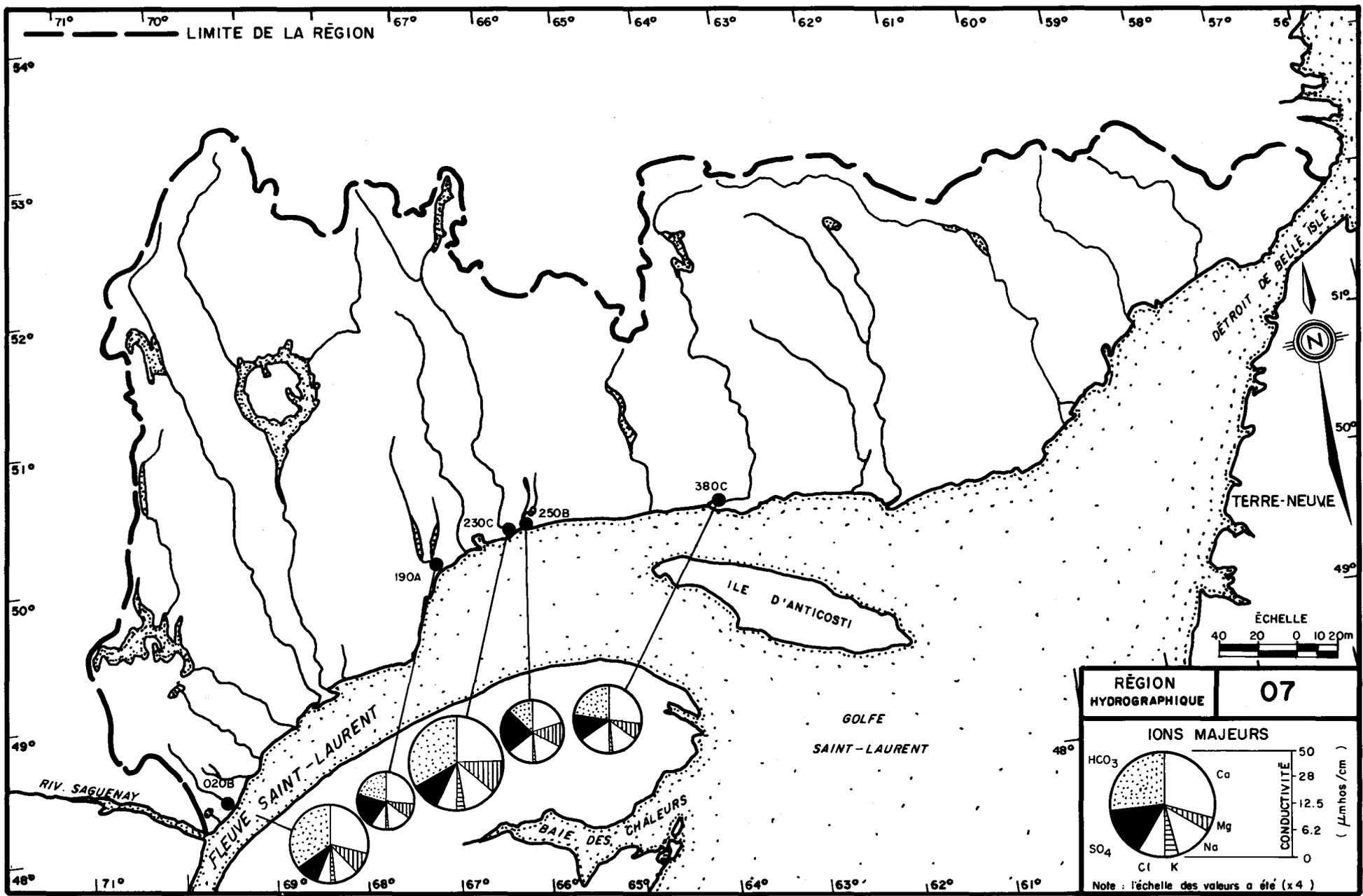


Figure 3. 13 . Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 07 : moyennes d'hiver (période 1973 - 75) .

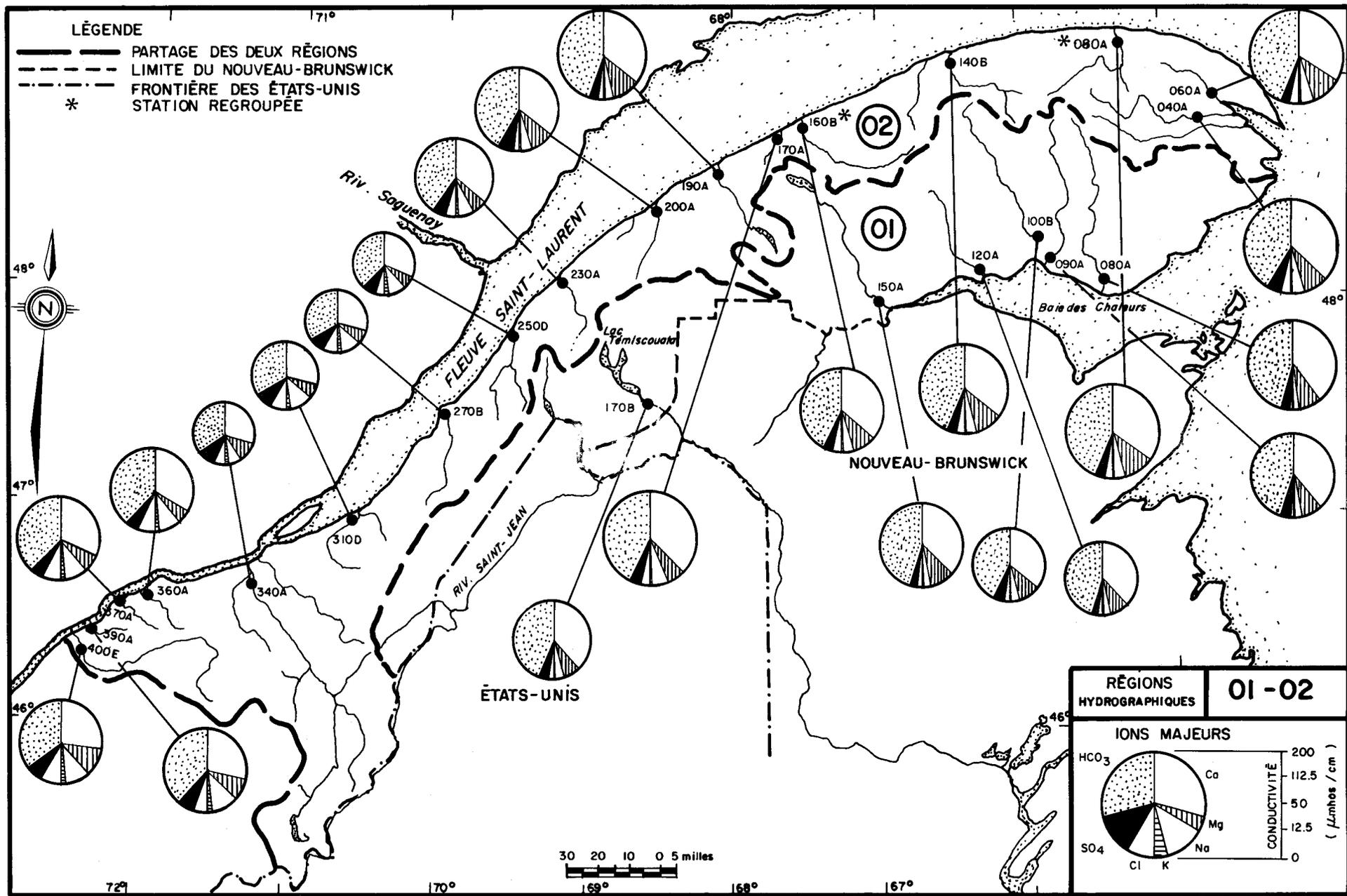


Figure 3.14 . Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations des régions 01 et 02 : moyennes de printemps (période 1973 - 75).

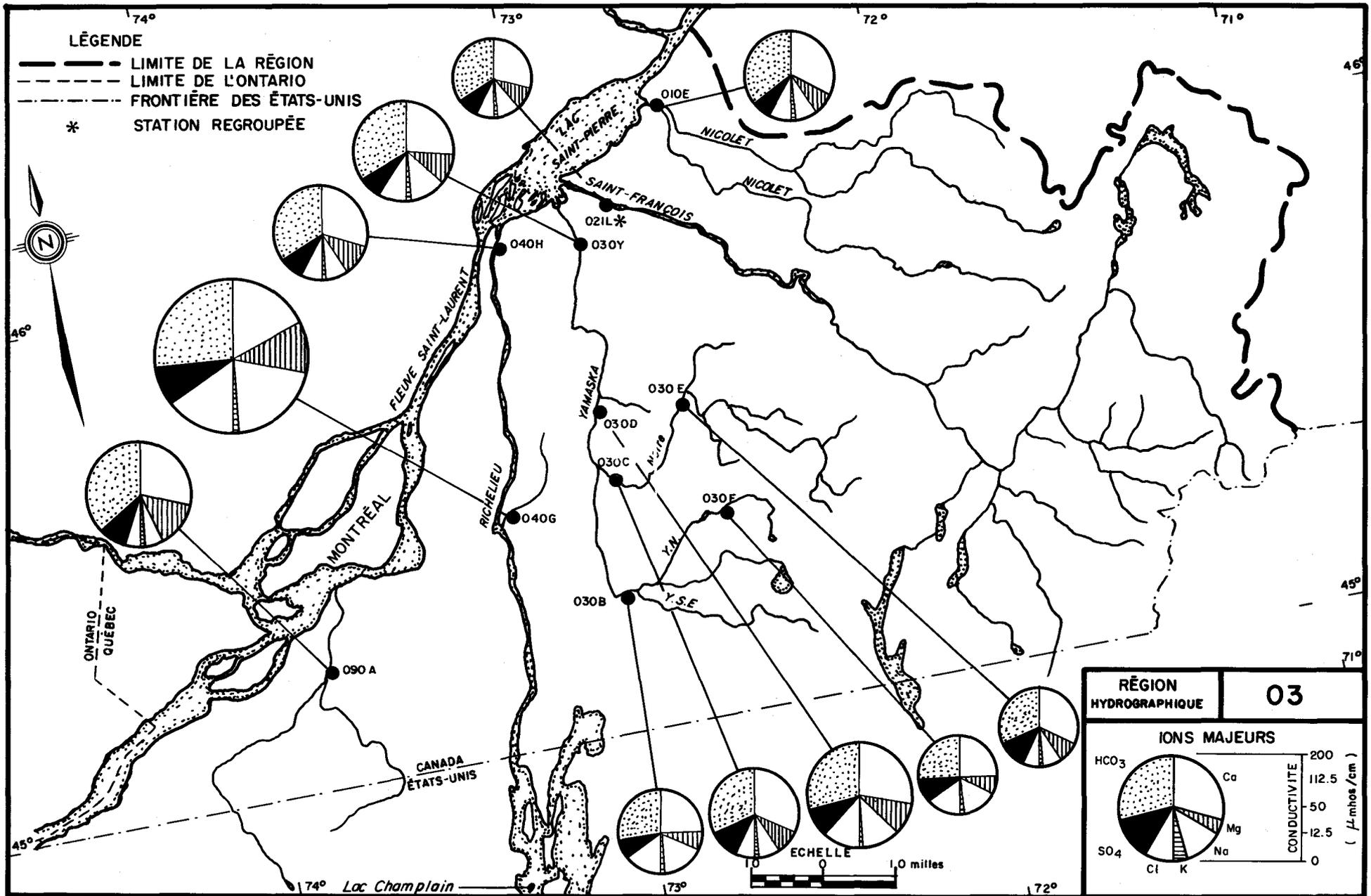


Figure 3.15. Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 03 : moyennes de printemps (période 1973-75).

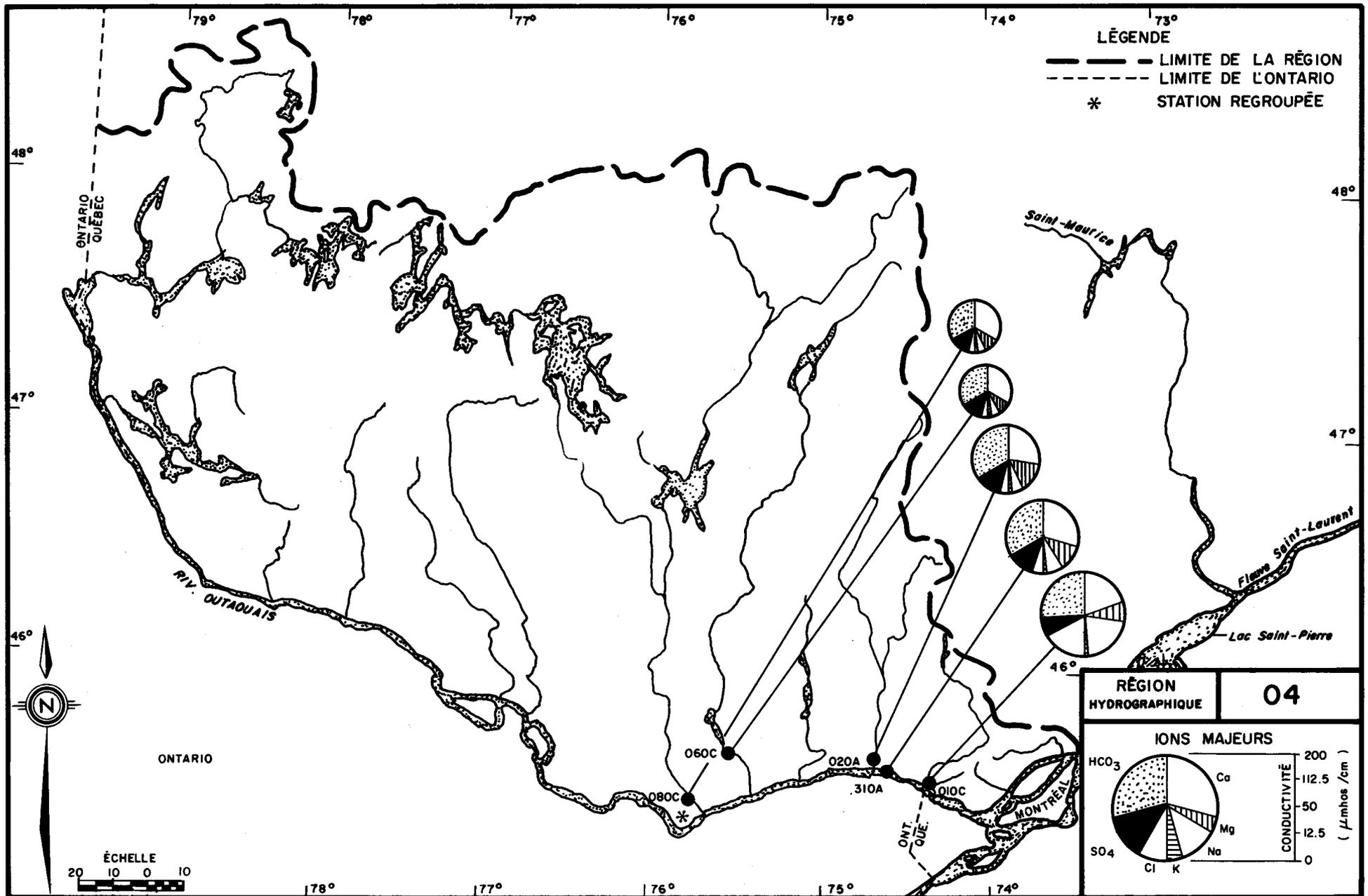


Figure 3.16. Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 04 : moyennes de printemps (période 1973-75).

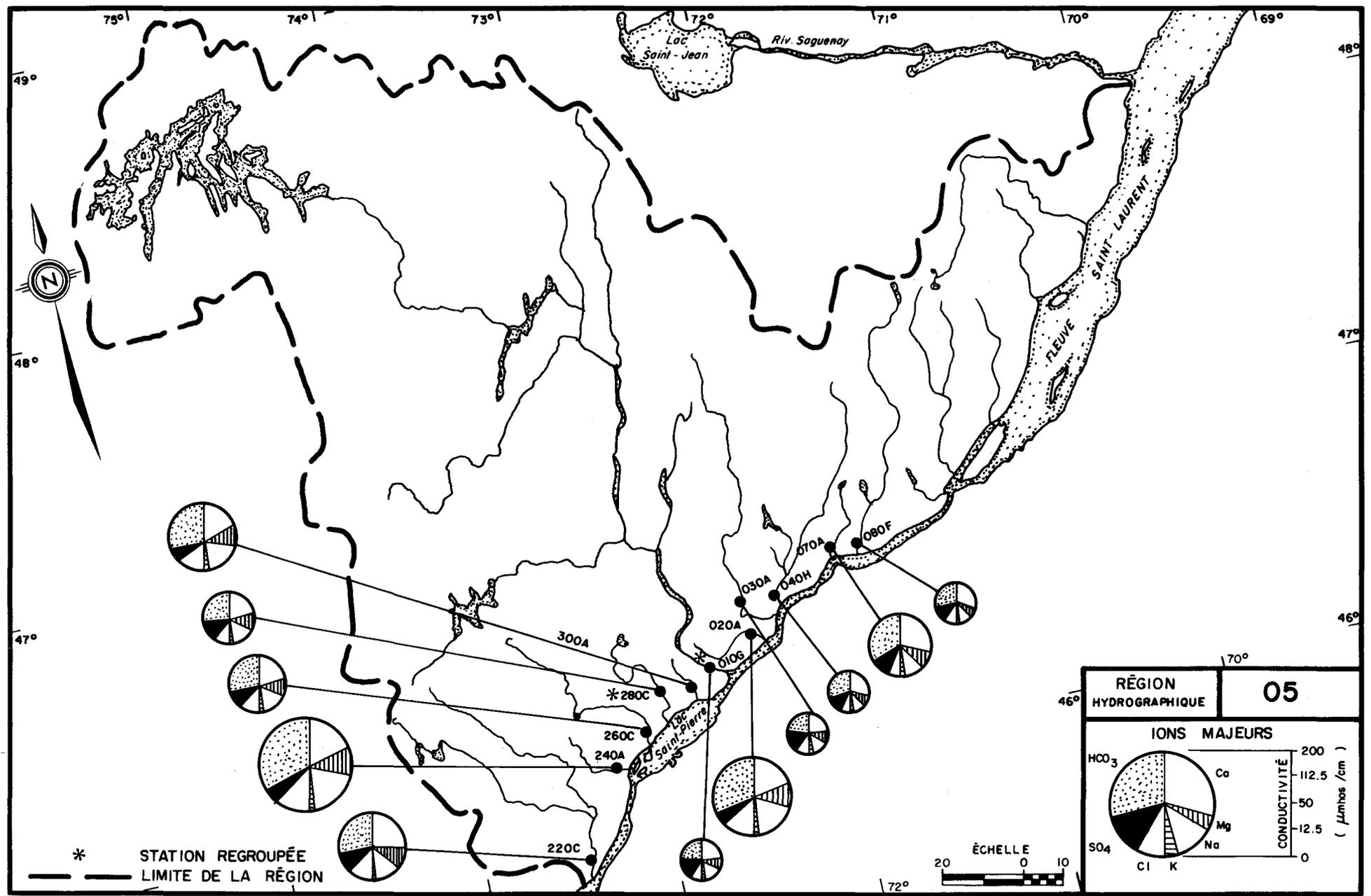


Figure 3.17. Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 05 : moyennes de printemps (période 1973-75).

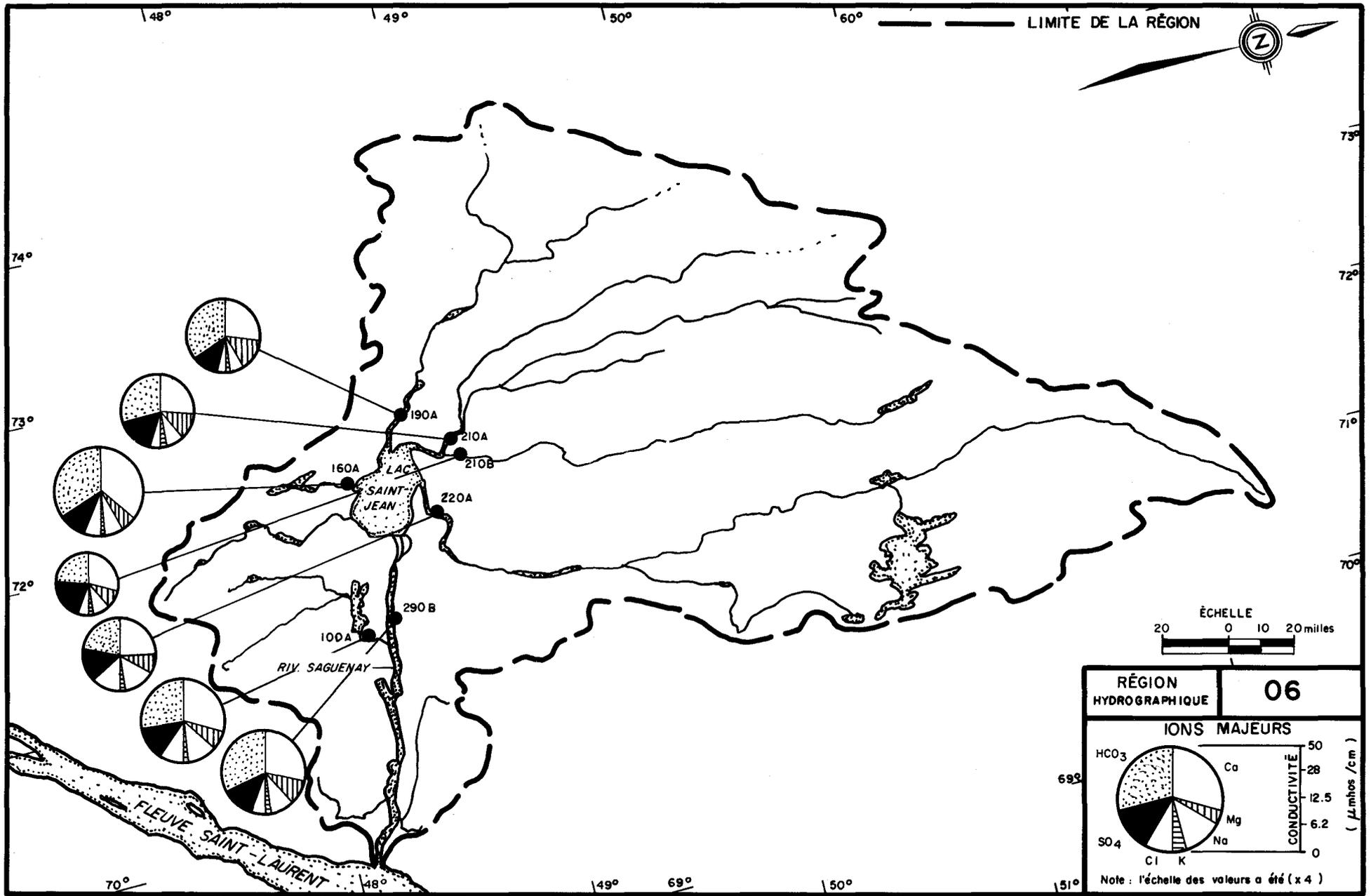


Figure 3.18. Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 06 : moyennes de printemps (période 1973-75) .

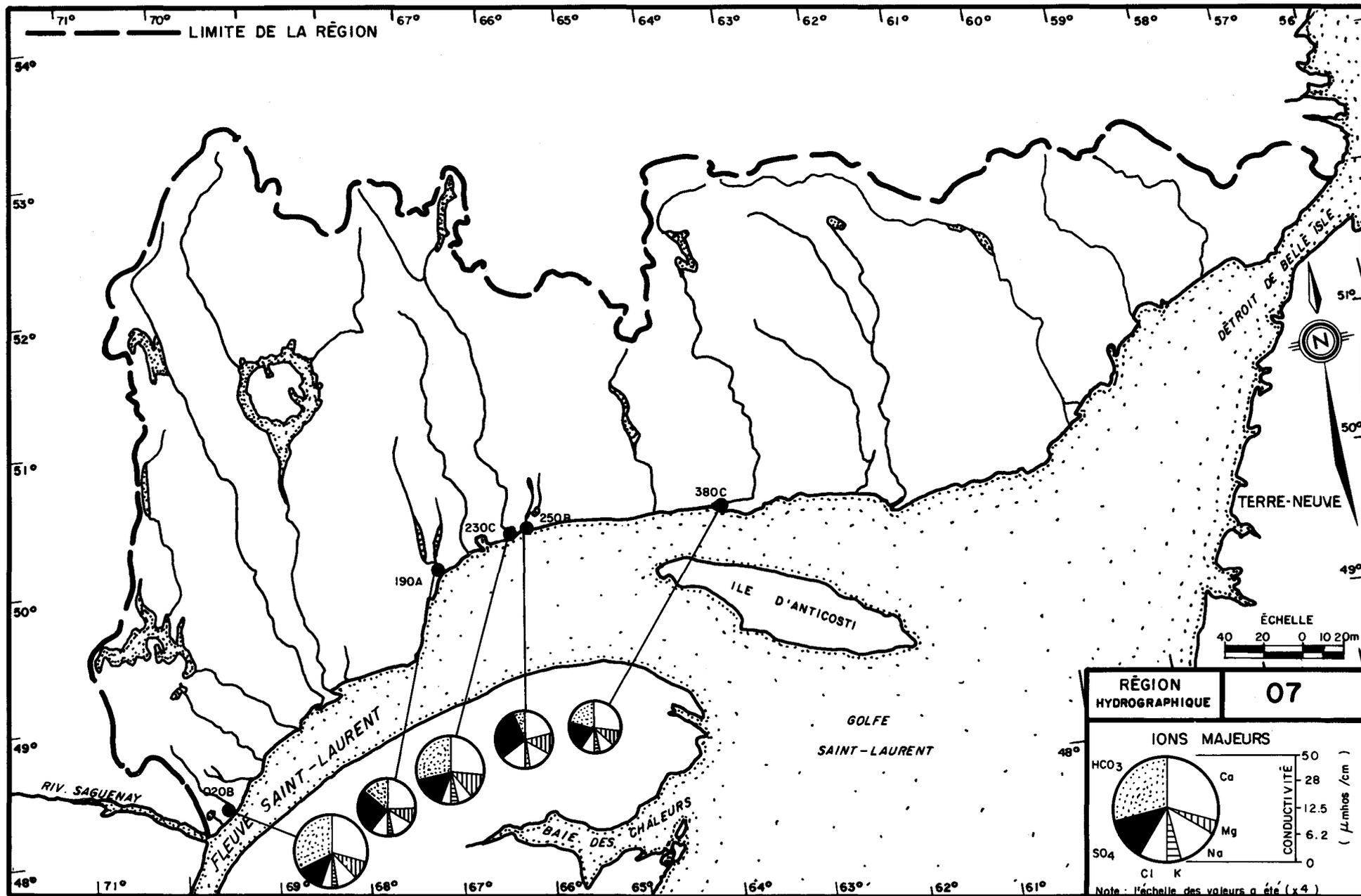


Figure 3. 19. Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 07 : moyennes de printemps (période 1973-75).

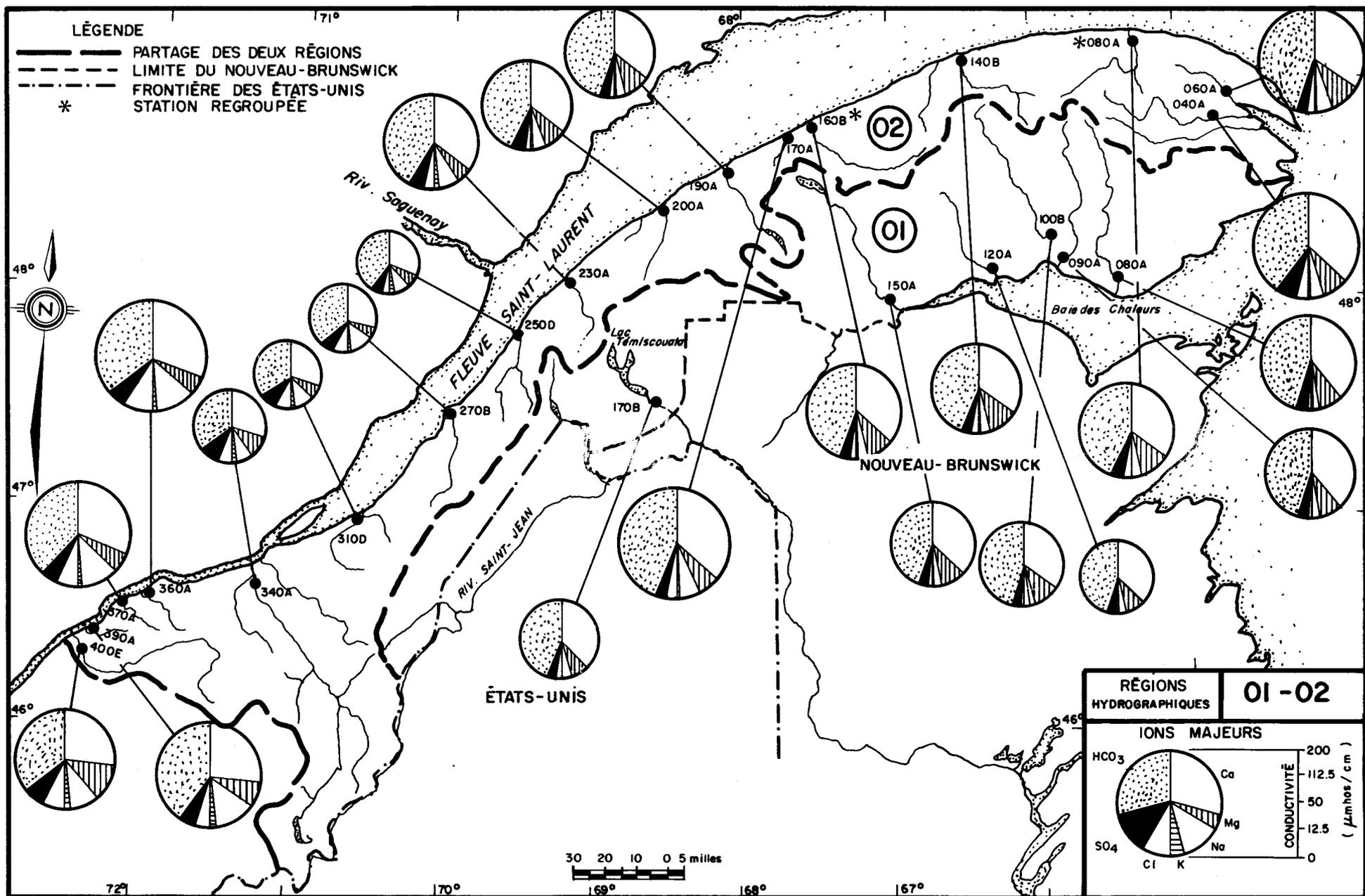


Figure 3.20. Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations des régions 01 et 02 : moyennes d'été (période 1973-75).

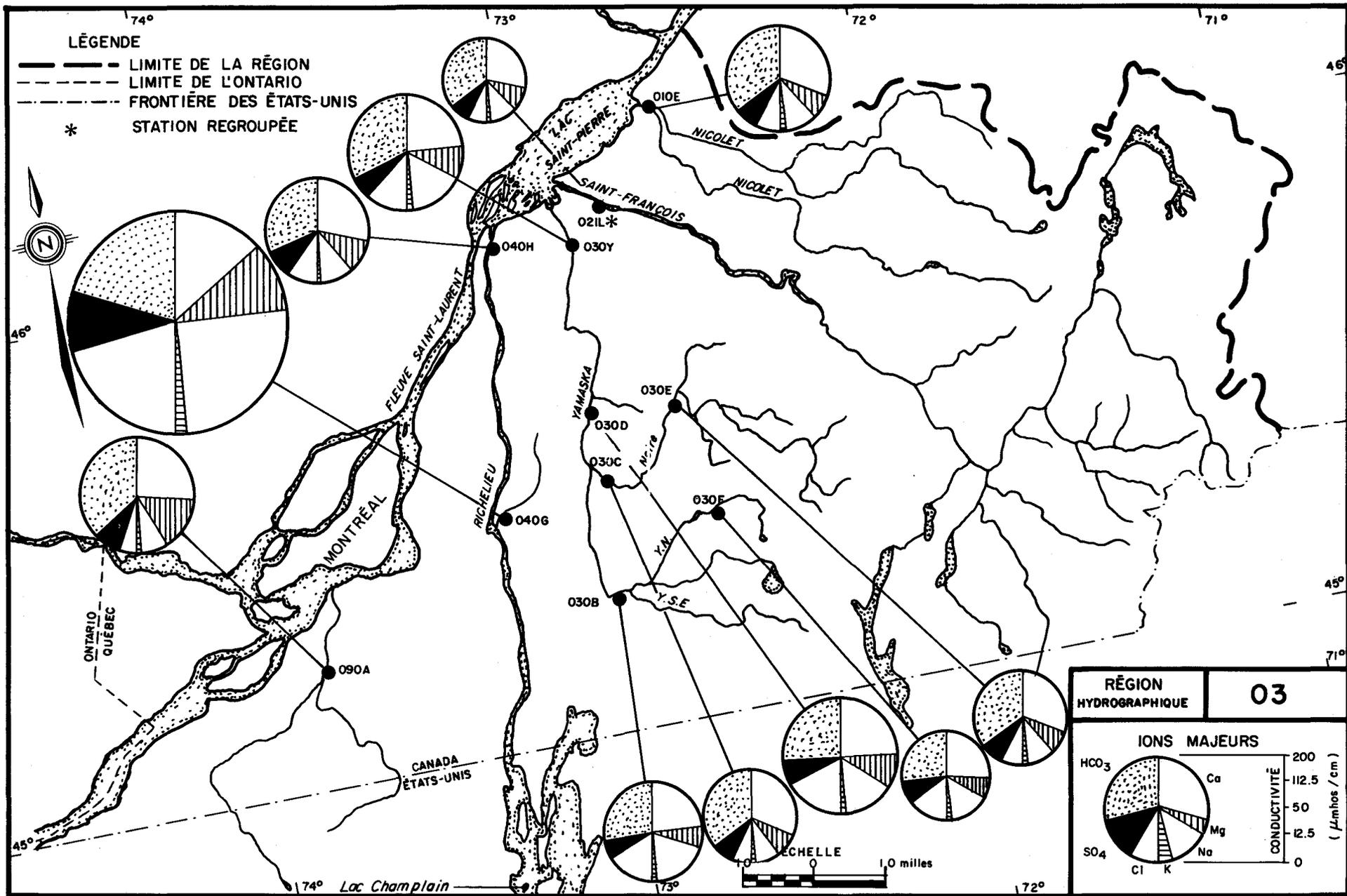


Figure 3.21 . Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 03 : moyennes d'été (période 1973-75) .

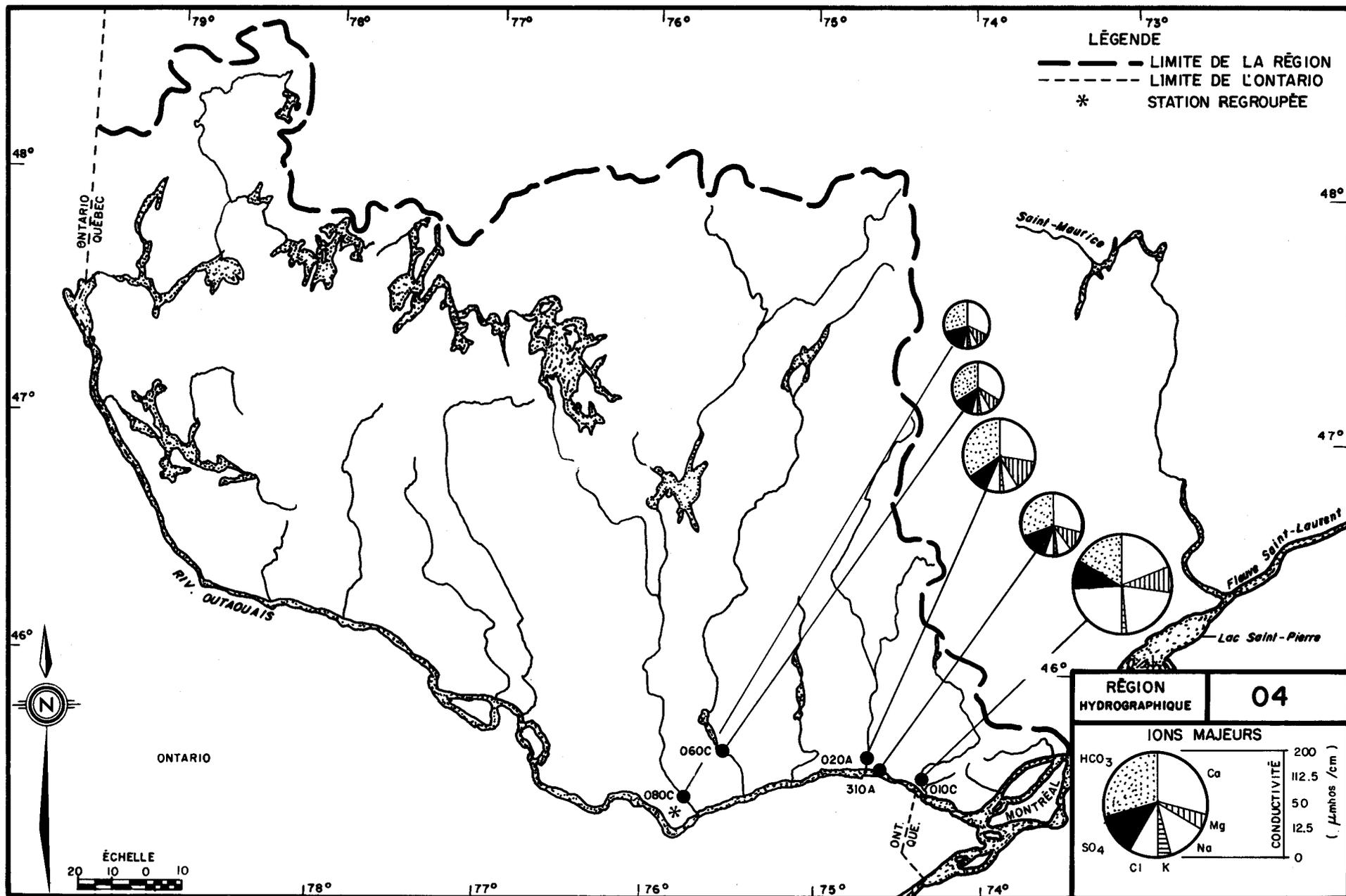


Figure 3.22. Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 04: moyennes d'été (période 1973-75).

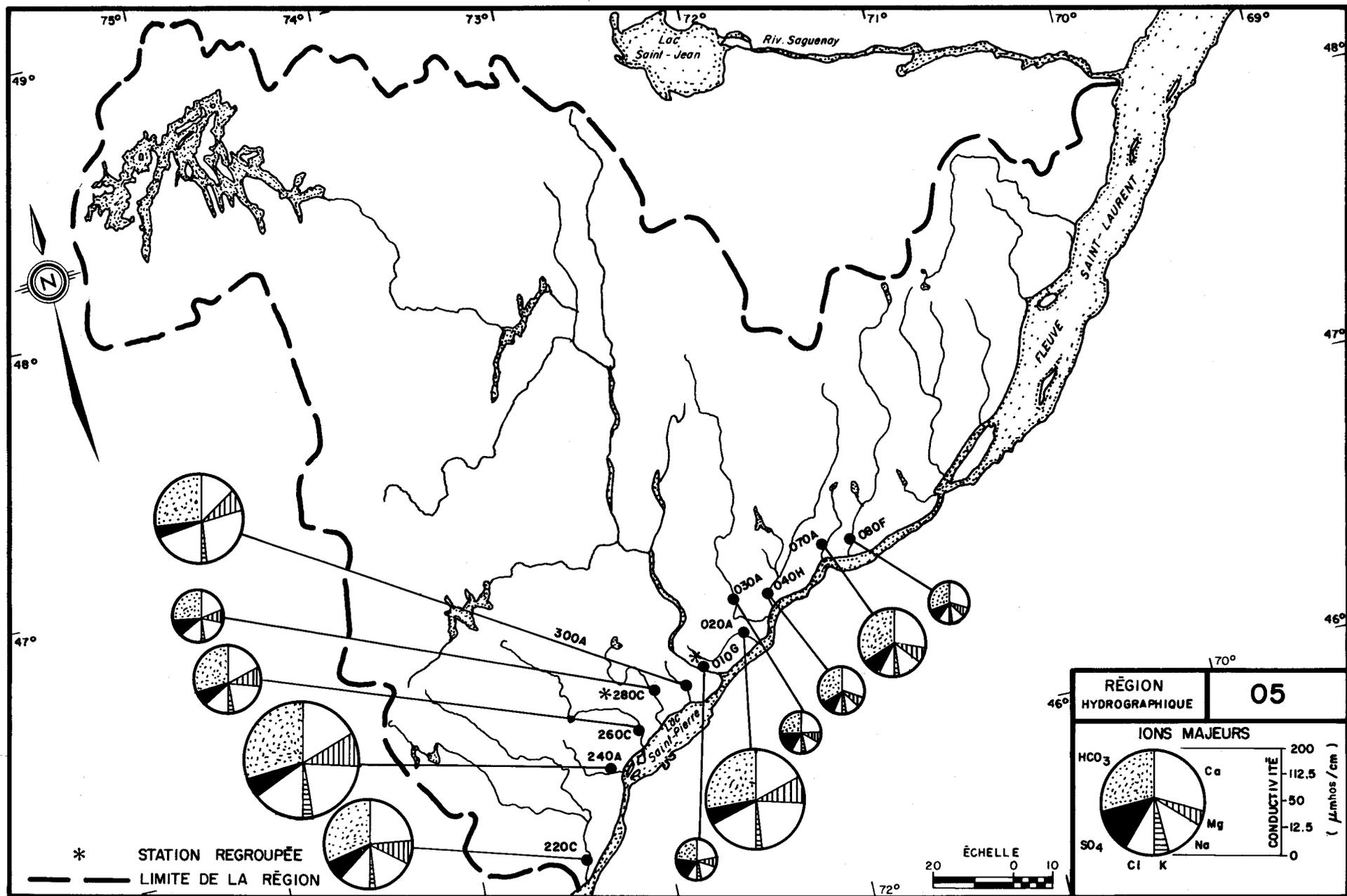


Figure 3.23. Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 05: moyennes d'été (période 1973-75) .

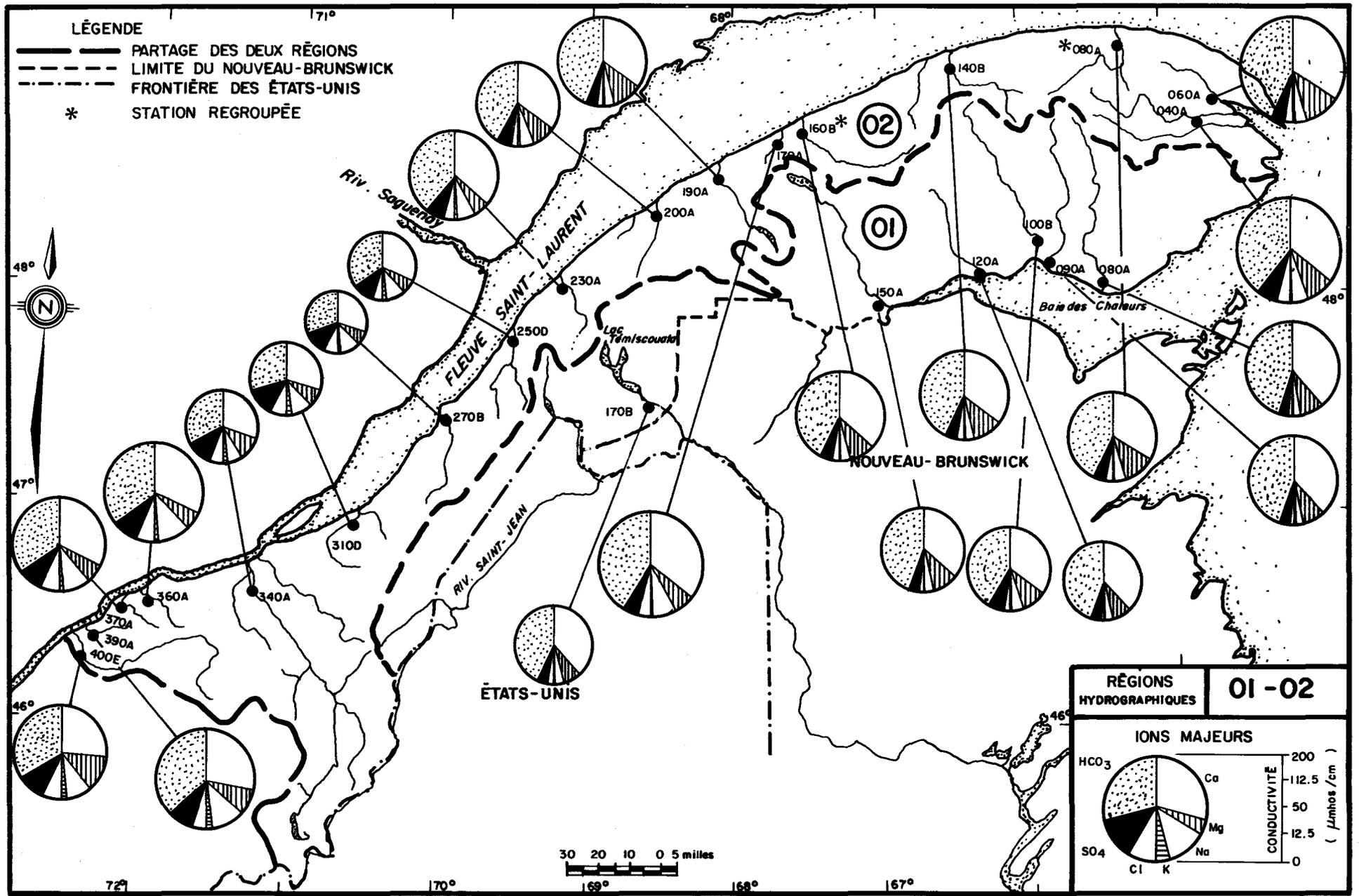


Figure 3.24. Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations des régions 01 et 02 : moyennes d'automne (période 1973-75).

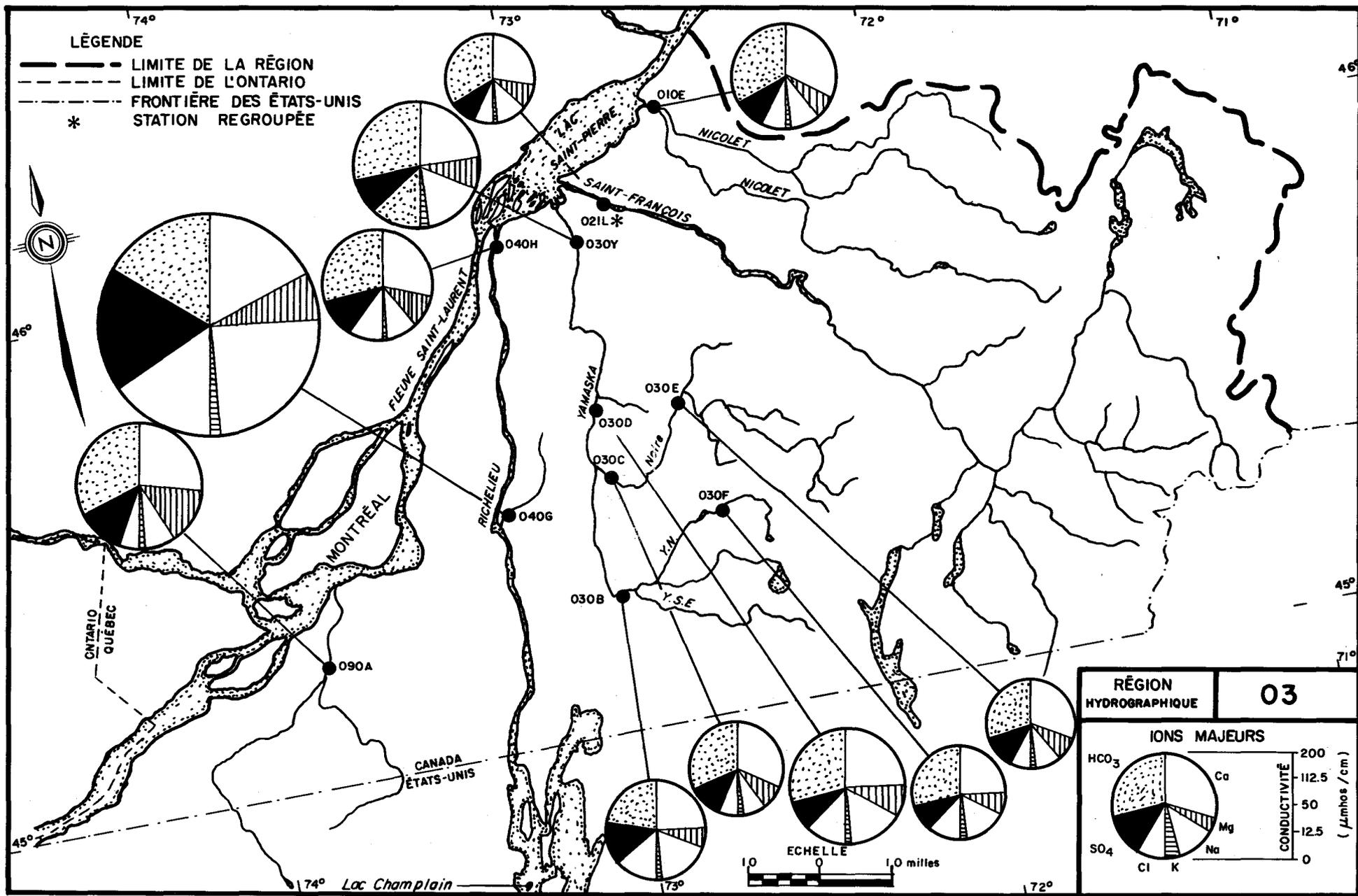


Figure 3.25. Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 03 : moyennes d'automne (période 1973-75).

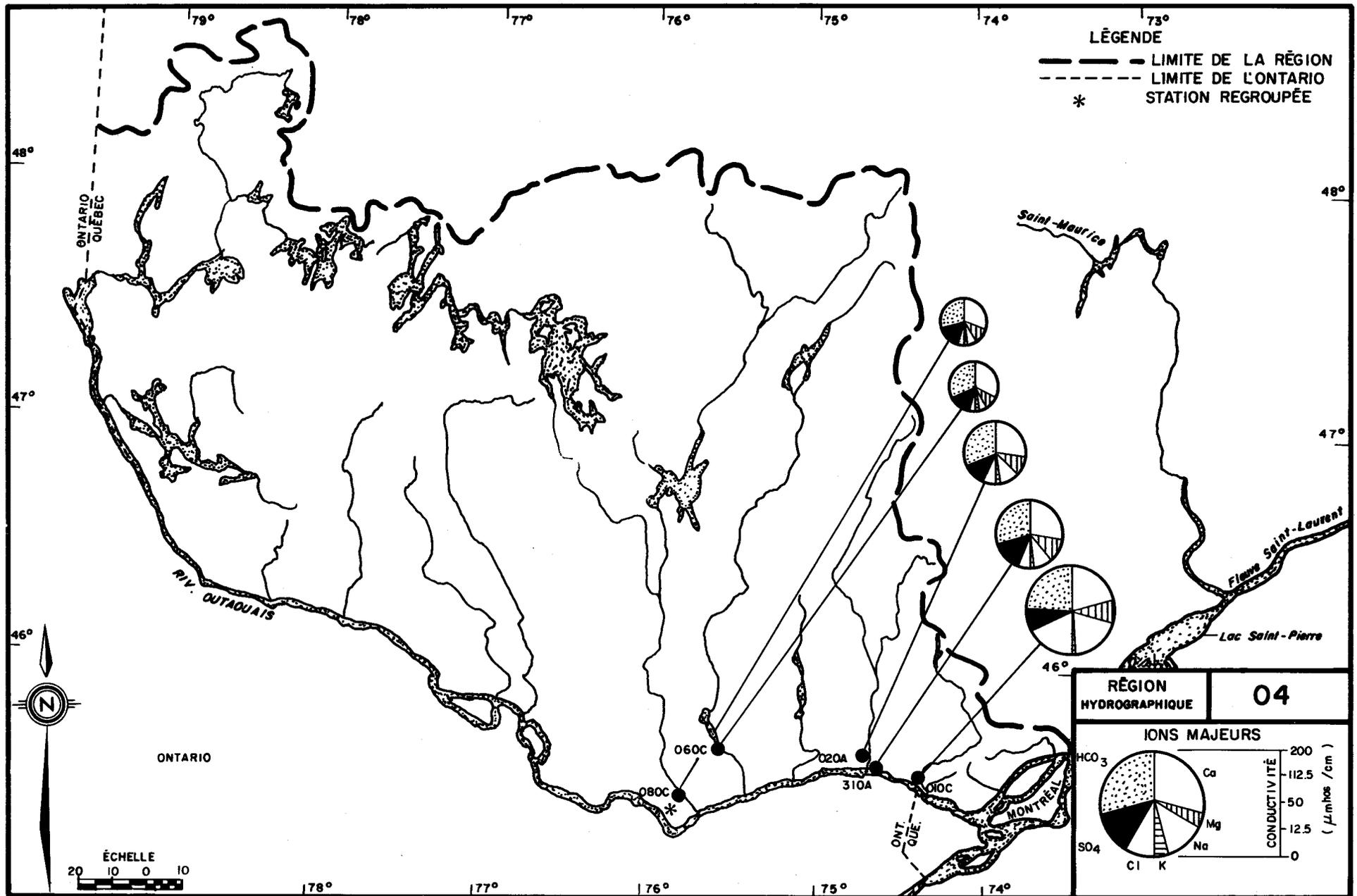


Figure 3.26 . Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 04 : moyennes d'automne (période 1973 - 75) .

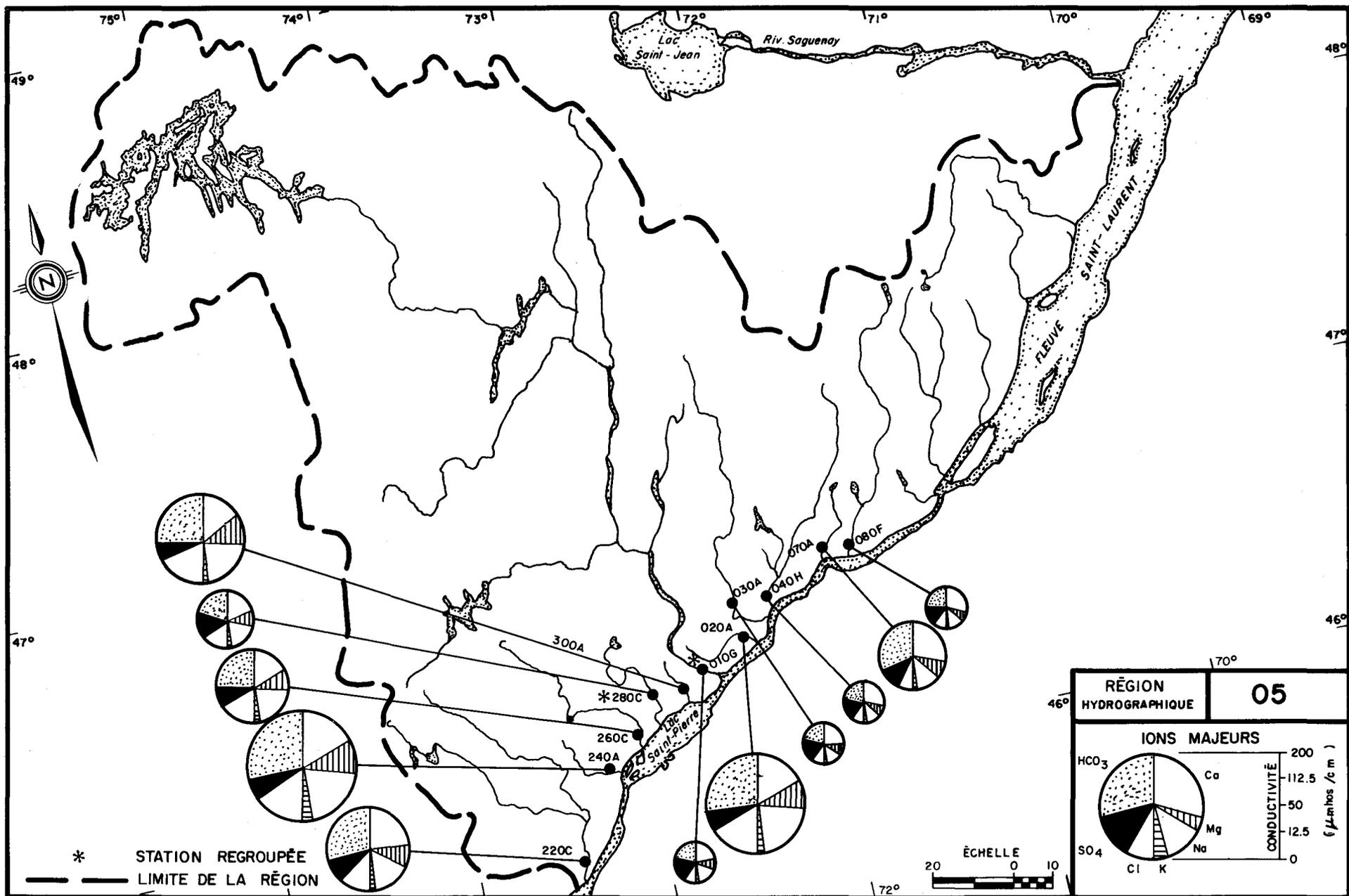


Figure 3.27. Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 05 : moyennes d'automne (période 1973-75).

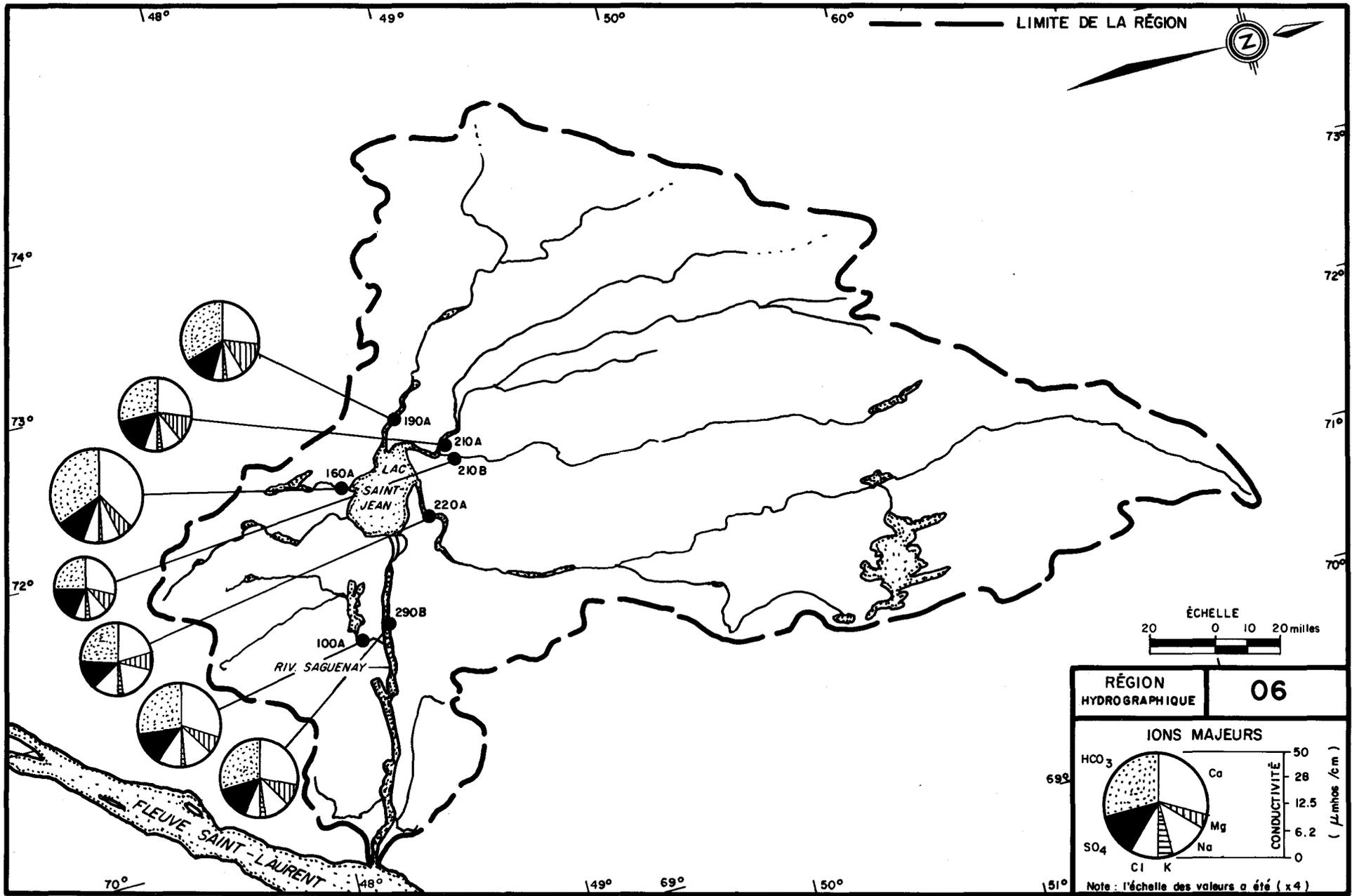


Figure 3.28. Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 06 : moyennes d'automne (période 1973-75).

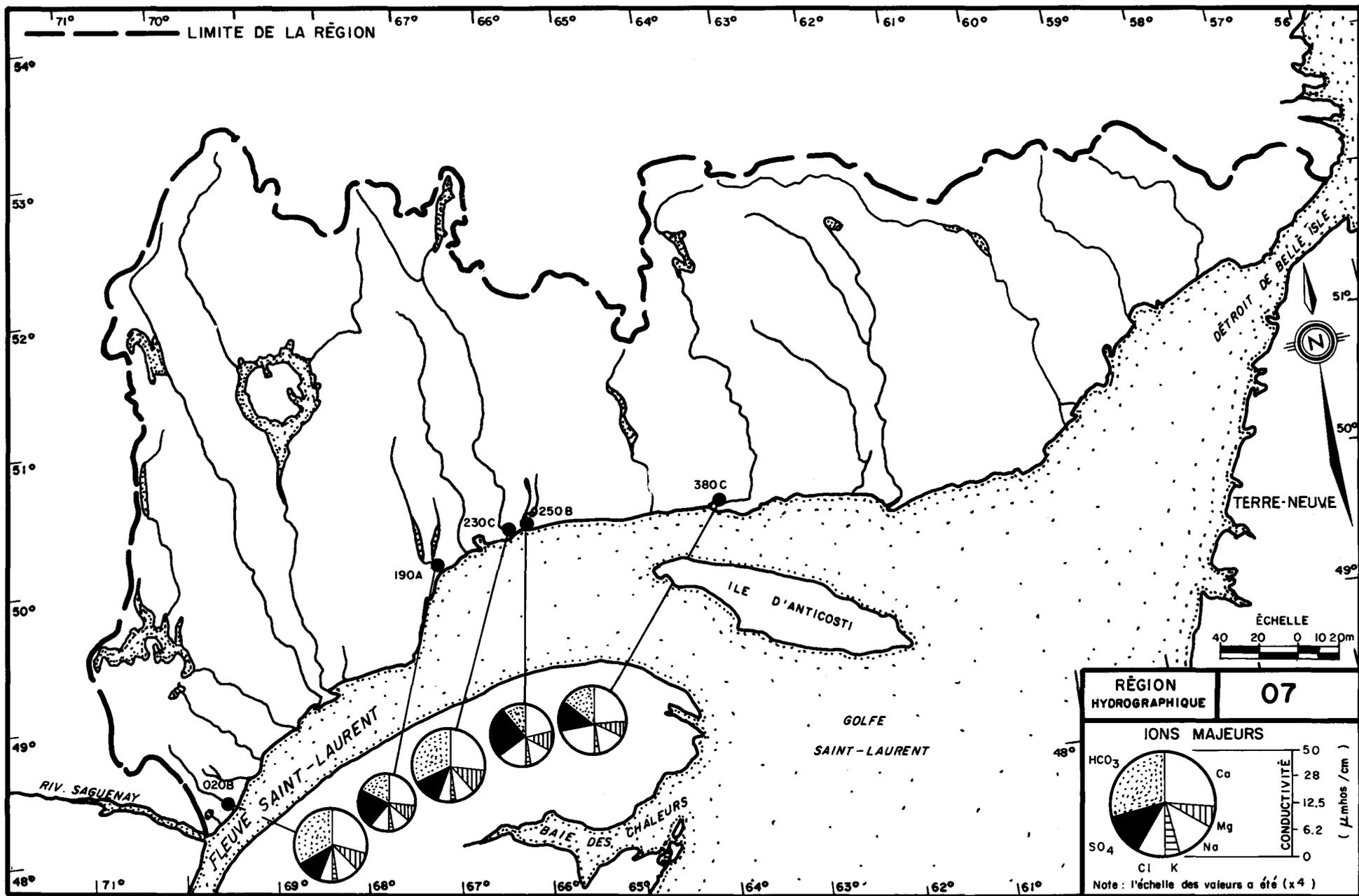


Figure 3.29 . Représentation de la conductivité et de la répartition des concentrations en ions majeurs des stations de la région 07 : moyennes d'automne (période 1973 - 75) .

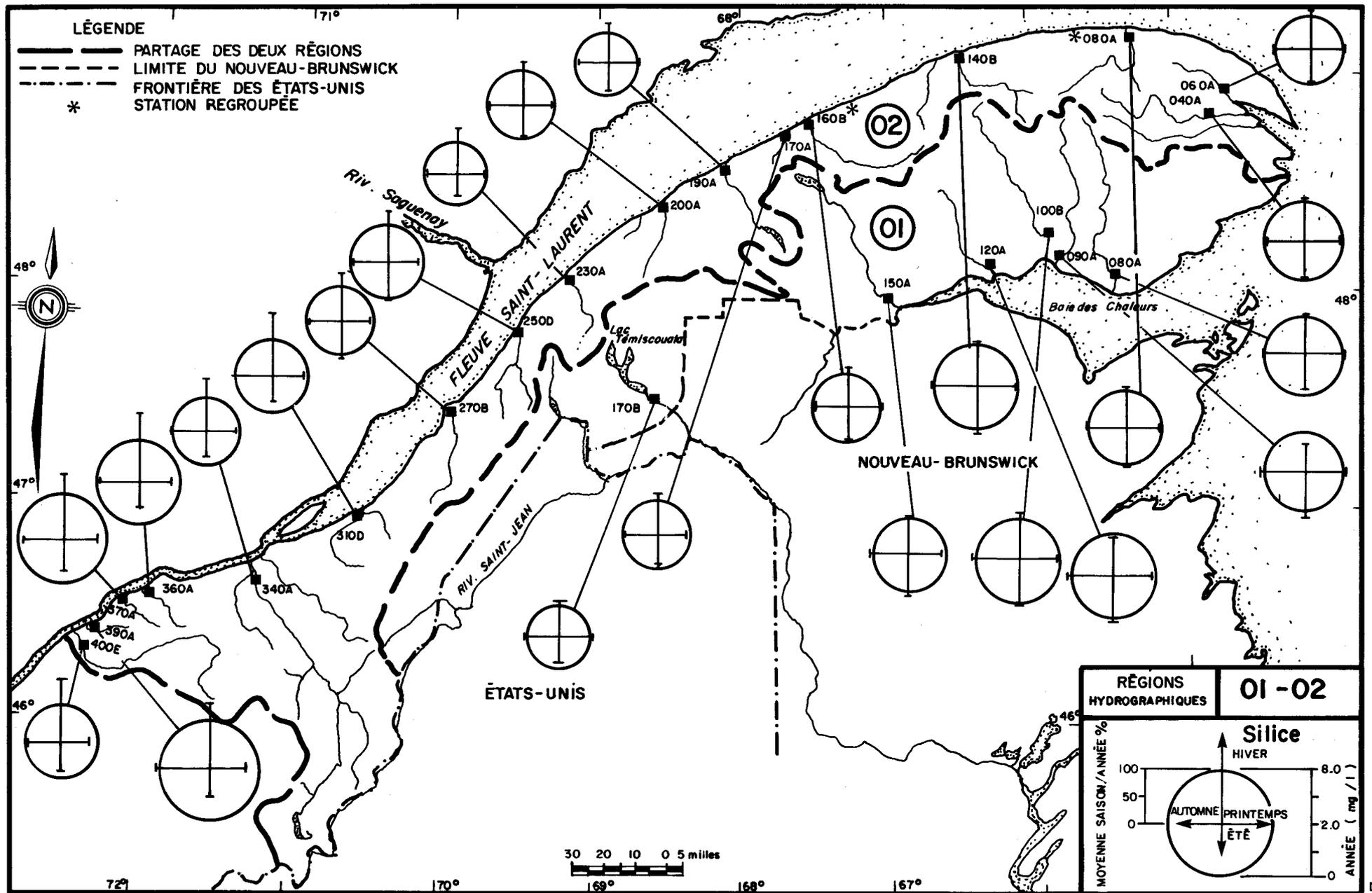


Figure 3.30 . Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la silice et de la répartition des moyennes saisonnières des stations des régions 01 et 02 (période 1973-75).

