

ÉQUIPE DE TRAVAIL

Conseil de bassin du lac Saint-Augustin

M. René Gélinas, biologiste : Directeur du suivi de la qualité du milieu, secteur environnement, Ville de Québec

M. Jean-Claude Desroches : Président du Conseil de bassin du lac Saint-Augustin

EXXEP Environnement

M. Sylvain Arsenault, biologiste : Directeur du projet

M. Christian Corbeil, technicien senior : Interprétation et rédaction

M. Nicolas Juneau, biologiste, M. Env. : Support à la rédaction

Mme Guylaine Arseneault, B. E. E. : Révision linguistique

Collaborateurs : Laboratoire de l'environnement, Département de génie civil, Université Laval

Mme Rosa Galvez-Cloutier, Ph.D. : Professeur, chargée du projet

Mme Marie-Ève Brin, B.Sc. : Étudiante graduée à la maîtrise

M. Gerardo Dominguez, B.Sc. : Étudiant gradué à la maîtrise

Mme Manon Ouellette, technicienne : Support technique et logistique

Référence à citer :

Corbeil, C., N. Juneau, M-E. Brin, G. Dominguez, R. Galvez-Cloutier, S. Arsenault, 2002. Portrait de la contamination des sédiments au lac Saint-Augustin. Présenté au Conseil de bassin du lac Saint-Augustin, préparé par EXXEP Environnement en collaboration avec le Département de génie civil de l'Université Laval, 31 pages + 3 annexes.

TABLE DES MATIÈRES

1	ÉQUIPE DE TRAVAIL	ii
2	TABLE DES MATIÈRES	iii
3	LISTE DES FIGURES.....	iv
4	LISTE DES TABLEAUX et des annexes	v
5	INTRODUCTION.....	1
6	LOCALISATION DU SITE À L'ÉTUDE	3
7	MÉTHODOLOGIE	4
7.1	Programme analytique.....	4
7.2	Critères d'interprétation des résultats.....	4
7.3	Procédures d'échantillonnage et d'analyse chimique	6
8	PRÉSENTATION ET ANALYSE DES RÉSULTATS.....	9
8.1	Pesticides de la famille des organochlorés	9
8.2	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).....	10
8.3	Les métaux lourds	12
8.3.1	Le cadmium.....	13
8.3.2	Le chrome.....	14
8.3.3	Le cuivre.....	17
8.3.4	Le nickel	18
8.3.5	Le plomb.....	20
8.3.6	Le zinc	21
8.3.7	L'arsenic	23
8.3.8	Le mercure	23
9	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	26
10	RÉFÉRENCES.....	31

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Localisation du lac Saint-Augustin	3
Figure 2. Identification des transects et des stations d'échantillonnage.	7
Figure 3. Concentrations en cadmium dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).....	16
Figure 4. Concentrations en chrome dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).....	16
Figure 5. Distribution des concentrations en cuivre dans les sédiments du lac Saint- Augustin (novembre 2001).....	19
Figure 6. Distribution des concentrations en nickel dans les sédiments du lac Saint- Augustin (novembre 2001).....	19
Figure 7. Distribution des concentrations en plomb dans les sédiments du lac Saint- Augustin (novembre 2001).....	22
Figure 8. Distribution des concentrations en zinc dans les sédiments du lac Saint- Augustin (novembre 2001).....	22
Figure 9. Distribution des concentrations en arsenic dans les sédiments du lac Saint- Augustin (novembre 2001).....	25
Figure 10. Distribution des concentrations en mercure dans les sédiments du lac Saint- Augustin (novembre 2001).....	25

LISTE DES TABLEAUX ET DES ANNEXES

Tableau 1.	Résultats des concentrations en pesticides organochlorés (mg/kg).....	10
Tableau 2.	Résultats des concentrations en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) (mg/kg).	12
Tableau 3.	Résumé des concentrations mesurées de cadmium dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).	14
Tableau 4.	Résumé des concentrations mesurées de chrome dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).	15
Tableau 5.	Résumé des concentrations mesurées de cuivre dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).	17
Tableau 6.	Résumé des concentrations mesurées de nickel dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).	18
Tableau 7.	Résumé des concentrations mesurées de plomb dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).	20
Tableau 8.	Résumé des concentrations mesurées de zinc dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).	21
Tableau 9.	Résumé des concentrations mesurées en arsenic dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).	23
Tableau 10.	Résumé des concentrations mesurées en mercure dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).	24
Tableau 11.	Dépassement des teneurs de fond et des niveaux de contamination dans les sédiments du lac Saint-Augustin.....	27
Annexe I.	Méthodologie et résultats d'analyses physico-chimiques. (extrait du rapport de Brin et coll., 2002.	
Annexe II.	Certificats d'analyses chimiques (pesticides organochlorés et hydrocarbures aromatiques polycycliques).	
Annexe III.	Distribution spatiale des métaux lourds présents dans les sédiments du lac Saint-Augustin en 2001.	

1 INTRODUCTION

La présente étude sur les sédiments du lac Saint-Augustin s'inscrit dans le cadre de «*La grande corvée du bassin versant du lac Saint-Augustin* », dont l'objectif principal vise la restauration de la qualité des eaux du lac Saint-Augustin.

Par le passé, peu de connaissances ont été obtenues sur les sédiments du lac Saint-Augustin, à l'exception d'une étude de Landry (1993) qui a fourni des informations préliminaires quant à la qualité et à la composition des sédiments du lac. Les résultats ainsi obtenus pour différents paramètres étaient inférieurs au seuil d'effets mineurs (SEM) des critères intérimaires du Centre Saint-Laurent. Par contre, les six stations d'échantillonnage étaient localisées uniquement dans la portion littorale du lac, où le substrat est plus grossier. Les informations recueillies dans le cadre de la présente étude visaient la portion plus lacustre du plan d'eau, en considérant un échantillonnage couvrant la superficie du lac dans son ensemble, soit 42 stations d'échantillonnage.

Les sédiments représentent une composante essentielle des écosystèmes aquatiques, entre autres en fournissant une niche aux divers organismes benthiques et à d'autres organismes, dont les bactéries, qui y passent un ou plusieurs stades de leur croissance. Il existe une étroite relation entre la phase solide et la phase liquide du fond lacustre, puisque de nombreux échanges s'opèrent à cette interface en fonction des conditions physico-chimiques du milieu (fluctuations de l'oxygène dissous et du pH par exemple). Les problèmes potentiels associés aux sédiments sont reliés au fait qu'ils constituent un réservoir dans lequel les contaminants peuvent être emmagasinés pendant de longues périodes et éventuellement libérés dans la colonne d'eau (Hade, 2002 ; Baudo et Muntau, 1990). La toxicité des sédiments peut donc être transférée à la chaîne alimentaire et ainsi nuire à la qualité de vie des espèces présentes.

Compte tenu de cette dynamique de transferts et du contexte actuel du lac Saint-Augustin, il est pertinent de se questionner sur la présence de certains polluants dans les sédiments du lac.

L'objectif principal de cette étude est donc de réaliser la caractérisation des sédiments du lac Saint-Augustin afin d'en déterminer la concentration en divers contaminants ciblés et de

comparer les résultats obtenus aux *Critères intérimaires pour l'évaluation de la qualité des sédiments* du Centre Saint-Laurent (mai 1992). L'analyse des résultats permettra d'orienter les actions à poser en ce qui a trait aux sédiments du lac dans le cadre de « *La grande corvée* ».

Il faut mentionner que le travail réalisé en 2001 sur les sédiments du lac Saint-Augustin a été rendu possible grâce à la participation du professeur Rosa Galvez-Cloutier et de son équipe du laboratoire environnemental, du département de génie civil de l'Université Laval.

2 LOCALISATION DU SITE À L'ÉTUDE

Le lac Saint-Augustin se situe dans l'arrondissement 8 de la ville de Québec au sud de l'autoroute Félix-Leclerc (autoroute 40) et au nord du fleuve Saint-Laurent. La figure 1 ci-dessous situe le lac Saint-Augustin dans son contexte régional. Les courbes bathymétriques du lac sont présentées en mortaise. La profondeur maximale du lac est de 5,5 mètres alors que la profondeur moyenne est d'environ 1,8 mètres.

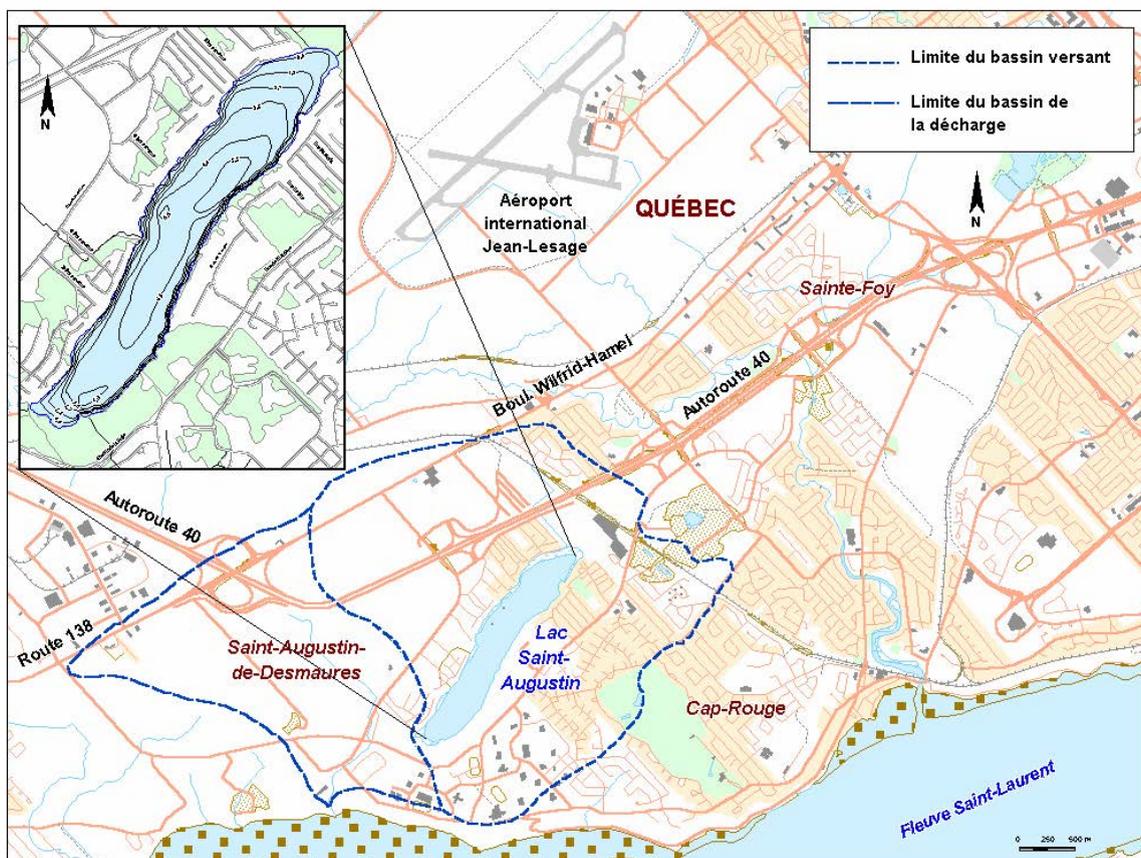


Figure 1. Localisation du lac Saint-Augustin

3 MÉTHODOLOGIE

3.1 Programme analytique

Les contaminants retenus pour la présente étude sont des paramètres majeurs reconnus et des indicateurs importants de la nature de la contamination dans les sédiments.

