

**Direction du suivi de l'état de l'environnement**

**PROJET NORANDA PHASE IV  
ÉVOLUTION RÉCENTE DE L'ACIDITÉ DES LACS DE L'OUEST  
QUÉBÉCOIS**

**Par  
Jacques Dupont, M. Sc.**

**Mai 2004**

**Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec**

**Envirodoq : ENV/2004/0136**  
**Collection : QE/141**

---

## ÉQUIPE DE RÉALISATION

---

Rédaction et traitement des données :	Jacques Dupont, M. Sc. <sup>1</sup>
Révision et collaboration :	Yvon Richard, M. Sc. <sup>1</sup> Patricia Robitaille, M. Sc. <sup>1</sup> Christian Gagnon, Ph. D. <sup>2</sup>
Personnel technique :	Yves Laporte <sup>1</sup>
Figures et cartes :	Jacques Dupont, M. Sc. <sup>1</sup> Line Savoie <sup>1</sup>
Mise en page :	Lyne Martineau <sup>1</sup>
Analyses en laboratoire :	Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec <sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère de l'Environnement, édifice Marie-Guyart, 675, boulevard René-Lévesque Est, 7<sup>e</sup> étage, Québec (Québec), G1R 5V7.

<sup>2</sup> Centre Saint-Laurent, Environnement Canada, 105, rue McGill, 7<sup>e</sup> étage, Montréal (Québec), H2Y 2E7.

<sup>3</sup> Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, Complexe scientifique, 2700, rue Einstein, Sainte-Foy (Québec), G1P 3W8.

## PROJET NORANDA PHASE IV – ÉVOLUTION RÉCENTE DE L'ACIDITÉ DES LACS DE L'OUEST QUÉBÉCOIS

Référence : DUPONT, J. 2004. *Projet Noranda phase IV – Évolution récente de l'acidité des lacs de l'ouest québécois*, Québec, ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, Envirodoq n° ENV/2004/0136, collection n° QE/141, 26 p. et 4 ann.

### RÉSUMÉ

Le gouvernement du Québec a adopté une série de mesures dans les années 1980 visant à réduire les émissions de SO<sub>2</sub> sur le territoire québécois. Dans cette foulée, la société Mines Noranda a mis en oeuvre une série de correctifs à la fin des années 1980 qui ont permis de réduire de 70 % ses émissions (sur la base des données de 1980) et de viser une réduction de 90 % pour 2010. Des mesures similaires ont été prises en Ontario au cours des 20 dernières années alors que les États-Unis ont opté pour une réduction de 40 % de leurs émissions de SO<sub>2</sub> d'ici 2010. Consécutivement à ces actions, une amélioration de la qualité des précipitations a été observée à plusieurs sites d'échantillonnage de l'ouest québécois. Le nouvel échantillonnage physico-chimique des lacs visités en 1982, 1991 et 1996 dans cette même région, effectué en 2001, a permis de constater que l'amélioration de la qualité des eaux de surface de ces lacs se poursuivait bien que les plus acides d'entre eux aient encore peu profité de ces interventions.

La baisse des concentrations de sulfates dans les lacs a été très marquée à proximité de Rouyn-Noranda au début des années 1990 pour s'amenuiser au cours de la dernière décennie. Le suivi environnemental a permis de constater que des améliorations mineures continuent d'être observées pour le pH, l'alcalinité totale et les concentrations en aluminium. Par contre, les hausses de nitrates et de nitrites à proximité de Rouyn-Noranda et la baisse généralisée du calcium partout sur le territoire laissent maintenant présager des problèmes potentiels de réacidification par l'azote et d'accroissement de la sensibilité des milieux. L'observation faite en 1996, à l'effet que la hausse du pH et des concentrations d'alcalinité totale était faible dans les lacs les plus acides, est maintenue en 2001 pour les lacs aux eaux fortement colorées. La réversibilité de l'acidification dans cette partie du Québec apparaît donc comme un processus très lent et graduel.

**MOTS CLÉS :** Rouyn-Noranda, acidification, réversibilité, variation temporelle, lacs, sulfates, dépôts, nitrates, réduction d'émission de SO<sub>2</sub>.

---

## TABLE DES MATIÈRES

<b>Équipe de réalisation</b> .....	i
<b>Résumé</b> .....	ii
<b>Table des matières</b> .....	iii
<b>Liste des tableaux</b> .....	iii
<b>Liste des figures</b> .....	iv
<b>Liste des annexes</b> .....	iv
<b>INTRODUCTION</b> .....	1
<b>MATÉRIEL ET MÉTHODES</b> .....	2
<b>RÉSULTATS ET DISCUSSION</b> .....	5
Évolution de la qualité de l'eau depuis 1982 .....	5
Observations générales sur l'évolution récente de la qualité des eaux de l'ouest québécois .....	14
Cas des lacs à dorés de la région de Belleterre au Témiscamingue .....	17
Nomogramme de classification .....	20
<b>CONCLUSION</b> .....	22
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	23

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Liste des paramètres étudiés et des méthodes analytiques utilisées.....	4
Tableau 2	Statistiques descriptives des variables mesurées et calculées pour les échantillonnages de 1982, 1991, 1996 et 2001 .....	6
Tableau 3	Écarts observés entre 1982 et 2001 pour divers paramètres mesurés et calculés pour les lacs échantillonnés dans la région de Rouyn-Noranda.....	8
Tableau 4	Changements significatifs détectés à la qualité de l'eau entre 1982 et 2001 .....	11

---

## LISTE DES FIGURES

Figure 1	Emplacement des lacs échantillonnés dans la région de Rouyn-Noranda .....	3
Figure 2	Changements des valeurs de pH, d'alcalinité, de sulfates, de calcium, d'aluminium filtré, d'aluminium labile et de conductivité entre 1982 et 2001 en fonction de la distance de Rouyn-Noranda .....	9
Figure 3	Changements des valeurs de nitrates et nitrites, d'azote ammoniacal, de calcium, de magnésium, de couleur vraie et de tannins et lignines entre 1982 et 2001 en fonction de la distance de Rouyn-Noranda .....	10
Figure 4	Amplitude des changements survenus entre 1982 et 2001 pour le pH, l'alcalinité, les sulfates, les nitrates et nitrites, l'azote ammoniacal, le calcium et la conductivité .....	12
Figure 5	Évolution des concentrations de nitrates et de nitrites à la station 04300002 localisée sur la rivière Kinojévis .....	13
Figure 6	Changements survenus entre 1982 et 2001 dans les indicateurs d'acidification et de sensibilité à l'acidification.....	15
Figure 7	Hausse du pH dans neuf lacs de la région de Belleterre au Témiscamingue .....	18
Figure 8	Évolution de l'alcalinité dans neuf lacs de la région de Belleterre au Témiscamingue .....	19
Figure 9	Évolution de la couleur vraie dans neuf lacs de la région de Belleterre au Témiscamingue .....	19
Figure 10	Changements survenus dans les concentrations relatives d'anions entre 1982 et 2001 pour 36 lacs de la région de Rouyn-Noranda avec l'aide du nomogramme de classification .....	21

## LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	Données mesurées en 1982 sur 65 lacs du nord-ouest québécois
Annexe 2	Données mesurées en 1991 sur 64 lacs du nord-ouest québécois
Annexe 3	Données mesurées en 1996 sur 74 lacs du nord-ouest québécois
Annexe 4	Données mesurées en 2001 sur 45 lacs du nord-ouest québécois

---

---

## INTRODUCTION

L'acidification des eaux de surface a été largement documentée au cours des années 1980 et 1990. La géologie de la région pauvre en carbonates et l'exposition marquée aux retombées acides d'origine transfrontalière sont responsables de la grande vulnérabilité des eaux de surface et ont favorisé l'acidification récente d'un grand nombre de plans d'eau sur le territoire du Québec méridional (Dupont, 1993).

Au début des années 1980, l'usine Horne de Mines Noranda inc. à Rouyn-Noranda était responsable d'une large part des émissions totales annuelles de SO<sub>2</sub> au Québec. Elle émettait à elle seule 641 000 des 1 097 000 tonnes métriques de SO<sub>2</sub> émises au Québec en 1980 (Leduc *et al.*, 1996). D'autres sources importantes contribuent aussi à acidifier nos lacs. C'est le cas en particulier des apports atmosphériques transfrontaliers en provenance des États-Unis et de l'Ontario qui peuvent contribuer respectivement de 50 à 80 % et de 15 à 35 % de l'ensemble des dépôts de sulfates selon les régions (Lelièvre *et al.*, 1985). Les programmes de réduction d'émissions de SO<sub>2</sub> ont été efficaces puisque ces dépôts ont largement diminué depuis 1989. En 2001, Mines Noranda émettait 115 000 des 279 000 tonnes métriques de SO<sub>2</sub> émises annuellement au Québec. Pour cette société, il s'agit d'une réduction de 82 % de ses émissions alors, qu'à l'échelle du Québec, la réduction totale d'émissions entre 1982 et 2001 a été de 75 %. Cette baisse n'est pas terminée puisqu'on vise, pour 2010, des émissions de 75 000 tonnes métriques à Mines Noranda (88,3 % de réduction par rapport à 1980) et des émissions totales de 221 000 pour le Québec (80 % de réduction par rapport à 1980). Par contre, le contrôle des émissions d'oxyde d'azote a été très mitigé, ce qui explique que les dépôts de nitrates soient demeurés relativement stables au cours des 20 dernières années.

La preuve que les précipitations contribuent à l'acidification des eaux de surface n'est plus à faire puisque le concept fait l'unanimité dans la communauté scientifique (EPA, 1995; Jeffries, 1997; Driscoll *et al.*, 2001 et 2003). Il a été maintes fois démontré qu'un grand nombre de lacs sensibles du nord-est de l'Amérique du Nord et de la Scandinavie ont été acidifiés à divers degrés depuis le début de l'ère industrielle. Dans de nombreux cas, cette acidification d'origine anthropique s'est traduite par des dommages biologiques allant de la baisse de la diversité spécifique des organismes aquatiques jusqu'à la disparition de populations entières de poissons (Jeffries, 1997). De plus en plus d'études montrent par ailleurs que les réductions d'émissions peuvent réduire ou même renverser le processus d'acidification dans les écosystèmes lacustres (Bouchard, 1997; Driscoll *et al.*, 1998; Mallory *et al.*, 1998; Jeffries *et al.*, 2000; Evans et Monteith, 2001; Raddum *et al.*, 2001; Skjelkvale *et al.*, 2001a et 2001b; Laudon et Hemond, 2002; Keller *et al.*, 2003; EPA, 2003). La principale condition à cette récupération résiderait dans le fait que les dépôts acides soient ramenés en deçà du niveau des charges critiques que peuvent supporter les lacs (Curtis *et al.*, 2001; Gunn et Sandoy, 2001; Henriksen *et al.*, 2002; Jeffries *et al.*, 2003).

La première phase de l'échantillonnage des lacs de la région de Rouyn-Noranda (Dupont, 1984 et 1988) visait à établir l'impact direct des émissions polluantes de l'usine Horne de Mines Noranda inc. sur l'acidité des lacs environnants. Cette étude concluait que cette source d'émissions affectait directement la qualité des eaux des lacs situés dans un rayon de 125 kilomètres. Avec la mise en œuvre des programmes de contrôle des émissions de cette usine

ainsi que de celles provenant des provinces et états américains voisins, le projet Noranda a été réorienté pour évaluer l'impact des réductions d'émissions sur la réversibilité de l'acidification des lacs de la région de l'ouest québécois. Les 64 lacs échantillonnés en 1982 ont été visités de nouveau en 1991 (Dupont, 1992) et en 1996 (Dupont, 1997). Une dizaine de lacs acides aux eaux claires ont été intégrés à l'étude en 1991. En 2001, 45 de ces 74 lacs ont de nouveau fait l'objet d'un échantillonnage.

## **MATÉRIEL ET MÉTHODES**

Le territoire étudié couvre une zone de plus de 220 000 km<sup>2</sup> qui va de la frontière avec l'Ontario jusqu'au 74<sup>e</sup> méridien ouest et du 46<sup>e</sup> au 51<sup>e</sup> parallèle nord (figure 1). L'usine d'affinage de métaux non ferreux de Mines Noranda inc. se situe à proximité de la ville de Rouyn-Noranda, soit au centre ouest de la zone d'intérêt.

Les rapports de Dupont (1984 et 1993) font état du mode de sélection des 64 lacs visités à l'origine. Il est utile de rappeler que cette sélection a été faite selon une grille radiale autour de Rouyn-Noranda. Le rapport de Dupont (1997) complète la sélection avec une description des dix lacs aux eaux claires de la région de Belleterre située au sud de Rouyn-Noranda. À la suite d'une rationalisation des efforts d'échantillonnage en 2001, 45 des 74 lacs visités lors des inventaires précédents ont été échantillonnés de nouveau pour détecter un changement possible à leur qualité d'eau (36 lacs issus de l'échantillon originel et 9 des 10 lacs à dorés ajoutés en 1991). Les lacs retirés de l'étude étaient soit alcalins (très peu acides), soit trop éloignés de Rouyn-Noranda ou soit qu'ils présentaient des conditions réductrices (anoxie). Les lacs retenus se divisent encore en deux groupes distincts : les lacs aux eaux claires et peu minéralisées des hautes-terres des Laurentides et ceux aux eaux colorées des basses-terres de l'Abitibi. Les premiers se trouvent principalement au sud et à l'est de Rouyn-Noranda. Ils sont caractérisés par des eaux peu minéralisées dont la grande sensibilité vient de la faible épaisseur des sols et d'une géologie pauvre en carbonates (granites et gneiss). Les lacs des basses-terres de l'Abitibi se concentrent au nord et au nord-est de Rouyn-Noranda. Ils reposent pour la plupart sur des sols argileux relativement épais qui recouvrent des roches métasédimentaires et volcaniques. Ces lacs sont aussi très riches en matières humiques. Ils sont souvent peu profonds et présentent fréquemment des conditions d'anoxie hivernale.

Soixante-quatre lacs ont été échantillonnés avec succès en 1982, 70 en 1991, 72 en 1996 et 45 en 2001. Les quatre inventaires de données ont été menés en mars 1982, 1991, 1996 et 2001 sous couvert de glace. La cueillette d'un échantillon intégré 0-5 mètres a été effectuée au centre du lac, à l'endroit estimé le plus profond. Une vingtaine de variables ont alors été analysées (pH, pH à l'équilibre avec la pression atmosphérique en CO<sub>2</sub>, alcalinité, SO<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>4</sub>, N total, P total, tannins, turbidité, carbone inorganique dissous ou total (CID ou CIT), carbone organique dissous ou total (COD ou COT), Cl, conductivité, F, Si, Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Al filtré et Al inorganique). Le détail des protocoles d'échantillonnage et d'analyses en laboratoire est disponible dans Dupont (1984 et 1992) et est résumé dans le tableau 1.

Figure 1  
**EMPLACEMENT DES LACS ÉCHANTILLONNÉS  
 DANS LA RÉGION DE ROUYN-NORANDA**

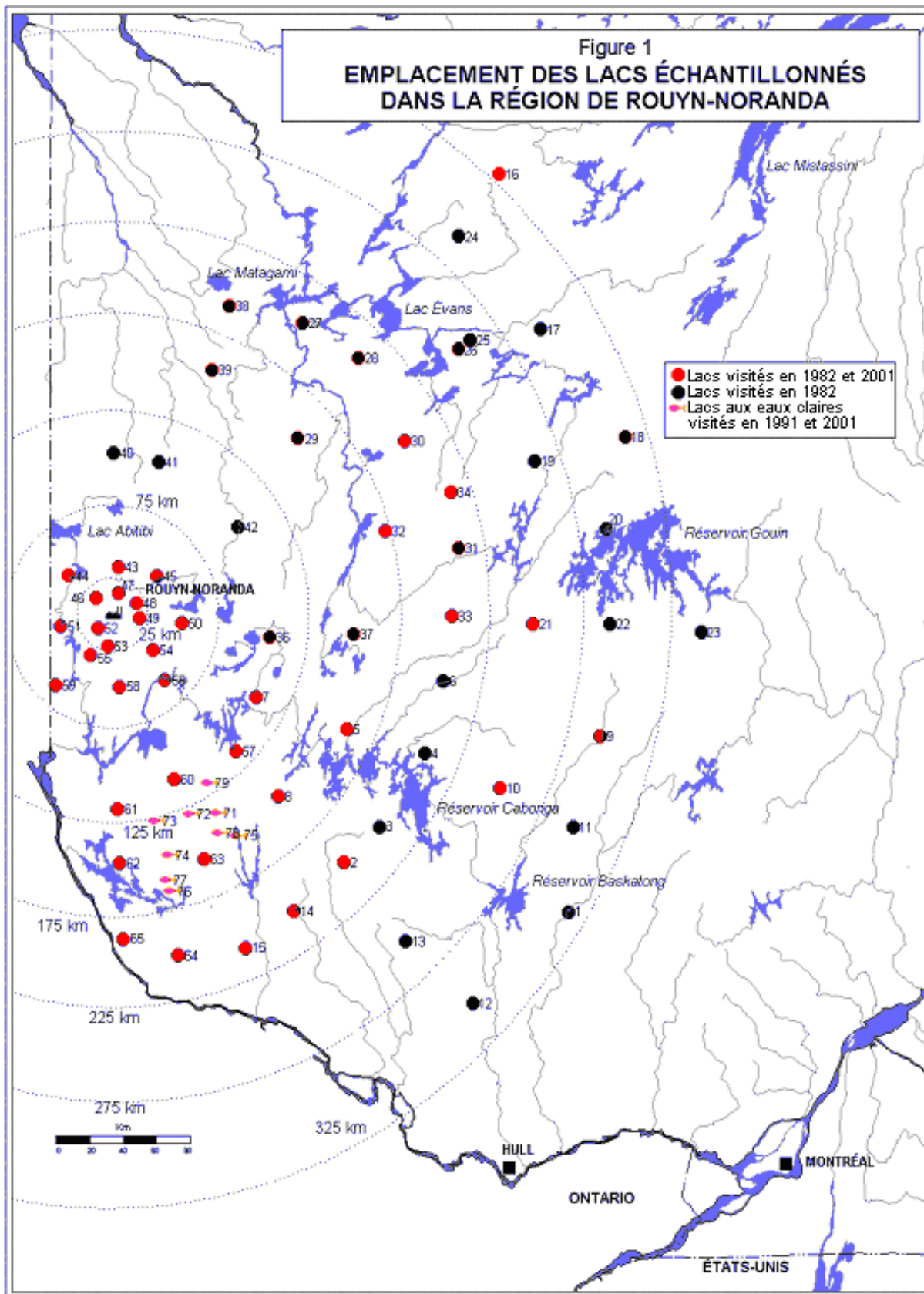


Tableau 1 Liste des paramètres étudiés et des méthodes analytiques utilisées

Paramètre	Unité	Méthodologie	Détection
pH	unité	Électrométrie automatisée	0,1
pH équilibré pour le pCO <sub>2</sub>	unité	Électrométrie automatisée sur échantillon à l'équilibre avec le CO <sub>2</sub> atmosphérique	0,1
Alcalinité totale	mg/l	Titration conductivimétrique à l'acide nitrique	0,1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	Colorimétrie automatisée à la calmagite	0,5
Couleur vraie	Hazen	Colorimétrie automatisée (platino-cobalt)	0,1
Tannins et lignines	mg/l	Colorimétrie automatisée	0,1
Conductivité	µS/cm	Électrométrie	0,1
NO <sub>3</sub> + NO <sub>2</sub>	mg/l	Colorimétrie automatisée à l'hydrazine	0,02
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	Colorimétrie automatisée au phénate de sodium	0,02
N Kjeldahl	mg/l	Colorimétrie automatisée	0,02
P total	mg/l	Colorimétrie automatisée	0,005
CID	mg/l	Conductivimétrie automatisée avec phénophtaléine	0,1
COD	mg/l	Conductivimétrie automatisée avec phénophtaléine	0,1
Turbidité	UTN	Néphélométrie	0,1
Si	mg/l	Colorimétrie automatisée au molybdate d'ammonium	0,1
Ca <sup>2+</sup>	mg/l	Spectrophotométrie d'émission au plasma d'argon	0,1
Mg <sup>2+</sup>	mg/l	Spectrophotométrie d'émission au plasma d'argon	0,1
Na <sup>+</sup>	mg/l	Spectrophotométrie d'émission au plasma d'argon	0,1
K <sup>+</sup>	mg/l	Spectrophotométrie d'émission au plasma d'argon	0,1
Cl <sup>-</sup>	mg/l	Titration conductivimétrique au thyocyanate de mercure	0,1
Fe	mg/l	Spectrophotométrie d'émission au plasma d'argon	0,01
Al filtré	mg/l	Spectrophotométrie d'émission au plasma d'argon	0,01
Al inorganique	mg/l	Résine échangeuse d'ion et spectrophotométrie d'émission au plasma d'argon	0,01

Source : CEAEQ (2001).

