PolyPublie
Polytechnique Montréal

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL
UNIVERSITÉ D'INGÉNIERIE

Titre: Title:	Synthèse des données physico-chimiques sur les neiges usées au Québec et leurs impacts environnementaux
Auteur: Author:	Cédric Chenevier
Date:	1997
Type:	Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis
Référence: Citation:	Chenevier, C. (1997). Synthèse des données physico-chimiques sur les neiges usées au Québec et leurs impacts environnementaux [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie. https://publications.polymtl.ca/6712/

Document en libre accès dans PolyPublie
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: PolyPublie URL:	https://publications.polymtl.ca/6712/
Directeurs de recherche: Advisors:	Claude E. Delisle
Programme: Program:	Non spécifié

Ce fichier a été téléchargé à partir de PolyPublie, le dépôt institutionnel de Polytechnique Montréal
This file has been downloaded from PolyPublie, the institutional repository of Polytechnique Montréal

https://publications.polymtl.ca

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

SYNTHÈSE DES DONNÉES PHYSICO-CHIMIQUES SUR LES NEIGES USÉES AU QUÉBEC ET LEURS IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

CÉDRIC CHENEVIER
DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE CIVIL)
DÉCEMBRE 1997

© Cédric Chenevier, 1997

National Library
of Canada

Acquisitions and
Bibliographic Services

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Acquisitions et
services bibliographiques

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

Our file Notre référence

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-33121-0

Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

SYNTHÈSE DES DONNÉES PHYSICO-CHIMIQUES SUR LES NEIGES USÉES AU QUÉBEC ET LEURS IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

Présenté par : CHENEVIER Cédric

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. BRIÈRE François G., M.E., président-rapporteur

M. DELISLE Claude E., Ph.D., directeur de recherche

M. LAPOINTE Marc, M. Sc. A., membre

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à exprimer toute ma gratitude à mon directeur de recherche, le Dr Claude E. Delisle, professeur au département des Génies Civil, Géologique et des Mines, pour avoir accepté de diriger mes travaux, pour sa confiance et ses conseils.

Mes remerciements s'adressent aussi à M. Pierre André, professeur au département de Géographie de l'Université de Montréal, pour ses nombreux conseils lors de la rédaction du rapport de la Ville de Montréal.

Je remercie Messieurs Denis Bouchard et Marcel Dugal, techniciens au département des génies Civil, Géologique et des Mines, ainsi que Monsieur Christian Dallaire du laboratoire de géochimie analytique de l'école Polytechnique pour toute l'aide apportée lors de l'analyse physico-chimique des échantillons.

Je remercie également Messieurs Robert Janelle, Michel Frenette et Richard Hasby du Service des travaux publics de la Ville de Montréal, ainsi que Mme Denise Auger de l'Union des municipalités du Québec, pour leur disponibilité tout au long de la réalisation de cette étude.

Finalement, je tiens à remercier l'équipe du laboratoire du Centre Saint-Laurent, Environnement Canada, particulièrement M. Richard Legault ainsi que Mmes Manon Bombardier, Manon Harwood et Christine Girard, pour toute leur collaboration et pour m'avoir offert un stage de quelques jours sur la réalisation des bioessais.

RÉSUMÉ

En 1988, le ministère de l'Environnement du Québec a mis de l'avant sa Politique sur l'élimination des neiges usées. Cette Politique, visant essentiellement à interdire tout déchargement de neiges usées aux cours d'eau, a été grandement influencée par les résultats de l'étude de Zinger (1985). La présente étude, faisant suite à deux contrats octroyés par la Ville de Montréal et l'Union des municipalités du Québec, a donc été réalisée dans les buts premiers d'établir un nouveau bilan de la contamination des neiges usées et d'en faire une synthèse, ainsi que d'évaluer leur écotoxicité.

Les résultats d'analyses physico-chimiques des mêmes paramètres étudiés par Zinger (1985) nous ont permis de conclure en une diminution statistiquement significative de la concentration moyenne pour 13 des 25 paramètres comparés. Des écarts très importants (facteur 100) sont notamment apparus au niveau des concentrations en métaux et en huiles et graisses. Cette situation peut être attribuable, entre autres, aux différentes méthodologies d'échantillonnages et d'analyses employées et à la diminution des émissions atmosphériques de certains contaminants.

Les résultats des analyses bioanalytiques ont révélé une valeur BEEP et une toximesure moyenne de 1,9 et 2,6 UTA/uvb pour les échantillons de neige provenant de rues secondaires et de 3,0 et 23,5 UTA/uvb pour ceux provenant de rues principales. Seule la différence de toximesure entre les deux catégories d'échantillons s'est avérée statistiquement significative. Les BEEP ont varié entre 0 et 4,0 inclusivement.

La comparaison des résultats des analyses physico-chimiques obtenus pour les échantillons provenant de rues secondaires et ceux provenant de rues principales nous a clairement démontré que les échantillons de neige en provenance de rues secondaires

présentent des concentrations moyennes plus faibles. La différence observée entre les deux catégories d'échantillons est plus importante pour les échantillons de l'UMQ que pour ceux de la Ville de Montréal, où le degré d'activité est très élevé même dans les rues secondaires.

En comparant les résultats des analyses physico-chimiques des échantillons provenant de la première et de la deuxième tempête échantillonnée, nous avons conclu que chaque tempête est un événement en soi possédant ses propres caractéristiques et qu'il devient très difficile de prédire la contamination de la neige de chacune des précipitations. Il est donc préférable de travailler à partir des données combinées.

Cette étude est basée sur l'analyse de 24 échantillons pour la Ville de Montréal et de 14 pour l'union des municipalités du Québec.

ABSTRACT

In 1988, the *ministère de l'Environnement du Québec* put forward its policy on the removal of used snow. This policy, aimed to prohibit all discharge of used snow in rivers, was greatly influenced by the results of Zinger's study (1985). The present study, following two contracts granted by the city of Montreal and the Union of Quebec municipalities, was therefore realized with the initial purpose of establishing a new assessment of used snow contamination, making a synthesis and also evaluating their ecotoxicity.

The results obtained from the physico-chemical analysis of the same parameters studied by Zinger (1985) permitted us to conclude in a statistically significant reduction of the average concentration for 13 of the 25 parameters compared. Important differences (100X) appeared in metals and oils and greases concentrations. This situation can be attributed, among other things, to the different sampling and analysis methods used and to the reduction of atmospheric emissions of certain contaminants.