Les paramètres analytiques pour la détermination du contenu des échantillons de sédiments du lac Saint-Augustin ont été sélectionnés en fonction de la « *Liste de substances retenues pour l'évaluation routinière de la qualité des sédiments du Saint-Laurent* » (avril 1992). Cette liste est présentée dans le document intitulé « *Critères intérimaires pour l'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent* », développé conjointement par le Centre Saint-Laurent (Environnement Canada) et le ministère de l'Environnement du Québec (MENV). C'est ainsi que les métaux lourds dont le cadmium, le chrome, le cuivre, le nickel, le plomb, le zinc, l'arsenic (un métalloïde) et le mercure ainsi que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les pesticides organochlorés ont été ciblés. Les byphényles polychlorés (BPC) et les hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀, qui font partie de la liste, n'ont pas été analysés.

Mentionnons que certains paramètres physiques ont été mesurés sur les échantillons de sédiments afin de donner un aperçu de certaines de leurs caractéristiques. La méthodologie et les résultats obtenus pour ces paramètres sont joints à l'annexe I.

3.2 Critères d'interprétation des résultats

Afin d'établir une base d'évaluation et à titre exploratoire, les résultats d'analyses des sédiments ont été comparés aux « *Critères intérimaires pour l'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent* » publiés par le Centre Saint-Laurent. Trois niveaux de gestion y sont identifiés, correspondant chacun à un seuil d'effets sur le milieu. Ces niveaux sont les suivants :

Niveau 1, seuil sans effets (SSE)

Lorsque la concentration est égale ou inférieure à ce premier niveau, l'environnement paraît sécuritaire pour les organismes benthiques, pour la qualité de l'eau et pour ses usages; le site est jugé exempt de pollution. Les teneurs de fond dans les sols ont servi, entre autres, à l'établissement de ce seuil pour certains métaux. Les sédiments dont les concentrations mesurées sont en bas de ce seuil sont identifiés de classe 1.

Niveau 2, seuil d'effets mineurs (SEM)

Lorsque la concentration d'un contaminant excède le premier niveau sans dépasser le second, les auteurs de la réglementation estiment que les sédiments ont un effet négligeable sur la faune benthique. Lorsque la concentration est égale ou au-dessous du niveau 2, les sédiments peuvent avoir des effets toxiques minimaux sur la faune benthique. Les sédiments sont de classe 2.

Niveau 3, seuil d'effets néfastes (SEN)

Lorsque la concentration d'un contaminant se situe entre le niveau 2 et le niveau 3, soit de classe 3, des effets toxiques plus significatifs sur les organismes benthiques sont appréhendés. D'autre part, pour les concentrations situées au-delà du niveau 3, sédiments de classe 4, des effets sévères sont appréhendés.

Mentionnons que nous avons également comparé les résultats obtenus pour les métaux avec les teneurs de fond observées dans les sols et sédiments de la province géologique des basses terres du Saint-Laurent, tel que décrit dans le document *Bruits de fond géochimiques pour différents environnements géologiques au Québec* du ministère des Ressources naturelles (mai 1997). Ces données sont reconnues pour l'évaluation de la qualité des écosystèmes et représentent des concentrations naturelles dans l'environnement (non anthropiques). La teneur de fond mesurée au 98^e centile de la distribution a été utilisée dans ce document. Le MENV utilise d'ailleurs cette valeur dans certains cas pour la détermination du critère «A» de sa *Politique de protection des sols*.

3.3 Procédures d'échantillonnage et d'analyse chimique

La campagne d'échantillonnage a été réalisée par Mesdames Marie-Eve Brin et Manon Ouellette et M. Gerardo Domingez, sous la direction du professeur Rosa Galvez-Cloutier. L'échantillonnage des sédiments a été réalisé du 26 au 28 octobre 2001. EXXEP Environnement a assuré la coordination de l'étude et la rédaction du rapport technique.

Un échantillonnage représentatif a été fait afin de répartir les stations sur toute la surface du lac. Les 42 stations d'échantillonnage retenues sont réparties sur des transects transversaux sillonnant le lac, tel que montré à la figure 2. De trois à cinq stations sont réparties sur chacun des transects, lesquels sont identifiés d'une lettre alors que les stations sont numérotées séquentiellement par transect. Les stations situées entre les transects sont identifiées à l'aide de deux lettres. Les coordonnées des stations ont été enregistrées à l'aide d'un système de positionnement GPS.

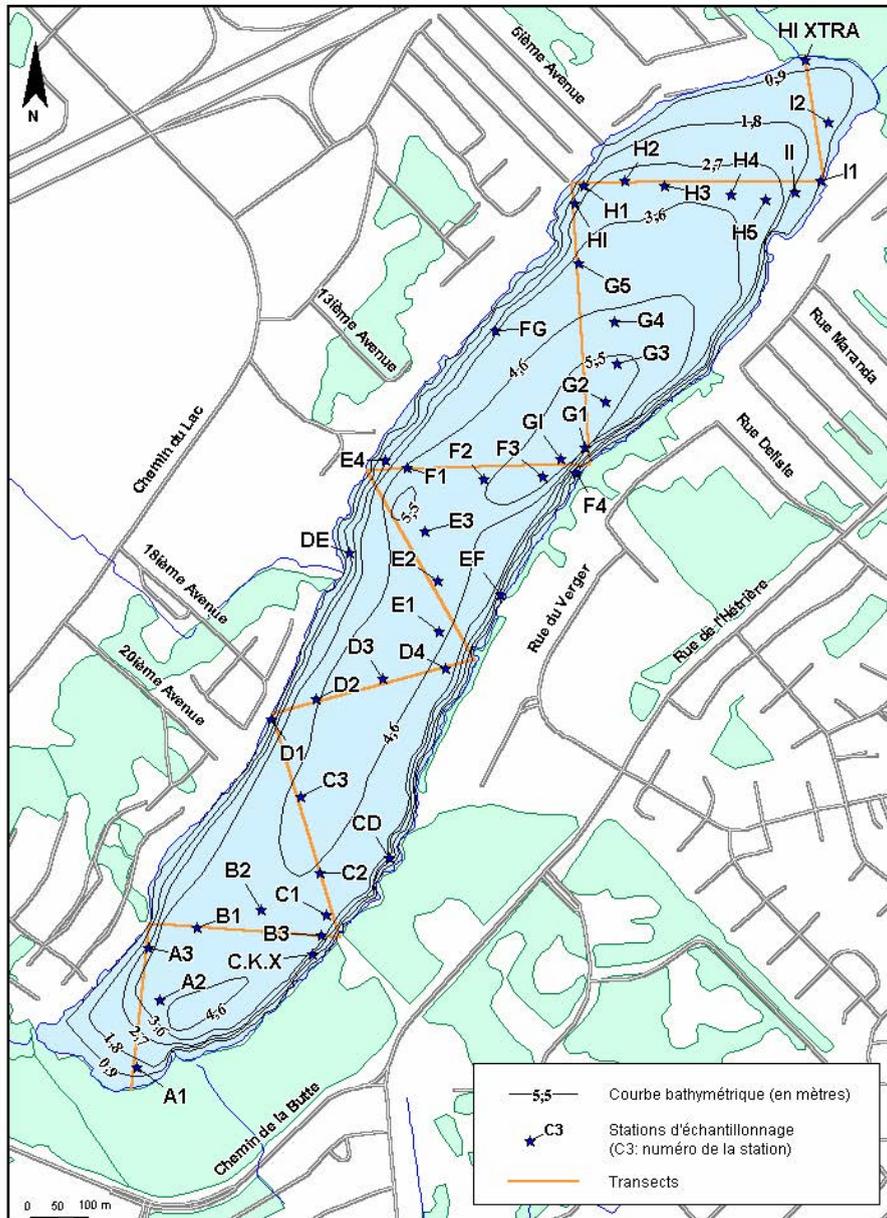


Figure 2. Identification des transects et des stations d'échantillonnage.

Les échantillons de sédiments de surface ont été récoltés du fond du lac à l'aide d'une benne preneuse, modèle Ekman. Par la suite, le contenu de la benne a été déversé dans un récipient

de plastique rectangulaire afin de constituer des échantillons représentatifs. L'échantillonnage a été réalisé en conformité avec le *Guide méthodologique de caractérisation des sédiments* (Environnement Canada et MENV, 1992).

Les échantillons de sédiments ont été transférés dans un contenant de plastique opaque d'un volume de quatre litres alors que l'eau surnageante a servi à certaines mesures comme le pH, la température et la conductivité, tel que discuté en annexe I. La matrice boueuse a été stockée immédiatement dans une glacière par mesure de conservation.

Les analyses chimiques pour déterminer les concentrations en pesticides de la famille des organochlorés, en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), en arsenic et en mercure ont été réalisées par le laboratoire accrédité Bodycote Envirolab. Les certificats d'analyses chimiques de laboratoire sont présentés à l'annexe II.

Les analyses des six métaux (Ca, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) ont été réalisées au Laboratoire de génie civil de l'Université Laval, selon la procédure standard du Centre Saint-Laurent (1992) pour l'analyse des métaux extractibles totaux dans les sédiments.

4 PRÉSENTATION ET ANALYSE DES RÉSULTATS

4.1 Pesticides de la famille des organochlorés

La famille des pesticides organochlorés est un groupe de substances organiques qui persistent dans les sédiments bien après leur utilisation. La présence de tels composés dans les sédiments était soupçonnée compte tenu de l'activité dans le passé d'un verger en bordure du lac de même que de la présence de l'emprise du chemin de fer du Canadien National au nord du bassin versant, où des épandages de pesticides sont faits périodiquement.

Les deux échantillons de sédiments (identifiés EF et DE) analysés par le Laboratoire Bodycote Envirolab pour les différents pesticides organochlorés n'ont montré aucune concentration supérieure à la limite de détection de la méthode analytique utilisée par le laboratoire. Les résultats de ces analyses sont montrés au tableau 1 et comparés aux critères intérimaires du Centre Saint-Laurent (1992).

Par contre, une interférence majeure survenue sur le détecteur ECD utilisé par le laboratoire a fait augmenter considérablement la limite de détection analytique du laboratoire, à cause de la présence de produits sulfurés dans les échantillons. Cette information nous a été fournie par un des chimistes du laboratoire. C'est pourquoi on remarque dans le tableau 1 que la limite inférieure de la méthode analytique (soit les résultats) se situe pour plusieurs des pesticides analysés au-dessus du seuil d'effets mineurs ou même du seuil d'effets néfastes. Cette limite analytique, pour chacun des paramètres, est par conséquent considérée non significative parce que trop élevée et imprécise. Il n'est donc pas possible de déterminer la présence des pesticides dans les sédiments avec ces résultats analytiques.

Il est à noter que d'autres pesticides organochlorés ont été analysés mais ne font pas l'objet de critères par le Centre Saint-Laurent. Ils ne font donc pas partie du tableau 1 mais les résultats, en deçà des limites de la méthode analytique, peuvent être consultés à l'annexe II.

Tableau 1. Résultats des concentrations en pesticides organochlorés (mg/kg).

Paramètres	Critères du Centre Saint-Laurent			Stations d'échantillonnage	
	Niveau 1 (SSE)	Niveau 2 (SEM)	Niveau 3 (SEN)	EF	DE
Alpha BHC	0,0003	0,01	0,08	< 0,03	< 0,06
HCB	0,001	0,03	0,10	< 0,03	< 0,06
Bêta BHC	0,0002	0,03	0,20	< 0,06	< 0,12
Gamma BHC	0,0009	0,003	0,009	< 0,05	< 0,10
Heptachlore	0,0003	0,0003	0,01	< 0,05	< 0,10
Aldrine	0,0006	0,002	0,04	< 0,3	< 0,6
Époxyde d'heptachlore	0,001	0,005	0,03	*	*
p,p' DDE	0,002	0,007	0,05	< 0,05	< 0,10
Dieldrine	0,0001- 0,0008	0,002	0,3	< 0,04	< 0,08
O,p' DDD	n/d	n/d	n/d	< 0,10	< 0,20
Endrine	0,001	0,008	0,5	< 0,20	< 0,40
Mirex	0,0001	0,011	0,80	< 0,10	< 0,20

* une interférence majeure en laboratoire a perturbé tous les résultats analytiques

4.2 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont formés par une combustion incomplète de la matière organique. Ils sont, entre autres, rejetés dans l'atmosphère lors de la consommation de combustibles et l'incinération de déchets. Ils pénètrent ensuite dans le système aquatique par des dépôts atmosphériques. De même, les déversements accidentels de pétrole brut et de matériaux créosotés peuvent être des sources de contamination aux HAP en milieu lacustre. La majorité des formes de HAP sont insolubles, ayant plus d'affinité pour la phase solide (sédiments) que pour la phase liquide.