La validation des données a été réalisée en utilisant une cible de validation (graphique comparant l'écart ionique et l'écart entre les conductivités mesurées et estimées : voir Dupont 1984 pour une description de la méthode) et le nomogramme de classification (graphique comparant les concentrations relatives de bicarbonates, de sulfates et d'anions organiques : voir section *Nomogramme de classification*) (Bérubé et Dupont, 1995).

La comparaison des échantillons de 1982 et de 2001 a été faite au moyen du test non paramétrique de Wilcoxon et réalisée à partir d'éléments pairés (1982-2001). Ce dernier test est recommandé pour détecter une différence significative entre groupes dépendants. Dans ce cas-ci, la dépendance s'explique par le fait que l'on compare les mêmes lacs à deux périodes différentes. L'approche non paramétrique a été préférée au test-T parce que la distribution des variables ne répondait pas au critère de normalité. Le test de Wilcoxon est toutefois reconnu comme étant presque aussi puissant que le « t » de Student. L'ensemble du traitement statistique a été réalisé au moyen du logiciel statistique « CSS: Statistica 6 » (Statsoft, 1994-2001). La comparaison des

données paires n'a été effectuée que pour les lacs visités initialement en 1982. Les neuf lacs qui ne faisaient pas partie de l'échantillonnage de 1982 ont été exclus de cette analyse.

Les neuf lacs aux eaux claires sont des lacs à doré jaune qui ont été échantillonnés en mars 1991, 1996 et 2001, selon le même protocole d'échantillonnage que les 64 lacs d'origine du projet Noranda (un lac n'a pu être revisité en 2001). Ces lacs sont tous situés au sud de Rouyn-Noranda dans le secteur Belleterre (Témiscamingue). Ce sont tous des lacs aux eaux claires qui étaient acides ( $\text{pH} < 5,5$ ) en 1991. Ces données serviront à alimenter la discussion, mais ne pourront être utilisées conjointement avec les autres du fait que ces données sur la qualité de l'eau sont incomplètes et ne permettent pas de tester les hypothèses statistiques ou d'appliquer le nomogramme de classification pour comparer la période 1982-2001.

Le nomogramme de classification utilisé dans ce rapport permet la comparaison des concentrations relatives d'anions majeurs sur un graphique triaxial. Chaque sommet du graphique représente une dominance anionique des sulfates, des bicarbonates ou des anions organiques. Les nitrates et autres anions mineurs sont considérés négligeables bien qu'il soit possible d'ajouter les nitrates aux sulfates. Des droites d'iso-pH corrigées pour la pression partielle en  $\text{CO}_2$  atmosphérique viennent compléter le nomogramme. Le positionnement d'un point sur ce graphique permet de connaître sa dominance anionique et d'évaluer le type de plan d'eau (acide, non acide, organique, dystrophe, etc.). Le déplacement relatif d'un lac sur le nomogramme rend compte du changement qui s'est produit entre 1982 et 2001. Les données de 1991 et 1996 n'apparaissent pas dans cette figure puisque la majorité des valeurs se trouvaient à mi-chemin entre celles de 1982 et 2001. Une grande proportion des lacs ignorés en 2001 et initialement visités en 1982 présentaient un déficit en oxygène. La majorité de ces lacs étaient très riches en substances organiques et leur couleur vraie était exceptionnellement élevée (plus de 100 unités Hazen). Les conditions réductrices (anoxie) dans de tels lacs viennent masquer le niveau réel d'acidité ainsi que les contributions relatives effectives de sulfates dans le lac. Les sulfates sont alors réduits (sous-estimation des concentrations réelles) et sont parfois compensés par une augmentation de la génération interne d'alcalinité. Du fait que les sulfates soient réduits en hydrogène sulfureux ( $\text{H}_2\text{S}$ ) dans un tel environnement, la contribution relative en sulfates devient nulle ou presque, ce qui se traduit par un positionnement le long du côté gauche du nomogramme. Dupont (1985) discute en détails des caractéristiques du nomogramme de classification qui a été adapté du graphique triaxial de Cronan *et al.* (1978) alors que Bérubé et Dupont (1995) présentent une classification des divers types de lacs.

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

### Évolution de la qualité de l'eau depuis 1982

Le tableau 2 présente les statistiques descriptives (moyenne, médiane, minimum et maximum) pour l'ensemble des variables mesurées en laboratoire ainsi que pour une dizaine de paramètres calculés pour les quatre échantillonnages de 1982, 1991, 1996 et 2001. Dans le cas présent, les statistiques descriptives tiennent uniquement compte des 36 lacs visités à l'origine en 1982. Certains paramètres n'ont pas été analysés en 1982. C'est le cas du pH équilibré pour la pression

Tableau 2 Statistiques descriptives des variables mesurées et calculées pour les échantillonnages de 1982, 1991, 1996 et 2001

Variable	Unité	Moyenne				Médiane				Minimum				Maximum			
		1982	1991	1996	2001	1982	1991	1996	2001	1982	1991	1996	2001	1982	1991	1996	2001
<b>Variables mesurées (n = 36)</b>																	
pH	unités	6,0	5,8	6,0	6,0	6,1	6,0	6,1	6,1	4,3	4,3	4,5	4,5	7,2	7,1	7,1	7,0
pH équilibré	unités	-	6,4	6,7	6,6	-	6,7	6,8	6,8	-	4,4	4,6	4,6	-	7,9	8,0	8,0
Alcalinité	mg/l	8,8	7,7	9,0	9,3	3,4	3,1	3,8	3,6	0,1	0,1	0,1	0,1	50,0	36,0	50,0	50,0
SO <sub>4</sub>	mg/l	9,3	8,6	6,1	5,3	8,0	5,7	5,3	4,8	3,5	2,8	2,4	2,0	16,0	10,7	11,4	9,5
Couleur vraie	Hazen	26,9	35,8	32,3	33,3	20,5	27,5	29,0	18,5	1,0	1,0	3,0	4,0	120,0	140,0	178,0	120,0
COT/COD	mg/l	9,8	7,9	7,7	8,4	8,8	6,5	6,8	7,2	2,5	1,6	1,4	2,1	22,5	18,0	23,0	30,0
CIT/CID	mg/l	2,7	3,1	3,3	3,1	1,8	2,0	2,0	1,8	0,5	0,6	0,4	0,6	10,5	11,4	14,0	12,4
Tannins	mg/l	0,9	1,5	1,5	1,6	0,7	1,1	1,3	1,5	0,2	0,4	0,4	0,5	4,0	6,0	8,0	5,2
Turbidité	UTN	1,3	1,2	1,8	1,4	0,6	0,6	0,6	0,7	0,2	0,2	0,2	0,3	12,0	7,0	29,0	16,0
NO <sub>x</sub>	mg/l	0,06	0,06	0,08	0,12	0,04	0,05	0,06	0,08	0,02	0,02	0,01	0,01	0,19	0,23	0,32	0,61
NH <sub>4</sub>	mg/l	0,08	0,06	0,07	0,04	0,04	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,51	0,35	0,25	0,16
Ntotal	mg/l	0,28	0,31	0,24	0,35	0,23	0,27	0,22	0,29	0,06	0,08	0,11	0,14	0,78	0,76	0,58	0,99
P total	mg/l	0,011	0,014	0,009	0,006	0,007	0,010	0,005	0,005	0,007	0,010	0,005	0,005	0,030	0,080	0,050	0,005
Si	mg/l	-	4,3	4,1	3,5	-	4,3	4,0	3,2	-	1,0	0,1	0,1	-	8,4	9,9	7,8
Conductivité	uS/cm	45,4	37,0	38,9	36,2	34,3	28,8	27,0	24,8	16,2	13,5	12,6	12,5	120,0	92,0	108,0	109,0
Cl	mg/l	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	1,0	1,4	2,2	2,0
Ca	mg/l	4,8	3,8	4,3	4,1	3,0	2,5	2,7	2,4	0,7	0,5	0,5	0,5	17,0	13,7	17,8	15,7
Mg	mg/l	1,2	1,0	1,1	1,0	0,7	0,7	0,6	0,9	0,2	0,2	0,2	0,2	4,2	3,2	3,9	3,7
Na	mg/l	0,9	1,0	1,0	1,1	0,9	0,8	0,8	0,9	0,2	0,1	0,2	0,2	2,3	2,0	2,2	2,6
K	mg/l	0,6	0,5	0,5	0,4	0,6	0,5	0,4	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	1,2	1,0	0,9	1,1
Fe	mg/l	0,34	0,26	0,33	0,23	0,17	0,19	0,18	0,19	0,03	0,02	0,01	0,02	2,60	1,14	2,86	0,77
Al filtré	mg/l	0,142	0,155	0,094	0,127	0,080	0,135	0,070	0,096	0,050	0,020	0,005	0,009	0,450	0,420	0,410	0,377
Al labile	mg/l	-	0,036	0,021	0,016	-	0,020	0,010	0,007	-	0,000	0,005	0,000	-	0,160	0,240	0,087
Fond du lac	m	7,1	7,3	7,2		5,0	5,0	5,5		1,5	1,0	1,0		31,0	30,0	30,0	
<b>Variables calculées</b>																	
A-	ueq/l	86,6	68,0	68,3	75,4	75,8	59,8	57,7	66,6	15,2	9,7	9,0	13,9	169,1	139,6	167,0	289,5
SO <sub>4</sub>	ueq/l	178,4	127,1	120,9	102,1	166,6	118,7	110,3	98,9	72,9	58,9	50,0	41,6	333,1	222,8	237,3	197,8
HCO <sub>3</sub>	ueq/l	175,6	154,9	179,4	185,2	67,0	62,0	75,0	72,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1 000,0	720,0	1 000,0	1 000,0
Somme anions	ueq/l	440,6	350,0	355,3	362,6	314,8	251,1	261,3	247,6	156,0	122,5	98,5	109,6	1 304,5	936,0	1 203,4	1 167,5
% SO <sub>4</sub> /Anions	%	49,7	46,3	44,0	38,7	50,2	48,9	43,6	34,6	10,4	12,3	9,0	6,2	90,1	90,1	88,8	85,5
% CO <sub>3</sub> /Anions	%	26,6	30,2	32,1	35,3	21,0	25,8	30,3	32,1	0,6	1,0	1,0	0,9	76,7	78,7	83,1	85,6
% Al/Anions	%	23,7	23,5	23,9	25,9	22,9	20,6	20,6	24,8	7,9	6,5	4,9	7,2	61,6	63,9	66,5	75,6
[HCO <sub>3</sub> ] / [SO <sub>4</sub> ]		0,90	1,11	1,22	1,75	0,41	0,46	0,63	0,78	0,01	0,01	0,01	0,01	7,38	6,19	9,23	13,71
[Alc] / [Ca + Mg]		0,34	0,38	0,40	0,45	0,31	0,34	0,39	0,45	0,01	0,02	0,01	0,02	0,91	0,92	0,97	1,01
[SO <sub>4</sub> ] / [Ca + Mg]		0,77	0,68	0,63	0,58	0,67	0,68	0,58	0,50	0,12	0,15	0,11	0,07	3,04	2,77	2,11	2,46

---

partielle en CO<sub>2</sub>, le carbone organique dissous (COD) qui a remplacé le carbone organique total (COT), le carbone inorganique dissous (CID) qui a remplacé le carbone inorganique total (CIT), la silice et l'aluminium inorganique labile (spéciation). Plusieurs indicateurs de la sensibilité des lacs ou du degré d'exposition aux retombées acides ont été retenus. C'est le cas des rapports bicarbonates/sulfates, alcalinité/cations basiques et sulfates/cations basiques. Les contributions relatives en anions organiques, sulfates et bicarbonates ont aussi été rajoutées.

Une première lecture du tableau 2 montre que les valeurs sont restées relativement stables entre 1982 et 2001 pour les paramètres suivants : pH, alcalinité, couleur, COT/COD, CIT/CID, turbidité, azote total, phosphore, chlorure, calcium, magnésium, sodium, fer et aluminium filtré. D'autres ont subi des baisses constantes : sulfates, conductivité, potassium et aluminium labile. Par contre les concentrations de nitrates et de tannins ont subi une hausse. Selon ces seuls résultats, on pourrait croire que la baisse des dépôts de sulfates ne s'est traduite que par une diminution de la concentration de sulfates dans les lacs puisque le pH et l'alcalinité ne semblent pas avoir récupéré.

Ce premier examen semble donc indiquer que les baisses d'émissions de SO<sub>2</sub> n'ont eu aucun impact sur le niveau d'acidité des lacs, ce qui est probablement faux si on s'en remet aux paramètres calculés. Selon ces derniers, la médiane du pourcentage d'anions carbonatés (%CO<sub>3</sub>/Anions) est passée de 21 % à 32 % entre 1982 et 2001 alors que le pourcentage d'anions sulfates est passé de 50,2 % à 34,6 % pendant cette même période, le pourcentage d'anions organiques étant demeuré relativement stable. Cette augmentation de la concentration relative d'anions bicarbonate reflèterait une baisse de la sensibilité et de l'acidité des milieux aquatiques. La hausse des médianes du rapport bicarbonates/sulfates (HCO<sub>3</sub>/SO<sub>4</sub>) de 0,41 à 0,78 et du rapport alcalinité/cations (Alc/Ca + Mg) de 0,31 à 0,45 vient confirmer la diminution de sensibilité et d'exposition à l'acidification. La baisse des concentrations médianes d'aluminium labile (Al labile) confirme aussi cette hypothèse. On note toutefois une hausse des médianes et des moyennes des concentrations de nitrates depuis 1982, ce qui pourrait représenter un indice de l'accroissement du lessivage de l'azote dans les bassins versants.

Le tableau 3 présente les statistiques descriptives des écarts observés entre les valeurs obtenues en 1982 et en 2001. Malgré une faible hausse du pH, plusieurs indicateurs de qualité de l'eau laissent croire à une baisse des conditions d'acidité : hausse des valeurs d'alcalinité totale, du rapport bicarbonates/sulfates, du rapport alcalinité/cations basiques et du rapport carbonates/somme des anions ainsi que baisse de valeurs de sulfates, de conductivité, d'aluminium filtré et labile, du rapport sulfates/somme des anions et du rapport sulfates/cations basiques. D'autres paramètres laissent toutefois croire à une possible dégradation de la qualité de l'eau ou à un accroissement de la sensibilité des milieux à l'acidification. C'est le cas de la hausse des concentrations de nitrates et des baisses de concentrations de cations basiques (calcium, magnésium et potassium). Les changements de valeurs pour les paramètres associés à la présence de matière organique (couleur, tannins, turbidité et acides organiques) auraient peu d'incidences sur l'acidité des plans d'eau, comme le laisse supposer les valeurs relativement stables du rapport acides organiques/somme des anions.

Tableau 3 Écarts observés entre 1982 et 2001 pour divers paramètres mesurés et calculés pour les lacs échantillonnés dans la région de Rouyn-Noranda

Variable	Unité	N	Moyenne	Médiane	Min.	Max.	Étendue	Écart-type
pH	unité	36	0,04	0,06	-0,33	0,41	0,74	0,17
Alcalinité totale	mg/l	36	0,48	0,45	-11,00	13,0	24,00	3,15
SO <sub>4</sub>	mg/l	36	-3,67	-3,00	-9,00	0,00	9,00	2,27
Couleur	Hazen	36	6,4	4,0	-24,0	44,0	68,0	12,56
NO <sub>x</sub>	mg/l	36	0,05	0,02	-0,12	0,59	0,71	0,15
NH <sub>4</sub>	mg/l	36	-0,04	-0,02	-0,35	0,04	0,39	0,09
P total	mg/l	36	-0,005	-0,002	-0,050	0,043	0,09	0,015
Tannins	mg/l	36	0,74	0,75	0,00	1,70	1,70	0,41
Turbidité	UTN	36	0,10	0,10	-11,0	12,5	23,50	3,11
Conductivité	µS/cm	36	-9,23	-6,90	-29,0	7,0	36,00	7,27
Cl	mg/l	36	-0,10	0,00	-0,80	1,00	1,80	0,31
Ca	mg/l	36	-0,74	-0,65	-3,40	0,10	3,50	0,75
Mg	mg/l	36	-0,18	-0,14	-2,40	1,90	4,30	0,53
Na	mg/l	36	0,02	0,04	-0,70	0,70	1,40	0,23
K	mg/l	36	-0,17	-0,13	-0,61	0,30	0,91	0,20
Fe	mg/l	36	-0,117	-0,011	-2,260	0,280	2,54	0,426
Al filtré	mg/l	36	-0,015	-0,015	-0,175	0,119	0,294	0,059
Al labile *	mg/l	36	-0,020	-0,140	-0,083	0,012	0,095	0,021
A <sup>-</sup>	µeq/l	36	-11,21	-12,01	-100,30	127,01	227,30	32,41
%SO <sub>4</sub>	%	36	-11,01	-10,59	-20,70	0,55	21,25	5,99
%CO <sub>3</sub>	%	36	8,73	8,82	-0,32	19,32	19,64	6,17
%A	%	36	2,27	0,54	-9,52	20,37	29,89	7,16
[SO <sub>4</sub> ] / [HCO <sub>3</sub> ]		36	0,85	0,34	0,00	9,97	9,97	1,73
[Alc] / [Ca + Mg]		36	0,110	0,121	-0,031	0,257	0,288	0,086
[SO <sub>4</sub> ] / [Ca + Mg]		36	-0,183	-0,182	-0,581	0,049	0,630	0,127

Bleu : amélioration Rouge : dégradation

\* Comparaison 1991-2001

Le tableau 4 présente les résultats du test statistique non paramétrique de Wilcoxon (au niveau de confiance 0,05) appliqué sur les données paires 1982-2001. Ces résultats confirment plusieurs des observations faites pour les tableaux 2 et 3, à savoir qu'une amélioration est survenue dans les conditions d'acidité des lacs de l'ouest du Québec, et ce, malgré l'absence d'un changement significatif au niveau du pH. Ce tableau indique la présence d'une hausse de l'alcalinité, ainsi qu'une baisse des valeurs des sulfates, de la conductivité et de l'aluminium labile (1991-2001). Mais, comme mentionné précédemment, la baisse des valeurs des cations et l'augmentation des concentrations des nitrates laissent présager une augmentation de la sensibilité des milieux à l'acidification.