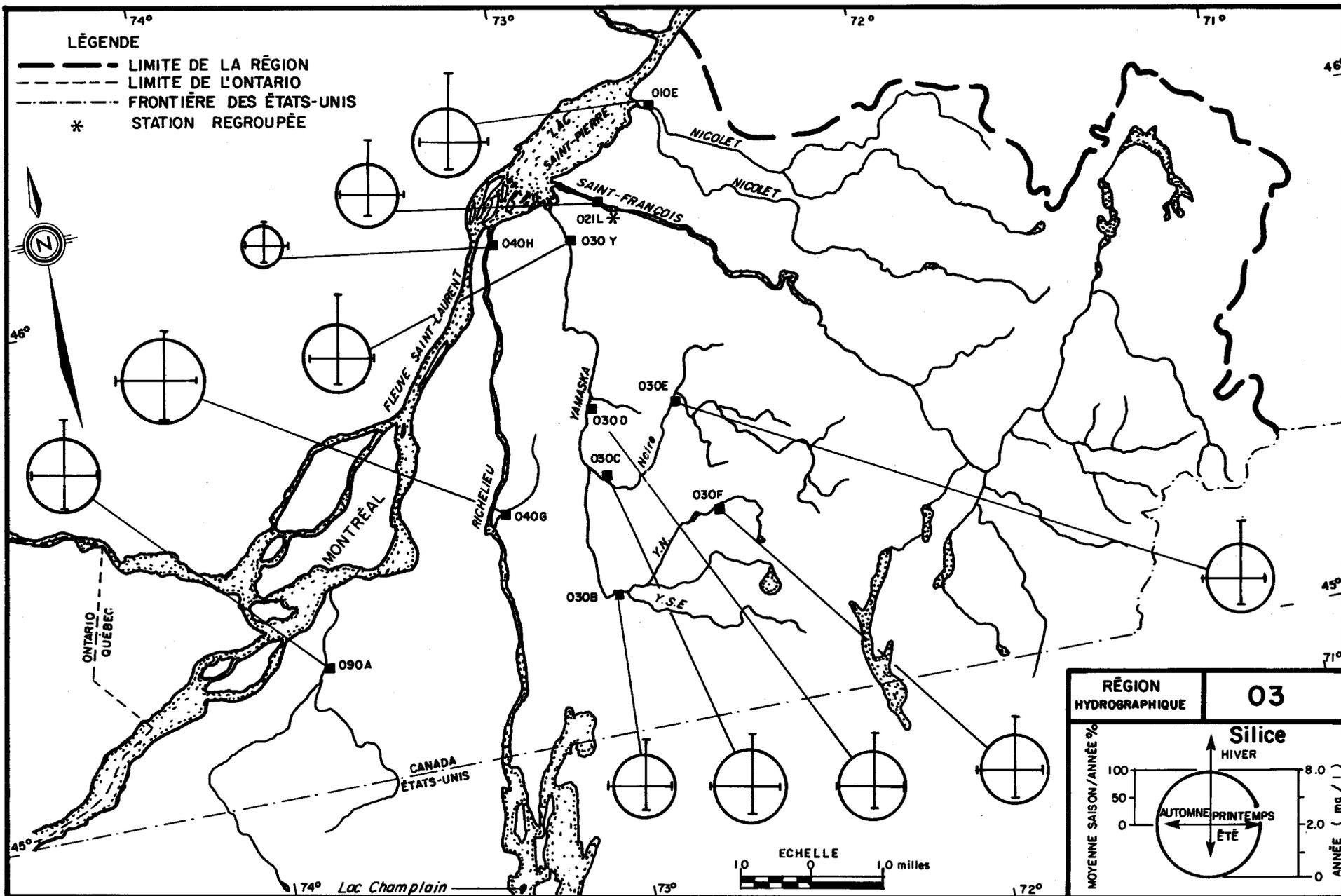


Figure 3.31 . Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la silice et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 03 (période 1973-75) .

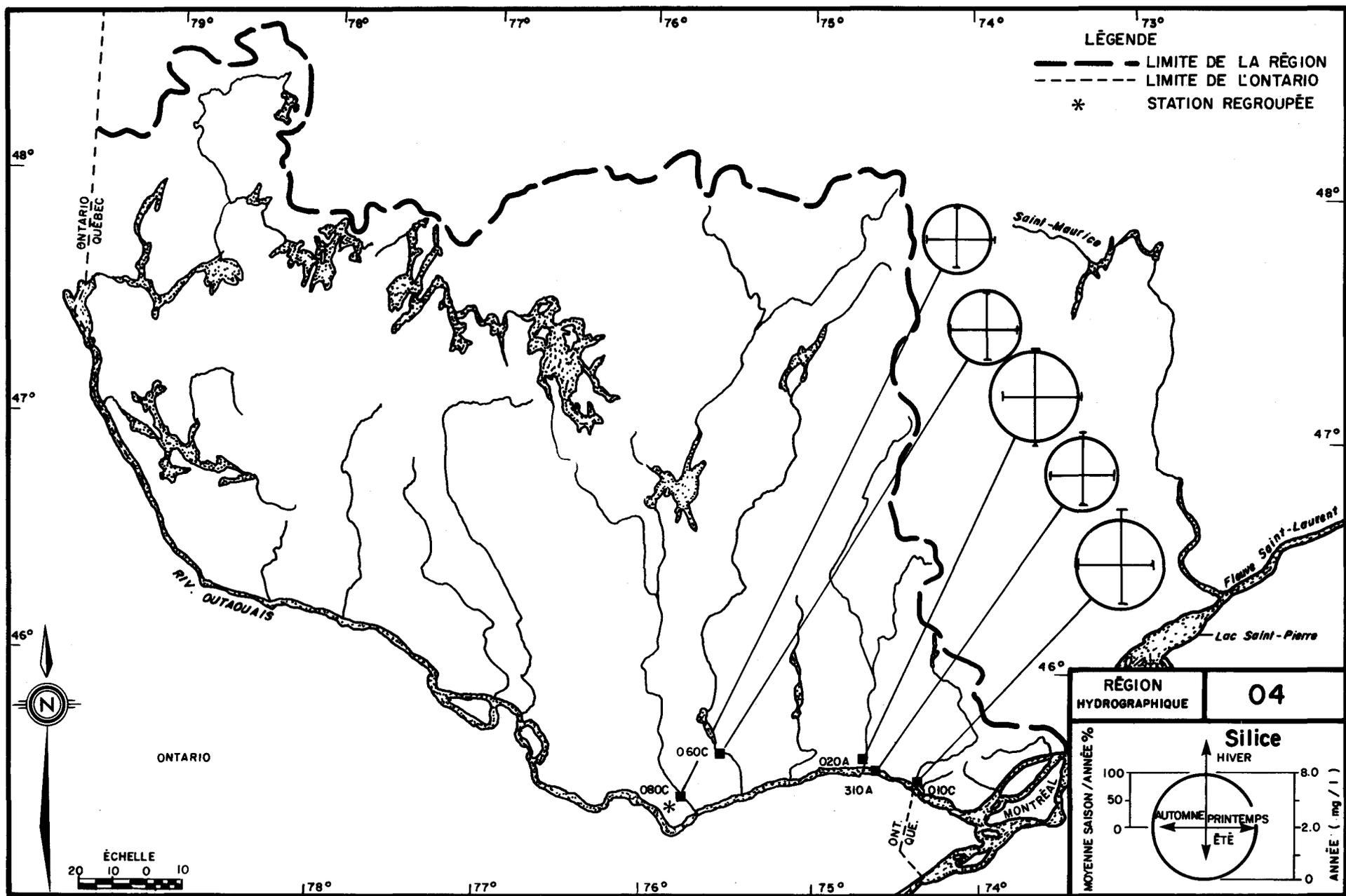


Figure 3.32. Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la silice et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 04 (période 1973-75).

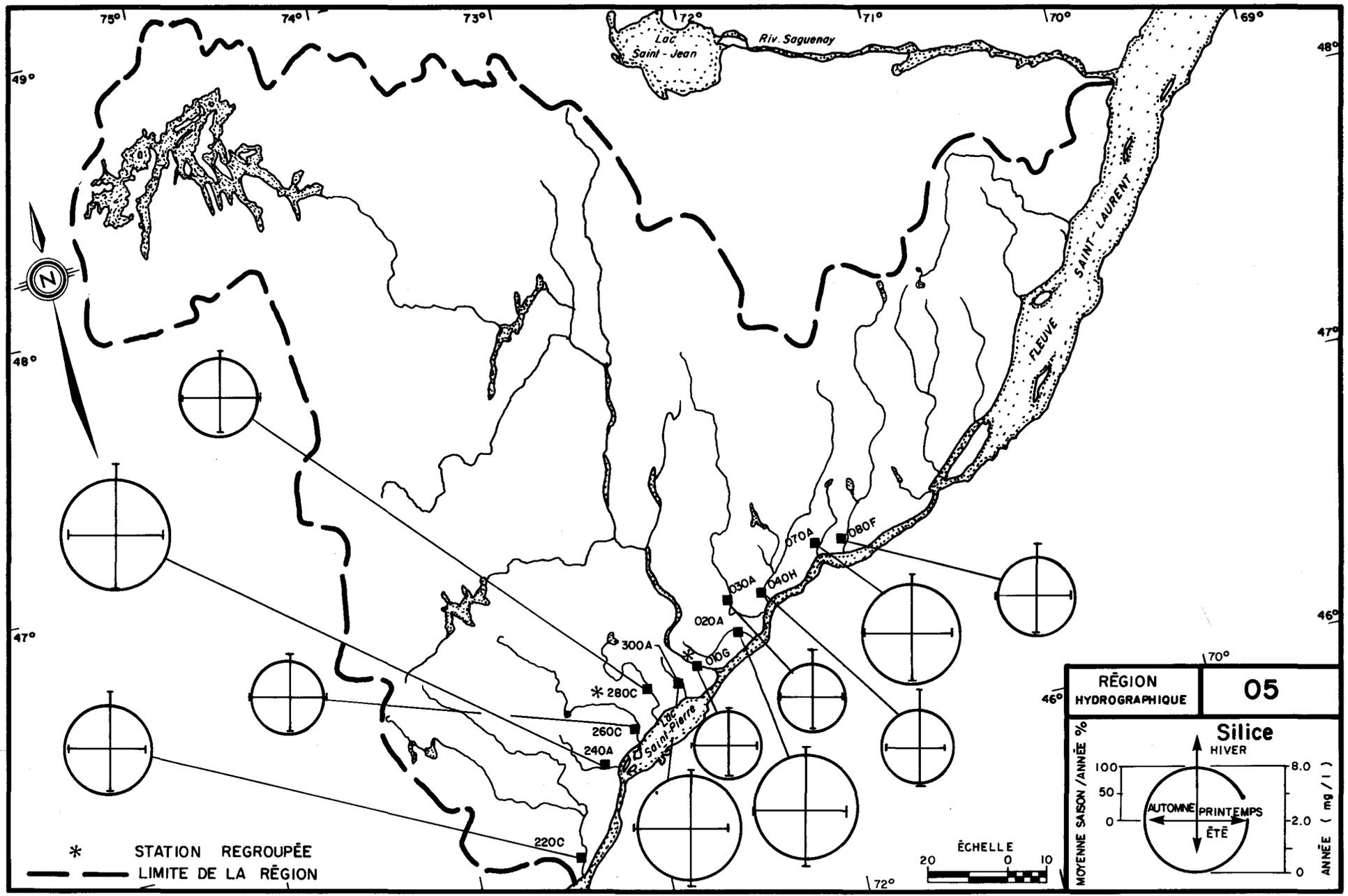


Figure 3.33. Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la silice et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 05 (période 1973-75).

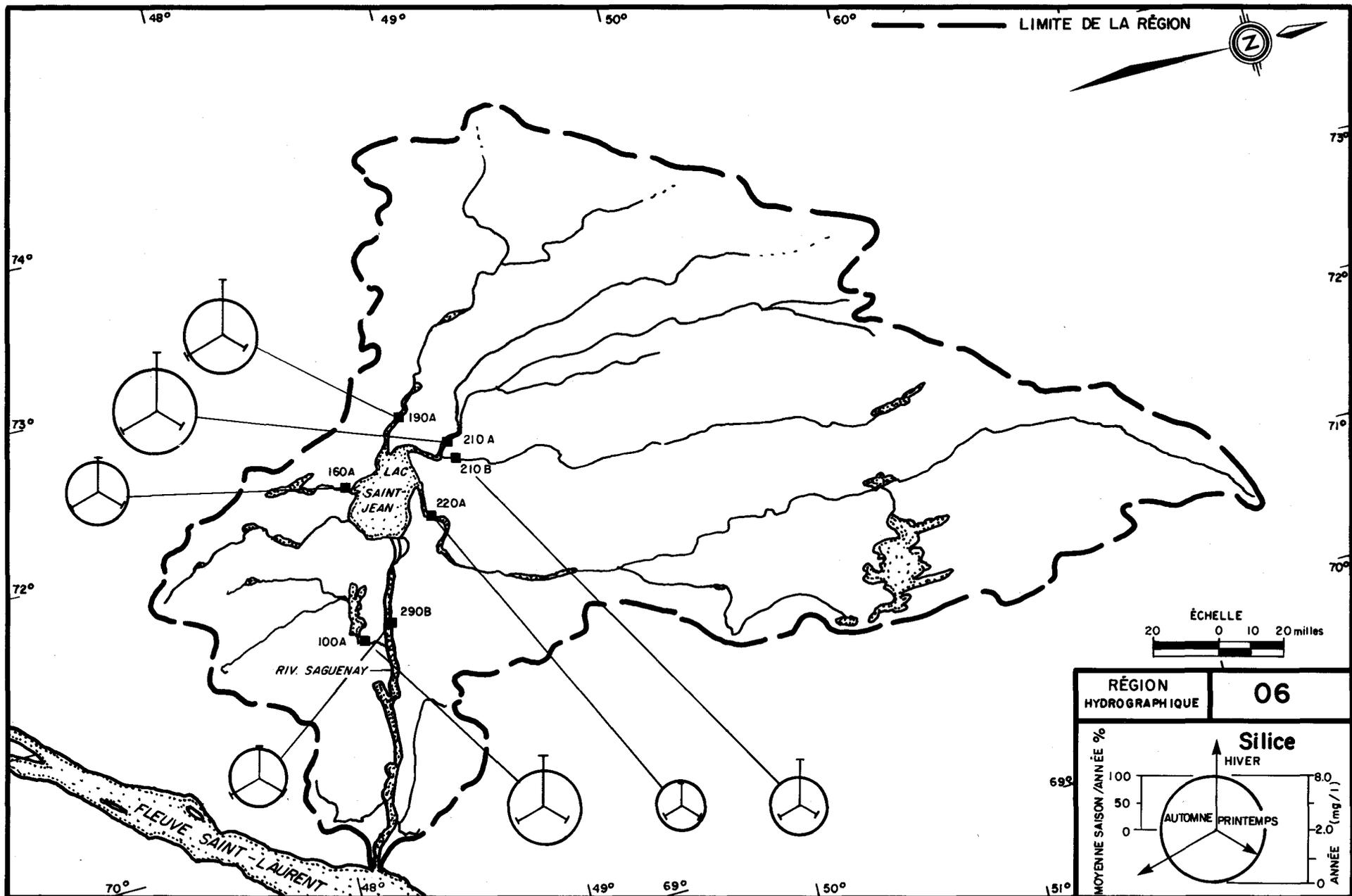


Figure 3.34. Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la silice et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 06 (période 1973-75).

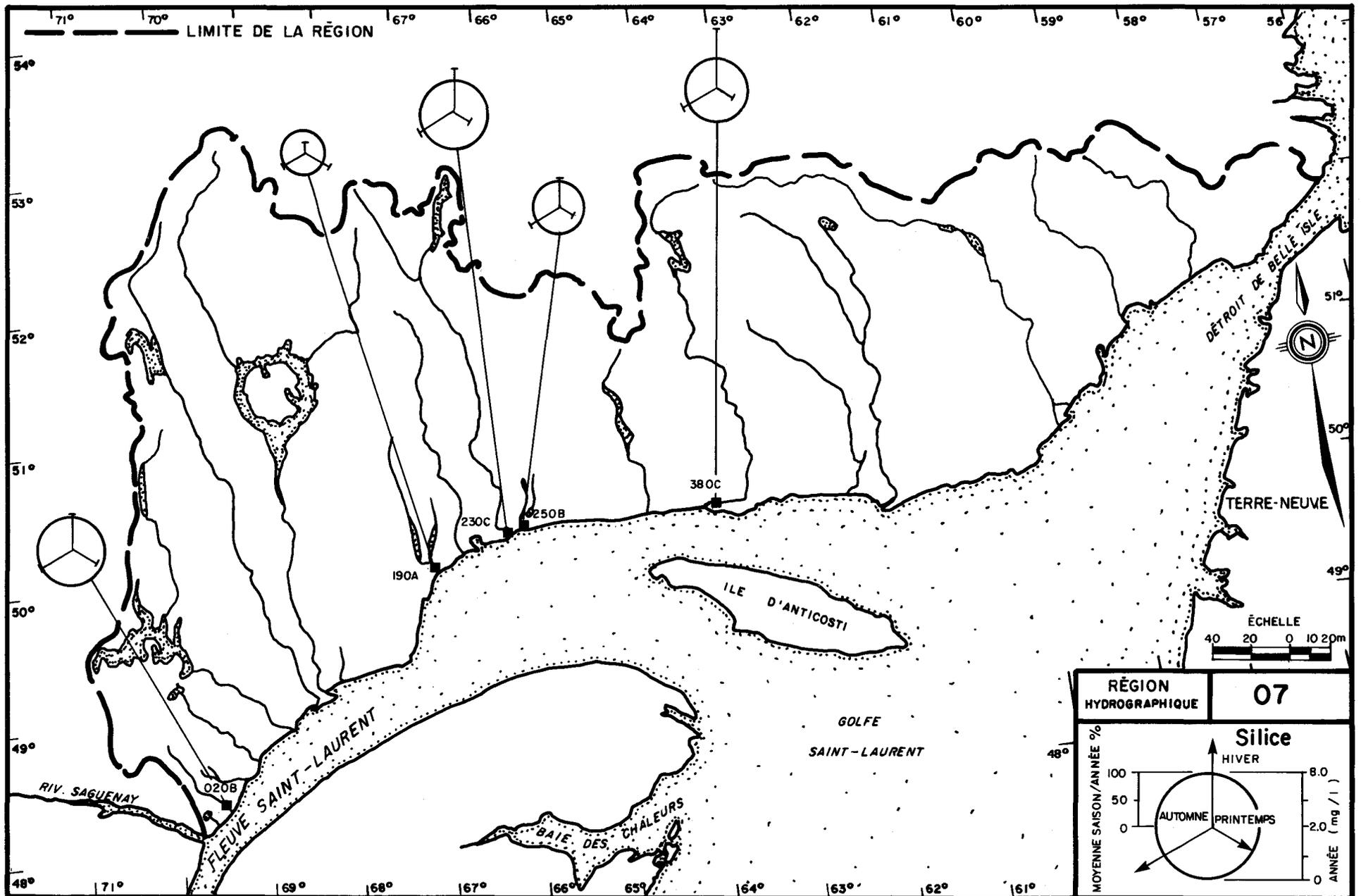


Figure 3.35. Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la silice et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 07 (période 1973-75).

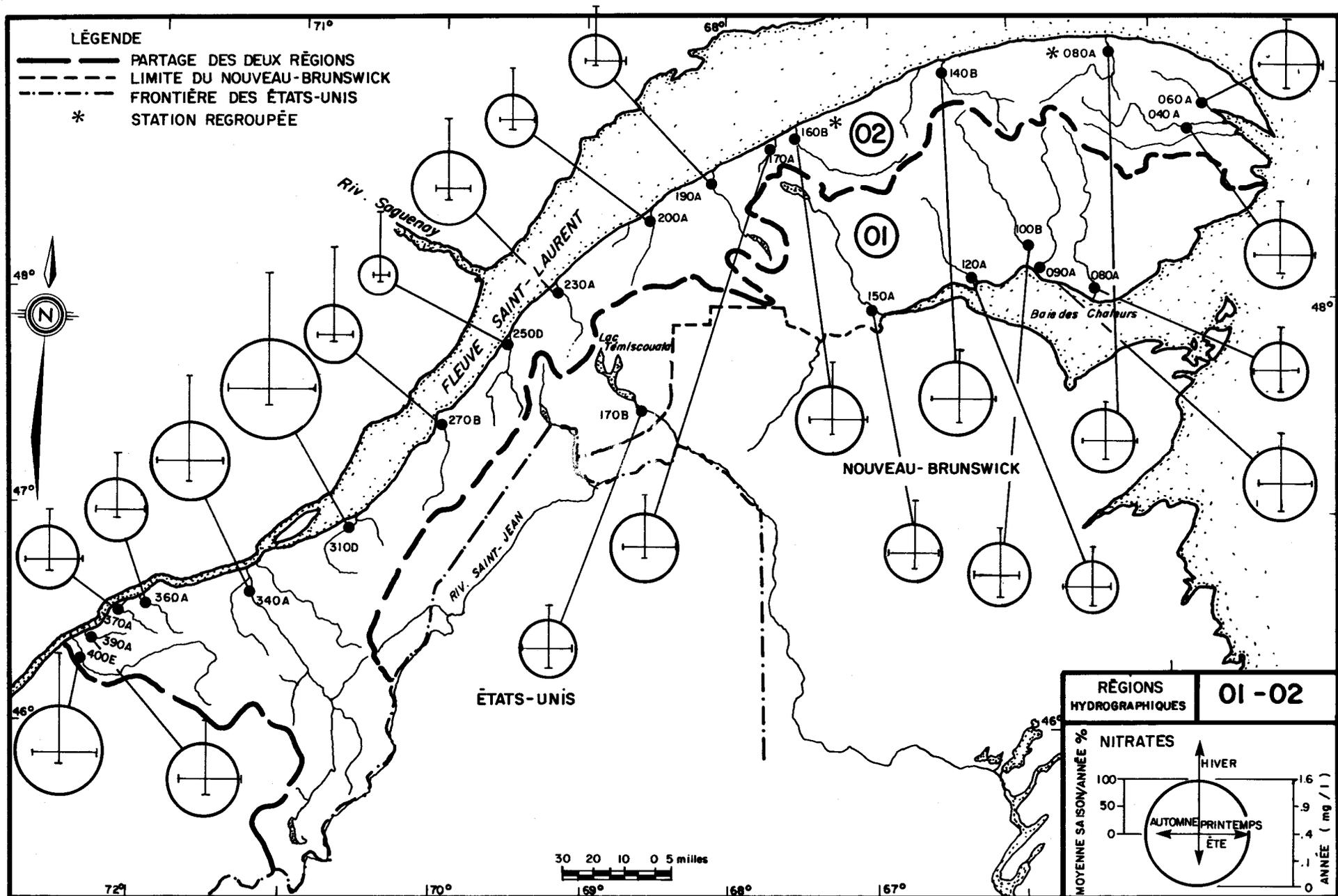


Figure 3.36 Représentation des concentrations moyennes interannuelles des nitrates et de la répartition des moyennes saisonnières des stations des régions 01 et 02 (période 1973-75)

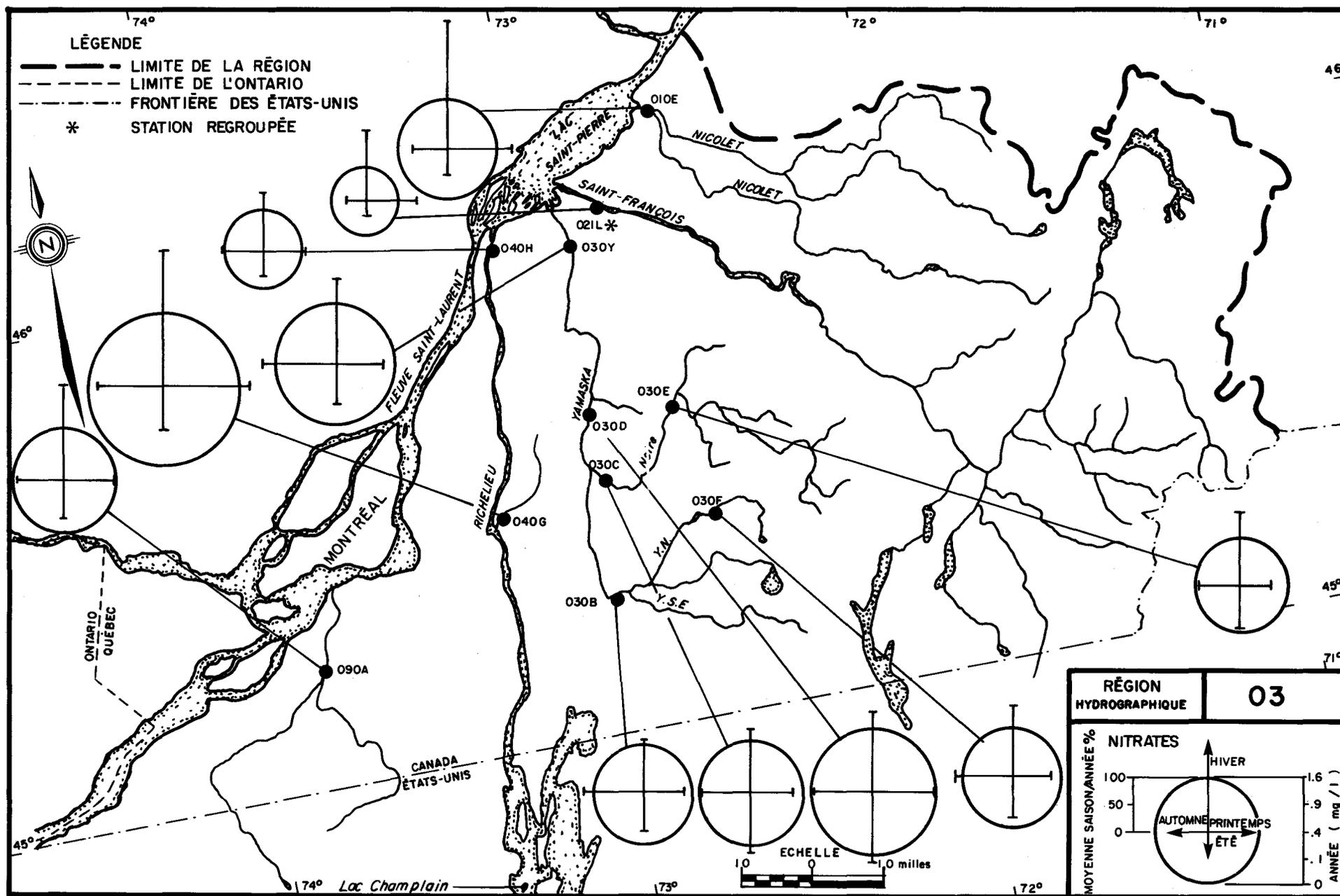


Figure 3.37. Représentation des concentrations moyennes interannuelles des nitrates et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 03 (période 1973-75).

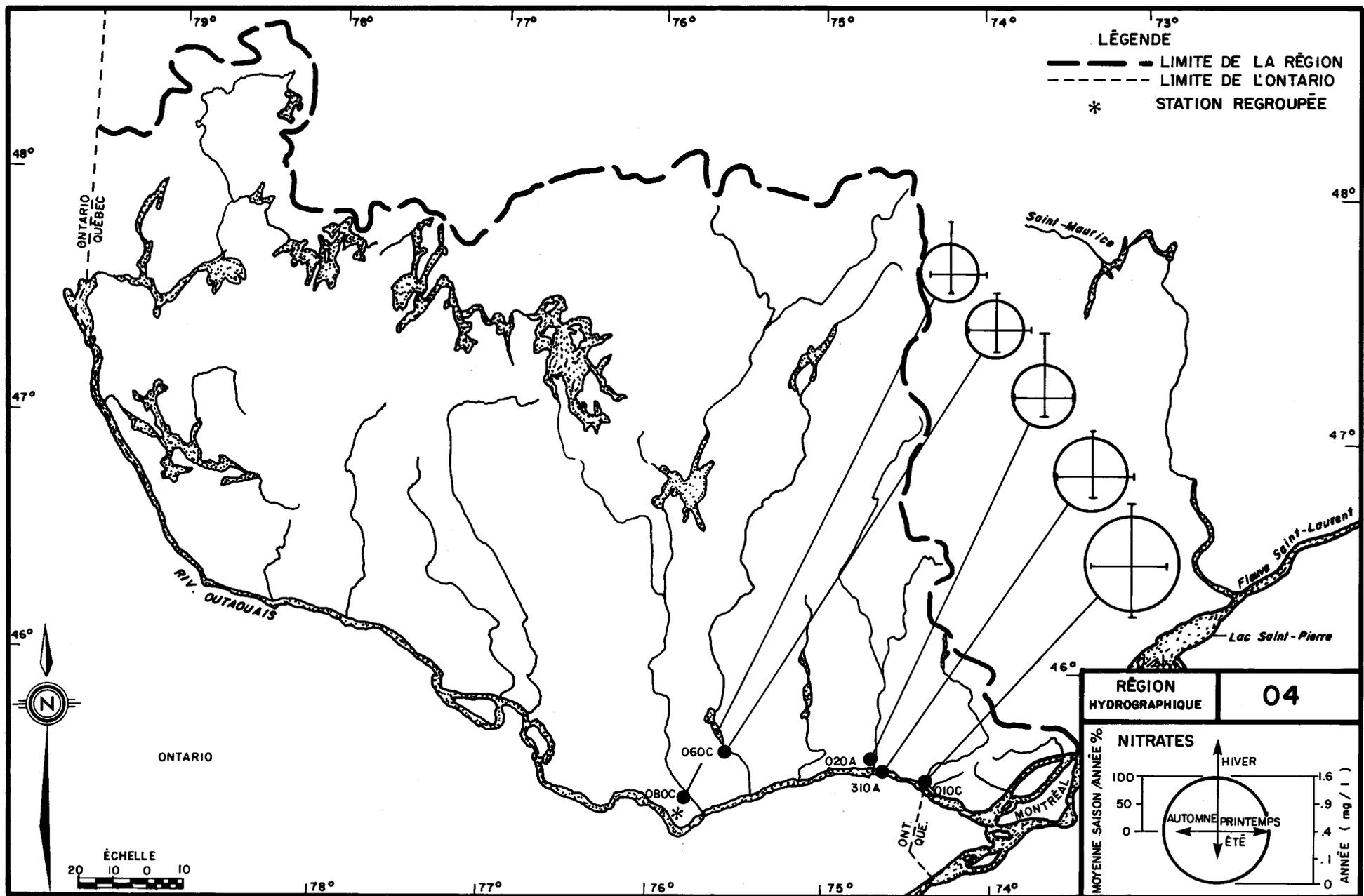


Figure 3.38. Représentation des concentrations moyennes interannuelles des nitrates et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 04 (période 1973-75).

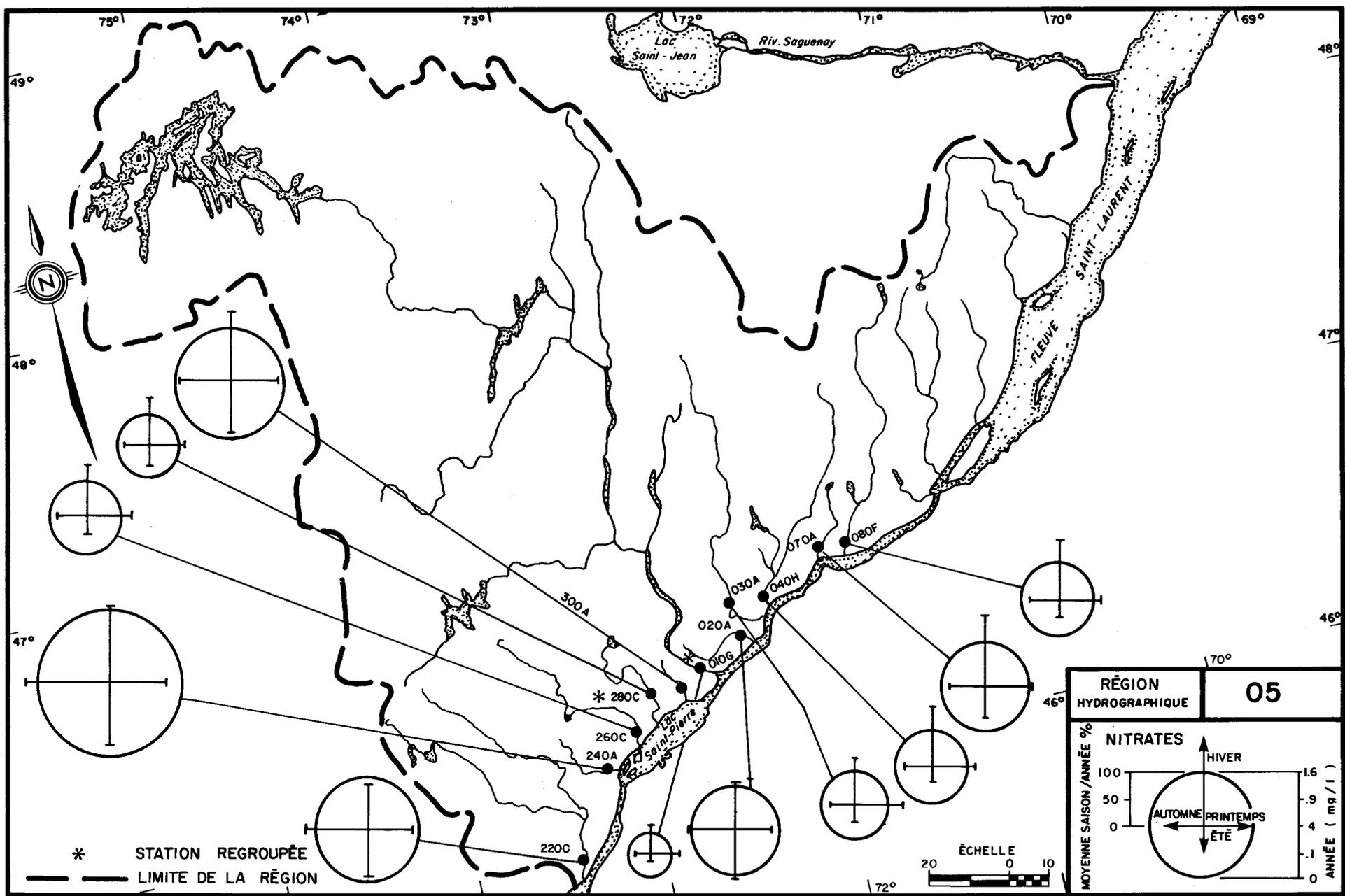


Figure 3.39. Représentation des concentrations moyennes interannuelles des nitrates et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 05 (période 1973-75).

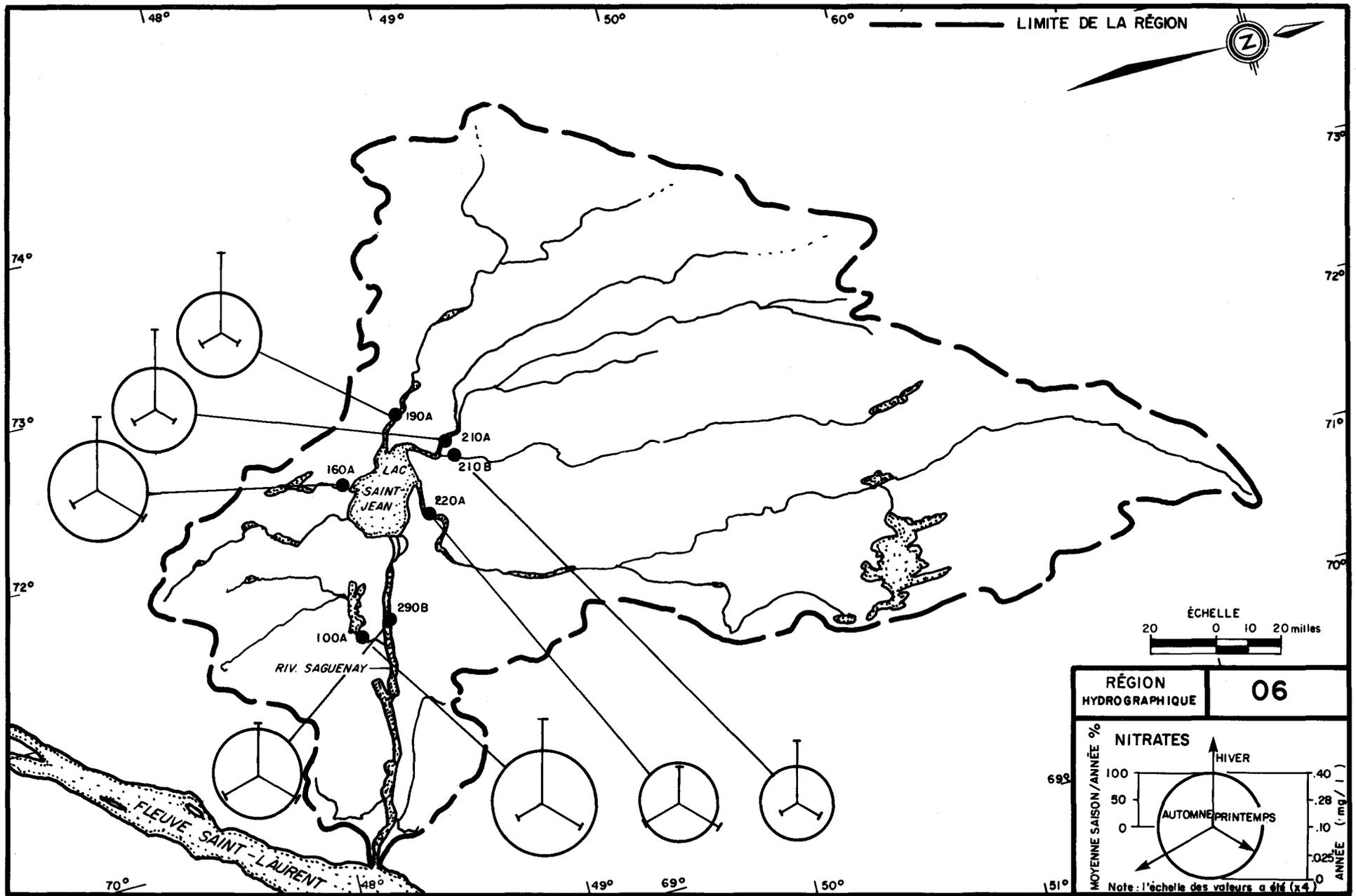


Figure 3.40 . Représentation des concentrations moyennes interannuelles des nitrates et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 06 (période 1973 - 75).

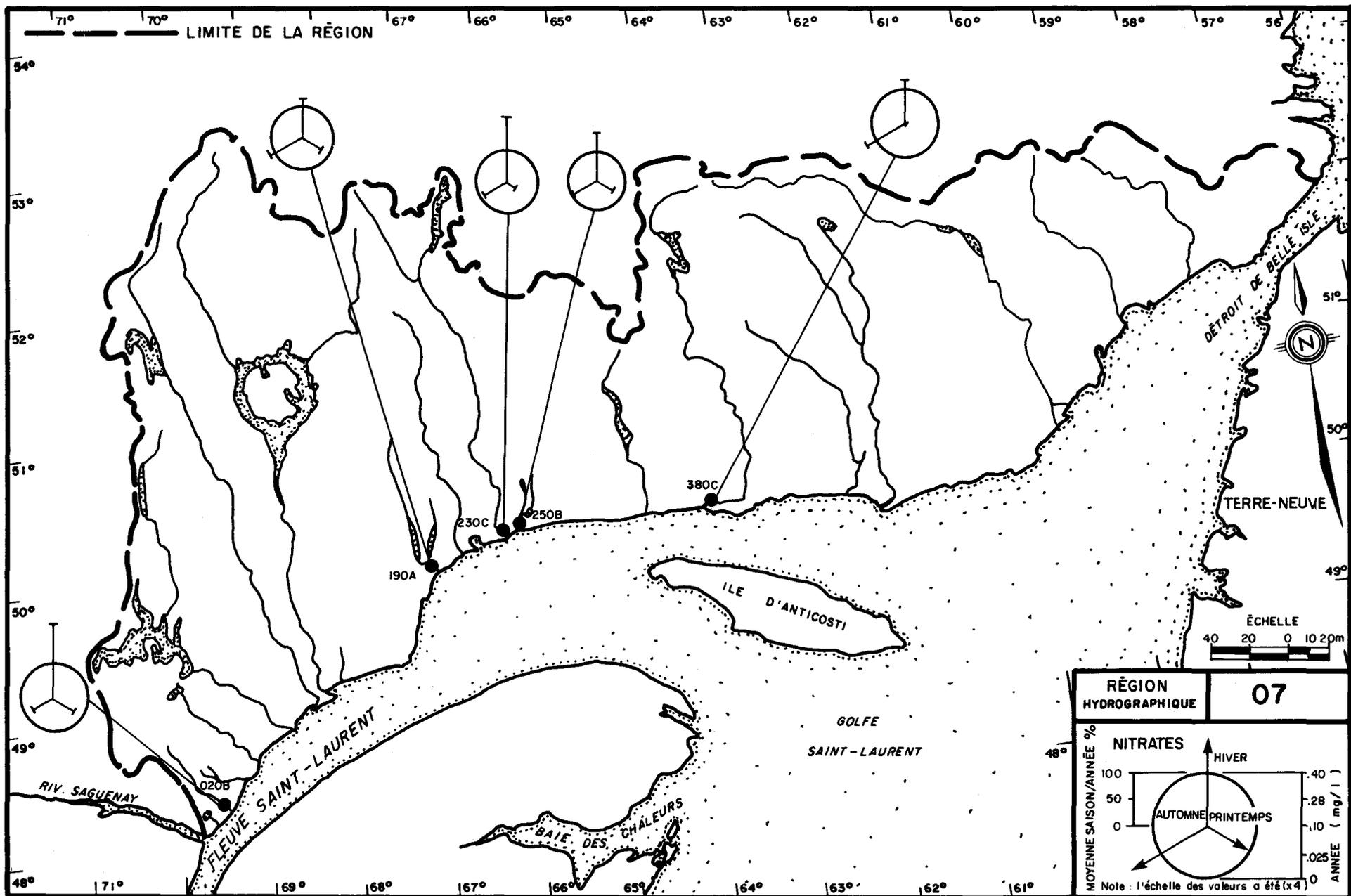


Figure 3.41. Représentation des concentrations moyennes interannuelles des nitrates et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 07 (période 1973 - 75).

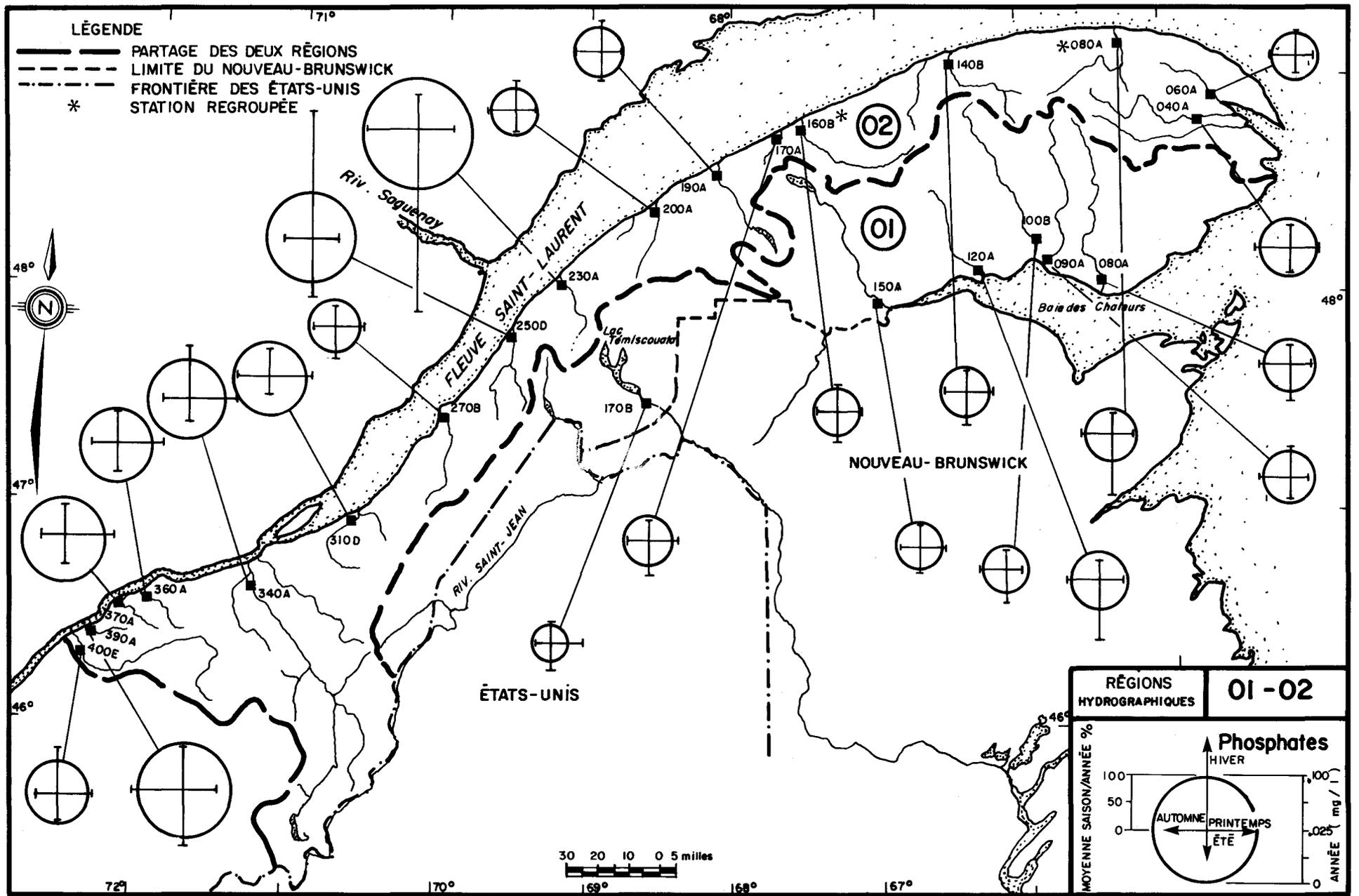


Figure 3.42. Représentation des concentrations moyennes interannuelles des phosphates et de la répartition des moyennes saisonnières des stations des régions 01 et 02 (période 1973 - 75).

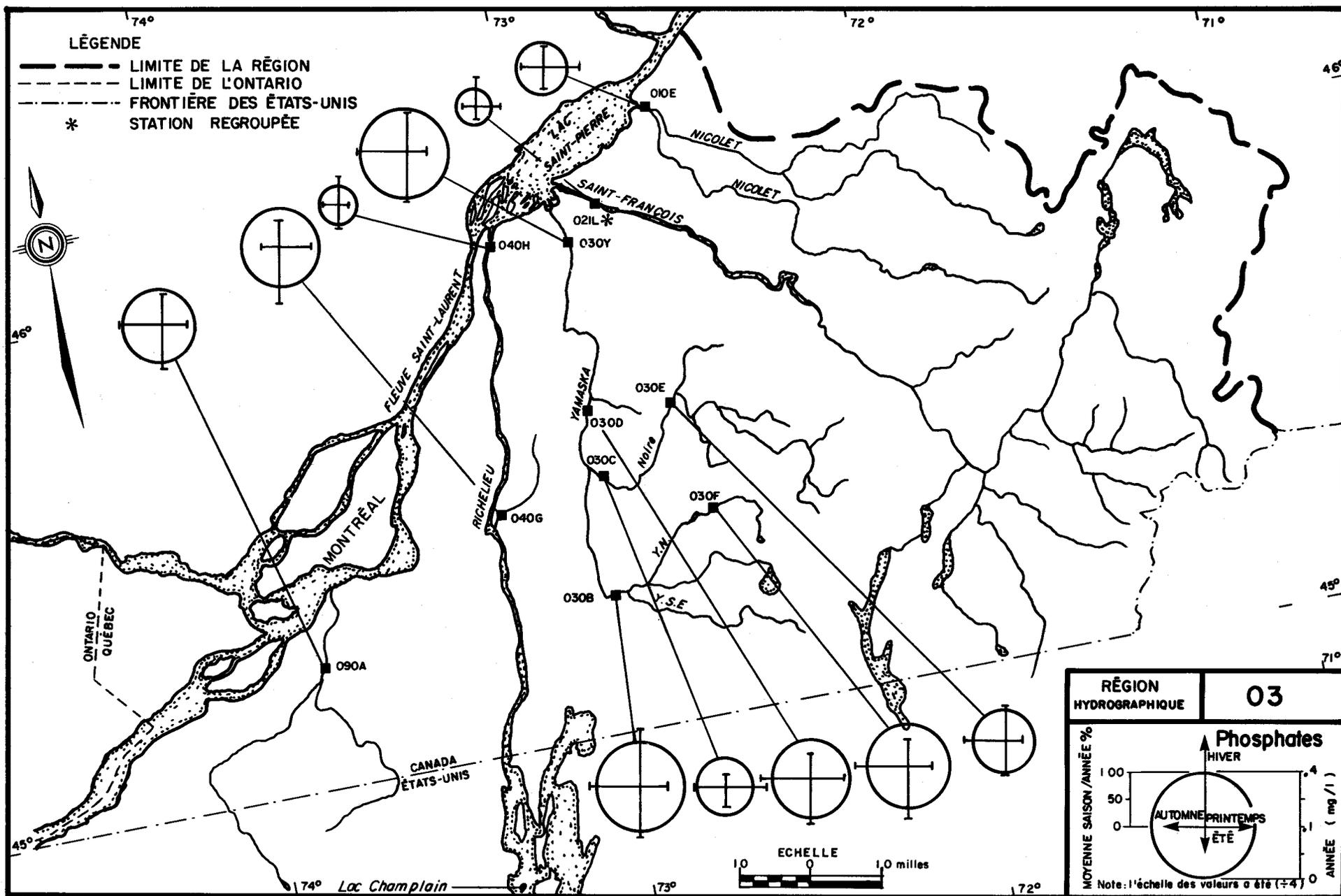


Figure 3.43. Représentation des concentrations moyennes interannuelles des phosphates et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 03 (période 1973-75).

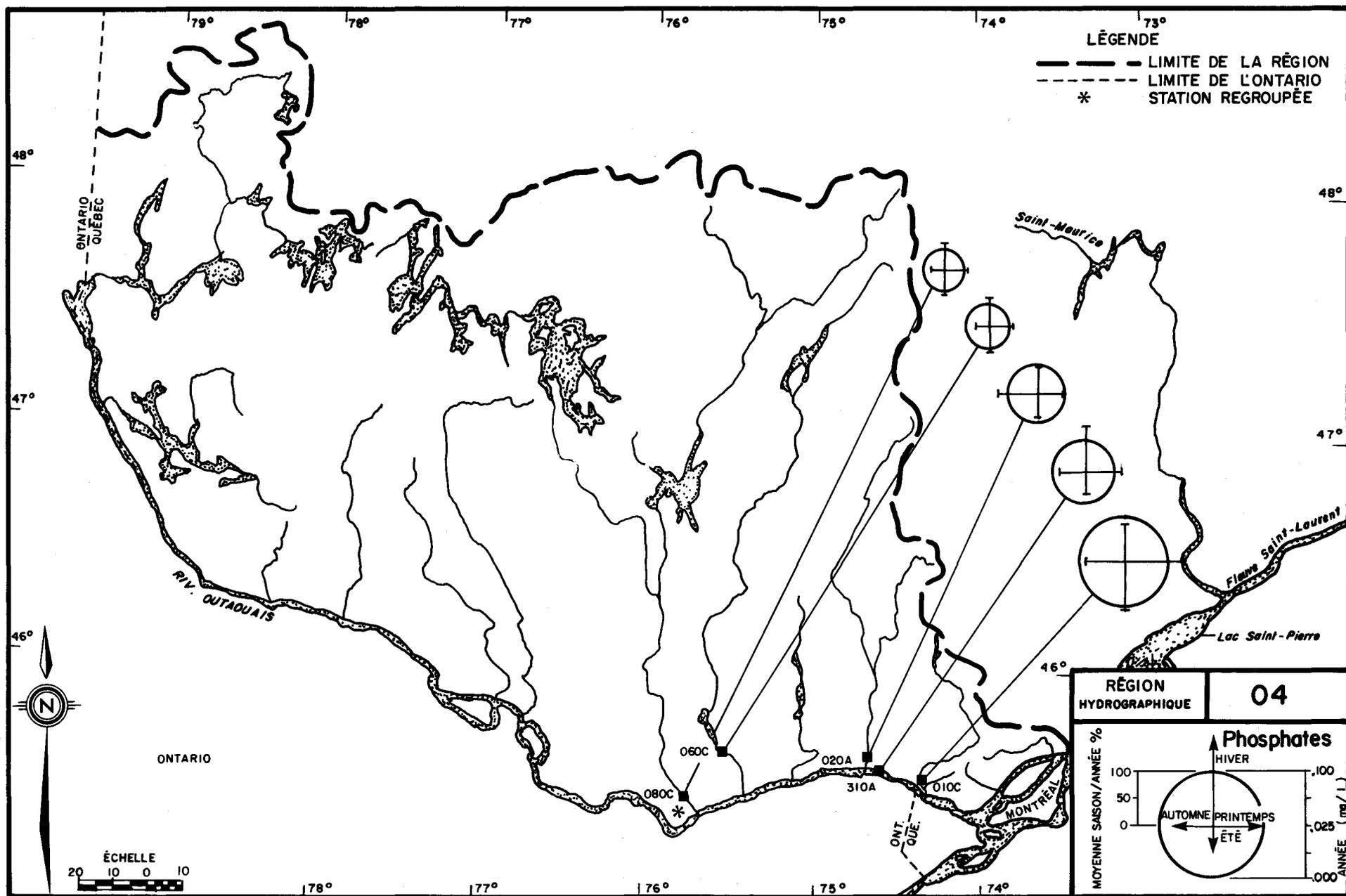


Figure 3.44. Représentation des concentrations moyennes interannuelles des phosphates et la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 04 (période 1973-75).

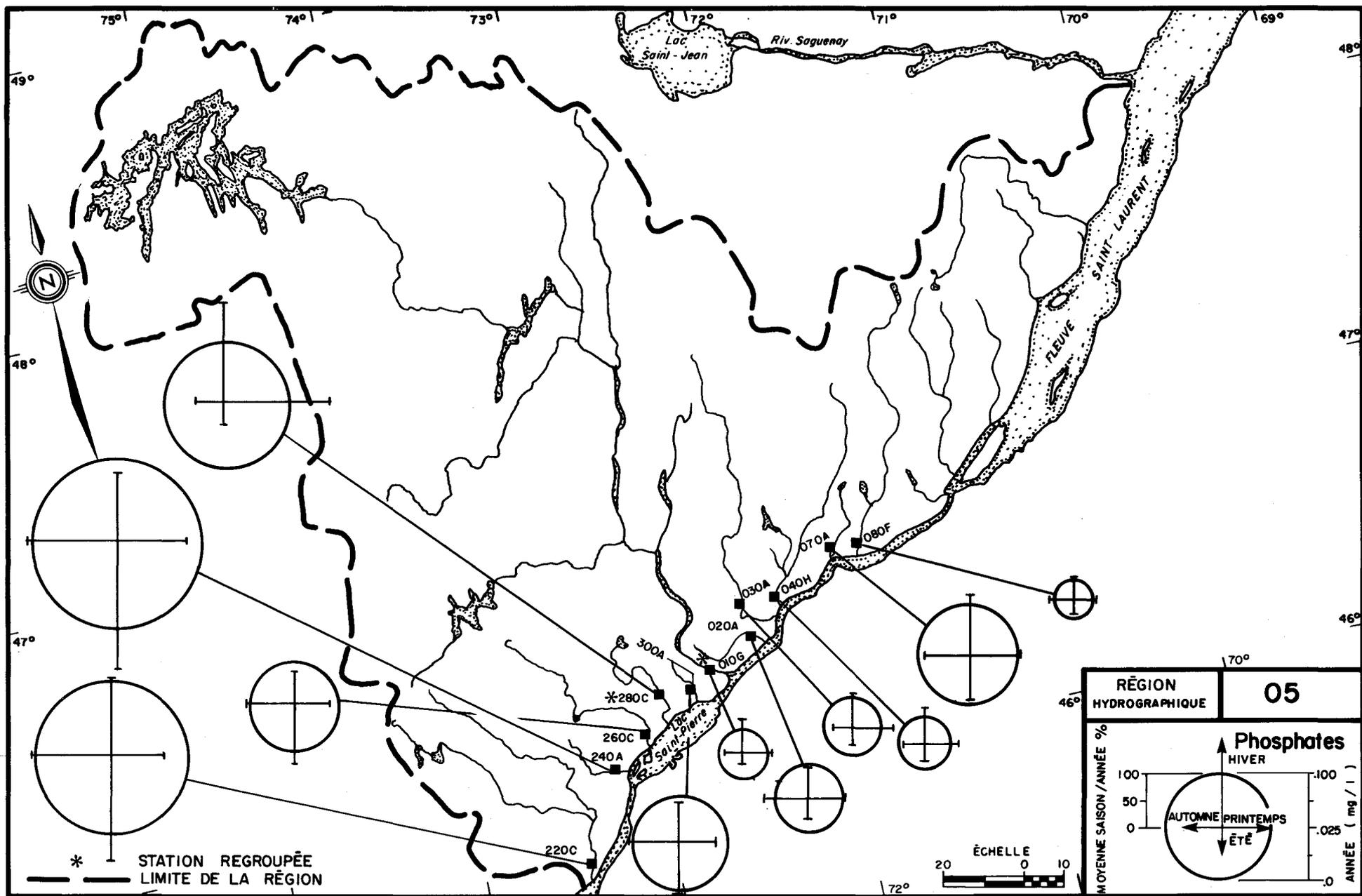


Figure 3. 45 . Représentation des concentrations moyennes interannuelles des phosphates et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 05 (période 1973 - 75) .

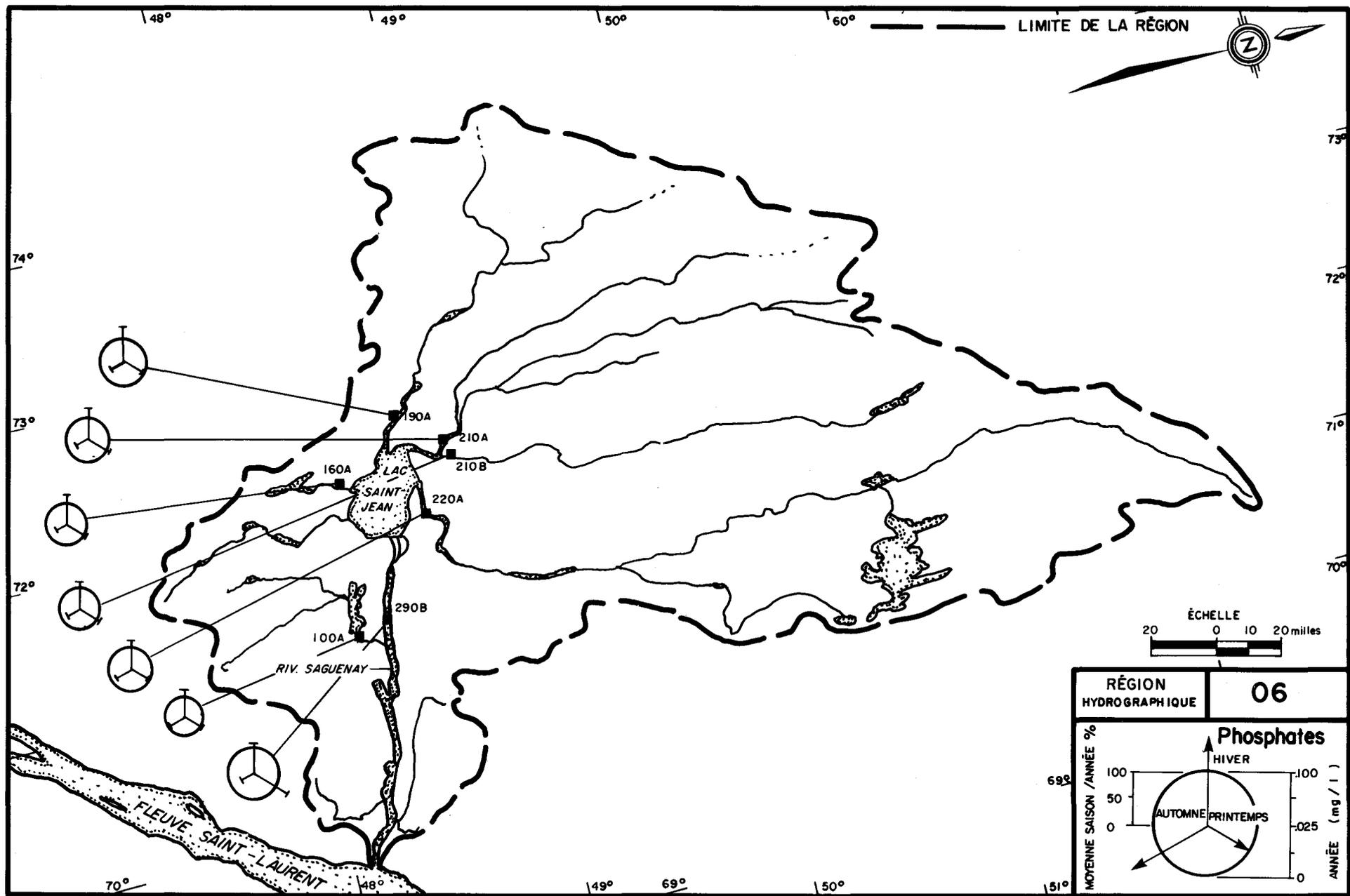


Figure 3.46. Représentation des concentrations moyennes interannuelles des phosphates et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 06 (période 1973 - 75) .

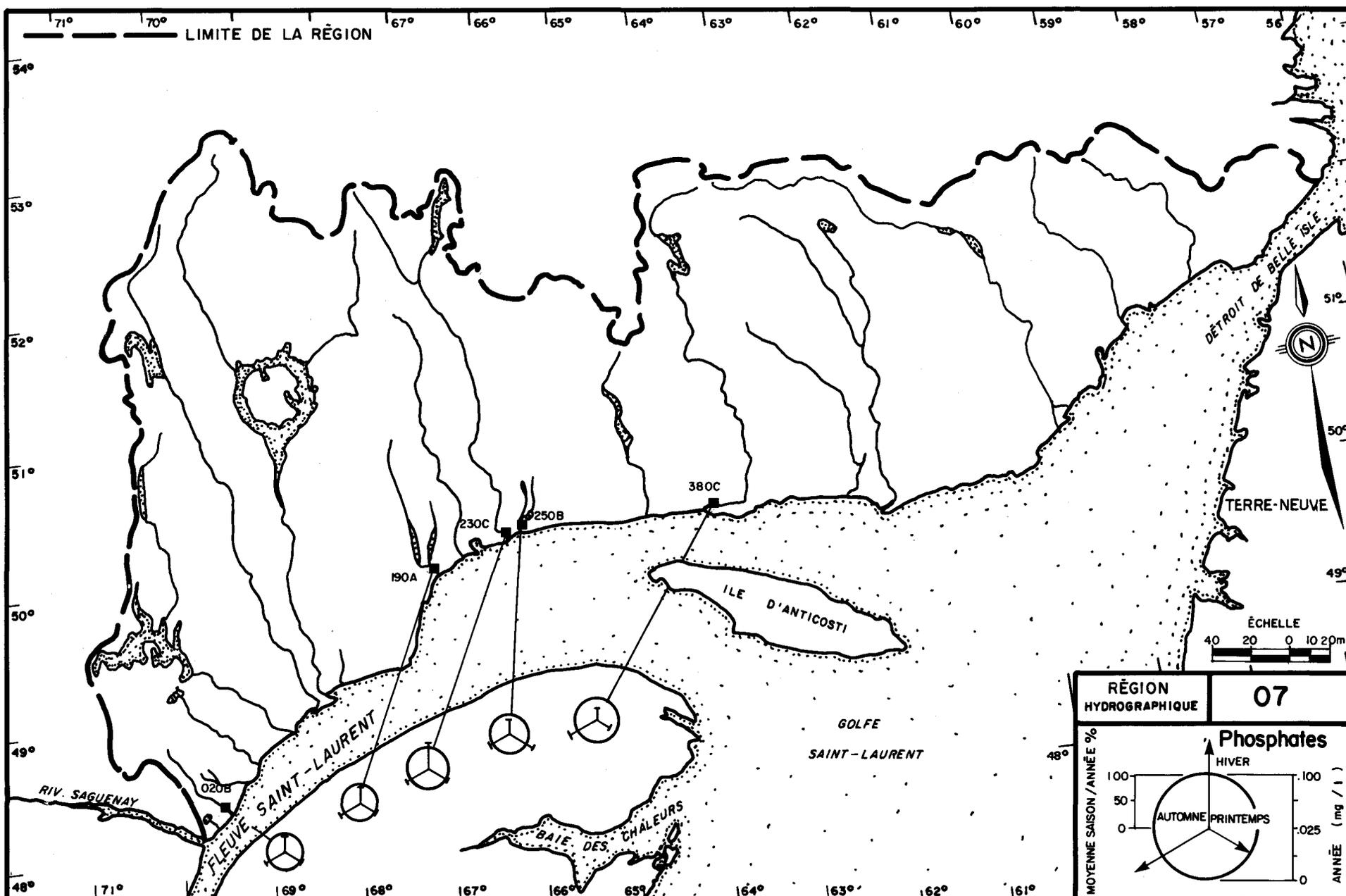


Figure 3.47. Représentation des concentrations moyennes interannuelles des phosphates et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 07 (période 1973-75).

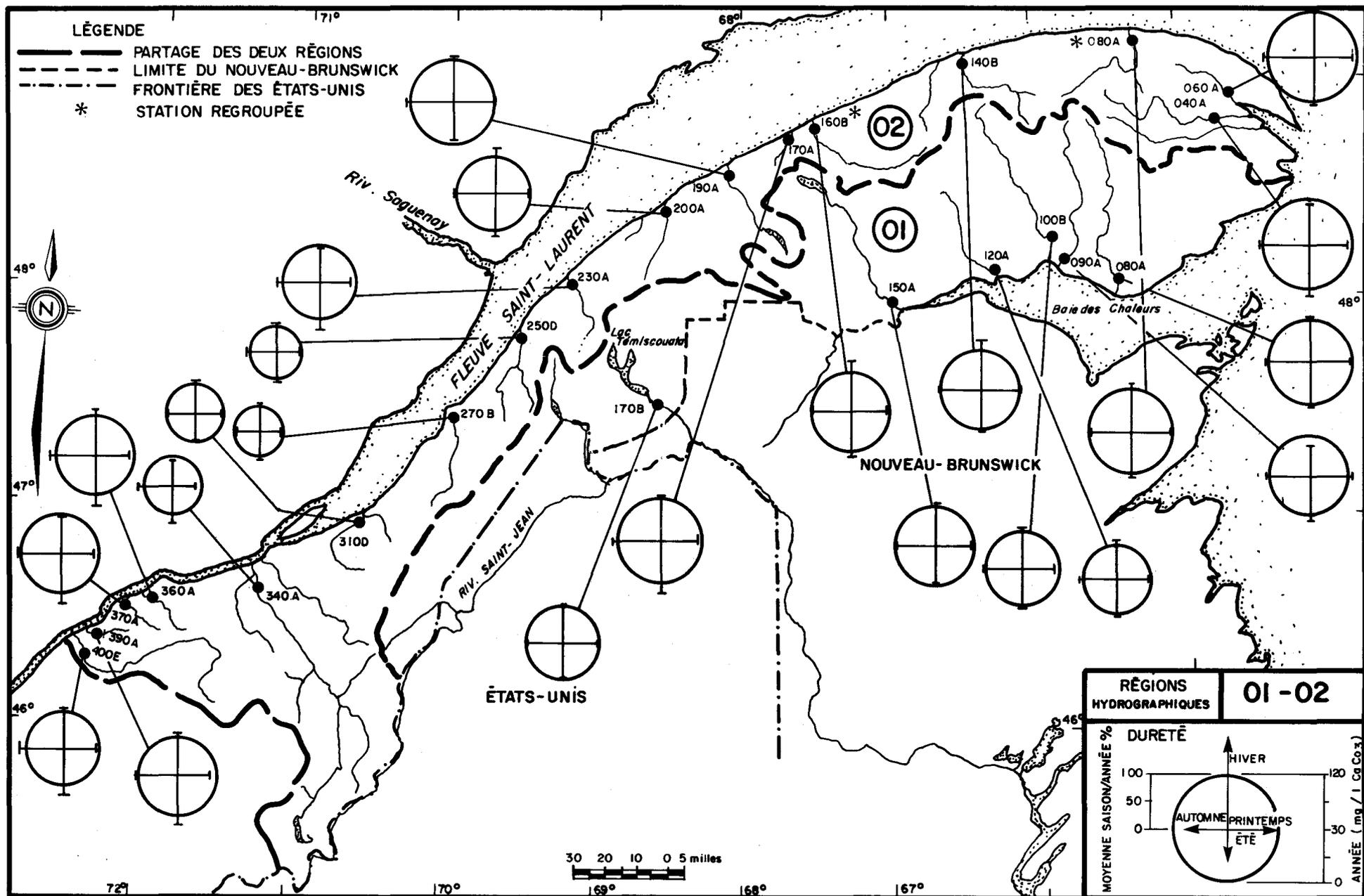


Figure 3.48. Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la dureté et de la répartition des moyennes saisonnières des stations des régions 01 et 02 (période 1973-75).