Quatre échantillons provenant des stations d'échantillonnage identifiées II, F4, CD et E4 ont été analysés par Bodycote Envirolab pour les HAP. Les échantillons ont tous montré des concentrations sous la limite de détection analytique du laboratoire (0,10 ou 0,25 mg/kg selon les échantillons analysés). Les résultats de certains paramètres analytiques sont montrés au tableau 2 et comparés aux critères intérimaires du Centre Saint-Laurent (1992).

Mentionnons que les limites de détection de la méthode analytique sont toutes inférieures au niveau 2 (seuil d'effets mineurs) mais ne sont pas assez précises pour être comparées au niveau 1 puisqu'elles sont supérieures à celui-ci. Les sédiments du lac ne semblent donc pas contaminés aux HAP au-delà d'un niveau pouvant avoir des effets importants (seuil d'effets mineurs).

D'autres paramètres des HAP ont été analysés pour les sédiments du lac Saint-Augustin mais ne font pas l'objet de critères du Centre Saint-Laurent. Ils ne font donc pas partie du tableau 2 mais les résultats, en deçà des limites de la méthode analytique, peuvent être consultés à l'annexe II.

Tableau 2. Résultats des concentrations en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) (mg/kg).

Paramètres	Critères du Centre Saint-Laurent			Stations d'échantillonnage			
	Niveau 1 (SSE)	Niveau 2 (SEM)	Niveau 3 (SEN)	II	F4	CD	E4
Benzo(a)anthracène	0,05-0,1	0,4	0,5	<0,10	<0,25	<0,25	<0,25
Benzo(a)pyrène	0,01-0,1	0,5	0,7	<0,10	<0,25	<0,25	<0,25
Benzo(b)fluoranthène	0,3	-	-	<0,10	<0,25	<0,25	<0,25
Benzo(g,h,i)pérylène	0,1	-	-	<0,10	<0,25	<0,25	<0,25
Chrysène	0,1	0,6	0,8	<0,10	<0,25	<0,25	<0,25
Dibenzo(a,h)anthracène	0,005	-	-	<0,10	<0,25	<0,25	<0,25
Fluoranthène	0,02-0,2	0,6	2	<0,10	<0,25	<0,25	<0,25
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	0,07	-	-	<0,10	<0,25	<0,25	<0,25
Pyrène	0,02-0,1	0,7	1	<0,10	<0,25	<0,25	<0,25
Acénaphène	0,01	-	-	<0,10	<0,25	<0,25	<0,25
Acénaphthylène	0,01	-	-	<0,10	<0,25	<0,25	<0,25
Anthracène	0,02	-	-	<0,10	<0,25	<0,25	<0,25
Fluorène	0,01	-	-	<0,10	<0,25	<0,25	<0,25
2-méthylnaphtalène	0,02	-	-	<0,10	<0,25	<0,25	<0,25
Naphtalène	0,02	0,4	0,6	<0,10	<0,25	<0,25	<0,25
Phénanthrène	0,03-0,07	0,4	0,8	<0,10	<0,25	<0,25	<0,25

4.3 Les métaux lourds

Quarante-deux échantillons provenant de chacune des stations ont été analysés par le laboratoire de l'environnement du département de génie civil de l'Université Laval pour la détermination des concentrations en métaux lourds soit le cadmium, le chrome, le cuivre, le nickel, le plomb et le zinc. Cinq échantillons provenant des stations A3, D3, F1, G3 et H2 ont pour leur part été analysés par le Laboratoire Bodycote Envirolab pour la détermination de leur concentration en mercure et en arsenic. Ce dernier est un métalloïde.

Les ions métalliques peuvent être retenus par les sédiments par le biais de divers mécanismes (Dubé, 1997), soit :

- l'adsorption à la surface des minéraux argileux, des oxydes/hydroxydes et de la matière organique ;
- la précipitation et la co-précipitation avec les minéraux secondaires ;
- la complexation et la coagulation avec la matière organique ;
- la pénétration dans les structures cristallines des minéraux primaires.

Les résultats des concentrations en métaux analysés dans le cadre de l'étude sont présentés ci-après. Rappelons que les valeurs obtenues pour chacun des métaux sont comparées avec les critères intérimaires du Centre Saint-Laurent (1992), soit :

- le seuil sans effet – SSE (l'environnement paraît sécuritaire pour les organismes benthiques, pour la qualité de l'eau et pour ses usages) ;
- le seuil d'effets mineurs – SEM (effets minimaux observables sur les organismes benthiques) ;
- le seuil d'effets néfastes – SEN (teneur critique au-dessus de laquelle les dommages aux organismes benthiques sont majeurs).

De plus, les teneurs de fond (98^e centile) mesurées pour les métaux dans la province géologique des basses terres du Saint-Laurent, où se situe le lac Saint-Augustin, ont été utilisées à titre indicatif.

4.3.1 Le cadmium

Le tableau 3 présente un résumé des concentrations mesurées de cadmium alors que la figure 3 montre les concentrations mesurées dans les échantillons de sédiments à chacune des stations. Une distribution spatiale est présentée à l'annexe III.

L'analyse des résultats montre que près de 98% des résultats obtenus pour le cadmium excède le seuil d'effets mineurs (SEM) pour le cadmium. Par contre, la teneur de fond pour le cadmium dans les sédiments de la région est d'environ 1,5 mg/kg, soit une valeur supérieure au SEM. La presque totalité des concentrations relevées au lac Saint-Augustin s'avèrent supérieures ou près de la teneur de fond.

Tableau 3. Résumé des concentrations mesurées de cadmium dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).

	Teneur de fond	Critères du Centre Saint-Laurent		
	98 ^e centile MRN	Niveau 1 (SSE)	Niveau 2 (SEM)	Niveau 3 (SEN)
Critères (mg/kg)	1,5	0,2	0,9	3,0
Échantillons qui atteignent ou dépassent le seuil	41/42 (98 %)	41/42 (98 %)	41/42 (98 %)	9/42 (21 %)

De plus, neuf échantillons (21 %) ont une concentration égale ou supérieure au seuil d'effets néfastes, sans toutefois dépasser la concentration de 4 mg/kg. Des effets toxiques significatifs sur les organismes benthiques sont donc appréhendés pour ce paramètre.

À l'annexe III, on peut remarquer sur la figure de répartition du cadmium que la présence de ce dernier est localisé entre autre à l'exutoire du bassin de sédimentation au nord du lac, à l'exutoire du réseau de drainage de l'autoroute Félix-Leclerc (40), au centre ouest du lac, puis à proximité d'un ancien fossé de drainage au sud du lac. Pour le moment, il est difficile d'identifier précisément la source de cette contamination.

4.3.2 Le chrome

Le tableau 4 présente un résumé des concentrations mesurées en chrome alors que la figure 4 montre les résultats des concentrations en chrome mesurées dans les échantillons de sédiments à chacune des stations. À l'annexe III, on présente la distribution spatiale.

Notons qu'une difficulté analytique est survenue lors de l'analyse du chrome extractible. Effectivement, les valeurs trouvées dans les sédiments de référence représentaient possiblement 50 % de la valeur réelle. Une digestion plus robuste aurait permis d'obtenir la concentration prévue. Les concentrations mesurées sont donc sous-évaluées.

Tableau 4. Résumé des concentrations mesurées de chrome dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).

	Teneur de fond	Critères du Centre Saint-Laurent		
	98 ^e centile MRN	Niveau 1 (SSE)	Niveau 2 (SEM)	Niveau 3 (SEN)
Critères (mg/kg)	94	55	55	100
Échantillons qui atteignent ou dépassent le seuil	0/42 (0 %)	0/42 (0%)	0/42 (0%)	0/42 (0%)

Il est permis de croire que les concentrations réelles de chrome sont supérieures à celles obtenues dans cette étude, qui se situe toutes sous le seuil sans effet. Aucun échantillon ne dépasse par ailleurs la teneur de fond pour le chrome dans les sédiments de la région, qui est près de la valeur du SEN.

Figure 3. Concentrations en cadmium dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).

Figure 4. Concentrations en chrome dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).

4.3.3 Le cuivre

Le tableau 5 présente un résumé des concentrations mesurées de cuivre alors que la figure 5 montre les concentrations en cuivre mesurées dans les échantillons de sédiments. À l'annexe III, on présente la distribution spatiale.

L'analyse des résultats montre qu'environ 86 % des échantillons dépassent le seuil d'effets mineurs pour le cuivre, fixé par le Centre Saint-Laurent. Par contre, la teneur de fond pour la région dépasse le SEM et 71 % des échantillons dépassent ce bruit de fond. Aucun échantillon ne dépasse le seuil d'effets néfastes. Par contre, un seul échantillon montre une concentration en cuivre de 70 mg/kg, ce qui se rapproche du seuil d'effets néfastes. L'effet du cuivre sur les organismes benthiques peut donc être considéré comme minime.

Tableau 5. Résumé des concentrations mesurées de cuivre dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).

	Teneur de fond	Critères du Centre Saint-Laurent		
	98 ^e centile MRN	Niveau 1 (SSE)	Niveau 2 (SEM)	Niveau 3 (SEN)
Critères (mg/kg)	38	28	28	86
Échantillons qui atteignent ou dépassent le seuil	30/42 (71 %)	36/42 (86 %)	36/42 (86 %)	0/42 (0%)

4.3.4 Le nickel

Le tableau 6 présente un résumé des concentrations mesurées de nickel alors que la figure 6 montre les concentrations en nickel mesurées dans les échantillons de sédiments à chacune des stations. À l'annexe III, on présente la distribution spatiale.

Environ 74 % des échantillons dépassent le seuil d'effets mineurs pour le nickel. Une dizaine d'échantillons montrent des concentrations supérieures à 50 mg/kg, ce qui se rapproche du seuil d'effets néfastes (SEN). Par contre, la teneur de fond moyenne pour le nickel dans les sédiments de la région dépasse de peu la valeur du SEN.

Aucune concentration en nickel relevée au lac Saint-Augustin ne dépasse cette teneur de fond. La contamination au nickel peut donc être considérée comme minime ou nulle de même que les effets sur les organismes benthiques.

Tableau 6. Résumé des concentrations mesurées de nickel dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).

	Teneur de fond	Critères du Centre Saint-Laurent		
	98 ^e centile MRN	Niveau 1 (SSE)	Niveau 2 (SEM)	Niveau 3 (SEN)
Critères (mg/kg)	63	35	35	61
Échantillons qui atteignent ou dépassent le seuil	0/42 (0 %)	31/42 (74 %)	31/42 (74 %)	0/42 (0%)

Figure 5. Concentrations en cuivre dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).

Figure 6. Concentrations en nickel dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).

4.3.5 Le plomb

Le tableau 7 présente un résumé des concentrations mesurées de plomb alors que la figure 7 montre les concentrations en plomb mesurées dans les échantillons de sédiments. À l'annexe III, on présente la distribution spatiale.

L'analyse des résultats montre qu'environ 86 % des échantillons dépassent le seuil d'effets mineurs pour le plomb, fixé par le Centre Saint-Laurent, et qu'aucun ne dépasse le seuil d'effets néfastes. De plus, la teneur de fond moyenne pour le plomb dans les sédiments de la région est supérieure à la valeur du SEM. La presque totalité des concentrations en plomb (86 %) relevées dans les sédiments du lac Saint-Augustin s'avère supérieure à cette teneur de fond. L'effet du plomb sur les organismes benthiques peut donc être considéré comme minime.