Les figures 2 et 3 présentent la répartition des valeurs de plusieurs paramètres en fonction de la distance de Rouyn-Noranda. Des courbes lissées avec une équation mathématique (moindres carrées) ont été ajoutées à ces graphiques pour faire ressortir la répartition générale des valeurs pour les années 1982, 1991, 1996 et 2001.

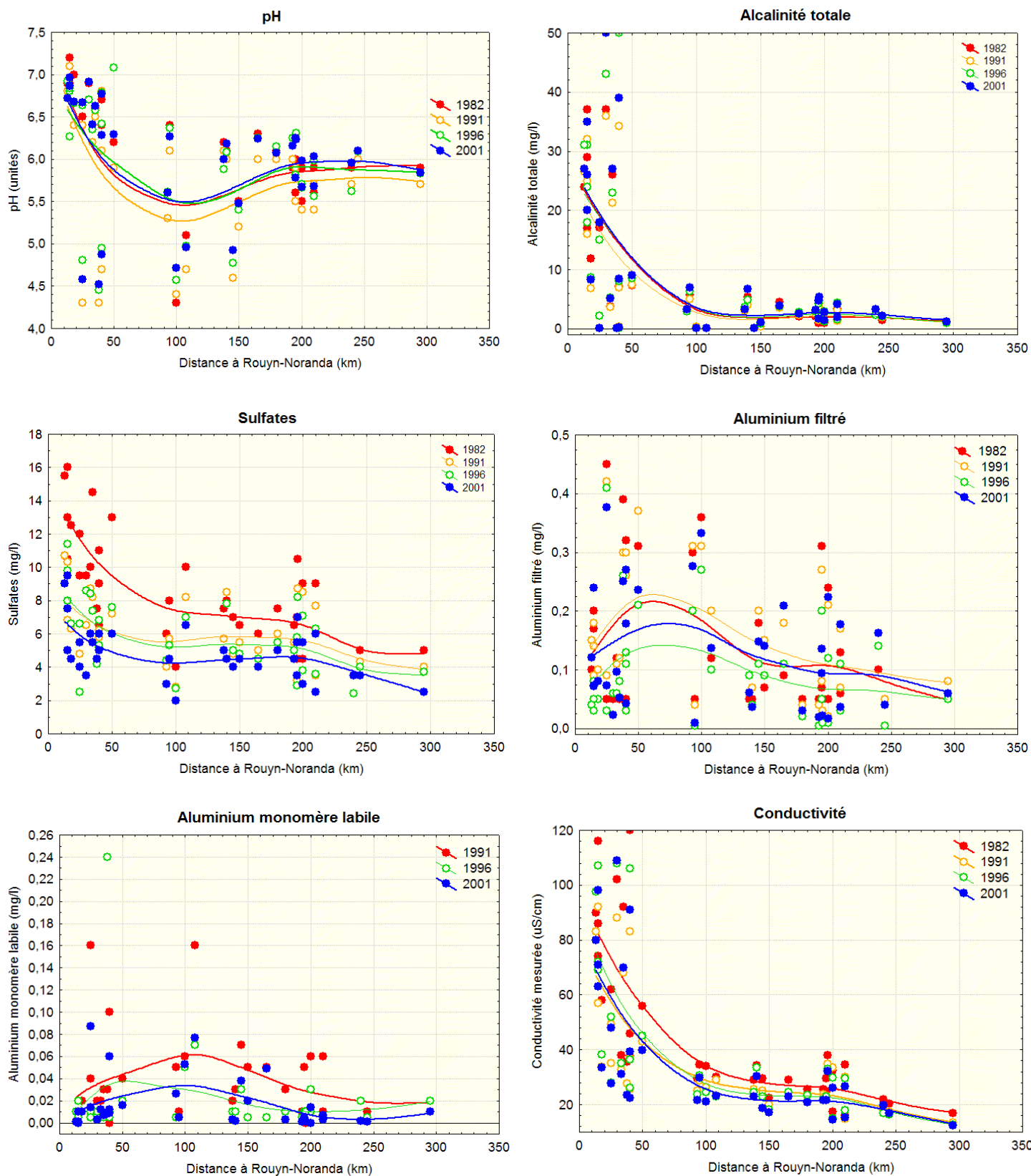


Figure 2 Changements des valeurs de pH, d'alcalinité, de sulfates, de calcium, d'aluminium filtré, d'aluminium labile et de conductivité entre 1982 et 2001 en fonction de la distance de Rouyn-Noranda

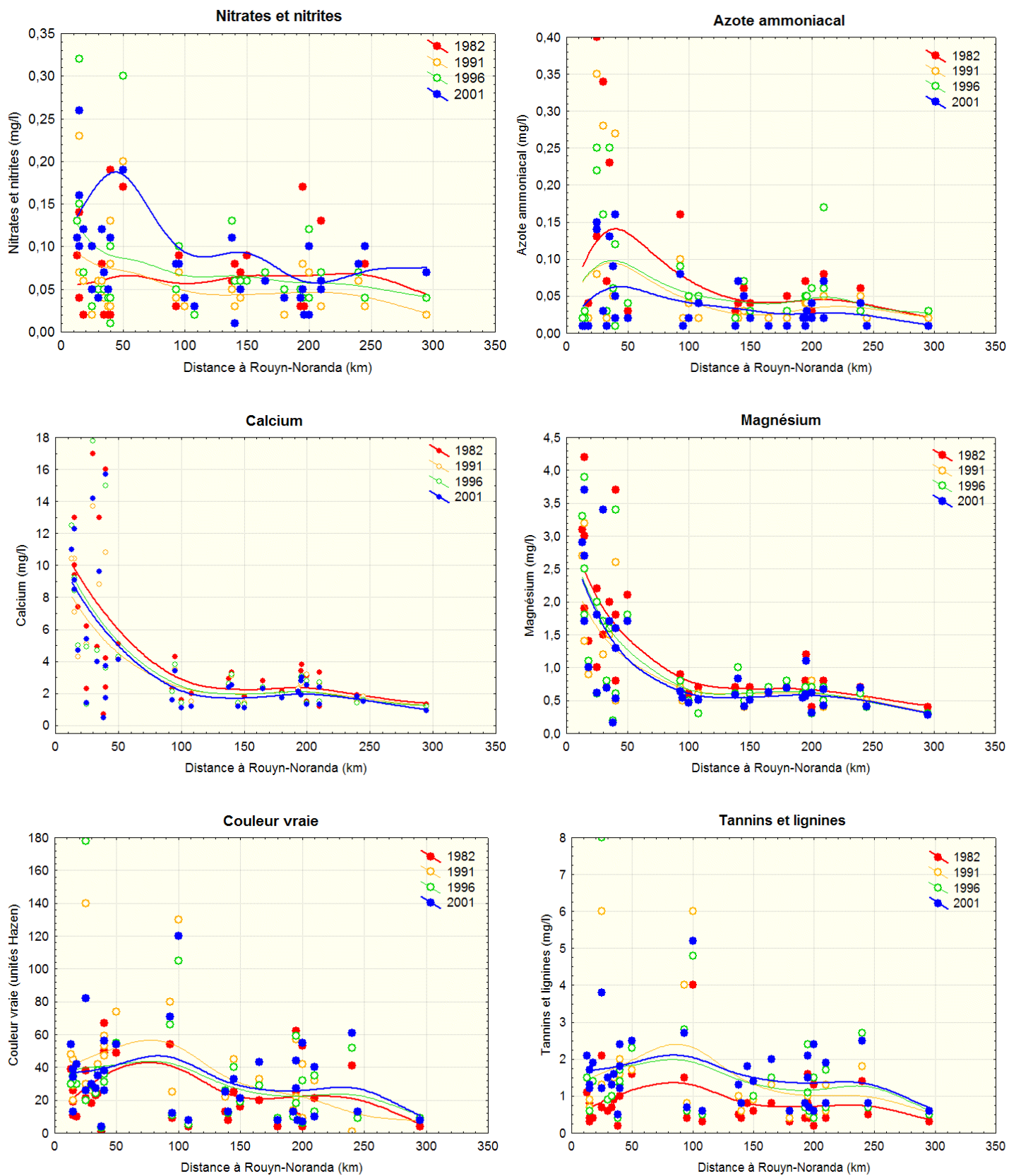


Figure 3 Changements des valeurs de nitrates et nitrites, d'azote ammoniacal, de calcium, de magnésium, de couleur vraie et de tannins et lignines entre 1982 et 2001 en fonction de la distance à Rouyn-Noranda

Tableau 4 Changements significatifs détectés à la qualité de l'eau entre 1982 et 2001

Variable	Unité	T	Z	Test de rang de wilcoxon
pH	unité	221,5	1,531	0,1260
pH équilibré pCO <sub>2</sub> *	unité	32,0	4,729	0,0000
Alcalinité	mg/l	117,0	2,376	0,0175
SO <sub>4</sub>	mg/l	0,0	5,159	0,0001
Couleur	Hazen	103,5	3,317	0,0009
COD	mg/l	81,5	3,824	0,0001
CID	mg/l	138,5	2,537	0,0112
Tannins	mg/l	0,0	5,159	0,0000
Turbidité	UTN	240,0	0,983	0,3256
NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub>	mg/l	115,0	2,606	0,0092
NH <sub>4</sub>	mg/l	62,0	3,904	0,0001
P total	mg/l	11,0	4,979	0,0000
Conductivité	µS/cm	18,5	4,941	0,0000
Cl	mg/l	58,5	2,208	0,0273
Ca	mg/l	3,0	5,110	0,0000
Mg	mg/l	37,0	4,650	0,0000
Na	mg/l	253,5	0,482	0,6295
K	mg/l	64,0	4,111	0,0000
Fe	mg/l	251,0	1,048	0,2945
Al filtré	mg/l	224,0	1,491	0,1361
Al labile *		25,0	4,659	0,0000

N. B. : les zones grisées indiquent que le changement est significatif au niveau de confiance = 0,05.  
 Les résultats en bleu indiquent une amélioration de la qualité de l'eau et ceux en rouge une détérioration.  
 \* Comparaison 1991-2001 (ces paramètres n'ont pas été analysés en 1982).

Il est possible de faire plusieurs constatations à partir de ces figures. Tout d'abord, il est possible de constater que les lacs situés autour de Rouyn-Noranda ne correspondent pas à un seul et même type. Les lacs situés à proximité de cette ville possèdent des eaux plus minéralisées (pH élevé, alcalinité élevée, calcium et magnésium élevés), lesquelles sont aussi plus riches en matière organique, comme l'indique les valeurs élevées de couleur vraie et de tannins et lignines. Ces lacs sont représentatifs des plans d'eau des basses-terres de l'Abitibi. Les autres lacs présentant de plus faibles valeurs de pH, d'alcalinité, de conductivité et de cations basiques, ainsi que ceux situés au-delà de 100 kilomètres, sont plutôt caractéristiques des lacs des hautes-terres des Laurentides ou de l'Abitibi.

L'examen de chacun des graphiques permet de visualiser les changements survenus entre 1982 et 2001 sur le plan de la qualité des eaux. Les changements les plus évidents sont observés pour les sulfates, la conductivité, les tannins et l'aluminium monomère labile. Par contre, les changements ne paraissent pas aussi évidents pour le pH, l'alcalinité, l'aluminium filtré et le magnésium.

La figure 4 présente les changements survenus (exprimés en pourcentage :  $[\text{valeur 2001}] - [\text{valeur 1982}] / [\text{valeur 1982}] \times 100$ ) pour certains paramètres clés de l'étude : NO<sub>x</sub>, NH<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>, alcalinité, pH, Ca et conductivité. Cette figure montre clairement la baisse générale des concentrations de

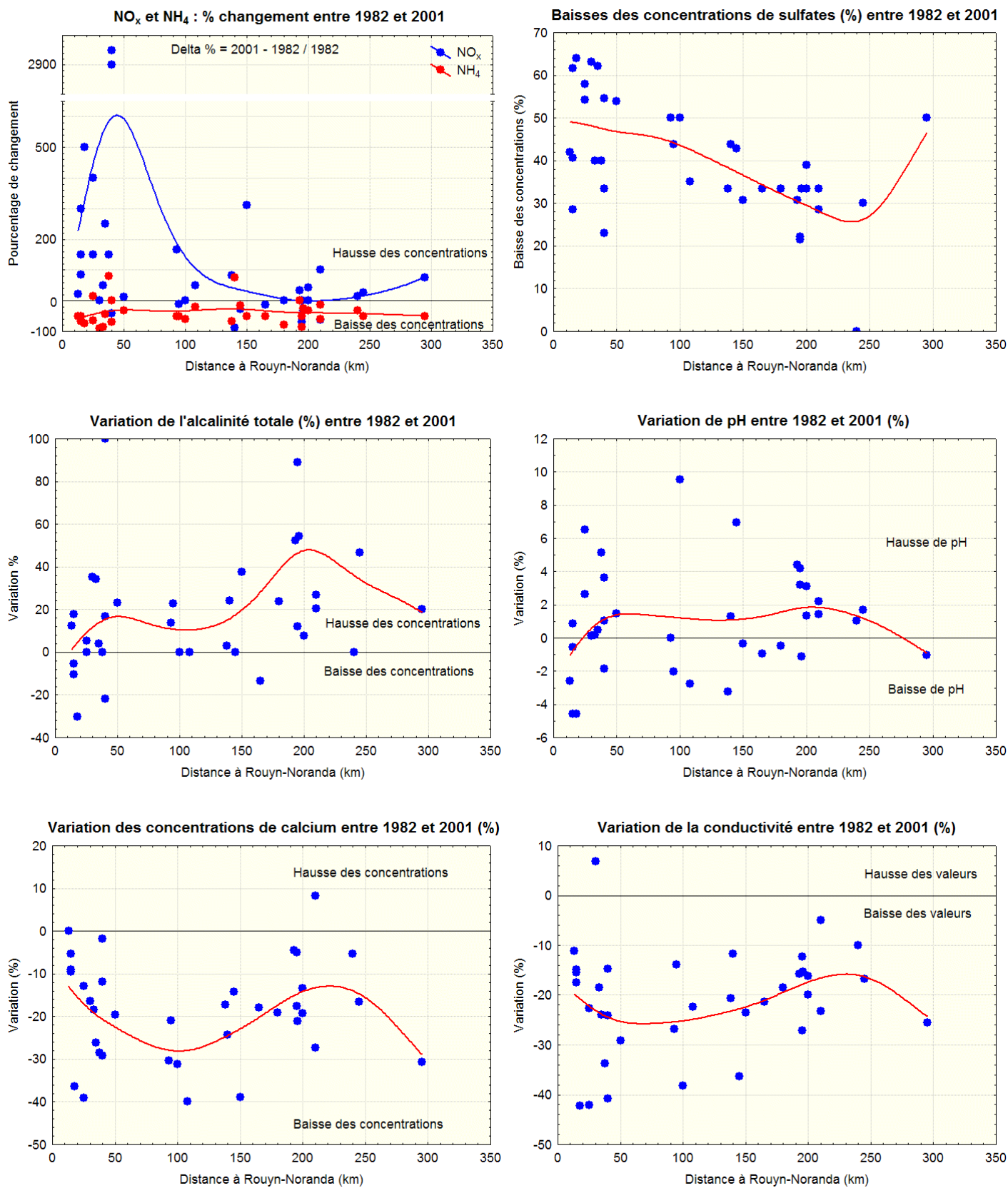


Figure 4 Amplitude des changements survenus entre 1982 et 2001 pour le pH, l'alcalinité, les sulfates, les nitrates et nitrites, l'azote ammoniacal, le calcium et la conductivité

sulfates, de calcium et de conductivité. Elle montre aussi une hausse pour l'alcalinité. La baisse des sulfates et la hausse de l'alcalinité militent en faveur d'une amélioration de la qualité des eaux de surface, mais la faible récupération du pH montre que la réversibilité de l'acidification est soit très lente à survenir ou soit liée à d'autres facteurs comme la présence d'une acidité naturelle dans le milieu, du moins pour les lacs acides les plus proches de Rouyn-Noranda. La baisse de calcium apparaît inquiétante du fait qu'elle dénote une hausse de la sensibilité des milieux aquatiques à l'acidification. Ce facteur pourrait expliquer en partie la hausse mitigée du pH dans ces eaux.

Les nitrates ont subi une hausse marquée depuis 1982 dans les lacs situés à moins de 100 km de Rouyn-Noranda, mais une partie de la hausse s'explique par la baisse des concentrations d'azote ammoniacal. Ce transfert  $\text{NO}_x - \text{NH}_4$  n'explique pas tout cependant puisque la baisse de  $\text{NH}_4$  a été observée dans l'ensemble des lacs alors que la hausse des nitrates s'est limitée aux lacs situés à proximité de Rouyn-Noranda. L'hypothèse que les sols du bassin versant de ces derniers évoluent vers un état de saturation en azote reste donc très plausible, d'autant plus que les activités humaines sur ces lacs (villégiature, rejets municipaux) ne peuvent expliquer une telle hausse. La cause précise de la hausse importante des nitrates en périphérie de Rouyn-Noranda reste donc à établir, mais l'examen de la qualité de l'eau de la rivière Kinojévis à la station 04300002 située au sud-est de Rouyn-Noranda montre que cette hausse ne s'est pas manifestée que dans les lacs. La figure 5 montre une augmentation graduelle des concentrations à partir de 1989 jusqu'en 1998 pour la station de mesure 043000002 du réseau-rivières. La hausse amorcée à la fin des années 1980 s'est toutefois résorbée vers 1998 bien que des valeurs élevées de nitrates aient continué à être mesurées par la suite.