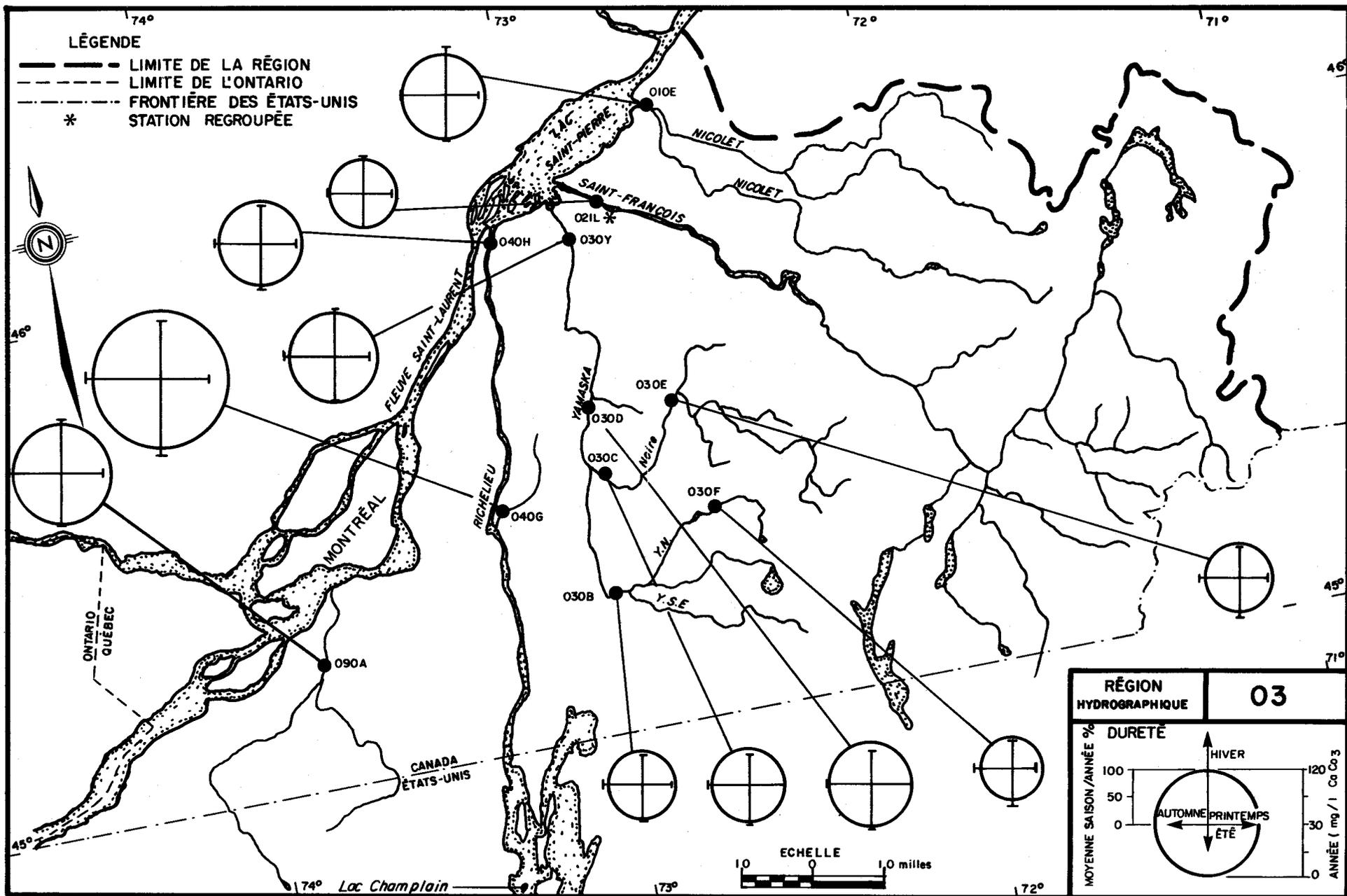


Figure 3.49. Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la dureté et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 03 (période 1973-75).

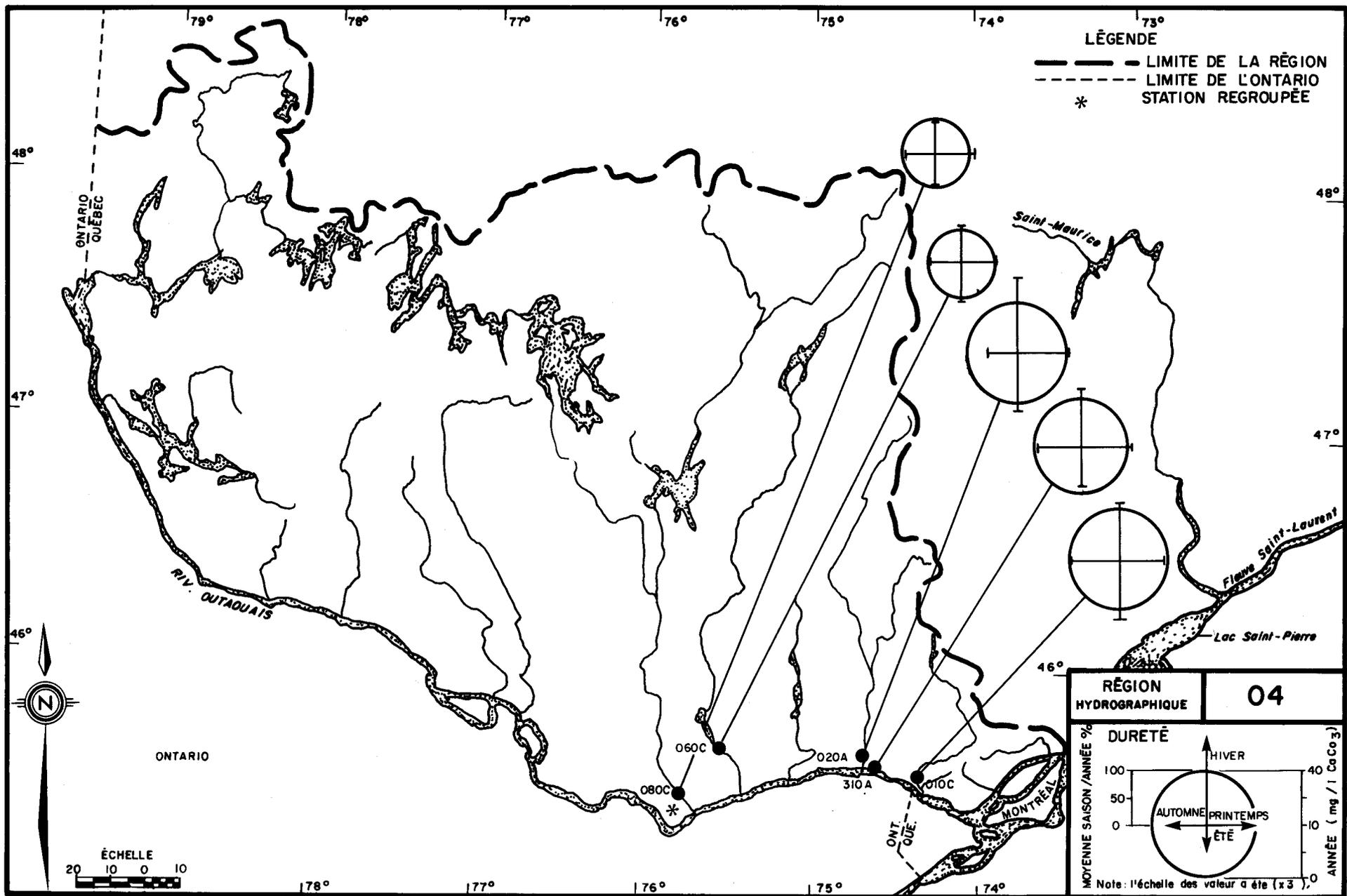


Figure 3.50. Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la dureté et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 04 (période 1973-75).

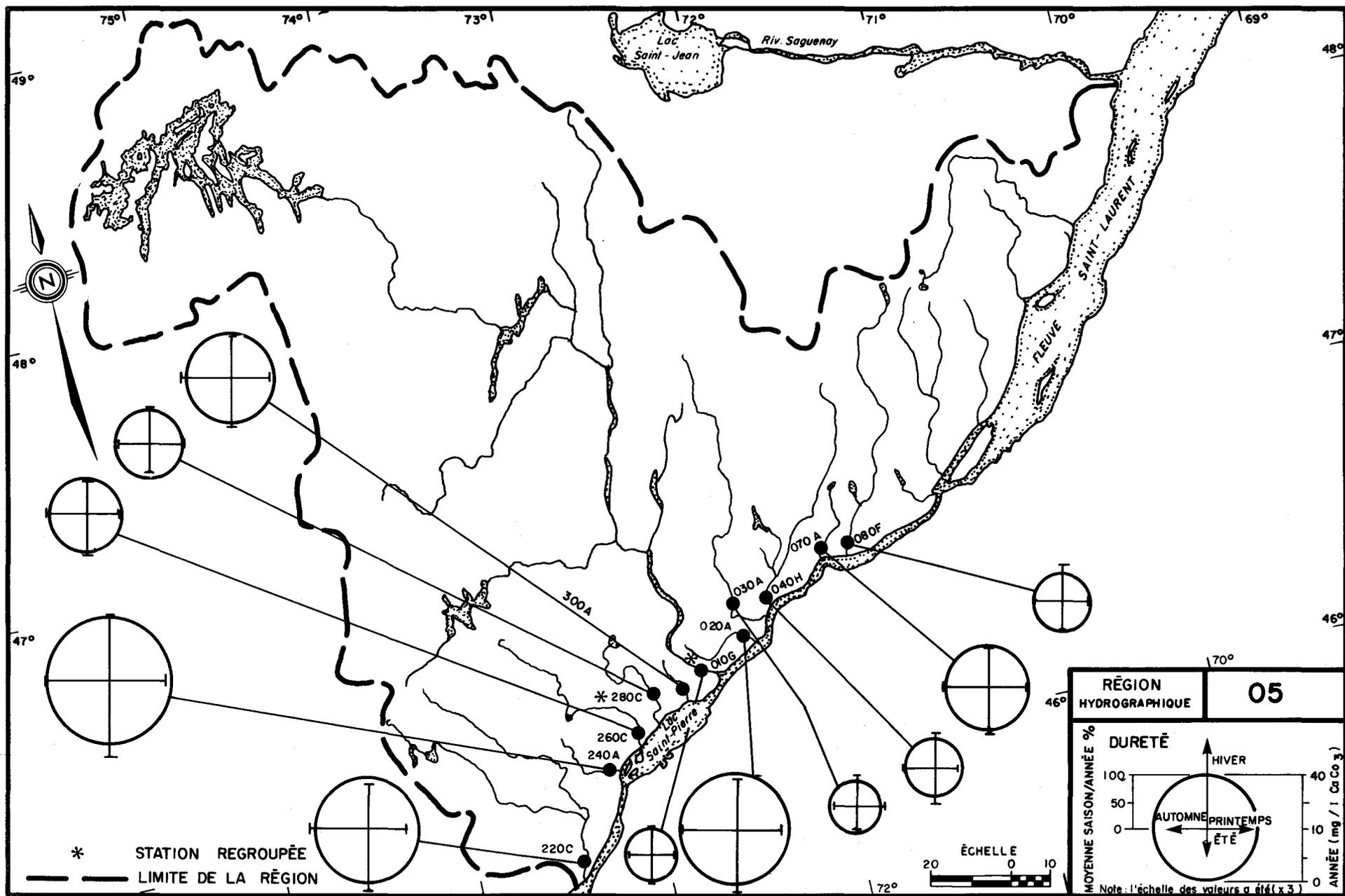


Figure 3.51. Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la dureté et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 05 (période 1973-75).

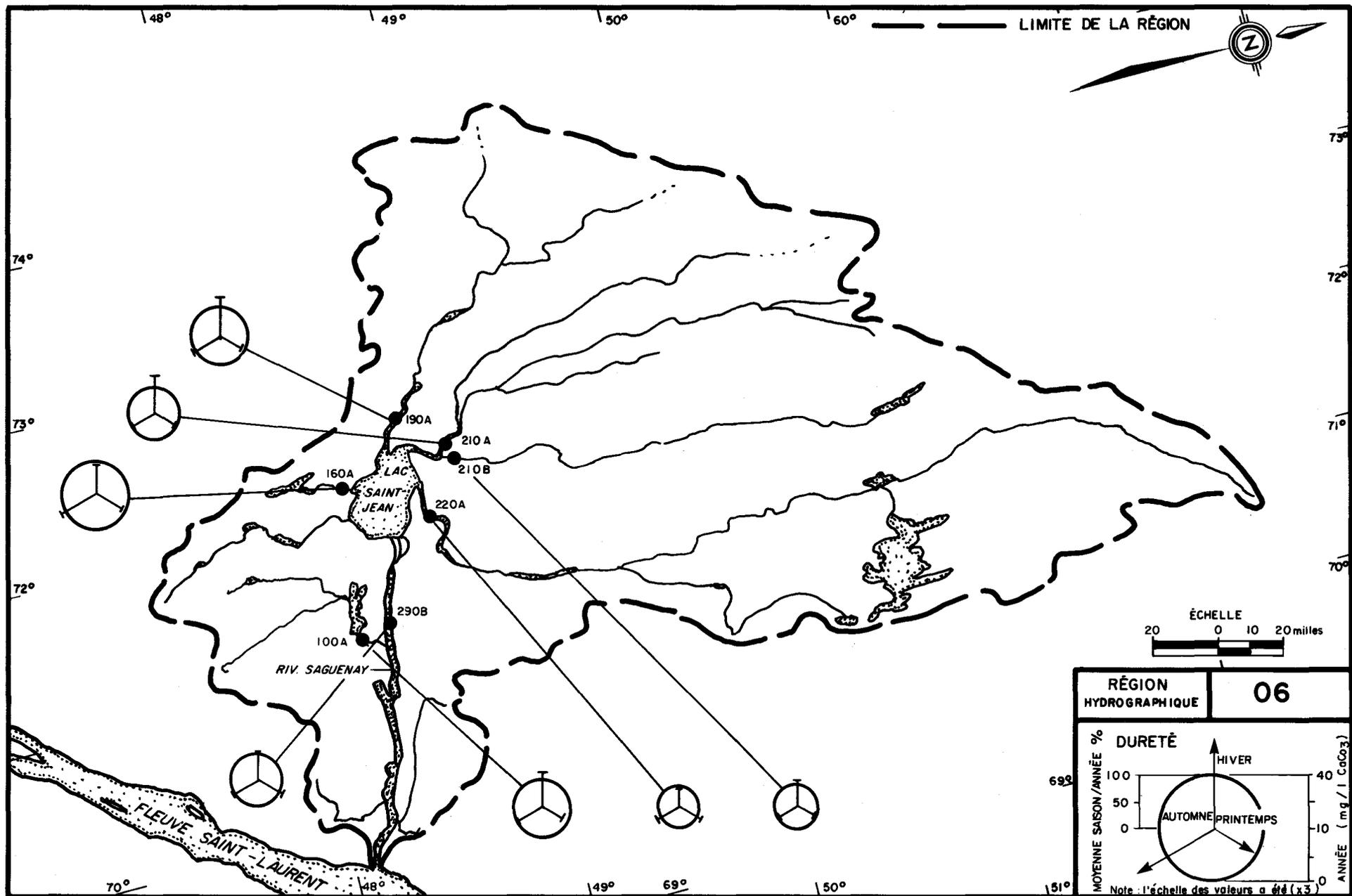


Figure 3.52. Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la dureté et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 06 (période 1973 - 75).

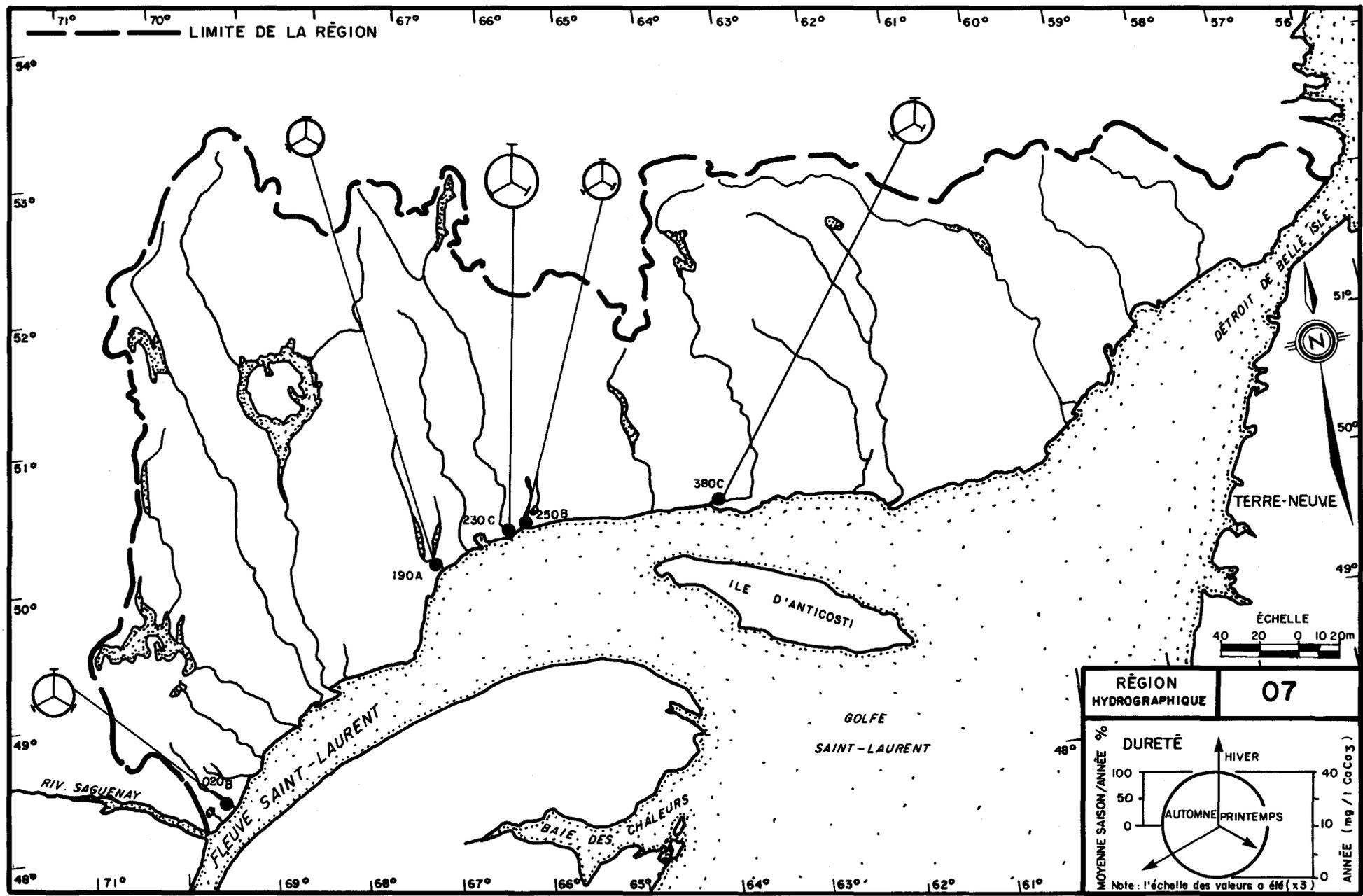


Figure 3.53. Représentation des concentrations moyennes interannuelles de la dureté et de la répartition des moyennes saisonnières des stations de la région 07 (période 1973 - 75).

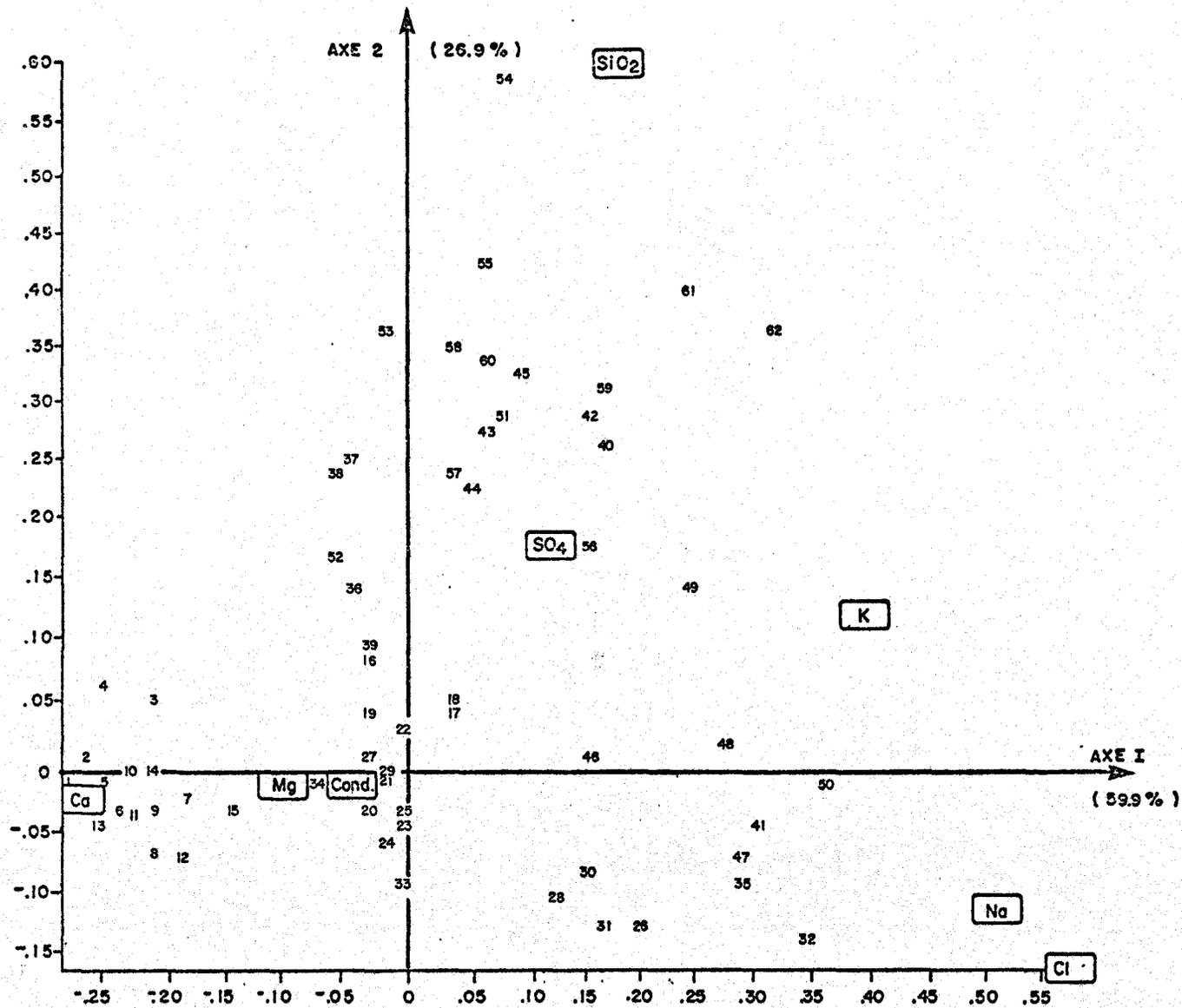


Figure 3.54. Analyse factorielle des correspondances sur les moyennes annuelles des ions majeurs, de la conductivité et de la silice - Représentation simultanée dans le plan des axes principaux 1 et 2 des "points-paramètre" et des "points-stations".

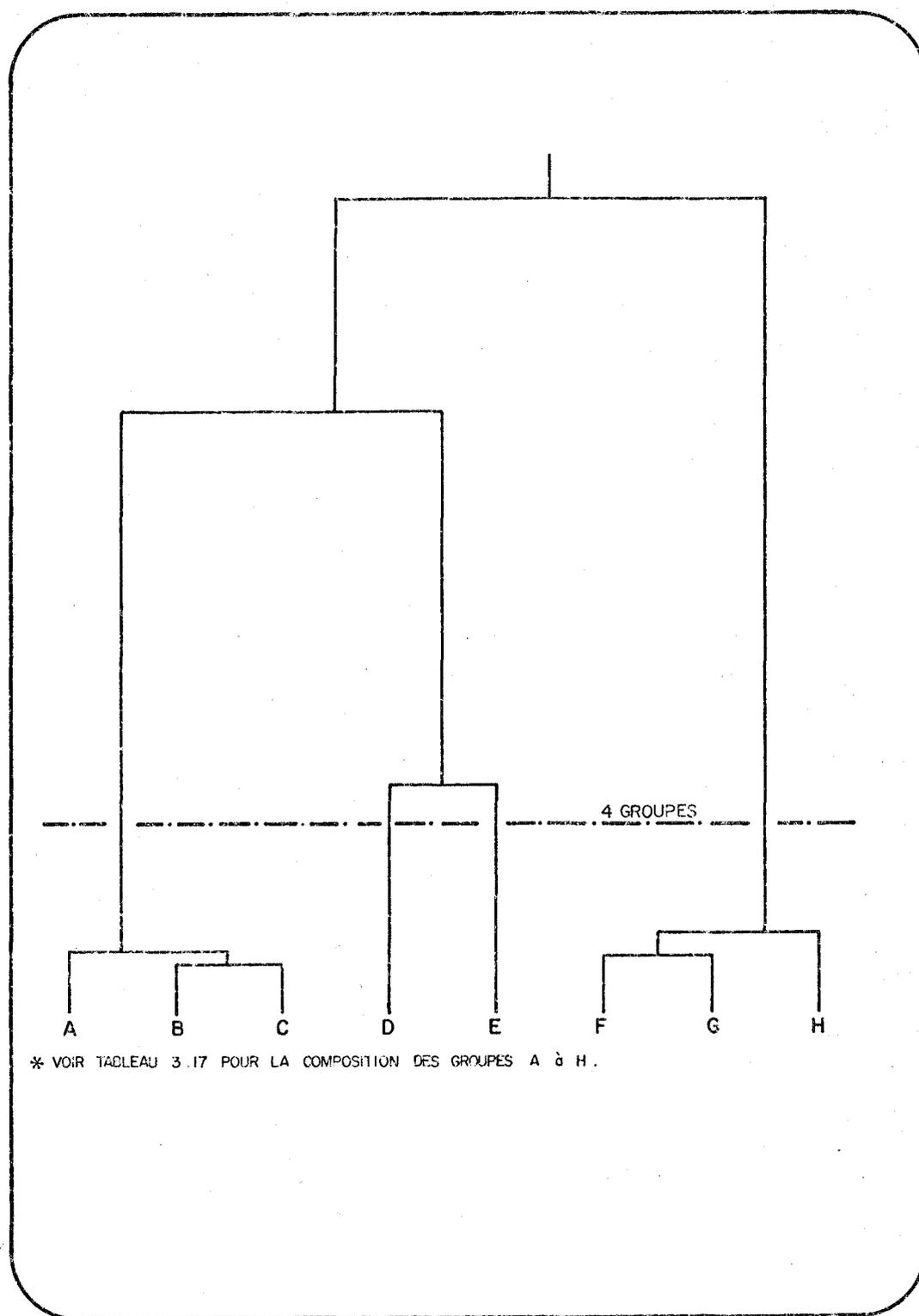


Figure 3.55 .Classification ascendante hiérarchique obtenue en considérant les distances entre stations calculées à partir des quatre premiers facteurs de l'AFC appliquée aux moyennes annuelles des ions majeurs, de la conductivité et de la silice.

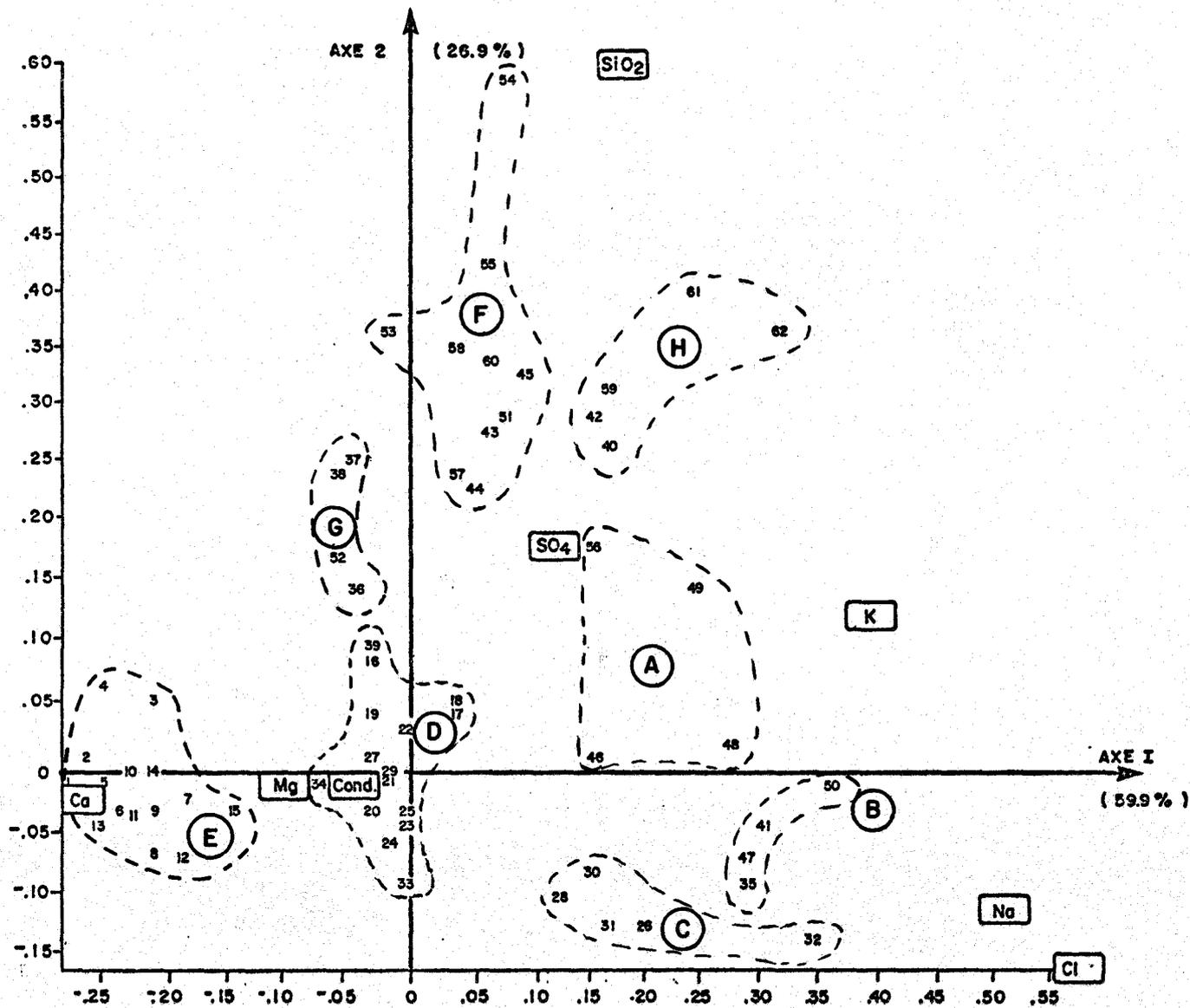


Figure 3.56. Regroupement des stations obtenu par C.A.H. et représentation dans le plan des axes principaux I et 2.

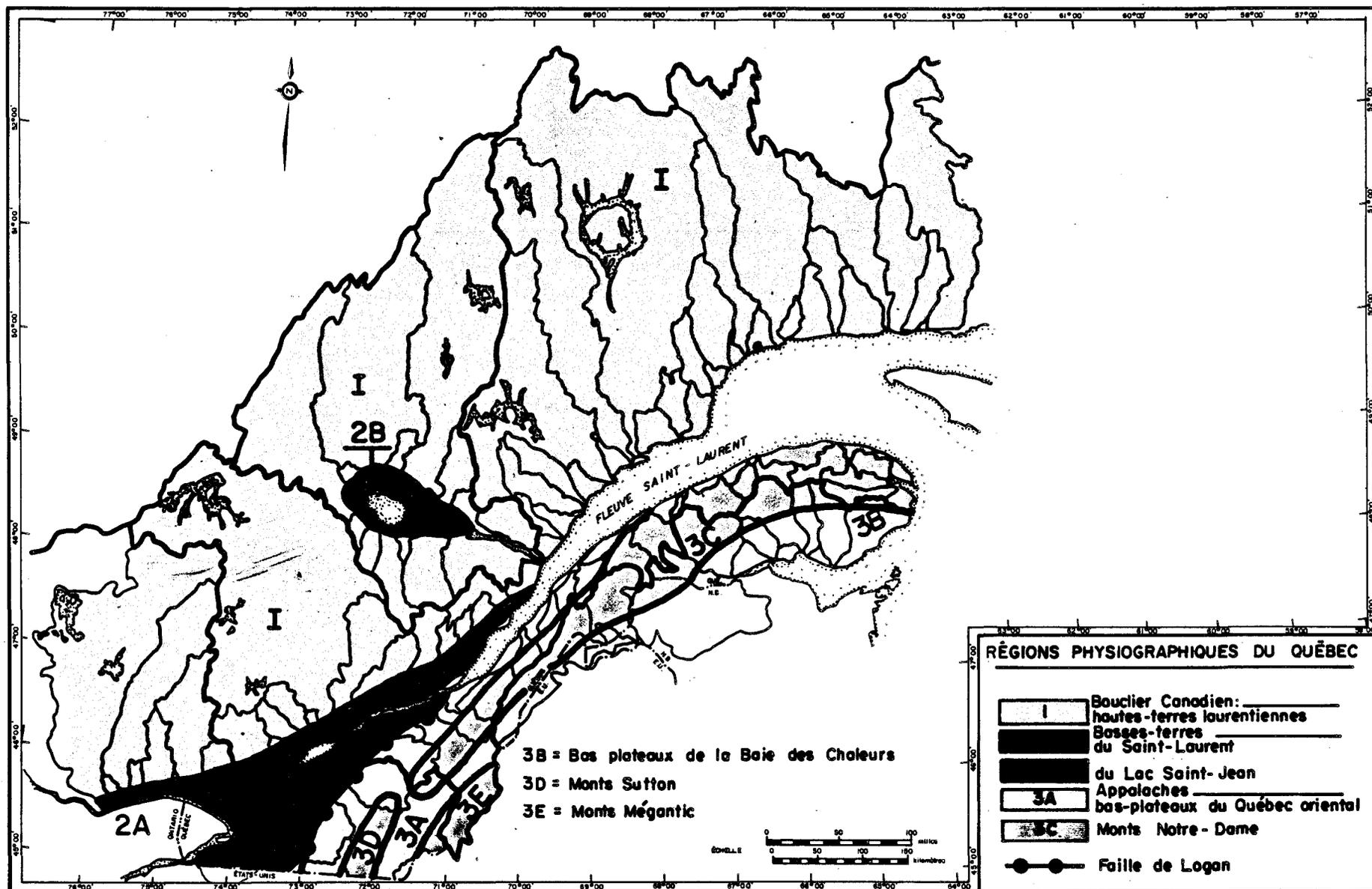


Figure 3.57 . Régions physiographiques du Québec.

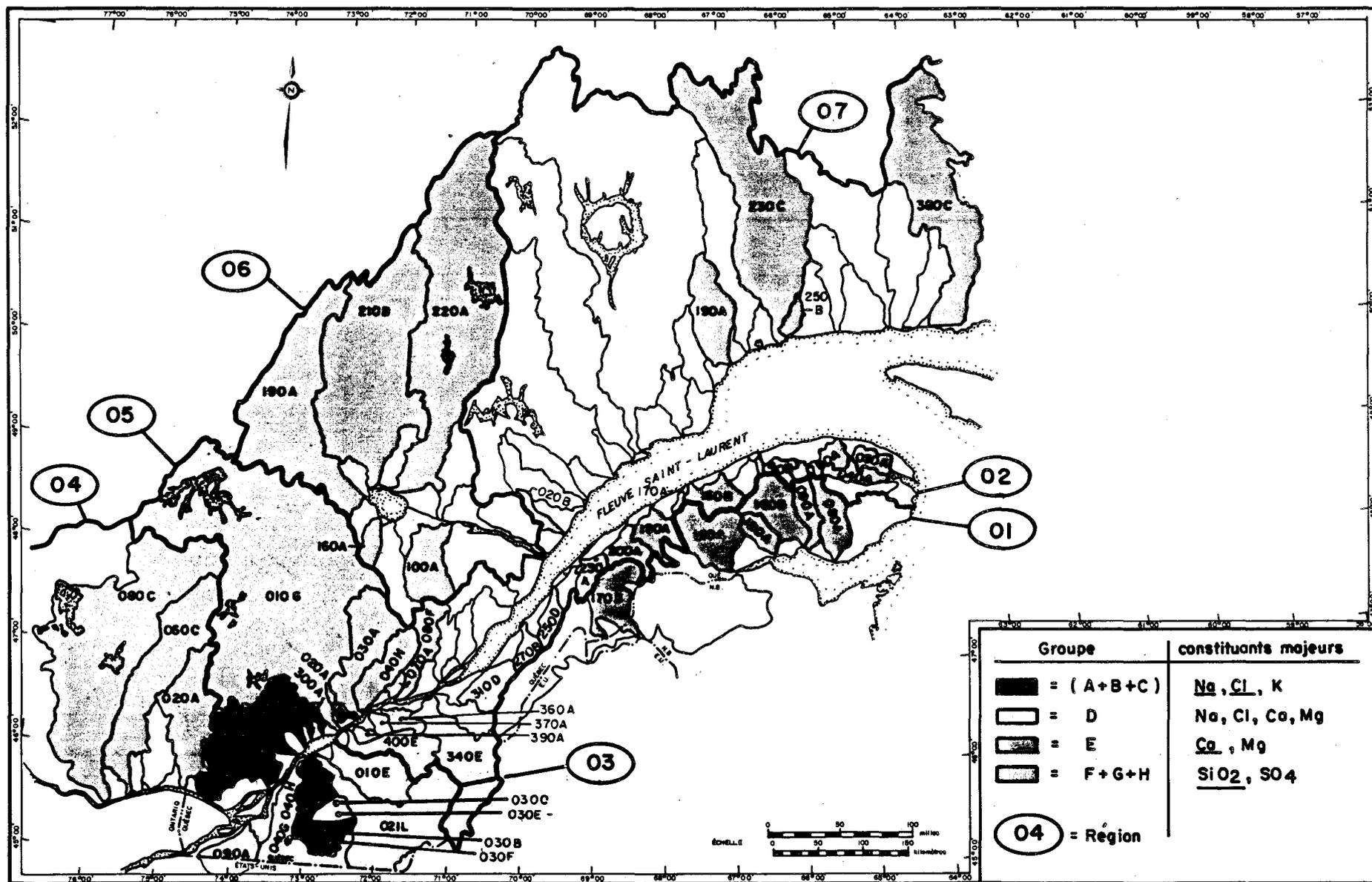


Figure 3.58. Zonation des groupes de stations obtenues par classification ascendante hiérarchique et caractérisation physico-chimique.

ALIMENTATION EN EAU (□)

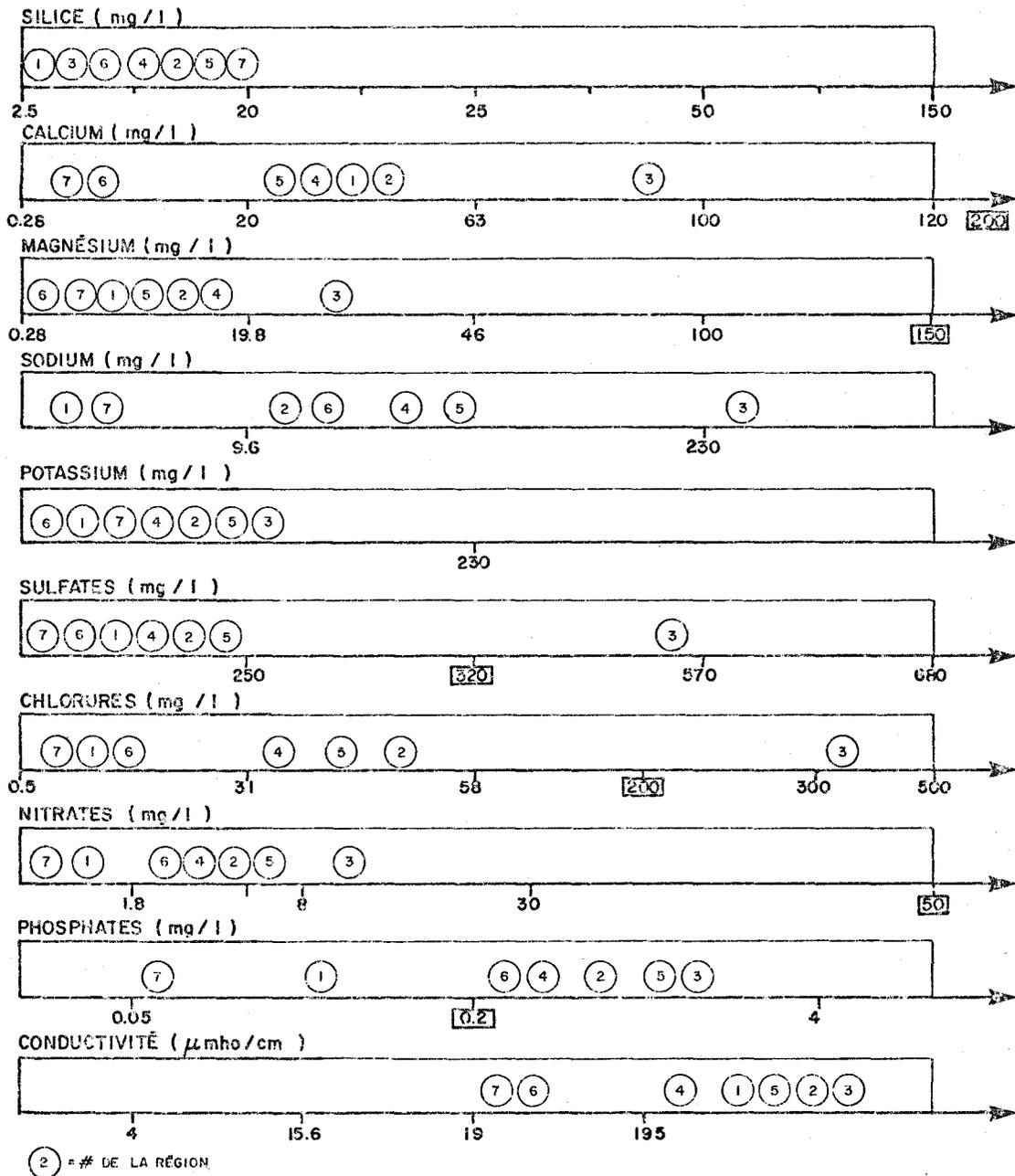


Figure 3.59 . Localisation des valeurs maximales régionales des paramètres du groupe I, en fonction de la gamme des critères d'utilisation de l'eau et en particulier par rapport aux critères relatifs à l'alimentation en eau (période 1973-75).

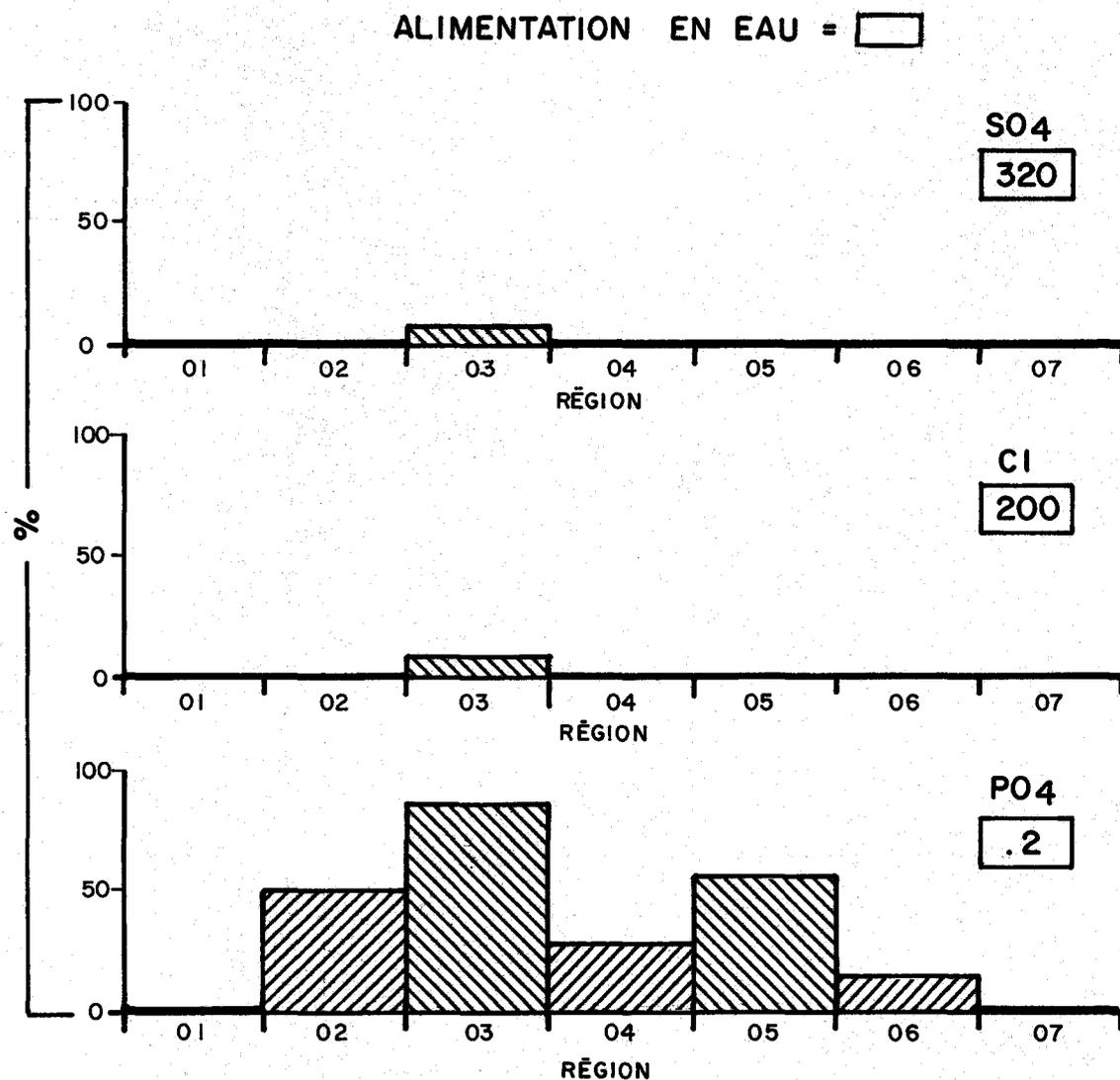


Figure 3.60. Non respect des critères d'utilisation de l'eau pour l'alimentation: distribution en pourcentage de l'effectif des stations pour les paramètres du groupe I suivant les régions (période 1973-75).

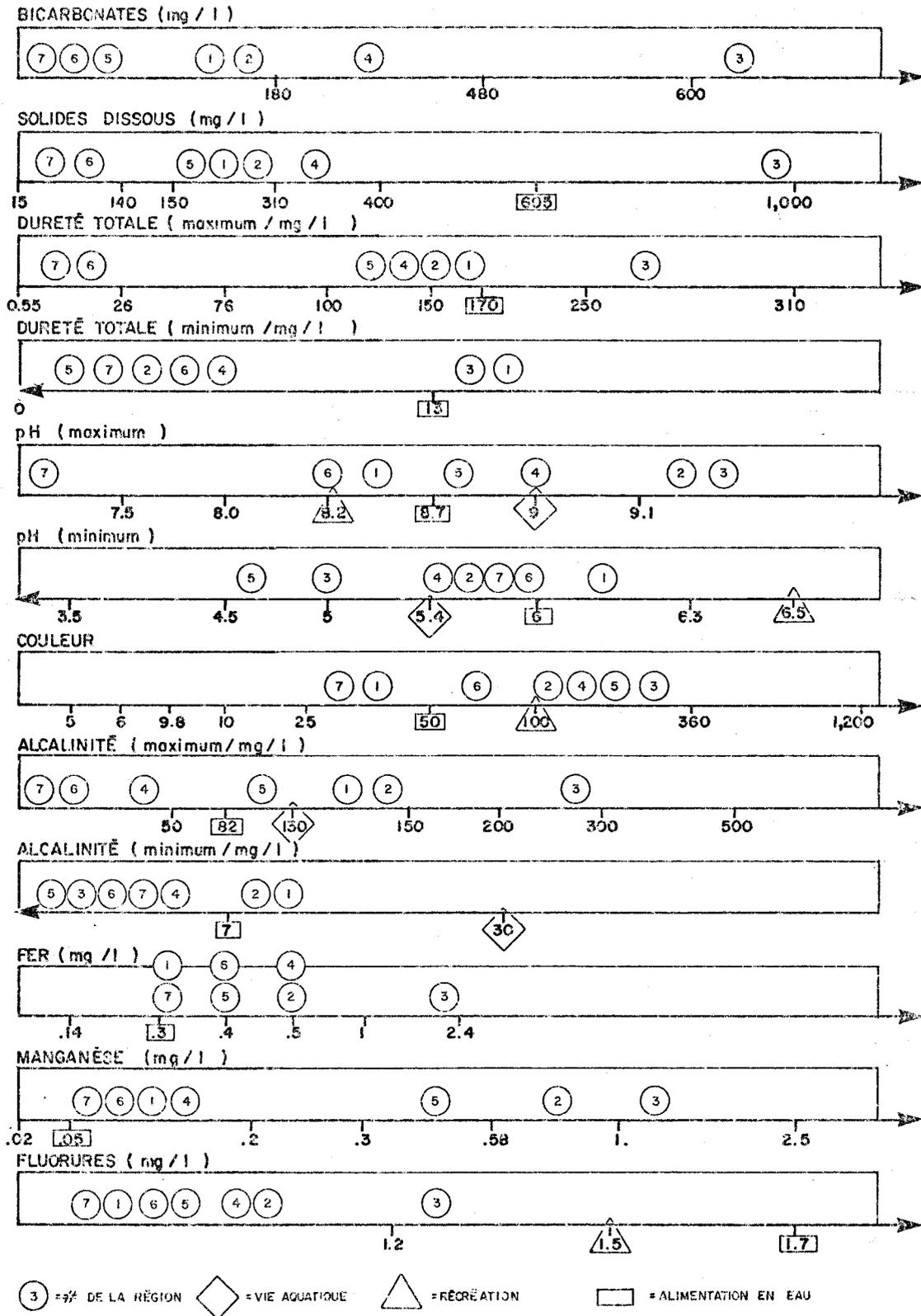


Figure 3.61 . Localisation des valeurs extrêmes annuelles des paramètres du groupe 2 en fonction des critères d'utilisation de l'eau, en particulier par rapport aux critères relatifs, à la vie aquatique, à la récréation et à l'alimentation en eau (période 1973 - 75).

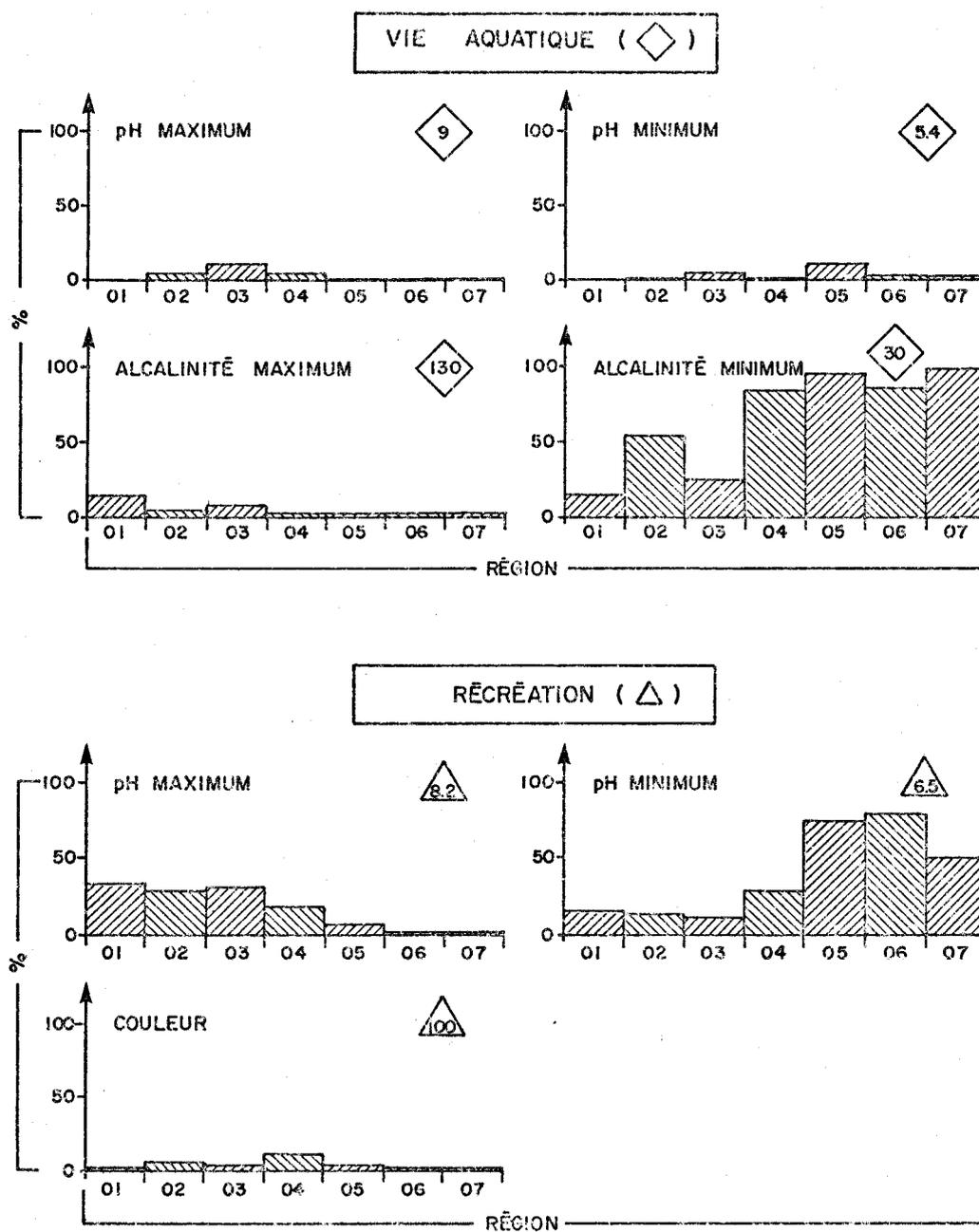


Figure 3.62. Non respect des critères d'utilisation de l'eau pour la vie aquatique, la récréation et l'alimentation en eau : distribution en pourcentage de l'effectif des stations pour les paramètres du groupe 2 suivant les régions (période 1973-75).

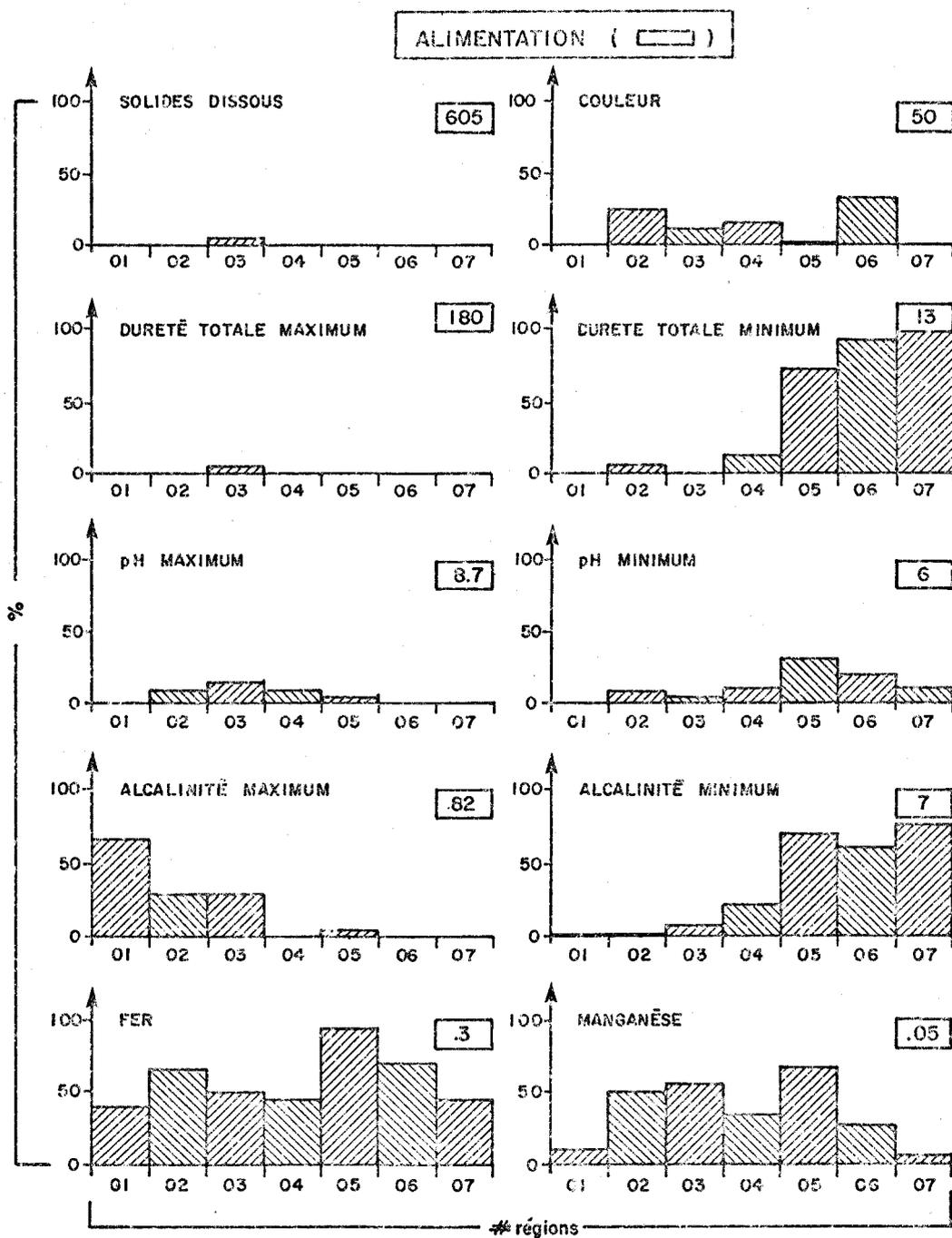


Figure 3.62 (suite).

Evaluation du réseau de qualité des eaux
(M.R.N.). Analyse et interprétation des
données de la période 1967-1975.
Volume 2. Annexes

INRS-Eau
Université du Québec
C.P. 7500, Sainte-Foy
Québec G1V 4C7

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 78
1977

Rapport rédigé pour
le ministère des Richesses naturelles, Québec

par

B. Bobée, D. Cluis, M. Goulet, M. Lachance, L. Potvin, A. Tessier

Evaluation du réseau de qualité des eaux
(M.R.N.). Analyse et interprétation des
données de la période 1967-1975.
Volume 2. Annexes

INRS-Eau
Université du Québec
C.P. 7500, Sainte-Foy
Québec G1V 4C7

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 78
1977

Rapport rédigé pour
le ministère des Richesses naturelles, Québec

par

B. Bobée, D. Cluis, M. Goulet, M. Lachance, L. Potvin, A. Tessier

ISBN 2-89146-076-6
DEPOT LEGAL 1977

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

© 1977 - Institut national de la recherche scientifique

TABLE DES MATIERES

A-	INTRODUCTION	1
A.1	MESURE DES PARAMETRES ET LEUR SIGNIFICATION	5
A.1.1	Silice	8
A.1.2	Calcium	13
A.1.3	Magnésium	18
A.1.4	Sodium	22
A.1.5	Potassium	25
A.1.6	Sulfates	27
A.1.7	Chlorures	33
A.1.8	Fluorures	36
A.1.9	Carbone inorganique	39
A.1.10	Nitrates	51
A.1.11	Orthophosphates	56
A.1.12	Dureté	64
A.1.13	Fer	66
A.1.14	Manganèse	77
A.1.15	Conductivité	87
A.1.16	Solides dissous	89
A.1.17	pH	90
A.1.18	Couleur	94
A.1.19	Oxygène dissous	95
A.1.20	Température	98
A.2	UTILITE DES PARAMETRES: RELATION ENTRE LA QUALITE DE L'EAU ET SON POPENLIEL D'UTILISATION	98
A.2.1	Silice	101
A.2.2	Calcium	101
A.2.3	Magnésium	102
A.2.4	Sodium	103
A.2.5	Potassium	104
A.2.6	Sulfates	104
A.2.7	Chlorures	105
A.2.8	Fluorures	105
A.2.9	Carbone inorganique	106
A.2.10	Nitrates	107

A.2.11	Orthophosphates	108
A.2.12	Dureté	108
A.2.13	Fer	108
A.2.14	Manganèse	109
A.2.15	Conductivité	110
A.2.16	Solides dissous	110
A.2.17	pH	111
A.2.18	Couleur	111
A.2.19	Oxygène dissous	112
A.2.20	Température	112
A.3	RELATIONS POTENTIELLES ENTRE LES PARAMETRES	114
	Liste des références	119
B-	INTRODUCTION	2
B.1	FICHIER DU RESEAU DU M.R.N.	123
B.1.1	Structure du fichier du M.R.N.	123
B.1.2	Formats et codification des cartes de données	123
B.1.3	Limites de sensibilité	126
B.2	LECTURE DES INFORMATIONS SE TROUVANT SUR LES CARTES	127
B.2.1	Lecture	127
B.2.2	Correction des erreurs grossières	127
B.2.3	Création des fichiers de référence	129
B.3	VALIDATION DES DONNEES	130
B.3.1	Méthodologie de validation des données	130
B.3.2	Découpage saisonnier	131
B.3.3	Filtrage effectué à partir des mesures physico- chimiques	132
B.3.4	Filtrage statistique: détection des valeurs extrêmes	139
B.3.5	Décompte et classification des données	141
	REFERENCE	147
C-	INTRODUCTION	3
C.1	TESTS D'EGALITE DES MOYENNES ET DES VARIANCES	149
C.1.1	Test de Student	150
C.1.2	Test de Fisher	155
C.1.3	Analyse de variance à un critère	157

C.2	INDEPENDANCE DES ELEMENTS D'UNE SERIE	166
C.2.1	Notion d'indépendance	166
C.2.2	Etude du coefficient d'autocorrélation	167
C.2.3	Contenu d'information d'une série	168
C.3	METHODES MULTIVARIEES	169
C.3.1	Analyse factorielle des correspondances	169
C.3.2	Classification ascendante hiérarchique	174
	LISTE DES REFERENCES	177
D-	INTRODUCTION	4
D.1	REGION HYDROGRAPHIQUE 01	179
D.1.1	Physiographie	179
D.1.2	Géologie et minéralogie des roches consolidées	179
D.1.3	Géologie et minéralogie des dépôts meubles	182
D.2	REGION HYDROGRAPHIQUE 02	182
D.2.1	Physiographie	182
D.2.2	Géologie et minéralogie des roches consolidées	184
D.2.3	Géologie et minéralogie des dépôts meubles	188
D.3	REGION HYDROGRAPHIQUE 03	190
D.3.1	Physiographie	190
D.3.2	Géologie et minéralogie des roches consolidées	190
D.3.3	Géologie et minéralogie des dépôts meubles	193
D.4	REGION HYDROGRAPHIQUE 04	196
D.4.1	Physiographie	196
D.4.2	Géologie et minéralogie des roches consolidées	197
D.4.3	Géologie et minéralogie des dépôts meubles	197
D.5	REGION HYDROGRAPHIQUE 05	199
D.5.1	Physiographie	199
D.5.2	Géologie et minéralogie des roches consolidées	199
D.5.3	Géologie et minéralogie des dépôts meubles	201
D.6	REGION HYDROGRAPHIQUE 06	201
D.6.1	Physiographie	201
D.6.2	Géologie et minéralogie des roches consolidées	204
D.6.3	Géologie et minéralogie des dépôts meubles	204

D.7	REGION HYDROGRAPHIQUE 07	205
D.7.1	Physiographie	205
D.7.2	Géologie et minéralogie des roches consolidées	205
D.7.3	Géologie et minéralogie des dépôts meubles	205
D.8	INCIDENCE DES ROCHES SUR LA QUALITE PHYSICO-CHEMIE DU MILIEU AQUATIQUE	207
D.8.1	Les roches sédimentaires	207
D.8.2	Les roches ignées	208
D.8.3	Les roches métamorphiques	209
	LISTE DES REFERENCES	211

LISTE DES TABLEAUX

A.1.1	Constantes d'équilibre pour des réactions impliquant les orthophosphates	60
A.1.2	Constantes d'équilibre pour des réactions impliquant le fer	69
A.1.3	Constantes d'équilibre pour des réactions impliquant le manganèse	80
A.1.4	Conductivité ionique équivalente à dilution infinie et à 25°C (Harned and Owen, 1958)	88
A.2.1	Critères de qualité exigés ^a pour diverses utilisations de l'eau	99
A.3.1	Relations potentielles entre les paramètres	117
B.1.1	Structure du fichier du M.R.N.....	124
B.1.2	Ordre et formats des paramètres sur les cartes de données	125
B.2.1	Banques de données: lecture et validation	128
B.3.1	Stations utilisées pour le découpage saisonnier	133
B.3.2	Limites des périodes de hautes-eaux pour chacune des régions hydrographiques	135
B.3.3	Facteurs de conversion utilisés pour le calcul du bilan ionique et de la conductivité	137
B.3.4	Interprétation des valeurs aberrantes en fonction du bilan ionique et de l'écart de conductivité	138
B.3.5	Dénombrement des analyses pour la silice dans le cas de la région 01	143

B.3.6	Dénombrement des analyses de chaque paramètre à la station 01080A	144
B.3.7	Dénombrement des analyses suivant les mois pour la silice à la station 01080A	145
D.1.1	Physiographie de la région hydrographique 01 (% de la superficie des bassins)	180
D.1.2	Minéralogie des roches consolidées des monts Notre-Dame et paramètres pouvant être affectés	181
D.1.3	Minéralogie des roches consolidées des bas-plateaux de la Baie des Chaleurs et paramètres pouvant être affectés	183
D.1.4	Composition minéralogique des tills appalachiens	183
D.2.1	Physiographie de la région hydrographique 02 (% de la superficie des bassins)	185
D.2.2	Minéralogie des roches consolidées des basses-terres du Saint-Laurent et paramètres pouvant être affectés.	185
D.2.3	Minéralogie des roches consolidées des bas-plateaux du Québec oriental et paramètres pouvant être affectés	186
D.2.4	Minéralogie des roches consolidées des monts Notre-Dame et paramètres pouvant être affectés	189
D.3.1	Physiographie de la région hydrographique 03 (% de la superficie des bassins)	192
D.3.2	Minéralogie des roches consolidées des basses-terres et paramètres pouvant être affectés	192
D.3.3	Minéralogie des roches consolidées des Appalaches et paramètres pouvant être affectés	194
D.4.1	Physiographie de la région hydrographique 04 (% de la superficie des bassins)	198
D.4.2	Minéralogie des roches consolidées des hautes-terres laurentiennes de la région hydrographique 04 et paramètres pouvant être affectés	198
D.5.1	Physiographie de la région hydrographique 05 (% de la superficie des bassins)	200
D.5.2	Minéralogie des roches consolidées des hautes-terres laurentiennes de la région hydrographique 05 et paramètres pouvant être affectés	201
D.6.1	Physiographie de la région hydrographique 06	203

D.7.1	Minéralogie des roches consolidées des hautes-terres laurentiennes de la région hydrographique 07 et paramètres pouvant être affectés	206
-------	---	-----

LISTE DES FIGURES

A.1.1	Solubilité de la silice en fonction du pH	10
A.1.2	Solubilité du calcium dans une eau carbonatée (concentration de carbone inorganique = $10^{-2.5}$ M) ...	15
A.1.3	Solubilité du magnésium	20
A.1.4	Diagramme de prédominance des espèces du soufre en solution à 25°C et 1 atmosphère de pression	30
A.1.5	Equilibre des carbonates dans un milieu fermé à 1'atmosphère	41
A.1.6	Equilibre des carbonates dans un milieu ouvert à 1'atmosphère	43
A.1.7	Schéma des transformations de l'azote en milieu aquatique	52
A.1.8	Schéma des transformations du phosphore en milieu aquatique	57
A.1.9	Solubilité des orthophosphates en fonction du pH; phase solide: $\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3$ (s)	61
A.1.10	Solubilité du fer bivalent en fonction du pH dans une eau carbonatée (concentration de carbone inorganique 10^{-3} M)	68
A.1.11	Solubilité du fer trivalent en fonction du pH dans une eau carbonatée	70
A.1.12	Diagramme p _e - pH pour le système Fe-H ₂ O-CO ₂ . La concentration totale de fer est de 10^{-5} M et celle de carbone inorganique de 10^{-3} M	72
A.1.13	Solubilité du manganèse bivalent en fonction du pH dans une eau carbonatée (concentration de carbone inorganique = 10^{-3} M)	79
A.1.14	Diagramme p _e - pH pour le système Mn-H ₂ O-CO ₂ . La concentration totale de manganèse est de 10^{-6} M ² et celle de carbone inorganique de 10^{-3} M	82

INTRODUCTION DES ANNEXES

A- Les eaux naturelles acquièrent leurs caractéristiques chimiques suite à des dissolutions ou autres réactions chimiques avec les solides, liquides et gaz avec lesquels elles sont venues en contact durant les différentes étapes du cycle hydrologique. Les eaux varient de composition, mais ces variations sont en partie explicables si on connaît l'histoire de l'eau dans un environnement particulier ainsi que les différentes réactions chimiques qui peuvent s'y produire. On peut ainsi obtenir des relations, au moins qualitatives, entre d'une part, la géologie du bassin drainé ou l'utilisation de l'eau et, d'autre part, la qualité de l'eau.