Tableau 7. Résumé des concentrations mesurées de plomb dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).

	Teneur de fond	Critères du Centre Saint-Laurent		
	98 ^e centile MRN	Niveau 1 (SSE)	Niveau 2 (SEM)	Niveau 3 (SEN)
Critères (mg/kg)	49	23	42	170
Échantillons qui atteignent ou dépassent le seuil	36/42 (86 %)	38/42 (90 %)	36/42 (86%)	0/42 (0%)

4.3.6 Le zinc

Le tableau 8 présente un résumé des concentrations mesurées de zinc alors que la figure 8 montre les concentrations mesurées dans les échantillons de sédiments. À l'annexe III, on présente la distribution spatiale.

Les résultats d'analyse montre que près de 88% des échantillons analysés dépassent le seuil d'effets mineurs pour le zinc mais aucun ne dépasse le seuil d'effets néfastes. Par contre, six échantillons montrent des concentrations en zinc supérieures à 350 mg/kg, ce qui se rapproche relativement du seuil d'effets néfastes (540 mg/kg). De plus, la teneur de fond moyenne pour le zinc dans les sédiments de la région est supérieure à la valeur du SEM. La presque totalité (81 %) des concentrations relevées au lac Saint-Augustin s'avère supérieure à cette teneur. Des effets mineurs peuvent donc être observables sur les organismes benthiques relativement à la présence de ce paramètre.

Tableau 8. Résumé des concentrations mesurées de zinc dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).

	Teneur de fond	Critères du Centre Saint-Laurent		
		Niveau 1 (SSE)	Niveau 2 (SEM)	Niveau 3 (SEN)
	98 ^e centile MRN			
Critères (mg/kg)	186	100	150	540
Échantillons qui atteignent ou dépassent le seuil	34/42 (81 %)	(40/42) (95 %)	37/42 (88 %)	0/42 (0%)

Figure 7. Concentrations en plomb dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).

Figure 8. Concentrations en zinc dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).

4.3.7 L'arsenic

Cinq échantillons ont été analysés par le Laboratoire Bodycote Envirolab pour déterminer les concentrations en arsenic. Le tableau 9 présente un résumé des concentrations mesurées d'arsenic alors que la figure 9 montre les concentrations en arsenic mesurées dans les échantillons de sédiments. À l'annexe III, on présente la distribution spatiale.

Tableau 9. Résumé des concentrations mesurées en arsenic dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).

	Teneur de fond	Critères du Centre Saint-Laurent		
	98 ^e centile MRN	Niveau 1 (SSE)	Niveau 2 (SEM)	Niveau 3 (SEN)
Critères (mg/kg)	6	3	7	17
Échantillons qui atteignent ou dépassent le seuil	4/5 (80 %)	5/5 (100 %)	3/5 (60 %)	0/5 (0 %)

L'analyse des résultats montre que trois échantillons sur cinq dépassent le seuil d'effets mineurs pour l'arsenic, fixé par le Centre Saint-Laurent, et aucun ne dépasse le seuil d'effets néfastes. De plus, la teneur de fond moyenne pour l'arsenic dans les sédiments de la région est de 6 mg/kg, soit tout près de la valeur du SEM. La presque totalité des concentrations en arsenic relevées au lac Saint-Augustin s'avère supérieure ou très près de cette teneur de fond. L'effet de l'arsenic sur les organismes benthiques peut donc être considéré comme minime.

4.3.8 Le mercure

Cinq échantillons ont été analysés par le Laboratoire Bodycote Envirolab pour déterminer les concentrations de mercure. Le tableau 10 présente un résumé des concentrations mesurées en mercure alors que la figure 10 présente les concentrations en mercure mesurées dans les échantillons de sédiments. À l'annexe III, on présente la distribution spatiale.

L'analyse des résultats montre qu'aucun échantillon ne dépasse le seuil d'effets mineurs pour le mercure, fixé par le Centre Saint-Laurent, mais tous dépassent le seuil sans effet. L'environnement paraît donc sécuritaire pour les organismes benthiques, pour la qualité de l'eau et pour ce qui est des autres usages. De plus, la teneur de fond moyenne pour le mercure dans les sédiments de la région est de 0,224 mg/kg.

Tableau 10. Résumé des concentrations mesurées en mercure dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).

	Teneur de fond	Critères du Centre Saint-Laurent		
	98 ^e centile MRN	Niveau 1 (SSE)	Niveau 2 (SEM)	Niveau 3 (SEN)
Critères (mg/kg)	0,224	0,05	0,2	1,0
Échantillons qui atteignent ou dépassent le seuil	0/5 (0 %)	5/5 (100 %)	0/5 (0%)	0/5 (0%)

Aucune concentration en mercure relevée dans les sédiments du lac Saint-Augustin ne dépasse le bruit de fond, qui se situe tout près de la valeur du SEM.

Figure 9. Concentrations en arsenic dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).

Figure 10. Concentrations en mercure dans les sédiments du lac Saint-Augustin (novembre 2001).

5 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Cette étude visait l'évaluation du niveau de contamination des sédiments du lac Saint-Augustin pour différents contaminants. Cette évaluation a été réalisée en comparant les concentrations obtenues aux critères intérimaires du Centre Saint-Laurent (1992) et aux teneurs de fond pour les sédiments de la région géologique des basses terres du Saint-Laurent.

Les résultats obtenus doivent toutefois être considérés à titre indicatif. En effet, les critères du Centre Saint-Laurent n'ont pas été conçus pour l'analyse des sédiments de lacs mais plutôt dans le cadre de projets de dragage pour l'analyse des sédiments du fleuve et des grands lacs, lesquels présentent des caractéristiques différentes. De plus, les teneurs de fond des métaux lourds, utilisées à titre indicatif dans le cadre de cette étude, sont dans la plupart des cas supérieures à la valeur du SEM. Ces *bruits de fond* sont tout à fait naturels et doivent servir pour élargir les balises qu'on se fixe pour définir ce qui peut être considéré comme contaminé.

En tenant compte de ces indications, le portrait de la contamination des sédiments du lac Saint-Augustin s'avère plutôt positif, tout comme le suggérait l'étude de Landry (1993). Toutefois, il faut rappeler que les résultats d'analyse de l'étude de Landry étaient, pour tous les paramètres confondus, inférieurs au seuil d'effets mineurs (SEM); selon les résultats obtenus en 2001, ces derniers sont presque en totalité au-dessus du seuil d'effets mineurs. Pour certains paramètres comme le cadmium, le seuil d'effets néfastes est même dépassé à certaines stations, tandis que certains autres paramètres s'en approchent. Les analyses suggèrent vraisemblablement une augmentation de la contamination au fil des années.

Toutefois, il faut ajouter que les sédiments littoraux analysés par Landry (1993) sont plus grossiers (sable moyen); tandis que dans la portion plus lacustre du plan d'eau, on retrouve davantage de limon sableux, tel que discuté en annexe I. Les contaminants ont plus d'affinité à se lier à des sédiments fins plutôt que grossiers, ce qui expliquerait la différence observée dans les niveaux de contamination.

Le tableau 11 résume les niveaux de contamination rencontrés au lac Saint-Augustin pour les différents paramètres analysés.

Tableau 11. Dépassement des teneurs de fond et des niveaux de contamination dans les sédiments du lac Saint-Augustin.

Paramètres	Teneur de fond	Critères du Centre Saint-Laurent		
		Niveau 1 (SSE)	Niveau 2 (SEM)	Niveau 3 (SEN)
Pesticides organochlorés	-	Contamination non-déterminée		
HAP	-	X		
Cadmium (Cd)	X	X	X	X
Chrome (Cr)				
Cuivre (Cu)	X	X	X	
Nickel (Ni)		X	X	
Plomb (Pb)	X	X	X	
Zinc (Zn)	X	X	X	
Arsenic (As)	X	X	X	
Mercure (Hg)		X		

L'analyse des résultats sur la contamination des sédiments du lac Saint-Augustin permet ainsi d'affirmer ce qui suit :

- une concentration en cadmium supérieure ou égale au seuil d'effets néfastes (SEN) pour neuf stations en lac, suggère que des effets toxiques significatifs sur les organismes benthiques sont appréhendés pour ce paramètre. La teneur de fond (98^e centile) du cadmium pour la région correspond à la moitié de la valeur du SEN ;
- des concentrations en cuivre, en nickel, en plomb, en zinc et en arsenic sont présentes au-delà du seuil d'effets mineurs (SEM). À ces niveaux, le Centre Saint-Laurent ne suggère pas d'intervention en vue de restaurer le milieu. De toute façon, le bruit de fond naturel de ces paramètres atteint ou dépasse généralement la valeur du SEM ;

- les concentrations en nickel et en mercure dépassent le seuil du SEM sans dépasser les teneurs de fond mesurées pour la région ;
- les teneurs de fond disponibles pour la région, et correspondant au 98e centile de la distribution, dépassent les valeurs du SEM pour tous les métaux analysés dans le cadre de cette étude, sauf pour l'arsenic, dont la teneur de fond est très près de la valeur du SEM ;
- la teneur de fond du nickel dépasse même la valeur du SEN. D'ailleurs, les concentrations en nickel mesurées pour certains échantillons sont très près du SEN ;
- la limite analytique pour chacun des paramètres concernant les pesticides organochlorés est considérée comme non-significative parce que trop élevée et imprécise. Il n'est donc pas possible de déterminer la présence des pesticides dans les sédiments, présence qui était soupçonnée étant donné l'exploitation antérieure d'un verger par la Famille Bernatchez, à proximité du lac Saint-Augustin. La présence de l'emprise du chemin de fer du Canadien National, au nord du bassin versant, aurait pu également être une source de contamination ;
- les limites de détection de la méthode analytique pour les HAP sont toutes inférieures au niveau 2 (seuil d'effets mineurs) mais ne sont pas suffisamment précises pour être comparées au niveau 1, c'est-à-dire qu'elles sont inférieures ou égales à celui-ci ;
- la mesure des concentrations de chrome a connu des problèmes au niveau de l'instrumentation. Ces mesures sont donc non significatives.

Par conséquent, nous proposons les recommandations suivantes :

- un second échantillonnage est requis pour confirmer la présence de pesticides organochlorés. Le laboratoire devra considérer un seuil de détection plus approprié avant de conclure qu'il n'y a pas une contamination de pesticides à des niveaux importants. Des mesures devraient être prises afin d'éviter toute interférence au niveau de la méthode analytique;
- des analyses de métaux lourds devront être fait par un laboratoire accrédité afin de valider les résultats obtenus par le laboratoire d'environnement du département de génie civil de l'Université Laval. Cet exercice veut fournir une assurance-qualité sur les résultats faisant l'objet d'interprétation. À cet effet, il n'est pas nécessaire de reprendre l'ensemble des stations, un sous-échantillonnage représentatif de quelques stations devrait être suffisant ;
- cette étude n'a pas fait l'analyse des sources possibles des différents apports de contaminants. Rappelons que la présence du cadmium a été observée notamment à l'exutoire de certains fossés de drainage en provenance du réseau routier. Il y aurait donc lieu de documenter les sources potentielles de contaminants pour le cadmium ;
- l'échantillonnage des sédiments pour la détermination des concentrations en hydrocarbures pétroliers C₁₀-C₅₀ (incluant le carbone organique total) et en BPC est recommandé puisque ces paramètres n'ont pas été analysés au cours de la présente étude.
- Finalement, un certain nombre (à déterminer) d'analyses supplémentaires pour la détermination des concentrations en HAP pourraient aussi être faites puisque seulement quatre échantillons ont été analysés au cours de la présente étude; les limites de détection analytiques pourraient être abaissées afin de pouvoir comparer les résultats au Seuil sans effet (SSE).