Bioanalytical analysis results revealed an average PEEP (Potential Ecotoxic Effect Probe) value and toxprint of 1,9 and 2,6 ATU/bvu for snow samples coming from secondary streets and of 3,0 and 23,5 ATU/bvu for those coming from the main streets. Only the difference in the toxprint between the two categories of samples proved to be statistically significant. The PEEP varied between 0 and 4,0 inclusively.

The comparison of the results from the physico-chemical analysis obtained for samples coming from secondary streets and those from the main streets demonstrates clearly that the snow samples from the secondary streets present lower average concentrations. The difference observed between the two categories of samples is greater for the Union of

Quebec municipalities samples than those of the city of Montreal, where the activity level is very high even in the secondary streets.

By comparing the results of the physico-chemical analysis of the samples from the first and second snow storm, we have concluded that each storm is an event in itself with it's own characteristics and it becomes very difficult to predict the snow contamination for each of the precipitations. Hence, it is preferable to work from combined data.

This study is based on the analysis of 24 samples for the city of Montreal and of 14 samples for the Union of Quebec municipalities.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS IV

RÉSUMÉ V

ABSTRACT VII

TABLE DES MATIÈRES IX

LISTE DES TABLEAUX XI

LISTE DES FIGURES XII

LISTE DES ANNEXES XIV

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS XV

1 INTRODUCTION 1

1.1 Contexte et problématique 1

1.2 Objectifs 4

1.3 Hypothèses de travail 5

2 REVUE DE LA LITTÉRATURE 6

2.1 Sources de contamination de la neige 6

2.1.1 Contamination attribuable à la pollution atmosphérique 6

2.1.2 Contamination attribuable à l'utilisation de fondants et d'abrasifs 8

2.1.3 Contamination attribuable à la circulation automobile 9

2.1.4 Aspect spatio-temporel de la contamination 10

2.2 Impacts environnementaux 10

2.2.1 Impacts causés par les sels et les fondants 10

2.2.2 Impacts causés par les métaux lourds 11

2.2.3 Impacts causés par quelques autres contaminants 12

2.3 Études québécoises sur les neiges usées 13

3 MÉTHODOLOGIE **18**

3.1 Caractérisation physico-chimique 18

3.2 Caractérisation bioanalytique et indicateur BEEP 23

3.3 Qualification et quantification des débris 25

3.4 Exemple de calcul des bilans de masse 25

3.5 Traitement des données 26

4 RÉSULTATS ET DISCUSSION **27**

4.1 Suivi météorologique 27

4.2 Caractérisation physico-chimique 27

4.2.1 Échantillons de la Ville de Montréal 27

4.2.1.1 Comparaison des échantillons de neige de 1985 et 1997 34

4.2.1.2 Comparaison des échantillons de neige provenant de rues principales et secondaires ..40

4.2.1.3 Comparaison des échantillons de neige provenant de la première et de la deuxième tempête échantillonnées 45

4.2.2 Échantillons de l'UMQ 48

4.2.2.1 Comparaison des échantillons de neige provenant de rues principales et secondaires ..52

4.3 Caractérisation bioanalytique et indicateur BEEP 56

4.3.1 Comparaison des valeurs BEEP des neiges avec celles d'autres types d'effluents.59

4.4 Les débris 60

4.4.1.1 Qualification 60

4.4.1.2 Quantification 61

4.5 Bilans de masse 65

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS **68**

RÉFÉRENCES **71**

ANNEXES **76**

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 2-1 PRINCIPAUX CONTAMINANTS DE LE NEIGE USÉE ET LEURS SOURCES (MENVIQ, 1991).....7
TABLEAU 2-2 CONCENTRATIONS DE CERTAINS PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ANALYSÉS DANS LES NEIGES PAR DIVERS AUTEURS 17
TABLEAU 3-1 LIEUX ET DATES DE PRÉLÈVEMENT DES ÉCHANTILLONS DE NEIGE DE LA VILLE DE MONTRÉAL.....20
TABLEAU 3-2 LIEUX ET DATES DE PRÉLÈVEMENT DES 17 ÉCHANTILLONS DE L'UMQ.....21
TABLEAU 3-3 PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ANALYSÉS, DÉLAIS ET MODES DE CONSERVATION.....22
TABLEAU 3-4 CARACTÉRISATIONS DESCRIPTIVES DES BIOESSAIS UTILISÉS POUR L'ÉVALUATION ÉCOTOXICOLOGIQUE 24
TABLEAU 4-1 SOMMAIRE CARACTÉRISTIQUE DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ANALYSÉS DANS LES NEIGES USÉES DE LA VILLE DE MONTRÉAL DE LA *PREMIÈRE TEMPÊTE ÉCHANTILLONNÉE* (TEMPÊTE DU 9-10 JANVIER 1997) 30
TABLEAU 4-2 SOMMAIRE CARACTÉRISTIQUE DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ANALYSÉS DANS LES NEIGES USÉES DE LA VILLE DE MONTRÉAL DE LA *DEUXIÈME TEMPÊTE ÉCHANTILLONNÉE* (TEMPÊTE DU 27-28 JANVIER 1997) 31
TABLEAU 4-3 SOMMAIRE CARACTÉRISTIQUE DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ANALYSÉS DANS LES NEIGES USÉES DE LA VILLE DE MONTRÉAL DES *DEUX SÉRIES D'ÉCHANTILLONS COMBINÉES* (TEMPÊTES DU 9-10 ET DU 27-28 JANVIER 1997) 32
TABLEAU 4-4 CONCENTRATIONS MOYENNES DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ANALYSÉS DANS LES NEIGES USÉES DE LA VILLE DE MONTRÉAL EN 1985 ET EN 1997 33
TABLEAU 4-5 RÉSULTATS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES ÉCHANTILLONS D'EAUX DE FONTE ET DE RUISSELLEMENT 49
TABLEAU 4-6 RÉSULTATS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES ÉCHANTILLONS DE NEIGE PROVENANT DES RUES SECONDAIRES DES SEPT MUNICIPALITÉS DE L'UMQ EN 1997.....50
TABLEAU 4-7 RÉSULTATS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES ÉCHANTILLONS DE NEIGE PROVENANT DES RUES PRINCIPALES DES SEPT MUNICIPALITÉS DE L'UMQ EN 1997 51
TABLEAU 4-8 MASSE (G) DES DÉBRIS CONTENUS DANS LES NEIGES USÉES.....64
TABLEAU 4-9 QUANTITÉ DE CONTAMINANTS DÉVERSÉS AU FLEUVE SAINT-LAURENT AU COURS DE L'HIVER 1996-1997.....66