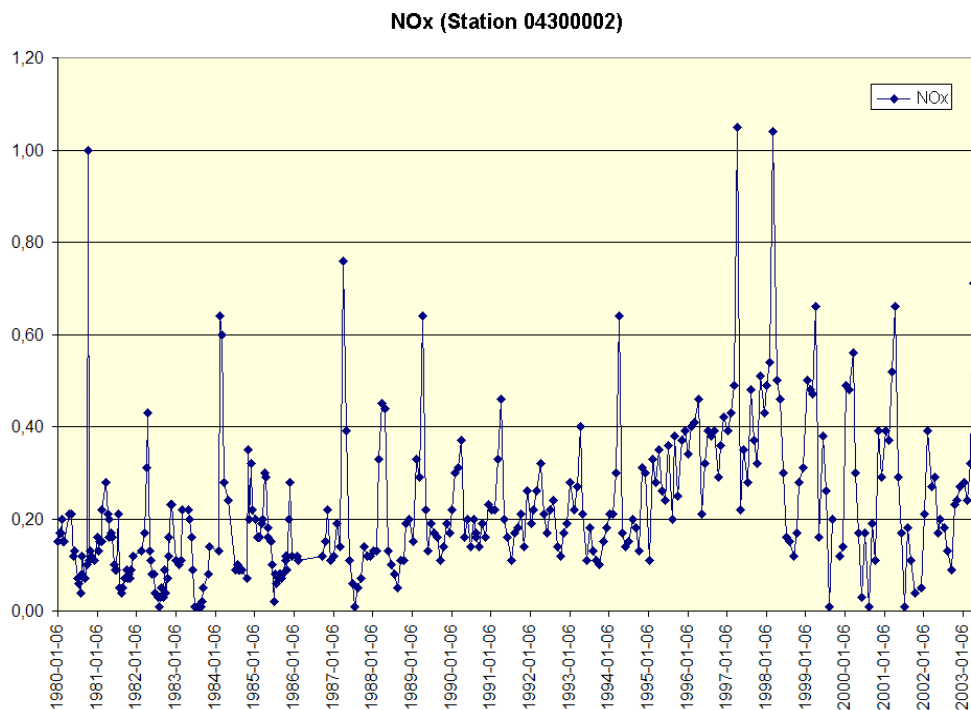


Figure 5 Évolution des concentrations de nitrates et de nitrites à la station 04300002 localisée sur la rivière Kinojévis

La figure 6 complète le portrait de l'évolution récente de la qualité des eaux de l'ouest québécois en présentant les changements survenus pour quelques indicateurs du niveau d'acidité ou de la sensibilité des plans d'eau. Les deux premiers graphiques de cette figure illustrent le changement opéré dans le rapport entre les concentrations de sulfates et de bicarbonates (calculés à partir de l'alcalinité et du pH) et celles de la somme des anions sulfate, bicarbonate et organiques. Ces deux graphiques montrent clairement que la baisse relative des concentrations de sulfates a été compensée par une hausse similaire des teneurs en bicarbonates. Les concentrations relatives d'anions organiques (non présentées) sont restées stables entre 1982 et 2001. Deux autres graphiques présentent le rapport alcalinité/cations basiques (Ca + Mg) et le rapport sulfates/cations basiques. Une valeur inférieure à 1,0 pour le rapport  $[Alc] / [Ca + Mg]$  est indicative d'une acidification qui est d'autant plus marquée que le rapport s'approche de zéro. Dans le cas présent, ce rapport a presque doublé passant de 0,2-0,3 à plus de 0,4-0,5 dans la majorité des lacs, sauf pour quelques lacs très acides où ce rapport est resté très faible. Inversement, le rapport  $[SO_4] / [Ca + Mg]$  a diminué en moyenne de 0,8 à 0,6 indiquant ainsi une baisse du facteur d'agression lié aux dépôts de sulfates. Les plus fortes valeurs de  $[Alc] / [Ca + Mg]$  et les plus faibles de  $[SO_4] / [Ca + Mg]$  relevées près de Rouyn-Noranda s'expliquent par la présence de quelques lacs très alcalins. Finalement, un dernier graphique présente le rapport  $[HCO_3] / [SO_4]$  qui s'interprète de la même manière que le rapport  $[Alc] / [Ca + Mg]$ , à savoir qu'un rapport inférieur à 1,0 est indicatif d'une exposition aux apports acides, alors qu'un rapport inférieur à 0,5 indique que les plans d'eau sont fortement affectés par l'acidification. En d'autres termes, le rapport  $[HCO_3] / [SO_4]$  a presque doublé pour les lacs situés à plus de 100 km de Rouyn-Noranda. Ce rapport a aussi augmenté à proximité de la ville, mais plusieurs de ces lacs étaient alcalins au départ. Plusieurs lacs très acides situés à proximité de Rouyn-Noranda montrent toutefois peu d'amélioration.

### Observations générales sur l'évolution récente de la qualité des eaux de l'ouest québécois

Les programmes de réduction d'émissions de  $SO_2$  ont permis d'améliorer la qualité des eaux de surface des lacs de l'ouest du Québec à certains égards, mais ces améliorations sont demeurées assez limitées pour le pH lui-même. Plusieurs indicateurs montrent que l'alcalinité commence à récupérer, mais cette hausse n'est pas encore accompagnée d'une augmentation marquée du pH dans les lacs les plus acides. Ce phénomène a aussi été observé ailleurs en Amérique du Nord (Driscoll *et al.*, 1995; Jeffries *et al.*, 1995; Kelly *et al.*, 1995; Likens *et al.*, 1996; Bouchard, 1996; Alewell *et al.*, 2001; Evans et Monteith, 2001; Prechtel *et al.*, 2001; Clair *et al.*, 2002). Les faibles hausses de pH peuvent s'expliquer de plusieurs façons :

- 1) les lacs très acides étaient déjà naturellement acides avant le début de l'ère industrielle;
- 2) les dépôts acides demeurent encore trop élevés pour permettre la récupération de certains lacs très acides (dépôts actuels excédant encore les charges critiques des plans d'eau);
- 3) les lacs très acides ne peuvent récupérer parce que la capacité de neutralisation des acides a été complètement utilisée;
- 4) la hausse de sensibilité des sols (baisse des cations basiques) et la hausse des concentrations de nitrates ont inhibé les hausses potentielles de pH.

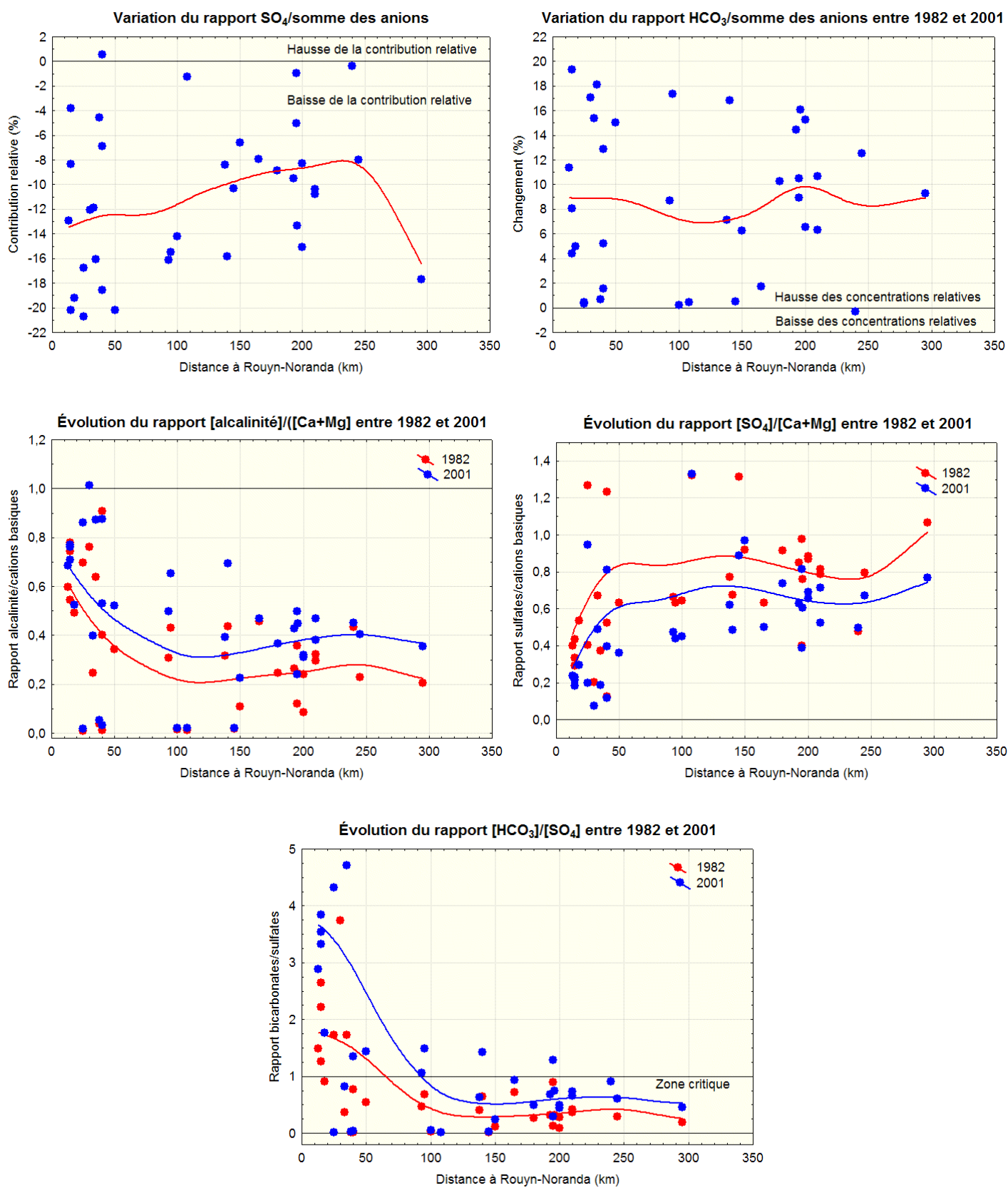


Figure 6 Changements survenus entre 1982 et 2001 dans les indicateurs d'acidification et de sensibilité à l'acidification

Il est probable que plusieurs de ces facteurs aient joué un rôle dans l'inertie des systèmes lacustres à se désacidifier bien que la présence d'une acidité d'origine naturelle provenant de substances organiques demeure la cause la plus probable. Dupont (1992 et 1993) a montré que l'acidité de nombreux lacs colorés (couleur > 50 unités Hazen et COD > 10 mg/l) du Québec méridional n'a pas été causée par les activités humaines puisque plusieurs d'entre eux étaient déjà acides avant le début de l'ère industrielle. L'auteur a de plus démontré que de tels lacs ne bénéficieraient peu ou pas du tout de la réduction des émissions de SO<sub>2</sub>, ce qui signifie que le pH demeurerait inchangé malgré la baisse des concentrations de sulfates. Un tel phénomène s'explique par la capacité tampon des acides organiques à des pH compris entre 4,0 et 5,5 qui peut inhiber la hausse de ce dernier.

Les hypothèses 2 à 4 sont également plausibles. La deuxième hypothèse est très probablement vraie lorsque les dépôts humides de sulfates excèdent la charge critique en SO<sub>4</sub> dans les lacs concernés. Dupont (1997), AETG (1997), Jeffries (1997) et Dupont *et al.* (2002; 2004 en préparation) font état que de nombreux lacs acides du Bouclier canadien présentaient des charges critiques aussi faibles que 8 ou 10 kg/ha/an alors que, dans ce secteur, les dépôts de sulfates variaient entre 9 et 25 kg/ha/an en 2001 (données du REPQ 2001, DSEE). Le fait que les lacs puissent être irrécupérables (3<sup>e</sup> hypothèse) ou qu'ils aient perdu de leur capacité à se régénérer a été soulevé par plusieurs (Driscoll *et al.*, 1995; Kelly *et al.*, 1995; Likens *et al.*, 1996). Cette hypothèse implique que la capacité de régénération d'un lac acidifié a pu être érodée par l'exportation massive de cations basiques, par la baisse de capacité de génération de l'alcalinité et l'utilisation complète du Fe<sup>2+</sup> présent dans les sédiments lacustres durant les dernières décennies. Une telle hypothèse ferait en sorte que les bénéfices attendus des réductions d'émissions pourraient être moins grands que prévus ou qu'ils seraient obtenus à plus long terme après un rééquilibrage géochimique dans les sols. Finalement, dans le cas de la quatrième hypothèse, les données de qualité de précipitations montrent qu'il n'y a pas eu d'augmentation significative des dépôts de nitrates (G. Boulet, communication personnelle). Par contre, il est possible que le phénomène de saturation des sols en azote puisse être responsable d'un accroissement des teneurs en nitrates dans les eaux de surface, même si les dépôts sont restés inchangés. Or, les résultats semblent indiquer une augmentation graduelle des concentrations de nitrates en périphérie de Rouyn-Noranda depuis le début des années 1990 bien que ces dernières soient probablement trop faibles pour avoir compensé les baisses de sulfates. La baisse des concentrations de cations pourrait aussi avoir accentué la sensibilité des eaux de surface à l'acidité. Cette hypothèse ne semble pas tenir si on tient compte de l'amélioration du pH observé dans les eaux claires. Au pire, cette baisse de cations pourrait avoir retardé la récupération du pH dans certains lacs acides.

L'observation mentionnée dans un précédent rapport (Dupont, 1997), à l'effet que les lacs acides aux eaux claires de l'ouest du Québec ont bénéficié des réductions d'émissions de SO<sub>2</sub> contrairement aux lacs acides aux eaux plus colorées (plus de 50 unités Hazen), est encore valable en 2001. D'autres études récentes montrent que des lacs acides aux eaux claires commencent également à récupérer au Québec, en Ontario et aux États-Unis (Stoddard *et al.*, 2002; Dupont *et al.*, 2002; EPA, 2003; Jeffries *et al.*, 2003). Ces lacs (lacs 71 à 79) ont été échantillonnés en 1991, 1996 et 2001 (figure 1). Le changement au niveau du pH de ces lacs aux eaux claires (couleur < 25 unités Hazen) entre 1991 et 2001 indique un contraste marqué comparativement aux lacs acides du projet Noranda qui sont caractérisés par

des eaux plus colorées (> 50 Hazen). Le pH de ces neuf lacs aux eaux claires a augmenté significativement entre 1991 et 2001. Leur pH compris entre 4,9 et 5,7 (moyenne de 5,4) en 1991 est maintenant passé à 5,8 à 6,3 (moyenne de 6,04) en 2001 (comparativement à 5,84 en 1996) avec une hausse moyenne de 0,51 unité de pH (comparativement à 0,44 en 1996), alors que les lacs acides colorés du projet Noranda ont vu leur pH augmenté en moyenne de 0,2 unité. Les lacs acides aux eaux claires de la région de Rouyn-Noranda ont vu leur condition d'acidité s'améliorer à un point tel que la réintroduction du doré jaune a été réalisée avec succès.

L'examen de ces lacs aux eaux claires permet de vérifier certaines des quatre hypothèses précédemment discutées. Le fait que les conditions de pH se soient nettement améliorées pour les lacs aux eaux claires donne du poids à la première hypothèse qui suggère que plusieurs des lacs acides de l'étude de 1982 aient possiblement été naturellement acides à l'origine ou que les acides organiques y aient tamponné le pH. Il est toujours possible toutefois que les dépôts de sulfates soient encore trop élevés pour certains des lacs les plus acides (hypothèse 2). De fait, plusieurs des lacs acides de Rouyn-Noranda étaient nettement plus acides (pH = 4,3) que les lacs acides à Doré (pH > 4,9), ce qui implique qu'ils puissent requérir une plus grande réduction des dépôts de sulfates.

La baisse des concentrations de calcium dans les eaux de surface, dans les eaux interstitielles et dans les précipitations est un phénomène qui est observé à l'échelle de la planète. Il a été observé autant en Amérique du Nord qu'en Europe (Stoddard *et al.*, 1999; Alewell *et al.*, 2001; Skjelkvale *et al.*, 2001a et 2001b; Driscoll *et al.*, 2003; EPA 2003; Keller *et al.*, 2003). L'hypothèse la plus plausible serait que les apports acides continus depuis un siècle aient appauvri les sols et diminué les taux d'altération chimique des minéraux. Selon Likens *et al.* (1996), il est fort possible que les sols aient subi une perte importante de leur réserve en cations basiques par suite de l'acidification des écosystèmes terrestres. Dans ce cas, il est plausible que les écosystèmes aquatiques et terrestres puissent être plus fragiles maintenant qu'avant le début de l'ère industrielle.

### **Cas des lacs à dorés de la région de Belleterre au Témiscamingue**

L'inclusion des lacs aux eaux claires (lacs à dorés) a été faite de manière à mieux évaluer la réversibilité à l'acidification des milieux aquatiques du fait que les lacs acides du projet d'origine étaient pour la plupart riches en matières organiques et donc moins susceptibles de s'améliorer à la suite des réductions d'émissions. Comme l'historique des données ne remonte qu'à 1991, ils ont été traités à part des 36 autres lacs.

La figure 7 présente le changement de pH qui s'est opéré depuis 1991 pour ces neuf lacs. Il apparaît clairement que le pH de ces plans d'eau a récupéré entre 1991 et 1996 et que cette récupération se poursuivait encore en 2001. Le succès des opérations d'ensemencement du doré jaune dans ces lacs confirme la récupération physico-chimique et biologique des plans d'eau (D. Nadeau, communication personnelle). En 1991, seuls quelques vieux dorés jaunes étaient présents dans ces lacs, alors qu'aujourd'hui, les populations sont de nouveau en croissance avec une reprise de la reproduction.

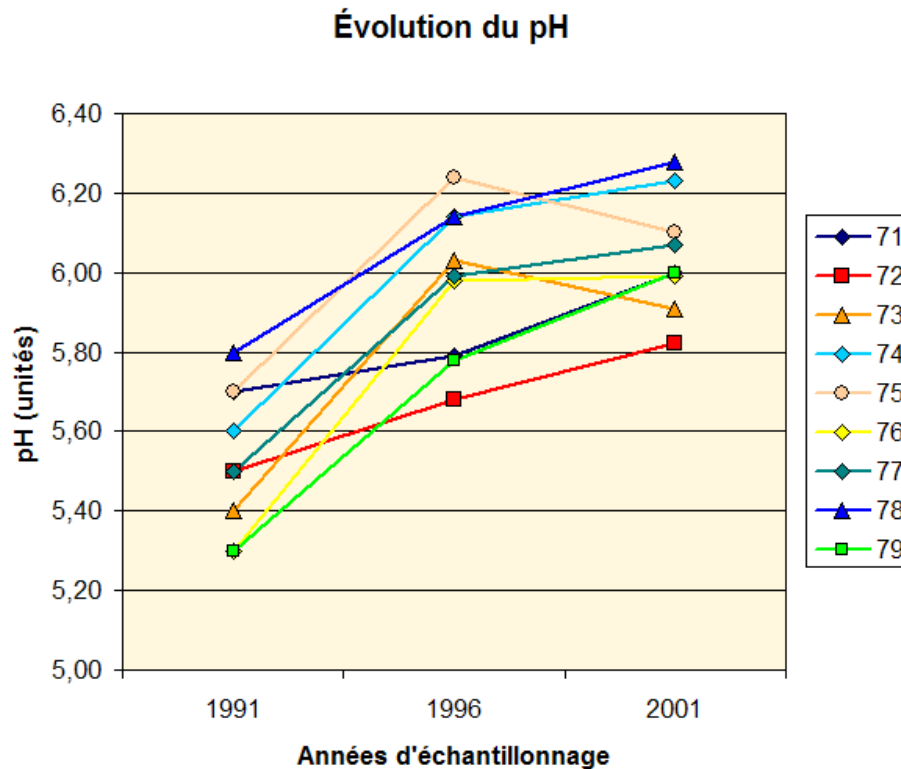


Figure 7 Hausse du pH dans neuf lacs de la région de Belleterre au Témiscamingue

Parmi les autres paramètres de qualité de l'eau, seules l'alcalinité et la couleur vraie ont été mesurées en 1991, ce qui limite grandement l'évaluation de la récupération de la qualité des eaux consécutives aux réductions d'émissions de  $\text{SO}_2$ . Pour l'alcalinité, le portrait apparaît plus complexe que pour le pH. La figure 8 montre que les valeurs d'alcalinité en 1991 étaient en général plus élevées qu'en 1996, mais relativement équivalentes à celles de 2001. Compte tenu du comportement du pH, il est probable que les valeurs d'alcalinité de 1991 soient surestimées en raison d'une différence de méthodologie analytique ou d'échantillonnage. Les échantillonnages de 1991, 1996 et 2001 n'ont pas été effectués par les mêmes équipes. La Direction régionale de l'Abitibi de la Société de la Faune et des Parcs du Québec (FAPAQ) a réalisé l'échantillonnage de 1991 alors que le ministère de l'Environnement (MENV) a pris la relève à partir de 1996. Il est donc possible que des différences méthodologiques expliquent les écarts entre les concentrations d'alcalinité de 1991 et 1996.