En résumé, nous recommandons une phase supplémentaire de travaux de caractérisation des sédiments du lac Saint-Augustin, laquelle vise une confirmation des niveaux de contamination pour plusieurs paramètres, particulièrement le cadmium. De nouveaux paramètres d'analyse sont également recommandés.

Le cas échéant, il y aura lieu de réaliser une analyse sur les organismes benthiques (bio-indicateurs) pour déterminer leur présence et leur diversité dans les sédiments du lac Saint-Augustin. Par la même occasion, ce travail pourrait également inclure l'évaluation de la toxicité et la bio-disponibilité des contaminants libérés par les sédiments chez les organismes benthiques en fonction des conditions physico-chimiques de l'eau. Des bio-essais pourraient être envisagés afin d'analyser le risque pour l'écosystème du lac Saint-Augustin. Des pistes de solution pourront alors être développées pour établir une saine gestion de cette composante du milieu lacustre. Précisons que les prochaines études sur les sédiments devraient inclure une analyse détaillée du bilan du phosphore, lequel contribue de façon importante à l'eutrophisation du lac Saint-Augustin. À cet effet, vous devrez consulter les autres études de «*La grande corvée*» dont le bilan du phosphore et la diagnose écologique.

6 RÉFÉRENCES

- Baudo, R. 1990. Sediment sampling, mapping and data analysis, *Sediments chemistry and toxicity of in place pollutants*, édité par R. Baudi, J.P. Giesy et H. Muntau, pp.15-50.
- Baudo, R et H. Muntau. 1990. Lesser known In-place pollutants and diffuses sources problems, *Sediments chemistry and toxicity of in place pollutants*, édité par R. Baudi, J.P. Giesy et H. Muntau, pp.1-12.
- Centre Saint-Laurent. 1992. Guide méthodologique de caractérisation des sédiments, Plan d'action Saint-Laurent.
- Centre Saint-Laurent. 1992. Critères intérimaires pour l'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent.
- Centre Saint-Laurent. 1996. Rapport synthèse sur l'état du Saint-Laurent. Volume 1 : L'écosystème du Saint-Laurent. Environnement Canada- Région du Québec, Conservation de l'environnement et Éditions MultiMondes, Montréal.
- Choinière, J., Beaumier, M. 1997. Bruits de fond géochimiques pour différents environnements géologiques au Québec, Ministère des Ressources naturelles.
- Conseil canadien des ministres de l'Environnement. 1999. Recommandations canadiennes pour la qualité des sédiments : protection de la vie aquatique, Winnipeg.
- Dubé, J-S. 1997. Application d'un protocole analytique à l'évaluation de la distribution géochimique des métaux lourds dans les sols contaminés, Mémoire pour l'obtention du grade M.Sc., Faculté des Sciences et Génie, Université Laval, Ste-Foy, Québec, 126 p.
- Hade, A. 2002. Nos lacs : les connaître pour mieux les protéger. Édition Fides. 355 pages.
- Landry, P.-L., 1993. Expertise et aménagements réalisés au Lac Saint-Augustin et à l'intérieur de son bassin versant. Pour la Municipalité de Saint-Augustin-de-Desmaures. 48 p. + 12 annexes.

ANNEXE I

Méthodologie et résultats des analyses physico-chimiques

(Extrait du rapport de :

Brin, M-E., G. Dominguez et R. Galvez-Cloutier. 2002. Projet d'assainissement du lac Saint-Augustin : Volet sédiments contaminés. Laboratoire de l'environnement, Département de génie civil, Université Laval, pages 35 + annexes).

MÉTHODOLOGIE ET RÉSULTATS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Les paramètres physico-chimiques ont été analysés lors de l'échantillonnage, à partir de l'eau surnageante aux sédiments. Ces paramètres correspondent aux mesures du pH, du potentiel d'oxydo-réduction, de la température et de la conductivité. Ils ont été évalués à l'aide des instruments suivants :

Sondes analytiques et étalonnage des instruments.

Paramètres	Sonde	Solution d'étalonnage
pH	Hanna instruments	Solutions tampon (4,7,10)
pE	Orion	Solution de Quinhydrone
Conductivité	Multimètre WTW tetra com 325	Solution de KCl
Température	Multimètre WTW tetra com 325	Thermomètre mercure

D'autres paramètres ont été analysés en laboratoire à partir de l'eau surnageante des sédiments, stockée sur le terrain dans une bouteille Nalgene. Il s'agit des analyses pour la détermination de l'alcalinité, la teneur en eau, la granulométrie ainsi que le dosage des anions chlorure et sulfate.

La majorité des échantillons recueillis avaient une couleur très foncée, de brun à noir. Il était possible d'observer de légères strates beige foncé et grisâtres à l'intérieur de la masse. Certains échantillons avaient une forte odeur de décomposition. De plus, il faut souligner la présence de *chironomidae* et quelques espèces de petits mollusques dont l'identification n'était pas le but de cette étude.

Potentiel redox, mesure de pH, conductivité et température

L'importance d'étudier l'oxydo-réduction (potentiel redox) réside dans le fait que de nombreuses réactions dans les eaux naturelles sont régies par les phénomènes d'oxydo-réduction. Alors que le pE est la mesure de l'activité des électrons, le pH est la mesure de l'activité des protons. Une

petite valeur de pE (≤ 50 mV) est un indice de conditions réductrices, inversement un pE élevé indique des conditions oxydantes (Manahan, 2000).

La conductivité d'une solution est la mesure de l'habilité de l'eau à conduire un courant électrique. Cette propriété est attribuable aux ions en solution. Plus la concentration en ions augmente, plus la valeur de conductivité augmente (Snoeyink et Jenkins, 1980). La conductivité électrique est indicatrice du taux de minéralisation de l'eau associé aux ions majeurs : calcium, magnésium, potassium, sodium, chlorure, sulfate, bicarbonate et carbonate (Centre St-Laurent, 1996).

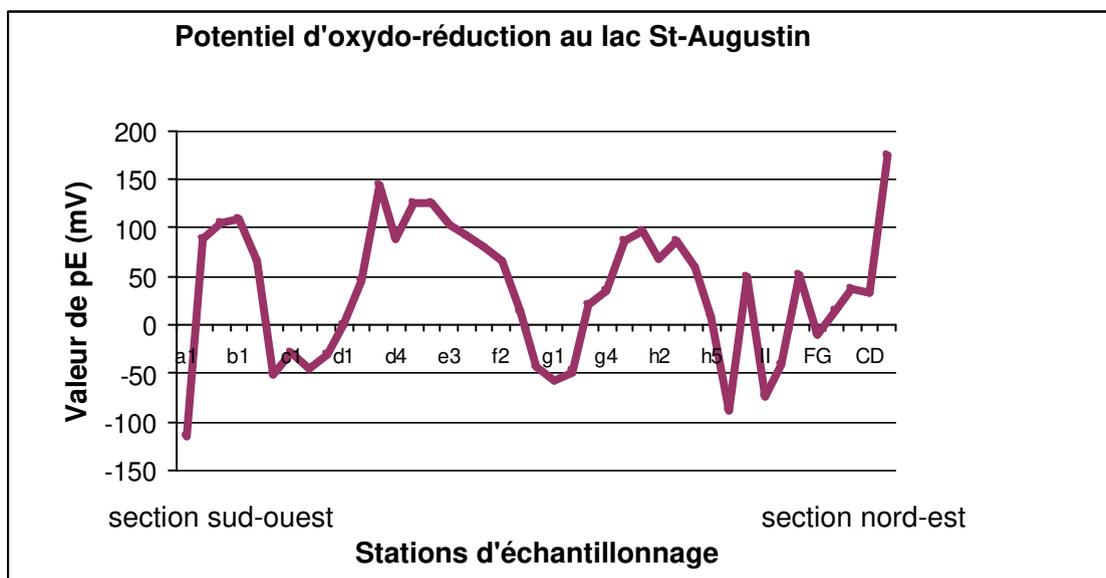
Résultats

Les résultats moyens des mesures sont présentés au tableau de la page suivante. Les valeurs de pH et de conductivité étaient relativement stables sur l'ensemble des stations. La figure illustre bien la grande variation au niveau du potentiel d'oxydo-réduction. Le contenu en oxygène de l'hypolimnion des lacs eutrophes est réduit rapidement par les processus d'oxydation. Un état d'anaérobie est donc possible tout au long de la période de stratification (Wetzel, 1983) L'échantillonnage a eu lieu à la fin octobre, ce qui peut expliquer une variation des potentiels d'oxydo-réduction suite au brassage automnal.

L'abondance d'ions (sulfate et chlorure) n'est pas étrangère à la valeur élevée de conductivité. Cette conductivité tend à progresser rapidement au-delà de $100 \mu\text{S}$ en conditions anoxiques (Mortimer, 1971). Les variables qui influencent la valeur de la conductivité pourraient être un environnement réducteur, un taux élevé de minéralisation ou simplement un apport continu d'ions de l'extérieur.

Résultats des paramètres.

Paramètres	Valeurs moyennes et écarts-types
PH	7.7
Conductivité (μS)	$796,63 \pm 12,44$
Température ($^{\circ}\text{C}$)	$8,71 \pm 0.6$
pE (mV)	$36,98 \pm 68,96$



Variation du potentiel d'oxydo-réduction.

Alcalinité et teneur en eau

L'alcalinité d'une eau est sa capacité à neutraliser un acide fort à un pH donné, autrement dit sa capacité à lutter contre une agression acide. L'alcalinité de plusieurs eaux de surface dépend de constituants tels que les carbonates, les bicarbonates et les hydroxydes. La mesure de l'alcalinité a été réalisée conformément aux *Standards Methods examination of water and*

wastewater (1989). Pour mesurer la teneur en eau, la méthode de Bowles (1992) a été appliquée sur l'ensemble des échantillons.

Résultats de l'alcalinité et de la teneur en eau.

Paramètres	Valeurs moyennes et écarts-types
Alcalinité (mg/L CaCO ₃)	118,14± 4,48
Teneur en eau (%)	362,95± 93,45

Pour cette étude, les valeurs d'alcalinité peuvent être comparées avec des valeurs d'eau de surface. En effet, lors de la remontée de la benne, l'eau de la colonne est entrée en contact avec les sédiments. Les mesures obtenues ne présentent pas de grands écarts entre elles. En moyenne, les eaux du lac Saint-Augustin sont tamponnées par une alcalinité moyenne. Nous pouvons supposer que le pH est stable dû au pouvoir tampon naturel (alcalinité) présent à l'interface des sédiments.

Les sols retiennent l'eau parce que les molécules d'eau font preuve de cohésion les unes aux autres et adhèrent aux surfaces minérales et organiques (Singer et Munns, 1999). Bien que le contenu en colloïdes (argile et humus) augmente la surface de contact et donc la faculté d'adsorption de l'eau, l'explication de la teneur moyenne de l'eau à près de 350 % est peut-être liée au limon. De plus, l'évaluation de la matière organique permettra de mieux déterminer l'influence de celle-ci sur la rétention de l'eau.

Certaines stations ont montré un faible pourcentage en teneur en eau comparativement à la moyenne, soit les stations situées au nord du lac dans une zone caractérisée par une granulométrie non représentative du lac et la proximité de l'autoroute Félix-Leclerc (40). Tel que présenté plus loin, le sable et le gravier qui dominent cette zone n'a pas un potentiel élevé de rétention de l'eau.

Granulométrie

Les 42 échantillons ont été tamisés avec le tamis # 30 de 600 μm , pour être analysés par le granulomètre Mastersizer (compteur de particules fines). Des 42 échantillons, sept échantillons ont présenté une portion de leur taille supérieure à 600 μm et il a donc fallu procéder à une analyse granulométrique par tamisage (granulométrie grossière) selon la norme du bureau de normalisation du Québec, BNQ 2560-040.

La mesure de la granulométrie fine a été faite par le comptage des particules basé sur le principe physique de la diffraction de la lumière laser. Celle-ci est causée par des particules de différentes tailles mises en suspension dans un milieu liquide dispersant. Le granulomètre mesure les particules de taille allant de 0,05 μm à 556 μm .