LISTE DES FIGURES

FIGURE 3-1 MÉTHODE D'ÉCHANTILLONNAGE DE L'ANDAIN DE NEIGE 19
FIGURE 4-1 TEMPÉRATURES MOYENNES JOURNALIÈRES DU MOIS DE DÉCEMBRE 1996 28
FIGURE 4-2 PRÉCIPITATIONS JOURNALIÈRES SOUS FORME DE PLUIE DU MOIS DE DÉCEMBRE 1996 28
FIGURE 4-3 PRÉCIPITATIONS JOURNALIÈRES SOUS FORME DE NEIGE DU MOIS DE DÉCEMBRE 1996 28
FIGURE 4-4 TEMPÉRATURES MOYENNES JOURNALIÈRES DU MOIS DE JANVIER 1997 29
FIGURE 4-5 PRÉCIPITATIONS JOURNALIÈRES SOUS FORME DE PLUIE DU MOIS DE JANVIER 1997 29
FIGURE 4-6 PRÉCIPITATIONS JOURNALIÈRES SOUS FORME DE NEIGE DU MOIS DE JANVIER 1997 29
FIGURE 4-7 COMPARAISON DES VALEURS MOYENNES DE *pH* ET DES CONCENTRATIONS MOYENNES DE *ZN*, DE *DBO*, DE *MG*, DE *K*, DE *CU*, DE *CR*, DE *NITRATES* ET DE *PHOSPHORE INORGANIQUE* MESURÉES DANS LES NEIGES USÉES EN 1985 ET EN 1997 37
FIGURE 4-8 COMPARAISON DES VALEURS MOYENNES DE *CONDUCTIVITÉ* ET DES CONCENTRATIONS MOYENNES DE *MATIÈRES TOTALES*, DE *CHLORURES* ET DE *SODIUM* MESURÉES DANS LES NEIGES USÉES EN 1985 ET EN 1997 38
FIGURE 4-9 COMPARAISON DES CONCENTRATIONS MOYENNES DE *MES* ET DE *FE* MESURÉES DANS LES NEIGES USÉES EN 1985 ET EN 1997 38
FIGURE 4-10 COMPARAISON DES VALEURS MOYENNES DE *TURBIDITÉ* ET DES CONCENTRATIONS MOYENNES DE *DCO* ET DE *DURETÉ TOTALE* MESURÉES DANS LES NEIGES USÉES EN 1985 ET EN 1997 39
FIGURE 4-11 COMPARAISON DES CONCENTRATIONS MOYENNES DE *CYANURES*, DE *CD* ET D'*AZOTE AMMONIACAL* MESURÉES DANS LES NEIGES USÉES EN 1985 ET EN 1997 39
FIGURE 4-12 COMPARAISON DES CONCENTRATIONS MOYENNES DE *CA*, DE *SULFATES*, D'*HUILES ET GRAISSES* ET DE *PB* MESURÉES DANS LES NEIGES USÉES EN 1985 ET EN 1997 40
FIGURE 4-13 COMPARAISON DES CONCENTRATIONS MOYENNES DE *NITRATES*, D'*AZOTE AMMONIACAL*, DE *MN*, DE *ZN*, DE *CU*, DE *CD*, DE *PB*, DE *CR*, ET DE *CYANURES* MESURÉES DANS LES NEIGES USÉES DES RUES PRINCIPALES ET SECONDAIRES EN 1997 43
FIGURE 4-14 COMPARAISON DES VALEURS MOYENNES DE *TURBIDITÉ* ET DES CONCENTRATIONS MOYENNES DE *MES*, DE *DCO*, DE *CA*, DE *DURETÉ TOTALE* ET DE *SULFATES* MESURÉES DANS LES NEIGES USÉES DES RUES PRINCIPALES ET SECONDAIRES EN 1997 43
FIGURE 4-15 COMPARAISON DES VALEURS MOYENNES DE *CONDUCTIVITÉ* ET DES CONCENTRATIONS MOYENNES DE *MATIÈRES TOTALES*, DE *CHLORURES* ET DE *NA* MESURÉES DANS LES NEIGES USÉES DES RUES PRINCIPALES ET SECONDAIRES EN 1997 44

FIGURE 4-16 COMPARAISON DES VALEURS MOYENNES DE *pH* ET DES CONCENTRATIONS MOYENNES DE *DBO*, DE *MG*, DE *FE*, DE *K*, D'*HUILES ET GRAISSES* ET DE *PHOSPHORE INORGANIQUE* MESURÉES DANS LES NEIGES USÉES DES RUES PRINCIPALES ET SECONDAIRES EN 1997.....44

FIGURE 4-17 COMPARAISON DES CONCENTRATIONS MOYENNES DE *NITRATES*, D'*AZOTE AMMONIACAL*, DE *ZN*, DE *MN* ET DE *CU* MESURÉES DANS LES NEIGES USÉES DE LA PREMIÈRE ET DE LA DEUXIÈME TEMPÊTE ÉCHANTILLONNÉE EN 1997.....46

FIGURE 4-18 COMPARAISON DES VALEURS MOYENNES DE *pH* ET DES CONCENTRATIONS MOYENNES DE *DBO*, DE *MG*, DE *FE*, DE *K* ET DE *PHOSPHORE INORGANIQUE* MESURÉES DANS LES NEIGES USÉES DE LA PREMIÈRE ET DE LA DEUXIÈME TEMPÊTE ÉCHANTILLONNÉE EN 1997.....47

FIGURE 4-19 COMPARAISON DES VALEURS MOYENNES DE *CONDUCTIVITÉ* ET DES CONCENTRATIONS MOYENNES DE *MATIÈRES TOTALES*, DE *CHLORURES*, ET DE *NA* MESURÉES DANS LES NEIGES USÉES DE LA PREMIÈRE ET DE LA DEUXIÈME TEMPÊTE ÉCHANTILLONNÉE EN 1997.....47

FIGURE 4-20 COMPARAISON DES VALEURS MOYENNES DE *TURBIDITÉ* ET DES CONCENTRATIONS MOYENNES DE *MES*, DE *DURETÉ TOTALE*, DE *CA*, DE *DCO* ET DE *SULFATES* MESURÉES DANS LES NEIGES USÉES DE LA PREMIÈRE ET DE LA DEUXIÈME TEMPÊTE ÉCHANTILLONNÉE EN 1997.....48