Plusieurs paramètres ont été mesurés par le M.R.N. à un moment ou l'autre de l'opération de son réseau: silice, calcium, magnésium, sodium, potassium, sulfates, chlorures, nitrates, solides dissous, conductivité, pH, couleur, alcalinité, oxygène dissous, fer, manganèse, phosphates, carbonates, fluorures et température; d'autres ont été calculés: bicarbonates, dureté totale et dureté non carbonatée. Dans l'optique d'une valorisation des données existantes, on se propose dans cette annexe, de faire le point sur la signification physico-chimique de ces paramètres, sur leur utilité et sur les relations qui peuvent exister entre eux.

De 1967 à 1975, les méthodes analytiques utilisées pour évaluer ces paramètres ont évolué dans le temps avec l'implantation de nouvelles technologies et avec le recrutement accru de personnel technique. Pendant cette période, les modes de prélèvement et de conservation des échantillons, ainsi que les délais entre le prélèvement et l'analyse ont également varié. Il est donc important ici, de faire le point concernant l'influence de ces différents facteurs sur les paramètres individuels.

Dans le premier chapitre de cette annexe, on discute, pour chaque paramètre, de ce qui est connu concernant leur origine, les mécanismes qui contrôlent leur concentration, les réactions qu'ils peuvent subir, ainsi que les formes sous lesquelles on les retrouve; on y discute également des différentes méthodes utilisées par le M.R.N. pour les doser. Le chapitre suivant est consacré à faire le point sur l'utilité de ces paramètres en fonction de l'utilisation de l'eau, alors que le dernier traite des relations qui peuvent exister entre les paramètres.

B- Cette annexe a pour but de décrire les transformations effectuées sur les données brutes du service qualité des eaux du M.R.N., pour construire une banque de données validées. Ce travail préliminaire est nécessaire pour disposer de données fiables à partir desquelles les analyses ultérieures peuvent être effectuées.

Les données du service qualité des eaux du M.R.N., considérées dans cette étude, représentent l'ensemble des paramètres de qualité de l'eau mesurés de 1967 à 1975 inclusivement aux 257 stations situées dans les 7 régions hydrographiques du Québec (dans cette étude, on ne considère pas les stations des territoires de la Baie de James, de la baie d'Hudson, de l'Ungava, du St-Laurent, ni celle de l'étude spéciale effectuée en 1974-75, sur les bassins Yamaska et St-François).

Pour rendre cette masse d'informations (32446 cartes perforées représentant 16223 prélèvements pour lesquels 23 paramètres sont susceptibles d'être mesurés) traitable facilement par informatique, il a fallu procéder en 3 étapes:

- lecture et validation de l'information brute se trouvant sur les cartes;
- création d'une banque codée en images de cartes sur ruban magnétique;
- création d'une banque de travail non formatée sur ruban magnétique contenant uniquement les informations utiles au traitement.

C- Dans cette annexe, les méthodes qui ont servi de support à l'analyse des données du réseau de qualité du M.R.N. sont décrites de manière **synthétique**.

En supposant les notions **élémentaires de statistiques connues**, on vise à dégager les principales caractéristiques des différentes méthodes utilisées tout en faisant ressortir leurs limitations et en insistant sur leur aspect pratique.

Dans une première partie, on considère les méthodes permettant la comparaison des caractéristiques statistiques de populations (moyenne, variance); ces méthodes comprennent, lorsque l'on considère les estimations effectuées à partir des deux séries, les tests de Student et de Fisher, et l'analyse de variance lorsque l'on envisage plus de deux séries. L'étude de la précision sur la moyenne, basée sur la notion d'intervalle de confiance permet par ailleurs, de relier la taille optimale d'un échantillon à la variabilité du paramètre considéré pour une précision requise.

La seconde partie aborde le problème de l'indépendance des observations d'une série en utilisant la notion d'autocorrélation; ceci débouche sur la définition d'une fréquence optimale de prélèvement dans le but d'éviter une redondance de l'information. Cette redondance est quantifiée par le contenu d'information qui permet de déterminer le nombre effectif d'observations indépendantes d'une série.

Dans la dernière partie, on considère de manière succincte, des méthodes multivariées qui permettent le traitement global de tableaux de données. L'analyse factorielle des correspondances permet en particulier de détecter des homogénéités de comportement de paramètres physico-chimiques ou de stations de prélèvement. La classification ascendante hiérarchique permet d'effectuer le regroupement, sur une base objective, d'individus (stations, paramètres) ayant un comportement homogène.

D- Cette annexe qui sert de support à l'interprétation des résultats obtenus dans l'analyse de données (3.2.6) constitue une description détaillée des principales formations géologiques rencontrées dans les sept régions hydrographiques du Québec méridional. Ces sept régions hydrographiques recouvrent trois régions géologiques majeures lesquelles concordent assez bien avec les trois grandes unités physiographiques du Québec, soit les basses-terres du Saint-Laurent, les Appalaches et le Bouclier canadien. La figure 3.57 du rapport principal indique la localisation de ces 3 régions géologiques.

Dans cette annexe, on identifie d'abord à l'intérieur de chaque région hydrographique, les grandes régions physiographiques et géologiques. On procède ensuite à l'inventaire des principales formations rocheuses et on dégage les minéraux dominants qui constituent ces roches. Enfin, on tente d'identifier dans ces minéraux des éléments qui sont susceptibles d'influencer la qualité du milieu aquatique. Il est en effet possible d'établir des relations entre la composition chimique d'une eau naturelle et la nature des roches avec lesquelles cette eau a été en contact. Dans l'annexe A, on discutait de l'origine des différents paramètres mesurés dans les eaux et on démontrait que les concentrations en ions majeurs dans le milieu aquatique étaient reliées à la composition minéralogique des roches. Dans l'annexe D, on s'attache à situer géographiquement les formations rocheuses et les minéraux afin de permettre l'interprétation de la variabilité spatiale de différents paramètres mesurés dans le milieu aquatique.

A.1 MESURE DES PARAMETRES ET LEUR SIGNIFICATION

Jusqu'à maintenant, la théorie des équilibres thermodynamiques est le concept qui permet le mieux d'identifier les variables importantes pour la détermination de relations entre les espèces chimiques et pour l'établissement des limites chimiques de l'environnement aquatique. Cet outil permet, par exemple, de déterminer si une réaction particulière est possible et, si oui, dans quelle direction elle s'opèrera. De plus, il permet de calculer la composition chimique d'un système à l'équilibre. Même dans le cas de systèmes dynamiques (les rivières par exemple), les modèles d'équilibre permettent de fixer des limites sur la variation de la composition chimique et de faire des spéculations sur les types d'espèces dissoutes ou de phases solides qui existent dans le milieu aquatique. Il s'ensuit qu'une connaissance de ces processus est nécessaire pour l'interprétation des résultats d'analyses chimiques ainsi que pour agir de façon rationnelle pour le contrôle de la qualité de l'eau ou pour son amélioration.

Dans ce qui suit, on suppose que le lecteur est familier avec le sujet et qu'il possède une certaine connaissance de la chimie des eaux. De plus, dans les expressions de la loi d'action de masse, on utilisera les concentrations au lieu des activités, afin de simplifier. Il faut cependant se rappeler que pour des calculs rigoureux, il faut utiliser les activités. A titre de rappel, mentionnons la relation qui existe entre l'activité, a , d'un soluté i et sa concentration, C :

$$a_i = \gamma_i C_i \quad (A.1.1)$$

où

$$-\log \gamma_i = A z_i^2 \frac{\sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}} \quad (A.1.2)$$

et

$$\mu = \frac{1}{2} \sum C_i z_i^2 \quad (A.1.3)$$

pour C_i exprimé en molarité

Les symboles ont la signification suivante:

γ_i = coefficient d'activité du soluté i ; il a une valeur comprise entre 0 et 1 pour des solutions diluées

z_i = charge de l'ion i

μ = force ionique

$A = 0.5$, pour l'eau à 25°C

Comme processus ayant lieu dans le milieu aquatique, on traite des réactions:

- acide-base
- de dissolution et de précipitation
- de complexation
- d'oxydation et de réduction
- d'adsorption et de désorption, incluant l'échange d'ion

Les principaux symboles utilisés dans cette section ont la signification suivante:

K est une constante d'équilibre

(aq) représente une espèce en solution

(s) représente un solide

(g) représente une espèce en phase gazeuse

\log est le logarithme dans la base 10

M = molarité

e représente l'électron

$pK = -\log K$

$p\varepsilon = -\log \{e\}$

$[H_2CO_3^*] = [H_2CO_3] + [CO_2(aq)]$ où $[CO_2(aq)] \gg [H_2CO_3]$

Les méthodes utilisées par le M.R.N. pour doser les différents paramètres ont évolué dans le temps; on peut distinguer quelques grandes étapes où des changements se sont produits:

- 1967; début de l'opération du réseau
- 1970-1971; installation d'auto-analyseurs Technicon AA-1
- 1973; installation d'auto-analyseurs Technicon AA-2
- 1976; installation d'un spectrophotomètre d'absorption atomique Perkin-Elmer (modèle 360)

Au cours de l'opération du réseau, les modes de préservation des échantillons et les délais impliqués entre le prélèvement des échantillons et l'analyse ont varié. Ainsi, depuis 1968, une bonne partie des échantillons est prélevée par des observateurs qui les acheminent ensuite, par la poste, aux laboratoires du M.R.N. De 1968 à 1972, les observateurs accumulaient vingt échantillons d'eau avant de les expédier, sans aucun traitement; depuis 1972, les échantillons sont envoyés sur une base individuelle, après avoir été congelés. Après réception des échantillons au laboratoire, ceux-ci ont été analysés dans les meilleurs délais (après décongélation le cas échéant), sans autre traitement que celui effectué par les observateurs. Les paramètres susceptibles de varier le plus lors de l'entreposage (nitrates, phosphates) ont été analysés les premiers. De 1967 à 1972, les délais entre le prélèvement des échantillons et l'analyse ont donc été très longs (plusieurs semaines, voire plusieurs mois), alors que depuis l'été 1972, ces délais ont été réduits à quelques jours (ordinairement 4 jours). Une discussion critique des effets de ces délais sur les concentrations des paramètres est nécessaire dans le cas de chaque paramètre.

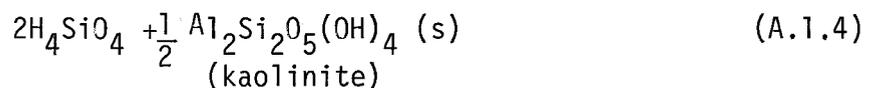
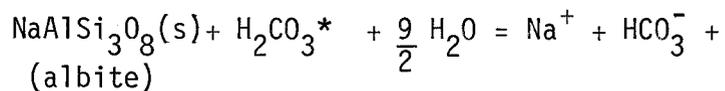
A.1.1. Silice

a) Origine

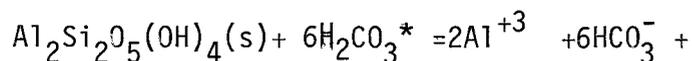
Le silicium est, après l'oxygène, l'élément le plus abondant dans la lithosphère. Dans l'hydrosphère, il ne se classe cependant qu'au quatrième ou cinquième rang des constituants dissous, probablement dû à la faible solubilité des silicates et à leurs faibles vitesses de dissolution.

La silice retrouvée dans les eaux naturelles vient surtout de la dissolution des silicates naturels, dont les plus importants sont les argiles, les feldspaths et les oxydes de silicium (quartz, pyroxènes, amphiboles et silice amorphe). Ainsi, des réactions typiques de dissolution de la silice sont:

- attaque d'un feldspath par l'acide carbonique



- dissolution de la kaolinite



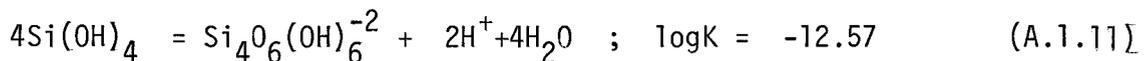
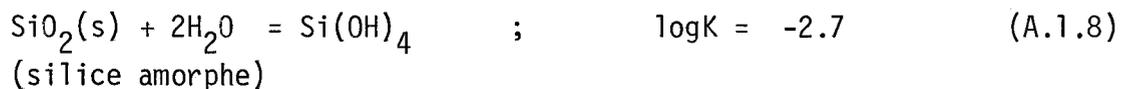
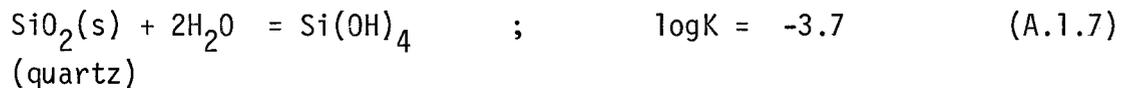
- dissolution de l'oxyde de silicium



La décomposition des végétaux constitue également une source qui n'est pas négligeable.

b) Solubilité

La solubilité de $\text{SiO}_2(\text{s})$ peut être caractérisée par les équilibres suivants:



Le solide qui est d'abord formé lors d'une sursaturation est la silice amorphe. En effet, ce solide n'est pas rapidement transformé sous forme cristalline (p.e. le quartz) de plus faible solubilité. C'est pourquoi plusieurs auteurs suggèrent la silice amorphe comme solide pouvant contrôler la solubilité de la silice en solution. Le graphique représenté à la figure A.1.1 (qui considère la silice amorphe comme phase solide) a donc été tracé en ne tenant compte que des équations (A.1.8) à (A.1.11).

D'après ce graphique, une solution saturée de silice devrait contenir, aux pH normaux des eaux naturelles (entre 5 et 9), 120 mg $\text{SiO}_2/1$ ($10^{-2.7}\text{M}$). Si on avait considéré le quartz comme phase solide contrôlant la solubilité, on aurait plutôt obtenu 12 mg $\text{SiO}_2/1$ ($10^{-3.7}\text{M}$). Les eaux naturelles contiennent généralement des concentrations de silice dissoute plus grandes que les valeurs d'équilibre prédites par la solubilité du quartz, mais plus faibles que celles prévues par la solubilité de la silice amorphe.

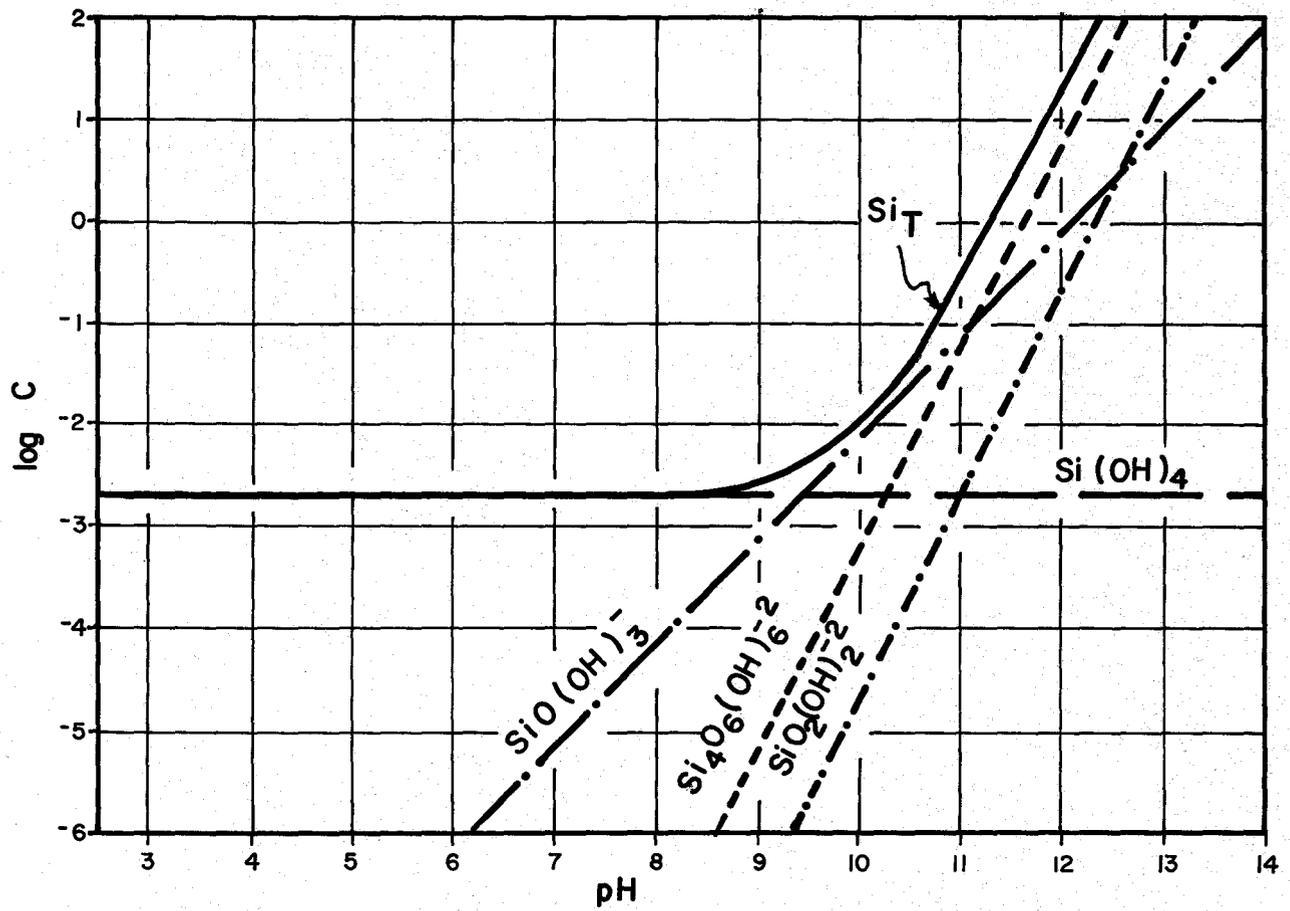


Figure A.I.I. Solubilité de la silice en fonction du pH .

La gamme de concentration de silice dissoute retrouvée dans les eaux est restreinte. De plus, étant donné que les valeurs maximales observées sont généralement plus faibles que celles prédites par la solubilité de la silice amorphe, certains auteurs prétendent que la solubilité de la silice serait contrôlée par une autre phase solide qui n'est pas encore identifiée.

Il est intéressant de noter que le pH, pour la gamme normalement rencontrée dans les eaux naturelles, n'a pas d'influence sur la solubilité de la silice (voir figure A.1.1). En effet, ce n'est qu'à partir de pH 9 que la solubilité augmente en fonction du pH.

c) Formes en solution

Pour les pH normalement rencontrés dans les eaux naturelles, la silice dissoute existe essentiellement sous forme de l'acide non dissocié H_4SiO_4 . Pour des pH alcalins (>8.5), l'espèce monomoléculaire dissociée, $SiO(OH)_3^-$ et des espèces polynucléaires comme $Si_4O_6(OH)_6^{-2}$ prennent de l'importance. On ne connaît pas actuellement d'autres composés solubles du silicium susceptibles de se former dans les eaux naturelles.

d) Mesure

De 1967 à 1970, les concentrations de silice n'étaient mesurées que très rarement. Ce paramètre n'a été analysé par le M.R.N., pour tous les échantillons prélevés, qu'à partir de 1970. La mesure régulière de ce paramètre concorde avec l'installation, dans les laboratoires du M.R.N., d'auto-analyseurs Technicon AA-1.

Méthode I: analyses de 1967 à 1970

La méthode utilisée est gravimétrique (APHA, AWWA, WPCF, 1971). Les solides dissous (obtenus après évaporation) sont traités avec l'acide chlorhydrique qui transforme les silicates et la silice dissoute en acide silicique, lequel est subséquentement précipité et déshydraté par évaporation et combustion; la silice est ensuite volatilisée sous forme de SiF_4 . La concentration de silice est obtenue par pesée du résidu avant et après la volatilisation.

Méthode II: analyses de 1970 à 1973

La méthode utilisée (Technicon Industrial Systems, 1969a) est automatisée; on utilise un auto-analyseur Technicon AA-1. Le molybdate d'ammonium réagit avec la silice pour former le silicomolybdate, qui, en milieu **acide, est réduit par l'acide ascorbique, en bleu de molybdène.** On dose ensuite le bleu de molybdène. Avant l'addition d'acide ascorbique, de l'acide oxalique est ajouté à l'échantillon afin d'éliminer l'interférence des phosphates due à la formation d'acide molybdophosphorique. La limite de sensibilité indiquée par la compagnie Technicon Instruments Corporation est de 0.1 mg SiO₂/l. Pour 39 répliquats d'une eau dont la concentration moyenne était de 8.01 mg SiO₂/l, l'écart-type était de 0.14 mg/l (M.R.N., 1972). La récupération moyenne d'ajouts de 1.9 mg SiO₂/l, effectuée à quatre reprises, était de 94.7% (M.R.N., 1972).

Méthode III: analyses depuis 1973

La méthode utilisée (Technicon Industrial Systems, 1973a) est automatisée; on utilise un auto-analyseur Technicon AA-2. Le principe de la méthode est le même que celui décrit précédemment (voir la Méthode II).

La limite de sensibilité est de 0.1 mg SiO₂/l (M.R.N., 1974). Pour 40 répliquats d'une eau de concentration moyenne de 4.68 mg SiO₂/l, l'écart-type était de 0.046 mg/l (M.R.N., 1974). La récupération moyennée d'ajouts de 5.11 mg SiO₂/l, effectuée à 10 reprises, était de 97.8% (M.R.N., 1974).

Les délais entre le prélèvement des échantillons et l'analyse ont pu changer les concentrations de silice en solution soit par précipitation, soit par dissolution d'une fraction du matériel en suspension; la congélation des échantillons favorise la réaction de précipitation (M.R.N., 1977).

Les analyses ayant été effectuées sur des échantillons non filtrés, les particules en suspension ont pu causer des interférences lors de l'utilisation des deux méthodes; les tannins, le fer, la couleur et les sulfures constituent également des interférences.

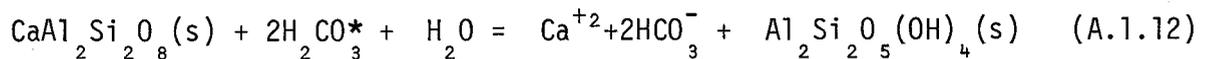
A.1.2 Calcium

a) Origine

Le calcium est un constituant de plusieurs minéraux des roches ignées, métamorphiques et sédimentaires. Ainsi, on le retrouve dans les pyroxènes, amphiboles, feldspaths, apatites, fluorites, carbonates (calcite, aragonite, dolomie) et sulfates (gypse ou anhydrite). On le trouve également comme composant de quelques types de zéolites ou montmorillonites. Le groupe de feldspaths plagioclases représente les minéraux les plus communs; sa composition se situe ordinairement entre la forme pure de feldspath de calcium (anorthite; $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) et la forme pure de feldspath de sodium (albite; $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$). L'altération chimique de tels minéraux fournira donc à la fois Ca^{+2} et Na^+ à l'hydrosphère. Dans les roches d'origine détritique, le carbonate de calcium est souvent présent comme ciment entre les particules.

Le calcium retrouvé dans les eaux naturelles vient essentiellement de l'altération des minéraux par l'action de l'eau contenant du gaz carbonique dissous. Ainsi, des réactions typiques de dissolution du calcium sont:

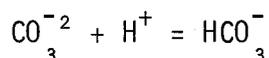
- altération chimique d'un feldspath



- dissolution de la calcite



En considérant la relation:



L'équation (A.1.13) peut s'écrire sous la forme:



Dans quelques cas, lorsqu'on utilise des sels de calcium pour déglacer les rues, on peut constater des augmentations de calcium dans les eaux. On retrouve également cet élément dans les rejets municipaux et dans certains rejets industriels. Ces apports sont cependant la plupart du temps faibles comparativement à l'apport naturel d'origine géologique.

b) Solubilité

Le contrôle sur la solubilité du calcium dans les eaux naturelles est, pour la plupart des eaux naturelles, exercé par la calcite. Cette forme de carbonate de calcium est plus stable thermodynamiquement (à 25°C et 1 atmosphère) que l'aragonite. L'équilibre suivant:



peut donc limiter la solubilité du calcium. Le graphique A.1.2 représentant la solubilité du calcium a été tracé en utilisant l'équation (A.1.15) avec une concentration de carbone inorganique total de $10^{-2.5}$ M. Cette figure montre bien l'influence du pH sur la solubilité du calcium. Pour la concentration de carbone inorganique utilisée pour la construction du graphique, on voit qu'à pH = 9, une eau ne peut contenir que 1 ppm de calcium alors qu'à pH = 6, elle peut contenir jusqu'à 2,000 ppm avant que la calcite ne commence à précipiter.

La plupart des eaux de surface sont insaturées en calcium par rapport à la calcite. On peut cependant mettre en évidence une précipitation de calcite dans certains lacs à teneurs assez élevée en calcium lors de la période de photosynthèse intense, où le pH de l'eau augmente. Si le pH augmente suffisamment, le produit de solubilité de la calcite peut être dépassé et celle-ci précipite. On note alors des concentrations de calcium plus faibles dans l'épilimnion que dans l'hypolimnion.

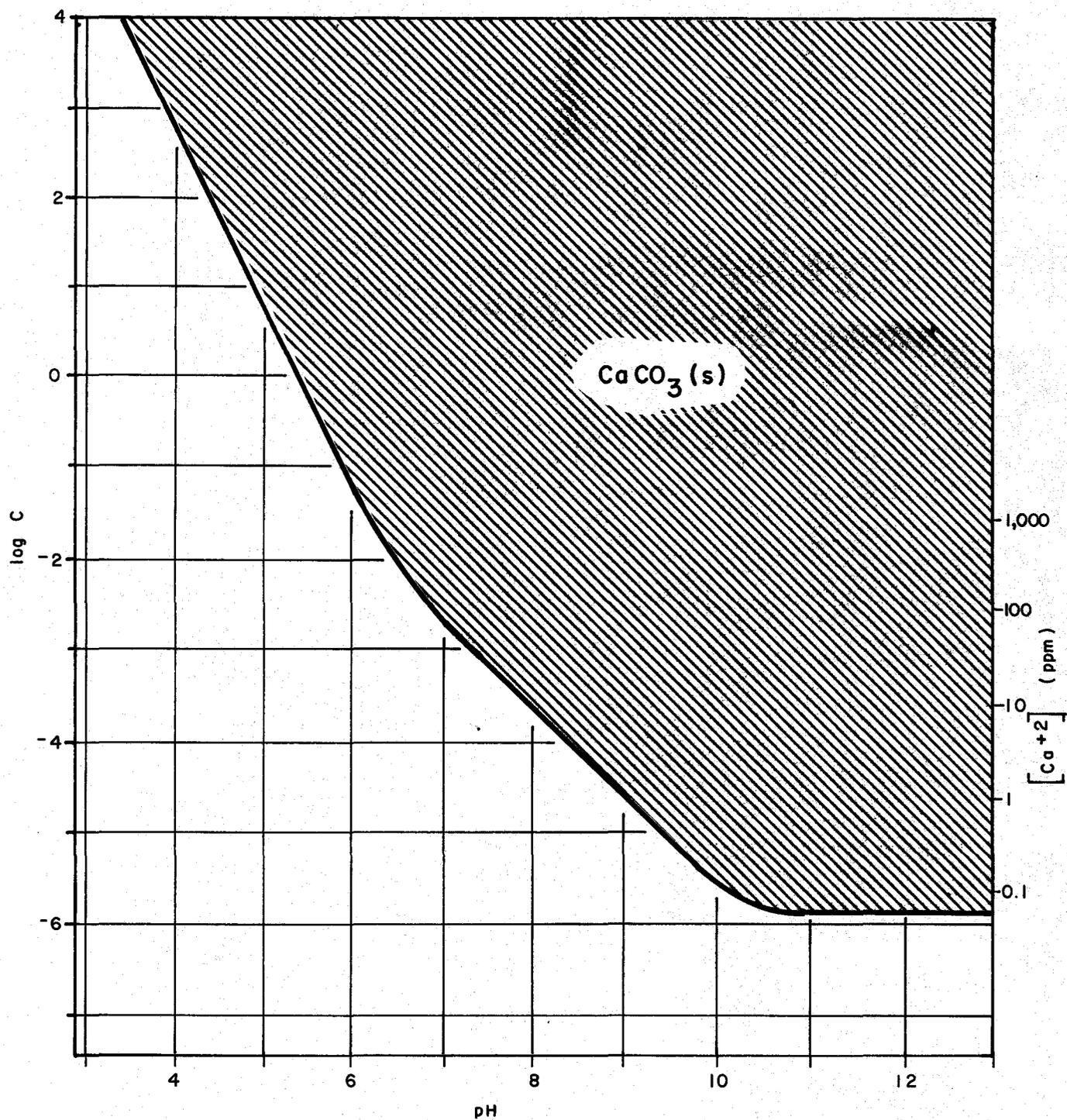


Figure A.1.2. Solubilité du calcium dans une eau carbonatée (concentration de carbone inorganique = $10^{-2.5}$ M).

Les eaux souterraines contiennent souvent beaucoup plus de calcium que les eaux de surface. En effet, lors de la percolation de l'eau de pluie à travers le sol, cette dernière dissout du CO_2 contenu dans la couche organique (la pression partielle de CO_2 y est de 10 à 100 fois supérieure à celle de l'atmosphère, à cause notamment de la respiration des organismes). Cette eau, contenant beaucoup de CO_2 dissous (agressive), attaque alors plus facilement les roches, surtout les carbonates. Lorsque ces eaux souterraines reviennent en surface, elles perdent du CO_2 (par suite d'un équilibre avec la pression partielle de l'atmosphère), ce qui peut alors conduire à une précipitation de carbonate de calcium.

Dans certains cas, où la concentration d'orthophosphates est élevée, l'hydroxylapatite peut alors contrôler la solubilité du calcium. La réaction d'équilibre à considérer est alors :



Les équilibres d'échange de cations peuvent avoir, dans certains cas, une influence sur les concentrations de calcium observées d'autant plus que les cations bivalents sont retenus plus fortement sur les échangeurs de cations que les cations monovalents. La plupart des solides en suspension, puisqu'ils sont presque tous chargés négativement aux pH des eaux naturelles, peuvent être considérés comme des échangeurs de cations. La concentration de sédiments en suspension pourrait donc influencer le rapport $[\text{Ca}^{+2}] / [\text{Na}^+]$ en solution. On peut s'attendre à un rapport plus faible en période de crue où la concentration de sédiments en suspension est plus élevée, qu'en période d'étiage.

c) Formes en solution

Le calcium existe, dans les eaux naturelles, surtout sous la forme Ca^{+2} . Il peut former des complexes avec beaucoup d'anions organiques ou avec les phosphates. Par exemple, les espèces $\text{CaHPO}_4(\text{aq})$, CaP_2O_7^- , $\text{CaHP}_2\text{O}_7^-$, $\text{CaP}_3\text{O}_{10}^-$

existent dans les eaux naturelles. Cependant, étant donné les faibles concentrations des ligands par rapport à celles de calcium et les constantes de stabilité assez faibles pour ces complexes, on ne retrouve ces derniers qu'en concentrations négligeables par rapport à celles de Ca^{+2} . Lorsque les concentrations de bicarbonates ou de sulfates dépassent 1,000 mg/l, on peut, par contre, trouver les paires d'ions CaHCO_3^+ et $\text{CaSO}_4(\text{aq})$ en concentrations non négligeables.

d) Mesure

Le calcium a été mesuré sur tous les échantillons depuis le début de l'opération du réseau. La mesure était effectuée par spectrophotométrie d'absorption atomique conventionnelle (flamme air-acétylène, $\lambda=422.7$ nm).

De 1967 à 1969, un appareil Perkin-Elmer (modèle 103) servait aux analyses de calcium.

De 1969 jusqu'à l'automne 1975, un appareil Jarrel Ash (modèle 82-518) était utilisé. La limite de sensibilité obtenue avec cet appareil était de 0.1 mg Ca/l (M.R.N., 1974). Pour 40 répliqués d'une eau de concentration moyenne de 15.00 mg Ca/l, l'écart-type était de 0.15 mg/l (M.R.N., 1972). La récupération moyenne d'ajouts de 7.50 mg Ca/l, effectuée à 10 reprises, était de 91.7% (M.R.N., 1972).

Depuis l'automne 1975, un spectrophotomètre d'absorption atomique Perkin-Elmer (modèle 360) est utilisé.

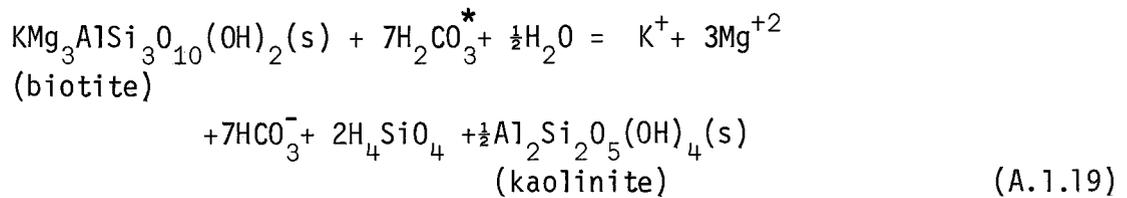
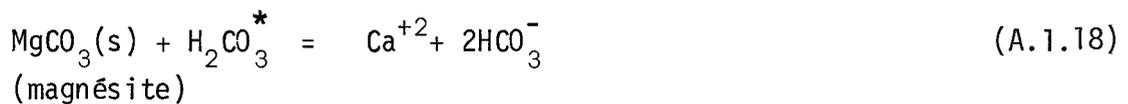
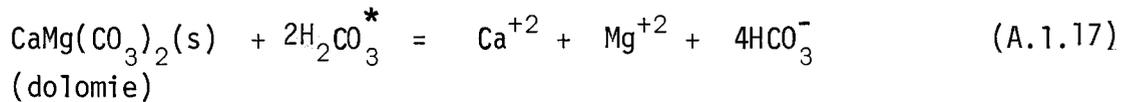
Dans le cas où les échantillons n'étaient pas congelés, les délais impliqués entre le prélèvement et l'analyse du calcium ont peut être amené des pertes de calcium en solution par précipitation ou échange d'ion ou encore des gains par dissolution d'une fraction du matériel en suspension; dans le cas de la préservation par congélation, la précipitation de carbonate de calcium (M.R.N., 1977) devenait plus probable. L'analyse était cependant faite sur des échantillons non filtrés, ce qui peut avoir rendu ces effets négligeables; il y a cependant danger d'effectuer les analyses par absorption atomique sur de tels échantillons puisqu'une ségrégation des particules peut s'effectuer au niveau de l'aspiration de l'échantillon ou lors de la nébulisation.

A.1.3 Magnésium

a) Origine

On retrouve le magnésium dans les roches ignées (olivine, pyroxènes, amphiboles, biotite, hornblende, augite, micas), métarmorphiques (serpentine, talc, diopside et trémolite) et sédimentaires (dolomie, calcite magnésienne, magnésite, hydromagnésite, brucite).

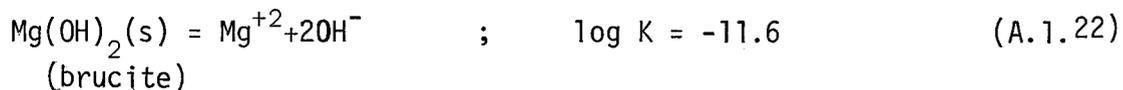
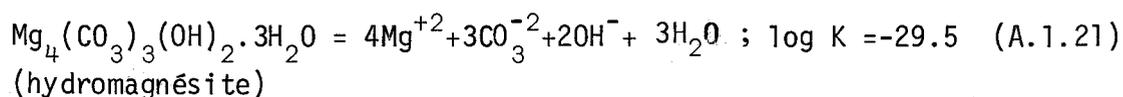
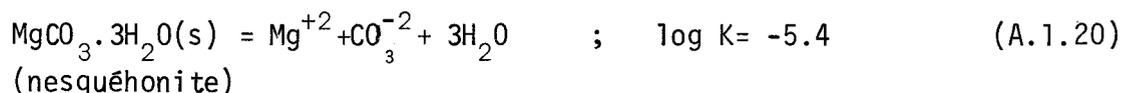
La magnésium retrouvé dans l'hydrosphère vient essentiellement de l'altération des minéraux par l'action de l'eau contenant du gaz carbonique. Comme réactions typiques, mentionnons:



Il peut aussi provenir des eaux résiduares d'industries métallurgiques et d'appareils électriques ou optiques; ces apports sont généralement faibles par rapport à l'apport d'origine géologique.

Solubilité

D'après Stumm et Morgan (1970), on doit considérer la nesquéhonite, l'hydromagnésite et la brucite comme phases solides pouvant contrôler la solubilité du magnésium dans les eaux naturelles. On doit donc considérer les équations d'équilibre suivantes:



Le graphique A.1.3 représentant la solubilité du magnésium a été tracé en utilisant ces trois équations et en fixant la concentration de carbone inorganique total à $10^{-2.5}$ M. D'après cette figure, on voit que pour la plupart des eaux naturelles, la nesquéhonite et l'hydromagnésite sont les formes solides stables. On y voit également l'influence du pH sur la solubilité du magnésium. Par exemple, pour la concentration de carbone inorganique considérée, on voit qu'à pH 9, une eau peut contenir environ 200 ppm et qu'à pH 6, environ 10^6 ppm, avant qu'une phase solide ne commence à se former.

La plupart des eaux naturelles sont insaturées en magnésium par rapport à la nesquéhonite ou l'hydromagnésite. De plus, quoique la solubilité du magnésium soit plus grande que celle du calcium, on retrouve généralement des concentrations de calcium plus élevées que celles de magnésium dans les eaux naturelles. Ceci peut être expliqué par:

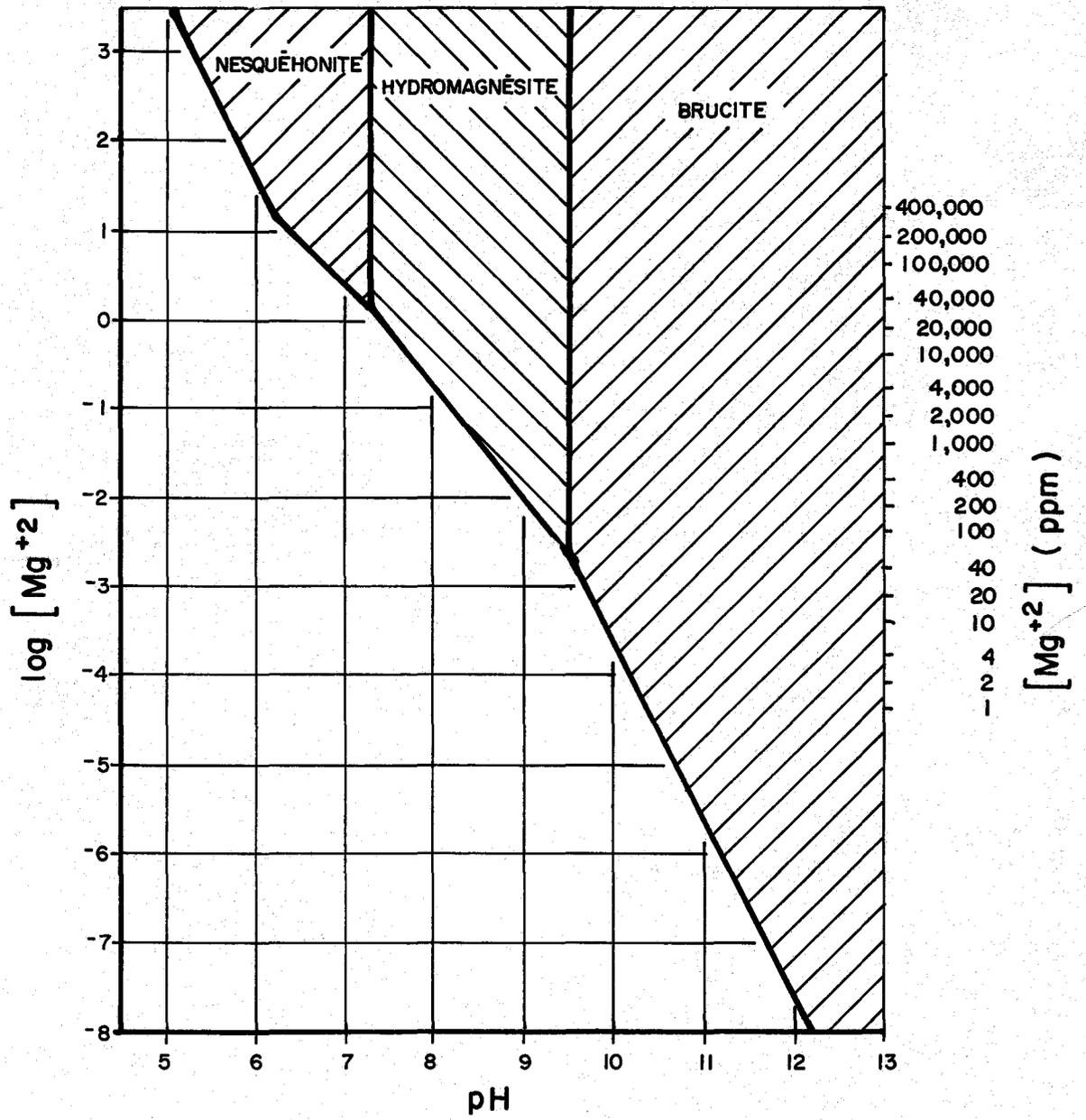


Figure A.I.3. Solubilité du magnésium .

- la plus grande abondance de calcium que de magnésium dans la croûte terrestre
- les vitesses d'altération des minéraux contenant du magnésium qui sont plus lentes en général que celles des minéraux contenant du calcium
- la mise en circulation par les organismes, plus grande pour le calcium que pour le magnésium.

c) Formes en solution

Dans les eaux naturelles, le magnésium existe surtout sous la forme Mg^{+2} . L'espèce complexée, $MgOH^+$, n'est en concentration significative qu'à partir de pH 10 ou plus.

d) Mesure

Le magnésium a été mesuré sur tous les échantillons depuis le début de l'opération du réseau. La mesure était effectuée par spectrophotométrie d'absorption atomique conventionnelle (flamme air-acétylène, $\lambda = 285.2$ nm).

De 1967 jusqu'à l'automne 1975, un appareil Jarrel Ash (modèle 82-518) était utilisé. La limite de sensibilité obtenue avec cet appareil était de 0.05 mg Mg/l (M.R.N., 1974). Pour 35 répliqués d'une eau de concentration moyenne de 3.30 mg Mg/l, l'écart-type était de 0.19 mg/l (M.R.N., 1972). La récupération moyenne d'ajouts de 1.6 mg Mg/l, effectuée à 10 reprises, était de 93.8% (M.R.N., 1972).

Depuis l'automne 1975, un spectrophotomètre d'absorption atomique Perkin-Elmer (modèle 360) est utilisé.

Dans le cas où les échantillons n'étaient pas congelés, les délais entre le prélèvement et l'analyse du magnésium ont peut être amené des pertes de magnésium en solution par échange d'ion ou encore des gains par dissolution d'une partie du matériel en suspension. La précipitation du magnésium, pour les concentrations observées, est peu probable, même dans les cas où les échantillons étaient congelés.

L'analyse était effectuée sur des échantillons non filtrés, ce qui peut avoir rendu ces effets négligeables. Pour de tels échantillons, il y a cependant danger, lors de l'analyse par absorption atomique, d'effectuer une ségrégation des particules soit au niveau de l'aspiration de l'échantillon, soit lors de la nébulisation.

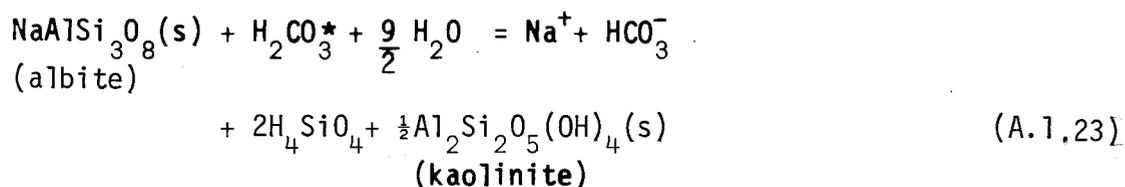
A.1.4 Sodium

a) Origine

Le sodium, dans les roches ignées, est souvent retrouvé dans les **feldspaths**, surtout les orthoclases (l'anorthose, le microcline et l'orthose) et les plagioclases (l'albite, le labrador et l'anorthite). Dans les roches ignées ou métamorphiques, on le retrouve également sous forme de néphéline, sodalite, stilbite, natrolite, jadéite, arfvedsonite, glaucophane et aegirite; ces minéraux ne sont retrouvés que localement et en moins grandes quantités que les feldspaths.

Dans les roches sédimentaires, le sodium peut être présent dans le matériel qui cimente les grains ou encore sous forme de cristaux de sels de sodium solubles déposés avec les sédiments. Dans les régions de dépôts d'évaporites, on peut également le retrouver dans l'halite. Il se retrouve également dans les argiles sous forme d'ion échangeable.

Le sodium retrouvé en solution dans le milieu aquatique provient essentiellement de la dissolution de sels solubles ou de l'attaque des minéraux par l'acide carbonique dissous. Ainsi, on peut écrire, comme réaction typique:



Dans quelques cas, l'utilisation de sels de sodium pour déglacer les rues peut contribuer à une augmentation de sa concentration dans le milieu aquatique. Les effluents municipaux et les effluents de plusieurs industries en contiennent également. Ces apports sont souvent faibles en comparaison avec les apports d'origine géologique,

b) Solubilité

Le sodium, une fois en solution, tend à y demeurer. Dans les eaux naturelles, les conditions requises pour la précipitation d'un sel de sodium qui contrôlerait sa solubilité, ne sont que très rarement atteintes parce que ces sels sont trop solubles. A cause des fortes concentrations de sodium qui doivent être atteintes avant qu'un précipité ne se forme, il n'est pas étonnant de constater que les concentrations de sodium qu'on retrouve dans les eaux naturelles s'étalent sur une gamme assez étendue.

Les réactions d'échange de cations peuvent jouer un rôle dans la distribution du sodium en solution.

c) Formes en solution

D'après Hem (1970), le sodium, dans des eaux contenant moins de 1,000 ppm de solides dissous, existe essentiellement sous la forme de Na^+ . Pour des solutions plus concentrées, on pourrait retrouver les complexes NaCO_3^- , $\text{NaHCO}_3(\text{aq})$ et $\text{NaSO}_4(\text{aq})$.

Mesure

Le sodium a été mesuré sur tous les échantillons depuis le début de l'opération du réseau. La mesure était effectuée par émission de flamme, à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique (flamme H₂- air; $\lambda=589$ nm).

De 1967 à l'automne 1975, un appareil Jarrel Ash (modèle 82-518) était utilisé. La limite de sensibilité obtenue avec cet appareil était de 0.05 mg Na/l (M.R.N., 1974). Pour 40 répliqués d'une eau de concentration moyenne de 8.03 mg Na/l, l'écart-type était de 0.26 mg/l (M.R.N., 1972). La récupération moyenne d'ajouts de 5.98 mg Na/l, effectuée à 10 reprises, était de 96.8% (M.R.N., 1972).

Depuis l'automne 1975, un spectrophotomètre d'absorption atomique Perkin-Elmer (modèle 360) est utilisé.

Dans le cas où les échantillons n'étaient pas congelés, les délais entre le prélèvement et l'analyse du sodium ont peut être amené des gains de cet élément en solution par échange d'ion ou par dissolution d'une partie du matériel en suspension.

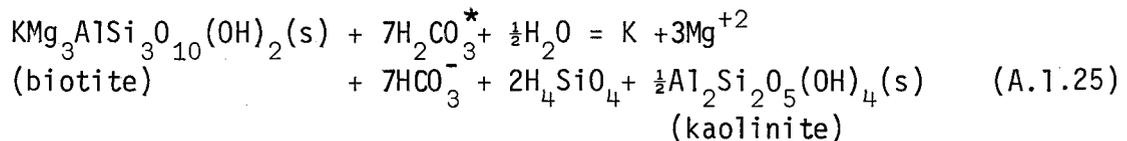
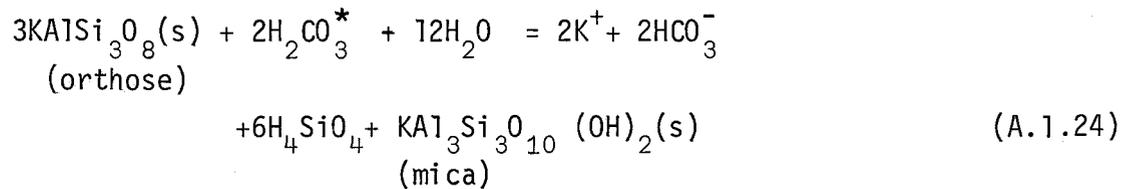
L'analyse était effectuée sur des échantillons non filtrés, ce qui peut avoir rendu ces effets négligeables. Pour de tels échantillons, il y a cependant danger, lors de l'analyse par spectrophotométrie à la flamme, d'effectuer une ségrégation des particules soit au niveau de l'aspiration de l'échantillon, soit lors de la nébulisation

A.1.5 Potassium

a) Origine

Dans les roches ignées ou métamorphiques, on retrouve le potassium dans l'orthose, la microcline, les micas, la biotite, la leucite et la néphéline. Dans les roches sédimentaires, on le retrouve dans les particules de feldspaths ou de micas non altérés ou, encore, lié à des argiles. Dans certains cas, on peut le retrouver sous forme de sels de potassium solubles.

Dans le milieu aquatique, le potassium provient surtout de l'attaque par l'eau contenant du gaz carbonique, de minéraux contenant ce cation. Des réactions typiques sont:



Dans les régions où on pratique la culture de façon intensive, l'addition de fertilisants peut contribuer à l'augmentation des concentrations de potassium observées dans les eaux. Cet élément se retrouve également dans certaines eaux résiduaires industrielles, mais ces apports sont généralement faibles.

b) Solubilité

La gamme assez étroite de concentrations de potassium observées dans le milieu aquatique suggère l'existence d'un mécanisme de contrôle. Dans les eaux naturelles, les conditions requises pour la précipitation d'un sel de potassium qui contrôlerait sa solubilité ne sont pratiquement jamais atteintes parce que ces sels sont trop solubles. Les deux mécanismes généralement admis sont plutôt:

- la résistance des minéraux contenant du potassium à l'altération chimique
- la préférence, que montrent les micas et les argiles, pour lier le potassium plutôt que d'autres cations comme le sodium, par exemple.

c) Formes en solution

Dans les eaux naturelles, le potassium existe essentiellement sous la forme K^+ .

d) Mesure

Le potassium a été mesuré sur tous les échantillons depuis le début de l'opération du réseau. La mesure était effectuée par émission de flamme, à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique (flamme H_2 - air; $\lambda=766.5$ nm).

De 1967 à l'automne 1975, un appareil Jarrel Ash (modèle 82-518) était utilisé. La limite de sensibilité obtenue avec cet appareil était de 0.005 mg K/l (M.R.N., 1974). Pour 40 répliqués d'une eau de concentration moyenne de 0.998 mg K/l, l'écart-type était de 0.016 mg/l. La récupération moyenne d'ajouts de 1.0 mg K/l, effectuée à 10 reprises, était de 100%.

Depuis l'automne 1975, un spectrophotomètre d'absorption atomique Perkin-Elmer (modèle 360) est utilisé.

Dans le cas où les échantillons n'étaient pas congelés, les délais entre le prélèvement et l'analyse du potassium ont peut être amené des gains de cet élément en solution par échange d'ion ou par dissolution d'une partie du matériel en suspension.

L'analyse était effectuée sur des échantillons non filtrés, ce qui peut avoir rendu ces effets négligeables. Pour de tels échantillons, il y a cependant danger, lors de l'analyse par spectrophotométrie à la flamme, d'effectuer une ségrégation des particules au niveau de l'aspiration de l'échantillon ou lors de la nébulisation.

A.1.6 Sulfates

a) Origine

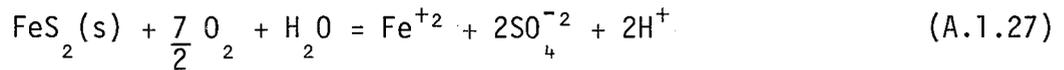
Les sulfates sont peu abondants dans les minéraux qui constituent les roches. On les retrouve parfois, dans les roches sédimentaires, sous forme de gypse ou d'anhydrite. Le soufre est cependant plus abondant sous forme de sulfures, dans les minéraux, en particulier, de veines accompagnant les roches ignées, métamorphiques ou sédimentaires. Le minéral le plus répandu est la pyrite.

Dans le milieu aquatique, les sulfates proviennent:

- des précipitations atmosphériques, puisqu'ils sont un des constituants dissous majeurs de l'eau de pluie et de la neige. Ils proviennent alors de particules de poussières et de l'oxydation du dioxyde de soufre et du sulfure d'hydrogène. Dans certaines régions, les précipitations atmosphériques peuvent constituer l'apport majeur en sulfates.
- de l'action de l'eau sur des minéraux contenant cet anion; par exemple:



- de l'action de l'eau de pluie contenant de l'oxygène dissous sur les sulfures. Il y a alors oxydation des sulfures en sulfates. L'oxydation de la pyrite en est un exemple:



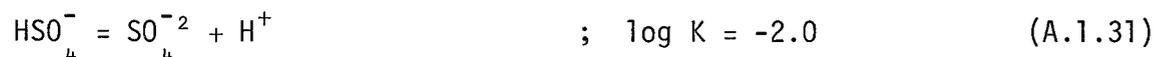
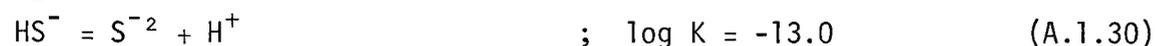
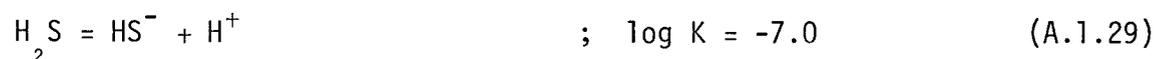
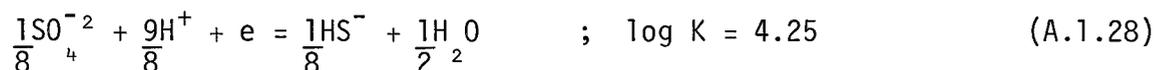
Les bactéries du groupe *Ferrobacillus-Thiobacillus* peuvent jouer un rôle important en accélérant l'oxydation. Cette source de sulfate peut devenir très importante lorsque des minéraux contenant des sulfures sont exposés en surface, comme cela se produit par exemple lors d'opérations minières. On retrouve également les sulfates dans les eaux usées domestiques et dans certaines eaux résiduaires industrielles comme celles des industries de pâtes et papier et du textile.

b) Solubilité

Dans les eaux naturelles, les conditions requises pour la précipitation d'un sulfate ne sont pratiquement jamais atteintes parce que la plupart de ces sels sont très solubles. Les seuls sulfates de faible solubilité sont constitués de cations peu communs dans les eaux naturelles comme, par exemple, le baryum. On peut mentionner que, dans des eaux aérées, l'ion sulfate est stable chimiquement.

c) Réaction d'oxydo-réduction

Les seules réactions pouvant pratiquement affecter les concentrations de sulfates dans les eaux naturelles sont celles d'oxydo-réduction. Un diagramme pE-pH peut renseigner à ce sujet. Pour construire un tel diagramme, on utilise les équations suivantes:



Les équations (A.1.28) à (A.1.31) ont été utilisées pour tracer le diagramme représenté sur la figure A.1.4. Le domaine de stabilité de l'eau est représenté sur cette figure par des traits pointillés.

D'après la figure A.1.4, on remarque qu'il faut un milieu très réducteur (sédiment anaérobie, eau souterraine) pour qu'il y ait réduction des sulfates en sulfures. Ceci confirme l'énoncé précédent à savoir que les sulfates sont stables dans une eau aérée. Les réactions d'oxydation des sulfures ou de réduction des sulfates peuvent être lentes en absence de catalyse biochimique. Il se peut donc qu'on observe, par des mesures de concentrations, des situations qui ne correspondent pas exactement à ce qui est prédit par les équilibres. On pourra cependant en déduire dans quel sens se produiront les réactions (évolution du milieu).

d) Formes en solution

D'après la figure A.1.4, les sulfates peuvent exister sous forme de HSO_4^- ou de SO_4^{-2} . Les procédures analytiques utilisées pour mesurer les sulfates ne permettent pas une discrimination des deux espèces; il faut plutôt procéder par calcul. L'espèce HSO_4^- n'existe cependant en concentrations significatives qu'à des pH plus faibles que 3.0

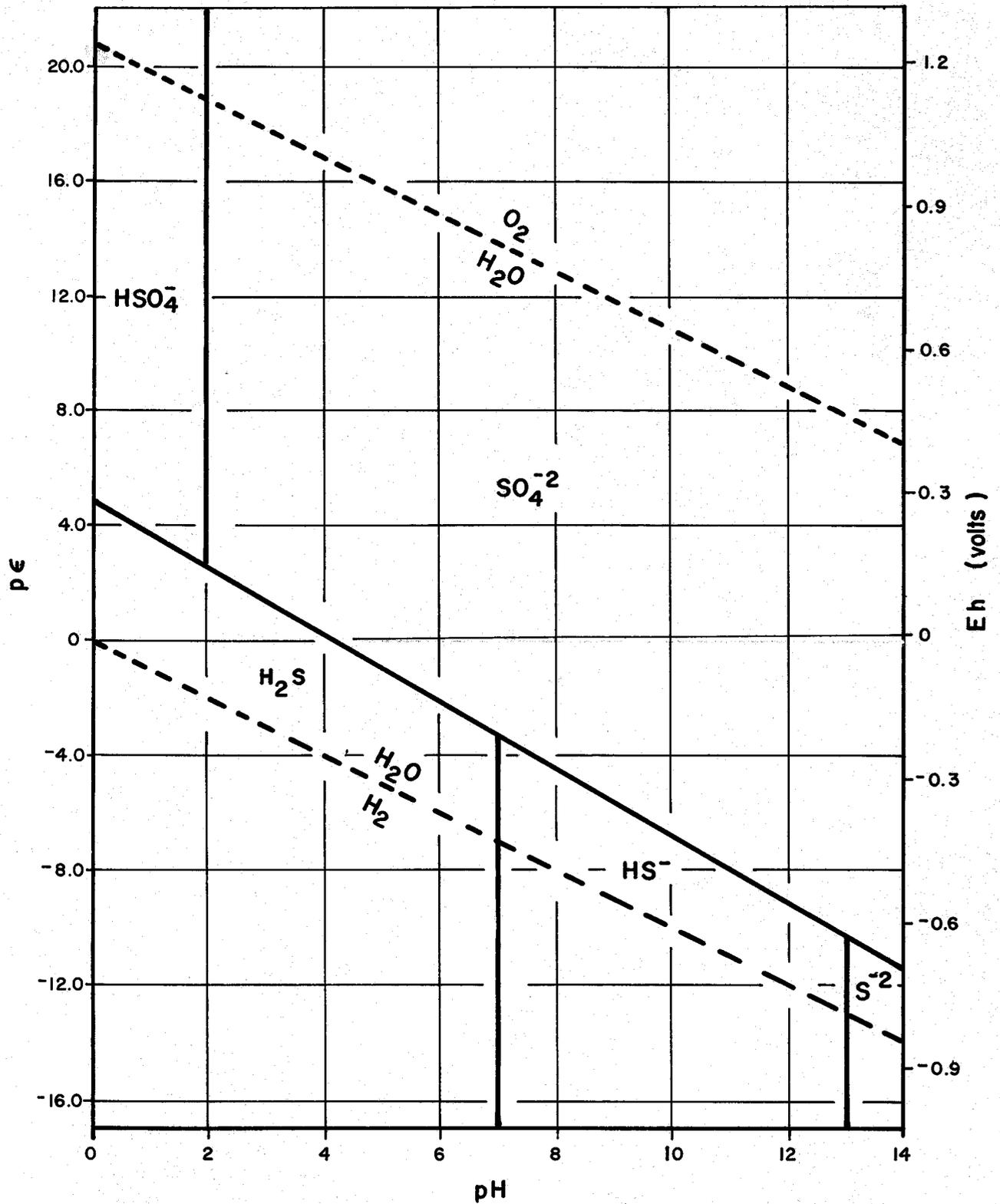


Figure A.1.4 .Diagramme de prédominance des espèces du soufre en solution à 25° C et 1 atmosphère de pression.

Pour des concentrations de sulfates plus grandes que 100 mg/l, on peut également obtenir des concentrations significatives d'espèces complexes, telles NaSO_4^- et CaSO_4 (aq), qu'on appelle paire d'ions.

e) Mesures

Les concentrations de sulfates ont été déterminées sur tous les échantillons prélevés depuis le début de l'opération du réseau. Différentes méthodes ont cependant été utilisées.

Méthode I: analyses de 1967 à 1969

On utilise une méthode gravimétrique (APHA, AWWA, WPCF, 1971). Un précipité de BaSO_4 est formé, filtré, lavé, séché et chauffé à 550°C . On pèse ensuite le résidu.

Méthode II: analyses de 1969 à 1973

On utilise une méthode volumétrique manuelle. Il s'agit d'enlever d'abord les cations de l'échantillon en le passant sur une résine échangeuse de cations. On titre ensuite l'échantillon avec BaCl_2 en présence de Thorin comme indicateur. Le point de virage se produit lorsqu'on a un excès de baryum. Pour 31 réplicats d'une eau de concentration moyenne de 10.61 mg SO_4 /l, l'écart-type était de 0.70 mg/l (M.R.N., 1972). La récupération moyenne d'ajouts de 8.4 mg SO_4 /l, effectuée à 5 reprises, était de 83.3% (M.R.N., 1972).

Méthode III: analyses depuis 1973

La méthode utilisée (Technicon Industrial Systems, 1972a) est automatisée; on utilise un auto-analyseur Technicon AA-2. L'échantillon passe d'abord à travers une résine échangeuse de cations,

les sulfates réagissent ensuite avec le chlorure de baryum pour former le sulfate de baryum. L'excès de baryum réagit avec le bleu de methylthymol et l'on dose l'excès de bleu de méthylthymol. La limite de sensibilité obtenue est de 0.5 mg SO_4 /l (M.R.N., 1974). Pour 40 réplicats d'une eau de concentration moyenne de 12.39 mg SO_4 /l, l'écart-type était de 0.17 mg/l (M.R.N., 1974). La récupération moyenne d'ajouts de 9.19 mg SO_4 /l, effectuée à 10 reprises, était de 95.5% (M.R.N., 1974).

Les sulfates se conservent assez bien; les réactions les plus susceptibles de faire changer les concentrations sont celles d'oxydo-réduction: oxydation de sulfures dans des eaux oxygénées ou réduction des sulfates dans des eaux très réductrices. Cependant, si on considère que les sulfures sont généralement en concentration beaucoup plus faible que les sulfates et que les eaux de surface suffisamment réductrices pour transformer les sulfates en sulfures sont rares, on peut affirmer que ces réactions n'ont pas joué un rôle important pour changer les concentrations de sulfate, lors de l'opération du réseau. La congélation des échantillons devrait diminuer la vitesse de ces réactions d'oxydo-réduction.

Les analyses des sulfates étaient cependant effectuées sur des échantillons non filtrés, ce qui peut avoir causé des interférences négatives lors de l'utilisation de la méthode III (diffraction de la lumière dans la cellule du colorimètre). La méthode I est, pour sa part, sensible à des interférences positives ou négatives. Parmi les interférences positives, mentionnons le matériel en suspension, la précipitation de la silice et l'oxydation des sulfites en sulfates; les interférences négatives peuvent être causées par la co-précipitation de sulfates de métaux alcalins de poids moléculaire inférieur à celui de baryum ou encore par la formation de complexes entre les sulfates et des métaux lourds comme le chrome et le fer, qui empêchent une précipitation complète du sulfate de baryum.

A.1.7 Chlorures

a) Origine

L'anion chlorure est un constituant mineur de la croûte terrestre mais un constituant majeur de la plupart des eaux naturelles. La sodalite et l'apatite (chlorapatite) sont les seuls minéraux communs des roches ignées et métamorphiques qui contiennent l'ion chlorure comme constituant essentiel, quoique les micas, l'hornblende et les verres naturels puissent en contenir des quantités significatives. Les concentrations de chlorures peuvent être plus importantes dans les roches sédimentaires, particulièrement les évaporites et les formations de dômes, par déformation de roches sédimentaires. On retrouve également les chlorures dans les schistes d'origine marine.

Les chlorures retrouvés dans l'eau proviennent:

- principalement de l'atmosphère, soit sous forme de retombées sèches ou de précipitations (pluie ou neige). Cet apport devient de moins en moins important à mesure qu'on s'éloigne de la mer
- de l'activité humaine (déglaçage des rues, égouts sanitaires et industriels); le déglacage des rues, en particulier, peut contribuer de façon importante à l'augmentation de concentration en chlorure en certaines périodes de l'année
- de l'action de l'eau sur les roches du bassin.

b) Stabilité chimique

L'ion chlorure est très stable dans les eaux naturelles. En effet, il n'intervient pas de façon significative dans des réactions d'oxydo-réduction, ne forme pas de complexes importants, ne forme pas de sels

de faible solubilité, n'est pas adsorbé ni ne joue de rôle biochimique important. La circulation de cet ion dans le cycle hydrologique se fait donc surtout par des phénomènes physiques. C'est pourquoi il est souvent utilisé comme traceur.

c) Formes chimiques

Dans les eaux naturelles, les chlorures existent essentiellement sous la forme de Cl^- . Cet anion peut former des complexes avec quelques métaux. Ces complexes sont cependant en concentrations faibles par rapport à celles de Cl^- .

d) Mesures

Les concentrations de chlorures ont été déterminées sur tous les échantillons prélevés depuis le début de l'opération du réseau. Différentes méthodes ont cependant été utilisées.

Méthode I: analyses de 1967 à 1971

On utilise une méthode volumétrique (APHA, AWWA, WPCF, 1971). On titre les chlorures avec le nitrate d'argent (formation de AgCl (s)) en utilisant le chromate de potassium comme indicateur. L'excès d'argent amène la formation de chromate d'argent, de couleur rouge.

Méthode II: analyses de 1971 à 1973

La méthode utilisée (Technicon Industrial Systems, 1969b) est automatisée; on utilise les auto-analyseurs Technicon AA-1. On ajoute à l'échantillon du thiocyanate mercurique. Il y a formation de chlorure mercurique, soluble quoique non ionisé, et libération de l'anion thiocyanate. Ce dernier réagit avec l'ion ferrique et donne

une coloration proportionnelle à la concentration originelle de chlorures. La limite de sensibilité indiquée par la compagnie Technicon Instruments Corporation est de 0.25 mg Cl/l. Pour 39 répliqués d'une eau de concentration moyenne de 7.70 mg Cl/l, l'écart-type était de 0.20 mg/l (M.R.N., 1972). La récupération moyenne d'ajouts de 1.0 mg Cl/l, effectuée à 4 reprises était de 40% (M.R.N., 1972).