Pour la mesure de la granulométrie grossière, chaque échantillon sec a été pesé sur une balance analytique, puis une étape de détermination de la quantité de particules passant le tamis 80 micromètres a été nécessaire. Une fois l'échantillon sec et pesé, il est passé par une série de tamis superposés en ordre croissant des ouvertures de 80 μm à 10 mm. Les résultats de l'analyse granulométrique sont exprimés en terme de pourcentage passant chacun des tamis utilisés.

Résultats

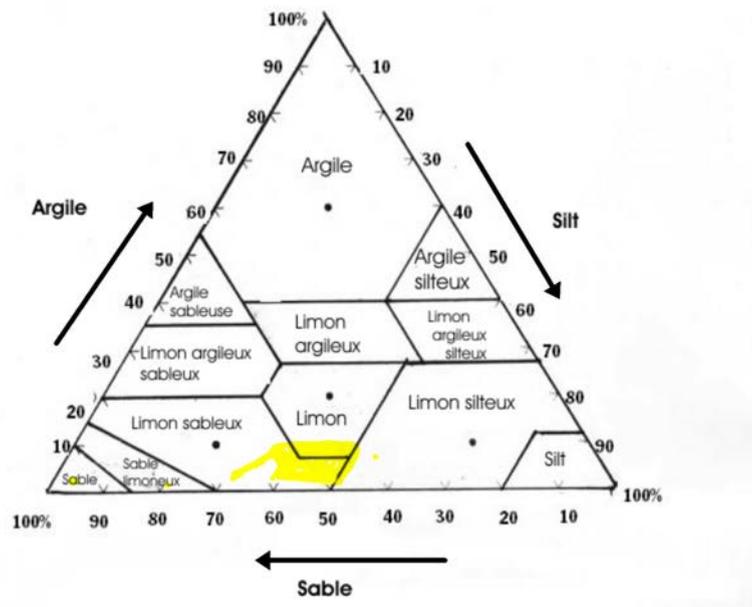
Les résultats de la granulométrie fine obtenus par l'analyseur de particules sont résumés dans le tableau qui suit. Les échantillons qui ont la plus haute teneur en sable, situés aux abords de l'effluent de l'autoroute 40, sont en gris.

Pourcentages de particules retenues selon le compteur de particules fines.

	< 2µm	2µm-75µm	75µm- 400µm	400 µm-560µm
Échantillon	% argile	% silt	% sable fine	% sable Moyen
A 1	7,70	54,40	33,10	4,80
A 2	6,50	44,40	37,80	11,30
A 3	3,80	37,90	46,90	11,40
B 1	5,80	42,30	39,40	12,50
B 2	6,20	41,70	40,41	11,69
B 3	5,80	44,10	42,50	7,60
C D	0,90	32,20	50,80	16,10
C 1	6,90	48,80	35,80	8,50
C 2	6,00	42,80	42,60	8,60
C 3	6,40	43,40	41,80	8,40
DE	5,10	49,40	41,10	4,40
D 1	2,40	32,60	60,80	4,20
D 2	8,00	47,50	38,60	5,90
D 3	7,50	44,90	39,70	7,90
D 4	6,50	44,80	40,70	8,00
EF	3,40	37,70	45,30	13,60
E 1	7,60	43,10	40,20	9,10
E 2	7,00	44,00	39,70	9,30
E 3	5,90	42,60	40,80	10,70
E 4	5,20	49,90	40,40	4,50
FG	3,50	32,10	58,40	6,00
F 1	6,20	48,90	42,80	2,10
F 2	6,10	41,70	40,70	11,50
F 3	5,90	45,10	41,70	7,30
F 4	4,30	42,40	46,30	7,00
G I	5,80	39,60	41,20	13,40
G 1	5,40	39,40	44,80	10,40
G 2	5,70	44,40	40,70	9,20
G 3	5,30	38,70	43,70	12,30
G 4	5,90	40,20	43,70	10,20
G 5	6,80	42,50	42,80	7,90
H I	3,60	35,90	55,50	5,00
HI- XTRA	1,00	19,30	58,50	21,20
H 1	5,40	43,80	42,30	8,50
H 2	5,00	39,90	40,80	14,30
H 3	4,50	39,00	42,20	14,30
H 4	4,70	41,00	44,20	10,10
H 5	5,20	45,90	40,90	8,00
I I	0,00	5,90	67,10	27,00
I 1	1,70	21,80	72,20	4,30
I 2	4,10	48,00	41,40	6,50
C.K.XTRA	5,00	42,00	45,20	7,80

En général, les sédiments du lac Saint-Augustin se caractérisent par une granulométrie très étalée et bimodale. Les pourcentages de sable, de silt et d'argile de chaque échantillon ont été intégrés à l'intérieur du triangle de classification des textures du sol illustré à la figure suivante. Les zones en jaune représentent la granulométrie de la majorité des échantillons des sédiments du lac Saint-Augustin.

La classification des sols selon USDA (système développé par *U.S Department of Agriculture*) est la méthode la plus utilisée dans la gestion environnementale des sols. Selon cette méthode, la majorité (soit 81 %) des échantillons analysés des sédiments du lac Saint-Augustin ont une texture du limon sableux.



Triangle de classification des textures du sol (tiré de Miller et Donahue, 1990).

Une seconde méthode d'analyse (*USDC*) a été utilisée pour les sept échantillons présentant une proportion des particules au-dessus de 600µm. En plus de la granulométrie, cette méthode tient compte de la limite de liquidité et de l'indice de plasticité des échantillons. La limite de

liquidité (W_{LC}) est la teneur en eau correspondant à la limite arbitraire entre l'état liquide et l'état plastique d'un sol. La limite de plasticité (W_p) est la teneur en eau correspondant à la limite arbitraire entre l'état plastique et l'état semi-solide d'un sol. L'indice de plasticité (I_{PC}) est la différence entre les limites de plasticité et de liquidité d'un échantillon de sol. Ces indices sont reliés à la teneur en eau d'un sol (sédiments). Les sols avec un fort indice de plasticité sont généralement des sols argileux, plutôt déficients au niveau du drainage de l'eau (Singer et Munns, 1999).

Les résultats sont montrés au tableau suivant. Ces résultats démontrent une certaine concordance entre les deux méthodes.

Comparaison des valeurs de granulométrie de sept échantillons.

Échantillons	Composition ¹	W _i	I _p	Classification	
	(%)	(%)	(%)	USCS ²	USDA ³
HI	Sable : 50 Argile : 5 Silt : 40 Fragments : 5	38.8	4.5	Sable silteux (SM)	Limon sablonneux
CD	Sable : 30 Argile : <1 Silt : 60 Fragments : 9	58.8	13.11	Argile organique ou silt organique (OH)	Limon silteux
F4	Sable : 40 Argile : 5 Silt : 53 Fragments : 2	58.8	13.11	Argile organique ou silt organique (OH)	Limon silteux
D1	Sable : 45 Argile : 2 Silt : 53 Fragments : <1	58.8	13.11	Argile organique ou silt organique (OH)	Limon silteux
HI extra	Sable : 45 Argile : 0 Silt : 25 Fragments : 30	38.8	4.5	Sable silteux (SM)	Sable limoneux
EF	Sable : 42 Argile : 5 Silt : 53 Fragments : <1	58.8	13.11	Argile organique ou silt organique (OH)	Limon silteux
II	Sable : 92 Argile : 0 Silt : 8 Fragments : <1	N/A	N/A	Sable uniforme (SP)	Sable

1. Essai granulométrique BNQ 2560-040 et analyse par diffraction.
2. Système unifié (Unified Soil Classification System, U.S. Bureau of Reclamation, 1974; U.S. Army Engineer WES, 1960). Cf. Holtz, R. et al, *Introduction à la géotechnique*, édition de l'école Polytechnique de Montréal, 1991, 808 p.

3. United State Department of Agriculture soil classification système

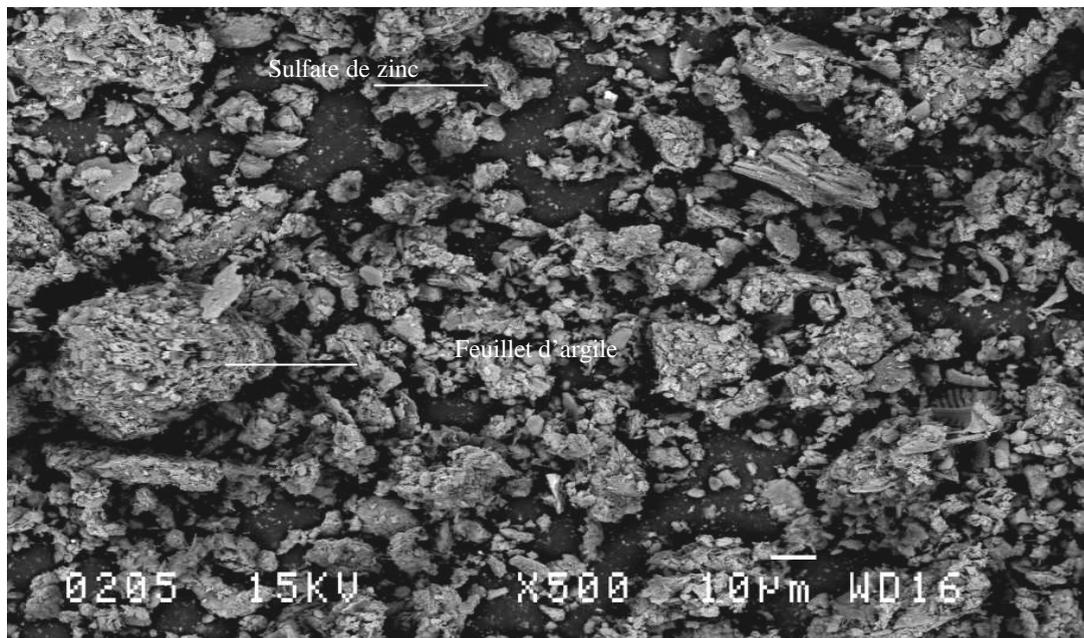
Bien que la nomenclature employée ne soit pas identique pour les deux méthodes, les résultats tendent vers une texture limon sablonneuse.

Diffraction par rayon X et microscopie électronique à balayage

L'appareil utilisé pour la mesure de diffraction X est un diffractomètre de référence D 5000 Siemens. La microscopie électronique à balayage (MEB) a été réalisée grâce à un appareil de marque JEOL 840A et a permis de réaliser à la fois l'analyse de la structure atomique des particules et la morphologie. La méthode de radiation a été effectuée par rétrodiffusion. Les échantillons F2 et H2 ont été choisis à cause de leur teneur élevée en plomb et en zinc, pour y mesurer les structures cristallines présentes via le diffractomètre à rayons X.