FIGURE 4-21 COMPARAISON DES CONCENTRATIONS MOYENNES DE *NITRATES*, DE *CU*, DE *PHOSPHORE INORGANIQUE*, D'*AZOTE AMMONIACAL*, DE *ZN*, DE *MN*, DE *CR*, DE *PB*, DE *CYANURES* ET DE *CD* MESURÉES DANS LES NEIGES USÉES DES RUES PRINCIPALES ET SECONDAIRES EN 1997.....54

FIGURE 4-22 COMPARAISON DES VALEURS MOYENNES DE *TURBIDITÉ* ET DES CONCENTRATIONS MOYENNES DE *MES*, DE *DCO*, DE *DURETÉ TOTALE*, DE *CA* ET DE *SULFATES* MESURÉES DANS LES NEIGES USÉES DES RUES PRINCIPALES ET SECONDAIRES EN 1997.....54

FIGURE 4-23 COMPARAISON DES VALEURS MOYENNES DE *TOXIMESURE*, DE *pH* ET DE *BEEP* ET DES CONCENTRATIONS MOYENNES D'*HUILES ET GRAISSES*, DE *MG*, DE *DBO*, DE *FE*, ET DE *K* MESURÉES DANS LES NEIGES USÉES DES RUES PRINCIPALES ET SECONDAIRES EN 1997.....55

FIGURE 4-24 COMPARAISON DES VALEURS MOYENNES DE *CONDUCTIVITÉ* ET DES CONCENTRATIONS MOYENNES DE *MATIÈRES TOTALES*, DE *CHLORURES* ET DE *NA* MESURÉES DANS LES NEIGES USÉES DES RUES PRINCIPALES ET SECONDAIRES EN 1997.....55

FIGURE 4-25 RÉPARTITION DES DÉBRIS SELON LEURS QUALITÉS ET LEUR FRÉQUENCE D'APPARITION DANS LES NEIGES USÉES.....62

FIGURE 4-26 EXEMPLE DE DÉBRIS RETROUVÉS DANS LES NEIGES USÉES.....63

FIGURE 4-27 RÉPARTITION DES ABRASIFS UTILISÉS PAR TYPE D'OPÉRATIONS ET PAR SITES D'ÉLIMINATION.67

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A PRÉCIPITATION DE NEIGE (CM) - DORVAL DE 1941 À 1997 77

ANNEXE B RÉPARTITION DE L'ÉLIMINATION DE LA NEIGE AU COURS DES HIVERS 1984-1985 À 1996-1997 . 80

ANNEXE C BREF HISTORIQUE DES DIFFÉRENTES POLITIQUES D'ÉPANDAGE DE LA VILLE DE MONTRÉAL 82

ANNEXE D GUIDE D'ÉPANDAGE SELON LES PRÉVISIONS ATMOSPHÉRIQUES - HIVER 1996-1997 87

ANNEXE E PRÉCIPITATION ET TEMPÉRATURE MOYENNE JOURNALIÈRE DE L'HIVER 1996-1997 89

ANNEXE F RÉSULTATS BRUTS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES NEIGES USÉES DE LA VILLE DE MONTRÉAL 91

ANNEXE G ÉVOLUTION DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES DE PLOMB (PB), DE DIOXYDE DE SOUFRE (SO_2) ET DE DIOXYDE D'AZOTE (NO_2) AU QUÉBEC ENTRE 1975 ET 1994 94

ANNEXE H SPÉCIFICATION DU SEL DE DÉGLAÇAGE 96

ANNEXE I RÉSULTATS DES ANALYSES DE CORRÉLATION SUR LES DONNÉES DE LA VILLE DE MONTRÉAL 98

ANNEXE J ORIGINE DES ÉMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES D'OXYDES D'AZOTE (NO_x) ET DE DIOXYDE DE SOUFRE (SO_2) AU QUÉBEC EN 1994 (EN POURCENTAGE) 102

ANNEXE K RÉSULTATS DES ANALYSES DE CORRÉLATION SUR LES DONNÉES DE L'UNION DES MUNICIPALITÉS DU QUÉBEC 104

ANNEXE L QUANTITÉS DE FONDANTS ET D'ABRASIFS UTILISÉES À LA VILLE DE MONTRÉAL AU COURS DES HIVERS 1987-1988 À 1996-1997 108

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

µm	micromètre
ADN	acide désoxyribonucléique
APHA	American Public Health Association
AWWA	American Water Works Association
BEEP	barème d'effets écotoxiques potentiels
C.D.T.	Centre de développement technologique
Ca	calcium
$CaSO_4$	sulfates de calcium
Cd	cadmium
CI_{50}	concentration inhibitrice 50%
Cl^-	chlorures
CL_{50}	concentration létale 50%
cm	centimètre
CMEO	concentration minimale avec effet observé
Cr	chrome
CSE	concentration-seuil d'effet
CSEO	concentration sans effet observé
CSL	Centre Saint-Laurent
Cu	cuivre
CUM	communauté urbaine de Montréal
DBO	demande biochimique en oxygène
DCO	demande chimique en oxygène
Fe	fer
g/m^3	gramme par mètre cube
H & G	huiles et graisses
K	potassium
MEF	ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec
MENVIQ	ministère de l'Environnement du Québec (aujourd'hui le MEF)

MES	matières en suspension
Mg	magnésium
mg/L	milligramme par litre
MMT	*methylcyclopentadienyl manganese tricarbonyl*, en anglais
Mn	manganèse
mS/m	millisiemens par mètre
N	nombre d'échantillons
Na	sodium
NaCl	chlorure de sodium
Pb	plomb
ppm	parties par million
SLV 2000	Saint-Laurent Vision 2000
U	unité
UG_{SC}	unité de génotoxicité sublétale chronique
UMQ	Union des municipalités du Québec
UTA/uvb	unité toxique ajustée par unité de volume bioanalytique
UT_L	unité de toxicité létale
UTN	unité de turbidité néphélémétrique
UT_{SA}	unité de toxicité sublétale aiguë
UT_{SC}	unité de toxicité sublétale chronique
WEF	Water Environment Federation
Zn	zinc

1 INTRODUCTION

Cette synthèse des données physico-chimiques sur les neiges usées au Québec et leurs impacts environnementaux fait suite à deux études indépendantes réalisées pour la Ville de Montréal (Chenevier et Delisle, 1997a) et pour l'Union des municipalités du Québec (UMQ) (Chenevier et Delisle, 1997b) par la section du génie de l'environnement de l'École Polytechnique de Montréal.