Méthode III: analyses depuis 1973

La méthode utilisée (Technicon Industrial Systems, 1972b) est automatisée; on utilise les auto-analyseurs Technicon AA-2. Le principe est le même que celui décrit précédemment (voir la méthode II). La limite de sensibilité atteinte est 0.1 mg Cl/l (M.R.N., 1974). Pour 40 répliqués d'une eau de concentration moyenne de 5.01 mg Cl/l, l'écart-type était de 0.066 mg/l. La récupération moyenne d'ajouts de 4.9 mg Cl/l, effectuée à 10 reprises, était de 102%.

Les chlorures se conservent très bien, que les échantillons aient été congelés ou non. Les analyses ayant été effectuées sur des échantillons non filtrés, les particules en suspension peuvent avoir causé une interférence positive lors de l'utilisation des méthodes colorimétriques (méthodes II et III). Pour ce qui est de la méthode I, les ions bromure, iode, cyanure, sulfure, thiosulfate, ortho-phosphates et fer peuvent interférer lors de la mesure lorsqu'ils sont présents en concentrations élevées, ce qui est très rarement le cas.

A.1.8 Fluorures

a) Origine

La fluorite (CaF_2), minéral qui contient du fluor, est rencontré aussi bien dans les roches ignées que sédimentaires. Parmi les autres minéraux qui contiennent cet élément, mentionnons la fluorapatite (apatite commune) et des amphiboles, tels l'hornblende et quelques micas. Contrairement à ce qui se produit pour le chlore, on rencontre le fluor surtout lié aux minéraux de la croûte terrestre plutôt que dans l'hydrosphère. Le fluor retrouvé dans les eaux naturelles provient surtout de l'action de l'eau sur les minéraux qui contiennent cet élément.

b) Solubilité

Plusieurs composés du fluor ont une faible solubilité. Il ne semble pas y avoir eu d'études approfondies pour déterminer quelles phases solides contrôlent la solubilité du fluor dans les eaux naturelles. La fluorite, CaF_2 , serait cependant un choix logique étant donné la valeur du produit de solubilité ($K_S = 10^{-10.57}$) et les concentrations de calcium rencontrées dans les eaux naturelles. A l'appui de cette assertion, mentionnons que l'on observe généralement les plus fortes concentrations de fluor dans les eaux de faibles concentrations de calcium. Mentionnons ici que la fluorite peut jouer un rôle important (de régulateur de fluor) lors de la fluoration des eaux dans les usines de traitement d'eau. En effet, en cas d'un ajout exagéré de fluor à l'usine, le calcium présent dans l'eau peut amener une précipitation de $\text{CaF}_2(\text{s})$ et ainsi ne laisser qu'un niveau acceptable de fluor libre dans l'eau.

Un autre solide, la cryolite (Na_3AlF_6) pourrait également précipiter dans des eaux contenant Na^+ , Al^{+3} et F^- en concentrations suffisantes. Cependant, peu d'eaux naturelles présentent des concentrations de Al^{+3} suffisantes pour amener une telle précipitation.

c) Formes en solution

La forme prédominante du fluor dans les eaux naturelles est F^- . Etant donné le pK de l'acide fluorhydrique (pK=3.5), la forme non dissociée n'est importante qu'à des valeurs de pH inférieures à 3.5. Des complexes peuvent être formés avec Al^{+3} , Be^{+2} et Fe^{+3} ; de plus, l'ion fluorure, en milieu acide, peut être associé avec le silicium (SiF_6^{-2} et SiF_4). Cependant, même si ces espèces existent dans les eaux naturelles, leurs concentrations devraient être plus faibles que celle de F^- . Mentionnons de plus que seul le fluor à l'état d'oxydation (-1) est stable dans l'eau.

d) Mesure

Les concentrations de fluorures ont été mesurées pour tous les échantillons prélevés en 1967 et 1968. De 1969 à 1972, elles étaient très peu analysées alors qu'en 1973, elles étaient mesurées de façon irrégulière. La mesure a été abandonnée à partir de 1973. Trois méthodes ont été utilisées.

Méthode I: analyses de 1967 à 1971

La méthode utilisée (Brown et al, 1970) est manuelle. Le fluorure réagit avec le complexe coloré zirconium-cyanure d'Eriochrome pour produire une diminution de couleur par formation de ZrF_6^{-2} et l'on mesure par colorimétrie cette diminution de couleur.

Méthode II: analyses effectuées en 1971

La méthode utilisée est automatisée; on utilise un auto-analyseur Technicon AA-1. L'échantillon est distillé et le fluorure contenu dans le distillat réagit avec un composé coloré zirconium-SPADNS (2-(parasulfophénylazo)-1,8-dihydroxy-3,6-naphtalène disulfonate de sodium) pour produire une

diminution de la couleur par formation de ZrF_6^{-2} . On mesure par colorimétrie la diminution de couleur. La limite de sensibilité mentionnée par la compagnie Technicon Instruments Corporation est de 0.1 mg F/l.

Méthode III: analyses effectuées depuis 1972

Il s'agit d'une méthode électrochimique (APHA, AWWA, WPCF, 1971) où on utilise une électrode spécifique au fluor, une électrode de référence et un pH-mètre permettant la lecture d'un potentiel. Avant de mesurer le potentiel, on ajoute à l'échantillon du citrate de sodium pour éliminer la formation de fluorocomplexes qui ne seraient pas déterminés par l'électrode. On ajoute également un tampon de force ionique élevée, de façon à éviter les fluctuations de pH et de force ionique. La limite de détection obtenue est de 0.02 mg F/l (M.R.N., 1974). Pour 10 réplicats d'une eau de concentration moyenne de 0.0689 mg F/l, l'écart-type était de 0.004 mg/l (M.R.N., 1974). La récupération moyenne d'ajouts de 0.084 mg F/l, effectuée à 4 reprises, était de 85.7% (M.R.N., 1974).

Les concentrations de fluorures en solution peuvent être diminuées par la précipitation de fluorures de calcium; la congélation des échantillons rend cette réaction plus probable.

Les analyses ayant été effectuées sur des échantillons non filtrés, les particules en suspension peuvent avoir causé une interférence positive lors de l'utilisation de la méthode II; de plus, pour cette même méthode, le chlore résiduel peut également causer une interférence. Lors de l'application de la méthode I, les ions aluminium en sulfate, de même que les solides dissous (en concentrations plus grandes que 10,000 mg/l) peuvent causer des interférences; de plus, des oxydants forts (le chlore résiduel par exemple) décolorent le complexe coloré. L'utilisation de la méthode III présente peu de problèmes.

A.1.9 Carbone inorganique

Dans cette section, on a regroupé tout ce qui touche directement au carbone inorganique (équilibre acide carbonique - bicarbonate - carbonate, alcalinités, acidités, efficacité tampon). Les équilibres chimiques impliquant le carbone inorganique sont très importants; ils sont en particulier fortement responsables pour le contrôle du pH dans les eaux naturelles et, par conséquent, ils affectent directement le biota et plusieurs équilibres chimiques dans l'environnement aquatique.

a) Origine

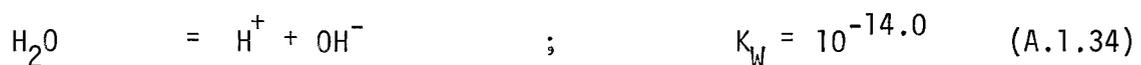
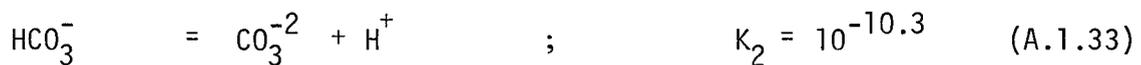
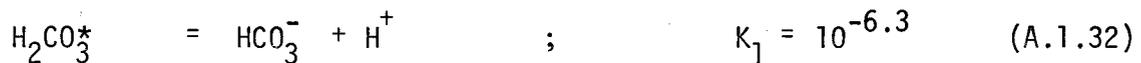
La plus grande partie du carbone inorganique, C_T , retrouvé dans l'eau provient du CO_2 de l'atmosphère, du CO_2 contenu dans les sols et de la mise en solution de minéraux carbonatés tels que la calcite. Il faut également ajouter à ces sources l'oxydation, dans l'environnement aquatique, de la matière dissoute ou particulaire (d'origine autochtone ou allochtone), effectuée surtout par les bactéries.

Le CO_2 retrouvé dans l'atmosphère vient de la respiration, de la combustion des carburants, de l'oxydation de la matière organique et de l'action des volcans; sa pression partielle y est de $10^{-3.5}$ atmosphère. Dans les sols organiques, cette pression partielle peut être multipliée en raison surtout de la respiration des organismes, par un facteur variant de 10 à 100.

La provenance de la plus grande partie du carbone inorganique retrouvé dans les eaux naturelles peut être expliquée par le processus suivant: l'eau de pluie, lors de son passage à travers l'atmosphère, dissout du CO_2 , qui forme avec l'eau de l'acide carbonique; arrivée au sol, cette eau peut dissoudre davantage de CO_2 , en particulier si le sol est organique, et devenir ainsi plus "agressive", pour attaquer et dissoudre les minéraux carbonatés avec lesquels elle entre en contact.

b) Distribution des différentes espèces de carbone inorganique

En traçant un diagramme du logarithme de la concentration de chacune des espèces de carbone inorganique en fonction du pH, on peut visualiser rapidement celles qui sont prédominantes à l'équilibre pour un pH donné. Ce graphique est obtenu, pour le système acide carbonique-bicarbonate-carbonate en utilisant les équations suivantes:



La figure A.1.5(a), tracée pour une valeur de C_T fixée à $10^{-2.5}\text{M}$ montre la distribution de H_2CO_3^* , HCO_3^- , CO_3^{-2} , H^+ et OH^- et fait ressortir que l'ion bicarbonate est l'espèce carbonatée prédominante dans la plupart des eaux naturelles. Ce graphique sera utile pour interpréter les mesures d'alcalinités et d'acidités qui seront décrites ultérieurement.

c) Solubilité

La solubilité du carbone inorganique varie avec le pH et la pression partielle de CO_2 , si on suppose un équilibre entre l'atmosphère et la solution. Un graphique du logarithme des concentrations en fonction du pH, pour un système ouvert (c. à d. en équilibre avec la phase gazeuse) permet de visualiser facilement les variations des concentrations en fonction du pH. Pour le carbone inorganique, et les espèces qui le composent, un tel graphique est obtenu en utilisant les relations (A.1.32) à (A.1.34) ainsi que l'équation:

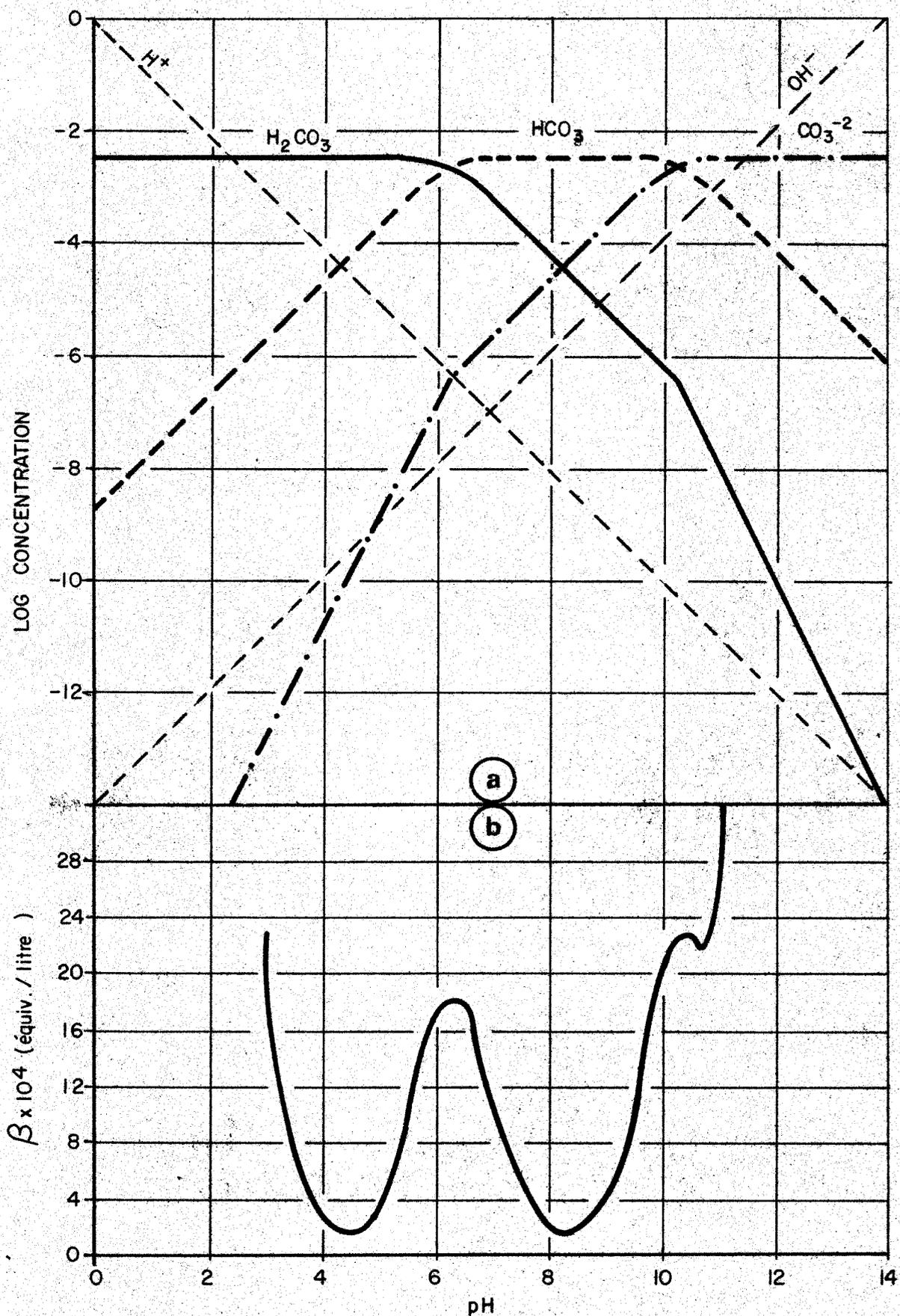


Fig. 4.1.5. Equilibre des carbonates dans un milieu fermé à l'atmosphère.
 a : Distribution des espèces carbonatées en fonction du pH.
 b : Représentation de la capacité de tamponnage en fonction du pH.



Ce type de graphique qui est tracé à la figure A.1.6(a) pour la pression partielle de CO_2 normale dans l'atmosphère ($P_{\text{CO}_2} = 10^{-3.5}$ atmosphère), montre que lorsqu'il y a équilibre avec le CO_2 de l'atmosphère, la concentration de carbone inorganique augmente avec le pH à partir de $\text{pH} \approx 5$.

Le modèle représenté correspond à de l'eau en équilibre avec le CO_2 de l'atmosphère à laquelle on ajoute un acide ou une base; ceci se rapproche de ce qui se passe en nature lorsqu'une eau en équilibre avec le CO_2 de l'atmosphère réagit avec les bases des sols ou des roches. Si les eaux turbulentes devraient se rapprocher de ce modèle, dans le cas d'eaux calmes, l'équilibre avec l'atmosphère risque fort de ne pas être atteint. On peut alors observer une insaturation (p.e. épilimnion, lors de la période de photosynthèse) ou une sursaturation (p.e. hypolimnion d'un lac eutrophe) par rapport à l'atmosphère.

d) Formes d'alcalinité et d'acidité

Les titrages acidimétriques et alcalimétriques d'une eau naturelle jusqu'à des points d'équivalence représentent les procédures opérationnelles pour déterminer les différentes formes d'alcalinité ou d'acidité.

Pour le moment, on considère que seules les espèces carbonatées contribuent aux différentes formes d'alcalinité ou d'acidité, c'est-à-dire qu'on néglige les espèces acide silicique-silicates, acide borique-borates, acide phosphorique-phosphates, etc.

Pour un acide diprotonique comme H_2CO_3^* , il y a trois points d'équivalence, f, qui sont:

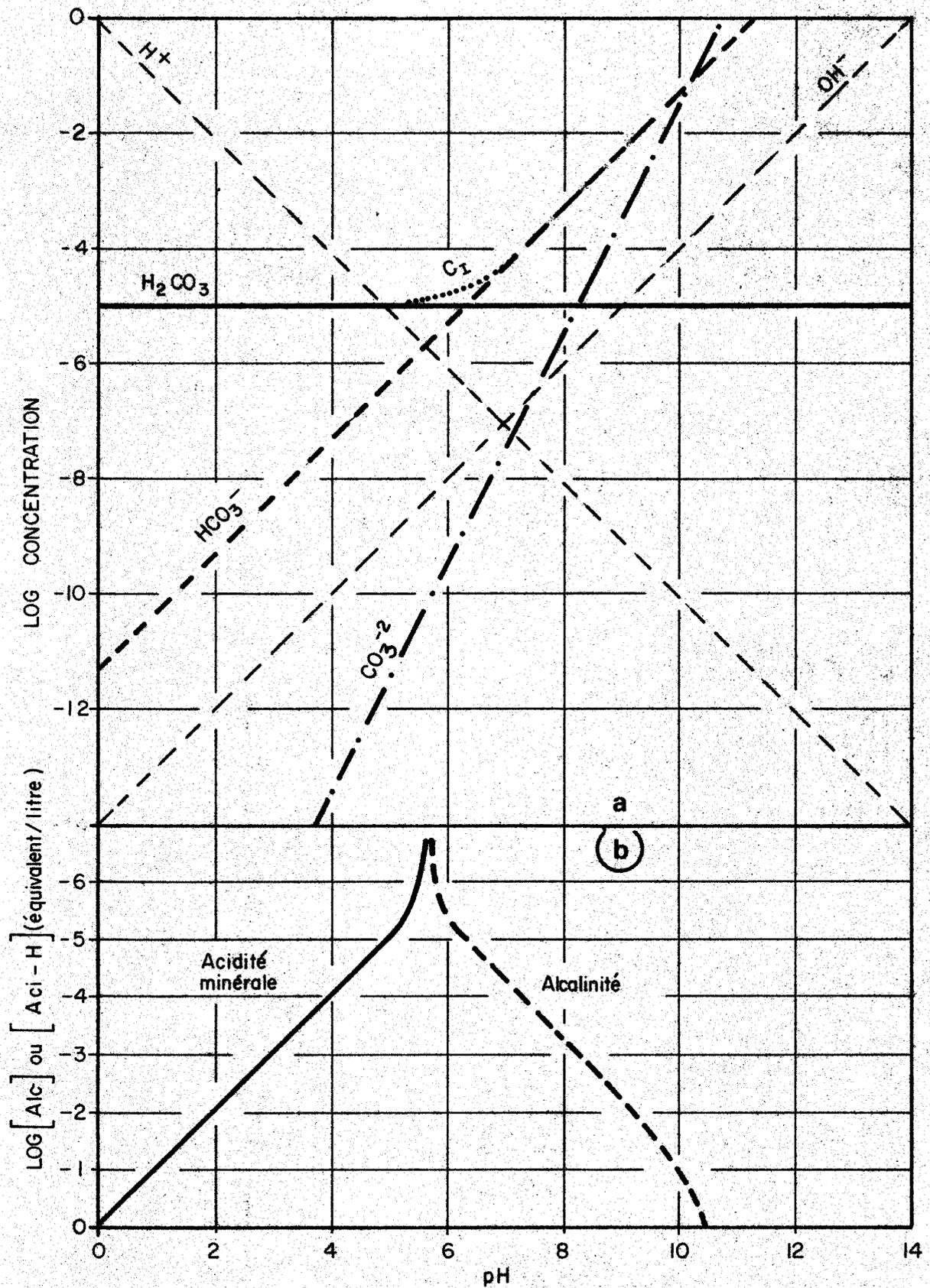


Fig. A.1.6. Equilibre des carbonates dans un milieu ouvert à l'atmosphère.

- a : Distribution des espèces carbonatées en fonction du pH.
 b : Représentation de l'acidité minérale et de l'alcalinité en fonction du pH.

$f=0$, pour lequel la distribution des espèces carbonatées en solution correspond à celle obtenue pour une solution pure de H_2CO_3^* . Le pH correspondant à ce point d'équivalence est identifié, sur un graphique $\log C$ en fonction du pH (voir figure A.1.5) par la condition de proton (Stumm et Morgan, 1970):

$$[\text{H}^+] = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] \quad (\text{A.1.37})$$

$f=1$, pour lequel la distribution des espèces carbonatées en solution correspond à celle obtenue pour une solution pure d'un bicarbonate (ex. NaHCO_3). Le pH correspondant à ce point d'équivalence est identifié sur un graphique $\log C$ en fonction du pH (voir figure A.1.5) par la condition de proton:

$$[\text{H}^+] + [\text{H}_2\text{CO}_3^*] = [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] \quad (\text{A.1.38})$$

$f=2$, pour lequel la distribution des espèces carbonatées en solution correspond à celle obtenue pour une solution pure d'un carbonate (ex. Na_2CO_3). Le pH correspondant à ce point d'équivalence est identifié sur un graphique $\log C$ en fonction du pH (voir figure A.1.5) par la condition de proton:

$$[\text{OH}^-] = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{H}_2\text{CO}_3^*] + [\text{H}^+] \quad (\text{A.1.39})$$

Si on effectue des titrages acidimétriques, au moyen d'un acide fort, on détermine les formes d'alcalinité. Si on effectue le titrage jusqu'à:

$f=2$, (pH \approx 10.8), on détermine l'alcalinité caustique, $[\text{Alc-OH}]$ qui s'exprime par la relation:

$$[\text{Alc-OH}] = [\text{OH}^-] - [\text{HCO}_3^-] - 2[\text{H}_2\text{CO}_3^*] - [\text{H}^+] \quad (\text{A.1.40})$$

f=1, (pH=8.3), on détermine l'alcalinité CO_3^{-2} , $[\text{Alc}-\text{CO}_3^{-2}]$, qui s'exprime par l'équation:

$$[\text{Alc}-\text{CO}_3^{-2}] = [\text{OH}^-] + [\text{CO}_3^{-2}] - [\text{H}_2\text{CO}_3^*] - [\text{H}^+] \quad (\text{A.1.41})$$

f=0, (pH=4.5), on détermine l'alcalinité totale, $[\text{Alc}]$, qui s'exprime par l'équation:

$$[\text{Alc}] = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{-2}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+] \quad (\text{A.1.42})$$

Par contre, lorsqu'on effectue des titrages alcalimétriques, au moyen d'une base forte, on détermine les formes d'acidité. Lorsque le titrage est effectué jusqu'à:

f=0 (pH=4.5), on mesure l'acidité minérale, $[\text{Aci} - \text{H}^+]$, qui s'exprime par l'équation:

$$[\text{Aci} - \text{H}^+] = [\text{H}^+] - [\text{HCO}_3^-] - 2[\text{CO}_3^{-2}] - [\text{OH}^-] \quad (\text{A.1.43})$$

f=1 (pH=8.3), on mesure l'acidité CO_2 , $[\text{Aci} - \text{CO}_2]$, qui s'exprime par la relation:

$$[\text{Aci} - \text{CO}_2] = [\text{H}_2\text{CO}_3^*] + [\text{H}^+] - [\text{CO}_3^{-2}] - [\text{OH}^-] \quad (\text{A.1.44})$$

f=2 (pH=10.8), on mesure l'acidité totale $[\text{Aci}]$, qui s'exprime par la relation:

$$[\text{Aci}] = 2[\text{H}_2\text{CO}_3^*] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{H}^+] - [\text{OH}^-] \quad (\text{A.1.45})$$

On doit noter qu'on ne peut effectuer, sur un échantillon donné d'eau naturelle, que trois des six mesures d'acidité ou d'alcalinité. Les formes les plus fréquemment mesurées (lorsque l'échantillon d'eau le permet) sont: l'alcalinité totale, l'alcalinité CO_3 et l'acidité totale. De plus, depuis quelques années, on mesure fréquemment le carbone inorganique total. Sur la figure A.1.6 (b), on a tracé les valeurs théoriques de l'alcalinité totale et de l'acidité minérale pour une eau en équilibre avec le CO_2 de l'atmosphère déduites des équations (A.1.42) et (A.1.43). D'après cette figure, les eaux naturelles en équilibre avec l'atmosphère et ayant un pH entre 6 et 9 auront des alcalinités entre 10^{-6} et 10^{-2} équivalents/litre (6×10^{-2} et 6×10^2 mg HCO_3 /l).

Les valeurs de pH aux points d'équivalence $f=0$ et $f=2$ (pH de 4.5 et de 10.8) pour les titrages de l'alcalinité et de l'acidité totales représentent les limites en dehors desquelles la plupart des processus de vie dans les eaux naturelles sont très sérieusement menacés. Ces mesures permettent donc d'estimer la capacité maximale d'une eau naturelle pour neutraliser des déchets acides ou basiques sans détruire trop profondément les activités biologiques dans l'eau.

Dans les données du M.R.N. considérées ici, seuls l'alcalinité totale et l'alcalinité CO_3^{-2} ont été mesurés. Ces paramètres sont généralement interprétés en terme de concentrations spécifiques d'ions bicarbonates ou carbonates; c'est ce dont il est discuté ci-dessous.

e) Relation entre l'alcalinité totale et les bicarbonates

Une équation plus complète de l'alcalinité totale est la suivante:

$$[\text{Alc}] = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{-2}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+] + [\text{HPO}_4^{-2}] + 2[\text{PO}_4^{-3}] + [\text{H}_3\text{SiO}_4^-] + [\text{H}_3\text{PO}_4^-] \quad (\text{A.1.46})$$

En effet, d'autres espèces ioniques que les carbonates et les bicarbonates telles que les phosphates, silicates, borates et les anions d'acides organiques faibles, peuvent contribuer à l'alcalinité; leur contribution peut être calculée si on connaît leur concentration totale et le pH. Cependant, pour la plupart des eaux naturelles, les concentrations d'acides organiques et de phosphates sont beaucoup plus faibles que celles des bicarbonates ou carbonates. De plus, les concentrations de silicates et de borates seront généralement faibles pour les gammes de pH rencontrées dans les eaux naturelles, en raison des valeurs des premières constantes de dissociation de leurs acides respectifs (acide silicique, $\text{pK}=9.0$; acide borique, $\text{pK}_1=9.2$).

Donc, dans la plupart des cas, l'équation (A.1.46) peut être simplifiée de façon justifiée pour conduire à l'équation (A.1.42). Si on considère cette dernière équation et la figure A.1.5 (a), on constate que pour des pH compris entre 5 et 9 et pour des valeurs de carbone inorganique supérieures à $10^{-3.5}M$, le seul terme important dans l'équation (A.1.42) est HCO_3^- ; tous les autres termes sont négligeables vis-à-vis ce dernier, c'est pourquoi on écrit souvent:

$$[HCO_3^-] \approx [Alc] \quad (A.1.47)$$

Il est cependant bon de se rappeler que par l'alcalinité totale, on dose parfois plus que les ions bicarbonates, ceci est particulièrement vrai dans le cas d'eaux très alcalines ($pH > 9.0$).

f) Relation entre l'alcalinité - CO_3^{-2} et les carbonates

La mesure de $[Alc - CO_3^{-2}]$ s'écrit:

$$[Alc - CO_3^{-2}] = [OH^-] + [CO_3^{-2}] - [H_2CO_3^*] - [H^+] + [H_3SiO_4^-] + [H_3BO_4^-] + [PO_4^{-3}] \text{ etc} \quad (A.1.48)$$

Des espèces ioniques autres que les carbonates, telles que les phosphates, silicates, borates et les anions d'acides organiques faibles, peuvent contribuer à l'alcalinité des carbonates; leur contribution peut être calculée si on connaît leur concentration totale et le pH.

On simplifie souvent l'équation (A.1.48) et on l'écrit sous la forme de l'équation (A.1.41). On suppose alors que seulement CO_3^{-2} et OH^- contribuent à l'alcalinité des carbonates; c'est pourquoi on écrit:

$$[CO_3^{-2}] \approx [Alc - CO_3^{-2}] \quad (A.1.49)$$

Il est cependant bon de se rappeler que par l'alcalinité CO_3^{-2} , on dose parfois plus que les ions carbonates. Ces cas se produisent lorsque les concentrations des ions PO_4^{-3} , H_3SiO_4^- , H_3BO_4^- et les sels d'acides organiques faibles sont présents à des concentrations significatives par rapport à celle de CO_3^{-2} .

g) Efficacité tampon du système des carbonates

La concentration des ions H^+ varie assez peu dans les eaux naturelles, en raison de l'efficacité tampon de ces eaux, attribuable surtout à la présence des espèces H_2CO_3^* , HCO_3^- et CO_3^{-2} . Pour une discussion des différentes contributions à l'efficacité tampon totale, il serait bon de consulter la section A.1.17 traitant du pH; on se limite ici à discuter de l'efficacité tampon du système des carbonates.

L'efficacité tampon, β , est définie comme la quantité de base forte, C_B , ou d'acide fort, C_A , nécessaire pour changer le pH d'une unité. On peut l'écrire:

$$\beta = \frac{dC_B}{d\text{pH}} = -\frac{dC_A}{d\text{pH}} \quad (\text{A.1.50})$$

Comme le montre l'équation (A.1.50), l'efficacité tampon pour une valeur du pH est donc donnée par la pente d'une courbe de titrage (C_B ou C_A en fonction du pH) à ce pH. La courbe de titrage peut être décrite rigoureusement, puisqu'en tout point, la condition d'électroneutralité doit être vérifiée.

Pour le système des carbonates, cette condition s'écrit:

$$C_B = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{-2}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+] \quad (\text{A.1.51})$$

L'expression mathématique de β est obtenue en dérivant l'équation (A.1.51) par rapport au pH; on obtient ainsi, après transformations:

$$\beta = 2.3 \left\{ C_T K_1 [H^+] \left(\frac{[H^+]^2 + 4K_2[H^+] + K_1 K_2}{([H^+]^2 + K_1[H^+] + K_1 K_2)^2} \right) + [H^+] + [OH^-] \right\} \quad (A.1.52)$$

L'efficacité tampon a été tracée à la figure A.1.5 (b) pour une valeur de C_T de $10^{-2.5} M$; les deux maximums, correspondent aux deux pK de l'acide carbonique. L'efficacité tampon des carbonates dépend à la fois de la concentration de carbone inorganique total et du pH. Il peut être utile de la calculer, étant donné que plusieurs organismes sont sensibles à des variations de pH, même si elles sont faibles. La comparaison des équations (A.1.42) et (A.1.52) montre bien la différence entre l'efficacité tampon et l'alcalinité totale, paramètres qui sont souvent confondus à tort.

h) Mesure

Les deux seules mesures effectuées par le M.R.N. sont l'alcalinité des carbonates ($[Alc-CO_3^{-2}]$), identifiée dans la banque comme carbonate et l'alcalinité totale ($[Alc]$), identifiée comme alcalinité.

Les deux mesures sont effectuées par titrage acidimétrique avec H_2SO_4 jusqu'aux pH 8.3 (pour l'alcalinité des carbonates) et 4.5 (pour l'alcalinité totale), le pH étant mesuré avec un pH-mètre.

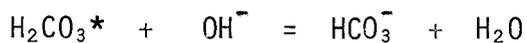
L'alcalinité des carbonates n'a pas été mesurée de 1967 à 1969. En 1970 et 1971, elle n'était mesurée que de façon irrégulière, alors qu'en 1972, elle n'a été que très peu mesurée. La mesure a été abandonnée depuis 1973.

L'alcalinité totale a été mesurée sur tous les échantillons prélevés de 1967 à 1970. En 1971, elle n'a été mesurée que de façon irrégulière alors qu'en 1972, elle n'a été que très peu mesurée. La mesure a été abandonnée à partir de 1973, à cause des délais impliqués entre le prélèvement des échantillons et l'analyse.

Les deux types de mesure d'alcalinité ont été abandonnés pour des motifs de changements des valeurs dûs à des pertes ou des gains de CO_2 durant le transport et l'entreposage. Si dans le cas de $[\text{Alc} - \text{CO}_3^{-2}]$, cette décision est justifiée, elle ne l'est pas pour l'alcalinité totale. En effet:

$$[\text{Alc}] = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{-2}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+]$$

La première dissociation de l'acide carbonique peut s'écrire:



Une perte de CO_2 (qui équivaut à une diminution de H_2CO_3^*) entraîne un déplacement de l'équilibre vers la gauche. Si on tient compte de la stœchiométrie de la réaction, toute perte de HCO_3^- sera compensée par la formation de OH^- en quantité équivalente. On voit immédiatement en considérant l'expression de $[\text{Alc}]$ que la mesure de cette dernière ne sera pas affectée, puisque tout ce qu'on perd en $[\text{HCO}_3^-]$ est gagné sous forme de $[\text{OH}^-]$.

Les valeurs de carbonate et de bicarbonate apparaissant dans la banque de données ont été obtenues par calcul. Pour les carbonates, on fait l'approximation:

$$[\text{CO}_3^{-2}] \approx [\text{Alc} - \text{CO}_3^{-2}] ,$$

alors que pour les bicarbonates, on suppose que:

$$[\text{HCO}_3^-] \approx [\text{Alc}] - 2[\text{Alc} - \text{CO}_3^{-2}]$$

Les délais impliqués avant la détermination de l'alcalinité totale ou de l'alcalinité des carbonates ont pu affecter leurs concentrations soit par précipitation de carbonate de calcium, par échange d'ion ou par dissolution d'une partie du matériel en suspension. La congélation des échan-

tillons favorise la précipitation de carbonate de calcium (M.R.N., 1977). De plus, l'alcalinité CO_3^{-2} est affectée par des pertes ou des gains de CO_2 , ce qui n'est pas le cas de l'alcalinité totale.

Les mesures d'alcalinité CO_3^{-2} et d'alcalinité totale ayant été effectuées sur des échantillons non filtrés, les particules en suspension ont pu les affecter par réactions d'échange d'ion. Dans le cas de l'alcalinité totale, les titrages acidimétriques sont toujours effectués jusqu'à $\text{pH}=4.5$ alors qu'on peut démontrer que le vrai point d'équivalence varie, selon la concentration de carbone inorganique (voir figure A.1.5 (a), et utiliser la condition de proton $[\text{H}^+] + [\text{H}_2\text{CO}_3^*] = [\text{CO}_3^{-2}] + [\text{OH}^-]$). Pour des valeurs de pH inférieures à 9, la mesure de l'alcalinité des carbonates est très imprécise; il vaudrait mieux la calculer à partir des relations d'équilibre du système des carbonates.

Les valeurs calculées de bicarbonate et de carbonate, en plus d'être affectées par les problèmes mentionnés ci-haut pour l'alcalinité totale et l'alcalinité des carbonates, peuvent être surestimées lorsque des espèces telles que les phosphates, silicates, borates et les anions d'acides organiques faibles sont présentes en concentrations élevée.

A.1.10 Nitrates

a) Origine

Quoique certaines roches ignées contiennent de faibles quantités de nitrates ou d'azote ammoniacal, elles ne constituent généralement pas une source importante des nitrates qu'on retrouve dans les eaux naturelles.

Pour comprendre l'origine des nitrates en solution dans les eaux naturelles, il est important de considérer le schéma des transformations de l'azote dans le milieu aquatique présenté à la figure A.1.7 et expliqué

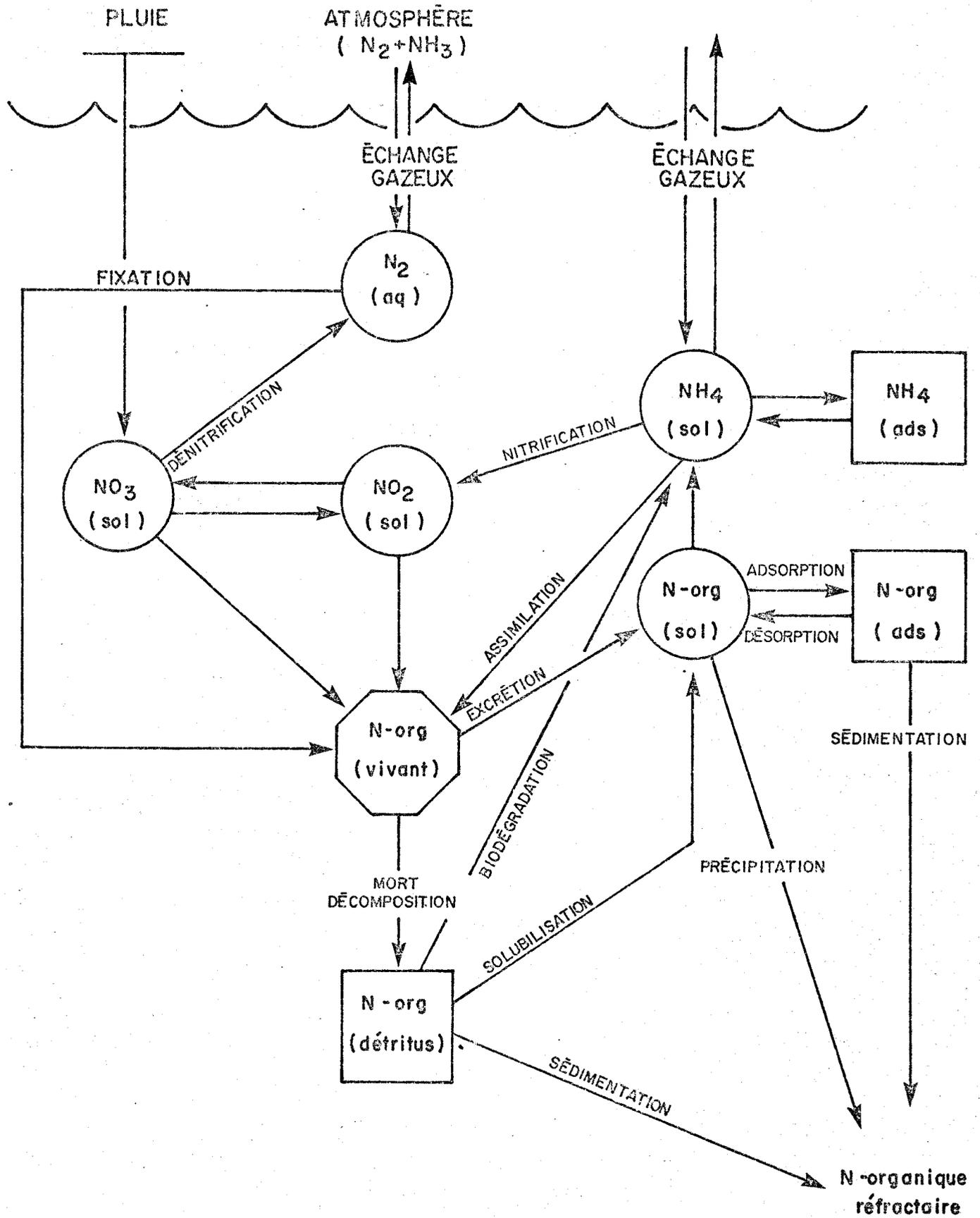


Figure A.I.7 . Schéma des transformations de l'azote en milieu aquatique.

ci-dessous. Les formes majeures d'azote en solution qui peuvent être assimilées pour la production primaire sont les nitrates, nitrites et l'azote ammoniacal; l'azote moléculaire en solution peut également être fixé par certaines bactéries ou algues pour la synthèse de l'azote organique. Une partie de cet azote organique dans les organismes peut être excrétée par ces derniers dans la solution. Lors de la décomposition des organismes, une fraction de l'azote organique est transformée en azote ammoniacal ou mise en solution alors que l'autre devient réfractaire. L'azote ammoniacal peut être oxydé en milieu aérobie, par des bactéries autotrophes, sous forme de nitrites, et, finalement, sous forme de nitrates. En milieu anaérobie, les nitrates peuvent être transformés en nitrites et en azote moléculaire par des bactéries hétérotrophes. L'azote ammoniacal et l'azote organique en solution peuvent s'adsorber sur les sédiments en suspension ou, inversement, être remis en solution.

Suite à cette brève discussion des transformations de l'azote, il devient évident que l'origine des nitrates qu'on retrouve dans les eaux naturelles peut difficilement être dissociée de celle des autres formes d'azote. C'est pourquoi on discute ci-dessous des sources d'azote plutôt que de celles des nitrates.

Les quantités d'azote qu'on retrouve dans les eaux naturelles sont le résultat de phénomènes ou d'activités naturels et d'activités humaines. Parmi les sources naturelles, mentionnons:

- le drainage des forêts
- l'érosion
- l'activité des animaux sauvages
- la fixation de l'azote moléculaire atmosphérique
- la pluie et les retombées sèches

Les sources résultant des activités humaines sont:

- les émissaires d'égouts (urine et excréments, détergents, restes de nourriture, industries, drainage urbain, infiltration)

- le drainage agricole (cultures, pâturages, fermes d'élevage)

b) Solubilité

Dans les eaux naturelles, les conditions requises pour la précipitation des nitrates ne sont pratiquement jamais atteintes puisque ces sels sont très solubles. Il est bien connu, également, que les nitrates ne s'adsorbent pas sur les sédiments en suspension.

c) Réactions d'oxydo-réduction

Les nitrates sont relativement stables d'un point de vue thermodynamique dans les eaux naturelles qui sont oxygénées. En effet, à pH de 7.0, ce n'est que pour des p_e respectivement inférieurs à 12.0 et à -4.5 qu'on devrait retrouver l'azote moléculaire et l'azote ammoniacal comme formes prédominantes d'azote.

En fait, le facteur majeur influençant les transformations des nitrates est l'action biologique, incluant l'incorporation dans la matière organique par les organismes autotrophes et hétérotrophes et la réduction sous forme de nitrites ou d'azote moléculaire. Les nitrates peuvent également être réduits sous forme d'azote ammoniacal par dénitrification; on s'accorde cependant pour dire que cette réaction a peu d'influence pour réduire les concentrations de nitrates.

d) Formes en solution

Les nitrates en solution existent essentiellement sous la forme NO_3^- . C'est un ligand faible qui ne forme pas de complexes en concentration significatives dans les eaux naturelles.

e) Mesure

Les concentrations de nitrates (ou la somme [nitrates]+[nitrites]) ont été déterminées sur tous les échantillons prélevés depuis le début de l'opération du réseau. Différentes méthodes ont été utilisées.

Méthode I: analyses de 1967 à 1971

La méthode utilisée est manuelle (APHA, AWWA, WPCF, 1971). Les nitrates réagissent avec la brucine pour produire une couleur jaune d'intensité proportionnelle à la concentration de nitrate.

Méthode II: analyses de 1971 à 1973

La méthode utilisée (Technicon Industrial Systems, 1969 c) est automatisée; on utilise les auto-analyseurs Technicon AA-1. Les nitrates sont réduits en nitrites par une solution alcaline de sulfate d'hydrazine contenant un catalyseur de cuivre. Les ions nitrite réagissent avec la sulfanilamide en milieu acide pour donner un composé diazo, lequel se couple au dihydrochlorure de N-1-naphthylethylenediamine pour donner un composé azo coloré. La limite de sensibilité, telle que définie par la compagnie Technicon Instruments Corporation est de 0.02 mg NO₃/l.

Méthode III: analyses depuis 1973

La méthode utilisée (Technicon Industrial System, 1973 b) est automatisée; on utilise un auto-analyseur Technicon AA-2. Le principe de la méthode est le même que celui décrit précédemment (voir la Méthode II), sauf que la réduction des nitrates en nitrites est effectuée par une colonne Cu-Cd. La limite de détection observée est de 0.1 mg NO₃/l (M.R.N., 1974). Pour 40 répliqués d'une eau de concentration moyenne de 1.80 mg NO₃/l, l'écart-type était nul (M.R.N., 1974). La récupération moyenne d'ajouts de 2.50 mg NO₃/l, effectuée à 10 reprises, était de 100% (M.R.N., 1974).

Pendant l'entreposage des échantillons, il n'y a pas de raison pour que les réactions qui se produisent dans le milieu aquatique (voir figure A.1.7), telles que la photosynthèse, les transformations en nitrites ou en azote moléculaire ou l'oxydation des nitrites ne se produisent également dans les bouteilles. Ces réactions peuvent jouer un rôle important pour changer les concentrations de nitrates, surtout lorsque les micro-organismes sont en nombre élevé dans l'échantillon d'eau. La congélation des échantillons empêche ou du moins réduit fortement la vitesse de ces réactions.

Les analyses ayant été effectuées sur des échantillons d'eau non filtrée, les particules peuvent avoir causé des interférences pour les trois méthodes utilisées; de plus, pour ces méthodes, les agents oxydants ou réducteurs (chlore résiduel, Fe^{+2} , Fe^{+3} et Mn) constituent des interférences.

A.1.11 Orthophosphates

a) Origine

Le phosphore se retrouve, sous forme d'orthophosphates dans quelques minéraux dont les apatites (hydroxylapatite, fluorapatite) sont les plus importants. On le retrouve moins souvent dans d'autres minéraux comme la brushite, la wavellite, la variseite, la strengite et la barrandite. Ces minéraux sont cependant peu solubles et leurs vitesses de dissolution sont en général faibles; c'est pourquoi ils constituent généralement un apport faible d'orthophosphates en solution.

Les concentrations d'orthophosphates qu'on retrouve dans les eaux naturelles proviennent souvent d'autres sources. Avant d'en discuter, considérons le schéma des transformations du phosphore dans le milieu aquatique, présenté à la figure A.1.8 et expliqué ci-dessous. Les formes du phosphore assimilables pour la productivité biologique sont les orthophosphates et le phosphore organique en solution. Les organismes peuvent excréter du phosphore sous forme de phosphore organique. Lors de la décom-

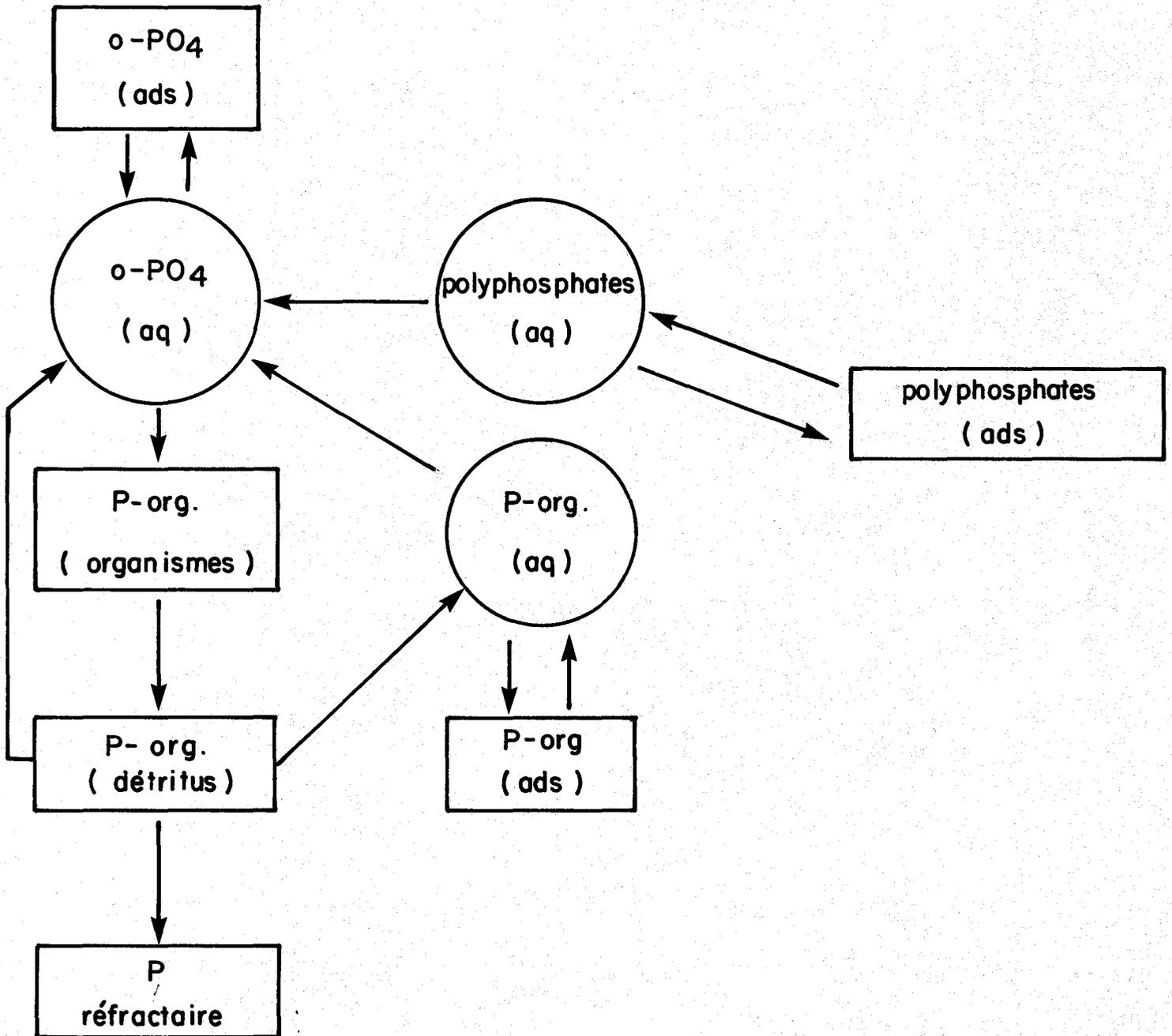


Figure A.1.8. Schéma des transformations du phosphore en milieu aquatique.

position des organismes, une fraction du phosphore organique est remise en solution sous forme d'orthophosphates ou de phosphore organique alors que l'autre fraction est plus réfractaire. En solution, des orthophosphates sont obtenus par minéralisation des phosphates organiques ou par hydrolyse des polyphosphates. Les orthophosphates, tout comme les polyphosphates et les phosphates organiques, peuvent s'adsorber sur les sédiments en suspension.

Suite à cette brève discussion des transformations du phosphore dans le milieu aquatique, on se rend compte que l'origine des orthophosphates qu'on retrouve dans les eaux naturelles peut difficilement être dissociée de celle des autres formes de phosphore. C'est pourquoi on discute ci-dessous, de sources de phosphore plutôt que d'orthophosphates.

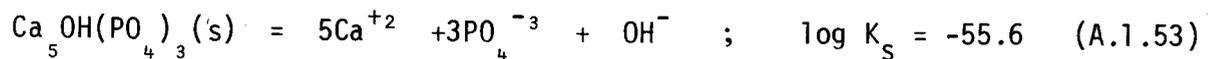
Comme source de phosphore autres que le lessivage des roches, mentionnons:

- le drainage des forêts
- l'érosion
- l'activité des animaux sauvages
- la pluie et les retombées sèches
- les émissaires d'égouts (urine et excréments, détergents, restes de nourriture, industries, drainage urbain, infiltration)
- le drainage agricole (cultures, pâturages, fermes d'élevage)
- le traitement des eaux.

b) Solubilité

Les concentrations d'orthophosphates qu'on retrouve dans les eaux naturelles sont contrôlées par des facteurs chimiques et biologiques.

Plusieurs formes peu solubles d'orthophosphates inorganiques ont été mentionnées comme pouvant contrôler la solubilité des orthophosphates; ce sont: $\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3(\text{s})$, $\text{CaHPO}_4(\text{s})$, $\text{FePO}_4(\text{s})$ et $\text{AlPO}_4(\text{s})$ dont les produits de solubilité sont donnés dans le tableau A.1.1. Parmi ces formes solides, l'hydroxylapatite, $\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3(\text{s})$, est celle qui semble la plus probable (Anon, 1970) si on considère les conditions qui prévalent dans les eaux naturelles. Sur la figure A.1.9, la concentration totale des orthophosphates, P_T est tracée en fonction du pH lorsque la solution est en équilibre avec l'hydroxylapatite. On obtient P_T de la façon suivante:



$$\text{où } K_S = [\text{Ca}^{+2}]^5 [\text{PO}_4^{-3}]^3 [\text{OH}^-] \quad (\text{A.1.54})$$

On substitue dans l'équation (A.1.54):

$$[\text{PO}_4^{-3}] = P_T \alpha_3$$

ce qui conduit à:

$$P_T = \sqrt[3]{\frac{K_S}{[\text{Ca}^{+2}]^5 \alpha_3^3 [\text{OH}^-]}} \quad (\text{A.1.55})$$

où:

$$\alpha_3 = \frac{K_1 K_2 K_3}{[\text{H}^+]^3 + K_1 [\text{H}^+] + K_1 K_2 [\text{H}^+]^2 + K_1 K_2 K_3}$$

TABLEAU A.1.1 Constantes d'équilibre pour des réactions impliquant les orthophosphates

REACTION	LOG K
acide-base	
$H_3PO_4 = H_2PO_4^- + H^+$	- 2.2
$H_2PO_4^- = HPO_4^{2-} + H^+$	- 7.0
$HPO_4^{2-} = PO_4^{3-} + H^+$	-12.0
solubilité	
$Ca_5OH(PO_4)_3(s) = 5Ca^{+2} + 3PO_4^{-3} + OH^-$	-55.6
$CaHPO_4(s) = Ca^{+2} + HPO_4^{-2}$	- 7
$FePO_4(s) = Fe^{+3} + PO_4^{-3}$	-23
$AlPO_4(s) = Al^{+3} + PO_4^{-3}$	-21
complexation	
$Ca^{+2} + HPO_4^{-2} = CaHPO_4(aq)$	+ 2.7
$Mg^{+2} + HPO_4^{-2} = MgHPO_4(aq)$	+ 2.5
$Fe^{+3} + HPO_4^{-2} = FeHPO_4^+$	+ 8.3

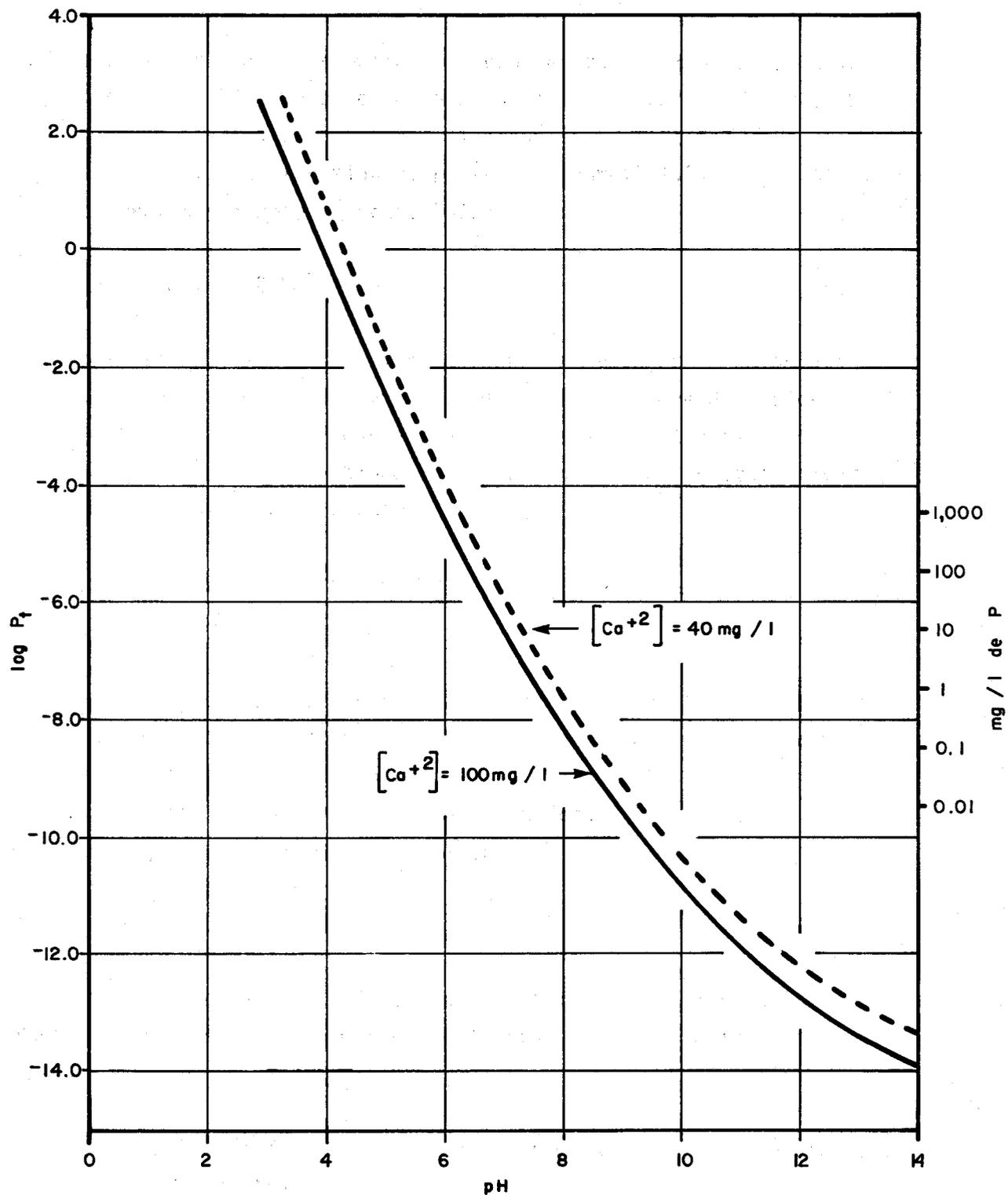


Figure A.1.9. Solubilité des orthophosphates en fonction du pH ;
phase solide : $Ca_5 OH (PO_4)_3 (s)$.

et dans cette relation, les constantes K_1 , K_2 et K_3 sont celles de la dissociation de H_3PO_4 (voir tableau A.1.1). La figure A.1.9 montre que pour des concentrations de calcium normalement rencontrées dans les eaux naturelles (≈ 40 mg/l), les concentrations d'orthophosphates devraient être très faibles: de l'ordre de dix ppb à pH 7, de 1 ppb à pH 8 et de moins de 0.1 ppb à pH 9. Dans les calculs effectués pour tracer le graphique, on n'a pas tenu compte de la formation de complexes avec les orthophosphates; un calcul plus rigoureux de la solubilité des orthophosphates devrait en effet tenir compte de la formation des complexes $CaHPO_4$ (aq), $MgHPO_4$ (aq) et $FeHPO_4^+$ dont les constantes de stabilité sont données dans le tableau A.1.1.

Les concentrations d'orthophosphates peuvent également être contrôlées par des phénomènes de co-précipitation, notamment avec les oxydes ou hydroxydes de fer trivalent ou d'aluminium. De plus, les orthophosphates s'adsorbent facilement sur les sédiments en suspension, notamment les argiles et les hydroxydes de Fe (III) et de Al (III).

En plus des facteurs chimiques dont on vient de discuter, des facteurs biologiques contrôlent également les concentrations d'orthophosphates dans les eaux naturelles, surtout en période intense de photosynthèse.

c) Formes en solution

A l'état libre, les orthophosphates, dans les eaux naturelles, existent sous les formes $H_2PO_4^-$ et HPO_4^{2-} . A pH 7, il y a à peu près la même concentration des deux espèces, comme l'indiquent les constantes d'équilibre du tableau A.1.1. Les orthophosphates peuvent également complexer des cations; les complexes susceptibles de se former en plus grandes concentrations sont $CaHPO_4$ (aq), $MgHPO_4$ (aq) et $FeHPO_4^+$.

d) Mesure

Les concentrations d'orthophosphates n'ont été déterminées qu'à partir de 1970 et ce, pour tous les échantillons prélevés. L'introduction de ce paramètre coïncide avec l'installation, dans les laboratoires du MRN, d'auto-analyseurs Technicon AA-1. Deux méthodes d'analyse ont été utilisées.

Méthode I: analyses de 1970 à 1973

La méthode utilisée (Technicon Industrial Systems, 1969 d) est automatisée; on utilise un auto-analyseur Technicon AA-1. Le molybdate d'ammonium réagit en milieu acide avec les orthophosphates pour former l'acide molybdophosphorique qui est ensuite réduit en un complexe de bleu de molybdène par l'acide aminonaphtholsulfonique. La limite de sensibilité indiquée par la compagnie Technicon Instruments Corporation est de 0.15 mg PO₄/l.

Méthode II: analyses depuis 1973

La méthode utilisée (Technicon Industrial Systems, 1971) est automatisée; on utilise un auto-analyseur Technicon AA-1. Le principe de la méthode est le même que celui décrit précédemment (voir la méthode I), sauf que la réduction est effectuée par l'acide ascorbique plutôt que par l'acide aminonaphtholsulfonique. La limite de sensibilité obtenue est de 0.020 mg PO₄/l (M.R.N., 1974). Pour 40 répliqués d'une eau de concentration moyenne de 0.297 mg PO₄/l, l'écart-type était de 0.03 mg/l (M.R.N., 1974). La récupération moyenne d'ajouts de 0.39 mg PO₄/l, effectuée à 10 reprises, était de 66.6% (M.R.N., 1974).

Depuis février 1976, une nouvelle méthode (Technicon Industrial Systems, 1973 c) est utilisée; elle fait appel à un auto-analyseur Technicon AA-2.

Pendant l'entreposage des échantillons, il n'y a pas de raison pour que les réactions qui se produisent dans le milieu aquatique (voir figure A.1.8), telles que la photosynthèse, l'adsorption ou la désorption des ortho-phosphates, l'hydrolyse des polyphosphates, la minéralisation du phosphore organique ne se produisent également dans les bouteilles; ces réactions peuvent jouer un rôle important pour changer les concentrations d'orthophosphates, surtout lorsque l'échantillon d'eau contient beaucoup de microorganismes. La congélation des échantillons empêche ou du moins réduit fortement la vitesse de ces réactions. Dans le cas de concentrations suffisamment élevées, on peut également observer une précipitation des orthophosphates sous forme d'hydroxylapatite ou encore de phosphate ferrique; cette réaction est favorisée par la congélation des échantillons.

Les analyses ayant été effectuées sur des échantillons d'eau non filtrée, les particules peuvent avoir causé des interférences pour toutes les méthodes utilisées. Pour ces méthodes, des concentrations élevées de silice, de chrome hexavalent, de nitrites et d'arsenate peuvent également amener des interférences.

A.1.12 Dureté

a) Origine

La dureté totale correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, à l'exception des métaux alcalins. Dans la plupart des cas, la dureté est due aux ions calcium et magnésium; cependant pour certaines eaux où les concentrations de fer, d'aluminium, de manganèse et de strontium sont élevées, ces ions peuvent contribuer également à la dureté.

La dureté "non carbonatée" correspond à la différence entre la dureté totale et la somme des bicarbonates et carbonates (ou alcalinité); les mêmes unités, habituellement mg/l de CaCO_3 , doivent alors être utilisées pour tous les paramètres. La dureté "non carbonatée" sera élevée lorsque des anions autres que HCO_3^- et CO_3^{2-} seront présents en concentration importante et que la dureté totale sera également élevée.

b) Mesure

La dureté totale apparaissant dans la banque de données a été calculée en utilisant les concentrations de calcium et de magnésium, multipliées par les facteurs appropriés (2.497 pour le calcium et 4.116 pour le magnésium) de façon à exprimer les résultats en mg CaCO_3 /l.

La dureté non carbonatée était également calculée; elle était en effet obtenue par la différence entre la dureté totale et l'alcalinité, les deux mesures étant exprimées en mg CaCO_3 /l.

Les changements causés aux concentrations de calcium et de magnésium par les délais entre le prélèvement des échantillons et l'analyse ainsi que par le mode de préservation des échantillons affectent de la même façon la dureté totale; la dureté non carbonatée est de plus affectée par les changements de concentration de l'alcalinité totale.

Les problèmes analytiques mentionnés pour le calcium, le magnésium et l'alcalinité totale s'appliquent aussi pour la dureté totale et la dureté non carbonatée.

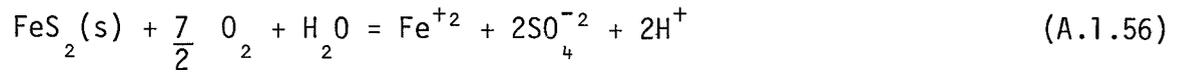
A.1.13 Fer

a) Origine

Le fer est un des éléments qu'on retrouve en grande quantité dans la croûte terrestre, souvent sous la forme ferreuse dans les roches ignées et sous la forme ferrique dans les roches sédimentaires. Dans les roches ignées, les principaux minéraux qui en contiennent sont les olivines, amphiboles, pyroxènes et micas. Dans les roches sédimentaires, le fer se rencontre sous forme de pyrite, pyrrotite, marcassite, sidérite, hématite, goethite et magnétite.

Le fer qu'on retrouve dans les eaux naturelles est souvent d'origine géologique; il provient de l'altération des minéraux par l'eau. Les oxydes et sulfures sont habituellement les principales sources de fer car la mise en solution à partir de ces minéraux est plus rapide qu'à partir des silicates.

Certains types de rejets d'eaux usées, par exemple des eaux résiduelles d'industries minières ou de traitement des métaux, peuvent parfois constituer des apports importants. Dans le cas des mines, on constate des mises en solution de fer, surtout lorsque des sulfures (pyrite ou marcassite) sont ramenés à la surface et exposés à l'air et à l'eau. Ces sulfures sont alors oxydés en sulfates, ce qui libère le fer sous forme ferreuse et rend l'eau acide:



b) Solubilité

Le fer en solution dans les eaux naturelles peut exister à deux états d'oxydation, (+II) et (+III).

La solubilité du fer bivalent peut être contrôlée par les solides suivants: $\text{FeCO}_3(\text{s})$, $\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{s})$ et $\text{FeS}(\text{s})$. Le sulfure ferreux ne contrôlera la solubilité que dans des milieux très réducteurs. Sur la figure A.1.10, on a représenté la solubilité du fer divalent en fonction du pH, en considérant l'hydroxyde et le carbonate, comme phases solides et en fixant la concentration de carbone inorganique à 10^{-3} M. On a tenu compte des espèces Fe^{+2} , FeOH^+ et $\text{Fe}(\text{OH})_3^-$ pour lesquelles les constantes d'équilibre utilisées sont données dans le tableau A.1.2. On remarque, d'après ce graphique, que le carbonate ferreux contrôle la solubilité du fer divalent pour toute la gamme de pH (5 à 9) qu'on retrouve dans les eaux naturelles. Ce n'est qu'à des concentrations très faibles de carbone inorganique ou de pH que $\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{s})$ devient la phase solide stable.

La solubilité du fer trivalent pourrait être contrôlée par l'hydroxyde ferrique ou le phosphate ferrique. Cependant, pour les concentrations d'orthophosphates normalement rencontrées dans les eaux naturelles, $\text{FePO}_4(\text{s})$ ne précipite pas. Sur la figure A.1.11, on a représenté la solubilité du fer trivalent en fonction du pH en considérant l'hydroxyde ferrique comme phase solide et Fe^{+3} , FeOH^{+2} , $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ et $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$ comme espèces en solution; les constantes d'équilibre utilisées sont données dans le tableau A.1.2.

La comparaison des deux derniers graphiques (figures A.1.10 et A.1.11), montre clairement que le Fe(III) est beaucoup moins soluble dans les eaux naturelles que le Fe(II).