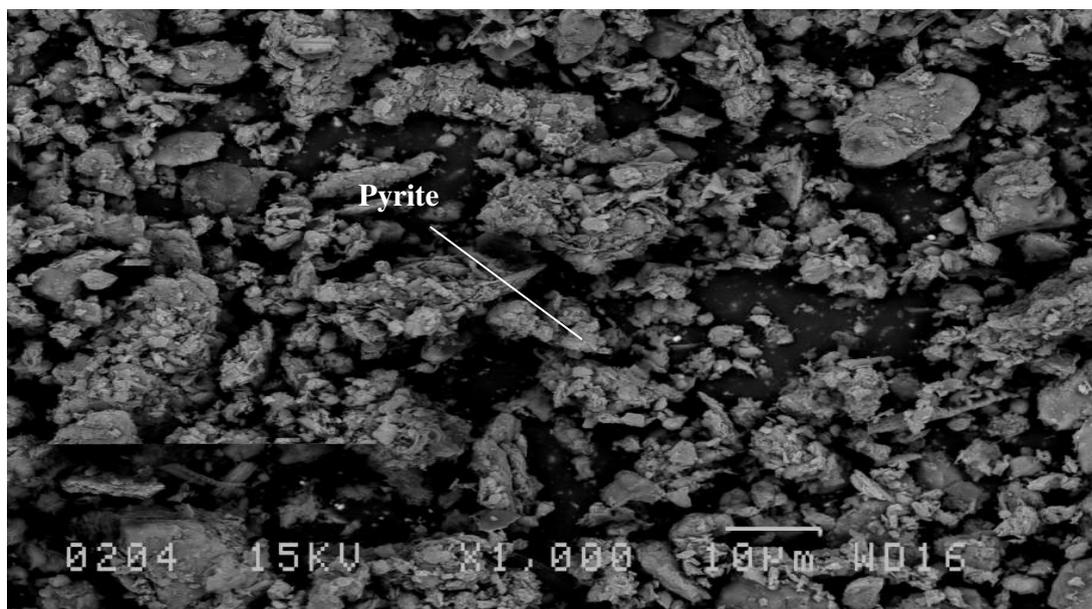
Les résultats de diffraction indiquent la présence en premier plane de quartz, avec les pics les plus élevés dans les deux échantillons (#10 pour H2 et le # 12 pour F2)). De plus, la diffraction nous informe sur la présence de minéraux primaires et secondaires. Ainsi, dans les minéraux primaires nous identifions des feldspaths (albite), des micas (biotite) et du quartz. Au niveau des minéraux secondaires, nous pouvons identifier de la calcite, du carbonate et quelques argiles (illite et chlorite). Le point blanc de la figure suivante représente un sulfate de zinc (sphalérite). Il est possible de voir la structure d'une agglomération de feuillets d'argile à gauche de la photographie. La matière organique y est également observée.

Sur le même échantillon, cette fois grossi deux fois plus (figure suivante), les points blancs visibles sont de la pyrite (Fe S_2). L'identification de composés est possible grâce aux spectres du microscope. Il y a donc du fer sous forme minérale.



Photographie de l'échantillon H2 grossi 500 fois au microscope électronique à balayage (MEB).

H

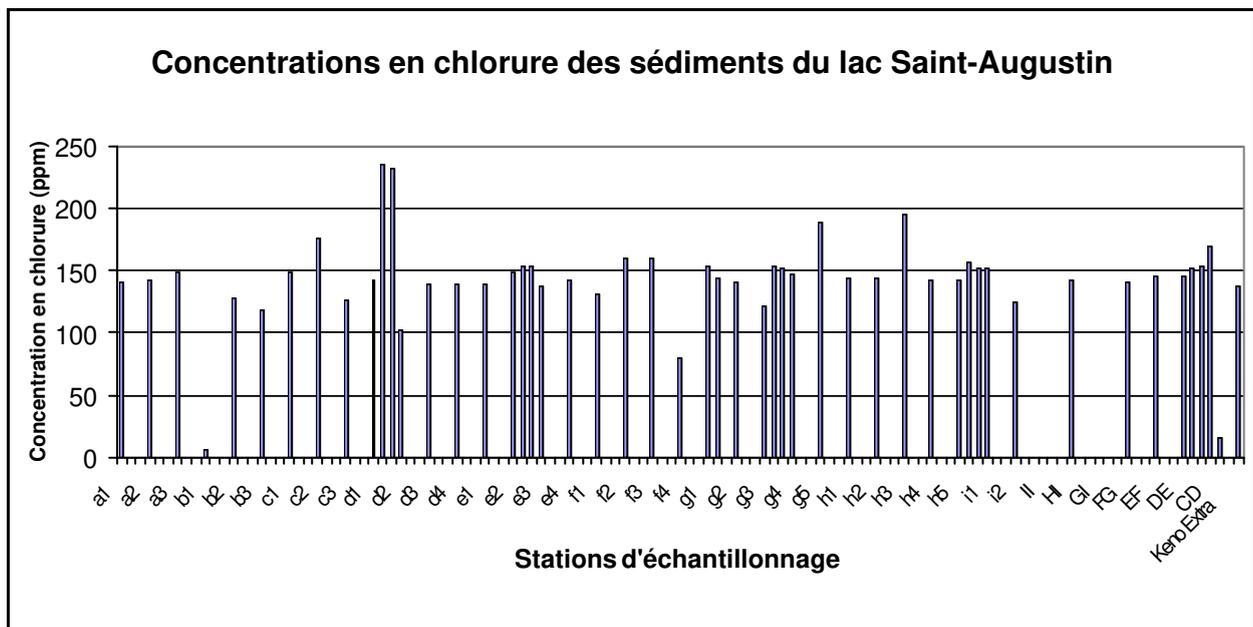


Photographie de l'échantillon H2 grossi 1000 fois au microscope électronique à balayage (MEB).

Dosage des anions

Ce paramètre permet de quantifier la présence de certains anions solubles dans l'eau interstitielle. Une portion (environ 50g) de sédiments bruts a été prélevée puis déposée dans un tube à centrifugation. La durée de la centrifugation a été fixée à 10 minutes. Après quoi, l'eau interstitielle est parfaitement séparée de la phase solide. Le tube est entreposé laissant le temps aux particules solides restantes de décanter tout au fond afin d'accroître la pureté de l'eau. Une filtration sous vide a permis de retirer les particules colloïdales restantes ainsi qu'une partie de la biomasse.

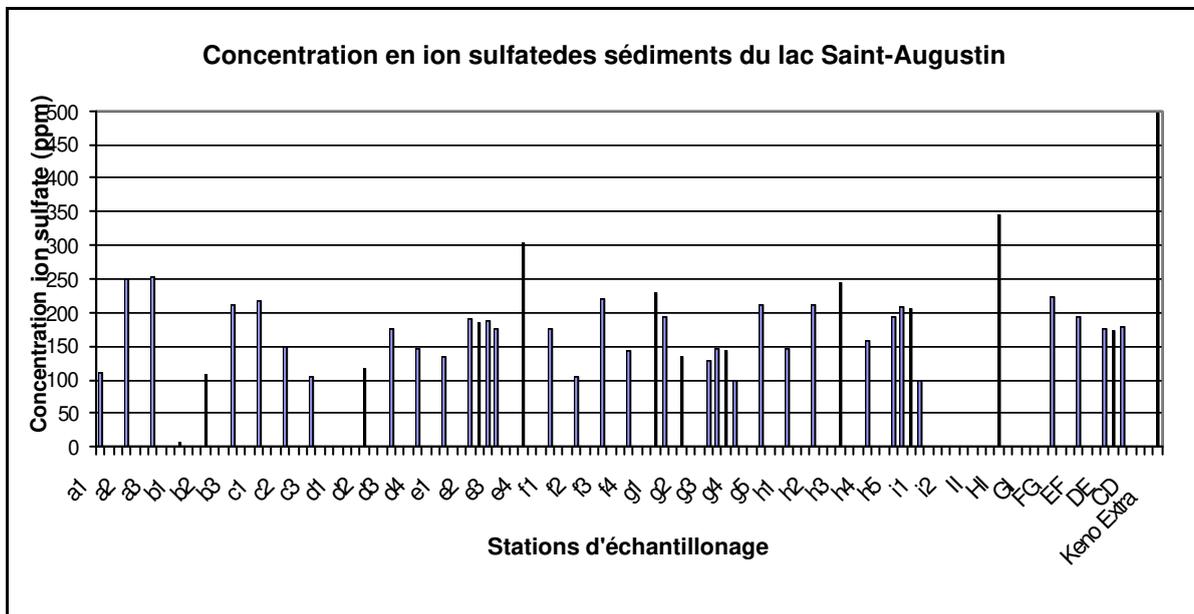
Le dosage des anions s'est déroulé conformément à la méthode 300 de l'EPA (1993). Étant donné la concentration élevée des ions chlorures et sulfates, les dilutions étaient de l'ordre de 1/60. L'appareil utilisé est un chromatographe ionique de marque Dionex DX-100. Le chlorure existe dans les sols presque entièrement sous la forme Cl^- , étant très soluble et mobile (Miller et Donohue, 1990).



Concentration de l'ion chlorure dans l'eau interstitielle des sédiments.

Une grande concentration de chlorure peut être toxique en nuisant à la croissance (Gagné, 2000; Miller et Donahue, 1990). Le chlorure influence la balance osmotique et les échanges ioniques (Wetzel, 1983). Les concentrations trouvées sont de l'ordre de 100 à 150 ppm en moyenne. Il n'y a pas de recommandation, ni de réglementation sur la teneur en chlorure dans les sédiments.

L'ion sulfate est la forme prédominante du soufre dissous dans l'eau. L'assimilation du soufre par les organismes se fait sous forme de sulfate. L'importance du sulfate est que durant la décomposition de la matière organique, le soufre est relâché sous la forme de H₂S. Le relargage du sulfate des sédiments à l'hypolimnion est courant dans les lacs eutrophes. La réduction du sulfate en H₂S a lieu lorsque le potentiel d'oxydo-réduction décline sous l'action de la décomposition bactérienne. Près des sédiments donc, la plupart des H₂S réagissent avec l'ion ferreux (Fe²⁺) pour former un FeS insoluble. Ces processus (formation de FeS et oxydation en sulfate) jouent un rôle significatif dans les conditions de mobilisation du phosphate et de d'autres nutriments (Wetzel, 1983).



Concentration d'ions sulfate dans l'eau interstitielle dans les sédiments.

Tout comme le chlorure, il n'existe pas de recommandation quant à la teneur de sulfate dans les sédiments. La figure 6 montre que les concentrations enregistrées se situent en moyenne vers des valeurs de 150 à 200 ppm.

ANNEXE II

Certificats d'analyses chimiques (pesticides organochlorés et hydrocarbures
aromatiques polycycliques)

ANNEXE III

**Distribution spatiale des métaux lourds présents dans les sédiments
du lac Saint-Augustin en 2001.**

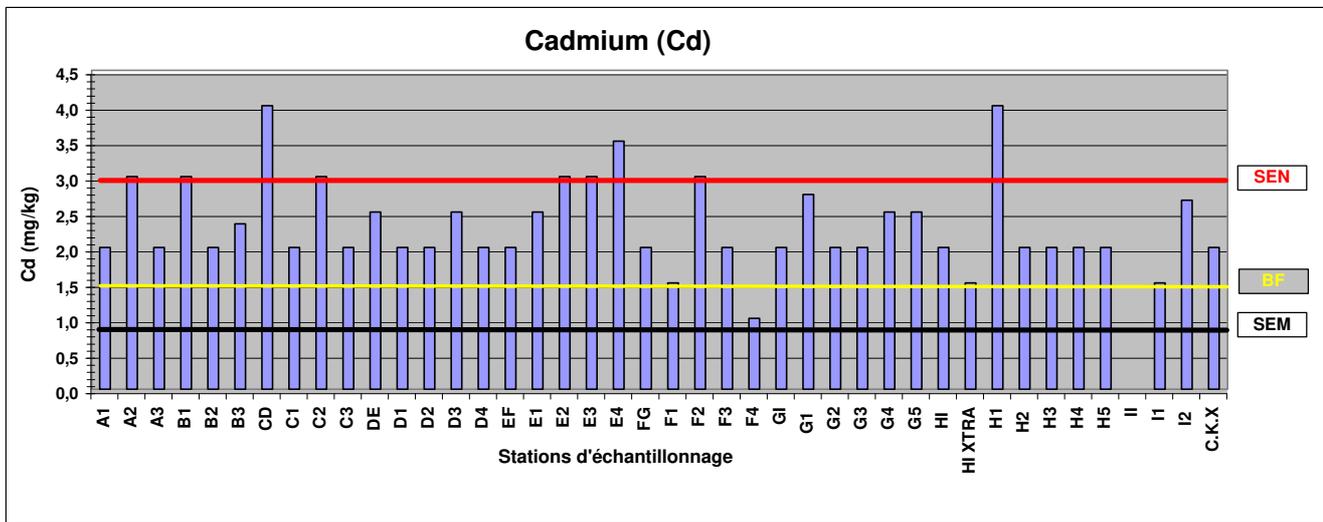


Figure 3. Concentrations en cadmium extractible total dans les sédiments du lac Saint-Augustin (2002).