1.1 Contexte et problématique

Au cours de 56 derniers hivers, les municipalités du Québec méridional ont reçu en moyenne près de 225 cm de neige (**annexe A**). Cette accumulation représente un volume moyen de plus 7 millions de mètres cubes de neige à éliminer pour la Ville de Montréal (**annexe B**) et correspond à un budget annuel d'environ 55 millions de dollars. Pour l'ensemble des municipalités du Québec, on estime à 90 millions de mètres cubes le volume total de neige à éliminer chaque hiver (MENVIQ, 1988). Les quatre principales façons d'éliminer des neiges usées sont : le déchargement en carrière, le déversement aux égouts, le dépôt en surface et le déversement aux cours d'eau (**annexe B**). La Politique sur l'élimination des neiges usées du ministère de l'Environnement du Québec (MENVIQ, 1988) oblige cependant les municipalités à revoir ces pratiques.

En 1978, le Gouvernement du Québec amorçait le Programme d'assainissement des eaux, visant essentiellement à améliorer et conserver la qualité des eaux ainsi qu'à atteindre et maintenir des milieux équilibrés qui assurent aux ressources biologiques une évolution normale. La pratique de déversement de neiges usées aux cours d'eau a dès lors été remise en question. La contestation publique fut particulièrement vive lors de la proposition de la Ville de Montréal de construire un quai à des fins récréatives et

déversement occasionnel de neiges à l'Est de Montréal (BAPE, 1982). Au cours des années qui suivirent, de nombreuses études sur les neiges usées ont été réalisées entre autres à l'École Polytechnique de Montréal. La première visait à évaluer la contamination des neiges usées et à déterminer l'impact de leur déversement au cours d'eau sur le milieu aquatique (Zinger, 1985). Une seconde avait pour but d'évaluer la qualité des neiges en fonction de leur temps de résidence au sol (Delisle et Leduc, 1987). Une troisième (Lapointe, 1991), visait à élaborer un protocole expérimental d'échantillonnage des neiges usées en milieu urbain. Finalement, Delisle et al. (1993) ont caractérisé les neiges usées en fonction de la densité résidentielle.

Compte tenu du débit élevé, de l'ordre de 8000 m^3/s, au niveau du port de Montréal, et de l'absence de dilution instantanée de la neige déversée, seuls des impacts à très court terme sur le milieu récepteur ont pu être démontrés (André et Delisle, 1989). Il n'en demeure pas moins que les déversements de neiges usées représentent des quantités importantes de contaminants (Zinger, 1985). C'est pourquoi le MENVIQ, maintenant le ministère de l'Environnement et de la Faune (MEF), a adopté, en 1988, une Politique sur l'élimination des neiges usées. Selon cette Politique, à compter d'avril 1996, tout déchargement de neiges usées dans les cours d'eau ou en bordure de ceux-ci devait être considéré comme une infraction à l'article 20 de la Loi sur la qualité de l'environnement et pourrait faire l'objet de poursuite de la part du ministère de l'Environnement.

Or, depuis l'étude de Zinger (1985), des changements dans le mode de gestion des neiges usées se sont opérés, entre autres au Service des travaux publics de la Ville de Montréal, où l'on a réduit considérablement les quantités de fondants utilisés en hiver à Montréal. Désireuse d'évaluer ces changements en terme de réduction de la contamination des neiges usées et aussi de les rendre de plus en plus acceptables pour l'environnement, la Ville de Montréal mandatait, en décembre 1995, le Centre de Développement Technologique (C.D.T.) de l'École Polytechnique de Montréal pour

réaliser une étude sur les variables pouvant mener à une meilleure gestion des neiges usées en vue de déversements futurs au fleuve St-Laurent. Toujours en décembre 1995, l'UMQ mandatait, elle aussi, le C.D.T. de l'École Polytechnique de Montréal pour la réalisation d'une étude de caractérisation physico-chimique d'échantillons de neige dans le but d'établir un nouveau bilan de la contamination. Parallèlement, le Centre Saint-Laurent (CSL), Environnement Canada, obtenait le mandat d'effectuer une caractérisation bioanalytique de ces mêmes échantillons dans le but d'évaluer leur potentiel écotoxique pour des organismes aquatiques. Ces études n'ont cependant pas pu être réalisées durant l'hiver 1995-96, aucune tempête de neige importante nécessitant une opération de déneigement n'étant survenue de janvier à mars 1996. En octobre 1996, le ministre de l'Environnement annonçait un prolongement d'un an à l'échéancier prévu. Le 23 avril 1997, dans la Gazette officielle du Québec, était publié un projet de Règlement sur les lieux d'élimination de neige. Dans sa présentation du projet de règlement, le ministre de l'Environnement et de la Faune indique que :

> « [...] le projet de règlement sur les lieux d'élimination de neige propose d'interdire les déversements de neige aux cours d'eau ou en bordure de ceux-ci à compter du 1er novembre 1997 et de rendre conformes aux critères d'autorisation les lieux d'élimination existants non autorisés au plus tard le 1er avril 2002. »
>
> « De plus, ce projet de règlement prévoit que toute personne ou municipalité peut être exemptée de l'interdiction de déverser de la neige aux cours d'eau ou en bordure de ceux-ci, pendant une période maximale de trois ans, si elles font approuver par le ministre de l'Environnement et de la Faune un programme d'assainissement visé à l'article 116.2 de la Loi sur la qualité de l'environnement. »

Récemment, soit le 20 octobre 1997, le ministre de l'Environnement et de la Faune écrivait, dans une lettre adressée au président de l'UMQ :

> « Je proposerai, au Gouvernement, une modification réglementaire qui fera en sorte que les droits annuels prévus ne seront exigibles que pour la dernière période hivernale possible d'un programme d'assainissement, soit l'hiver 1999-2000. Le tout, bien entendu, sous réserve de la conformité de cette modification avec le résultat des négociations entre le gouvernement et le monde municipal. »

1.2 Objectifs

Le principal objectif de ce travail est de mettre à jour, plus de 10 ans après la première étude de Zinger (1985), les données sur la qualité des neiges usées au Québec et d'en faire une synthèse.

Dans un deuxième temps, et pour la première fois au Québec, cette étude vise à évaluer la toxicité des neiges usées par la méthode BEEP (barème d'effets écotoxiques potentiels) et de la comparer à celle d'autres effluents urbains et industriels.