Le cas de la couleur est similaire à celui de l'alcalinité totale (figure 9). Il semble que les données de couleur vraie mesurées en 1991 soient légèrement surestimées par rapport à 1996 et 2001. Des différences méthodologiques pourraient aussi expliquer ces écarts. Il est peu probable que la couleur ait diminué entre 1991 et 1996 puisqu'il s'agit d'un paramètre peu influencé généralement par la diminution des dépôts acides, d'autant plus que les valeurs sont demeurées relativement stables pour les 36 autres lacs. Aucun changement net ne s'est produit entre 1996 à 2001.

### Évolution de l'acalinité

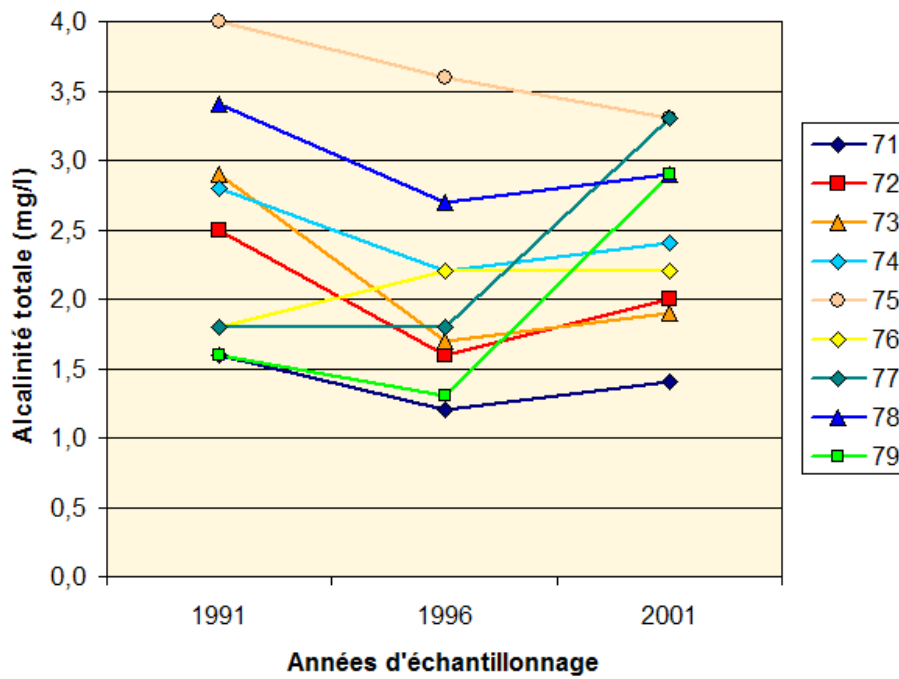


Figure 8 Évolution de l'acalinité dans neuf lacs de la région de Belleterre au Témiscamingue

### Évolution de la couleur vraie

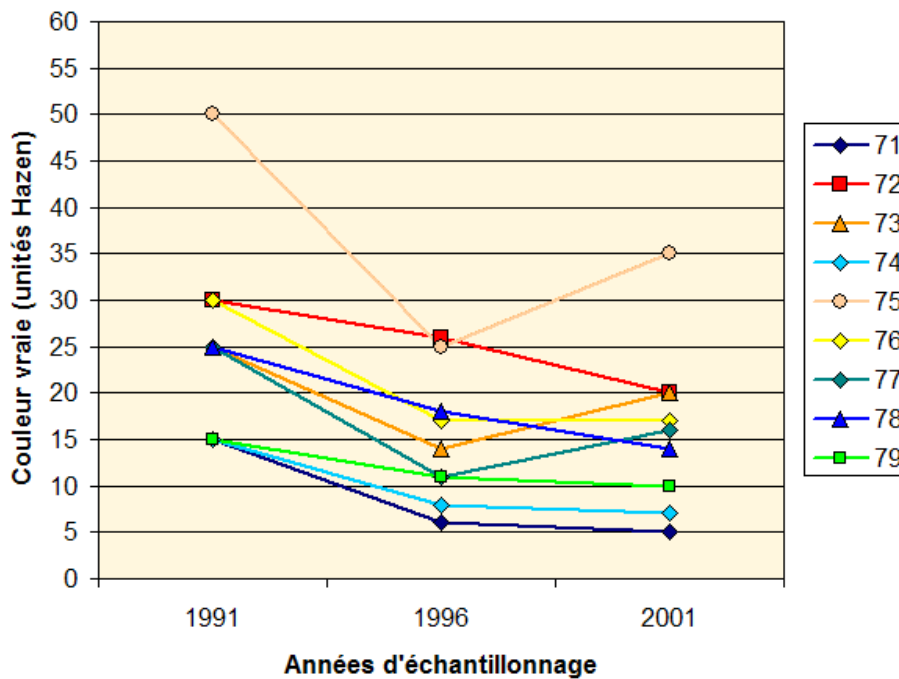


Figure 9 Évolution de la couleur vraie pour neuf lacs de la région de Belleterre au Témiscamingue

Les différences observées entre les résultats de mesures d'alcalinité et de couleur vraie remettent en cause la validité des données de pH de 1991. Il faut toutefois noter que, contrairement aux deux paramètres précédents, la mesure du pH est généralement beaucoup plus uniforme et comparable entre laboratoires. La méthodologie analytique est beaucoup plus universelle (électrométrie) que celle pouvant servir à doser l'alcalinité et la couleur. C'est pour cette raison qu'on assume que les données de pH de 1991 peuvent être comparées à celles de 1996 et 2001.

### **Nomogramme de classification**

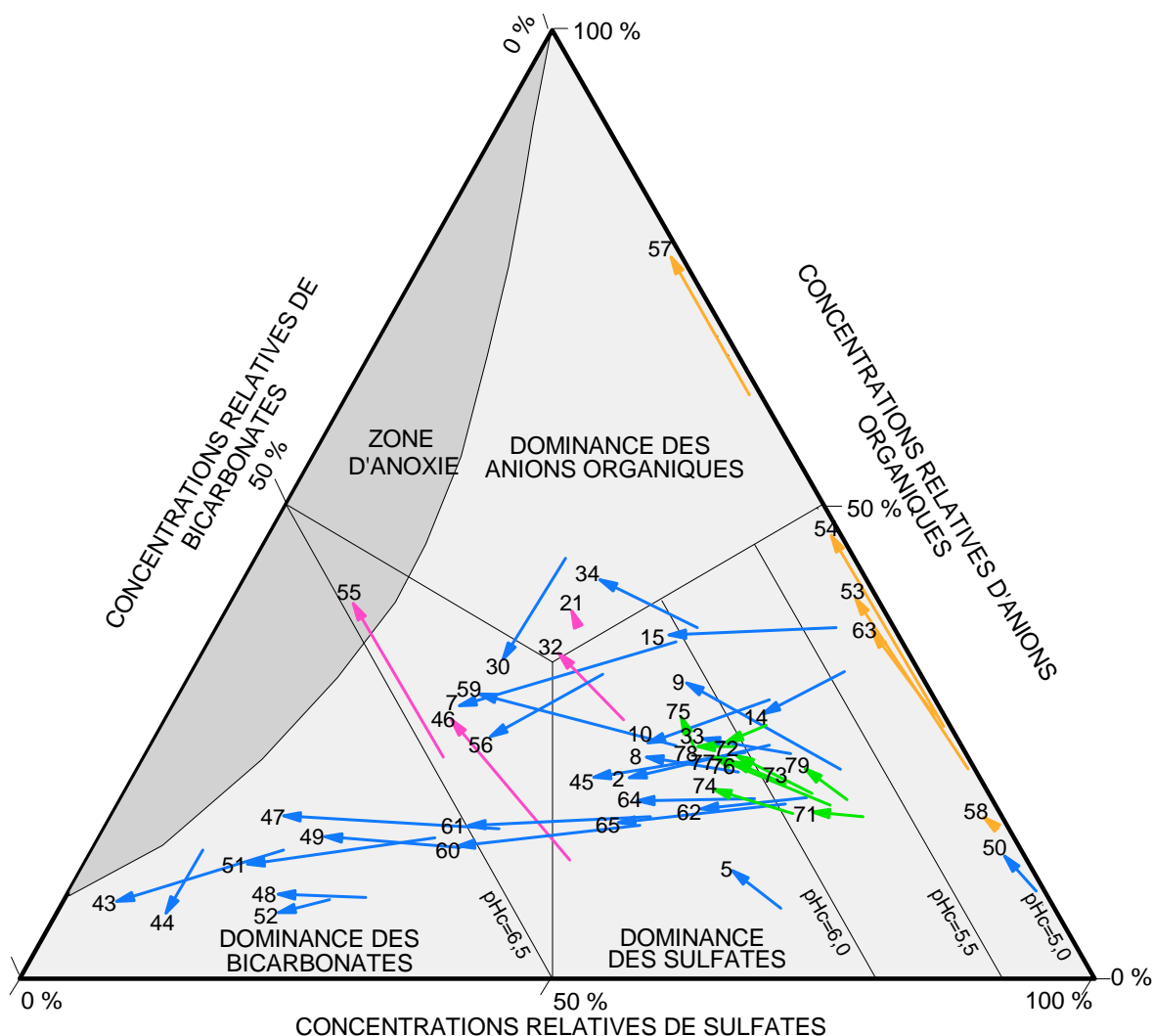
La figure 10 présente l'application du nomogramme de classification aux 36 lacs du projet d'origine. Les neuf lacs à dorés ont été ajoutés au nomogramme pour illustrer les changements de concentrations relatives en anions qui sont survenus entre 1996 et 2001. Il a été impossible d'appliquer ce modèle aux données de 1991 pour les neuf lacs en raison de la non-disponibilité des données de carbone organique dissous et de sulfates pour cet échantillonnage.

La figure 10 montre qu'aucun des 36 lacs étudiés ne s'était acidifié depuis 1982. Il en est de même pour les neuf lacs à doré depuis 1996. La majorité des plans d'eau non dominés par les anions organiques ont vu leurs concentrations relatives de bicarbonates augmenter au détriment des sulfates depuis 1982 (déplacement des lacs vers le coin inférieur gauche). Ce mouvement correspond à une amélioration de la qualité des eaux et des niveaux d'acidité (baisse de 10 % à 30 % des concentrations relatives de sulfates, hausse équivalente des bicarbonates et hausse de 0,1 à 0,8 unité du pH corrigé selon la position des droites d'iso-pH). Ces résultats confirment donc le diagnostic fait sur les lacs à dorés et les conclusions du rapport de Dupont (1997) portant sur la période 1982-1996.

La réversibilité de l'acidification des six lacs les plus acides des 36 à l'étude se fait encore attendre puisque les concentrations relatives de bicarbonates ont peu changé depuis 1982. La composante inorganique de l'acidité (contribution principalement d'origine anthropique) de ces lacs a toutefois diminué dans la majorité des lacs pour être compensée par une hausse des teneurs relatives en anions organiques. L'absence d'amélioration nette sur le plan du pH et de l'alcalinité peut s'expliquer de deux façons. Comme expliqué à la section 3.2, les lacs pourraient avoir été naturellement acides avant le début de l'ère industrielle. Il est aussi possible que les dépôts acides actuels, malgré les réductions récentes d'émissions de SO<sub>2</sub>, dépassent encore la charge critique en substances acides qui permettrait de maintenir un pH adéquat.

L'examen du comportement des neuf lacs à dorés va dans le même sens que la majorité des 36 autres lacs, à savoir qu'une hausse des concentrations relatives en bicarbonates et une baisse des sulfates se sont produites entre 1996 et 2001. Ce comportement confirme également une amélioration des conditions de qualité d'eau des lacs du Témiscamingue et une réduction du niveau d'acidité.

### NOMOGRAMME DE CLASSIFICATION DES LACS



- Droites d'iso-pH corrigé pour la pression partielle en CO<sub>2</sub>.
- ← Amélioration : baisse des concentrations relatives de sulfates, hausse des concentrations relatives de bicarbonates et hausse du pH corrigé pour la pression partielle en CO<sub>2</sub>.
- pH et alcalinité stables, baisse de l'acidité inorganique compensée par une hausse de l'acidité organique.
- pH et alcalinité stables. Présence d'un déficit en oxygène qui entraîne une baisse des relatives de sulfates au profit des anions organiques.
- Acidification : accroissement de l'acidité de l'eau (aucun cas entre 1982 et 2001).
- Amélioration de l'acidité de l'eau des 9 lacs à doré.

Figure 10 Changements survenus dans les concentrations relations d'anions entre 1982 et 2001 pour 36 lacs de la région de Rouyn-Noranda avec l'aide d'un nomogramme de classification

Quelques lacs (21, 32, 46 et 55) ont vu leurs concentrations relatives de sulfates diminuer au profit des anions organiques sans entraîner de baisse du pH ou des concentrations relatives de bicarbonates. Ceci pourrait s'expliquer en partie par la présence d'un déficit partiel en oxygène sous le couvert de glace. En conditions réductrices, les sulfates sont réduits en sulfure d'hydrogène, ce qui pourrait en partie expliquer la baisse des sulfates.

## CONCLUSION

Le résultat des quatre campagnes d'échantillonnage de 1982, 1991, 1996 et 2001 montre que les réductions d'émissions de SO<sub>2</sub> ont eu des effets significatifs sur la qualité de l'eau des lacs. Les tests statistiques et le nomogramme de classification montrent que la qualité de l'eau s'est améliorée dans la majorité de lacs bien que la hausse de pH et d'alcalinité demeure faible par rapport à ce qui était attendu. Les réductions d'émissions de SO<sub>2</sub> ont porté leurs fruits comme le démontre la baisse importante des concentrations de sulfates dans les lacs et l'évolution des indicateurs d'acidité vers des conditions plus alcalines. La faible amélioration des lacs les plus acides parmi ceux visités à l'origine, en 1982, pourrait s'expliquer en partie par la diminution des concentrations de cations basiques qui serait venue atténuer les effets escomptés. Ce phénomène d'appauvrissement des sols en cations basiques n'est pas unique au Québec. Le fait que l'eau des lacs acides soit au départ très colorée pourrait aussi indiquer que ces lacs étaient peut-être naturellement acides à l'origine. L'absence de réversibilité pourrait également s'expliquer par des retombées acides encore trop élevées pour permettre une hausse du pH. L'examen de lacs acides aux eaux claires montre cependant que les réductions d'émissions ont apporté d'importants bénéfices environnementaux en permettant d'y abaisser le niveau d'acidité.

La hausse des nitrates continue de soulever des questions. Cette hausse semble s'être accélérée depuis 1996 pour plusieurs lacs des environs immédiats de Rouyn-Noranda sans qu'il n'y ait eu de changement important au niveau de l'utilisation du sol ou des retombées en azote. Ce comportement semble confirmer l'hypothèse que les composés azotés s'accumulent graduellement dans les sols et que les nitrates commencent à être remis en circulation une fois le seuil de saturation atteint. Selon la littérature, ce phénomène serait assez lent, mais pourrait survenir d'ici 25 à 75 ans dans certains milieux sensibles à l'acidification. La baisse des concentrations en azote ammoniacal observée dans ces mêmes lacs vient toutefois compliquer l'interprétation puisqu'une telle baisse ne concorde pas avec l'hypothèse de saturation en azote. Si le phénomène de saturation en azote venait à être confirmé, il faudrait s'attendre éventuellement à une acidification accrue des eaux de surface.

L'observation de signes d'amélioration des conditions d'acidité et de qualité des eaux peut donc nous rassurer sur le bien-fondé des actions entreprises sur le plan des réductions d'émissions. Considérant que ces dernières n'ont pas encore toutes été réalisées et que le comportement des cations basiques et des nitrates laissent présager une dégradation possible des conditions de qualité des eaux de surface pour les lacs du Bouclier canadien, il est recommandé de poursuivre la surveillance quinquennale amorcée en 1982.

---

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AETG, 1997. *Towards a National Acid Rain Strategy*, The Acidifying Emissions Task Group for the National Air Issues Coordinating Committee, Canadian Council of Ministers of the Environment, 98 p.

ALEWELL, C., M. ARMBRUSTER, J. BITTERSOHL, C. D. EVANS, H. MEESENBURG, K. MORITZ et A. PRECHTEL, 2001. "Are there signs of acidification reversal in freshwaters of the low mountain ranges in Germany?", *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 5, n° 3, p. 367-378.

BÉRUBÉ, P. et J. DUPONT, 1995. *Utilisation d'un nomogramme de classification des lacs comme outil de gestion des plans d'eau acidifiés*, Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la faune et des habitats, Direction des écosystèmes aquatiques, 9 p.

BOUCHARD, A., 1997. "Recent lake acidification and recovery trends in southern Quebec, Canada", *Water Air & Soil Pollution*, vol. 94, p. 225-245.

CLAIR, T. A., J. M. EHRMAN, A. J. OUELLET, G. BRUN, D. LOCKERBIE et C. U. RO, 2002. "Changes in freshwater acidification trends in Canada's Atlantic Provinces : 1983-1997", *Water Air & Soil Pollution*, vol. 135, p. 335-354.

CRONAN, C. S., W. A. REINERS, R. C. REYNOLDS jr et G. E. LANG, 1978. "Forest floor leaching: Contributions from mineral, organic and carbonic acids in New-Hampshire subalpine forests", *Science*, vol. 200, p. 309-311.

CURTIS, C. J., B. REYNOLDS, T. E. H. ALLOTT et R. HARRIMAN, 2001. "The link between the exceedances of acidity critical loads for freshwaters, current chemical status and biological damage: a re-interpretation", *Water, Air & Soil Pollution*, vol. 130, p. 399-413.

DRISCOLL, C. T., K. M. DRISCOLL, M. J. MITCHELL et D. J. RAYNAL, 2003. "Effects of acidic deposition on forest and aquatic ecosystems in New York State", *Environmental Pollution*, vol. 123, p. 327-336.

DRISCOLL, C. T., G. B. LAWRENCE, A. J. BULGER, T. J. BUTLER, C. S. CRONAN, C. EAGAR, K. F. LAMBERT, G. E. LIKENS, J. L. STODDARD et K. C. WEATHERS, 2001. "Acidic deposition in the northeastern United States: Sources and inputs, ecosystem effects, and management strategies", *BioScience*, vol. 51, n° 3, p. 180-198.

DRISCOLL, C. T., G. E. LIKENS et M. R. CHURCH, 1998. "Recovery of surface waters in the northeastern U.S. from decreases in atmospheric deposition of sulphur", *Water Air & Soil Pollution*, vol. 105, p. 319-329.

---

DRISCOLL, C. T., K. M. POSTEK, W. KRETZER et D. J. RAYNAL, 1995. "Long-term trends in the chemistry of precipitation and lake water in the Adirondack region of New York, USA", *Water Air & Soil Pollution*, vol. 85, p. 583-588.

DUPONT, J., T. A. CLAIR, C. GAGNON, D. S. JEFFRIES, J. S. KAHL, S. NELSON et J. PECKENHAM, 2004. "Estimation of Critical Loads of Acidity for Lakes in New England and Eastern Canada", article en préparation pour soumission dans *Environmental Science & Monitoring*.

DUPONT, J., T. A. CLAIR, S. COUTURE, R. ESTABROOK, C. GAGNON, P. J. GODFREY, D. S. JEFFRIES, J. S. KAHL, H. KHAN, S. NELSON, J. PECKENHAM, W. PILGRIM, P. STACEY, D. TAYLOR et A. VAN ARSDALE, 2002. *WARNING network - Changes in Water Quality in New England and Eastern Canada*, Water Quality Monitoring Workgroup, Conference of New England Governors and Eastern Canadian Premiers, 5 p.

DUPONT, J., 1997. *Effets des réductions d'émissions de SO<sub>2</sub> sur la qualité de l'eau des lacs de l'ouest québécois*, Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction de la qualité des cours d'eau, rapport n° QEN/PA-53/1, Envirodoq EN980066, 31 p. et 1 ann.