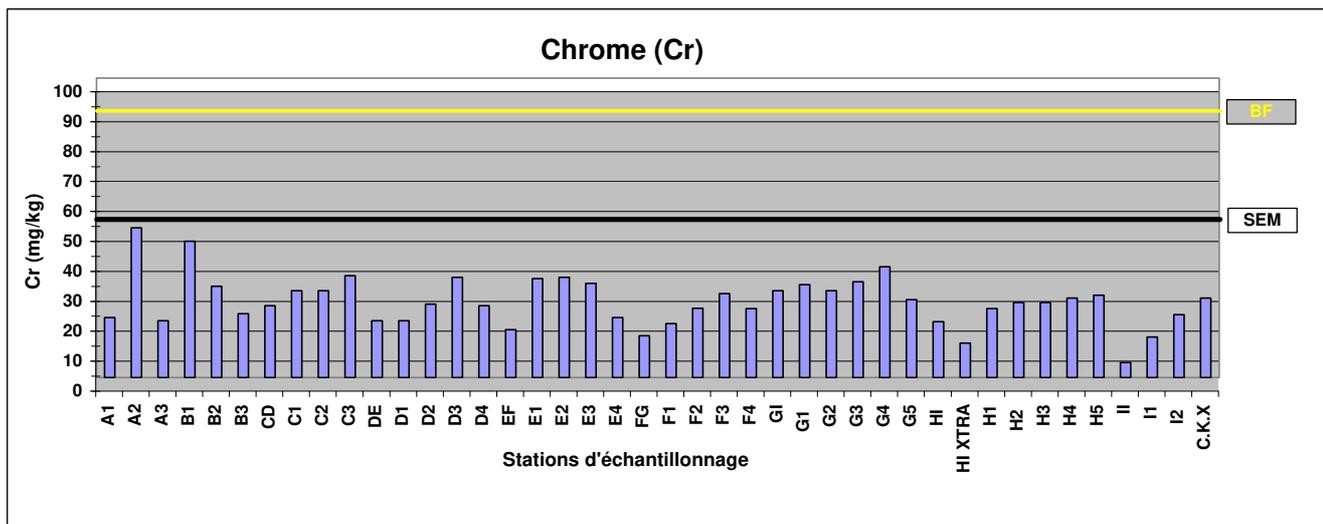


Figure 4. Concentrations en chrome extractible total dans les sédiments du lac Saint-Augustin (2002).

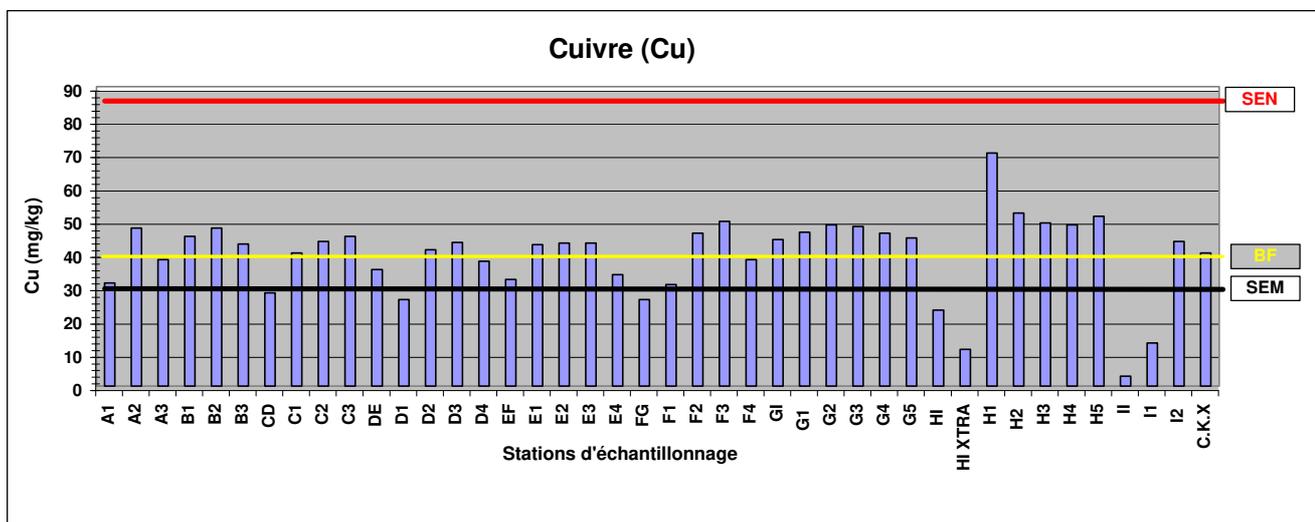


Figure 5. Concentrations en cuivre extractible total dans les sédiments du lac Saint-Augustin (2002).

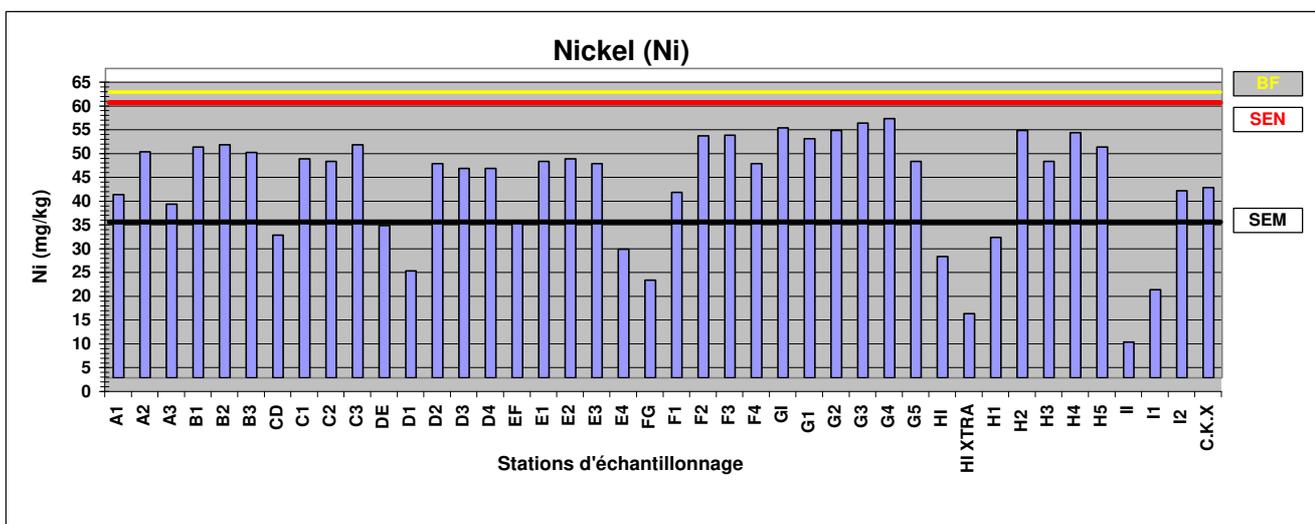


Figure 6. Concentrations en nickel extractible total dans les sédiments du lac Saint-Augustin (2002).

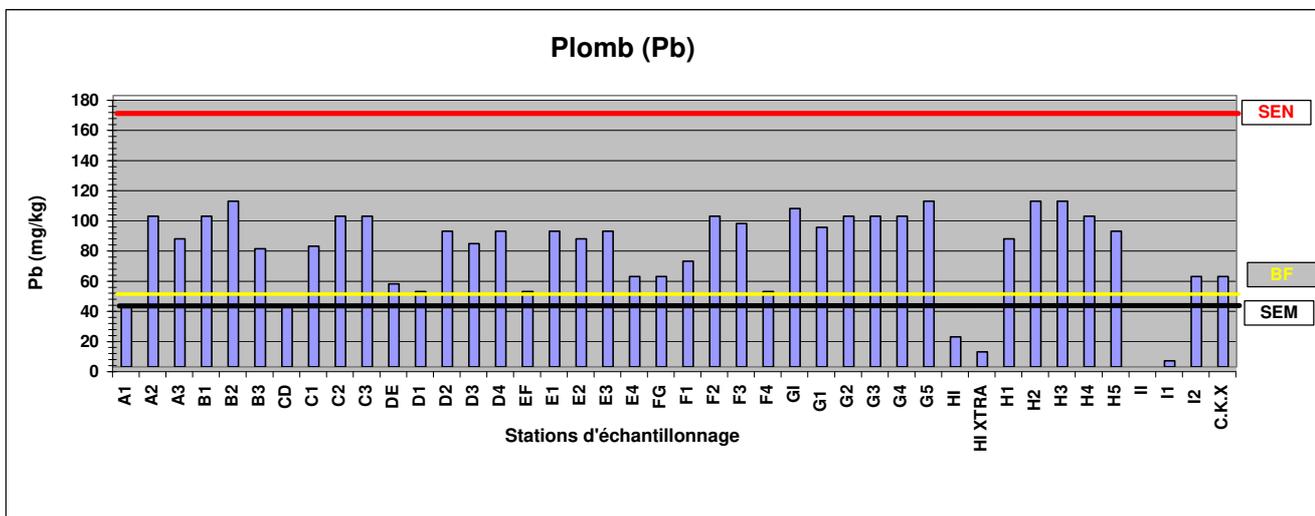


Figure 7. Concentrations en plomb extractible total dans les sédiments du lac Saint-Augustin (2002).

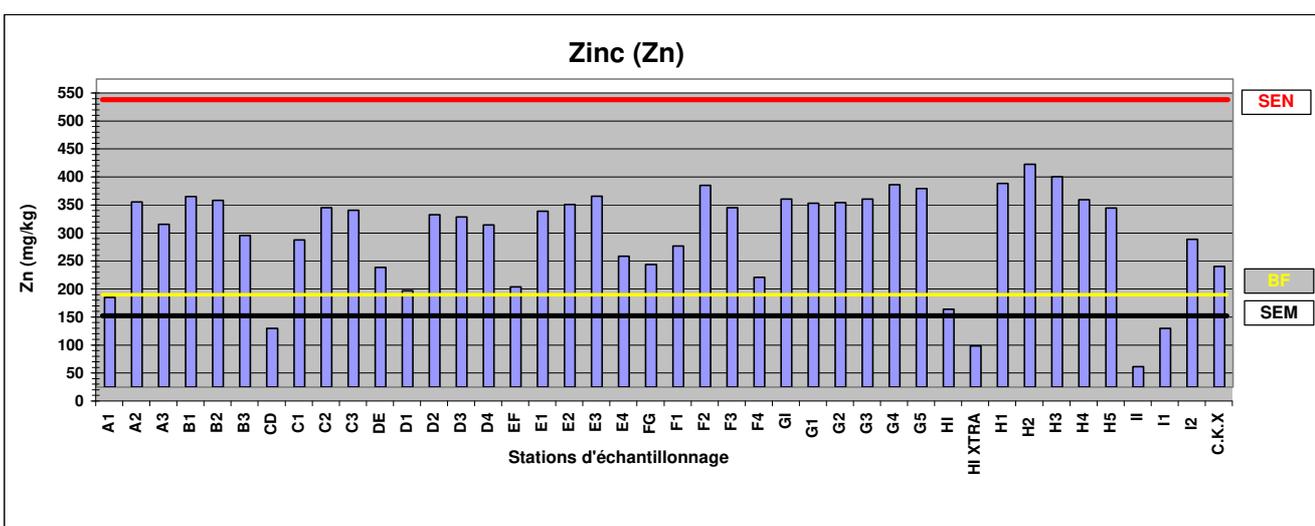


Figure 8. Concentrations en zinc extractible total dans les sédiments du lac Saint-Augustin (2002).