Les autres objectifs sont : de comparer la qualité des neiges usées selon leur provenance (rues principales et secondaires) et selon les événements (tempêtes) ; de comparer les résultats de certains paramètres physico-chimiques aux normes de rejets aux égouts de la communauté urbaine de Montréal (CUM) ; de qualifier et quantifier les débris retrouvés dans les neiges usées ; d'établir des bilans de masse de certains contaminants ; et finalement, de suggérer des recommandations pouvant mener à l'amélioration de la qualité des neiges usées.

1.3 Hypothèses de travail

Voici les hypothèses qui ont fait l'objet de vérifications à partir des données physico-chimiques et bioanalytiques obtenues :

1) la qualité des neiges usées analysées en 1997 est différente de celle des neiges usées analysées par Zinger en 1985 ;

2) la provenance des échantillons de neige (rues principales ou secondaires) a une influence sur leur potentiel écotoxique ;

3) la provenance des échantillons de neige (rues principales ou secondaires) a une influence sur leurs concentrations en contaminants ;

4) les événements (tempêtes de neige) ont une influence sur les concentrations en contaminants mesurées dans les neiges usées.

2 REVUE DE LA LITTÉRATURE

Afin de répondre adéquatement aux objectifs de cette étude, nous avons procédé à une revue de la littérature. Nous avons d'abord passé en revue les différentes sources de contamination de la neige (**tableau 2-1**) et les impacts environnementaux associés aux neiges usées. Puis, nous avons identifié les principaux résultats et conclusions des différentes études québécoises effectuées sur le sujet afin de nous éclairer dans l'interprétation de nos résultats. Le **tableau 2-2** présente les résultats obtenus pour quelques-uns des paramètres physico-chimiques analysés dans les neiges usées ou les eaux de fonte de dépôts de surface par divers auteurs québécois.

2.1 Sources de contamination de la neige

La contamination de la neige provient principalement de la pollution atmosphérique, de l'utilisation de fondants et d'abrasifs et de la circulation automobile ainsi que d'autres activités anthropogéniques. À cela, s'ajoute aussi un aspect spatio-temporel de la contamination des neiges.

2.1.1 Contamination attribuable à la pollution atmosphérique

La contamination de la neige débute avant même que celle-ci ne touche le sol. En effet, durant les précipitations, les flocons de neige, exposés aux polluants atmosphériques, adsorbent déjà des contaminants. Ce phénomène est d'ailleurs plus important dans le cas de précipitations sous forme de neige que sous forme de pluie, et ce pour deux raisons : premièrement, parce que la durée d'exposition est plus grande, du fait que la neige tombe plus lentement que la pluie ; et deuxièmement, parce que la plus grande surface

des flocons augmente la capacité d'adsorption (Landsberger, 1984 ; Malmquist, 1984). La principale source de pollution atmosphérique est la combustion de combustibles fossiles, surtout responsable du relargage de métaux lourds tel que le plomb (Sakai et al., 1988 ; Scott et Wylie, 1980).

Tableau 2-1 Principaux contaminants de le neige usée et leurs sources (MENVIQ, 1991)

Contaminants	Sources diverses
Chlorures, sodium, calcium	Fondants
Ferrocyanures	Agents anti-agglutinant du fondant (NaCl)
Débris	Ordures ménagères, commerciales et industrielles, autres résidus
Huiles et graisses	Combustion interne de moteurs, systèmes de chauffage à l'huile, mauvaise étanchéité des véhicules
Phosphates	Agents anti-corrosifs dans les fondants
Plomb *	Combustion interne de moteurs et autres engins, gaz d'échappement des véhicules motorisés
Matières en suspension	Poussières et autres saletés, abrasifs, usure des pneus et des chaussées, corrosion de différents matériaux métalliques, corrosion du béton des bâtiments et des ponts et chaussées
Zinc, fer, cuivre, chrome, cadmium	Corrosion

* Il faudrait ajouter le manganèse (Mn), qui entre maintenant dans la composition des essences sans plomb sous forme de MMT (*methylcyclopentadienyl manganese tricarbonyl*, en anglais)

2.1.2 Contamination attribuable à l'utilisation de fondants et d'abrasifs

Une fois au sol, la neige sera contaminée, entre autres, par les fondants et les abrasifs que nous épandons sur les chaussées glacées. La qualité de la neige sera influencée par le type de sel utilisé (Droste et Jonhston, 1993). Le sel le plus utilisé est le chlorure de sodium (NaCl) en raison de son efficacité et de son faible coût. Cependant, au cours des dernières années, on a mis en évidence les impacts négatifs que celui-ci pouvait représenter pour l'environnement et c'est en partie pourquoi, la Ville de Montréal a choisi de modifier sa politique d'épandage des fondants et des abrasifs afin de diminuer l'utilisation du sel et d'augmenter celle de la pierre concassée (**annexe C**).

La quantité de fondants et d'abrasifs utilisée dépend des facteurs climatiques (de la température), de la fréquence et de l'ampleur des précipitations (Scott et Wylie, 1980) et de la vocation des rues (**annexe D**). Ainsi, le NaCl est, comme nous l'avons vu, le sel de déglaçage le plus utilisé. Mais lorsque les températures tombent sous les moins 10 degré Celsius (-10°C), le NaCl perd de son efficacité et est souvent remplacé par le $CaCl_2$ (Scott et Wylie, 1980). Cependant la Ville de Montréal utilise très peu de $CaCl_2$.

Les fondants et les abrasifs contiennent aussi des impuretés qui sont elles aussi responsables de la contamination des neiges usées. Par exemple, le chlorure de sodium est, à cause de son origine marine, associé à du chlorure de magnésium, à du carbonate de calcium et à des sulfates de magnésium, de calcium et de potassium (Dallaire et Ouimet, 1980 tiré de Troche, 1997). L'étude de Hautala et al. (1995) fait, elle aussi, état de la présence de $CaSO_4$ comme impureté dans le NaCl pour expliquer les concentrations en sulfates trouvées dans les neiges usées.