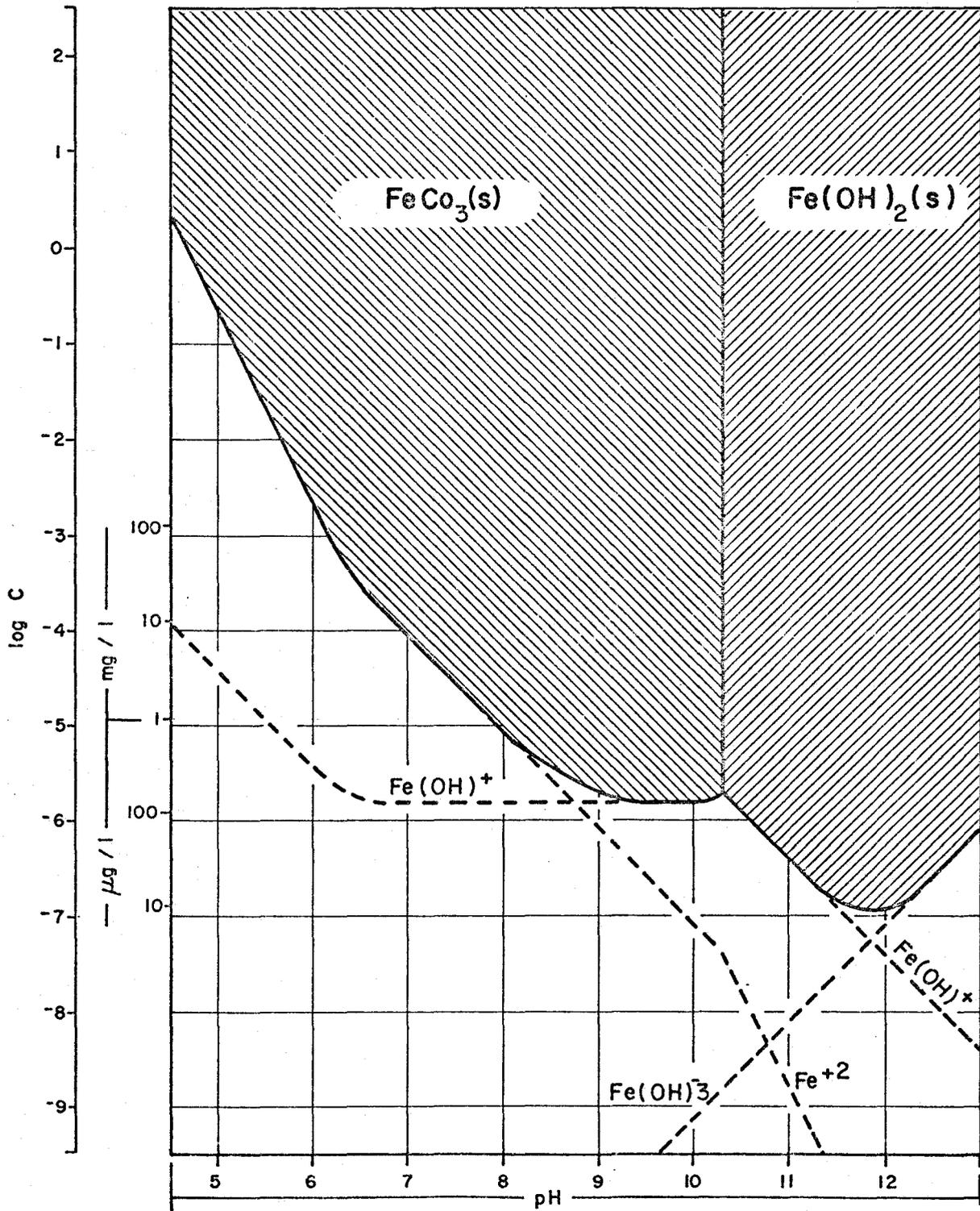


Fig. A.1.10. Solubilité du fer bivalent en fonction du pH dans une eau carbonatée (concentration de carbone inorganique = 10^{-3}M)

TABLEAU A.1.2 Constantes d'équilibre pour des réactions impliquant le fer.

Réaction	log K
solubilité	
$\text{Fe(OH)}_2(\text{s}) = \text{Fe}^{+2} + 2\text{OH}^-$	- 14.7
$\text{FeCO}_3(\text{s}) = \text{Fe}^{+2} + \text{CO}_3^{-2}$	- 10.4
$\text{FeS}(\text{s}) = \text{Fe}^{+2} + \text{S}^{-2}$	- 17.22
$\text{Fe(OH)}_3(\text{s}) = \text{Fe}^{+3} + 3\text{OH}^-$	- 38.7
$\text{FePO}_4(\text{s}) = \text{Fe}^{+3} + \text{PO}_4^{-3}$	- 23
complexation	
$\text{Fe}^{+2} + \text{OH}^- = \text{FeOH}^+$	+ 5.3
$\text{Fe}^{+2} + 3\text{OH}^- = \text{Fe(OH)}_3^-$	+ 9.6
$\text{Fe}^{+3} + \text{H}_2\text{O} = \text{FeOH}^{+2} + \text{H}^+$	- 3.05
$\text{Fe}^{+3} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Fe(OH)}_2^+ + 2\text{H}^+$	- 6.31
$\text{Fe}^{+3} + 4\text{H}_2\text{O} = \text{Fe(OH)}_4^- + 4\text{H}^+$	- 22.66
$\text{Fe}^{+3} + \text{HPO}_4^{-2} = \text{FeHPO}_4^+$	+ 8.3
oxydo-réduction	
$\text{Fe}^{+3} + \text{e} = \text{Fe}^{+2}$	13.20
$\text{Fe}^{+2} + 2\text{e} = \text{Fe}$	- 14.90

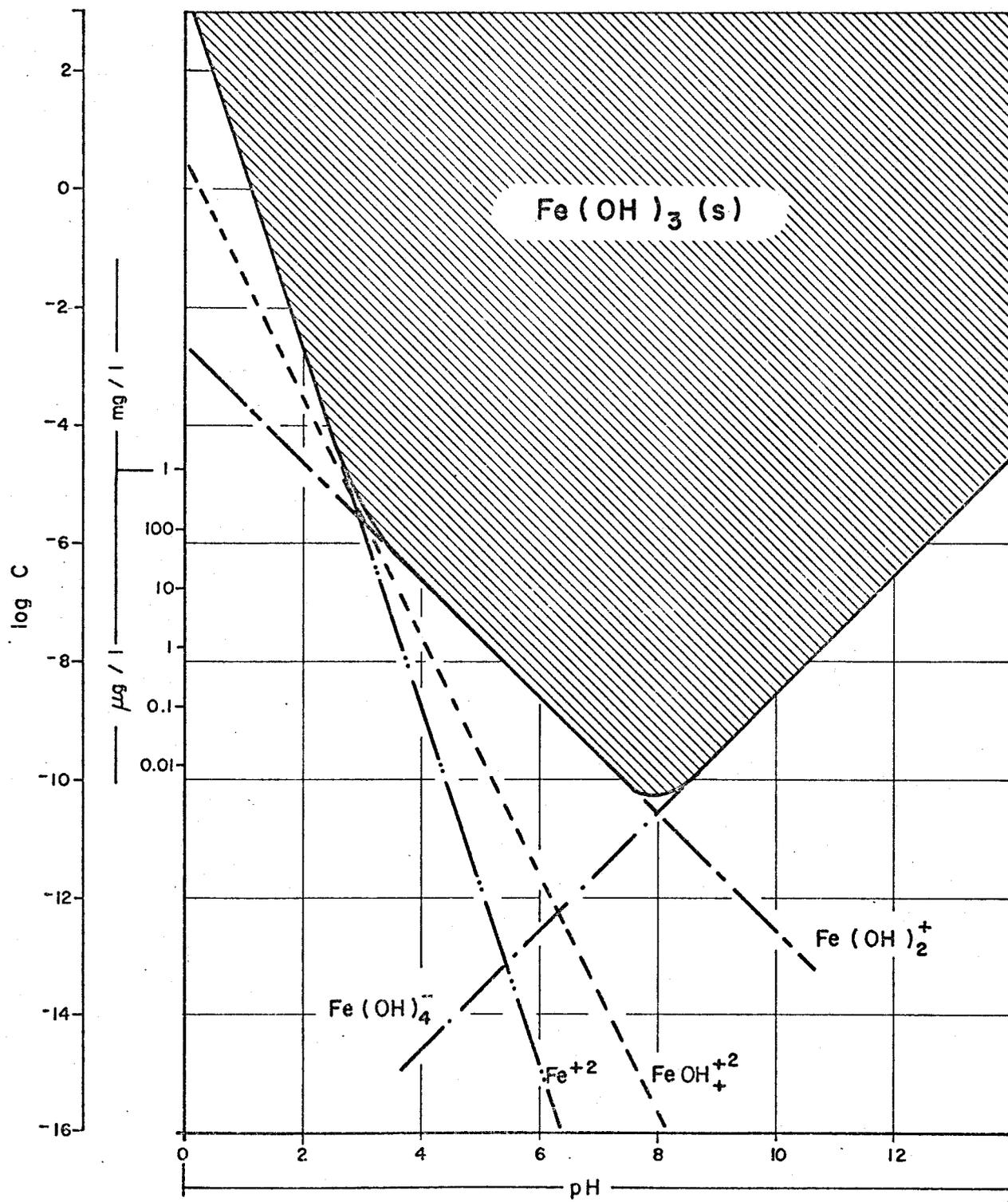


Fig.A.I.II . Solubilité du fer trivalent en fonction du pH dans une eau carbonatée (concentration de carbone inorganique = 10^{-3}M).

Par exemple, à pH 7, on ne devrait pas observer plus de 0.01 ppb de Fe(III) alors que l'on pourrait atteindre jusqu'à 10 ppm de Fe(II).

c) Oxydo-réduction

Le fer est un élément qui, dans le milieu aquatique, peut changer d'état d'oxydation; ces réactions d'oxydo-réduction peuvent être relativement rapides. Pour comprendre ces transformations, la construction d'un diagramme p_e -pH, tel que celui présenté à la figure A.1.12 s'avère fort utile. Les constantes d'équilibre utilisées pour construire ce graphique sont données dans le tableau A.1.2; les concentrations de fer total et de carbone inorganique ont été fixées respectivement à 10^{-5} M et 10^{-3} M. On remarque également que les seules espèces solubles considérées sont les ions libres, Fe^{+2} et Fe^{+3} ; les hydroxo-complexes ont été négligés. Leur introduction aurait eu comme conséquences de réduire les domaines de stabilité des phases solides et de compliquer le graphique sans donner beaucoup d'informations supplémentaires. Il est évident, d'après la figure A.1.12, que des changements de p_e (et à un degré moindre de pH) peuvent affecter l'état d'oxydation du fer et, par conséquent, sa solubilité.

Dans des eaux oxygénées (voir la surface en traits hachurés sur la figure A.1.12, qui représente le domaine de p_e pour des eaux contenant entre 1.0 et 10 mg/l d'oxygène dissous), le Fe(III) est l'espèce stable. On doit donc s'attendre à retrouver, dans de telles eaux, des concentrations de fer en solution très faibles (voir la figure A.1.11).

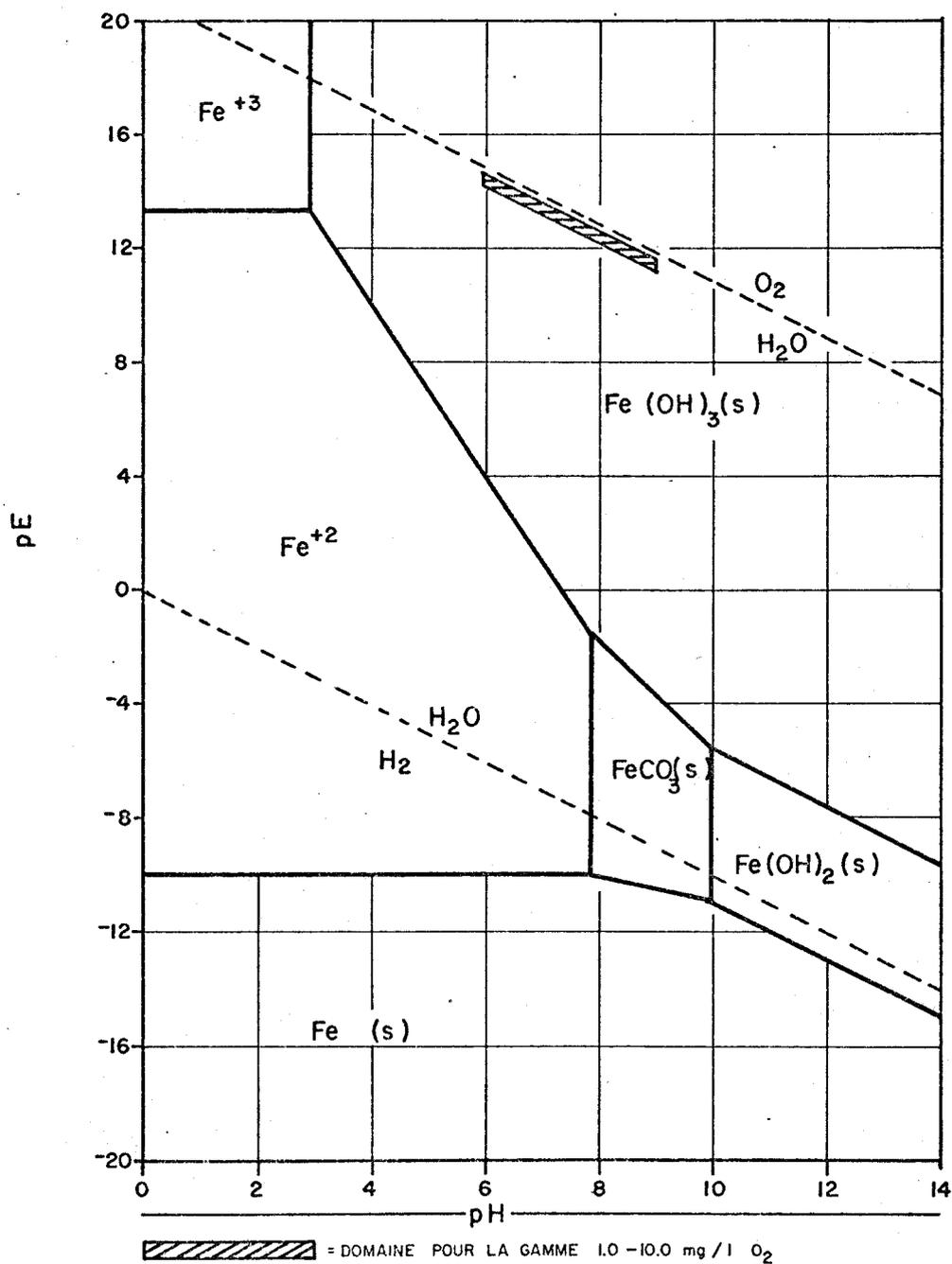


Fig.A.I.12. Diagramme pE - pH pour le système Fe-H₂O-CO₂. La concentration totale de fer est de 10⁻⁵M et celle de carbone inorganique de 10⁻³M.

Dans les eaux souterraines, le p_e peut être suffisamment bas pour que le Fe(II) soit stable. Les concentrations permises de fer en solution sont alors beaucoup plus élevées (voir la figure A.1.10). Lorsque ces eaux souterraines reviennent en surface, en contact avec l'oxygène dissous (p_e élevé), le Fe(II) est alors oxydé en Fe(III) et on assiste à une précipitation d'hydroxyde ferrique.

Dans un lac en période de stratification thermique, on devrait retrouver une stratification dans les concentrations de fer, spécialement si le lac est eutrophe. Dans l'épilimnion, le fer est transformé en Fe(III), puis précipite sous forme d'hydroxyde ferrique et descend vers le fond. Lorsqu'il arrive en contact avec les eaux hypolimnétiques, il peut être réduit en Fe(II) et redissout s'il y a absence d'oxygène et que les conditions sont favorables à une réduction (ce sera le cas pour des lacs eutrophes). L'hydroxyde ferrique qui n'a pas été réduit atteint les sédiments de fond où existent habituellement des conditions réductrices qui favorisent sa mise en solution. S'il y a production de H_2S dans les eaux hypolimnétiques ou dans les sédiments de fond, une partie du fer réduit peut être précipité sous forme de $FeS(s)$. Lors de la période de retournement des eaux, l'oxygène dissous devient distribué dans la colonne d'eau et le fer bivalent sera oxydé en fer trivalent et précipité sous forme d'hydroxyde ferrique.

En plus des aspects thermodynamiques considérés précédemment, il est également nécessaire de considérer la cinétique de l'oxydation du fer. Il a été démontré que la vitesse d'oxydation du fer bivalent suit la loi:

$$- \frac{d [Fe(II)]}{dt} = k [Fe(II)] [OH^-]^2 p_{O_2} \quad (A.1.57)$$

où $k = 8.0 (\pm 2.5) \times 10^{13} \text{ min}^{-1} \text{ atm}^{-1} \text{ mole}^{-2}$ à 20°C (Stumm et Lee, 1961) et p_{O_2} est la pression partielle d'oxygène. La réaction est catalysée (ce qui correspond à une augmentation de la valeur de k) par des traces de Cu^{+2} , Co^{+2} ou de certains anions comme HPO_4^- . La vitesse de réaction peut également être augmentée par l'action de microorganismes tels que *Ferrobacillus ferrooxidans*.

Plusieurs composés organiques, spécialement ceux contenant des groupes -SH (par exemple cystéine), hydroxy ou carboxyliques (phénols, polyphénols, acide tannique, etc) peuvent réduire le fer assez rapidement (en quelques minutes ou quelques heures) dans des solutions synthétiques (Stumm et Morgan, 1970). Si les conditions (pH, concentrations) sont telles, dans une eau naturelle, que la vitesse d'oxydation du Fe(II) est lente en comparaison avec la réduction du Fe(III) par la matière organique, une concentration assez élevée de fer pourrait alors être trouvée en solution. Ceci pourrait expliquer en partie pourquoi l'on retrouve souvent dans les eaux naturelles, des concentrations de fer "soluble" plus élevées que celles prédites par les équilibres de solubilité et d'oxydo-réduction.

d) Interactions avec la matière organique

La matière organique peut interagir de deux façons avec le fer: en formant des complexes ou en stabilisant les colloïdes d'hydroxyde ferrique.

La formation de complexes de Fe(II) avec des ligands autres que OH^- est sans doute peu importante dans les eaux naturelles, étant donné les constantes de stabilité relativement faibles et les concentrations de ligands peu élevées. Les ions ferriques ont généralement une plus forte tendance à former des complexes que les ions ferreux. Cependant, si on considère les faibles concentrations de ligands dans les eaux naturelles et le peu d'ions Fe^{+3} disponibles (entre pH 5 et 9) pour la complexation, on peut dire qu'une complexation importante du Fe(III) par des ligands monomères ne se produira que très rarement. Avec les polymères organiques tels que les acides humiques ou fulviques, la complexation peut cependant devenir importante.

A des concentrations de l'ordre de celles rencontrées dans les eaux naturelles, le Fe(III) a la propriété de former facilement des colloïdes dont le diamètre peut être aussi petit que 100 \AA ($0.01 \mu\text{m}$). Il est bien évident qu'une filtration sur membrane (ex.: $0.45 \mu\text{m}$) ne permet pas de distinguer complètement ce qui est dissout de ce qui est sous forme particulaire. De plus, ces colloïdes sont souvent stabilisés par la matière organique. C'est peut être pourquoi on retrouve souvent, dans les eaux naturelles, de fortes concentrations de fer "opérationnellement soluble" associées à de fortes concentrations de matière organique (humique, fulvique, etc.). L'agglomération des particules d'hydroxyde de fer est influencée par plusieurs facteurs dont leur degré de stabilisation par la matière organique.

e) Influence du fer sur les métaux traces

Les différentes transformations du fer discutées précédemment n'affectent pas uniquement sa concentration, mais également celle de plusieurs métaux traces, notamment Co, Cu, Ni, Pb, Mn (Jenne, 1968). La formation d'hydroxyde ferrique amène souvent la co-précipitation de plusieurs métaux traces; c'est d'ailleurs un mécanisme qui a déjà été utilisé pour concentrer les métaux traces. Lors de la réduction du fer trivalent en fer bivalent, ces métaux traces sont libérés en solution. De plus, l'hydroxyde ferrique a la propriété d'adsorber plusieurs métaux traces par adsorption spécifique ou par échange d'ion.

f) Espèces en solution

Dans un milieu réducteur, le fer existe essentiellement sous les formes Fe^{+2} et FeOH^+ (voir figure A.1.10). Dans des eaux contenant plusieurs centaines de ppm de sulfates, l'espèce FeSO_4 (aq) pourra être importante.

Dans un milieu oxydant, les espèces Fe^{+3} , FeOH^{+2} , Fe(OH)_2^+ et Fe(OH)_4^- seront plus ou moins importantes, selon la valeur du pH comme l'indique la figure A.1.11. L'ion ferrique peut former des complexes avec des ligands inorganiques (chlorures, fluorure, sulfate, phosphate), qui sont cependant négligeables, sauf dans le cas de concentrations élevées de ces anions. Les complexes avec des polymères organiques tels que les acides humiques et fulviques peuvent cependant être en concentrations importantes.

g) Mesure

Les concentrations de fer sont mesurées sur tous les échantillons en 1967 et 1968. De 1969 à 1972 et depuis 1974, on ne dispose que de peu de mesures. Deux méthodes d'analyse ont été utilisées.

Méthode I: analyses de 1967 à 1971

La méthode utilisée (APHA, AWWA, WPCF, 1971) est manuelle. Le fer est réduit à l'état ferreux par l'hydroxylamine en milieu acide. Le Fe(II) réagit avec la 1,10-phénanthroline pour former un complexe orange-rouge d'intensité proportionnelle à la concentration de fer.

Méthode II: analyses depuis 1971

La méthode utilisée (Technicon Industrial Systems, 1973) est automatisée; on utilise un auto-analyseur Technicon AA-1. Le fer est transformé à l'état ionique par traitement avec l'acide thioglycolique à 95°C et réduit à l'état divalent avec l'hydroxylamine. Le fer divalent réagit ensuite avec la 2,4,6-tri (2"-pyridyl)-S-triazine (TPTZ) pour former un complexe violet. La limite de sensibilité atteinte est de 0.01 mg Fe/l (M.R.N., 1974). Pour 30 répliqués d'une eau de concentration moyenne de 0.567 mg Fe/l, l'écart-type était de 0.028 mg/l (M.R.N., 1974). La récupération moyenne d'ajouts de 0.41 mg Fe/l, effectuée à 10 reprises, était de 122% (M.R.N., 1974).

Les délais impliqués entre le prélèvement des échantillons et l'analyse peuvent avoir amené une précipitation du fer ou une dissolution d'une partie des particules en suspension; la congélation des échantillons favorise la réaction de précipitation. Les réactions d'oxydo-réductions décrites précédemment pour expliquer le comportement du fer dans le milieu aquatique ont lieu également dans les bouteilles, particulièrement si l'échantillon n'est pas préservé, et sont suivies par des réactions de précipitation ou de dissolution.

Les analyses ayant été effectuées sur des échantillons non filtrés, les particules peuvent avoir causé des interférences pour les deux méthodes. Pour la méthode I, les oxydants forts, le cyanure, les nitrites, les phosphates et plusieurs métaux peuvent également causer des interférences soit en formant des complexes avec la phénanthroline (Cr, Zn, Co, Cu, Ni) ou en la précipitant (Bi, Cd, Hg, Mo, Ag). Pour la méthode II, le cuivre, le cobalt, le chrome et le nickel constituent des interférences.

A.1.14 Manganèse

a) Origine

Quoique beaucoup moins abondant que le fer (de l'ordre de 50 fois moins), le manganèse est quand même un élément commun dans la lithosphère. Les formes les plus communes de manganèse dans les roches ou les sols sont les oxydes et hydroxydes (pyrolusite, manganite, hausmannite, pyrochroïte) et les carbonates (rhodochrosite). On le retrouve également sous forme de sulfures (alabandite) et de silicates (rhodonite).

Le manganèse qu'on retrouve dans les eaux naturelles est surtout d'origine géologique; il provient de l'altération des minéraux par l'eau. Certains types de rejets d'eaux usées peuvent parfois constituer des apports importants. De plus, les plantes utilisent le manganèse et certaines peuvent l'accumuler. La décomposition de ces végétaux peut constituer une source non négligeable.

b) Solubilité

La chimie du manganèse en solution aqueuse implique les états d'oxydation II, III, IV, VI et VII. Dans les eaux naturelles, les plus fréquents sont les états II et IV.

La solubilité du Mn(II) peut être contrôlée par le carbonate, l'hydroxyde ou le sulfure. Ce dernier ne contrôlera la solubilité du manganèse que dans des milieux très réducteurs. Sur la figure A.1.13, on a représenté la solubilité du manganèse bivalent en fonction du pH, pour une concentration de carbone inorganique fixée à 10^{-3} M. Pour tracer le graphique, on a considéré l'hydroxyde et le carbonate comme phases solides et les espèces solubles Mn^{+2} , $MnOH^+$, $Mn(OH)_3^-$ et $MnHCO_3^+$; les constantes d'équilibre utilisées sont données dans le tableau A.1.3.

On constate, d'après la figure A.1.13, que le carbonate de manganèse contrôle la solubilité du manganèse bivalent pour la gamme de pH (5 à 9) observée dans les eaux naturelles. Ce n'est qu'à des concentrations très faibles de carbone inorganique ou des pH très élevés, peu susceptibles d'être rencontrés, que l'hydroxyde constituera la phase solide stable.

Le manganèse de valence 4 existe essentiellement sous forme d'oxydes très insolubles, tel MnO_2 ; le manganèse en solution est en trop faible concentration pour être détecté.

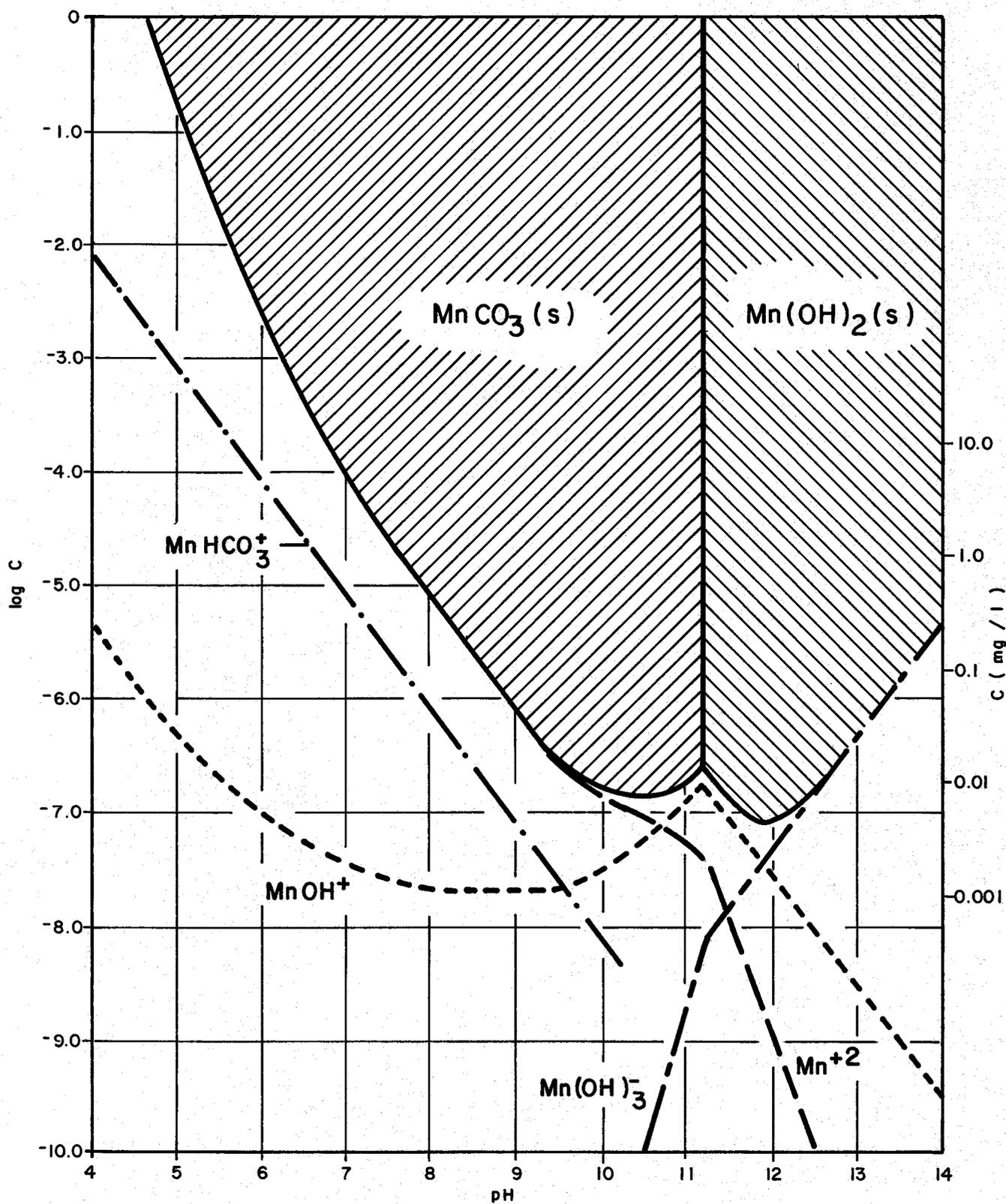


Figure A.I.13. Solubilité du manganèse bivalent en fonction du pH dans une eau carbonatée (concentration de carbone inorganique = 10^{-3} M).

TABLEAU A.1.3 Constantes d'équilibre pour des réactions impliquant le manganèse

Réaction	Log K
solubilité	
$\text{Mn}(\text{OH})_2(\text{s}) = \text{Mn}^{+2} + 2\text{OH}^-$	- 12.96
$\text{MnCO}_3(\text{s}) = \text{Mn}^{+2} + \text{CO}_3^{-2}$	- 10.41
$\text{MnS}(\text{s}) = \text{Mn}^{+2} + \text{S}^{-2}$	- 15.16
Complexation	
$\text{Mn}^{+2} + \text{OH}^- = \text{MnOH}^+$	3.41
$\text{Mn}^{+2} + 3\text{OH}^- = \text{Mn}(\text{OH})_3^-$	7.61
$\text{Mn}^{+2} + \text{HCO}_3^- = \text{MnHCO}_3^+$	2.02
oxydo-réduction	
$\frac{1}{2}\text{Mn}(\text{OH})_2(\text{s}) = \frac{1}{2}\text{Mn}_3\text{O}_4(\text{s}) + \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+ + \text{e}$	3.79
$\frac{3}{2}\text{MnCO}_3(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O} = \frac{1}{2}\text{Mn}_3\text{O}_4(\text{s}) + \frac{3}{2}\text{HCO}_3^- + \frac{5}{2}\text{H}^+ + \text{e}$	15.45
$\frac{1}{3}\text{MnO}_2(\text{s}) + \frac{2}{3}\text{H}_2\text{O} = \frac{1}{3}\text{MnO}_4^- + \frac{4}{3}\text{H}^+ + \text{e}$	9.55
$\text{MnO}_4^{2-} = \text{MnO}_4^- + \text{e}$	9.53
$\frac{3}{2}\text{Mn}(\text{OH})_3^- + \frac{1}{2}\text{H}^+ = \frac{1}{2}\text{Mn}_3\text{O}_4(\text{s}) + \frac{5}{2}\text{H}_2\text{O} + \text{e}$	- 10.40
$\text{MnOOH}(\text{s}) = \text{MnO}_2(\text{s}) + \text{H}^+ + \text{e}$	16.55
$\frac{1}{2}\text{MnO}_2(\text{s}) + \text{H}_2\text{O} = \frac{1}{2}\text{MnO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ + \text{e}$	19.13
$\text{Mn}_3\text{O}_4(\text{s}) + \text{H}_2\text{O} = 3\text{MnOOH}(\text{s}) + \text{H}^+ + \text{e}$	12.99
$\text{Mn}^{+2} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{MnOOH}(\text{s}) + 3\text{H}^+ + \text{e}$	24.85
$\frac{1}{2}\text{Mn}^{+2} + \text{H}_2\text{O} = \frac{1}{2}\text{MnO}_2(\text{s}) + 2\text{H}^+ + \text{e}$	10.34

c) Oxydo-réduction

Un diagramme p_e -pH est tracé à la figure A.1.14 pour le manganèse en utilisant les constantes d'équilibre données dans le tableau A.1.3, les concentrations de manganèse total et de carbone inorganique étant fixées respectivement à 10^{-6} M et 10^{-3} M. Cette figure montre que des changements de p_e peuvent affecter l'état d'oxydation du manganèse et, par conséquent, sa solubilité.

Dans les eaux oxygénées (voir la surface en traits hachurés qui représente le domaine de p_e pour des eaux contenant entre 1.0 et 10 mg/l d'oxygène dissous), le Mn(IV) est stable. On s'attend donc à trouver, dans de telles eaux, des concentrations très faibles de manganèse en solution, voire non détectables.

Dans les eaux souterraines, le p_e peut être suffisamment bas pour que le manganèse divalent soit stable. Les concentrations de manganèse en solution peuvent alors être relativement élevées, selon la valeur du pH. La présence de manganèse en solution dans les eaux souterraines est une bonne indication d'une absence d'oxygène dissous. Lorsque ces eaux souterraines reviennent en surface et sont en contact avec l'oxygène dissous, le Mn (II) est alors oxydé sous forme tétravalente et précipite sous forme d'oxydes.

On retrouve souvent le manganèse en concentrations plus grandes dans l'hypolimnion de lacs productifs que dans l'épilimnion. Il est logique de décrire, pour le manganèse, un cycle semblable à celui du fer discuté précédemment. Ainsi, le manganèse peut être oxydé et précipité sous forme d'oxyde dans l'épilimnion, ensuite sédimenté, pour être finalement réduit et remis en solution dans l'hypolimnion ou près des sédiments de fonds. Cependant, l'oxydation du manganèse ne se fait pas aussi rapidement que celle du fer dans les eaux naturelles, du moins aux pH normalement rencontrés. On peut alors supposer qu'une portion considérable du manganèse

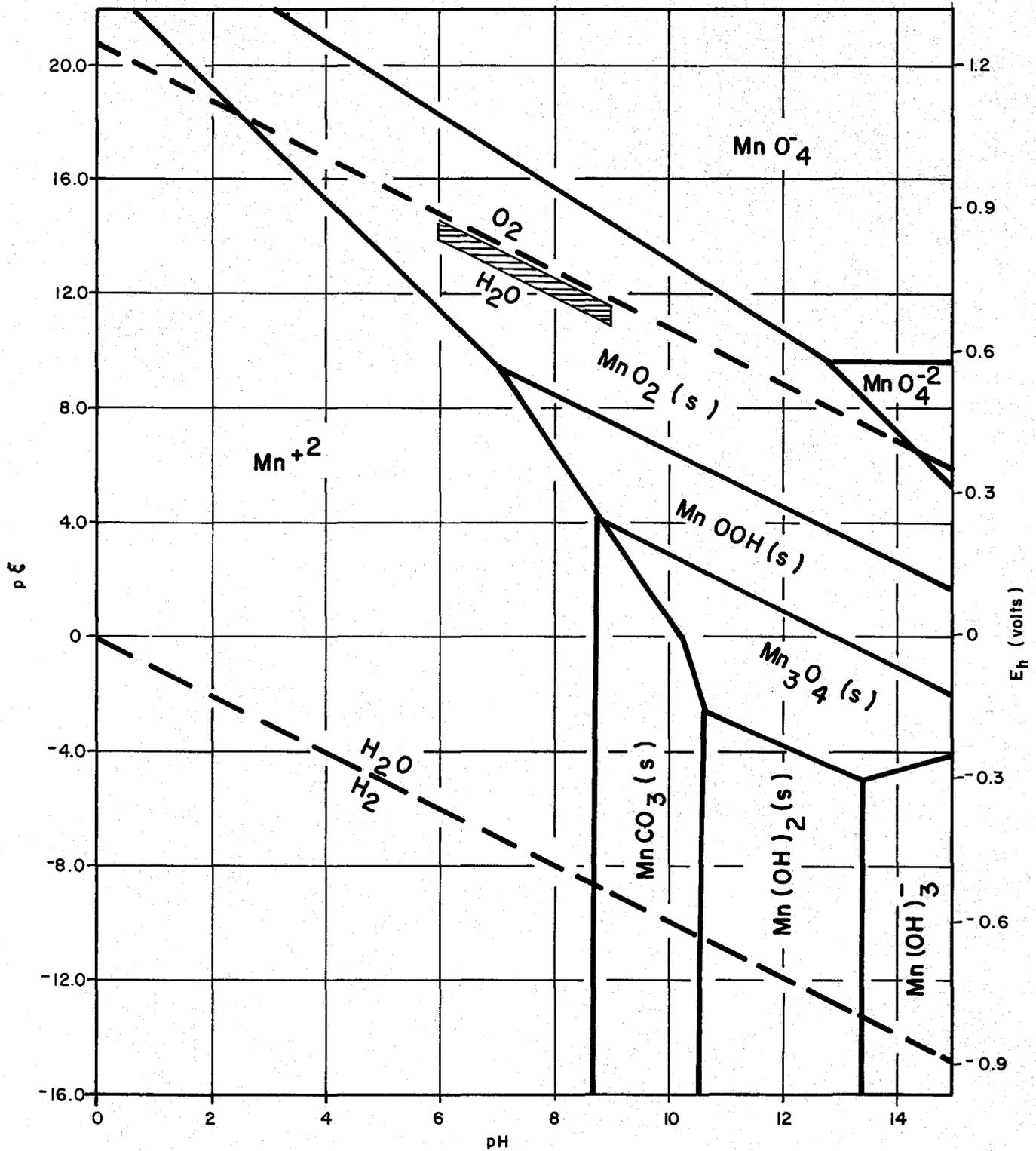


Figure A.I.14. Diagramme pE - pH pour le système Mn-H₂O-CO₂. La concentration totale de manganèse est de 10⁻⁶ M et celle de carbone inorganique de 10⁻³ M.

participe au cycle sans subir de réaction redox. Ainsi, le manganèse bivalent peut s'adsorber sur l'hydroxyde ferrique formé dans l'épilimnion et sédimenter avec lui. Dans l'hypolimnion, l'enrichissement en manganèse pourrait s'expliquer soit par une désorption du manganèse due à une diminution du pH à cause de l'activité hétérotrophe, soit par une réduction de l'oxyde ferrique qui libère alors le manganèse. En présence de H_2S , une partie du manganèse réduit peut être précipitée sous forme de $MnS(s)$. Durant la période de retournement des eaux, lorsque l'oxygène dissous devient distribué plus ou moins également dans le lac, le manganèse peut être oxydé et précipité sous forme d'oxydes ou encore s'adsorber sur l'hydroxyde ferrique et se déposer dans les sédiments.

En plus des aspects thermodynamiques discutés précédemment, on doit également considérer la vitesse d'oxydation du manganèse. Il a été démontré (Morgan, 1965) que la vitesse d'oxydation du manganèse bivalent suit la loi:

$$\frac{d [Mn(II)]}{dt} = k_0 [Mn(II)] + k [Mn(II)] [MnO_2] \quad (A.1.58)$$

avec $k = k' [OH^-]^2 p_{O_2}$, comme pour le fer. Il s'agit d'une réaction autocatalytique. D'après Delfino et Lee (1968), la vitesse d'oxydation du manganèse est très lente dans les eaux naturelles aux pH normalement rencontrés, et ce n'est que pour des pH de 9 ou plus qu'elle ne devient appréciable. Des bactéries peuvent influencer la vitesse d'oxydation du manganèse, comme dans le cas de celle du fer.

Plusieurs composés organiques contenant des groupes -SH, hydroxy ou carboxyliques peuvent réduire le manganèse assez rapidement (en quelques minutes ou quelques heures) dans des solutions synthétiques. Si dans une eau naturelle, les conditions sont telles que la vitesse d'oxydation du Mn(II) est lente en comparaison avec la réduction du Mn(IV) par la matière organique, une concentration assez élevée de manganèse pourrait alors être mesurée en solution. Ceci pourrait expliquer en partie pourquoi les concentrations de manganèse "soluble" observées sont souvent plus élevées que celles prédites par les équilibres de solubilité et d'oxydo-réduction.

d) Interaction avec la matière organique

L'interaction de la matière organique avec le manganèse peut se manifester par la formation de complexes ou par la stabilisation de colloïdes d'oxydes de manganèse.

La formation de complexes de manganèse bivalent avec des ligands autres que OH^- et HCO_3^- est sans doute peu importante dans les eaux naturelles étant donné les constantes de stabilité relativement faibles et les concentrations de ligands. Le manganèse tétravalent, également, ne forme pas de complexes importants à cause de la très forte compétition avec OH^- .

Les oxydes de manganèse ont la propriété de former facilement des colloïdes dont le diamètre peut être assez petit pour qu'ils ne soient pas retenus par des membranes de $0.45 \mu\text{m}$. Ces colloïdes peuvent être stabilisés par la matière organique, ce qui peut sans doute expliquer qu'on retrouve souvent des concentrations de manganèse "opérationnellement soluble" supérieures à celles prédites par les équilibres thermodynamiques.

e) Influence du manganèse sur les métaux traces

Les différentes transformations du manganèse discutées précédemment affectent le comportement de plusieurs métaux traces, notamment Co, Cu, Ni et Pb (Jenne, 1968). Les oxydes de manganèse présents dans le matériel en suspension ont des surfaces spécifiques très grandes et peuvent adsorber des cations, soit par adsorption spécifique, soit par échange d'ion. De plus, lors de la formation des oxydes de manganèse, il peut probablement y avoir co-précipitation de métaux traces. Ces métaux traces sont libérés en solution suite à une diminution du pH ou à une réduction des oxydes.

f) Espèces en solution

Dans un milieu réducteur, le manganèse existe sous les formes Mn^{+2} , $MnOH^+$, $Mn(OH)_3^-$ et $MnHCO_3^+$. Dans des eaux contenant plus de 1,000 ppm de sulfates, l'espèce $MnSO_4(aq)$ peut être importante.

En milieu oxygéné, les concentrations de manganèse en solution devraient être non détectables.

Mesure

Les concentrations de manganèse ont été mesurées sur tous les échantillons en 1967 et 1968. De 1971 à 1972 et depuis 1974, elles ont été très peu mesurées. Depuis 1967, deux méthodes ont été utilisées.

Méthode I: analyses de 1967 à 1971

La méthode utilisée (APHA, AWWA, WPCF, 1971) est manuelle. Le periodate oxyde le manganèse en permanganate, lequel est dosé par colorimétrie. Avant d'effectuer la coloration, les ions chlorures sont enlevés par évaporation en milieu sulfurique, la matière organique **est oxydée par l'acide nitrique (à ébullition) et le fer est complexé** avec des phosphates afin d'enlever sa couleur.

Méthode II: analyses depuis 1971

La mesure est effectuée par spectrophotométrie d'absorption atomique conventionnelle (flamme air-acétylène; $\lambda=279.4$ nm).

De 1971 jusqu'à l'automne 1975, un appareil Jarrel Ash (modèle 82-518) était utilisé. La limite de sensibilité obtenue avec cet appareil était de 0.05 mg Mn/l (M.R.N., 1974). Pour 20 répliqués d'une eau de

concentration moyenne de 0.221 mg Mn/l, l'écart-type était de 0.02 mg/l (M.R.N., 1974). La récupération moyenne d'ajouts de 0.36 mg Mn/l, effectuée à 10 reprises était de 94.4% (M.R.N., 1974).

Depuis l'automne 1975, un spectrophotomètre d'absorption atomique Perkin-Elmer (modèle 360) est utilisé. La limite de sensibilité obtenue avec cet appareil est de 0.01 mg Mn/l (R. Gagné et R. Labbé, communication personnelle).

Les délais impliqués entre le prélèvement des échantillons et l'analyse peuvent avoir amené une précipitation du manganèse ou une dissolution d'une partie des particules en suspension; la congélation des échantillons favorise la réaction de précipitation. Les réactions d'oxydo-réduction décrites précédemment pour expliquer le comportement du manganèse dans le milieu aquatique ont lieu également dans les bouteilles, particulièrement si l'échantillon n'est pas préservé et sont suivies par des réactions de précipitation ou de dissolution.

L'analyse du manganèse ayant été effectuée sur des échantillons non filtrés, les particules en suspension ont pu causer une interférence lors de l'utilisation de la méthode I; les substances réductrices constituent une interférence lors de l'application de cette méthode. Lors de l'utilisation de la méthode II, des échantillons non filtrés étaient également analysés, ce qui peut avoir minimisé les effets de précipitation ou de dissolution du manganèse; il y a cependant danger d'effectuer les analyses par absorption atomique sur de tels échantillons puisqu'une ségrégation des particules peut s'effectuer au niveau de l'aspiration de l'échantillon ou lors de la nébulisation.

A.1.15 Conductivité

a) Origine

L'eau pure a une conductivité très faible. C'est la présence d'espèces ioniques en solution qui la rend conductrice. C'est un paramètre qui donne une indication de la concentration totale des ions.

b) Relation avec les ions en solution

En principe, la conductivité d'une solution peut être calculée si on connaît les concentrations des ions en solution ainsi que leur conductivité équivalente. Dans le tableau A.1.4, on donne les valeurs des conductivités ioniques équivalentes à dilution infinie pour les ions majeurs. Il s'agit alors d'additionner les conductivités des différents ions, chacune étant obtenue par le produit de la concentration et de la conductivité ionique équivalente à dilution infinie. Ce calcul qui doit cependant être considéré comme une estimation peut être intéressant pour vérifier, par exemple, la validité des mesures d'ions majeurs. En effet, pour conduire le courant, les ions doivent se mouvoir dans la solution afin de transférer les charges. L'efficacité de ce processus, pour un ion particulier, dépend de sa charge, de sa dimension et de ses interactions avec le solvant ou avec des ions. La conductivité équivalente à dilution infinie tient compte des deux premiers facteurs, mais non du dernier. Ces interactions diminuent avec la dilution de la solution. On doit donc être conscient que les estimations sont meilleures pour les eaux de faible minéralisation que pour les eaux chargées.

En plus des aspects de vérification de données décrits ci-haut, mentionnons que les valeurs de conductivité peuvent parfois être utilisées pour donner des indications sur les concentrations de solides dissous ou pour prédire des concentrations de certains ions majeurs.

TABLEAU A.1.4 Conductivité ionique équivalente à dilution infinie et à 25°C
(Harned and Owen, 1958)

Ion	Conductivité équivalente en $\mu\text{mhos/cm}$ pour des concentrations exprimées en	
	m éq/l.	mg/l.
H^+	349.8	-
Na^+	50.11	2.21
K^+	73.52	1.88
NH_4^+	73.4	4.08
Mg^{+2}	53.06	4.35
Ca^{+2}	59.50	2.98
OH^-	197.8	-
Cl^-	76.35	2.15
NO_3^-	71.44	1.15
HCO_3^-	44.5	0.73
SO_4^{-2}	80.0	1.67

c) Mesure

La conductivité a été mesurée sur tous les échantillons depuis le début de l'opération du réseau. La mesure a été effectuée à l'aide d'une cellule à conductance. La limite de sensibilité atteinte est de 0.1 $\mu\text{mho/cm}$.

Etant donné les délais entre le prélèvement des échantillons et l'analyse, la conductivité peut avoir été affectée par la précipitation ou la dissolution d'ions; la congélation favorise la réaction de précipitation.

A.1.16 Solides dissousa) Origine

C'est une mesure du contenu en solutés dans l'échantillon d'eau naturelle. Les constituants dissous (inorganiques et organiques) qui ne sont pas volatils vont être compris dans cette mesure.

b) Mesure

Les concentrations de solides dissous ont été mesurées sur tous les échantillons en 1967; de 1968 à 1973, elles étaient très peu ou irrégulièrement déterminées. A partir de 1974, cette mesure a été abandonnée.

Toutes les mesures ont été effectuées par gravimétrie. Les échantillons sont filtrés, évaporés à sec et le résidu est pesé. Avant 1973, la filtration a été effectuée avec des filtres de grande porosité (Whatman No 41 ou No 44) et à partir de 1973, les filtres GF/C ont été utilisés.

Etant donné les délais entre le prélèvement des échantillons et l'analyse, les résultats des mesures de solides dissous peuvent avoir été affectés par les réactions de précipitation ou de dissolution; la congélation des échantillons favorise la réaction de précipitation.

A.1.17 pH

Le pH d'une eau naturelle est relié à toutes les réactions qui impliquent des ions hydrogène: réactions acide-base, de dissolution ou de précipitation, d'oxydo-réduction, d'adsorption ou de désorption. Le pH peut être influencé par plusieurs équilibres interreliés. Les processus contrôlant le pH seront ceux où de grandes quantités de réactifs seront impliqués ou qui présentent de grandes vitesses de réactions. Les processus impliquant de faibles quantités de réactifs ou qui ont de faibles vitesses de réaction auront plutôt un rôle subordonné. On peut bien comprendre les valeurs observées de pH en examinant le cheminement de l'eau dans le bassin versant.

L'eau de pluie, lors de son passage dans l'atmosphère dissout du CO_2 , lequel forme avec l'eau de l'acide carbonique. Les réactions impliquées sont:

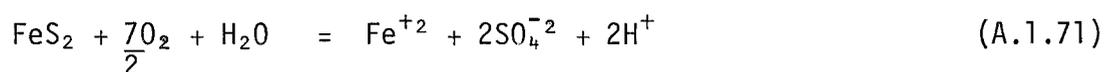


Ces réactions rendent l'eau acide. Si l'eau de pluie est en équilibre avec le CO_2 de l'atmosphère ($p_{\text{CO}_2} = 10^{-3.5}$ atmosphère), on peut facilement calculer son pH. Il suffit, par exemple de déterminer à quel pH se réalise, sur le graphique de la figure A.1.6(a) la condition de proton:



Ces réactions libèrent des ions H^+ et ont donc comme conséquence de rendre l'eau plus acide. Leur influence sera cependant faible étant donné les faibles concentrations de réactifs impliqués.

Les réactions d'oxydo-réduction impliquent souvent une consommation ou une libération d'ions H^+ . Comme exemple important, mentionnons l'oxydation de la pyrite:



Cette réaction peut affecter grandement le pH dans des régions d'opérations minières lorsque la pyrite est ramenée en surface, en contact avec l'eau et l'oxygène. Ces effets (abaissement du pH) peuvent persister longtemps après que les opérations minières aient cessé. L'oxydation et la réduction du carbone sont également des processus qui peuvent avoir une influence profonde sur le pH, particulièrement dans des milieux eutrophes. Lors de la photosynthèse (réduction), l'utilisation du CO_2 dissous résulte en une augmentation du pH alors que le contraire se produit lors de l'oxydation de la matière organique.

Les réactions d'adsorption et de désorption peuvent également influencer le pH. C'est le cas, qu'il s'agisse d'adsorption spécifique ou d'échange d'ion.

a) Efficacité tampon

L'efficacité tampon, β , est définie comme la quantité de base forte, C_B , ou d'acide fort, C_A , nécessaire pour changer le pH d'une unité:

$$\beta = \frac{dC_B}{dpH} = - \frac{dC_A}{dpH} \quad (A.1.72)$$

L'efficacité tampon des eaux naturelles est attribuée surtout à la présence de carbone inorganique dans la solution. D'autres systèmes contribuent cependant à l'efficacité tampon totale observée (Weber et Stumm, 1963; Klein, 1965) qui est la somme des différentes contributions des paires acide-base. La contribution du carbone inorganique à l'efficacité tampon est décrite à la section A.1.9.

Parmi les autres contributions à l'efficacité tampon totale, mentionnons:

- les réactions d'adsorption-désorption;
- les réactions de dissolution et de précipitation;
- les réactions acide-base impliquant l'azote ammoniacal, les phosphates, les silicates et les acides organiques;
- les activités de photosynthèse et les activités hétérotrophes.

b) Mesure

Le pH a été mesuré sur tous les échantillons prélevés entre 1967 et 1970. En 1971, il n'a été mesuré que de façon irrégulière, alors qu'en 1972 il a été très peu mesuré. La mesure a ensuite été abandonnée à partir de 1973 étant donné les délais impliqués entre le prélèvement des échantillons et la mesure. Les mesures ont toujours été effectuées avec un pH-mètre à ± 0.1 unité de pH.

Etant donné les délais entre le prélèvement et l'analyse des échantillons, les valeurs de pH peuvent avoir été affectées par les réactions de précipitation et de dissolution, d'oxydo-réduction (incluant la photosynthèse), d'échange d'ion et d'échange de CO_2 entre l'eau et l'atmosphère. La congélation des échantillons favorise la réaction de précipitation.

A.1.18 Couleur

a) Origine

La couleur des eaux naturelles peut être expliquée par la présence de certains métaux comme le fer et le manganèse ou de matière organique (matière humique ou fulvique, tannins). Les microorganismes qui ne sont pas enlevés par la filtration peuvent également contribuer à la couleur. De plus, dans certains cas, la couleur peut être due à des rejets de substances organiques ou inorganiques.

b) Mesure

La couleur a été déterminée sur tous les échantillons prélevés en 1967 et 1968. En 1969, 1971 et 1972, elle n'a été que très peu déterminée alors qu'en 1970, elle l'a été de façon irrégulière. La mesure a été abandonnée à partir de 1973.

L'échantillon est d'abord filtré. Ensuite, sa couleur est déterminée par comparaison avec des échantillons d'ions chloroplatinate de couleur connue.

Etant donné les délais entre le prélèvement des échantillons et l'analyse, les valeurs de couleur ont pu être affectées par les réactions de précipitation (notamment du fer et du manganèse), favorisées par la congélation des échantillons ou encore par les réactions d'oxydo-réduction impliquant le fer et le manganèse.

A.1.19 Oxygène dissous

a) Origine

La source la plus importante d'oxygène dans l'eau exposée à l'air est évidemment l'atmosphère. Une certaine partie de l'oxygène dissous résulte également de la photosynthèse dans le milieu aquatique.

b) Importance pour les réactions redox

Dans les eaux de surface, l'atmosphère constitue un réservoir d'oxygène quasi inépuisable et le couple redox présent en quantité la plus importante est souvent le couple $\text{H}_2\text{O}/\frac{1}{2}\text{O}_2$, en particulier lorsque l'aération est bonne. Ce couple s'écrit:



On peut en tirer l'expression pour le $p\varepsilon$:

$$K = \frac{1}{p_{\text{O}_2}^{\frac{1}{4}} [\text{H}^+] \{e\}} = 10^{20.8}$$

$$p\varepsilon = 20.8 + \frac{1}{4} \log p_{\text{O}_2} - \text{pH} \quad (\text{A.1.74})$$

Pour une eau à $\text{pH} = 7.0$ et en équilibre avec l'atmosphère ($p_{\text{O}_2} = 0.21$ atmosphère), on calcule que le $p\varepsilon$ a une valeur de 13.6. Pour cette valeur de $p\varepsilon$, tous les éléments présents dans le milieu aquatique devraient y exister dans leur état d'oxydation le plus élevé. On devrait en effet avoir:

- le carbone sous forme de CO_2 , HCO_3^- et CO_3^{2-} avec les concentrations des formes organiques réduites plus faibles que 10^{-35}M .
- l'azote sous forme de NO_3^- avec les concentrations de NO_2^- plus faibles que 10^{-7}M et l'azote moléculaire oxydée substantiellement en nitrates.
- le soufre sous forme de SO_4^{2-} avec les concentrations de SO_3^{2-} et de HS^- plus faibles que 10^{-20}M
- le fer sous forme de $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s})$, $\text{FeOOH}(\text{s})$ ou $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$ avec les concentrations de Fe^{+2} plus petites que 10^{-18}M .
- le manganèse sous forme de $\text{MnO}_2(\text{s})$ avec les concentrations de Mn^{+2} plus petites que 10^{-10}M .

Etant donné qu'on constate que l'azote moléculaire, la matière organique, ainsi que d'autres formes réduites persistent dans des eaux contenant de l'oxygène dissous, on peut affirmer qu'un équilibre rédox complet n'existe pas, même dans les eaux de surface bien oxygénées.

Une des causes majeures de l'état de non-équilibre observé dans les eaux naturelles est la photosynthèse. En effet, par ce processus, il y a production de matière organique (formes réduites) et on aboutit ainsi à des concentrations de non-équilibre pour les composés de C, N et S. Il faut ajouter également que les réactions rédox sont généralement lentes, ce qui ne favorise pas l'atteinte de l'état d'équilibre.

Malgré le fait qu'un état d'équilibre rédox ne soit pas atteint complètement dans le milieu aquatique, on peut tirer, à partir des mesures d'oxygène dissous, des renseignements utiles concernant les réactions physico-chimiques. Ces mesures permettent de prédire dans quel sens se feront les réactions chimiques et d'expliquer certains phénomènes observés. A titre d'exemple, on peut prédire, pour une eau contenant de l'oxygène dissous que les sulfures, l'azote ammoniacal, le fer et le manganèse bivalents seront oxydés respectivement en sulfates, nitrates, fer trivalent et manganèse tétravalent. Egalement, la présence d'oxygène dissous permet d'expliquer pourquoi on observe souvent:

- de faibles concentrations d'azote ammoniacal et de nitrites
- une absence de sulfures
- la précipitation du fer et du manganèse lorsqu'une eau souterraine vient en contact avec l'oxygène.

c) Mesure

L'oxygène dissous n'a été déterminé qu'en de rares occasions entre 1969 et 1972. Ces mesures ont été effectuées sur le terrain. La méthode utilisée (APHA, AWWA, WPCF, 1971) implique l'oxydation, par l'oxygène dissous, du manganèse (II) en milieu basique. En présence d'iodure, en milieu acide, le manganèse est ensuite réduit en Mn(II) avec libération d'iode en quantité équivalente à la concentration originelle d'oxygène dissous. L'iode libéré est finalement titré avec une solution de thiosulfate. Les substances oxydantes ou réductrices peuvent causer des interférences.

A.1.20 Température

La température de l'eau résulte de phénomènes climatiques ou d'utilisation de l'eau (refroidissement, irrigation, drainage). Dans le second cas, il s'agit généralement d'une augmentation de la température de l'eau par rapport au niveau naturel.

L'augmentation de la température de l'eau accroît la vitesse des réactions chimiques et biochimiques qui s'y passent. La vitesse des réactions suit de façon générale, l'équation d'Arrhénius:

$$k = Ae^{-E_a/RT}$$

où k est la constante de vitesse, A est le facteur pré-exponentiel, E_a est l'énergie d'activation, R est la constante des gaz et T est la température en $^{\circ}K$. Un changement de température, de plus, déplace la position d'équilibre, les constantes d'équilibre étant fonction de la température.

A.2 UTILITE DES PARAMETRES: RELATION ENTRE LA QUALITE DE L'EAU ET SON POTENTIEL D'UTILISATION

Les nombreuses utilisations de l'eau à partir d'une source commune engendrent inévitablement des changements dans la qualité de l'eau et, par le fait même des conflits au niveau des utilisateurs. Des exigences pour l'utilisation de l'eau pour fins municipales, industrielles et autres, ou encore pour rendre l'eau acceptable pour ces utilisations sont connues. A titre indicatif, on retrouve dans le tableau A.2.1 des critères de qualité de l'eau pour diverses utilisations (consommation, fins industrielles, agriculture, récréation, et vie aquatique), ne concernant que les paramètres mesurés par le M.R.N. lors de l'opération de son réseau. Ces critères ont été tirés de précédents rapports (Provencher, 1977, Campbell et al, 1974) produits pour le compte du M.R.N.; ce ne sont évidemment pas les seuls critères qu'on trouve dans la littérature, en particulier dans le cas de l'utilisation de l'eau pour le maintien d'une vie

NOTES EXPLICATIVES POUR LE TABLEAU A.2.1

- ^a: Les critères de qualité sont donnés pour l'eau au point d'utilisation en ce qui concerne toutes les industries et pour l'eau brute en ce qui concerne les autres utilisations; les chiffres en italique sont tirés de Provencher (1977), alors que les autres proviennent de Campbell *et al* (1974).
- ^b: concentrations acceptables
- ^c: limites supérieures
- ^d: s'applique à l'utilisation pour l'hygiène laitière
- ^e: dépend des espèces d'animaux et de la composition ionique de l'eau
- ^f: <500 (pas d'effets nuisibles), 500-1000 (effets nuisibles sur les récoltes sensibles), 1000-2000 (effets nuisibles sur plusieurs récoltes), 2000-5000 (effets nuisibles sur toute récolte, à l'exception des plantes tolérantes)
- ^g: <0.75 (pas d'effet nuisible), 0.75-1.50 (effets nuisibles sur les récoltes sensibles), 1.5-3.0 (effets nuisibles sur plusieurs récoltes), 3.0-7.5 (effets nuisibles sur toute récolte à l'exception des plantes tolérantes).
- ^h: <0.005 mg/l
- ⁱ: conforme aux normes pour l'eau potable
- ^j: l'écart de température entre l'amont et l'aval de l'usine ne doit pas être inférieur à -0.5°C ni supérieur à $+3.5^{\circ}\text{C}$

aquatique saine. On doit également noter qu'il n'est pas possible de présenter sous forme de tableaux synthétiques (ex. tableau A.2.1) toutes les informations pertinentes concernant la relation entre la qualité de l'eau et son potentiel d'utilisation puisqu'elles sont souvent descriptives ou encore parce qu'elles ne s'appliquent qu'à un type d'organisme particulier.

Dans cette section, on présente, pour chaque paramètre, des informations supplémentaires concernant l'utilité de ce paramètre en relation avec le potentiel d'une eau pour diverses utilisations. Des informations plus détaillées peuvent être obtenues dans des ouvrages spécialisés (McKee et Wolf, 1963; FWPCA, 1968; Rodier, 1971; Anonyme, 1972).

A.2.1 Silice

La silice, pour les concentrations normalement rencontrées dans les eaux naturelles, ne semble pas avoir d'effets physiologiques sur les consommateurs.

Dans les industries où on génère de la vapeur, il y a danger de formation de dépôts extrêmement durs sur les tubes, éléments chauffants ou turbines.

De plus, l'abondance de silice dans l'eau favorise la croissance de diatomées, en autant que les concentrations des autres substances nutritives soient suffisantes et que les conditions s'y prêtent.

A.2.2 Calcium

Pour l'alimentation en eau, il est souhaitable de limiter la concentration de calcium, non pas à cause des dangers pour la santé, mais plutôt parce qu'il peut être nuisible pour certains usages ménagers: lavage, bains, lessives et parce qu'il peut donner lieu à des incrustations dans les ustensiles de cuisine ou les systèmes de chauffage de l'eau.

Dans l'eau utilisée à des fins industrielles, on mentionne généralement les effets indésirables suivants dus à des concentrations élevées de calcium:

- . formation de dépôts calcaires;
- . formation de précipités dans les opérations de lavage;
- . bris des émulsions;
- . interférence avec la production de colloïdes;
- . difficultés des opérations de rinçage en électroplaquage;
- . interférence avec les processus de fermentation;
- . précipitation de sulfite de calcium dans les solutions de révélateur en photographie;
- . précipitation de phosphate de calcium dans les eaux de brasseries.

Par contre, une certaine concentration de calcium est nécessaire dans certaines industries, pour empêcher la corrosion de l'acier.

Le calcium est souhaitable dans l'eau d'irrigation parce qu'il est essentiel pour la croissance des plantes et pour maintenir une bonne qualité des sols.

C'est un élément peu toxique pour la vie aquatique; son seul effet semble être d'affecter la pression osmotique. On mentionne également, quoique ce soit très discutable, que la présence de calcium réduit la toxicité de certains métaux.

A.2.3 Magnésium

C'est un métal relativement peu toxique; avant qu'il n'atteigne une concentration toxique, l'eau d'alimentation aura un goût déplaisant. Comme pour le calcium, les limites de concentration dans l'eau d'alimentation sont surtout fixées à cause des effets nuisibles que le magnésium peut avoir pour certains usages ménagers: lessives, bains, etc.

Pour certaines industries, des concentrations trop élevées de magnésium ne sont pas souhaitables. Elles peuvent

- . amener la formation de précipités lors des opérations de lavage;
- . provoquer la précipitation de sels de magnésium dans les solutions de révélateur en photographie;
- . rendre difficiles les opérations de rinçage en électroplaquage.

Le magnésium est un élément essentiel à la croissance des plantes et, comme le calcium, il permet de garder le sol perméable et de bonne qualité pour la culture.

Ce n'est qu'à de très fortes concentrations qu'il peut devenir toxique pour les organismes aquatiques. Par ailleurs, les concentrations relatives de calcium et de magnésium peuvent être un facteur qui contrôle la distribution de certains crustacés comme les copépodes.

A.2.4 Sodium

Le sodium en concentrations importantes dans l'eau ne présente pas de danger, sauf pour certaines personnes souffrant de maladies cardiaques ou rénales ou encore de troubles circulatoires.

Lors de l'utilisation industrielle de l'eau, le problème majeur que peut causer le sodium est la formation de mousses dans les bouilloires.

Le sodium est requis en faible quantité par les plantes. Lorsqu'il est présent en trop grande concentration dans l'eau d'irrigation, il peut devenir toxique pour certaines plantes et diminuer la qualité des sols en les rendant moins perméables à l'eau et à l'air.

En ce qui a trait à la vie aquatique, son effet principal se fait sentir au niveau de la pression osmotique.

A.2.5 Potassium

Le potassium ne présente pas de danger dans l'eau de consommation aux concentrations normalement rencontrées; en concentrations excessives (1-2 g/l), il a des effets cathartiques.

Comme le sodium, en concentration élevée, il favorise la formation de mousses dans les bouilloires.

Le potassium est un élément essentiel à la nutrition des plantes. En trop grande concentration dans l'eau d'irrigation, il diminue cependant la perméabilité du sol à l'eau et à l'air.

A des concentrations élevées (>50 mg/l), le potassium peut devenir toxique pour certaines espèces de poissons.

A.2.6 Sulfates

La limite fixée pour les sulfates dans les eaux de consommation est basée sur les troubles gastro-intestinaux qu'ils peuvent engendrer, en particulier chez les nouveaux utilisateurs.

Lors de l'utilisation industrielle, la présence de sulfates accroît le pouvoir de corrosion de l'eau envers le béton. Cet anion peut également causer des difficultés lors du plaquage des métaux.

A.2.7 Chlorures

La limite imposée pour les chlorures dans l'eau est basée sur le goût qu'ils donnent à l'eau. Ils ne sont généralement pas dommageables sauf, en de fortes concentrations, pour des personnes qui souffrent de maladies cardiaques ou rénales.

L'inconvénient majeur des chlorures, dans l'utilisation pour fins industrielles, est son pouvoir d'augmenter la vitesse de corrosion de l'acier et de l'aluminium.

Des concentrations de chlorures plus grandes que 100 mg/l dans l'eau d'irrigation peuvent être dommageables à certaines plantes.

En ce qui a trait à la vie aquatique, l'effet principal des chlorures se fait sentir au niveau de la pression osmotique.

A.2.8 Fluorures

Des concentrations de fluorures entre 0.8 et 1.5 mg F/l dans l'eau de consommation permettent de réduire la carie dentaire, particulièrement chez les enfants; des concentrations plus élevées peuvent affecter la structure des dents.

Des concentrations excessives de fluorures dans l'eau peuvent être dommageables pour certaines industries, notamment celles impliquées dans la production de nourriture, de breuvages, de produits pharmaceutiques ou de produits médicaux.

Les fluorures, à des concentrations plus grandes que 1.5 mg F/l, sont toxiques pour certains organismes aquatiques.

A.2.9 Carbone inorganique

Alcalinité totale

L'alcalinité totale dans l'eau de consommation n'est pas considérée en elle-même comme dommageable, mais elle est généralement associée à des valeurs de pH, de dureté et de solides dissous élevées qui peuvent toutes être dommageables. Sa valeur, dans la source d'alimentation, doit cependant permettre la formation d'un floc à l'usine de traitement.

Pour plusieurs industries, il est nécessaire que l'alcalinité atteigne une valeur donnée, juste suffisante pour assurer une saturation en carbonate de calcium; une valeur inférieure amène de la corrosion alors qu'une valeur supérieure favorise la formation de dépôts calcaires. Une alcalinité élevée n'est pas souhaitable pour plusieurs types d'industries: plaquage des métaux, tannage, industries alimentaires. Dans les deux premiers cas, l'inconvénient est la production de précipités de carbonate de calcium, alors que dans le dernier, il peut s'agir d'une neutralisation du goût (p.e. breuvages carbonatés) et fruits acides) ou d'une plus grande susceptibilité à l'action des bactéries.

En ce qui a trait à la vie aquatique, une certaine gamme de valeurs d'alcalinité est souhaitable (entre 100 et 120 mg CaCO_3 /l) pour empêcher des changements soudains de pH. Elle ne devrait pas être inférieure à 20 mg CaCO_3 /l, suite à des rejets acides.

Carbonates

Des concentrations trop élevées de carbonates amènent les mêmes inconvénients que ceux mentionnés pour les concentrations trop élevées d'alcalinité totales: neutralisation des breuvages acides et dépôts calcaires.

CO₂ libre

Des concentrations de CO₂ libre trop élevées favorisent la corrosion du fer, de l'acier et du béton et la solubilisation du plomb des tuyaux.

En ce qui concerne la vie aquatique, la concentration de CO₂ libre peut jouer un rôle important sur la toxicité de certains polluants.

A.2.10 Nitrates

Les limites dans l'eau d'alimentation ont été établies à cause de relations qu'on a trouvées chez les enfants entre les concentrations élevées de nitrates ou de nitrites dans l'eau et une cyanose liée à la formation de méthémoglobine. Des concentrations élevées de nitrates peuvent également causer une irritation du tract intestinal et de la vessie.

Dans l'eau utilisée à des fins industrielles, les nitrates peuvent nuire aux processus de fermentation et donner des goûts indésirables. Ils sont également dommageables pour la teinture de la laine et de la soie.

Les nitrates sont souhaitables dans les eaux d'irrigation; un excès diminue cependant la qualité des sols en réduisant sa perméabilité.

De plus, de fortes concentrations de nitrates stimulent la croissance du plancton et des plantes aquatiques, à condition que les autres éléments nutritifs soient présents en quantités suffisantes.

A.2.11 Orthophosphates

Les orthophosphates en eux-mêmes ne semblent pas causer d'effets physiologiques sur les humains. Les limites pour l'eau de consommation sont probablement fixées dans le but d'éviter les problèmes associés avec la production excessive d'algues ou de plantes aquatiques.

Les orthophosphates ne sont généralement pas toxiques pour les organismes aquatiques. Cependant, en contribuant à l'eutrophisation, ils peuvent causer des effets néfastes.

A.2.12 Dureté

Les limites pour la dureté de l'eau de consommation ont été fixées à cause des effets nuisibles pour certains usages ménagers: consommation excessive de savon et de détergents, formation de dépôts, durcissement des légumes après cuisson, formation de dépôts calcaires dans les tuyaux et les ustensiles.