DUPONT, J., 1993. *Bilan de l'acidité des lacs du Québec méridional*, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, Envirodoq n° EN930031, rapport n° QEN/PA-47/1, 127 p.

DUPONT, J., 1992. *Effets des réductions des émissions de SO<sub>2</sub> sur la qualité de l'eau des lacs de la région de Rouyn-Noranda*, Québec, ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, Envirodoq EN920422, rapport n° QEN/PA-43/1, 74 p.

DUPONT, J., 1988. "Influence des rejets atmosphériques d'anhydride sulfureux sur la qualité de l'eau des lacs de la région de Rouyn-Noranda", *Atmosphere-Ocean*, vol. 26, n° 3, p. 449-466.

DUPONT, J., 1985. *Étude de la variabilité spatiale de la physico-chimie des lacs de la région de l'Outaouais en relation avec les précipitations acides*, Québec, ministère de l'Environnement, Service de la qualité des eaux, Envirodoq EN850744, rapport n° PA-17, 112 p.

DUPONT, J., 1984. *Nature et étendue de l'acidification de 64 lacs de la région de Rouyn-Noranda*, ministère de l'Environnement du Québec, Service de la qualité des eaux, Envirodoq EN840216, rapport n° PA-9, 128 p.

EPA, 2003. *Response of surface water chemistry to the Clean Air Act Amendments of 1990*, United States Environmental Protection Agency, EPA 620/R-03/001, 79 p.

EPA, 1995. *Acid deposition feasibility study: a report to Congress*, United States Environmental Protection Agency, rapport n° 430-R-95-001, 105 p.

---

EVANS, C. D. et D. T. MONTEITH, 2001. “Chemical trends at lakes and streams in the UK acid waters monitoring network, 1988-2000: evidence for recent recovery at a national scale”, *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 5, n° 3, p. 351-366.

GUNN, J. et S. SANDOY, 2001. “Northern lakes recovery study (NLRs) – Biomonitoring at the ecosystem level”, *Water Air & Soil Pollution*, vol. 130, p. 131-140.

HENRIKSEN, A., P. J. DILLON et J. AHERNE, 2002. “Critical loads of acidity for surface waters in south-central Ontario, Canada: regional application of the Steady-State Water Chemistry (SSWC) model”, *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Science*, vol. 59, p. 1287-1295.

JEFFRIES, D. S., T. A. CLAIR, S. COUTURE, P. J. DILLON, J. DUPONT, W. KELLER, D. K. McNICOL, M. A. TURNER, R. VET et R. WEEBER, 2003. “Assessing the recovery of lakes in southeastern Canada from the effects of acidic deposition”, *Ambio*, vol. 32, n° 3, p. 176-182.

JEFFRIES, D. S., D. C. L. LAM, I. WONG et M. D. MORAN, 2000. “Assessment of changes in lake pH in southeastern Canada arising from present levels and expected reductions in acidic deposition”, *Canadian Journal Fisheries & Aquatic Science*, vol. 57, suppl. 2, p. 40-49.

JEFFRIES, D. S., 1997. *1997 Canadian Acid Rain Assessment – The Effects on Canada’s Lakes, Rivers, and Wetlands – Volume 3*, Environment Canada.

JEFFRIES, D. S., T. A. CLAIR, P. J. DILLON, M. PAPINEAU et M. P. STANTON, 1995. “Trends in surface water acidification at ecological monitoring sites in Southeastern Canada (1981-1993)”, *Water Air & Soil Pollution*, vol. 85, p. 577-582.

KELLER, W., J. H. HENEBERRY et S. S. DIXIT, 2003. “Decreased acid deposition and the chemical recovery of Killarney, Ontario, Lakes”, *Ambio*, vol. 32, n° 3, p. 183-189.

KELLY, C. A., J. A. AMARAL, M. A. TURNER, J. W. M. RUDD, D. W. SCHINDLER et M. P. STANTON, 1995. “Disruption of sulfur cycling and acid neutralization in lakes at low pH”, *Biogeochemistry*, vol. 28, p. 115-130.

LAUDON, H. et H. F. HEMOND, 2002. “Recovery of streams from episodic acidification in northern Sweden”, *Environmental Science & Technology*, vol. 36, p. 921-928.

LEDUC, R., G. BOULET, P. WALSH, C. CHHEM, J. DUPONT, R. PAQUIN, R. OUMET, 1996. *Les précipitations acides au Québec : état de la situation (1996)*, Québec, ministère de l’Environnement et de la Faune, ministère des Ressources Naturelles, Envirodoq EN960193, rapport n° PA-52, 49 p.

LELIÈVRE, C., M. LACHANCE et J.-P. FORTIN, 1985. *Modèle québécois de transport à grande distance des polluants atmosphériques*, INRS-Eau, rapport PA-16, 213 p.

LIKENS, G. E., C. T. DRISCOLL et D. C. BUSO, 1996. “Long-term effects of acid rain: response and recovery of a forest ecosystem”, *Science*, vol. 272, p. 244-246.

MALLORY, M. L., D. K. McNICOL, D. A. CLUIS et C. LABERGE, 1998. “Chemical trends and status of small lakes near Sudbury, Ontario, 1983-1995: evidence of continued chemical recovery”, *Canadian Journal Fisheries & Aquatic Science*, vol. 55, p. 63-75.

PRECHTEL, A., C. ALEWELL, M. ARMBRUSTER, J. BITTERSÖHL, J. M. CULLEN, C. D. EVANS, R. HELLIWELL, J. KOPACEK, A. MARCHETTO, E. MATZNER, H. MEESENBURG, F. MOLDAN, K. MORITZ, J. VESELY et R. F. WRIGHT, 2001. “Response of sulphur dynamics in European catchments to decreasing sulphate deposition”, *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 5, n° 3, p. 311-325.

RADDUM G. G., A. FJELLHEIM et B. L. SKJELKVALE, 2001. “Improvements in water quality and aquatic ecosystems due to reduction in sulphur deposition in Norway”, *Water Air & Soil Pollution*, vol. 130, p. 87-98.

SKJELKVALE, B. L., K. TORSETH, W. AAS et T. ANDERSEN, 2001a. “Decrease in acid deposition – recovery in Norwegian waters”, *Water Air & Soil Pollution*, vol. 130, p. 1433-1438.

SKJELKVALE, B. L., J. MANNIO, A. WILANDER et T. ANDERSEN, 2001b. “Recovery from acidification of lakes in Finland, Norway and Sweden 1990-1999”, *Hydrology and Earth Sciences*, vol. 5, n° 3, p. 327-337.

STATSOFT. 1994-2001. *CSS: Statistica*, [Logiciel], Statsoft inc., Tulsa, OK, USA.

STODDARD, J. L., D. S. JEFFRIES, A. LUKEVILLE, T. A. CLAIR, P. J. DILLON, C. T. DRISCOLL, M. FORSIUS, M. JOHANNESSEN, J. S. KAHLM J. H. KELLOGG, A. KEMP, J. MANNIO, D. T. MONTEITH, P. S. MURDOCH, S. PATRICK, A. REBSDORF, B. L. SKJELKVALE, M. P. STANTON, T. TRAAEN, H. VAN DAM, K. E. WEBSTER, J. WIETING et A. WILANDER, 1999. “Regional trends in aquatic recovery from acidification in North America and Europe”, *Nature*, vol. 401, p. 575-578.

SULLIVAN, T. J., B. J. COSBY, C. T. DRISCOLL, D. F. CHARLES et H. F. HEMOND, 1996. “Influence of organic acids on model projections of lake acidification”, *Water Air & Soil Pollution*, vol. 91, p. 271-282.

Annexe 1 Données mesurées en 1982 sur 65 lacs du nord-ouest québécois

N°	Année	pH unité	Alc mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	Coul Hazen	COT mg/l	CIT mg/l	Tan mg/l	Turb UNT	NO <sub>x</sub> mg/l	NH <sub>4</sub> mg/l	NT mg/l	P mg/l	Cond us/cm	Cl mg/l	F mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Al filtré mg/l
1	1982	6,6	8,3	9,5	5	6,5	2,0	0,3	2,8	0,05	0,04	0,05	0,017	44,5	0,3	0,0	5,4	0,9	0,9	0,6	0,400	0,060	0,050
2	1982	5,9	2,1	6,5	10	7,0	0,5	0,4	0,6	0,03	0,02	0,03	0,013	25,5	0,5	0,1	2,2	0,6	0,8	0,7	0,110	0,010	0,050
3	1982	5,8	1,4	7,0	21	8,5	0,5	0,7	0,6	0,04	0,03	0,04	0,013	25,5	0,2	0,0	2,2	0,7	0,7	0,6	0,190	0,040	0,100
4	1982	5,7	1,6	4,5	34	8,5	1,5	1,2	0,7	0,09	0,02	0,09	0,010	21,0	0,5	0,0	1,8	0,6	0,7	0,6	0,310	0,050	0,070
5	1982	5,5	0,8	6,5	16	6,0	0,5	0,6	0,8	0,09	0,04	0,09	0,007	22,5	0,2	0,0	1,8	0,7	0,7	0,5	0,200	0,030	0,070
6	1982																						
7	1982	5,6	2,9	6,0	54	12,0	2,5	1,5	1,3	0,03	0,16	0,03	0,007	29,4	0,5	0,0	2,3	0,9	1,2	1,0	0,870	0,110	0,300
8	1982	6,2	3,2	7,5	13	6,5	0,5	0,5	0,3	0,06	0,03	0,06	0,007	29,0	0,2	0,0	2,9	0,7	0,9	0,6	0,110	0,020	0,050
9	1982	5,9	1,0	5,0	4	4,0	0,5	0,3	0,3	0,04	0,02	0,04	0,007	16,8	0,1	0,0	1,3	0,4	0,5	0,2	0,050	0,030	0,050
10	1982	6,0	1,5	5,0	12	6,0	0,5	0,5	0,4	0,08	0,02	0,08	0,007	20,2	0,1	0,0	1,8	0,5	0,6	0,5	0,090	0,030	0,050
11	1982	6,4	5,1	7,5	18	8,0	1,5	0,7	0,3	0,10	0,03	0,10	0,007	34,8	0,2	0,2	4,0	0,7	0,7	0,8	0,410	0,010	0,070
12	1982	6,6	6,6	8,5	5	6,5	1,5	0,3	0,4	0,03	0,03	0,03	0,007	38,8	0,5	0,1	4,7	0,7	0,9	0,6	0,020	0,010	0,060
13	1982	5,9	2,6	7,5	4	6,0	1,5	0,3	0,8	0,14	0,03	0,14	0,007	28,7	0,3	0,0	2,4	0,7	0,9	0,6	0,050	0,020	0,050
14	1982	5,6	0,9	7,0	25	9,0	1,0	0,8	0,7	0,05	0,04	0,05	0,007	24,5	0,2	0,0	2,0	0,6	0,8	0,6	0,260	0,050	0,070
15	1982	5,5	0,9	9,0	53	14,0	1,0	1,3	12,0	0,07	0,06	0,07	0,013	32,5	0,4	0,0	3,1	0,7	1,2	0,6	0,490	0,060	0,240
16	1982	5,6	1,2	2,0	39	8,5	0,5	1,4	0,7	0,03	0,02	0,03	0,007	15,0	0,3	0,0	1,2	0,3	0,7	0,3	0,230	0,020	0,190
17	1982	5,6	2,1	1,5	67	12,5	2,0	2,0	1,0	0,06	0,05	0,06	0,020	19,0	0,2	0,0	1,8	0,6	0,7	0,2	0,490	0,020	0,240
18	1982																						
19	1982	5,9	2,1	3,0	29	8,0	1,0	1,2	0,4	0,07	0,04	0,07	0,017	17,0	0,2	0,0	1,6	0,6	0,4	0,3	0,070	0,010	0,060
20	1982	6,2	2,4	3,5	7	5,0	1,0	0,4	0,3	0,02	0,02	0,02	0,007	16,0	0,2	0,0	1,5	0,4	0,5	0,4	0,040	0,010	0,050
21	1982	5,9	3,3	3,5	41	9,0	2,0	1,4	1,6	0,07	0,06	0,07	0,010	22,0	0,3	0,0	1,9	0,7	0,8	0,5	0,410	0,020	0,100
22	1982	5,8	2,2	3,5	43	10,5	1,0	1,6	0,5	0,04	0,02	0,04	0,013	20,0	0,3	0,1	1,8	0,6	0,5	0,5	0,220	0,020	0,050
23	1982	6,3	4,3	3,5	27	6,5	1,5	1,0	0,6	0,09	0,02	0,09	0,007	22,0	0,3	0,0	2,0	0,8	0,9	0,3	0,240	0,020	0,070
24	1982	6,0	2,8	1,5	23	8,0	1,0	1,0	0,9	0,02	0,02	0,02	0,010	19,0	0,4	0,0	1,7	0,5	0,9	0,3	0,130	0,020	0,110
25	1982	6,5	9,0	5,5	46	10,5	3,5	1,4	8,5	0,06	0,03	0,06	0,023	37,0	0,4	0,0	3,5	1,6	1,3	0,6	0,310	0,020	0,870
26	1982	6,3	10,9	5,0	100	21,5	4,0	2,7	6,0	0,06	0,04	0,06	0,053	44,0	1,2	0,0	4,6	2,0	1,6	0,6	0,560	0,050	0,800
27	1982	6,5	36,0	10,5	190	36,0	11,5	3,5	6,6	0,09	0,22	0,09	0,040	110,0	2,0	0,1	14,0	4,5	3,2	1,5	2,800	0,250	0,960
28	1982	5,8	4,3	5,5	100	17,5	2,5	2,4	1,9	0,05	0,15	0,05	0,020	32,0	0,8	0,0	3,3	0,9	1,4	0,5	0,570	0,030	0,450
29	1982																						
30	1982	6,0	4,2	4,5	62	15,0	2,5	1,6	1,0	0,17	0,07	0,17	0,013	29,5	0,8	0,1	3,4	0,8	1,1	0,8	0,390	0,080	0,310
31	1982																						
32	1982	6,3	4,5	6,0	20	8,5	1,0	0,8	0,9	0,07	0,02	0,07	0,007	29,0	0,2	0,0	2,8	0,7	1,3	0,5	0,110	0,010	0,090
33	1982	5,9	1,3	4,5	4	4,0	0,5	0,2	0,4	0,02	0,03	0,02	0,007	17,3	0,1	0,0	1,5	0,4	0,5	0,3	0,050	0,020	0,050
34	1982	5,6	1,5	3,5	21	7,0	0,5	0,8	0,5	0,03	0,05	0,03	0,010	16,2	0,2	0,1	1,2	0,4	0,8	0,3	0,430	0,010	0,130
35	1982																						
36	1982	6,6	24,0	8,5	310	21,0	7,5	2,4	130,0	0,32	0,05	0,32	0,110	90,0	2,0	0,2	10,0	4,4	2,6	1,8	1,830	0,080	4,600
37	1982	6,2	25,8	1,5	120	50,5	8,5	5,0	3,3	0,02	0,70	0,02	0,033	72,0	0,1	0,0	8,7	1,6	1,2	0,8	7,400	0,470	0,390
38	1982	6,2	31,0	0,5	130	30,5	11,5	3,0	1,9	0,04	0,60	0,04	0,010	77,0	0,7	0,0	10,0	2,5	1,3	0,8	3,200	0,230	0,220
39	1982	6,2	79,0	0,5	130	36,0	24,5	4,0	6,2	0,02	0,37	0,02	0,017	173,0	3,0	0,0	22,0	6,1	2,9	1,1	6,200	1,700	0,150
40	1982	6,2	13,0	5,5	25	9,0	6,0	0,8	0,6	0,02	0,29	0,02	0,007	45,0	0,4	0,0	5,8	1,0	1,3	0,4	0,290	0,030	0,050
41	1982	6,7	25,0	0,6	33	9,0	8,0	0,6	6,4	0,20	0,05	0,20	0,040	72,0	0,4	0,0	8,6	2,7	1,4	0,7	0,560	0,350	0,540
42	1982	6,3	13,3	6,5	100	21,5	5,0	2,5	5,8	0,16	0,03	0,16	0,023	52,0	0,5	0,0	6,3	2,0	1,7	0,6	0,480	0,080	0,530
43	1982	6,9	37,0	9,5	18	14,5	6,5	0,6	0,5	0,04	0,34	0,04	0,020	102,0	1,0	0,0	17,0	1,5	1,2	0,3	0,220	0,110	0,050
44	1982	6,7	50,0	6,5	50	17,5	10,0	1,2	6,6	0,02	0,51	0,02	0,007	120,0	1,0	0,0	16,0	3,7	1,9	0,8	2,600	0,220	0,050
45	1982	6,4	3,8	10,0	23	9,5	0,5	0,7	0,5	0,08	0,07	0,08	0,007	38,0	0,3	0,0	4,9	0,8	0,6	0,2	0,040	0,010	0,120
46	1982	7,0	11,9	12,5	10	7,5	3,0	0,4	0,4	0,02	0,04	0,02	0,007	58,0	0,3	0,0	7,4	1,4	1,0	0,3	0,030	0,010	0,050
47	1982	6,9	17,0	13,0	26	11,5	4,0	0,8	0,7	0,04	0,03	0,04	0,013	74,0	1,0	0,1	9,4	1,9	1,7	0,5	0,060	0,010	0,050
48	1982	6,9	37,0	16,0	19	10,0	10,5	0,4	3,5	0,14	0,03	0,14	0,020	116,0	1,0	0,1	13,0	4,2	2,3	1,2	0,080	0,080	0,200
49	1982	6,9	24,0	15,5	39	12,5	7,5	1,1	1,6	0,09	0,02	0,09	0,013	90,0	1,0	0,1	11,0	3,1	1,8	0,8	1,130	0,010	0,100
50	1982	4,3	0,1	7,5	1	2,5	1,0	0,2	0,4	0,02	0,05	0,02	0,010	35,5	0,2	0,0	0,7	0,2	0,2	0,2	0,040	0,040	0,390
51	1982	6,6	26,0	14,5	24	14,5	5,5	0,9	0,5	0,02	0,23	0,02	0,007	92,0	1,0	0,0	13,0	2,0	1,3	0,3	0,380	0,160	0,050
52	1982	7,2	29,0	10,5	11	7,0	7,5	0,3	2,2	0,04	0,02	0,04	0,007	86,0	1,0	0,1	10,0	3,0	1,5	0,8	0,110	0,010	0,170
53	1982	4,7	0,1	11,0	67	9,5	1,0	1,0	0,9	0,02	0,05	0,02	0,010	37,8	0,2	0,1	2,4	0,8	0,7	0,4	0,600	0,120	0,270
54	1982	4,3	0,1	12,0	38	15,0	2,5	2,1	1,0	0,02	0,13	0,02	0,017	48,0	0,3	0,1	2,3	1,0	0,9	0,5	1,380	0,060	0,450
55	1982	6,5	17,1	9,5	21	17,0	5,0	0,7	0,7	0,02	0,40	0,02	0,007	62,0	0,2	0,1	6,2	2,2	1,4	1,1	0,090	0,080	0,050
56	1982	6,4	7,2	9,0	49	16,5	1,5	1,4	4,0	0,19	0,02	0,19	0,013	46,0	0,2	0,1	4,2	1,8	1,4	1,0	0,200	0,030	0,320
57	1982	4,3	0,1	4,0	120	22,5	1,5	4,0	0,4	0,04	0,05	0,04	0,030	34,0	0,4	0,0	1,6	0,6	0,8	0,6	0,720	0,040	0,360
58	1982	5,1	0,1	10,0	4	5,0	0,5	0,3	0,4	0,02	0,05	0,02	0,007	30,0	0,2	0,1	2,0	0,7	0,7	0,5	0,090	0,150	0,120
59	1982	6,2	7,3	13,0	49	14,5	2,0	1,6	0,2	0,17	0,03	0,17	0,030	56,0	0,5	0,1	5,1	2,1	1,7	1,0	0,210	0,030	0,310
60	1982	6,4	5,7	8,0	9	5,5	2,5	0,4	0,5	0,09	0,02	0,09	0,007	34,5	0,2	0,0	4,3						