2.1.3 Contamination attribuable à la circulation automobile

La circulation automobile influence de façon directement proportionnelle la contamination de la neige (Pierstorff et Bishop, 1980). En plus d'être une source importante d'émissions de plomb, utilisé dans l'essence comme agent antidétonant sous forme de tétraéthyle de plomb, et autres métaux, les véhicules routiers sont également responsables d'émissions d'huiles et graisses (Field et al., 1974), d'oxydes d'azote (NO_x) et d'oxydes de soufre (SO_2) (MEF, 1997), d'amiante provenant des freins et du système d'embrayage (Novotny et al., 1986) et d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Depuis 1976, on a commencé à ajouter du MMT (*methylcyclopentadienyl manganese tricarbonyl*, en anglais) dans les essences sans plomb ; aujourd'hui, la combustion du MMT compte pour près de 20% des émissions canadiennes de manganèse (Loranger et al., 1996). La corrosion des véhicules libère aussi des métaux tels que le fer, le chrome et le zinc (Zinger, 1985; Zinger et Delisle, 1988). Finalement, différentes études américaines ont démontré un rejet moyen, associé à l'usure d'un pneu, de 50 mg/km de matériel dans l'environnement (MENVIQ, 1991).

En plus de la contamination directe causée par la circulation automobile, plusieurs études ont souligné l'importance du transport de certains contaminants, comme les ions chlorures, par les véhicules (Delisle et al., 1993).

2.1.4 Aspect spatio-temporel de la contamination

Une fois au sol, la neige se contamine en fonction du temps. C'est en effet la conclusion à laquelle plusieurs chercheurs en sont venus (Malmquist, 1984 ; Novotny et al., 1986 ; Pierstorff et Bishop, 1980). Delisle et Leduc (1987) ont, eux aussi, clairement illustré ce fait en réalisant des analyses sur des échantillons de neiges usées prélevés à 12 heures d'intervalle, du début jusqu'à la fin des opérations de chargement.

L'aspect spatial joue aussi un rôle dans la contamination de la neige. En effet, la situation géographique, la direction des vents dominants, la proximité de certains types d'industries, etc. sont autant de facteurs qui influencent la contamination de la neige. Plusieurs études ont d'ailleurs démontrées l'importance de la contamination de la neige en milieu urbain en fonction de la vocation des quartiers où elle se trouvait (quartiers résidentiels *vs* commerciaux) (Delisle et al., 1993 ; Malmquist, 1984).

2.2 Impacts environnementaux

La bibliographie concernant les impacts environnementaux des contaminants retrouvés dans les neiges usées est abondante. Le ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec dresse, dans son « Guide pour l'aménagement des lieux d'élimination des neiges usées » (MENVIQ, 1991), un bilan des impacts des solides, des fondants, des principaux métaux lourds et des huiles et graisses, sur les différents écosystèmes.

2.2.1 Impacts causés par les sels et les fondants

Dans un premier temps, les sels attaquent la végétation en provoquant un déséquilibre ionique. En effet, une augmentation des concentrations en ions sodium et calcium (Na^+

et Ca^{2+}) entraîne le déplacement des sites d'échanges entre les argiles et la matière organique par la modification des échanges cationiques. Ceci provoque, en plus d'une diminution de la fertilité, de la perméabilité, de l'aération ainsi que du drainage, une compaction des sols causant une augmentation de la pression osmotique (Scott et Wylie, 1980). On note aussi, sur la végétation affectée par les sels, une réduction de biomasse, de diversité spécifique et de richesse ainsi qu'une nécrose foliaire chez certaines espèces.

Les répercussions sur les systèmes aquatiques doivent être considérées différemment selon qu'il s'agit d'un lac, d'une rivière, d'un fleuve, etc. Ainsi, lorsqu'ils se retrouvent dans les lacs, les sels provoquent une modification de la composition ionique et une stratification saline pouvant provoquer un ralentissement des brassages printaniers (MENVIQ, 1991). Par contre, toujours selon cette même source, on note rarement des impacts mesurables dus aux fondants dans les fleuves et les rivières de fort débit. Le sodium et le calcium peuvent aussi être responsables, par échanges ioniques, du relargage de mercure adsorbé aux sédiments (Field et al., 1974). Finalement, le Na^+, qui est un élément essentiel à la croissance des algues bleues, peut provoquer des nuisances importantes en accélérant la prolifération de ces algues (Field et al., 1974).

En dernier lieu, les propriétés corrosives des sels de déglaçage causent d'importants dommages aux infrastructures routières et aux véhicules automobiles (Novotny et al., 1986). En effet, selon des études américaines menées par Ford Motors Co., le taux de corrosion est directement proportionnel à la quantité de sel utilisé (MENVIQ, 1991).

2.2.2 Impacts causés par les métaux lourds

Tous les métaux lourds ne se comportent pas de la même façon ; certains, par exemple, auront une forte tendance à s'adsorber sur de fins sédiments, assurant ainsi leur

immobilisation, alors que d'autres, resterons plus mobiles dans l'environnement. C'est entre autres pour cette raison qu'il est impossible d'attribuer un schéma-type d'interactions métal/organismes (MENVIQ, 1991). Par ailleurs, contrairement aux micro-polluants organiques souvent biodégradables, les métaux lourds ne se dégradent pas, ils ne peuvent que se combiner, se complexer avec des groupes minéraux ou organiques.

Parmi les métaux lourds que l'on retrouve dans les neiges usées, le plomb (Pb) est sans doute celui qui suscite le plus d'inquiétudes (Zinger, 1985). Son potentiel écotoxique en fait, après le mercure, le métal lourd le plus préoccupant. Le plomb a un potentiel de bioaccumulation mais pas de bioamplification. C'est-à-dire qu'il peut, lorsqu'il est disponible dans l'environnement, s'accumuler dans les organismes mais qu'il n'y a pas de concentration biologique par la voie alimentaire dans la chaîne trophique (MENVIQ, 1991). On peut le retrouver sous deux formes dans l'environnement : soluble et insoluble. Il est généralement admis que la forme soluble est la plus toxique. Or, plusieurs études ont révélé que moins de 1% du plomb des neiges usées se retrouve sous cette forme (Scott et Wylie, 1980). Sa solubilité augmente avec une diminution du pH (Malmquist, 1984), par contre le pH des neiges usées se situe au environ de 8 (Zinger, 1985) et tend à augmenter dans le temps (Novotny et al., 1986). Le plomb, tant dans l'eau que sur les sédiments, peut toutefois subir une biométhylation, laquelle le rend sous une forme organo-métallique capable de pénétrer dans les cellules des êtres vivants et de s'y accumuler (MENVIQ, 1991).

2.2.3 Impacts causés par quelques autres contaminants

Les **huiles et graisses** constituent une classe complexe de composés organiques. Celle-ci inclut une multitude de produits aux propriétés physiques, chimiques et toxicologiques

variées. Soulignons simplement que les produits pétroliers peuvent s'accumuler dans les organismes aquatiques et être nocifs pour l'homme, particulièrement les HAP reconnus cancérigènes (MENVIQ, 1991).