Lors de l'utilisation industrielle de l'eau, une dureté excessive peut causer certains problèmes. Ainsi, dans les laveries, elle nécessite une consommation excessive de savon; lors de la mise en conserve des fruits et des légumes, elle les durcit par la formation de pectides insolubles. De plus, elle favorise la formation de dépôts dans les chaudières et sur les éléments chauffants et retarde la fermentation.

A.2.13 Fer

Les limites fixées pour l'eau d'alimentation ne sont pas fixées pour des considérations physiologiques mais plutôt pour des raisons de goût et d'esthétique. En effet, le fer précipite sous forme d'hydroxyde ferrique et tache alors la lessive et la porcelaine; de plus, il donne un goût désagréable à l'eau.

Le fer dans l'eau est une source de problèmes pour plusieurs types d'industries. Dans les laveries, les industries du textile, de la photographie et du tannage, il produit des taches sur le matériel fini; dans les industries de mise en conserve, il produit des dépôts et donne un goût, une odeur et une couleur désagréable aux produits. Il provoque également des difficultés dans le plaquage des métaux.

En ce qui concerne les organismes aquatiques, le fer en lui-même n'est pas toxique. En fortes concentrations, il peut cependant s'accumuler, sous forme d'hydroxyde ferrique, sur les branchies des poissons. De plus, certaines bactéries utilisent le fer comme source d'énergie; elles peuvent l'accumuler dans les tuyaux ou autres structures et, de ce fait, amener certains désagréments.

A.2.14 Manganèse

Les limites dans l'eau de consommation ont été établies pour des raisons économiques et d'esthétique, plutôt que pour des considérations physiologiques; avant qu'il n'atteigne des concentrations toxiques, l'eau sera rejetée pour plusieurs raisons. En effet, le manganèse donne à l'eau un goût désagréable, cause des dépôts sur la nourriture lors de la cuisson, tache et décolore la lessive et la plomberie, favorise la croissance de microorganismes dans les réservoirs, les filtres et les systèmes de distribution d'eau.

Pour les mêmes raisons que le fer, le manganèse est indésirable dans l'eau utilisée par plusieurs industries incluant les industries du textile, de mise en conserve, de la photographie, de tannage et les laveries.

A.2.15 Conductivité

La mesure de conductivité permet d'évaluer rapidement quoique très approximativement la minéralisation globale de l'eau. Elle permet l'élimination d'eaux de minéralisation trop élevée qui n'apaisent pas la soif et peuvent avoir une action laxative.

Une eau de conductivité trop élevée, utilisée pour l'irrigation, peut amener un changement important de la pression osmotique des sols et affecter certaines plantes; il est cependant difficile de fixer des valeurs permises applicables à toutes les plantes, à tous les sols et à tous les climats.

Toutes les substances en solution dans l'eau exercent collectivement une pression osmotique sur les organismes aquatiques. Des variations importantes de conductivité (et par conséquent de salinité) peuvent avoir des effets néfastes sur ces organismes.

A.2.16 Solides dissous

La limite dans l'eau de consommation est basée sur des considérations de goût. De plus, lorsque l'eau est trop minéralisée, elle n'apaise pas la soif et elle peut avoir une action laxative sur les nouveaux utilisateurs.

Lorsque l'eau est utilisée pour fins industrielles, une concentration trop élevée en solides dissous peut accélérer la corrosion, amener la formation de mousses ou de dépôts dans les bouilloires et donner un goût désagréable à plusieurs produits finis.

Les solides dissous exercent collectivement une pression osmotique sur les organismes aquatiques. Des variations importantes dans les concentrations de solides dissous peuvent avoir des effets néfastes sur ces organismes; leur tolérance varie notamment avec l'espèce, l'âge, l'état physiologique et le sexe.

A.2.17 pH

Les limites de pH pour l'eau d'alimentation ont été fixées parce qu'en dehors de ces limites, l'eau acquiert un goût et un pouvoir de corrosion élevé et que les processus de traitement (chloration, coagulation) deviennent moins efficaces.

Pour plusieurs industries, de faibles valeurs de pH favorisent le pouvoir de corrosion de l'eau envers le béton ou l'acier alors que des valeurs élevées favorisent la formation de dépôts. Les industries alimentaires ont des exigences bien particulières qui dépendent du produit fini désiré et qui ne sont pas toujours rencontrées dans l'eau brute; aussi doivent-elles ajuster le pH avant l'utilisation de l'eau.

Il est difficile de donner un pH optimum pour l'eau d'irrigation puisque cette valeur dépend du type de culture et des propriétés du sol.

En ce qui concerne les organismes aquatiques, la gamme de valeurs de pH permmissible dépend de plusieurs facteurs comme la température, la concentration d'oxygène dissous, l'acclimatation, la présence de composés toxiques et le contenu ionique de l'eau; cette gamme de valeurs dépend aussi des espèces. Les limites pour la récréation (sports de contact) ont été fixées pour éviter des irritations des yeux ou de la peau.

A.2.18 Couleur

La limite pour ce paramètre dans l'eau d'alimentation a été fixée pour des questions d'esthétique et pour éviter certains problèmes lors d'usages ménagers: taches sur la nourriture, les vêtements et les articles ménagers.

En ce qui concerne l'utilisation industrielle, la couleur est indésirable dans les laveries, les industries de pâtes et papier, du textile, de la photographie et alimentaires.

Pour les organismes aquatiques, le couleur en elle-même n'est pas dommageable, mais elle peut influencer la transmission de la lumière et, par conséquent, la photosynthèse.

Pour la récréation, ce sont surtout des raisons d'esthétique qui conduisent à fixer une limite à la couleur de l'eau.

A.2.19 Oxygène dissous

La présence d'oxygène dissous dans l'eau d'alimentation n'a pas d'effets physiologiques sur les humains; elle accroît cependant le pouvoir de corrosion de l'eau envers la tuyauterie métallique. Les limites dans l'eau d'alimentation ont probablement été fixées afin d'éviter des problèmes de goût et d'odeur de l'eau causés par l'activité biologique.

Pour éviter des problèmes de corrosion, certaines industries préfèrent une eau qui ne contient pas d'oxygène dissous.

Il est impossible de donner une concentration minimum d'oxygène dissous nécessaire pour supporter les organismes aquatiques, puisque les concentrations requises varient avec les espèces, l'âge, l'acclimatation, la température et les concentrations des autres substances dans l'eau; par exemple, l'effet léthal d'une faible concentration d'oxygène dissous est accru par la présence de substances toxiques.

A.2.20 Température

Les limites sur la température de l'eau d'alimentation ont été fixées afin de lui assurer un pouvoir désaltérant. De plus, des températures plus élevées que la limite supérieure stimulent la croissance des organismes et peuvent en intensifier le goût et l'odeur.

Pour plusieurs industries, la température de l'eau a une grande importance. Par exemple, pour le refroidissement, il est avantageux d'utiliser une eau relativement froide.

La température de l'eau affecte les organismes aquatiques de plusieurs façons: effet direct, effet sur la production de leur nourriture, effet sur leur aptitude à compétitionner. Il est difficile de donner une température optimum; elle dépend des espèces, de l'âge, du stade de développement, de la présence de certains constituants dans l'eau. Les changements de température de l'eau sont importants; les organismes aquatiques supportent plus facilement un changement de température si d'autres paramètres comme l'oxygène dissous et la salinité sont à leurs niveaux optimum et s'il n'y a pas de substances toxiques dans l'eau.

A.3 RELATIONS POTENTIELLES ENTRE LES PARAMETRES

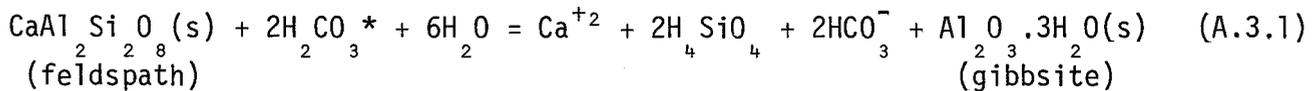
Connaissant les réactions de l'eau avec les minéraux qui composent la lithosphère, ainsi que les réactions chimiques subséquentes qui peuvent se produire dans l'eau, on peut en déduire des relations potentielles entre les différents paramètres. Cette identification des interrelations devient très utile lorsqu'il s'agit de rationaliser le réseau d'acquisition de données de qualité de l'eau.

Dans le cas où une forte valeur est obtenue pour le coefficient de corrélation entre deux paramètres, on peut être amené à établir une relation régressive entre ces paramètres, ce qui permet de prédire avec une certaine précision, la valeur d'un paramètre, à partir de la valeur de l'autre. Parmi les relations entre paramètres, on doit cependant choisir celles qui ont une interprétation physico-chimique. L'identification préalable des interrelations potentielles est donc importante, puisqu'elle permet d'éviter de faire des transpositions fictives de données ou du moins elle indique qu'on doit être prudent dans l'interprétation des corrélations pour lesquelles on n'a pu trouver un sens physique. De la même façon, elle permet l'interprétation des résultats obtenus lorsque des méthodes de traitement statistique globale sont utilisées (exemple: proximité ou éloignement des points paramètres lors de l'application de l'Analyse Factorielle des Correspondances).

Des relations potentielles entre paramètres peuvent être déduites à partir du Chapitre A.1; elles sont regroupées dans le tableau A.3.1. Certaines sont faciles à identifier, alors que d'autres sont beaucoup moins évidentes. Pour illustrer la démarche utilisée pour déterminer ces interrelations potentielles, on discute ici de la première colonne du tableau A.3.1, c'est-à-dire des relations potentielles entre la silice et tous les autres paramètres mesurés par le M.R.N. au cours de l'opération de son réseau.

Silice-calcium

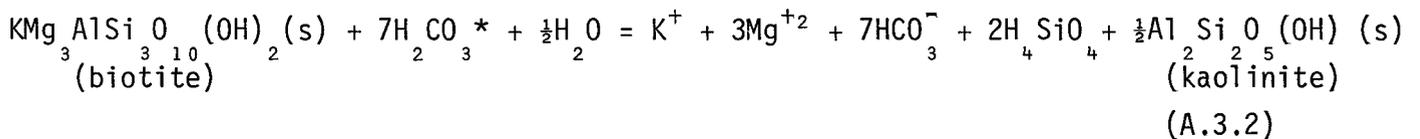
C'est une relation qui n'est pas très évidente. Elle peut être observée localement lorsque la principale source de calcium et de silice dans l'eau est l'altération de minéraux comme le feldspath de calcium:



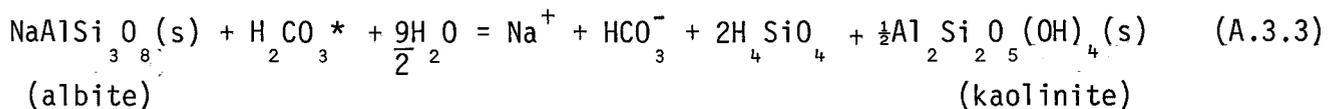
puisqu'alors l'apport de silice dans l'eau se fait simultanément à celui de calcium. Une bonne corrélation entre les concentrations de silice et de calcium ont été observées pour certaines régions de la Baie James (Bobée et al, 1976).

Silice - magnésium

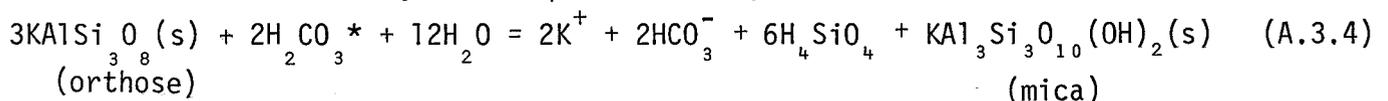
Comme dans le cas précédent, c'est une relation qui pourrait être observée localement. On pourrait la trouver lorsque la principale source de magnésium et de silice dans l'eau est l'altération de minéraux comme la biotite, par exemple:

Silice-sodium

On pourrait trouver, localement, une relation entre les concentrations de silice et de sodium si ces concentrations proviennent surtout de l'altération de minéraux comme l'albite:

Silice-potassium

Une relation entre les concentrations de silice et de potassium pourrait exister localement si ces concentrations étaient le résultat de l'altération de minéraux tel la biotite (voir l'équation A.3.2) ou l'orthose:



Silice-alcalinité

Une telle relation peut exister lorsque des réactions du type de celles décrites par les équations A.3.1 à A.3.4 ont une certaine importance dans la production d'ions majeurs en solution. On remarque en effet dans ces réactions que chaque fois qu'on a libération d'un ion majeur en solution, on a également mise en solution de silice et production d'ions bicarbonate. C'est une relation qui a été mise en évidence pour certaines régions de la Baie James (Bobée et al, 1976).

Silice-dureté

Une relation entre ces deux paramètres peut exister lorsque des réactions du type de celles décrites par les équations A.3.1 et A.3.2 ont une importance dans la production d'ions calcium et magnésium en solution.

Silice-conductivité et silice-solides dissous

Ce sont des relations qui pourraient être observées localement lorsque les ions majeurs retrouvés en solution proviennent surtout de réactions du type de celles décrites par les équations A.3.1 à A.3.4. Une bonne corrélation entre les concentrations de silice et la conductivité a été obtenue pour plusieurs régions de la Baie James (Bobée et al, 1976).

Silice-pH

C'est une relation qu'on pourrait observer localement si la majorité de la silice retrouvée en solution provenait de réactions du type de celles décrites par les équations A.3.1 à A.3.4, étant donné que chacune de ces réactions consomme des ions H^+ et libère de la silice en solution.

TABLEAU A.3.1 Relations potentielles entre les paramètres*

	Silice	Calcium	Magnésium	Sodium	Potassium	Sulfates	Chlorures	Fluorures	Alcalinité	Alcalinité - CO ₃ ⁻²	Nitrates	Orthophosphates	Dureté	Fer	Manganèse	Conductivité	Solides dissous	pH	Couleur	Oxygène dissous	
Silice	-																				
Calcium	L	-																			
Magnésium	L	L	-																		
Sodium	L	L	L	-																	
Potassium	L		L	L	-																
Sulfates		L	L	L	L	-															
Chlorures		L	L	L	L	L	-														
Fluorures		L				L	L	-													
Alcalinité	L	G	L	L	L				-												
Alcalinité-CO ₃ ⁻²		L	L							-											
Nitrates											-										
Orthophosphates		L					L	L				-									
Dureté	L	G	L	L	L	L	L	L	G	L			-								
Fer			L	L	L	L			L				L								
Manganèse			L	L	L	L			L	L			L	G	-						
Conductivité	L	G	L	L	L	L	L		G	L			L	L	L	-					
Solides dissous	L	G	L	L	L	L	L		G	L			L	L	L	G	-				
pH	L	G	L	L	L	L	L		G	L			G			G	G				
Couleur														G	G						
Oxygène dissous														L	L						

* L relation potentielle qui ne se produira qu'à une petite échelle (locale)

G relation potentielle qui peut se produire à une plus grande échelle (générale)

LISTE DES REFERENCES

- ANONYME (1972), "Guidelines for water quality objectives and standards - a preliminary report". Inland Water Branch, Environment Canada, Technical Report No. 37.
- APHA, AWWA, WPCF (1971), "Standard methods for the examination of water and wastewater". Thirteenth Edition, American Public Health Association, Washington, D.C., 1192 p.
- BOBEE, B., CLUIS, D., TESSIER, A., ROBITAILLE, R. (1976). "Analyse des données de qualité de l'eau 1974-1975 du réseau de la baie de James." INRS-Eau, rapport scientifique no. 66, 124 p., 3 annexes. (pour le M.R.N.)
- BROWN, E., SKOUGSTAD, M.W. et FISHMAN, M.J. (1970). "Techniques of water-resources investigations of the United States Geological Survey". Chapter A1, Methods for collection and analysis of water samples for dissolved minerals and gases. United States Department of the Interior.
- CAMPBELL, P.G., TESSIER, A. et MEYBECK, M. (1974). "Relations entre l'utilisation de la ressource eau et sa qualité". dans: "Planification de l'acquisition des données de qualité de l'eau au Québec", Tome 1, Ministère des Richesses Naturelles, Direction générale des eaux, Service Qualité des eaux, 94 p.
- FWPCA (1968). "Water Quality Criteria". Report of the National Technical Advisory Committee to the Secretary of the Interior. Federal Water Pollution Control Administration, Washington, D.C., 234 p.
- HARNED, H.S. et OWEN, B.B. (1958). "The physical chemistry of electrolytic solutions". 3e édition, Reinhold Publishing Corp., New-York.
- HEM, J.D. (1970). "Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water". U.S. Geol. Surv. Water Supply Paper 1473, 2nd edition, 363 p.
- JENNE, E.A. (1968). "Controls on Mn, Fe, Co, Ni, Cu and in concentrations in soils and water: the significant role of hydrous Mn and Fe oxides", dans Trace Inorganics in Water: Am. chem. Soc. Advances in Chemistry Ser. 73, 337-387.
- KLEIN, H.F.W. (1965). "Buffer capacity in water chemistry". Int. J. Air Wat. Poll., 9, 401-413
- McKEE, J.E. et WOLF, H.W. (1963). "Water Quality Criteria". The Resources Agency of California. State Water Quality Control Board. Publication No. 3-A, 546 p.

- MORGAN, J.J. (1965). "Chemistry of Aqueous manganese II and IV." Doctoral Dissertation, Harvard University, Cambridge, Mass.
- MRN (1974). "Evaluation de la précision et de l'exactitude des méthodes analytiques de notre laboratoire". Rapport interne du Service de la Qualité des Eaux, Ministère des Richesses Naturelles.
- MRN (1972). "Précision et exactitude des méthodes d'analyse." Rapport interne du Laboratoire Qualité des Eaux du Ministère des Richesses Naturelles.
- MRN (1977). " Etude sur les temps de délai et modes de conservation appliqués aux paramètres analysés au Service de Qualité des Eaux."
- PROVENCHER, M. (1977). "Index de qualité de l'eau". Ministère des Richesses naturelles, Service qualité des eaux. (En voie de rédaction).
- STUMM, W. et MORGAN, J.J. (1970). "Aquatic Chemistry". Wiley-Interscience, New-York, N.Y. 583 p.
- RODIER, J. (1971). "L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau". Dunod, Paris, 700 p.
- STUMM, W. and C.F. LEE (1961). "Oxygenation of ferrous iron". Industrial and Engineering Chemistry, 53, 143-146.
- TECHNICON INDUSTRIAL SYSTEMS (1969a). "Silicates in water and wastewater" Industrial method 7-65W; Technicon Instruments Corporation, Tarrytown, N.Y.
- TECHNICON INDUSTRIAL SYSTEMS (1969b). "Chloride in water and wastewater" Industrial Method ; Technicon Instruments Corporation, Tarrytown, N.Y.
- TECHNICON INDUSTRIAL SYSTEMS (1969 c). "Nitrate nitrite in water" Industrial Method 32-69W; Technicon Instruments Corporation, Tarrytown, N.Y.
- TECHNICON INDUSTRIAL SYSTEMS (1969d). "Phosphate (ortho) in water and wastewater". Industrial Method 1-68W; Technicon Instruments Corporation, Tarrytown, N.Y.
- TECHNICON INDUSTRIAL SYSTEMS (1971). "Phosphate (ortho) in water and wastewater (Rouge 0-10 ppm)". Industrial method 1-68 W; Technicon Instruments Corporation, Tarrytown, N.Y.

TECHNICON INDUSTRIAL SYSTEMS (1972a). "Sulfate in water and wastewater"
Industrial Method, 18-71W; Technicon Instruments Corporation, Tarrytown,
N.Y.

TECHNICON INDUSTRIAL SYSTEMS (1972b). "Chloride in water and wastewater"
Industrial Method 99-70W; Technicon Instruments Corporation, Tarrytown,
N.Y.

TECHNICON INDUSTRIAL SYSTEMS (1973a). "Silicates in water and wastewater".
Industrial Method, ; Technicon Instruments Corporation, Tarrytown,
N.Y.

TECHNICON INDUSTRIAL SYSTEMS (1973b). "Nitrate and nitrite in water and
wastewater". Industrial Method 100-70W; Technicon Instruments Corpora-
tion, Tarrytown, N.Y.

TECHNICON INDUSTRIAL SYSTEMS (1973c). "Orthophosphate in water and sea-
water". Industrial Method, 55-71W; Technicon Instruments Corporation,
Tarrytown, N.Y.

TECHNICON INDUSTRIAL SYSTEMS (1973d). "Total iron in water and seawater".
Industrial Method 109-71W; Technicon Instruments Corporation, Tarrytown,
N.Y.

WEBER, W.J. et STUMM, W. (1963). "Buffer systems of natural fresh waters".
Journal of chemical and Engineering Data, 8, 464-468.



B.1 FICHER DU RESEAU DU MRN

B.1.1 Structure du fichier du MRN

Le fichier du MRN est organisé par région hydrographique en classant les stations par ordre croissant de leur numéro de codification. A l'intérieur du sous-fichier d'une station, les données sont classées en ordre chronologique des prélèvements.

Chaque sous-fichier de station est précédé d'une première carte indiquant le changement de station ainsi que le format des données et d'une seconde carte indiquant le code et le nom de la station, chaque prélèvement est représenté par 2 cartes, indépendamment du nombre effectif de paramètres analysés parmi les 23 paramètres possibles. Le tableau B.1.1, illustre sur un exemple, la séquence des cartes du fichier.

B.1.2 Formats et codification des cartes de données

Le tableau B.1.2 montre l'ordre et le format des paramètres des cartes de données, pour les 2 cartes perforées donnant les valeurs des paramètres mesurés. Les paramètres numérotés de (1) à (23) constituent les données qui seront effectivement traitées dans cette étude; certains autres paramètres qui, initialement, avaient été prévus (acidité, turbidité, débit, Sr, Ba et Al) n'ont pas été mesurés.

- absence de données: les absences de données sont identifiées par des valeurs négatives (-1) placées à droite du champ de format du paramètre. Ceci est vrai pour tous les paramètres, à l'exception du débit et de la température qui ne sont pas perforés, ce qui équivaut à une valeur nulle ne présentant aucune ambiguïté pour ces paramètres.

TABLEAU B.1.1 Structure du fichier du MRN

1^o carte: 555 changement de station - Format #...

2^o carte: 01234A carte fiche - première station

01234A	140167	.....	1	} échantillon 1
01234A	140167	.....	2	
01234A	230267	.....	1	} échantillon 2
01234A	230267	.....	2	
.....				
.....				
555	changement de station - Format #...			
01234B	carte fiche - deuxième station			
01234B	140167	.....	1	carte 1
01234B	140167	.....	2	carte 2
01234B	230267	.....	1	} échantillon 2
01234B	230267	.....	2	

TABLEAU B.1.2 Ordre et formats des paramètres sur les cartes de données

Carte 1					Carte 2				
paramètre	format	colonne	format du code	colonne	paramètre	format	colonne	format du code	colonne
Station	I5,A1	1-6	-	-	Station	I5,A1	1-6	-	-
Date (J.M.A.)	3I2	7-12	-	-	Date (J.M.A.)	3I2	7-12	-	-
Débit	E5.0	13-17	-	-	(12) dureté tot	F4.0	13-16	A1	17
(1) SiO ₂	F4.1	18-21	A1	22	(13) dureté non carb.	F4.0	18-21	A1	22
(2) Ca	F4.1	23-26	A1	26	(14) pH	F2.1	23-24	-	-
(3) Mg	F4.1	28-31	A1	32	(15) Couleur	F3.0	25-27	A1	28
(4) Na	F5.1	33-37	A1	38	(16) alcalinité	F3.0	29-31	A1	32
(5) K	F4.1	39-42	A1	43	acidité	F2.1	33-34	A1	35
(6) HCO ₃	F4.1	44-47	A1	48	(17) Oxyg. dis.	F3.1	36-38	A1	39
(7) SO ₄	F5.1	49-53	A1	54	A1	F3.2	40-42	A1	43
(8) Cl	F6.1	55-60	A1	61	(18) Fer	F4.2	44-47	A1	48
(9) NO ₃	F3.1	62-64	A1	65	(19) Mn	F3.2	49-51	A1	52
(10) Sol. Dis	F6.1	66-71	A1	72	Sr	F3.2	53-55	A1	56
(11) Cond.	F6.1	73-78	-	-	Ba	F3.2	57-59	-	-
Catégorie		(3)	I1	79	(20) PO ₄	F3.1	60-63	A1	64
Numéro de carte		(1)	I1	80	(21) CO ₃	F2.1	65-66	A1	67
					(22) F	F2.1	68-69	A1	70
					Turbidité	F3.0	71-73	-	-
					mode de prélèvement-		-	I1	74
					composite		-	I2	76
					(23) Température	F2.0	77-78	-	-
					Catégorie		(3)	I1	79
					Numéro de carte		(2)	I1	80

- Codification: 3 codes, associés aux paramètres, ont été utilisés:

"S" signifie diviser la valeur affichée par 10

"T" signifie inférieur à la valeur affichée divisée par 10

"P" signifie plus petit que la valeur affichée

B.1.3. Limites de sensibilité

La codification précédente a une signification différente selon les années car les limites de sensibilité ont évolué dans le temps avec l'amélioration des techniques et la modernisation du matériel de laboratoire.

Les grandes caractéristiques des méthodes d'analyses sont les suivantes:

- . de 1967 à oct. 1970: méthodes manuelles
- . de nov. 1970 à juin 1973: méthodes Technicon AA-1
- . depuis juillet 1973: méthodes Technicon AA-2

Des renseignements plus détaillés sur les différentes méthodes sont fournis à l'Annexe A et l'évolution historique des limites de sensibilité des 23 paramètres est résumée au tableau 2.2 du rapport principal. Les valeurs inférieures à ces limites sont notées 0 jusqu'en 1970 puis, plus tard, codées P ou T selon le cas.

L'évolution historique du mode de prélèvement et d'analyse (compositage) est décrite au chapitre 2.2 (caractérisation du réseau).

B.2 LECTURE DES INFORMATIONS SE TROUVANT SUR LES CARTES

Le tableau B.2.1 indique les différentes opérations effectuées pour la lecture des données, à l'aide de l'ordinateur HP-2100 A.

B.2.1 Lecture

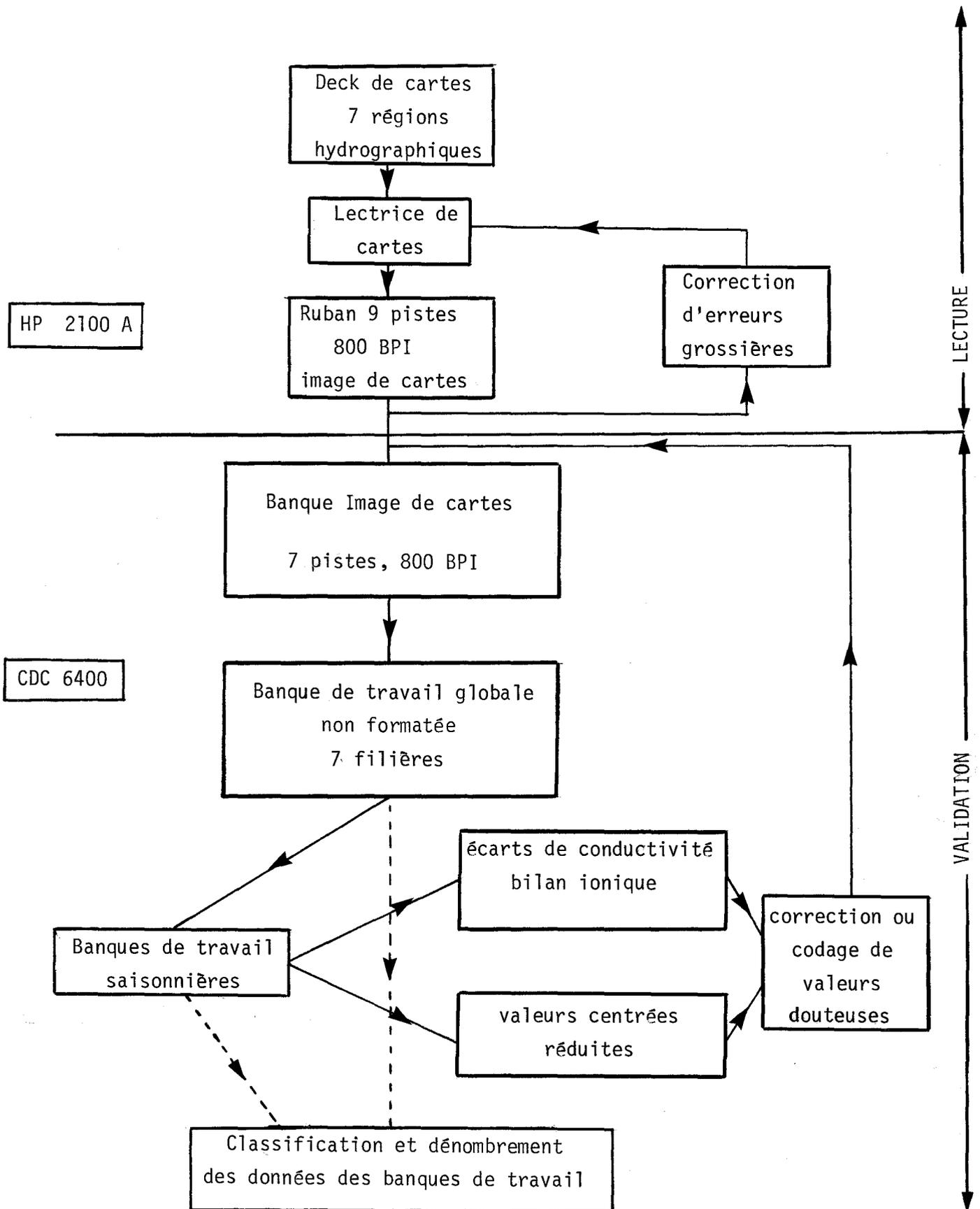
La première difficulté rencontrée provient du fait que le lecteur de cartes de l'ordinateur C.D.C. utilisé (tout comme les modèles IBM), n'a pu lire les cartes du fichier M.R.N. En effet, le valideur de cartes UNIVAC utilisé, a perforé en colonne 81, le code 2+3, ce qui n'est accepté que par les lectrices de cartes UNIVAC; cette difficulté a été contournée en faisant lire ces cartes par un ordinateur HP-2100 A et en créant un ruban intermédiaire avec cet ordinateur.

B.2.2 Correction des erreurs grossières

Il est évident que la masse des données sur cartes qui ont été très peu utilisées comportaient de nombreuses erreurs grossières.

Une centaine d'erreurs grossières ont dû être corrigées; les différents types d'erreurs rencontrés sont:

- champs non perforés (écrits à la main)
- séquence chronologique des prélèvements non respectée
- cartes permutées, manquantes ou doubles
- stations intercalées
- absence de perforation (-1) indiquant le manque de données

TABLEAU B.2.1 Banques de données: lecture et validation

B.2.3 Création des fichiers de référence

A partir de ruban image de cartes (9 pistes, 800 BPI) créé sur l'ordinateur HP-2100 A, on a transcrit cette information sur l'ordinateur CDC 6400 sous deux formes:

- un ruban "image de cartes" 7 pistes, 800 BPI contenant l'information du fichier original corrigé (les cartes-fiches et les cartes de format étant incluses). Ce fichier général qui comprend 8 filières correspondant aux 8 régions hydrographiques, a été créé pour fournir au MRN une banque de données compatibles avec les programmes de calcul existants au service qualité des eaux.
- un ruban "formaté" 7 pistes, 800 BPI contenant le numéro de station, la date de prélèvement et les 23 valeurs des paramètres considérés dans l'étude. Toutes les valeurs absentes ou codées P ont été remplacées par la moitié du seuil de détection effectif à la date de l'analyse, les valeurs codées S et T ont été respectivement divisées par 10 et par 20, et les valeurs absentes sont notées -1. Il en résulte que ce fichier de travail ne comporte aucune valeur réelle.

B.3 VALIDATION DES DONNEES

Le tableau B.2.1 indique les différentes étapes du processus de validation des données effectué sur l'ordinateur CDC 6400.

B.3.1 Méthodologie de validation des données

La validation des données est une étape importante de ce travail car:

- la fiabilité des résultats obtenus lors des différents traitements de données que l'on effectue dans cette étude, est conditionnée par la qualité des données utilisées.
- l'un des buts poursuivis est de fournir au service qualité des eaux, une banque de données qui soit corrigée des valeurs aberrantes et qui mette en évidence les valeurs douteuses.
- la méthodologie utilisée ici pourra être implantée comme une procédure courante de contrôle de qualité des données acquises par le service qualité des eaux.

Des valeurs aberrantes de paramètres peuvent se produire dans les différentes étapes de l'acquisition des données: prélèvement, conservation, analyse en laboratoire, transcription et perforation. Certaines erreurs flagrantes peuvent être mises en évidence lors de la lecture des données, comme nous l'avons vu à la section B.2.2; cependant, la détection d'autres erreurs moins flagrantes nécessite des techniques plus élaborées.

Bien qu'il soit souvent difficile d'attribuer à l'une ou l'autre étape du processus d'acquisition, la cause d'une erreur, il est possible d'en détecter les effets à l'aide de différentes méthodes. Dans cette étude, on considère 2 méthodes de filtrage des données; l'une est basée sur des considérations

physico-chimiques valable pour les ions majeurs et la conductivité, alors que l'autre, qui s'appuie sur des considérations statistiques de valeurs extrêmes, est applicable à l'ensemble des paramètres.

Pour créer des séries homogènes, ce qui est nécessaire lors de l'utilisation de filtrage statistique, la banque de travail globale a été décomposée en banques saisonnières en s'appuyant sur des critères hydrologiques.

B.3.2 Découpage saisonnier

Le découpage saisonnier de la banque générale a l'avantage de permettre un filtrage plus efficace des valeurs aberrantes. Si on considère, par exemple, une valeur de température $T = 34^{\circ}\text{F}$ se produisant en été, cette valeur qui tombe dans la gamme de variation annuelle de température ne sera pas considérée comme aberrante dans la banque générale, mais pourra être mise en évidence dans la banque d'été, pour laquelle la gamme de variation est plus restreinte.

Pour effectuer un découpage qui ne soit pas arbitraire, on a choisi de l'établir en fonction des périodes de hautes-eaux et de basses-eaux. Ceci est justifié par le fait que la plupart des paramètres importants de l'étude (ions majeurs en particulier) sont soumis à une influence d'origine géologique et les niveaux de concentration observés sont reliés au temps de séjour des eaux souterraines; il est donc naturel de regrouper les échantillons observés durant des périodes hydrologiques comparables, puisque la forme de l'hydrogramme résulte de la composition des eaux de ruissellement (qui ont un bref temps de contact) et des eaux d'écoulement de base généralement plus chargées. Par ailleurs, puisque les périodes de basses-eaux et de hautes-eaux peuvent se produire avec un décalage suivant les différentes régions considérées dans l'étude, un découpage saisonnier sera effectué pour chaque région hydrographique. Afin de pouvoir effectuer un découpage saisonnier au niveau de chaque région, basé sur les périodes de basses et de hautes-eaux, il nous faut tout d'abord déterminer les stations

du service Qualité des eaux, qui sont représentatives au niveau d'une région donnée. Il est évident que le critère déterminant, pour répondre à cette condition, sera la quantité de mesures effectuées à ces stations, ainsi que leur répartition dans le temps. Pour cette raison, on est amené à définir, pour chaque région, les 5 ou 6 stations où l'on dispose de données en nombre important. Le tableau B.3.1 donne la liste des stations retenues pour chaque région et associé à chaque station de qualité, la station hydrométrique la plus rapprochée. A partir des débits journaliers (1965-1975) correspondant aux différentes stations hydrométriques, il est possible de déterminer les périodes de basses et hautes-eaux. Certaines stations hydrométriques n'ont pas été retenues parce que l'effet d'un réservoir modifie les périodes de crue naturelle.

Les mois de l'année correspondants, pour une station donnée, à la crue de printemps et à la crue d'automne ont été identifiés en recherchant les mois dont le débit mensuel moyen est supérieur à la moyenne annuelle. La détermination de chacune des 2 périodes de hautes-eaux pour une région hydrographique donnée, a ensuite été effectuée en prenant pour début de la période, la date la plus précoce et pour fin de la période, la date la plus tardive, en considérant l'ensemble des débits des 10 dernières années aux stations sélectionnées dans la région. Les résultats obtenus figurent dans le tableau B.3.2. Les 2 périodes de basses-eaux sont alternées avec les 2 périodes de hautes-eaux et sont en général plus courtes que ces dernières.

B.3.3 Filtrage effectué à partir des mesures physico-chimiques

On sait que les ions majeurs, Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{-2} , Cl^- , représentent l'essentiel de la charge ionique des eaux. On peut effectuer, pour chaque échantillon, deux bilans susceptibles de mettre en évidence des erreurs d'échantillonnage ou d'analyse pour les sept ions majeurs mesurés:

- le calcul du bilan ionique
- le calcul des conductivités ioniques équivalentes

TABLEAU B.3.1 Stations utilisées pour le découpage saisonnier

<u>Stations longues</u>		<u>Stations hydrométriques correspondantes</u>	
<u>du Serv. de Qualité des Eaux</u>			
<u>Région 01</u>			
01080A	Riv. Bonaventure	010801	Riv. Bonaventure
01090A	P. Riv. Cascapédia	010901	P. Riv. Cascapedia
01100B	Riv. Cascapédia	011001	Riv. Cascapedia
01120A	Riv. Nouvelle	011201	Riv. Nouvelle
01150A	Riv. Matapédia	011507	Riv. Matapédia
<u>Région 02</u>			
02040A	Riv. York	020401	Riv. York
02140B	Riv. Ste-Anne	021405	Riv. Ste-Anne
02160A	Riv. Matane	021601	Riv. Matane
02200A	Riv. Rimouski	022003	Riv. Rimouski
02250A	Riv. Du Loup	022504	Riv. Du Loup
02340A	Riv. Chaudière	023402	Riv. Chaudière
<u>Région 03</u>			
03020A	Riv. St-François	030203	St-François (Cent. au fil de
03020X	Riv. Eaton	030234	Riv. Eaton
03030B	Riv. Yamaska Farnham	030302	Riv. Yamaska Farnham
03030D	Riv. Yamaska St-Hyac.	030302	Riv. Yamaska Farnham
		030304	Riv. Noire
03090A	Riv. Châteauguay	030903	Riv. Châteauguay
<u>Région 04</u>			
04010A	Riv. du Nord	040110	Riv. du Nord
04020A	Riv. Rouge	040204	Riv. Rouge
04060C	Riv. du Lièvre	-----	
04080C	Riv. Gatineau	-----	
04310A	Riv. des Outaouais	043118	Centrale de Carillon (au fil de l'eau)

TABLEAU B.3.1 (SUITE)

<u>Stations longues</u>		<u>Stations hydrométriques correspondantes</u>	
<u>du Serv. de Qualité des Eaux</u>			
<u>Région 05</u>			
05030A	Riv. Batiscan	050304	Riv. Batiscan
05040A	Riv. Ste-Anne	050408	Riv. Ste-Anne
05070A	Riv. Portneuf	050701	Riv. Portneuf
05090A	Riv. St-Charles	-----	
05100B	Ruisseaux des Eaux Volées	→non représentatif de la région 05	
<u>Région 06</u>			
06100A	Riv. Chicoutimi	061004	Riv. Chicoutimi
06160A	Riv. Ouiatchouane	→trop influencé par Réservoir	
06190A	Riv. Chamouchouane	061901	Riv. Chamouchouane
06210A	Riv. Mistassini	062102	Riv. Mistassini
06210B	Riv. Mistassibi	062101	Riv. Mistassibi
06220A	Riv. Péribonka	→trop influencé par réservoir	
<u>Région 07</u>			
07020B	Riv. des Escoumains	070201	Riv. des Escoumains
07190A	Riv. Aux Rochers	072201	Riv. des Rapides
07250B	Riv. Matamek	072501	Riv. Aux Rats Musqués
07230C	Riv. Moisie	072301	Riv. Moisie

TABLEAU B.3.2 Limites des périodes de hautes-eaux pour chacune des régions hydrographiques

Région	Crue Printemps		Crue Automne	
	Date début	Date Fin	Date Début	Date Fin
01	10-4	28-7	23-8	8-1
02	6-3	27-7	22-8	31-12
03	27-2	6-6	17-8	5-1
04	1-3	16-7	22-8	31-12
05	8-3	6-7	20-8	29-12
06	14-4	1-8	1-8	10-12
07	13-4	8-8	11-8	20-12

On trouvera au tableau B.3.3, les facteurs de conversion pour le calcul du bilan ionique et les conductivités ioniques équivalentes (à dilution infinie) (Harned and Owen, 1958).

Pour chaque échantillon, on a calculé le déséquilibre ionique (D.I.) en pourcentage, donné par:

$$DI = \frac{(\sum[C_i] - \sum[A_j])}{\frac{1}{2}\sum[C_i] + \sum[A_j]}$$

où $[C_i]$ et $[A_j]$ sont respectivement, les concentrations du cation i et de l'anion j exprimées en milliéquivalents.

Le calcul de la conductivité théorique a été effectué en utilisant la relation: $Cond_{th} = \sum \lambda_i C_i$, où λ_i est la conductance limite ionique de chaque ion.

On a aussi calculé, dans tous les cas possibles, l'écart, en pourcentage (EC), entre la conductivité mesurée et la conductivité calculée à partir des concentrations des ions majeurs et des conductivités ioniques équivalentes:

$$EC = \frac{(\text{Conductivité calculée} - \text{Conductivité mesurée})}{\text{Conductivité mesurée}}$$

Dans ces calculs, l'influence de l'ion hydrogène, qui est négligeable dans la gamme de pH rencontrés, n'a pas été prise en compte.

L'étude simultanée des résultats permet de détecter et de corriger éventuellement, certaines erreurs d'analyse particulièrement flagrantes. Tous les échantillons complets pour lesquels le déséquilibre ionique et l'écart de conductivité étaient tous deux inférieurs ou égaux à 25%, ont été retenus. Dans tous les autres cas, le résultat erroné est recherché systématiquement, en utilisant le tableau B.3.4 et la donnée correspondante est remplacée dans la banque de travail, par les valeurs de code suivantes:

TABLEAU B.3.3 Facteurs de conversion utilisés pour le calcul du bilan ionique et de la conductivité

	Facteur de conversion	*Conductivité ionique équivalente à dilution infinie et à 25°C
	Milliéquivalent/l par mg/l	µmho/cm par mg/l
Ca ⁺⁺	0.04990	2.98
Mg ⁺⁺	0.08226	4.35
Na ⁺	0.04350	2.21
K ⁺	0.02557	1.88
HCO ₃ ⁻	- 0.01639	0.73
SO ₄ ⁻⁻	- 0.02082	1.67
Cl ⁻	- 0.02821	2.15

* Tiré de Harned and Owen (1958)

TABLEAU B.3.4 Interprétation des valeurs aberrantes en fonction du bilan ionique et de l'écart de conductivité

Bilan ionique Ecart de conductivité	> 0	= 0	< 0
> 0	Cations surévalués	Erreurs de conductivité possible	Anions surévalués
= 0	Cations surévalués et Anions sousévalués		Cations sousévalués et Anions surévalués
< 0	Anions sousévalués	Erreur de conductivité possible	Cations sousévalués

(EC ou DI > 25%) et (EC et DI ≤ 50%) Code = -4
 EC ou DI > 50% Code = -5

Ces valeurs douteuses ou aberrantes n'ont pas été considérées dans les calculs ultérieurs.

B.3.4 Filtrage statistique: détection des valeurs extrêmes

Dans une série homogène, les valeurs extrêmes, petites ou grandes, doivent être étudiées de manière détaillée pour décider s'il s'agit de valeurs erronées ou douteuses.

Pour obtenir des séries homogènes, on considère les valeurs tirées des banques saisonnières, la série de base de taille N que l'on considère, est constituée des valeurs $(X_1, \dots, X_i, \dots, X_n)$ d'un paramètre à une station pendant une saison donnée.

Pour chaque série, il est possible de calculer:

la moyenne
$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n X_i$$

l'écart-type
$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

et l'on peut en déduire les valeurs centrées réduites u_i de moyenne 0 et de variance unité telles que:

$$u_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S}$$

Une valeur élevée de $|U_i|$ est indicative d'un écart important de la valeur correspondante X_i , par rapport à la moyenne \bar{X} , cet écart prend d'autant plus de signification que la dispersion des valeurs mesurée par l'écart-type S est faible. L'examen des valeurs $|U_i|$ permet donc la détection des valeurs X_i suspectes. Le découpage saisonnier permet comme nous l'avons indiqué, de détecter une valeur anormale pendant une saison donnée mais qui pourrait paraître normale, si l'on considère les valeurs de toute l'année. Ce "filtrage chronologique", bien qu'il ait nécessité un travail important, a donc une plus grande efficacité et nous a semblé justifié par l'importance à accorder à la détection des valeurs suspectes.

De manière systématique, lorsque

- . $3 \leq |U_i| < 4$: la valeur X_i correspondante est considérée comme douteuse et est codée $X_i = -2$ dans la banque
- . $|U_i| \geq 4$: la valeur X_i correspondante est considérée comme aberrante et est codée $X_i = -3$ dans la banque

Lorsque les valeurs X_i sont distribuées suivant une loi normale:

- . $|U_i| \geq 3$ correspond à une probabilité au dépassement (non dépassement) de 0.13% lorsque U_i est positif (négatif)
- . $|U_i| \geq 4$ correspond à une probabilité au dépassement (non dépassement) de 0.003% lorsque U_i est positif (négatif).

Même si en pratique, les séries considérées ne proviennent pas d'une distribution normale, les valeurs précédentes peuvent être considérées comme indicatives et montrent que lorsque $|U_i| \geq 3$, les valeurs correspondantes de X_i sont des valeurs peu probables.

Ce filtrage "statistique", à la différence du filtrage "physico-chimique" basé sur l'étude de la conductivité et de l'équilibre ionique qui ne peut être appliqué qu'à l'étude des ions majeurs, a été utilisé pour tous les paramètres.

Dans cette étude, les différentes valeurs codées à la suite des deux calculs de bilans seront éliminés des traitements ultérieurs. La distinction entre les codes a été réalisée dans l'optique où le service Qualité des eaux du M.R.N. souhaiterait subséquemment examiner ces valeurs douteuses ayant alors en main une première estimation des sources d'erreurs.

B.3.5 Décompte et classification des données

Le filtrage des données permet d'obtenir une banque validée dans laquelle les valeurs suspectes et aberrantes sont codées. Cependant, il importe pour planifier et faciliter les différentes analyses de données à effectuer dans l'étude, de donner une vue synthétique des données retenues après filtrage. Dans chaque région hydrographique, un certain nombre de stations ont été opérées depuis 1967, avec une fréquence variable; par ailleurs, pour chaque prélèvement, un ensemble variable de paramètres a pu être analysé. Pour donner une connaissance de base des données disponibles pour chaque région, le dénombrement des données peut être présenté de manière synthétique, dans un tableau à 3 dimensions, où l'élément de base (I,J,K) du tableau, donne le nombre d'analyses effectuées pendant l'année I, à la station J de la région considérée pour le paramètre K. De ce tableau général, on peut extraire 3 matrices particulières:

- a- le dénombrement, pour un paramètre K fixé, des analyses effectuées à chaque station J de la région pour chaque année I (tableau I,J)
- b- le dénombrement, pour une station J fixée, des analyses effectuées à chaque année I pour chaque paramètre K (tableau, I,K)
- c- le dénombrement, pour une année I fixée, des analyses effectuées à chaque station J de la région pour chaque paramètre K (tableau J,K).

Les sorties informatiques des 2 premiers types de matrices qui présentent le plus d'intérêt ont été systématiquement imprimés pour chacune des 7 régions hydrographiques étudiées, nous considérons à titre indicatif, un exemple de chaque type:

- le tableau B.3.5 donne le dénombrement obtenu pour la silice, suivant les années pour chaque station de la région 1. La dernière colonne du tableau indique le nombre total de prélèvements effectués à chaque station pour l'ensemble de la période 1967-1975.
- le tableau B.3.6 donne le dénombrement obtenu pour la station 01080A, pour chacun des 23 paramètres suivant chaque année. La dernière ligne du tableau donne le nombre total de mesures effectuées pour chaque année, en considérant l'ensemble des paramètres et la dernière colonne du tableau indique le nombre total de données obtenues pour chaque paramètre pour l'ensemble de la période 1967-1975.

La répartition des analyses suivant les mois d'une année pour une station (J) donnée et un paramètre (K) fixé, a également été obtenu de manière systématique, par sorties informatiques. Le tableau B.3.7 illustre les résultats obtenus pour la silice, à la station 01080A; la dernière colonne de ce tableau donne le nombre total d'analyses effectuées à cette station, pour chaque année (il correspond à la première ligne du tableau B.3.5 relative à la station 01080A) et la dernière ligne du tableau, donne pour chaque mois, le nombre total de prélèvements effectués pour la période 1967-1975.

L'ensemble de ces tableaux qui permettent d'avoir une idée synthétique de la distribution des analyses de chaque paramètre à chaque station, ont été établis à partir de la banque annuelle corrigée et ont été fournis au service Qualité des eaux du M.R.N. Les mêmes programmes de calcul peuvent également être appliqués aux banques saisonnières si l'information est désirée pour chaque saison.

TABLEAU B.3.5 Dénombrement des analyses pour la silice dans le cas de la région 01

I	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	TOTAL
01080A	0	0	0	12	14	15	50	47	40	178
01090A	0	0	0	5	7	9	51	47	38	157
01100A	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4
01100B	0	0	0	13	15	15	50	48	37	178
01100C	0	0	0	0	5	2	0	0	0	7
01120A	0	0	0	8	14	15	50	47	40	174
01150A	0	0	0	22	0	8	49	31	42	152
01150B	0	0	0	0	5	17	50	22	0	94
01160A	0	0	0	0	3	6	0	0	0	9
01170B	0	0	0	0	5	2	0	27	37	71
01280A	0	0	0	42	3	0	0	0	0	45
01300A	0	0	0	0	3	15	49	27	0	94

TABLEAU B.3.6 Dénombrement des analyses de chaque paramètre à la station 01080A

I K	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	TOTAL
	Silice	0	0	0	12	14	15	50	47	40	178
Calcium	0	1	5	13	15	14	51	50	40	189
Magnésium	0	0	5	13	14	15	52	50	40	189
Sodium	1	1	0	13	15	15	51	49	39	184
Potassium	1	0	0	13	15	14	52	50	40	185
Bicarbonate	1	1	5	13	10	4	0	0	0	34
Sulfate	1	1	0	13	14	15	49	48	40	181
Chlorure	1	1	0	13	15	15	50	47	40	182
Nitrate	1	0	0	13	14	15	50	46	40	179
Sol. dissous	1	1	0	4	5	8	15	0	0	34
Conductivité	1	1	5	13	15	15	52	52	43	197
Dur. totale	1	1	5	13	15	1	0	0	0	36
Dur. n. carb.	1	1	5	13	10	1	0	0	0	31
pH	0	1	5	13	10	5	0	0	0	34
Couleur	0	1	1	8	3	4	0	0	0	17
Alcalinité	0	0	5	13	10	1	0	0	0	29
Oxyg. Dissous	0	0	2	1	4	1	0	0	0	8
Fer	1	1	0	3	1	1	0	1	1	9
Manganèse	0	0	0	0	1	1	0	1	1	4
Phosphate	0	0	0	11	11	15	51	44	39	171
Carbonate	0	0	0	6	10	3	0	0	0	19
Fluorure	1	1	0	4	2	6	18	0	0	32
Température	0	0	6	10	11	7	36	37	30	137
TOTAL	12	13	49	228	234	191	577	522	433	2359

TABLEAU B.3.7 Dénombrement des analyses suivant les mois pour la silice
à la station 01080A

STATION (J) 01080A - REGION HYDROGRAPHIQUE 1
PARAMETRE (K) SILICE

I	JANV.	FEVR.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL.	AOUT	SEPT.	OCTOB.	NOVEM.	DECEM.	TOTAL
67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	0	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	12
71	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	14
72	1	1	0	1	1	2	1	1	1	0	2	4	15
73	5	3	4	5	4	4	5	4	5	4	4	3	50
74	4	4	5	1	4	5	4	4	5	4	4	3	47
75	4	4	5	1	3	5	5	4	5	2	0	2	40
TOTAL	15	14	16	10	15	18	17	16	18	12	12	14	178

LISTE DES REFERENCES

HARNED, H.S. et OWEN, B.B. (1958). "The physical chemistry of electrolytic solutions". 3rd Edition, Reinhold Publishing Corp., New-York.

C.1 TESTS D'EGALITE DES MOYENNES ET DES VARIANCES

La comparaison des caractéristiques statistiques de populations (moyennes, variances) se fait au moyen des tests statistiques, en particulier le test de Student et celui de Fisher.

Dans l'application de tous les tests d'égalité, on formule le problème de la manière suivante. On envisage deux hypothèses exclusives H_0 et H_1 . H_0 est l'hypothèse que l'on veut tester et H_1 est une hypothèse contraire. On peut commettre alors deux types d'erreurs:

- . rejeter H_0 alors qu'elle est vraie (erreur du type I)
- . accepter H_0 alors qu'elle est fautive et que H_1 est vraie (erreur du type II),

La solution idéale consiste à minimiser ces deux types d'erreurs, mais pour un échantillon de taille donnée, si on diminue la taille d'une erreur, on augmente celle de l'autre. En pratique, on se préoccupe de minimiser la taille de l'erreur de type I,

Lorsque l'on teste l'hypothèse H_0 , la probabilité de commettre l'erreur du type I, c'est-à-dire de rejeter H_0 , alors qu'elle est vraie, est notée α et on l'appelle niveau de signification.

Par exemple, si $\alpha = .05$, cela signifie que l'on a:

5 chances sur 100 de prendre une mauvaise décision en rejetant l'hypothèse H_0 , alors que cette hypothèse est vraie et

95 chances sur 100 de prendre la bonne décision en acceptant H_0 alors qu'elle est vraie.

La probabilité de commettre l'erreur du type II, en testant H_0 , est β , et $(1 - \beta)$ représente la puissance du test. Donc, pour tester une hypothèse donnée, et pour α fixé, si on considère plusieurs tests, le plus puissant est celui qui aura la valeur minimum de β (donc la valeur maximum de $(1 - \beta)$),

C.1.1 Test de Student

On veut tester l'égalité des moyennes de deux populations μ_1 et μ_2 dont les variances sont inconnues, mais supposées égales. Pour cela, on dispose de deux échantillons de taille N_1 et N_2 , dont les observations d'ordre i sont y_{1i} et y_{2i} .

L'hypothèse H_0 est l'égalité des moyennes μ_1 et μ_2 des populations.

$$\begin{aligned} H_0: \mu_1 &= \mu_2 \\ H_1: \mu_1 &\neq \mu_2 \end{aligned} \quad (1)$$

Pour effectuer le test, dans le cas où les échantillons proviennent de populations de même variance, on calcule la valeur de t donnée par:

$$t = \frac{(\bar{y}_1 - \bar{y}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{s \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} \quad (2)$$

\bar{y}_1 et \bar{y}_2 sont les moyennes des échantillons.

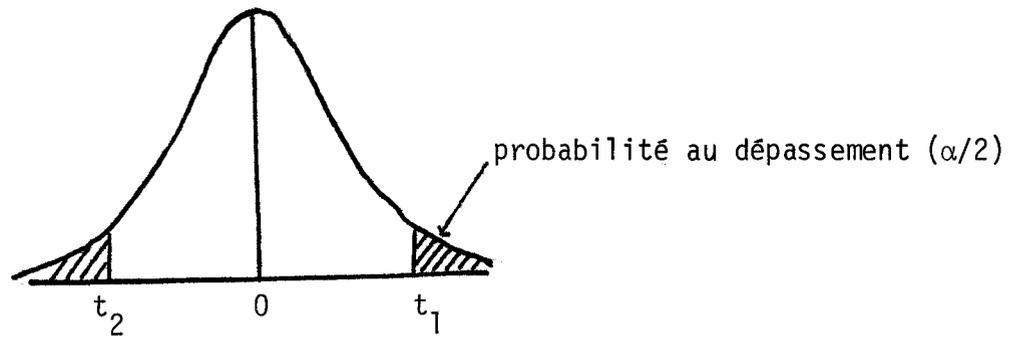
La variance combinée s^2 est calculée par:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} (y_{1i} - \bar{y}_1)^2 + \sum_{i=1}^{N_2} (y_{2i} - \bar{y}_2)^2}{N_1 + N_2 - 2} \quad (3)$$

Le nombre de degrés de liberté de t est $\nu = N_1 + N_2 - 2$.
Connaissant ν et le niveau de signification α , on en déduit les limites de la zone d'acceptation de H_0 en consultant les tables de Student.

Dans ces tables, on retrouve pour des degrés de liberté différents, des valeurs de t correspondant habituellement à des probabilités au dépassement de 5%, 2.5%, 1%, 0.5% et 0.05%.

Pour un degré de liberté donné, on a :



Puisque la loi est symétrique, on a $t_2 = -t_1$. La zone d'acceptation de H_0 est $t_2 < t < t_1$ et la zone de rejet correspond à $t < t_2$ ou $t > t_1$.

Dans le cas où les variances des 2 populations ne peuvent être supposées égales, on a :

$$t = \frac{(\bar{y}_1 - \bar{y}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2}}} \quad (4)$$

s_1^2 et s_2^2 étant les variances non biaisées des 2 échantillons.

Dans ce cas, on calcule le nombre de degrés de liberté par la relation suivante :

$$v = \frac{\left(\frac{s_1^2}{N_1} + \frac{s_2^2}{N_2} \right)^2 (N_1 - 1) (N_2 - 1)}{\left(\frac{s_1^2}{N_1} \right)^2 (N_2 - 1) + \left(\frac{s_2^2}{N_2} \right)^2 (N_1 - 1)} \quad (5)$$

Pour pouvoir appliquer le test de Student, il faut considérer que :

- les échantillons considérés y_{1i} et y_{2i} sont des variables aléatoires, c'est à dire que chaque observation a autant de chance de se produire
- les moyennes des échantillons \bar{y}_1 et \bar{y}_2 sont tirées d'une population normale. En pratique, lorsque le nombre d'observations est suffisamment grand, la moyenne est approximativement distribuée normalement, que la population d'origine soit normale ou non.

Intervalles de confiance

Lorsque les hypothèses énumérées précédemment sont approximativement respectées, on peut considérer que la moyenne \bar{y} d'un échantillon de taille N est une estimation du paramètre μ de la population qui est inconnu.

La distribution de la moyenne \bar{y} suit une loi de Student et l'on a :

$$t = \frac{\bar{y} - \mu}{\sqrt{\frac{s^2}{N}}} \quad (6)$$

où \bar{y} et s sont respectivement la moyenne et l'écart-type de l'échantillon.

Pour la loi de Student (qui est symétrique), il est possible de définir les valeurs symétriques t_1 et $t_2 = -t_1$ telles que

$$\Pr \left[-t_2 \leq t \leq t_1 \right] = P_c \quad (7)$$

P_c étant une probabilité égale à $(1-\alpha)$ et les probabilités au dépassement des valeurs t_1 et t_2 valant respectivement $\alpha/2$ et $(1 - \alpha/2)$.

A la valeur t_1 correspond la valeur μ_1 telle que

$$t_1 = \frac{\bar{y} - \mu_1}{\sqrt{\frac{s^2}{N}}} \longrightarrow \mu_1 = \bar{y} - t_1 \sqrt{\frac{s^2}{N}} \quad (8)$$

de même pour $t_2 = -t_1$ $\mu_2 = \bar{y} + t_1 \sqrt{\frac{s^2}{N}}$ (9)

et l'on a:

$$\Pr \left[-t_1 \leq t \leq t_1 \right] = \Pr \left[\mu_1 \leq \mu \leq \mu_2 \right] = P_c \quad (10)$$

Le domaine de variation (μ_1, μ_2) s'appelle l'intervalle de confiance de la moyenne μ au niveau de confiance P_c .

Puisque \bar{y} , s , N peuvent varier d'un échantillon à l'autre, le domaine (μ_1, μ_2) variera avec les échantillons, mais ce qui nous intéresse c'est qu'il y a une probabilité P_c que le domaine contienne la vraie valeur de la population (qui est inconnue).

Autrement dit, si $P_c = .95$, il y a 95 chances sur 100 que le domaine considéré contienne la vraie valeur μ .

Si nous disposons de nombreux échantillons et que pour chacun d'entre eux, nous déterminions l'intervalle de confiance à 95%, il y a environ 95% d'entre eux qui contiendront la vraie valeur de la moyenne. Par contre, il y a seulement 5% des chances que la vraie valeur soit en dehors de l'intervalle de confiance.

Plus le niveau de confiance est élevé, plus l'intervalle de confiance est grand, et plus il y a de chances qu'il contienne la vraie valeur.

Les niveaux de confiance utilisés en pratique dépendent du problème traité, mais on utilise souvent 70%, 80%, 90%, 95%, 99%.

Précision dans la détermination de la moyenne

On définit l'erreur admissible L sur la moyenne d'un échantillon par la relation suivante:

$$L \leq | \bar{y} - \mu | \quad (11)$$

En introduisant l'inégalité (11) dans l'équation (6), on obtient une relation entre l'erreur admissible, la taille et l'écart-type de l'échantillon:

$$\begin{aligned} L &\leq \frac{t \cdot s}{\sqrt{N}} \\ &= \frac{t \cdot s}{\sqrt{N_0}} \end{aligned} \quad (12)$$

N_0 étant la taille minimum que doit avoir l'échantillon pour que l'erreur entre la moyenne \bar{y} et la moyenne vraie inconnue μ ne dépasse pas L avec un niveau de confiance $(1 - \alpha)$.

En pratique, il est plus intéressant de considérer l'erreur relative

$$\epsilon = 100 \cdot \frac{L}{\bar{y}}$$

L'équation (11) devient alors:

$$\epsilon = \frac{100 \cdot t \cdot C_v}{\sqrt{N_0}} \quad (13)$$

où $C_v = s/\bar{y}$ représente le coefficient de variation.

Cette relation relie la précision obtenue dans la détermination de la moyenne au coefficient de variation et à la taille de l'échantillon. On peut utiliser également cette équation pour calculer la taille minimum N_0 que doit avoir un échantillon pour atteindre une précision donnée. *

C.1.2 Test de Fisher

L'égalité des variances de deux populations, qui est un pré-requis à vérifier avant l'application du test de Student, peut être vérifiée par le test de Fisher.

On dispose de deux échantillons de taille N_1 et N_2 tirés de deux populations normales. On veut tester l'hypothèse d'égalité des variances de ces populations:

*NOTE: On peut redéfinir les intervalles de confiance sur la moyenne en utilisant la notion d'erreur relative ϵ . En effet, on a $L = \frac{\bar{y}\epsilon}{100} \leq \frac{t \cdot s}{\sqrt{N}}$ après la relation (12).

En introduisant cette relation dans les équations (8) et (9), on obtient

$$\mu_1 = \bar{y} \left(1 - \frac{\epsilon}{100}\right)$$

$$\mu_2 = \bar{y} \left(1 + \frac{\epsilon}{100}\right)$$

$$\begin{aligned}
 H_0: \quad \sigma_1^2 &= \sigma_2^2 \\
 H_1: \quad \sigma_1^2 &\neq \sigma_2^2
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

Soient s_1^2 et s_2^2 les variances non biaisées des échantillons.

Le rapport $F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$ suit une distribution de Fisher avec

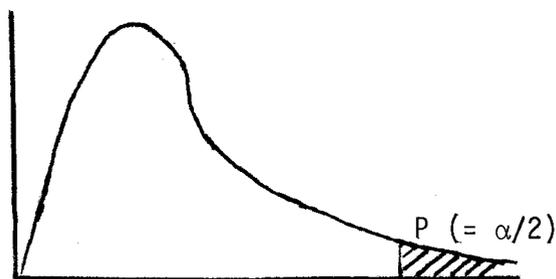
$$v_1 = N_1 - 1 \quad \text{et} \quad v_2 = N_2 - 1 \quad \text{degrés de liberté.}$$

Les valeurs de la distribution de Fisher dépendent des deux paramètres v_1 et v_2 et peuvent être tirées des tables de Fisher.

Pour v_1 et v_2 donné et une probabilité fixée P (5%, 2.5%, 1%, 0.5%...), ces tables donnent la valeur de F telle que

$$\text{Prob.} \quad [F \geq F_2] = P \tag{15}$$

Pour v_1 et v_2 fixés, on a:



La limite supérieure d'acceptation de H_0 est alors donnée par $F = F_2$.
La limite inférieure d'acceptation de l'hypothèse est obtenue en considérant que

$$F_{v_1, v_2}(\alpha) = \frac{1}{F_{v_2, v_1}(1 - \alpha)} \tag{16}$$

On obtient ainsi la limite inférieure $F = F_1$

Si $F_1 \leq F \leq F_2$, on est dans la zone d'acceptation de H_0 .

Si $F < F_1$, on est dans la zone critique qui correspond à $\sigma_1^2 < \sigma_2^2$

Si $F > F_2$, on est dans la zone critique qui correspond à $\sigma_1^2 > \sigma_2^2$

C.1.3 Analyse de variance à un critère

Analyse de variance à un critère: hypothèses et calculs

Considérons k séries d'observations.

Les données se présentent sous la forme:

$x_{1,1}$	$x_{1,2}$	.....	x_{1,n_1}	(échantillon de taille n_1)
$x_{2,1}$	$x_{2,2}$	.....	x_{2,n_2}	(..... n_2)
.....	(.....)
.....	(.....)
.....	(.....)
$x_{k,1}$	$x_{k,2}$	.....	x_{k,n_k}	(..... n_k)

x_{ij} étant une observation

i varie de 1 à k et représente l'indice relatif au numéro de la série
 j varie de 1 à n_i et représente l'indice relatif à l'élément j de la série i

n_i est la taille de l'échantillon d'ordre i .

On suppose que chaque série est tirée d'une distribution normale, dont les variances sont égales à σ^2 (la variance est la même pour chaque population), et les moyennes sont respectivement $\mu_1, \dots, \mu_i, \dots, \mu_k$.

Le modèle choisi pour représenter les données peut se mettre sous cette forme

$$x_{ij} = \mu_i + e_{ij} \tag{17}$$

e_{ij} est une variable aléatoire, normalement distribuée avec une moyenne nulle et une variance σ^2 ; tous les e_{ij} sont indépendants entre eux.

L'équation générale du modèle peut aussi se mettre sous cette forme:

$$x_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij} \quad (18)$$

μ représente un effet global

α_i représente un effet spécifique relatif à la série i (ou au traitement i).

Ces deux formes (17) et (18) sont équivalentes. Le modèle choisi est additif car les différentes composantes s'ajoutent. Il est possible d'envisager d'autres modèles plus complexes, multiplicatifs par exemple, ou comprenant d'autres termes.

Les paramètres μ , α_i ou μ_i ne sont pas connus, mais peuvent être estimés à partir des données initiales. En effet, il est possible de calculer la moyenne de chaque série ainsi que la moyenne globale.

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} \quad (i=1, \dots, k) \quad (19)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} \quad (20)$$

$$N = \sum_{i=1}^k n_i$$

\bar{x}_i est une estimation de μ_i

\bar{x} est une estimation de μ

On veut tester l'hypothèse

$$H_0) \quad \mu_1 = \mu_2 \quad \dots \dots \dots = \mu_k \quad (21)$$

ou encore

$$H_0) \quad \alpha_1 = \alpha_2 = \dots \dots \dots = \alpha_k = 0 \quad (22)$$

La variation totale est donnée par

$$SS = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x})^2 \quad (23)$$

La variation à l'intérieur des séries s'obtient par

$$SS_1 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad (24)$$

On peut également calculer la variation entre les moyennes des séries.

$$SS_2 = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2 \quad (25)$$

On calcule ensuite:

$$\sigma_1^2 = \frac{SS_1}{N - k} \quad (26)$$

$$\sigma_2^2 = \frac{SS_2}{k - 1} \quad (27)$$

Si H_0 est vraie, on peut montrer en utilisant les propriétés de la distribution χ^2 que:

- σ_1^2 et σ_2^2 sont des estimations de σ^2
- $SS = SS_1 + SS_2$, la variation totale se décompose en une variation des moyennes des séries par rapport à la moyenne globale, et en une variation des valeurs des séries par rapport à leur moyenne.

$$F_0 = \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2} = \frac{SS_2}{SS_1} \cdot \frac{N - k}{k - 1} \quad (28)$$

suit une loi F avec

$$v_1 = k - 1 \quad \text{et} \quad v_2 = N - k \quad \text{degrés de liberté}$$

Si H_0 est fautive, on peut montrer que $F_0 > 1$ (on ne peut avoir $F_0 < 1$)

Donc, si pour un niveau de signification fixé α , la valeur calculée F_0 tombe dans la zone d'acceptation de la loi F_{v_1, v_2} , c'est à dire si $F_0 < F_{v_1, v_2}(\alpha)$ l'hypothèse H_0 est acceptée.