Annexe 2 Données mesurées en 1991 sur 64 lacs du nord-ouest québécois

N°	Année	pH Unité	pHe Unité	Alc mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	Coul Hazen	COD mg/l	CID mg/l	Tan mg/l	Turb UNT	NO <sub>x</sub> mg/l	NH <sub>4</sub> mg/l	NT mg/l	PT mg/l	SI mg/l	Cond mg/l	Cl mg/l	F mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Al filtré ug/l	Al <sup>3+</sup> ug/l	Zmax m
1	1991	6,6	7,2	9,0	6,7	12	4,6	3,0	0,6	0,4	0,06	0,04	0,20	0,010	5,6	38,7	0,5	0,04	5,0	0,8	0,8	0,6	0,04	0,01	50	10	6,0
2	1991	6,0	6,7	2,6	5,5	14	4,6	1,2	0,7	0,5	0,04	0,02	0,16	0,010	3,2	23,7	0,3	0,06	2,3	0,6	0,8	0,6	0,05	0,01	40	10	14,0
3	1991	5,7	6,1	1,9	5,0	34	7,8	0,8	1,4	0,4	0,03	0,03	0,23	0,010	3,7	21,7	0,3	0,04	2,0	0,6	0,7	0,5	0,22	0,04	150	40	10,0
4	1991	5,7	6,3	2,3	3,5	33	6,4	1,6	1,3	0,6	0,09	0,02	0,24	0,010	4,5	17,6	0,2	0,04	1,6	0,5	0,6	0,4	0,32	0,02	80	10	8,0
5	1991	5,2	5,7	0,4	5,5	20	5,6	0,6	0,9	0,4	0,06	0,02	0,66	0,010	5,1	20,0	0,2	0,04	1,4	0,6	0,6	0,4	0,03	0,03	150	50	20,0
7	1991	5,3	6,0	2,9	4,0	80	13,8	3,0	4,0	0,6	0,04	0,10	0,34	0,010	4,2	25,1	0,3	0,05	2,1	0,7	0,9	0,6	0,70	0,08	310	50	3,0
8	1991	6,1	6,6	3,0	5,7	22	5,0	1,0	1,0	0,4	0,05	0,02	0,16	0,010	4,5	25,6	0,2	0,04	2,5	0,6	0,8	0,5	0,14	0,01	90	20	14,0
9	1991	5,7	6,1	0,9	4,0	9	2,4	0,6	0,5	0,4	0,02	0,02	0,08	0,010	2,9	13,5	0,1	0,04	1,2	0,3	0,5	0,2	0,09	0,02	80	20	12,0
10	1991	6,0	6,5	1,9	4,3	12	3,6	0,8	0,7	0,4	0,03	0,02	0,13	0,010	2,4	17,4	0,2	0,04	1,8	0,5	0,6	0,5	0,06	0,01	50	10	20,0
11	1991	6,3	6,8	4,9	5,7	26	6,8	1,6	1,2	0,5	0,05	0,03	0,19	0,010	4,1	28,5	0,3	0,16	3,5	0,6	0,6	0,6	0,08	0,01	120	20	11,0
12	1991	6,2	7,0	7,3	7,0	9	4,0	2,0	0,5	0,5	0,02	0,02	0,10	0,010	2,5	35,4	0,4	0,08	4,5	0,7	0,8	0,5	0,05	0,01	30	0	17,0
13	1991	6,1	7,0	4,1	6,5	6	3,6	1,8	0,4	0,5	0,09	0,03	0,24	0,010	1,0	27,6	0,2	0,04	2,5	0,7	0,9	0,6	0,03	0,03	30	0	7,0
14	1991	5,5	6,2	1,5	5,5	22	6,0	1,4	1,0	0,7	0,05	0,04	0,27	0,010	2,1	23,2	0,3	0,04	2,0	0,6	0,8	0,5	0,16	0,04	80	10	7,0
15	1991	5,4	6,2	2,6	8,5	42	9,0	2,4	1,5	1,0	0,07	0,04	0,35	0,010	7,4	33,5	0,4	0,05	3,2	0,8	1,2	0,5	0,37	0,06	210	60	5,0
16	1991	5,3	5,8	0,9	2,5	55	8,6	0,4	2,0	0,4	0,02	0,03	0,16	0,010	4,5	13,5	0,3	0,04	1,2	0,3	0,8	0,3	0,24	0,01	200	60	21,0
17	1991	5,4	5,6	1,6	2,8	77	12,0	1,0	4,0	0,4	0,04	0,04	0,17	0,010	5,5	16,7	0,2	0,06	1,6	0,5	0,6	0,1	0,33	0,01	280	60	4,0
19	1991	5,8	6,3	2,3	2,8	34	6,6	0,8	1,5	0,3	0,04	0,02	0,06	0,010	2,2	14,5	0,2	0,04	1,5	0,6	0,5	0,2	0,08	0,01	90	10	15,0
20	1991	6,2	6,5	2,6	3,0	13	3,6	0,6	0,7	0,3	0,02	0,02	0,11	0,010	3,0	14,1	0,1	0,04	1,5	0,4	0,5	0,2	0,03	0,01	20	0	9,0
21	1991	5,7	6,3	2,6	3,5	1	7,4	1,8	1,8	0,7	0,06	0,05	0,20	0,010	7,5	17,8	0,2	0,04	1,5	0,6	0,7	0,3	0,36	0,02	140	20	3,0
22	1991	5,6	6,1	2,2	0,2	63	9,4	0,8	2,2	0,5	0,04	0,02	0,25	0,010	4,3	17,4	0,2	0,04	1,7	0,6	0,6	0,3	0,38	0,03	140	20	7,0
23	1991	6,1	6,7	4,2	3,5	38	6,0	1,6	1,1	0,5	0,10	0,02	0,12	0,010	7,4	20,7	0,3	0,04	1,9	0,8	0,8	0,5	0,31	0,01	110	20	18,0
24	1991	6,0	6,6	2,3	3,2	39	7,6	0,4	1,5	0,7	0,02	0,03	0,13	0,010	5,4	15,7	0,4	0,04	1,4	0,5	0,8	0,4	0,18	0,01	200	30	5,0
25	1991	6,2	6,8	6,6	3,7	65	12,0	1,0	2,3	4,6	0,08	0,04	0,18	0,010	5,4	27,6	0,2	0,06	2,7	1,3	1,0	0,6	0,29	0,01	330	20	2,0
26	1991	6,0	6,6	9,4	4,0	150	68,0	3,0	5,0	2,3	0,13	0,04	0,24	0,010	10,3	36,8	0,5	0,06	4,0	1,7	1,3	0,7	0,07	0,04	590	160	2,0
27	1991	6,4	7,2	14,4	4,0	160	80,0	2,8	7,0	2,0	0,05	0,06	1,54	0,010	8,0	46,4	0,8	0,04	5,9	2,1	1,2	0,8	0,59	0,06	510	20	2,0
28	1991	5,7	6,5	5,2	1,8	170	72,0	2,6	6,0	1,6	0,08	0,19	0,66	0,010	7,4	26,3	0,6	0,04	3,1	0,8	1,0	0,6	1,75	0,05	520	90	1,0
30	1991	5,9	6,5	3,6	3,2	57	12,0	1,4	2,1	0,5	0,08	0,04	0,30	0,080	5,5	22,1	0,3	0,06	2,6	0,6	0,7	0,4	0,28	0,02	270	50	6,0
32	1991	6,0	6,6	3,5	5,0	33	6,8	1,2	1,3	1,0	0,06	0,02	0,17	0,010	8,4	24,5	0,2	0,04	2,3	0,6	1,2	0,4	0,16	0,02	180	50	8,0
33	1991	5,7	6,1	1,5	3,8	9	3,2	1,2	0,5	0,6	0,04	0,02	0,11	0,010	1,6	14,5	0,1	0,04	1,4	0,3	0,5	0,2	0,06	0,02	20	0	8,0
34	1991	5,4	6,2	1,3	3,5	32	6,0	1,0	1,3	0,6	0,03	0,05	0,15	0,010	4,3	14,7	0,1	0,04	1,3	0,4	0,7	0,3	0,21	0,01	170	60	2,0
36	1991	6,3	7,4	28,3	5,5	160	68,0	5,4	4,0	47,0	0,25	0,05	0,56	0,040	8,7	82,0	1,3	0,12	8,7	3,9	2,7	2,1	1,39	0,16	720	0	2,0
37	1991	5,7	6,6	6,0	5,0	110	18,4	2,6	5,0	0,5	0,06	0,10	0,37	0,010	3,1	32,3	0,4	0,04	4,1	0,9	0,8	0,3	0,61	0,09	370	80	1,5
38	1991	6,2	7,4	17,6	2,0	130	74,0	6,2	5,0	0,7	0,02	0,36	1,40	0,010	3,1	46,6	0,6	0,04	5,9	1,9	0,8	0,5	1,00	0,12	300	60	1,5
39	1991	6,5	6,9	64,0	0,2	100	13,4	15,2	4,0	2,8	0,02	0,17	0,50	0,010	10,8	128,0	1,5	0,04	15,8	4,1	4,1	1,7	2,46	0,79	170	30	1,5
40	1991	6,2	7,5	18,6	3,5	41	5,0	4,0	1,3	4,0	0,05	0,90	1,11	0,015	11,4	48,8	0,4	0,04	5,5	0,9	1,4	0,4	1,66	0,04	80	30	1,0
41	1991	6,9	7,5	19,8	4,5	44	9,0	5,4	1,3	13,0	0,13	0,03	0,33	0,010	2,5	54,0	0,4	0,05	6,5	2,1	1,2	0,6	0,30	0,01	420	60	3,0
42	1991	6,4	6,8	13,0	4,5	100	17,8	3,4	4,0	4,0	0,14	0,03	0,36	0,010	7,2	44,3	0,5	0,04	5,2	1,8	1,3	0,4	0,59	0,03	350	30	2,5
43	1991	6,7	7,9	36,0	6,5	26	6,2	11,4	0,9	1,2	0,06	0,28	0,51	0,010	6,5	88,0	0,7	0,04	13,7	1,2	1,1	0,2	0,23	0,08	60	20	1,0
44	1991	6,8	7,8	34,2	5,3	47	10,8	10,0	1,6	2,4	0,08	0,27	0,63	0,010	5,0	83,0	0,5	0,04	10,8	2,6	1,3	0,7	0,44	0,06	130	0	3,0
45	1991	6,2	6,9	3,7	8,7	26	5,6	1,4	1,0	0,5	0,06	0,02	0,16	0,010	5,3	32,6	0,2	0,04	4,0	0,7	0,5	0,1	0,06	0,01	110	20	30,0
46	1991	6,4	7,1	6,8	6,3	42	8,8	2,0	1,4	0,8	0,06	0,02	0,24	0,010	3,2	33,8	0,3	0,04	4,3	0,9	0,7	0,1	0,15	0,01	100	20	8,0
47	1991	6,8	7,4	16,0	6,8	45	10,0	4,2	1,4	1,1	0,07	0,02	0,32	0,010	2,6	57,0	1,4	0,04	7,1	1,4	1,7	0,3	0,16	0,01	90	20	7,0
48	1991	6,8	7,2	32,0	10,3	29	8,4	9,0	0,9	3,3	0,23	0,02	0,58	0,015	3,9	92,0	1,0	0,06	10,4	3,2	2,0	1,0	0,21	0,09	180	0	5,0
49	1991	6,8	7,7	26,5	10,7	48	10,8	7,8	1,5	1,7	0,13	0,02	0,49	0,010	5,5	83,0	0,5	0,04	10,4	2,7	1,8	0,6	0,24	0,02	150	10	4,0
50	1991	4,3	4,4	0,1	5,5	4	1,6	1,0	0,4	0,4	0,03	0,05	0,14	0,010	6,8	27,7	0,2	0,04	0,5	0,2	0,1	0,1	0,04	0,03	300	270	4,0
51	1991	6,5	7,4	21,3	8,2	42	10,6	7,2	1,5	0,6	0,04	0,13	0,76	0,060	4,5	68,0	0,5	0,04	8,8	1,5	1,1	0,4	0,25	0,13	120	30	3,0
52	1991	7,1	7,6	24,9	7,5	20	5,6	6,6	0,7	7,0	0,07	0,02	0,24	0,010	1,0	71,0	0,5	0,05	8,4	2,5	1,2	0,6	0,12	0,01	140	10	5,0
53	1991	4,7	4,9	0,3	5,8	53	9,2	2,6	2,0	0,5	0,03	0,05	0,28	0,010	2,1	25,7	0,3	0,04	1,7	0,5	0,5	0,2	0,54	0,07	260	100	2,0
54	1991	4,3	4,4	0,1	4,8	140	16,8	3,4	6,0	0,6	0,02	0,08	0,33	0,010	4,8	35,0	0,2	0,06	1,4	0,6	0,6	0,2	1,14	0,04	420	160	2,0
55	1991	6,4	7,1	15,0	5,5	30	13,0	5,8	1,3	1,0	0,02	0,35	0,50	0,010	1,4	49,2	0,2	0,04	5,1	1,8	1,1	0,9	0,39	0,16	90	40	2,0
56	1991	6,1	6,9	6,9	6,2	59	14,4	2,4	2,0	6,0	0,13	0,02															