(on effectue le test d'un seul côté puisque l'on a toujours $F_0 > 1$ quand H_0 est rejetée).

Analyse de variance lorsqu'on dispose des effectifs, moyennes et écart-types des séries

On calcule la moyenne totale \bar{x} à partir des moyennes de chacune des séries \bar{x}_i .

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k n_i \bar{x}_i \quad (29)$$

avec

$$N = \sum_{i=1}^k n_i$$

on calcule ensuite SS et SS_1

$$SS = \sum_{i=1}^k \left[(N_i - 1) s_i^2 + N_i \bar{x}_i^2 \right] - \frac{1}{N} \left(\sum N_i \bar{x}_i \right)^2 \quad (30)$$

s_i^2 est la variance de la série i

$$SS_1 = \sum_{i=1}^k (N_i - 1) s_i^2 \quad (31)$$

On peut alors déduire SS_2 :

$$SS_2 = SS - SS_1 \quad (32)$$

On utilise ensuite les relations (26), (27) et (28) pour poursuivre l'analyse.

Pour pouvoir appliquer l'analyse de variance, il faut que les hypothèses suivantes soient respectées:

- a) Les populations dont les séries sont tirées suivent une loi normale
- b) Les variances des populations sont égales
- c) Les termes e_{ij} sont indépendants
- d) Le modèle est additif.

En pratique, il est difficile de respecter toutes ces hypothèses. C'est pourquoi il est important de savoir dans quelle mesure ces hypothèses sont respectées et quelle est l'influence du non respect d'une ou plusieurs hypothèses, pour les conclusions de l'analyse.

L'hypothèse de normalité peut être vérifiée si on dispose de suffisamment de données. Si l'on montre, ou si l'on pense que les distributions ne sont pas normales, il est possible de transformer les variables originales (transformation logarithmique par exemple) pour se ramener à une distribution normale.

Il est possible de tester l'égalité de k variances en utilisant le test de Bartlett.

Test de Bartlett

Soient $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_k^2$ les variances des k populations

on veut tester

$$H_0) \quad \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots \sigma_k^2 = \sigma^2 \quad (33)$$

Pour l'échantillon i , de taille n_i (tiré de la population de variance σ_i^2) la variance non biaisée est:

$$s_i^2 = \frac{1}{n_i - 1} \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad (34)$$

Considérons la quantité u telle que:

$$u = -\frac{1}{C} \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \ln \frac{s_i^2}{s^2} \quad (35)$$

avec:
$$C = 1 + \frac{1}{3(k-1)} \left[\sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{(n_i - 1)} \right) \frac{1}{N - k} \right]$$

$$N = \sum_{i=1}^k n_i$$

$$s^2 = \frac{\sum (n_i - 1) s_i^2}{N - k}$$

On montre que u est distribué suivant une loi χ^2 à $(k - 1)$ degrés de liberté.

On calcule pour un niveau de signification donné α la valeur du χ^2 correspondant. Si $u < \chi^2(\alpha)$, l'hypothèse H_0 est acceptée, autrement, elle est rejetée.

En ce qui concerne l'analyse de variance, si l'égalité des variances n'est pas respectée, on peut transformer les données originales, ou encore essayer de grouper les séries qui semblent avoir des variances identiques et effectuer l'analyse sur ces groupes.

Test de Scheffe

Lorsque dans l'analyse de variance l'hypothèse H_0 d'égalité simultanée de toutes les moyennes est rejetée, il est souvent utile de comparer les moyennes entre elles pour obtenir plus d'information sur les égalités possibles entre des sous groupes de moyennes. On dispose pour cela de différents tests, le plus utilisé étant celui développé par Scheffe (1959).

Considérons la combinaison linéaire $\sum_{i=1}^k C_i \alpha_i$

α_i est l'effet spécifique à la série i . Les C_i sont des coefficients tels que:

$$\sum_{i=1}^k C_i = 0 \quad (36)$$

On veut tester au niveau de signification α l'hypothèse

$$H_0) \quad \sum_{i=1}^k C_i \alpha_i = 0 \quad (37)$$

En choisissant des valeurs appropriées de C_i , telles que la relation (36) soit vérifiée, on peut tester l'égalité simultanée de n'importe quelle combinaison de paires de moyennes. Par exemple, si on a rejeté l'hypothèse d'égalité simultanée de trois moyennes μ_1 , μ_2 et μ_3 , on peut tester l'hypothèse $\alpha_1 = \alpha_2$ (ou $\mu_1 = \mu_2$) en posant $C_1 = 1$, $C_2 = -1$ et $C_3 = 0$. (La relation (36) est alors vérifiée).

Une fois les valeurs de C_i fixées, on pose:

$$u_1 = (k - 1) F_{k-1, N-k}(\alpha) \cdot \sum_{i=1}^k \frac{C_i^2}{n_i} \quad (38)$$

$F_{k-1, N-k}(\alpha)$ est la variable F pour $k-1$, et $N-k$ degrés de liberté avec la probabilité au dépassement α .

On calcule ensuite:

$$A_1 = \sum_{i=1}^k C_i \bar{x}_i - \sigma_1 u_1 \quad (39)$$

$$A_2 = \sum_{i=1}^k C_i \bar{x}_i + \sigma_1 u_1 \quad (40)$$

Si $A_1 < 0 < A_2$, l'hypothèse H_0 est acceptée. Avec l'exemple précédent, on dirait que $\mu_1 = \mu_2$. Par contre,

Si $A_1 > 0$, l'hypothèse H_0 est refusée et l'on a :

$$\sum_i C_i \alpha_i > 0$$

ou encore, si $A_2 < 0$, l'hypothèse H_0 est refusée et l'on a :

$$\sum_i C_i \alpha_i < 0$$

L'application répétée du test de Scheffe permet d'identifier tous les sous-groupes de moyennes égales.

C.2 INDEPENDANCE DES ELEMENTS D'UNE SERIE

C.2.1 Notion d'indépendance

D'un point de vue pratique, la dépendance des observations successives d'une série traduit un phénomène persistant au niveau de fréquence considérée et est significative d'une redondance d'information. Il est donc souhaitable de déterminer la fréquence pour laquelle les observations cessent d'être dépendantes, car on optimise alors l'acquisition de l'information. De manière générale, lorsque la fréquence augmente, la dépendance entre les observations croît. Ainsi pour un paramètre donné, on peut avoir une forte dépendance au niveau journalier, une faible dépendance au niveau hebdomadaire et une indépendance au niveau mensuel; on peut déduire que la fréquence

hebdomadaire est trop élevée et la fréquence mensuelle insuffisante ou acceptable. La détermination de la fréquence optimale nécessite de disposer d'observations effectuées à une fréquence trop élevée; l'étude de la série obtenue permet alors d'indiquer à quel niveau la fréquence peut être réduite. La représentation de séries dépendantes peut être effectuée à l'aide de modèles markoviens alors que celle de séries indépendantes peut l'être au moyen de lois statistiques.

La dépendance des observations successives d'une série peut être étudiée en considérant le coefficient d'autocorrélation d'ordre 1.

C.2.2 Etude du coefficient d'autocorrélation

Le coefficient d'autocorrélation d'ordre 1 d'une série de taille N , $(x_1, \dots, x_i, \dots, x_N)$ peut être calculé en supposant la série circulaire (c'est à dire en supposant que l'observation suivant x_N est x_1). Il est donné par:

$$r_1 = \frac{(x_1 x_2 + \dots + x_i x_{i+1} + \dots + x_N x_1) - \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2 / N}{\sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2 / N} \quad (41)$$

Pour des échantillons de taille N provenant de populations normales, il est possible de montrer (ANDERSON, 1941), que r_1 est distribué pratiquement normalement avec:

$$\text{une moyenne:} \quad \bar{r}_1 = - \frac{1}{N-1} \quad (42)$$

$$\text{une variance:} \quad \text{var}(r_1) = \frac{N-2}{(N-1)^2} \quad (43)$$

La variable $u = \frac{r_1 - \bar{r}_1}{\sqrt{\text{var}(r_1)}}$ suit donc une loi normale centrée

réduite et il est possible de tester l'indépendance des éléments de l'échantillon.

Soient $u_1 = 1.96$, $u_2 = 2.57$ les variables normales dont la probabilité au dépassement est respectivement 2.5% et 0.5%.

Si $|u| < u_1$: on accepte l'hypothèse d'indépendance au niveau de signification 5%.

Si $u_1 < |u| < u_2$: on rejette l'hypothèse d'indépendance au niveau de signification 5%, on l'accepte au niveau 1%.

Si $u_2 < |u|$: on rejette l'hypothèse d'indépendance au niveau de signification de 1%.

En pratique, ce test est utilisé selon la procédure décrite, quelle que soit la distribution dont provient l'échantillon, bien que théoriquement, l'hypothèse de normalité soit souhaitable.

C.2.3 Contenu d'information d'une série

Si l'on considère une série d'observations indépendantes dont la moyenne est \bar{x} et la variance σ^2 , la variance de la moyenne de cette série est donnée par:

$$\text{var}(\bar{x})_1 = \frac{\sigma^2}{N} \quad (44)$$

Lorsque l'on considère une série dont les valeurs successives sont dépendantes et pour laquelle le coefficient d'autocorrélation d'ordre 1 est r_1 , on peut montrer (MATALAS, 1966) que l'on a :

$$(\text{var } \bar{x})_2 = \frac{\sigma^2}{N} \cdot \left[\frac{1 + r_1}{1 - r_1} - \frac{2}{N} \cdot \frac{r_1 (1 - r_1^n)}{(1 - r_1)^2} \right] \quad (45)$$

On peut définir le contenu d'information de la série autocorrélée par :

$$I = \frac{(\text{var } \bar{x})_1}{(\text{var } \bar{x})_2} \quad (46)$$

Le contenu d'information atteint une valeur maximale de 1, lorsque la série est constituée d'observations indépendantes et décroît lorsque l'autocorrélation augmente. Ce coefficient permet donc de quantifier la redondance des observations; on peut en particulier définir le nombre effectif N' d'observations indépendantes d'une série de taille N par :

$$N' = N I \quad (47)$$

C.3 METHODES MULTIVARIEES

C.3.1 Analyse factorielle des correspondances

La méthode d'analyse factorielle des correspondances développée par Benzécri (1973) a été résumée par Lebart et Fénelon (1973). Cette méthode tout comme la méthode des composantes principales, appartient à la statistique descriptive multidimensionnelle, car elle permet d'obtenir un résumé descriptif de n'importe quel tableau de valeurs numériques positives.

Dans l'analyse des données, on est toujours confronté avec un ensemble de résultats qu'on peut mettre sous la forme de tableaux comprenant autant de lignes que d'observations mesurées et autant de colonnes que de paramètres analysés ou de variables mesurées. La description de ce tableau pourrait se faire en représentant par des points, dans un espace comprenant autant de dimensions que de paramètres mesurés, les vecteurs correspondant à l'ensemble des valeurs des paramètres mesurés sur un échantillon ou à une station. On pourrait également représenter par un point, dans un espace comprenant autant de dimensions que de stations, le vecteur correspondant à l'ensemble des valeurs d'un paramètre mesurées à toutes les stations. Ce mode de représentation, consistant à visualiser un nuage de points-observations ou de points-variables, ne serait d'aucune utilité pratique lorsque le nombre de paramètres mesurés ou que le nombre de mesures deviendrait élevé. On recherche donc un mode de représentation qui permet de réduire le nombre de dimensions tout en conservant le maximum d'informations possibles sur le tableau des valeurs.

Dans l'analyse, on considère donc un tableau de valeurs comprenant N lignes et p colonnes, y_{ij} étant un élément du tableau. On calcule:

- . la somme des lignes

$$y_{i.} = \sum_{j=1}^p y_{ij} \quad (48)$$

- . la somme des colonnes

$$y_{.j} = \sum_{i=1}^N y_{ij} \quad (49)$$

- . la somme totale

$$Y = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^N y_{ij} \quad (50)$$

On fait subir une transformation au tableau des valeurs en divisant chacune des valeurs y_{ij} par la somme totale Y .

$$P_{ij} = y_{ij} / Y \quad (51)$$

La somme des lignes $y_{i.}$ et la somme des colonnes $y_{.j}$ sont également transformées:

$$P_{i.} = y_{i.} / Y \quad (52)$$

$$P_{.j} = y_{.j} / Y \quad (53)$$

On a le choix, pour raisonner, de se placer dans l'espace des variables ou dans celui des observations. On se place dans l'espace des variables à p dimensions dans lequel se retrouvent les n points-observations.

Les coordonnées de chaque point-observation i sont définies par:

$$\frac{P_{ij}}{P_{i.}} \quad j = 1 \dots p \quad (54)$$

Les n points du nuage sont contenus dans un hyperplan dont les coordonnées vérifient l'équation

$$\sum_{j=1}^p \frac{P_{ij}}{P_{i.}} = 1 \quad i = 1 \dots n \quad (55)$$

Les distances entre deux points-observations i et i' sont notées:

$$d^2(i, i') = \sum_{j=1}^p \left(\frac{P_{ij}}{P_{i.}} - \frac{P_{i'j}}{P_{i'.}} \right)^2 \quad (56)$$

Si, pour une coordonnée (par exemple la troisième), les valeurs absolues des chiffres sont grandes, leur différence peut être grande. Dans la somme des carrés des différences représentant le carré de la distance d^2 , le terme correspondant $\left(\frac{P_{i3}}{P_{i.}} - \frac{P_{i'3}}{P_{i'.}} \right)^2$ sera prépondérant et jouera un rôle excessif dans l'analyse.

Pour atténuer ces disparités, on utilise, pour obtenir d^2 , une expression pondérée:

$$d^2 (i, i') = \sum_{j=1}^p \frac{1}{P_{.j}} \left(\frac{P_{ij}}{P_{i.}} - \frac{P_{i'j}}{P_{i'.}} \right)^2 \quad (57)$$

Une fois les distances entre chaque paire de points définies, on peut calculer les axes principaux du nuage des n points-observations. Cette opération consiste à trouver d'abord la droite dont la somme des carrés des projections des distances sur cette droite est minimale. En d'autres mots, cette droite est l'axe d'allongement maximal du nuage des n points. Après avoir trouvé ce premier axe, on en calcule un second qui est perpendiculaire au premier et qui explique encore le maximum de déformation résiduelle. Les axes sont donc extraits par ordre décroissant d'inertie expliquée. La variance totale du système des n points se décompose ainsi, la proportion de variance expliquée par chaque axe décroissant d'un axe au suivant.

Les axes étant extraits par ordre d'importance, il est possible de négliger les derniers axes extraits et d'assimiler le nuage initial à sa projection dans un espace à q dimensions $q < p$.

De la même manière, on aurait pu se placer au départ dans l'espace des observations et effectuer les calculs des axes principaux, à partir des distances entre chaque paire de points-variables:

$$d^2(j, j') = \sum_{i=1}^n \frac{1}{p_i} \left(\frac{p_{ij}}{p_{.j}} - \frac{p_{ij'}}{p_{.j'}} \right)^2 \quad (58)$$

Le nombre d'observations étant habituellement élevé, le calcul des axes principaux fait intervenir une série de calculs coûteux en temps d'ordinateur. En pratique, on utilise des relations simples permettant le passage de l'espace des variables à l'espace des observations.

On représente habituellement chaque nuage de points dans le plan des axes principaux pris deux à deux. En pratique, on utilise surtout, pour chaque nuage, le plan des deux premiers axes principaux, qui ajustent le mieux le nuage de points et qui, par conséquent, donnent une image descriptive des tendances principales à l'intérieur du système. Il s'avère nécessaire parfois de considérer la position des points par rapport aux autres axes principaux (3 et 4, par exemple), afin de faire ressortir des variations moins importantes et des effets particuliers existant dans le système.

La transformation effectuée sur le tableau de départ implique que deux vecteurs lignes (ou colonnes) de ce tableau qui ont des composantes proportionnelles sont représentés dans le nuage (donc en projection dans le plan des axes principaux) par deux points confondus. Cette particularité de l'AFC permet donc de mettre en évidence des similitudes de comportement ou des types de variation identiques, puisque les points représentatifs des variables ou des observations seront confondus ou voisins dans la représentation graphique et auront donc des coordonnées identiques ou du même ordre de grandeur.

Il est particulièrement intéressant de superposer les plans des axes obtenus pour le nuage des points-observations et pour le nuage des points variables. Dans cette représentation simultanée, la proximité entre un point-variable et un groupe de points-observations signifie que cette variable caractérise le comportement du groupe d'observations. De plus, il est en général possible, compte tenu de la position des points-variables et des points-observations, par rapport aux axes, de donner une signification physique à ces derniers.

Cette méthode peut s'appliquer surtout aux tableaux de valeurs positives, aucune hypothèse distributionnelle préalable n'étant faite. En codant les valeurs, on peut ainsi considérer dans l'étude, n'importe quelle donnée, même si elles proviennent d'un ensemble de paramètres de nature différente ou avec des gammes de variations très différentes (pH, coliformes, solides en suspension, ...).

Cette méthode présente l'avantage de permettre de considérer dans l'analyse des points supplémentaires (représentatifs de paramètres ou de stations). Ces points n'ayant aucun poids dans l'analyse, ils ne conditionnent pas la détermination des axes principaux, mais ils peuvent cependant être représentés graphiquement et être utilisés dans l'interprétation des résultats.

C.3.2 Classification ascendante hiérarchique

La méthode de classification ascendante hiérarchique a été mise au point récemment par Jambu (1973). Cette technique permet de regrouper de manière automatique et selon des critères d'agrégation choisis, des données en classes et de les ordonner de façon à visualiser la hiérarchie du classement obtenu.

Cette méthode, comme l'analyse factorielle des correspondances, procède à partir d'un tableau de données dont les lignes correspondent aux observations et dont les colonnes représentent des variables. On représente par un point dans un espace à plusieurs dimensions le vecteur correspondant à une ligne du tableau. On peut ainsi attribuer des coordonnées à chaque point et calculer à partir des coordonnées, des distances entre chaque paire de points.

Les distances euclidiennes entre chaque paire de points peuvent être calculées. On obtient ainsi un tableau de distances à partir duquel l'algorithme construit une hiérarchie de parties d'ensemble.

La méthode peut se résumer ainsi:

- on recherche parmi l'ensemble de points, la paire dont la distance est minimum;
- on forme un groupe avec ces deux points;
- on attribue à cette partie d'ensemble un indice de diamètre égal à la valeur de la distance séparant les deux points;
- on reconstitue un nouveau tableau de distances en remplaçant les deux points par un seul point situé au centre de gravité des deux. Cette reconstitution est effectuée selon une formule de calcul de distances entre parties d'ensembles. Il existe plusieurs formules de calcul selon le critère d'agrégation choisi;
- on recherche le nouveau couple de parties d'ensemble dont la distance les séparant est minimum;
- on recommence toutes les opérations décrites jusqu'au moment où il n'y a plus que deux parties à agréger.

Le critère d'agrégation le plus utilisé s'appelle la maximisation du moment centré d'ordre 2 d'une partition. Selon ce critère, on réunit deux classes lorsque la variance à l'intérieur de chaque groupe est minimum et la variance entre les différents groupes est maximum.

Le domaine d'application de cette méthode de classification s'étend à toutes les formes usuelles de tableaux de données (mesures, contingences, fréquences, etc...) pourvu qu'on puisse définir sur ces tableaux une distance ou un indice de distance. L'utilisation de cette méthode sur un tableau de facteurs produits par l'analyse factorielle des correspondances facilite beaucoup l'interprétation des résultats obtenus. Cette méthode permet de grouper les points-observations de façon objective et de tenir compte non seulement des coordonnées sur les deux premiers axes principaux, mais également des coordonnées sur les axes suivants. En plus de fournir une image descriptive, la représentation arborescente obtenue avec cette méthode fait ressortir les ressemblances et les différences structurelles entre les groupes.

LISTE DES REFERENCES

- ANDERSON, R.L. (1941). "Distribution of the serial correlation coefficient", Ann. Math. Stat. 8(1), pp. 1-13.
- BENZECRI, J.P. et al (1973). "Analyse des données", Tomes 1 et 2, Dunod, Paris.
- JAMBU, M. (1973). "Programme général de construction de classification ascendante hiérarchique (C.A.H.)", L.S.M. - ISUP - Université de Paris VI.
- JAMBU, M. (1973). "Techniques de classification automatique appliquées à des données - Sciences humaines", Thèse de 3ième cycle. L.S.M. - ISUP - Université de Paris VI.
- LEBART, L. et FENELON, J.P. (1973). "Statistique et informatique appliquées", 2e édition, Dunod, Paris.
- MATALAS, N.C. (1966). "Information content of the mean", Journal of geophysical Research, 67(9), pp. 3441-3442.
- SCHEFFE, H.A. (1959). "The analysis of Variance", New-York: Wiley.

D.1 REGION HYDROGRAPHIQUE 01

D.1.1 Physiographie

La région hydrographique 01 correspond à la partie sud de la péninsule gaspésienne. A l'exception de la rivière Témiscouata qui se déverse dans le fleuve Saint-Jean, tous les bassins de cette région se drainent dans la baie des Chaleurs. Physiographiquement et géologiquement, la région 01 est entièrement comprise dans la région des Appalaches. Cette région se subdivise elle-même en deux sous-régions physiographiques: les monts Notre-Dame et les bas-plateaux de la Baie des Chaleurs. Les monts Notre-Dame s'étendent sur près de 640 km, de Thetford à Gaspé et culminent à 1300 m. dans les monts Chic-Chocs au coeur de la péninsule gaspésienne. Quant aux bas-plateaux de la Baie des Chaleurs, ils présentent un relief uniforme dont l'altitude varie de 240 à 300 m.

Le tableau D.1.1 indique le pourcentage approximatif de la superficie des bassins occupés par chaque sous-région physiographique.

D.1.2 Géologie et minéralogie des roches consolidées

a) *Monts Notre-Dame*

Les formations dominantes sont d'âge dévonien et silurien et consistent en calcaires (formations du Cap Bon-Ami, de Grande-Grève et de St-Alban), en grès (formations de la rivière York), en siltstones calcaireux (formations de St-Léon), le tout associé à des roches volcaniques comprenant surtout de l'andésite. La partie amont des bassins 08 et 10 est située dans les monts Chic-Chocs. Ces formations se caractérisent par la présence de roches volcaniques basiques, de grès feldspathiques et de schistes envahis par des intrusions du Dévonien: granite, diorite et gabbro. Le tableau D.1.2 présente quelques caractéristiques minéralogiques des formations rocheuses des monts Notre-Dame et indique les paramètres qui peuvent être affectés dans le milieu aquatique.

TABLEAU D.1.1: Physiographie de la région hydrographique 01
 (% de la superficie des bassins)

REGION	BASSINS*	BAS-PLATEAUX DE LA BAIE DES CHALEURS (%)	MONTS NOTRE-DAME (%)
01	15	50	50
	12	90	10
	10	60	40
	09	80	20
	08	80	20
	17	0	100

* Numéro de code du M.R.N.

TABLEAU D.1.2: Minéralogie des roches consolidées des monts Notre-Dame et paramètres pouvant être affectés

Principaux types de roches	Principaux minéraux	Paramètres pouvant être affectés
Calcaires (schisteux ou finement arénacés, souvent magnésiens)	- calcite - feldspath plagioclase (andésine) - magnésite	Ca, CO ₃ Na, Ca, Si Mg, Ca
Siltstones calcaireux	- calcite - feldspath plagioclase (andésine)	Ca, CO ₃ Na, Ca, Si
Grès feldspathiques dont plusieurs arkoses	- quartz - orthose (feldspath potassique)	Si K, Si
Roches volcaniques: - andésite - entrelits de phyllade chloritique	- feldspath plagioclase (andésine) - chlorite - augite	Ca, Na, Si Mg, Fe, K, Si Ca, Na, Si
Intrusions de roches ignées: - granite - diorite - gabbro	- quartz - orthose (feldspath potassique) - feldspath plagioclase - hornblende - biotite - feldspath plagioclase (labrador) - pyroxène	Si K, Si Ca, Na, Si Ca, Fe, Si, Mg Mg, K, Fe, Si Ca, Na, Si Mg, Fe, Ca, Si

b) *Bas-plateaux de la Baie des Chaleurs*

Les formations rocheuses comprennent: des ardoises et des grès de la série de Fortin, datant du Devonien; des ardoises arénacées et calcaires de la série de Matapédia, datant du Silurien; des conglomérats rouges du groupe de Bonaventure datant du Carbonifère (tableau D.1.3).

D.1.3 Géologie et minéralogie des dépôts meubles

Les roches consolidées sont recouvertes de dépôts glaciaires composés de débris de toutes dimensions (argile, limon, sable et cailloux) auxquels on donne le nom de "till". Ces matériaux varient en épaisseur selon la nature géologique et la topographie de la roche de fond. Sur les hautes-terres des monts Notre-Dame, les tills sont moins répandus et les affleurements rocheux sont plus nombreux alors que dans les bas-plateaux, ils sont plus épais. Etant donné l'abondance de roches calcaires sous-jacentes, les tills appalachiens sont calcaires. De plus, leur texture est argileuse.

Les tills appalachiens ont été transportés par le glacier laurentien, c'est pourquoi on y trouve des minéraux provenant des fragments de roches du bouclier. La composition minéralogique des tills est également influencée par la nature des roches sous-jacentes, comme l'indique le tableau D.1.4.

D.2 REGION HYDROGRAPHIQUE 02

D.2.1 Physiographie

La presque totalité de la région 02 est comprise dans le système appalachien. Seule une très petite partie de la région (moins de 5% du territoire) située à l'extrémité ouest appartient aux basses-terres du Saint-Laurent.

Dans la région 02, les Appalaches englobent trois sous-régions physiographiques:

TABLEAU D.1.3: Minéralogie des roches consolidées des bas-plateaux de la Baie des Chaleurs et paramètres pouvant être affectés

Principaux types de roches	Principaux minéraux	Paramètres pouvant être affectés
Ardoises vertes, pélitiques et arénacées (série de Fortin)	- quartz - biotite - chlorite - muscovite	Si Mg, K, Fe, Si Mg, K, Fe, Si K, Mg, Si
Grès calcaireux (série de Fortin)	- quartz - calcite	Si Ca, CO ₃
Ardoises arénacées et calcaireuses	- quartz - calcite	Si Ca, CO ₃
Conglomérat de Bonaventure - conglomérat rouge composé de grès et micro-grès schisteux et de shales rouges ferrugineux	- quartz	Si Fe

TABLEAU D.1.4: Composition minéralogique des tills appalachiens

Minéraux	Quantité	Paramètres pouvant être affectés
Minéraux argileux: illite, chlorite, etc.	abondants	K, Ca, Mg, Fe, Si, Cl ⁽¹⁾ , SO ₄ ⁽¹⁾
Minéraux provenant des roches du bouclier: - quartz - feldspath - amphibole	abondants	Si Si, K, Na, Ca Fe, Mg, Ca, Si
Minéraux carbonatés: - calcite - dolomite, magnésite	5 à 15%	Ca, CO ₃ Ca, Mg, CO ₃

⁽¹⁾ Ne représentent pas les éléments constitutants de ces minéraux mais sont étroitement associés à leur présence.

- *les monts Notre-Dame* qui occupent la majeure partie du territoire et dont les plus hauts sommets atteignent 1300 m. dans les monts Chic-Chocs;
- *les bas-plateaux du Québec oriental* qui s'étendent en une bande longeant le fleuve, en amont de Mont-Joli; ils représentent une zone de transition entre les basses-terres et les monts Notre-Dame et leur topographie est tantôt plane, tantôt ondulée;
- *les monts Mégantic* qui sont le prolongement des montagnes Blanches américaines et qui occupent la partie amont du bassin de la Chaudière (34).

Le pourcentage approximatif de la superficie des bassins occupée par chaque région physiographique est indiqué au tableau D.2.1.

D.2.2 Géologie et minéralogie des roches consolidées

a) *Basses-terres du Saint-Laurent*

Les formations rocheuses consolidées des basses-terres du Saint-Laurent consistent principalement en shales et grès rouges du groupe de Queenstone ainsi qu'en shales calcaireux du groupe de Lorraine. Les caractéristiques minéralogiques de cette région et les paramètres qui peuvent être affectés sont décrits dans le tableau D.2.2.

b) *Appalaches*

- Bas-plateaux du Québec oriental

Les principales formations des bas-plateaux du Québec oriental comprennent des roches sédimentaires et métamorphiques de l'époque cambro-ordovicienne: schistes ardoisiers rouges et verts, grès, calcaires, conglomérats et quartzites de Kamouraska.

Les grès et les quartzites très durs de la formation de Kamouraska forment une série de collines isolées qui demeurent en relief sur les bas-plateaux fortement entamés par l'érosion. Le tableau D.2.3 décrit les caractéristiques minéralogiques de cette région et les paramètres qui peuvent être affectés.

TABLEAU D.2.1 Physiographie de la région hydrographique 02
(% de la superficie des bassins)

REGION	BASSINS*	BASSES-TERRES DU SAINT-LAURENT (%)	APPALACHES		
			BAS-PLATEAUX (%)	MONTS NOTRE-DAME (%)	MONTS MEGANTIC (%)
02	40	40	50	10	0
	39	100	0	0	0
	37	100	0	0	0
	36	100	0	0	0
	34	5	50	20	25
	31	0	100	0	0
	27	0	100	0	0
	25	0	90	10	0
	23	0	90	10	0
	22	0	80	20	0
	19	0	0	100	0
	17	0	0	100	0
	16	0	0	100	0
	14	0	0	100	0
	08	0	0	100	0
	06	0	0	100	0
04	0	0	100	0	

* Numéro de code du M.R.N.

TABLEAU D.2.2: Minéralogie des roches consolidées des basses-terres du Saint-Laurent et paramètres pouvant être affectés

Principaux types de roches	Principaux minéraux	Paramètres pouvant être affectés
Shales et grès rouges de Queenstone	<ul style="list-style-type: none"> - minéraux argileux: kaolinite, illite, chlorite - gypse - quartz - feldspath - mica - hématite (couleur rouge) 	K, Ca, Mg, Fe, Si, Cl ⁽¹⁾ , SO ₄ ⁽¹⁾ Ca, SO ₄ Si Si, K, Na, Ca K, Mg, Si Fe
Shales calcaireux de Lorraine	<ul style="list-style-type: none"> - minéraux argileux - calcite 	K, Ca, Mg, Fe, Si, Cl ⁽¹⁾ , SO ₄ ⁽¹⁾ Ca, CO ₃

(1) Ne représentent pas les éléments constituants de ces minéraux mais sont étroitement associés à leur présence.

TABLEAU D.2.3: Minéralogie des roches consolidées des bas-plateaux du Québec oriental et paramètres pouvant être affectés

Principaux types de roches	Principaux minéraux	Paramètres pouvant être affectés
Schistes ardoisiers rouges et verts	<ul style="list-style-type: none"> - minéraux argileux - quartz - feldspath - mica - chlorite - hématite 	K, Ca, Mg, Fe, Si, Cl ⁽¹⁾ , SO ₄ ⁽¹⁾ Si Si, K, Na, Ca K, Mg, Fe, Si Mg, Fe, K, Si Fe
Grès	<ul style="list-style-type: none"> - quartz - orthose (feldspath potassique) - hématite - chlorite - séricite 	Si K, Si Fe Mg, Fe, K, Si K, Mg, Si
Quartzites	<ul style="list-style-type: none"> - quartz - feldspath 	Si Si, K, Na, Ca
Calcaires et conglomérats calcaires	<ul style="list-style-type: none"> - calcite 	Ca, CO ₃

(¹) Ne représentent pas les éléments constitutants de ces minéraux mais sont étroitement associés à leur présence.

- Monts Notre-Dame

Les Monts Notre-Dame qui composent la majeure partie de la péninsule gaspésienne sont constitués de roches sédimentaires, la plupart métamorphisées, datant de l'Ordovicien, du Silurien et du Dévonien: schistes, grès, shales, quartzites de Kamouraska, conglomérats et calcaires. Des roches volcaniques du même âge sont associées à ces roches sédimentaires et affleurent en divers endroits.

Les roches sédimentaires et volcaniques de l'extrémité sud-ouest des monts Notre-Dame, correspondant à la région de Thetford (amont du bassin 40), sont envahies par des intrusions ignées acides et ultra-basiques. Les roches ultra-basiques comprennent de la pyroxénite et de la péridotite. La péridotite métamorphisée en serpentine contient des gisements d'amiantes comptant parmi les plus importants au monde.

Au nord-est de la Gaspésie (bassins 14, 08, 06), s'étend une succession de grès feldspathiques et d'ardoises noires tous deux graptolitifères et mélangés à une petite quantité de shales, de conglomérats et de calcaires.

Les monts Chic-Chocs, point culminant des monts Notre-Dame (partie amont des bassins 06, 14, 08, 04) sont constitués de roches volcaniques basiques (basaltes) et d'un peu de grès feldspathiques accompagnés d'ardoises et de schistes, le tout datant de l'Ordovicien. Les schistes ont été métamorphisés en amphibolites, en schistes à amphibole et schistes à hornblende et à chlorite. De grands amas intrusifs du Dévonien (granite, diorite) forment les plus hauts sommets du centre de la péninsule gaspésienne.

Les monts Notre-Dame, renferment des gisements de plomb, de zinc et de cuivre que l'on retrouve en Gaspésie centrale, dans certaines roches sédimentaires du Dévonien (calcaires et siltstones) envahies par des roches ignées. Ces gisements sont exploités et les plus importants d'entre eux

sont ceux de la mine Gaspé Copper à Murdochville (partie amont des bassins 08 et 04) et de la mine Madeleine (partie amont du bassin 14). Le tableau D.2.4 résume les principales caractéristiques des monts Notre-Dame et les paramètres qui peuvent être affectés.

- Monts Mégantic

Les formations des monts Mégantic sont constituées d'ardoises grises et noires, de grès, de quartzites et de roches volcaniques renfermant des intrusions de roches ignées: granites, diorites et gabbros. La composition minéralogique de ces formations est la même que celle des formations des bas-plateaux et des monts Notre-Dame.

D.2.3 Géologie et minéralogie des dépôts meubles

a) *Basses-terres*

Les dépôts meubles recouvrant les basses-terres sont des tills glaciaires et des argiles marines Champlain.

Les tills glaciaires comprennent le till de Gentilly, sableux et légèrement calcaireux et le till de Bécancour, sableux et de couleur rouge parce qu'il dérive des shales rouges de Queenstone (bassins 36 et 37).

Les argiles Champlain occupent 20% de la superficie du bassin 40 et 75% du bassin 39. Leur composition minéralogique est décrite plus loin, à la section D.3.3.

b) *Appalaches*

La majeure partie des bas-plateaux est recouverte de tills appalachiens bien que le long du littoral du fleuve, on trouve des argiles d'origine récente et des argiles calcaireuses d'origine marine.

TABLEAU D.2.4: Minéralogie des roches consolidées des monts Notre-Dame et paramètres pouvant être affectés

Principaux types des roches	Principaux minéraux	Paramètres pouvant être affectés
Roches ultra-basiques: - péridotite - pyroxénite	- olivine - serpentine - talc - hypersthène - chlorite - pyroxène - chromite	Mg Mg, Fe, Si Mg, Si Fe, Mg, Ca, Si Fe, Mg, K, Si Mg, Si, Fe, Ca Cr
Schistes ardisiers noirs	- quartz - feldspath - graptolite	Si Si, K, Na, Ca C
Grès feldspathiques (arkoses)	- quartz - orthose (feldspath potassique)	Si Si, K
Roches volcaniques: - roches vertes (gabbros)	- quartz - feldspath plagioclase (albite) - épidote - chlorite - calcite - pyrite	Si Na, Si Si, Fe, Ca Fe, Mg, K, Si Ca, CO ₃ Fe
Calcaires et siltstones calcaireux envahis par des roches ignées	- calcite - minéraux associés: . chalcopryrite . blende . galène . pyrite	Ca, CO ₃ Cu, S Zn, S Pb, S Fe, S
Schistes des monts Chic-Chocs	- quartz - feldspath (albite) - chlorite - hornblende - épidote - amphibole	Si Na, Si Fe, Mg, K, Si Fe, Mg, Ca, Si Fe, Ca, Si Ca, Mg, Si, Fe
Roches volcaniques des monts Chic-Chocs - basaltes	- olivine	Mg, Fe
Intrusions ignées: - granite - diorite - gabbro	- quartz - feldspath - quartz - feldspath - feldspath plagioclase - hornblende	Si Si, Na, K Si Si, Na, K Si, Na, Ca Fe, Mg, Ca, Si

Sur les monts Notre-Dame, les zones de tills alternent avec les zones d'affleurements rocheux. Sur les plus hauts sommets des monts Chic-Chocs, on ne rencontre que des affleurements rocheux. La composition minéralogique des tills appalachiens a déjà été décrite à la section D.1.3.

D.3 REGION HYDROGRAPHIQUE 03

D.3.1 Physiographie

La région 03 comprend deux régions physiographiques majeures, chacune correspondant à la province géologique du même nom: les basses-terres du Saint-Laurent et les Appalaches. Une importante faille, la faille de Logan, marque la limite entre les deux régions physiographiques et provinces géologiques.

Les basses-terres du Saint-Laurent s'étendent à l'ouest de la faille de Logan et sont constituées de formations rocheuses presque horizontales ce qui donne à la plaine du Saint-Laurent son aspect plutôt uniforme. L'altitude y dépasse rarement 150 m à l'exception des collines montérégiennes formées de roches ignées intrusives qui atteignent 525 m.

Les Appalaches correspondent à la région des Cantons de l'Est et s'étendent à l'est de la faille de Logan. Sur le plan physiographique, la région des Appalaches se subdivise en deux sous-régions: les bas plateaux du Québec oriental dont la surface est tantôt plane, tantôt ondulée et les monts Sutton dont le sommet atteint 967 m. d'altitude.

Le tableau D.3.1 indique le pourcentage approximatif de la superficie des bassins comprise à l'intérieur de chacune de ces deux régions physiographiques.

D.3.2 Géologie et minéralogie des roches consolidées

a) *Basses-terres*

Toutes les roches consolidées des basses-terres sauf celles des collines montérégiennes sont des roches sédimentaires d'âge cambrien et ordovicien. Ces roches comprennent des shales, des grès et des roches carbonatées:

calcaires et dolomies. Parmi les principaux groupes de formations, mentionnons les grès de Postdam (bassin 09), les dolomies de Beekmantown (bassin 09), les calcaires de Chazy, de Black River et de Trenton (bassin 04) et les shales souvent calcaireux d'Utica, de Lorraine et de Queenstone (bassins 04, 03, 02 et 01). Quant aux collines montérégiennes, elles consistent en intrusions de roches feldspathoïdes (essexite, syénite et syénite néphélinique) n'occupant qu'une infime partie du territoire. Les caractéristiques minéralogiques de cette région et les paramètres pouvant être affectés sont décrits dans le tableau D.3.2.

b) Appalaches

Les Appalaches sont constituées de roches fortement plissées ce qui explique le relief accentué de la zone appalachienne. Cette région comprend des roches sédimentaires d'âge paléozoïque (Ordovicien, Silurien et Dévonien) presque toutes métamorphosées: ardoises, schistes, grès, grauwackes, quartzites, conglomérats et calcaires. Etroitement associées à ces roches sédimentaires, on rencontre des roches volcaniques du même âge. Cet assemblage de roches sédimentaires et volcaniques est fortement plissé, bouleversé et envahi par des intrusions de roches ignées ultra-basiques à acides.

Les roches ultra-basiques comprennent la pyroxénite et la péridotite; la péridotite métamorphosée en serpentine renferme les importants gisements d'amiante de l'extrémité nord-est de la région (bassin 02).

Là où les roches intrusives ont envahi les roches sédimentaires et volcaniques, on trouve des gisements de cuivre, de plomb et de zinc qui sont exploités (bassin 02).

Les deux sous-régions physiographiques, bas-plateaux et Monts Sutton, possèdent à peu près les mêmes formations géologiques. On peut toutefois spécifier que les Monts Sutton comportent:

- a) des formations méta-sédimentaires: schistes et quartzites;
- b) des formations volcaniques anciennes: schistes, andésites, basaltes et roches vertes.

TABLEAU D.3.1: Physiographie de la région hydrographique 03
(% de la superficie des bassins)

REGION	BASSINS*	BASSES-TERRES (%)	APPALACHES	
			BAS-PLATEAUX (%)	MONTS SUTTON (%)
03	01	25	70	5
	02	20	60	20
	03	50	50	5
	04	95	0	5
	09	100	0	0

* Numéro de code du M.R.N.

TABLEAU D.3.2: Minéralogie des roches consolidées des basses-terres et paramètres pouvant être affectés

Principaux types de roches	Principaux minéraux	Paramètres pouvant être affectés
Shales	- minéraux argileux: kaolinite, illite, - chlorite - calcite - mica	K, Ca, Mg, Fe, Si, Cl ⁽¹⁾ , SO ₄ ⁽¹⁾ Fe, Mg, K, Si Ca, CO ₃ K, Mg, Fe, Si
Shales rouges de Queenstone	- minéraux argileux - gypse	K, Ca, Mg, Fe, Si, Cl ⁽¹⁾ , SO ₄ ⁽¹⁾ Ca, SO ₄ , Na, Cl, Mg
Calcaires	- calcite	Ca, CO ₃
Dolomies	- dolomite	Mg, Ca, CO ₃
Grès siliceux de Postdam	- quartz - orthose	Si Si, K
Grès à ciment dolomitique de Postdam	- quartz - orthose - dolomite	Si Si, K Mg, Ca, CO ₃

⁽¹⁾ Ne représentent pas les éléments constitutants de ces roches mais sont étroitement associés à leur présence.

Les caractéristiques minéralogiques de cette zone et les paramètres pouvant être influencés sont regroupés dans le tableau D.3.3.

D.3.3 Géologie et minéralogie des dépôts meubles

a) *Basses-terres*

A l'époque quaternaire, les roches sédimentaires des basses-terres ont été entièrement recouvertes de dépôts glaciaires (tills) et fluvio-glaciaires provenant de la glaciation du Wisconsin. La majeure partie de ces dépôts glaciaires ont été recouverts à leur tour par les sédiments de la mer de Champlain: argiles et sables. Les argiles marines représentent le type de dépôt meuble le plus abondant et le plus caractéristique des basses-terres.

En plus des dépôts d'origine glaciaire et marine, on rencontre assez fréquemment des dépôts organiques de tourbières ou de marécages s'accumulant dans le fond des dépressions et plus particulièrement dans les bassins 09 et 04.

Les tills glaciaires

Les tills des basses-terres sont caractérisés par leur texture relativement argileuse. Leur épaisseur varie de 8 à 10 m. Ils sont constitués des minéraux suivants: de 15 à 35% de minéraux argileux (illite, chlorite) et de 20 à 50% de carbonates provenant des roches sous-jacentes (calcaires, dolomies, shales calcaireux, etc.). De plus, les tills contiennent un pourcentage significatif de minéraux provenant de fragments de roches laurentiennes précambriennes transportées par le glacier (quartz, feldspath, amphibole), en moyenne de 10 à 15% (mais ce pourcentage peut atteindre jusqu'à 50% près de la bordure du bouclier canadien). Il est à noter que sur les shales rouges de Queenstone, les tills sont sableux et de couleur rouge (bassin 01).

Les argiles marines

Les argiles marines ont une épaisseur variant de 0 à 70 m et pouvant atteindre 75 m dans le bassin 04. La composition minéralogique des argiles mari-

TABLEAU D.3.3: Minéralogie des roches consolidées des Appalaches et paramètres pouvant être affectés

Principaux types de roches	Principaux minéraux	Paramètres pouvant être affectés
Schistes noirs ou gris pyriteux	- quartz - mica - chlorite - pyrite	Si K, Mg, Fe, Si Fe, Mg, K, Si Fe, pH<7
Ardoises rouges et vertes du groupe de Sillery	- quartz - feldspath - hématite - chlorite	Si Si, Na, K Fe Fe, Mg, K, Si
Roches volcaniques (rhyolite, andésite, basalte) envahies par des intrusions acides	minéraux associés: - chalcopryrite - blende - galène - pyrite	Cu, Fe, S Zn, S Pb, S Fe, S
Intrusions ultra-basiques: - péridotite - pyroxénite	- olivine - serpentine - talc - chlorite - hypersthène - pyroxène	Mg, Fe Mg, Si, Fe Mg, Si Fe, Mg, K, Si Fe, Mg, Ca, Si Mg, Fe, Ca, Si
Schistes des monts Sutton	- quartz - mica - chlorite - épidote - feldspath - hornblende	Si K, Mg, Fe, Si Fe, Mg, K, Si Si, Fe, Ca Si, Na, K Mg, Fe, Ca, Na, Si
Roches volcaniques des monts Sutton - andésite - schistes à séricite - basalte - roches vertes	- andésine - séricite - épidote - albite	Na, Ca, Si K, Mg, Si Si, Fe, Ca Na, Si

nes peut s'établir comme suit: de 25 à 35% de leur composition consiste en minéraux argileux (chlorite, illite, kaolinite) et en carbonates provenant des roches sous-jacentes des basses-terres; de 70 à 75% des minéraux consiste en fines particules de roches laurentiennes charriées par les glaciers: quartz, feldspath et amphibole.

Les argiles marines se caractérisent par leur grande porosité et leur faible perméabilité. La vitesse d'écoulement des eaux à l'intérieur des argiles est très faible et le temps de contact des eaux avec les particules d'argiles est très long, favorisant, ainsi la dissolution des sels qui y sont emprisonnés. Les eaux seront donc fortement minéralisées et les paramètres pouvant être affectés seront les suivants: Cl, SO₄, Na, Ca, K, Mg et le pH.

Les dépôts organiques des tourbières et marécages

L'eau en contact avec ces dépôts est ordinairement ferrugineuse et acide. De plus, les sulfates de l'eau peuvent subir une forte réduction en sulfures. Les paramètres affectés seront donc: SO₄, H₂S, Fe et pH < 7.

b) Appalaches

Les dépôts meubles dominants sont des tills glaciaires. Leur épaisseur est très variable: 10 à 12 m dans les vallées et moins de 1 m sur les interfluves.

Les tills des Cantons de l'Est ont une texture argilo-sableuse assez fine, contenant peu de blocs et sont souvent calcaires. Tout comme les tills appalachiens de la péninsule gaspésienne (régions 01 et 02), les tills des Cantons de l'Est ont une composition minéralogique influencée par la nature des roches du bouclier charriées par le glacier ainsi que par celle des roches sous-jacentes. Le tableau suivant présente la composition minéralogique de base des tills des Cantons de l'Est.

Minéraux	Paramètres possiblement affectés
minéraux argileux: illite, chlorite, etc.	K, Si, Mg, Fe
quartz	Si
feldspath	Si, Na, K
pyrite	Fe, S
calcite	Ca, CO ₃

Toutefois étant donné la grande diversité des roches sous-jacentes des Appalaches, la composition minéralogique des tills varie rapidement localement. Ainsi, dans la région de l'amiante, les affleurements de péridotite serpentinisée et de roches associées ont été fortement érodés par le glacier laurentien. C'est pourquoi l'on retrouve dans la composition des tills glaciaires de cette région (amont du bassin 02), des débris de roches ultra-basiques transportés par le glacier. Dans la zone de l'amiante, à la composition initiale du till s'ajoutent des composantes ultra-basiques qui apparaissent au tableau suivant:

Minéraux	Paramètres possiblement affectés
serpentine	Mg, Fe, Si
magnétite	Fe
chromite	Cr
pyroxène	Fe, Mg, Ca, Si

D.4 REGION HYDROGRAPHIQUE 04

D.4.1 Physiographie

La région 04 se trouve presque entièrement située dans la région physiographique des hautes-terres laurentiennes. Celles-ci s'élèvent brusquement au nord des basses-terres et leur altitude moyenne est de 600 m. Une partie de la région 04 située en bordure de la rivière des Outaouais, est comprise dans les basses-terres. Le

tableau D.4.1 indique le pourcentage approximatif de la superficie des bassins appartenant à chacune des deux régions physiographiques.

D.4.2 Géologie et minéralogie des roches consolidées

a) *Basses-terres*

Les principales formations rocheuses des basses-terres sont des calcaires dolomitiques de Beekmantown et des grès de Postdam. La composition minéralogique de ces formations est exposée au tableau D.3.2.

b) *Hautes-terres laurentiennes*

Sur le plan géologique, les hautes-terres laurentiennes appartiennent à la province géologique de Grenville laquelle se rattache au Bouclier canadien. La province de Grenville s'étend le long de la rive nord du fleuve et du golfe Saint-Laurent sur une largeur d'environ 320 km.

Le Bouclier est formé de roches très anciennes datant de l'époque précambrienne. Les roches sont nettement cristallines et la plupart d'entre elles sont des roches ignées ou métamorphiques.

Les formations rocheuses de la province géologique de Grenville sont principalement constituées de roches de la série de Grenville et de la série de Morin. Les roches de la série de Grenville comprennent des gneiss et paragneiss: quartzites, calcaires cristallins, gneiss à grenat et à sillimanite, gneiss à hornblende et à biotite et amphibolites. Les roches de la série de Morin comprennent des roches ignées intrusives: anorthosites et gabbros anorthositiques accompagnés de granite à pyroxène et de syénite. La composition minéralogique de ces roches de même que les principaux paramètres pouvant être affectés sont indiqués au tableau D.4.2.

D.4.3 Géologie et minéralogie des dépôts meubles

Les hautes-terres laurentiennes sont recouvertes d'une couche de till généralement mince mais devenant plus épaisse à proximité des rivières; l'épaisseur

TABLEAU D.4.1: Physiographie de la région hydrographique 04
(% de la superficie des bassins)

REGION	BASSINS*	BASSES-TERRES DU SAINT-LAURENT	HAUTES-TERRES LAURENTIENNES
04	08	5	95
	06	0	100
	02	0	100
	01	45	55

* Numero de code du M.R.N.

TABLEAU D.4.2: Minéralogie des roches consolidées des hautes-terres laurentiennes de la région hydrographique 04 et paramètres pouvant être affectés

Principaux types de roches	Principaux minéraux	Paramètres pouvant être affectés
Quartzites	- quartz - albite	Si Na, Si
Calcaires cristallins	- calcite - silicates	Ca Si
Gneiss à grenat et à sillimanite	- quartz - feldspath plagioclase - orthose - grenat - sillimanite	Si Ca, Na, Si K, Si Si, Fe, Mg, Ca Si
Gneiss à hornblende et à biotite	- quartz - feldspath plagioclase - hornblende - biotite	Si Ca, Na, Si Mg, Fe, Na K, Mg, Si, Fe
Amphibolites	- feldspath plagioclase - hornblende - pyroxène - andésine	Ca, Na Mg, Fe, Ca, Na, Si Mg, Fe, Ca, Si Ca, Na, Si
Anorthosites	- feldspath plagioclase (labrador)	Ca, Na, Si
Gabbros anorthositiques	- feldspath plagioclase - pyroxène	Ca, Na, Si Mg, Fe, Ca, Si
Granites verts ou roses à pyroxène	- quartz - orthose - mica - pyroxène	Si K, Si K, Mg, Fe, Si Mg, Ca, Fe, Si
Syénite (monzonite)	- andésine - augite	Ca, Na, Si Ca, Mg, Fe, Si

moyenne varie généralement de 2 à 8 m. La texture des tills laurentiens est plus grossière que celle des tills appalachiens. Cette texture est généralement sableuse et les blocs y sont abondants.

La minéralogie des tills laurentiens est aussi complexe que celle des roches dont ils dérivent et les minéraux lourds contenus dans les roches laurentiennes se retrouvent dans les tills. Ceux-ci contiennent du quartz, du feldspath, de la chlorite et de la kaolinite; des oxydes divers (magnétite, ilménite, hématite) et des minéraux ferro-magnésiens représentent 20% de leur composition minéralogique.

Les tills laurentiens ne provenant pas de roches carbonatées, les sols qui en dérivent sont des podzols (sols acides). La couverture de végétation coniférienne favorise également l'acidité des sols. L'eau des rivières en contact avec les podzols a donc un pH acide et une coloration brune parce qu'elle est chargée en acides humiques.

D.5 REGION HYDROGRAPHIQUE 05

D.5.1 Physiographie

La majeure partie de la région 05 est située dans les hautes-terres laurentiennes. Toutefois une mince bande en bordure du fleuve appartient aux basses-terres du Saint-Laurent.

La répartition du territoire des bassins à l'intérieur de chacune des deux régions physiographiques est présentée au tableau D.5.1

D.5.2 Géologie et minéralogie des roches consolidées

a) *Basses-terres*

Les principales formations rocheuses des basses-terres sont les suivantes: shales calcareux accompagnés de grès à grain fin de Lorraine; shales et calcaires d'Utica; calcaires de Trenton; calcaires dolomitiques de Black River et de Beekmantown. La composition minéralogique de ces roches est décrite à la section D.3.2.

TABLEAU D.5.1: Physiographie de la région hydrographique 05
(% de la superficie des bassins)

REGION	BASSINS*	BASSES-TERRES DU SAINT-LAURENT (%)	HAUTES-TERRES LAURENTIENNES (%)
05	22	30	70
	24	80	20
	26	30	70
	28	50	50
	30	100	0
	01	5	95
	02	100	0
	03	20	80
	04	30	70
	07	30	70
08	20	80	

* Numéro de code du M.R.N.

TABLEAU D.5.2: Minéralogie des roches consolidées des hautes-terres laurentiennes de la région hydrographique 05 et paramètres pouvant être affectés

Principaux types de roches	Principaux minéraux	Paramètres pouvant être affectés
Anorthosites	- feldspath plagioclase (labrador)	Na, Ca, Si
Gabbros anorthositiques	- feldspath plagioclase - pyroxène - ilménite (minéral associé)	Na, Ca, Si Mg, Fe, Ca, Si Fe, Ti
Gneiss à pyroxène	- quartz - feldspath plagioclase - pyroxène	Si Na, Ca, Si Mg, Fe, Ca, Si
Gneiss à biotite et à hornblende	- quartz - feldspath plagioclase - biotite - hornblende	Si Na, Ca, Si Si, Mg, K, Fe Mg, Fe, Na, Ca, Si
Quartzites	- quartz - feldspath plagioclase - graphite - séricite	Si Ca, Na, Si C K, Mg, Si
Amphibolites	- hornblende - pyroxène - andésine	Mg, Fe, Na, Ca, Si Mg, Fe, Ca, Si Ca, Na, Si
Granite	- quartz - orthose - feldspath plagioclase - mica	Si K, Si Ca, Na, Si K, Mg, Fe, Si
Syénite	- andésine - augite	Ca, Na, Si Ca, Mg, Fe, Si

b) Hautes-terres laurentiennes

Les hautes-terres laurentiennes de la région hydrographique 05 contiennent des roches cristallines précambriennes faisant partie de la province géologique de Grenville; gneiss, granites, anorthosites et gabbros sont les roches dominantes. La composition minéralogique de ces roches est indiquée au tableau D.5.2.

D.5.3 Géologie et minéralogie des dépôts meubles

a) Basses-terres

La partie des basses-terres située à l'ouest du bassin de la rivière Saint-Maurice (01) est recouverte d'argiles marines Champlain alors que la partie située à l'est de ce bassin est recouverte de sables de terrasses et de tills (moraine de Saint-Narcisse). Une épaisse couche de sables deltaïques a été déposée dans la partie aval du bassin 01.

b) Hautes-terres

Les hautes-terres sont en grande partie recouvertes de tills glaciaires bien que des affleurements rocheux dénudés se rencontrent dans les parties les plus élevées. Les tills laurentiens de la région hydrographique 05 ont les mêmes caractéristiques que ceux de la région 04 et leur composition minéralogique est similaire.

D.6 REGION HYDROGRAPHIQUE 06

D.6.1 Physiographie

La région hydrographique 06 se subdivise en deux régions physiographiques: les basses-terres du lac Saint-Jean qui constituent une enclave au sein du Bouclier et les hautes-terres laurentiennes. Le tableau D.6.1 indique le pourcentage de la superficie des bassins occupée par chaque région physiographique.

TABLEAU D.6.1: Physiographie de la région hydrographique 06

REGION	BASSINS*	BASSES-TERRES DU LAC SAINT-JEAN	HAUTES-TERRES LAURENTIENNES
06	16	10	90
	19	5	95
	21	5	95
	22	5	95
	29	-	-
	10	10	90

* Numéro de code du M.N.R.

D.6.2 Géologie et minéralogie des roches consolidées

a) *Basses-terres du lac Saint-Jean*

La partie sud et la partie ouest de la cuvette du lac Saint-Jean est constituée de roches sédimentaires de l'Ordovicien comprenant surtout des calcaires de Trenton et des shales d'Utica. La partie est des basses-terres contient des roches ignées du Précambrien, surtout des anorthosites.

La composition minéralogique de ces roches a déjà été décrite aux sections D.3.2 et D.4.2.

b) *Hautes-terres laurentiennes*

Les hautes-terres laurentiennes sont constituées de gneiss mélangés: gneiss à hornblende, gneiss à plagioclase et biotite, gneiss à grenat et sillimanite, gneiss à pyroxène, gneiss granitique. Dans la partie nord-est du lac on rencontre une vaste étendue d'anorthosite et quelques intrusions de monzonite, de syénite et de granite.

La composition minéralogique des roches des hautes-terres est décrite aux sections D.4.2 et D.5.2.

D.6.3 Géologie et minéralogie des dépôts meubles

a) *Basses-terres du lac Saint-Jean*

La partie sud du lac ainsi que les parties nord-est et sud-est du lac sont recouvertes de sédiments argileux laissés par la mer de Laflamme. Dans le bassin 290 B, ces argiles sont calcaireuses. Au nord des basses-terres une épaisse couche de sables deltaïques transportés par les grandes rivières du nord repose sur les argiles marines (bassins 21 et 22).

b) *Hautes-terres laurentiennes*

Les dépôts meubles sont des dépôts glaciaires généralement minces et les affleurements rocheux sont assez nombreux. Les tills de cette région ont des caractéristiques similaires à ceux de la région 05.

D.7 REGION HYDROGRAPHIQUE 07

D.7.1 Physiographie

La région 07 correspondant à la Côte Nord se trouve entièrement comprise dans les hautes-terres laurentiennes.

D.7.2 Géologie et minéralogie des roches consolidées

Les formations rocheuses de la région hydrographique 07 appartiennent à la province géologique de Grenville et sont constituées de gneiss, de paragneiss et de roches méta-sédimentaires et méta-volcaniques. Cet ensemble contient des intrusions de granite et de syénite ainsi que de larges masses d'anorthosites et de roches associées telles que gabbros anorthositiques. Notons que ces dernières formations contiennent des minéraux ferro-magnésiens et que des sulfures de fer y sont associés. Le tableau D.7.1 décrit les caractéristiques minéralogiques de cette région et les paramètres pouvant être affectés.

D.7.3 Géologie et minéralogie des dépôts meubles

Sur les hautes-terres laurentiennes de la région 07, les affleurements rocheux sont nombreux. Les dépôts glaciaires (tills) consistent en sables et en galets provenant des roches sous-jacentes (gneiss ou anorthosites). Les formations meubles les plus épaisses sont contigües aux cours d'eau principaux.

Le long du littoral du fleuve, une étroite bande de 4 à 6 km de largeur située au dessous de la cote de 128 m, a été inondée par la mer de Champlain et est donc recouverte de sédiments marins. Les gisements de sables magnétiques (ferrifères) sont nombreux sur le littoral, notamment près de l'embouchure du bassin 23.

TABLEAU D.7.1: Minéralogie des roches consolidées des hautes-terres laurentiennes de la région hydrographique 07 et paramètres pouvant être affectés

Principaux types de roches	Principaux minéraux	Paramètres pouvant être affectés
Gneiss à grenat et sillimanite	<ul style="list-style-type: none"> - quartz - feldspath plagioclase - orthose - biotite - grenat - sillimanite 	<ul style="list-style-type: none"> Si Ca, Na, Si K, Si Fe, K, Mg, Si Si, Fe, Mg, Ca Si
Gneiss à hornblende et plagioclase	<ul style="list-style-type: none"> - quartz - feldspath plagioclase - hornblende 	<ul style="list-style-type: none"> Si Ca, Na, Si Fe, Mg, Na, Ca, Si
Gneiss à pyroxène	<ul style="list-style-type: none"> - quartz - feldspath plagioclase - pyroxène 	<ul style="list-style-type: none"> Si Ca, Na, Si Mg, Fe, Ca, Si
Anorthosites à labrador et andésine	<ul style="list-style-type: none"> - feldspath plagioclase (90%): <ul style="list-style-type: none"> . andésine . labrador - minéraux ferro-magnésiens (10%): <ul style="list-style-type: none"> . hornblende . biotite . pyroxène 	<ul style="list-style-type: none"> Ca, Na, Si Ca, Na, Si Fe, Mg, Na, Ca, Si Fe, Mg, Si Fe, Mg, Ca, Si
Gabbros anorthositiques	<ul style="list-style-type: none"> - feldspath plagioclase (70%) - minéraux ferro-magnésiens (30%): <ul style="list-style-type: none"> . amphibole . biotite . hypersthène . augite . magnétite (minéral) . ilménite (minéral associé) 	<ul style="list-style-type: none"> Ca, Na, Si Fe, Mg, Ca, Si Mg, K, Fe, Si Fe, Mg, Ca, Si Fe, Mg, Ca, Si Fe Ti, Fe
Granite et syénite	<ul style="list-style-type: none"> - quartz - orthose - feldspath plagioclase 	<ul style="list-style-type: none"> Si K, Si Ca, Na, Si

D.8 INCIDENCE DES ROCHES SUR LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DU MILIEU AQUATIQUE

Après avoir présenté une description géologique des sept régions hydrographiques et procédé à un inventaire des principaux minéraux dont sont constituées les formations rocheuses, il est utile d'établir des relations entre la nature des roches et la composition physico-chimique du milieu aquatique.

Les principaux minéraux qui constituent la plupart des roches ne sont pas immédiatement solubles. Mais il peut exister à l'intérieur de ces roches, une très petite quantité de minéraux beaucoup plus solubles qui exerceront une influence majeure sur la composition de l'eau circulant sur cette roche. Ceci signifie que dans une roche, des composants mineurs peuvent affecter de façon majeure la composition de l'eau de surface.

Le degré de solubilité des roches est lié à leur texture et leur structure tout autant qu'à la nature des minéraux qui les constituent. La perméabilité, la porosité, le degré de fissuration ou de fracturation de la roche sont autant de facteurs pouvant influencer sur sa solubilité et par conséquent affecter la composition physico-chimique de l'eau en contact avec cette roche. Les minéraux des roches se comportent de façon différente dans le milieu aquatique selon qu'il s'agit de roches sédimentaires, de roches ignées ou de roches métamorphiques.

D.8.1 Les roches sédimentaires

Les roches sédimentaires que l'on retrouve dans les basses-terres du Saint-Laurent et dans les Appalaches sont des roches généralement altérables et constituées de minéraux solubles.

Les *calcaires* sont des roches poreuses et assez solubles qui donneront des eaux riches en carbonates et pauvres en sulfates et en chlorures. Les eaux des calcaires sont chargées en calcium dont la teneur est liée à celle des carbonates.

Ce qui concerne les calcaires peut s'appliquer aux *dolomies*; toutefois, l'eau en contact avec ces dernières roches risque d'avoir une teneur en calcium plus élevée qu'en magnésium, la calcite étant plus soluble que la dolomite.

Les *shales* sont formés d'argiles consolidées. Ces roches sont très poreuses et contiennent des sels qui ont été retenus dans leurs pores lors de la consolidation des argiles. Comme les shales sont peu perméables, la vitesse de circulation des eaux y est très lente et le temps de contact est très long ce qui favorise une forte minéralisation des eaux. Celles-ci seront chargées en chlorures et en sulfates.

Les *grès* siliceux sont composés de quartz et de minéraux résistants. Ces roches sont dures et peu solubles. Les grès à ciment carbonaté (calcaire ou dolimitique) sont plus solubles et peuvent contribuer à augmenter la teneur en calcium et en magnésium du milieu aquatique.

D.8.2 Les roches ignées

Les roches ignées composent la majeure partie des roches du bouclier et on en retrouve en certains points des Appalaches. Elles comprennent des roches intrusives telles que les *granites*. Ces roches sont cristallines, massives, très dures, peu poreuses et imperméables. Les granites sont riches en quartz et contiennent une forte proportion de feldspath potassique et sodique. Le principal élément constituant ces minéraux est la silice. D'autres roches telles que les *gabbros* sont pauvres en quartz mais contiennent des feldspaths plagioclases. Ces roches contiennent une assez forte proportion de minéraux ferro-magnésiens tels que hornblende, amphibole et olivine. Dans les *péridotites* qui sont des roches intrusives ultra-basiques, le quartz et le feldspath sont absents et les minéraux ferro-magnésiens prédominent.

La composition de l'eau en contact avec les roches ignées sera liée à la superficie de la roche solide pouvant être attaquée par l'eau. Ces roches sont relativement imperméables et l'eau de surface coulant sur les aires où les roches ignées affleurent est peu chargée en minéraux parce que l'altération de la roche

ignée est lente. Les concentrations atteintes sont fonction du temps de contact et de la superficie de la roche solide exposée à l'eau.

Les alcalins (sodium et potassium) s'éliminent des roches ignées plus facilement et sont mis en solution en plus grande quantité que les alcalino-terreux (magnésium et calcium). Le sodium se retrouve dans l'eau en plus grande quantité que le potassium malgré la prédominance de ce dernier élément dans les roches. Les eaux des roches ignées sont généralement chargées en silice à l'exception des roches qui sont pauvres en quartz et qui contiennent une importante quantité de minéraux ferro-magnésiens.

D.8.3 Les roches métamorphiques

Toutes les roches peuvent être métamorphosées. L'altération d'une roche est causée par la pression ou la chaleur qui changent ses propriétés physiques et parfois sa composition minéralogique. Les eaux de ces formations sont faiblement minéralisées et elles se comportent d'avantage comme les eaux des roches ignées plutôt que comme celles des roches sédimentaires qui ont pu les précéder avant le métamorphisme.

Dans l'eau des *gneiss* et des *schistes*, la forte teneur en silice démontre l'influence des silicates. La structure dense des *ardoises*, une forme métamorphosée des shales et celle des *quartzites*, une forme métamorphosée des grès, tend à empêcher l'infiltration de l'eau et la fissuration des roches. Par conséquent, l'eau a une très faible possibilité d'être chargée en minéraux. L'eau des ardoises et des quartzites sera donc très peu chargée en sels.

LISTE DES REFERENCES

- BERGERON, R. et DELAND, A. (1966). "Exposé sommaire de la Géologie du Québec". Direction des Services Géologiques, Ministère des Richesses naturelles du Québec, 22 p.
- BUREAU DE LA STATISTIQUE DU QUEBEC (1974). "Le relief du Québec". in: Annuaire du Québec 1974.
- DRESSER, J.A. et DENIS, T.C. (1946). "La Géologie de Québec", Volume II, Géologie descriptive, Rapport géologique No. 20, Ministère des Mines, Province de Québec, Canada, 647 p.
- GADD, N.R. (1971). "Pleistocene Geology of the Central St. Lawrence Lowland", Mémoire 359, Geological Survey of Canada, Department of Energy, Mines and Resources, 153 p.
- GADD, N.R., LASALLE, P. et al (1972). "Géologie et géomorphologie du Quaternaire dans le Québec méridional". XXIVième Congrès international de Géologie, Montréal, 1972, Livret-guide pour les excursions A44-C44, 74 p.
- HEM, J.D. (1970). "Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water". U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1473, 363 p.
- JONES, I.W. (1948). "Un aperçu de la géologie de la province de Québec". Ministère des Mines, Province de Québec, 12 p.
- JUNG, J. (1969). "Précis de pétrographie. Roches sédimentaires, métamorphiques et éruptives". Masson et Cie, éditeurs, 332 p.
- LIEBLING, R.S. et KERR, P.F. (1965). "Observations of Quick Clay". Geological Society of America Bulletin., Volume 76, p. 853-878.
- PREVOT, J.M. (1972). "Carte hydrogéologique des basses-terres du Saint-Laurent". Direction générale des Eaux, Ministère des Richesses naturelles du Québec.
- ROUSSEAU, L. (1976). "Cours de minéralogie". INRS-Eau, Université du Québec, 94 p.

LISTE DES REFERENCES (SUITE)

SCOTT, J.S. (1975). "Geology of Canadian Till" in: Glacial Till, an Inter-disciplinary study. The Royal Society of Canada, Special Publications no. 12, pp. 50-66.

SHILTS, W.W. (1973). "Glacial dispersal of rocks, minerals and trace elements in Wisconsinian till, Southeastern Quebec, Canada." Geol. Soc. Amer. Mem. 136 p., pp. 189-219.

Les rapports géologiques du Ministère des Richesses naturelles ont été largement consultés. Il en va de même des rapports des dépôts meubles publiés par le Ministère des Richesses naturelles du Québec et par le Ministère de l'Energie, des Mines et des Ressources du Canada. De plus, certains renseignements très utiles concernant les dépôts meubles nous furent communiqués par monsieur Pierre Lasalle, du Ministère des Richesses naturelles du Québec.