Annexe 3 Données mesurées en 1996 sur 74 lacs du nord-ouest québécois

N°	SITE	pH	pHe	Alc	SO <sub>4</sub>	H	Coul	COD	CID	Tan	Turb	NO <sub>x</sub>	NH <sub>4</sub>	NT	PT	SI	Cond	Cl	F	Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Al filtré	Al <sup>3+</sup>	Zmax	Zint
		Unité	Unité	mg/l	mg/l	ueq/l	Hazen	mg/l	mg/l	mg/l	UNT	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	uS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	m	m
1	04080096	6,50	7,34	9,0	6,2		9,0	4,3	3,2	0,6	0,4	0,09	0,05	0,19	0,005	5,0	37,8	0,3	0,04	4,8	0,8	0,8	0,5	0,043	0,008	0,010	0,005	6,0	5,0
2	04130014	6,25	6,84	2,9	5,0		10,0	7,3	1,2	0,7	0,3	0,05	0,02	0,14	0,005	2,9	21,8	0,2	0,06	2,1	0,6	0,8	0,4	0,046	0,006	0,005	0,005	13,0	5,0
3	04300090	6,92	6,50	2,0	4,8		25,0	7,4	0,7	1,3	0,4	0,04	0,04	0,18	0,005	2,7	21,5	0,3	0,02	2,2	0,6	0,7	0,4	0,182	0,021	0,070	0,010	3,0	2,0
4	04300091	5,97	6,57	1,9	3,9		26,0	5,8	0,8	1,2	0,7	0,10	0,03	0,20	0,005	4,1	16,3	0,2	0,06	1,6	0,5	0,6	0,3	0,304	0,033	0,040	0,010	9,0	5,0
5	04300092	5,40	6,06	0,8	4,8		19,0	5,0	0,7	1,0	0,4	0,06	0,03	0,15	0,005	4,5	18,1	0,3	0,04	1,3	0,6	0,6	0,3	0,164	0,026	0,090	0,005	30,0	5,0
6																													
7	08010017	5,61	6,30	2,9	4,4		66,0	13,0	1,7	2,8	0,5	0,05	0,09	0,31	0,005	3,6	23,6	0,3	0,06	2,1	0,8	1,0	0,6	0,324	0,036	0,200	0,005	3,0	2,0
8	04190008	5,88	6,61	3,7	5,0		26,0	6,7	2,3	1,3	0,5	0,13	0,02	0,26	0,005	4,4	24,5	0,3	0,04	2,6	0,6	0,9	0,4	0,181	0,036	0,090	0,010	7,0	5,0
9	04080091	5,83	6,32	1,0	3,7		9,0	2,6	0,7	0,5	0,5	0,04	0,03	0,11	0,005	3,5	12,6	0,2	0,02	1,2	0,3	0,6	0,2	0,164	0,022	0,050	0,020	20,0	5,0
10	04080098	6,09	6,59	2,1	4,0		9,0	3,8	0,9	0,7	0,2	0,04	0,01	0,13	0,005	2,1	16,4	0,2	0,02	1,6	0,4	0,6	0,3	0,072	0,006	0,005	0,005	12,0	5,0
11	04080099	6,39	6,98	5,0	5,2		22,0	6,0	1,6	1,1	0,3	0,10	0,03	0,24	0,005	3,9	27,5	0,3	0,16	3,3	0,6	0,7	0,5	0,086	0,004	0,070	0,005	9,0	5,0
12	04080100	6,57	7,21	7,3	6,8		8,0	4,1	2,2	0,6	0,2	0,02	0,03	0,14	0,005	1,5	34,5	0,4	0,06	4,2	0,6	0,9	0,5	0,222	0,002	0,020	0,010	25,0	5,0
13	04080101	6,18	7,04	4,2	5,4		8,0	3,5	1,8	0,5	0,4	0,11	0,03	0,22	0,005	1,7	24,5	0,3	0,04	2,3	0,6	0,9	0,5	0,222	0,009	0,010	0,005	5,0	4,0
14	04190009	5,81	6,41	2,0	5,8		18,0	5,8	1,3	1,1	0,5	0,04	0,05	0,16	0,005	1,9	22,7	0,3	0,04	2,0	0,6	0,8	0,4	0,149	0,030	0,050	0,010	8,0	5,0
15	04190010	5,70	6,57	2,9	7,1		32,0	8,2	2,2	1,5	0,9	0,12	0,06	0,25	0,005	6,0	29,8	0,4	0,06	2,8	0,7	1,2	0,4	0,316	0,057	0,120	0,030	3,0	2,0
16	08070056	5,43	5,74	0,9	1,7		55,0	8,9	0,6	2,7	0,5	0,05	0,02	0,13	0,050	4,8	12,6	0,4	0,02	1,1	0,3	0,8	0,2	0,267	0,011	0,190	0,020	30,0	5,0
17	08070057	5,50	6,00	1,8	1,9		74,0	11,1	1,8	3,3	0,8	0,06	0,03	0,18	0,050	6,4	15,6	0,3	0,02	1,7	0,5	0,7	0,1	0,366	0,012	0,250	0,005	6,0	5,0
18	08070058	6,12	6,80	5,3	2,6		66,0	10,9	2,3	2,9	0,8	0,08	0,01	0,18	0,005	5,6	22,4	0,4	0,04	2,9	0,8	0,7	0,3	0,319	0,014	0,160	0,010	8,0	5,0
19	08070059	6,11	6,42	2,5	2,0		36,0	7,0	1,0	1,9	0,3	0,07	0,01	0,14	0,005	2,6	15,3	0,3	0,02	1,6	0,6	0,5	0,2	0,088	0,008	0,070	0,005	30,0	5,0
20	05010067	6,35	6,76	2,7	2,1		10,0	3,5	1,0	0,7	0,2	0,01	0,01	0,08	0,005	2,5	14,0	0,3	0,02	1,5	0,4	0,6	0,2	0,027	0,003	0,020	0,020	8,0	5,0
21	05010068	5,62	6,43	2,3	2,4		52,0	8,7	1,8	2,7	0,9	0,07	0,03	0,23	0,010	6,3	16,8	0,3	0,04	1,4	0,6	0,8	0,4	0,363	0,013	0,140	0,020	10,0	5,0
22	05010069	6,94	6,67	2,5	2,6		59,0	7,4	1,0	2,3	1,8	0,03	0,02	0,15	0,010	3,4	16,4	0,3	0,02	1,6	0,6	0,7	0,3	0,196	0,011	0,080	0,010	5,0	4,0
23	05010070	6,26	6,92	4,7	3,0		35,0	6,3	1,9	1,7	0,7	0,13	0,01	0,27	0,010	7,4	21,8	0,4	0,02	2,1	0,8	0,9	0,5	0,333	0,013	0,070	0,005	12,0	5,0
24	08070060	6,00	6,48	2,3	2,3		40,0	7,8	0,8	1,9	0,8	0,02	0,02	0,13	0,005	5,7	15,5	0,5	0,06	1,4	0,5	0,8	0,3	0,233	0,010	0,180	0,030	6,0	5,0
25	08070061	6,56	7,22	9,0	3,6		51,0	11,0	2,8	2,2	4,2	0,09	0,03	0,28	0,015	4,9	32,9	0,4	0,06	3,2	1,5	1,3	0,5	0,245	0,025	0,250	0,040	3,0	2,0
26	08070062	6,17	7,21	12,0	3,4		130,0	23,0	5,0	5,1	4,7	0,26	0,03	0,31	0,020	11,0	44,3	0,6	0,08	4,8	2,1	1,5	0,6	0,951	0,110	0,400	0,005	2,0	1,0
27	08070063	6,49	7,41	17,0	3,7		123,0	27,0	5,6	5,3	2,2	0,09	0,07	0,24	0,010	7,3	52,0	0,5	0,06	6,4	2,2	1,7	0,6	0,738	0,166	0,310	0,005	3,0	2,0
28	08070064	5,89	7,05	10,0	0,3		213,0	24,0	6,8	6,4	4,1	0,12	0,36	0,49	0,010	11,3	34,2	0,8	0,06	3,8	1,0	1,2	0,7	4,420	0,077	0,330	0,005	2,0	1,0
29	08070065	5,97	7,27	22,0	0,3		163,0	27,0	13,6	8,0	4,6	0,01	0,62	0,62	0,025	12,0	58,0	1,0	0,04	5,4	2,0	1,7	0,8	5,530	0,075	0,420	0,010	1,5	1,0
30	08070066	6,24	6,85	4,3	2,9		59,0	12,2	1,6	2,4	0,6	0,05	0,02	0,20	0,010	5,6	23,0	0,4	0,06	3,0	0,7	0,8	0,3	0,306	0,014	0,200	0,005	6,0	5,0
31	08070067	5,75	6,32	1,7	3,0		28,0	5,7	1,0	1,5	0,3	0,03	0,03	0,13	0,005	4,1	14,5	0,3	0,02	1,4	0,3	0,9	0,2	0,148	0,011	0,120	0,010	7,0	5,0
32	08070068	6,25	6,81	3,8	4,5		29,0	6,8	1,3	1,5	0,5	0,07	0,01	0,15	0,005	7,8	24,5	0,3	0,02	2,4	0,7	1,3	0,4	0,143	0,010	0,110	0,005	7,0	5,0
33	08070069	5,66	6,12	1,2	3,8		6,0	2,6	1,0	0,4	0,6	0,04	0,02	0,13	0,005	1,3	15,0	0,2	0,02	1,4	0,3	0,6	0,3	0,096	0,026	0,010	0,010	13,0	5,0
34	08070070	5,56	6,06	1,6	3,6		35,0	6,8	1,3	1,7	0,8	0,07	0,06	0,21	0,005	4,8	17,8	0,4	0,02	1,5	0,5	0,8	0,4	0,234	0,014	0,110	0,005	2,0	1,0
36	08010018	6,71	7,63	22,0	3,3		99,0	16,0	6,9	3,4	68,0	0,33	0,05	0,65	0,060	4,7	69,0	2,0	0,13	7,4	3,8	2,6	1,7	2,150	0,059	0,240	0,240	2,0	1,0
37	08070071	6,11	7,31	12,0	2,7		81,0	15,8	5,6	3,6	1,1	0,10	0,27	0,60	0,015	3,3	39,5	0,4	0,02	5,3	1,1	0,9	0,4	1,290	0,240	0,200	0,010	1,5	1,0
38	08070072																												
39	08010019	6,75	8,28	102,0	3,0		71,0	14,8	30,0	2,1	5,4	0,01	0,10	0,26	0,050	14,3	194,0	1,5	0,06	27,0	6,6	3,2	1,0	2,780	0,370	0,100	0,040	1,0	0,7
40	08010020	6,23	7,45	25,0	2,0		49,0	5,6	12,6	1,6	1,7	0,01	0,82	1,08	0,040	13,1	59,0	0,2	0,02	10,7	1,2	1,3	0,6	4,110	0,058	0,060	0,020	1,0	0,5
41	08010021	6,90	7,73	25,0	4,7		34,0	8,1	6,9	1,3	13,0	0,18	0,02	0,31	0,025	5,9	62,0	0,2	0,06	7,7	2,6	1,3	0,7	0,393	0,026	0,100	0,005	2,0	1,0
42	08010022	6,45	7,55	16,0	5,2		98,0	18,5	5,7	3,5	8,4	0,14	0,01	0,28	0,025	8,2	54,0	0,6	0,05	6,7	2,3	1,8	0,5	0,624	0,058	0,310	0,030	3,0	2,0
43	04300094	6,70	7,94	43,0	8,6		29,0	5,5	13,9	0,9	1,4	0,05	0,16	0,35	0,025	9,9	108,0	0,5	0,04	17,8	1,7	1,5	0,3	0,881	0,127	0,060	0,010	1,0	0,7
44	08980004	6,79	8,03	50,0	5,2		37,0	9,8	14,0	1,3	2,3	0,01	0,16	0,34	0,005	3,6	106,0	0,5	0,04	15,0	3,4	1,8	0,9	0,854	0,257	0,030	0,005	3,0	2,0
45	04300095	6,35	7,12	5,3	8,4		24,0	5,7	2,1	1,0	0,3	0,12	0,03	0,22	0,005	6,2	35,0	0,3	0,02	4,7	0,8	0,7	0,2	0,107	0,015	0,060	0,005	18,0	5,0
46	08980002	6,66	7,27	8,7	6,6		30,0	8,4	2,5	1,4	0,6	0,07	0,01	0,19	0,005	3,1	38,3	0,4	0,05	5,0	1,1	0,9	0,2	0,113	0,009	0,050	0,010	10,0	5,0
47	08980006	6,80	7,60	18,0	9,8		32,0	8,4	5,4	1,2	2,4	0,15	0,02	0,30	0,005	5,6	72,0	2,2	0,06	9,2</									

Annexe 4 Données mesurées en 2001 sur 45 lacs du nord-ouest québécois

N°	STATION	DATE	HEURE	pH	CO <sub>2</sub>	H	Alc	SO <sub>4</sub>	Coul	COD	CID	Tan	Turb	NO <sub>x</sub>	NH <sub>3</sub>	N <sub>TOT</sub>	P	SiO <sub>2</sub>	Cl	Cond	Ca	Mg	Na	K	Fe	Al-D	Al <sup>3+</sup>
				Unité	Unité	ueq/l	mg/l	mg/l	UCV	mg/l	mg/l	mg/l	UNT	mg/l N	mg/l N	mg/l N	mg/l P	mg/l	mg/l	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
2	04130014	2001-03-09	22:22	6,16	6,76		3,2	4,5	13	4,6	1,2	0,8	0,4	0,04	0,02	0,18	0,005	3,6	0,2	21,5	2,1	0,54	0,88	0,45	0,074	0,019	0,018
5	04300092	2001-03-12	22:22	5,48	5,98		1,1	4,5	21	4,7	0,8	1,4	0,4	0,37	0,02	0,54	0,005	4,8	0,2	17,2	1,1	0,51	0,66	0,27	0,180	0,140	0,120
7	08010017	2001-03-08	22:22	5,60	6,60		3,3	3,0	71	11,5	2,2	2,7	0,7	0,08	0,08	0,40	0,005	2,4	0,2	21,5	1,6	0,64	0,83	0,39	0,440	0,276	0,250
8	04190008	2001-03-09	22:22	6,01	6,79		3,3	5,0	25	5,5	1,4	1,3	0,4	0,11	0,01	0,18	0,005	3,3	0,2	23,0	2,4	0,58	0,94	0,45	0,230	0,061	0,058
9	04080091	2001-03-12	22:22	5,84	6,27		1,2	2,5	8	3,8	0,6	0,6	0,4	0,07	0,01	0,14	0,005	3,7	0,1	12,5	0,9	0,28	0,56	0,10	0,100	0,060	0,050
10	04080098	2001-03-12	22:22	6,10	6,55		2,2	3,5	13	4,1	0,8	0,8	0,3	0,10	0,01	0,20	0,005	2,6	0,2	16,8	1,5	0,41	0,60	0,26	0,120	0,040	0,039
14	04190009	2001-03-09	22:22	5,78	6,31		1,7	5,5	27	6,6	0,7	1,5	0,7	0,05	0,02	0,25	0,005	2,5	0,2	21,5	1,9	0,56	0,89	0,34	0,210	0,094	0,092
15	04190010	2001-03-09	22:22	5,67	6,39		2,8	5,5	55	11,2	1,2	2,4	1,0	0,10	0,04	0,44	0,005	5,8	0,3	26,0	2,5	0,61	1,30	0,54	0,360	0,224	0,210
21	05010068	2001-03-06	08:30	5,96	6,49		3,3	3,5	61	9,2	1,9	2,5	1,0	0,08	0,04	0,29	0,005	7,3	0,3	19,8	1,8	0,69	1,00	0,44	0,360	0,162	0,160
30	08070066	2001-03-06	12:36	6,25	6,84		4,7	3,5	44	9,2	1,6	2,1	0,5	0,05	0,01	0,20	0,005	5,2	0,2	21,5	2,8	0,59	0,86	0,22	0,200	0,135	0,130
32	08070068	2001-03-06	11:29	6,24	6,78		3,9	4,0	43	8,6	1,4	2,0	0,7	0,06	0,01	0,22	0,005	7,8	0,2	22,8	2,3	0,63	1,40	0,43	0,170	0,209	0,160
33	08070069	2001-03-06	09:15	5,98	6,35		1,4	3,0	7	3,3	0,7	0,6	0,4	0,02	0,02	0,14	0,005	1,1	0,2	14,5	1,3	0,31	0,60	0,31	0,026	0,017	0,017
34	08070070	2001-03-06	12:04	5,68	6,29		1,9	2,5	40	7,3	1,3	1,9	0,7	0,06	0,02	0,25	0,005	4,9	0,2	15,4	1,3	0,42	0,90	0,40	0,190	0,177	0,170
43	04300094	2001-03-07	13:46	6,91	7,99		50,0	3,5	30	9,7	12,4	1,5	1,1	0,04	0,03	0,37	0,005	2,0	0,6	109,0	14,2	3,40	1,90	0,60	0,310	0,023	0,020
44	08980004	2001-03-07	13:20	6,77	7,85		39,0	5,0	26	7,1	10,9	1,2	0,6	0,61	0,16	0,99	0,005	5,8	0,5	91,0	15,7	1,30	1,20	0,21	0,340	0,043	0,031
45	04300095	2001-03-07	14:08	6,41	7,05		5,1	6,0	27	6,2	1,6	1,3	0,4	0,12	0,01	0,20	0,005	5,2	0,2	31,0	4,0	0,69	0,64	0,11	0,046	0,097	0,085
46	08980002	2001-03-07	12:06	6,68	7,19		8,3	4,5	42	10,0	2,2	1,9	0,8	0,12	0,01	0,32	0,005	3,0	0,3	33,5	4,7	1,00	0,92	0,19	0,180	0,081	0,071
47	08980006	2001-03-07	11:46	6,96	7,62		20,0	5,0	39	10,1	5,1	1,7	1,6	0,16	0,01	0,46	0,005	2,7	2,0	63,0	8,5	1,7	2,30	0,44	0,160	0,073	0,063
48	04300115	2001-03-06	15:06	6,86	7,77		35,0	9,5	34	8,7	10,0	1,3	16,0	0,26	0,01	0,56	0,010	5,5	1,0	98,0	12,3	3,70	2,60	1,10	0,270	0,240	0,240
49	04300096	2001-03-06	15:22	6,72	7,52		27,0	9,0	54	13,0	7,8	2,1	1,8	0,11	0,01	0,44	0,015	4,7	0,3	80,0	11,0	2,90	1,90	0,64	0,230	0,121	0,120
50	04300097	2001-03-06	14:40	4,52	4,58	31	0,1	4,5	4	2,1	1,0	0,5	0,6	0,05	0,09	0,20	0,010	0,1	0,2	23,5	0,5	0,16	0,23	0,13	0,067	0,251	0,043
51	08980008	2001-03-07	12:29	6,63	7,64		27,0	5,5	35	9,7	6,8	1,6	0,7	0,07	0,13	0,55	0,005	2,5	0,4	70,0	9,6	1,70	1,20	0,52	0,190	0,052	0,045
52	04300098	2001-03-07	10:15	6,87	7,65		26,0	7,5	13	5,5	7,2	1,2	4,7	0,10	0,01	0,30	0,005	3,4	0,2	71,0	9,1	2,70	1,60	0,66	0,160	0,072	0,071
53	04300099	2001-03-07	10:33	4,87	4,75	11	0,2	5,0	56	9,5	1,6	2,4	0,8	0,06	0,05	0,34	0,005	1,7	0,4	22,4	1,7	0,53	0,72	0,28	0,480	0,270	0,210
54	04300100	2001-03-07	08:01	4,58	4,65	20	0,1	5,5	82	15,3	2,4	3,8	2,1	0,10	0,15	0,60	0,005	1,7	0,3	27,8	1,4	0,62	0,75	0,27	0,770	0,377	0,290
55	04300101	2001-03-07	09:36	6,67	7,44		18,0	4,0	26	30,0	5,0	1,2	2,3	0,05	0,14	0,57	0,005	3,7	0,3	48,0	5,4	1,80	1,40	0,85	0,370	0,073	0,059
56	04300102	2001-03-07	08:22	6,28	7,07		8,4	6,0	38	11,0	2,8	1,8	2,9	0,11	0,02	0,43	0,005	2,4	0,3	39,2	3,7	1,60	1,40	0,52	0,180	0,179	0,170
57	04300103	2001-03-08	22:22	4,71	4,83	20	0,1	2,0	120	19,2		5,2	0,6	0,04	0,02	0,34	0,005	5,4	0,1	21,0	1,1	0,46	0,69	0,16	0,710	0,333	0,280
58	04300104	2001-03-07	08:44	4,96	5,05	10	0,1	6,5	8	3,6	0,8	0,6	0,6	0,03	0,04	0,22	0,005	1,2	0,2	23,3	1,2	0,51	0,63	0,32	0,160	0,137	0,050
59	04300105	2001-03-07	09:11	6,29	7,06		9,0	6,0	54	13,7	2,9	2,5	3,5	0,19	0,02	0,57	0,005	4,1	0,3	39,7	4,1	1,70	1,60	0,60	0,210	0,236	0,220
60	04300106	2001-03-08	22:22	6,27	7,21		7,0	4,5	12	4,0	2,9	0,7	0,8	0,08	0,01	0,21	0,005	3,0	0,2	29,7	3,4	0,54	0,82	0,42	0,230	0,009	0,004
61	04300107	2001-03-10	22:22	6,18	7,01		6,7	4,5	13	4,6	2,8	0,8	0,6	0,01	0,07	0,26	0,005	2,0	0,3	30,2	2,5	0,83	0,78	0,70	0,087	0,036	0,034
62	04260005	2001-03-10	22:22	6,07	6,83		2,6	5,0	8	3,6	1,4	0,6	0,4	0,04	0,01	0,17	0,005	1,5	0,2	20,8	1,7	0,69	0,74	0,48	0,075	0,030	0,027
63	04260006	2001-03-10	22:22	4,92	5,22	10	0,1	4,0	33	6,6	1,2	1,7	0,8	0,05	0,05	0,27	0,005	1,7	0,2	18,8	1,2	0,41	0,48	0,36	0,210	0,148	0,110
64	04210003	2001-03-09	22:22	6,03	7,01		4,1	6,0	10	5,1	1,9	0,8	0,5	0,05	0,07	0,29	0,005	3,7	0,2	26,5	2,4	0,67	1,10	0,61	0,091	0,037	0,034
65	04300108	2001-03-09	22:22	6,23	6,91		5,4	7,0	8	5,1	1,8	0,7	0,3	0,02	0,03	0,23	0,005	2,2	0,2	32,2	3,0	1,10	0,85	0,70	0,019	0,022	0,021
71	04260339	2001-03-10	22:22	6,00	6,28		1,4	5,0	5	3,4	0,6	0,5	0,4	0,01	0,01	0,13	0,005	1,0	0,2	20,0	1,4	0,50	0,67	0,49	0,052	0,026	0,022
72	04260340	2001-03-10	22:22	5,82	6,46		2,0	5,0	20	5,1	0,8	1,2	0,6	0,08	0,02	0,24	0,005	3,8	0,2	20,5	1,5	0,51	0,90	0,45	0,180	0,098	0,087
73	04260337	2001-03-10	22:22	5,91	6,48		1,9	5,0	20	4,7	0,8	1,1	0,5	0,06	0,03	0,24	0,005	3,0	0,3	22,4	2,0	0,59	0,83	0,53	0,140	0,080	0,076
74	04260338	2001-03-10	22:22	6,23	6,55		2,4	5,5	7	4,2	0,8	0,6	0,3	0,02	0,01	0,14	0,005	2,0	0,3	23,5	2,2	0,65	0,87	0,57	0,028	0,024	0,023
75	04260336	2001-03-10	22:22	6,07	6,72		3,3	6,5	35	8,1	1,2	1,6	0,4	0,04	0,01	0,24	0,005	5,5	0,2	26,3	2,3	0,69	1,10	0,61	0,120	0,072	0,070
76	04260334	2001-03-10	22:22	5,99	6,54		2,2	5,5	17	5,6	1,0	1,1	0,3	0,04	0,02	0,21	0,005	2,2	0,3	23,6	2,2	0,60	0,82	0,55	0,110	0,064	0,060
77	04260333	2001-03-10	22:22	6,10	6,60		2,2	5,0	16	5,0	0,8	1,6	1,0	0,04	0,02	0,22	0,005	2,2	0,2	23,0	2,1	0,60	0,80	0,50	0,180	0,064	0,003
78	04260335	2001-03-10	22:22	6,28	6,73		2,9	6,0	14	5,7	0,8	0,9	0,5	0,03	0,01	0,19	0,005	3,6	0,2	24,1	2,0	0,60	0,80	0,50	0,070	0,045	0,000
79	04300421	2001-03-10	22:22	6,00	6,40		1,3	5,0	10	4,0	0,7	0,8	0,3	0,06	0,01	0,17	0,005	2,6	0,2	19,8	1,4	0,50	0,80	0,50	0,090	0,041	0,008

0,005 : valeur sous le seuil de détection analytique.