Les **cyanures** présents dans les neiges proviennent d'une dissociation des ferrocyanures, utilisés comme agent anti-agglomérant dans les sels de déglaçage, par l'action des rayons solaires (Field et al., 1974). Pour la plupart des espèces de poissons, la toxicité aiguë des cyanures libres se situe entre 50 et 200 µg/l (MENVIQ, 1991).

2.3 Études québécoises sur les neiges usées

Zinger (1985) a réalisé la première étude québécoise sur le sujet. Dans le cadre de cette étude, les échantillons avaient été prélevés directement dans les camions déversant leurs neiges usées au fleuve Saint-Laurent depuis le quai 30, le quai 52 et le pont de la Concorde. En tout, 27 paramètres physico-chimiques ont été étudiés afin d'évaluer les divers polluants présents dans les neiges usées. Les nombreuses analyses ont entre autres conduit à la conclusion que la neige est contaminée et que la qualité de la neige usée déversée au fleuve varie énormément selon sa provenance et son temps de séjour au sol. Les neiges usées provenant de milieux résidentiels se sont avérées moins polluées que celles provenant de milieux commerciaux.

Suite aux recommandations contenues dans le mémoire de Zinger (1985), Delisle et Leduc (1987) ont entrepris une étude portant sur l'évolution dans le temps et dans l'espace de la qualité de la neige usée et de l'eau de ruissellement de pluie. Les échantillons de neige étaient prélevés dans le banc de neige sur le bord de la chaussée à l'aide d'un carottier de Plexiglas de 4 cm de diamètre intérieur et de 50 cm de longueur, au cours de l'hiver 1985-1986. Il s'agissait d'échantillons composés totalisant un volume

de 6 litres de neige. Les résultats des analyses indiquent que les échantillons des rues commerciales sont beaucoup plus contaminés que ceux des rues résidentielles ; les concentrations étant de 1,5 à 4,9 fois plus élevées. Cependant, étant donné l'hétérogénéité chimique retrouvée dans les neiges usées en plus des courtes périodes d'échantillonnage (délai de déneigement de 30 heures en moyenne), aucune tendance d'augmentation des concentrations de polluants dans le temps n'a été observée. Finalement, cette étude conclut à une plus importante contamination des eaux de ruissellement pluvial (surtout durant les premières minutes d'une averse) par rapport à celle des neiges usées pour les paramètres suivants : matières en suspension (MES), carbone organique total, sulfates, fer, calcium, plomb, chrome et huiles et graisses. Seules les concentrations de chlorures et de sodium sont plus élevées dans les neiges usées que dans les eaux de ruissellement pluvial et ce, uniquement dans les neiges usées provenant de rues commerciales.

Suite aux recommandations de Delisle et Leduc (1987) et dans l'intention de résoudre le problème d'hétérogénéité chimique des bancs de neige, Lapointe (1991) a élaboré un protocole expérimental d'échantillonnage des neiges usées. Les résultats des nombreuses analyses menées au cours des hivers 1989-1990 et 1990-1991 ont démontré la représentativité des échantillons de 20 litres de neige pris dans un transect de l'andain de neiges usées (i.e. tranche horizontale et verticale complète de l'andain) formé par le passage des autoniveleuses, juste avant le passage des souffleuses. Cette méthode d'échantillonnage avait été comparée avec celles d'échantillons de petits volumes (carottes de 1 litre) et de grands volumes (200 litres) et s'était avérée supérieure.

L'étude sur la « Caractérisation des neiges usées en fonction de la densité résidentielle (hiver 1992-1993) » réalisée par Delisle et al. (1993) visait la caractérisation des neiges usées en provenance des quartiers de faible densité résidentielle afin de voir si les concentrations sont suffisamment basses pour permettre un mode de gestion moins

contraignant que celui imposé par la Politique sur l'élimination des neiges usées (MENVIQ,1988). Dans chacune des trois municipalités impliquées, 10 secteurs résidentiels ont été choisis aléatoirement, et chacun des secteurs a été échantillonné à trois sites selon la méthode proposée par Lapointe (1991). Ce protocole a été repris à quatre moments différents au cours de l'hiver. Des stations contrôles ont été ajoutées dans des parcs ou dans des rues non résidentielles. En se basant sur l'ensemble des données cumulées, cette étude conclut en la grande variabilité de chacune des variables étudiées qui pourrait être due à la différence des modes de gestion entre les municipalités, à des caractéristiques liées à la dynamique annuelle des précipitations, ou à des différences dans les niveaux d'occupation du sol et de son utilisation. En analysant les municipalités séparément, les auteurs ne sont pas parvenus à réduire systématiquement la variabilité des mesures pour l'ensemble des paramètres ; les municipalités sont toutefois apparues comme différentes les unes des autres quant aux concentrations observées ce qui serait due à leurs pratiques de gestion. C'est lorsque l'on considère les événements nivaux isolément que la variabilité est la plus faible ; cependant il s'est avéré impossible aux auteurs de prédire la contamination en fonction des intensité des précipitations, le tout étant trop aléatoire.

L'étude suivante, réalisée pour la ville de Laval, visait l'évaluation des impacts environnementaux occasionnés par la fonte des neiges usées d'un site de dépôt de surface (Péloquin, 1993). L'eau de fonte a été échantillonnée et analysée à 45 reprises lors des périodes de dégel de 1991 et 1992. Les principaux résultats des analyses effectuées indiquent, qu'en moyenne, seuls le fer total et les MES dépassent les normes de rejet à l'égout pluvial de la Ville de Laval (règlement L-6035).

Bouchard (1997) a effectué un « Suivi environnemental des eaux de fonte du dépôt à neiges usées Gagnon à Jonquière ». Dans le but d'évaluer la contamination de la neige entreposée sur le site du dépôt Gagnon, l'auteur a réalisé la caractérisation physico-

chimique de ces neiges usées. L'échantillonnage s'est fait à plusieurs endroits et à une profondeur de ± 30 cm sous la couche noirâtre qui recouvre le glacier de neiges usées pour rendre l'échantillon le plus représentatif possible. En tout, 5 contenants de 20 litres de neige ont été recueillis. Le résultat des analyses physico-chimiques effectuées sur l'eau de fonte des 100 litres de neige prélevée ont ensuite été comparés aux normes établies par le MEF, pour un rejet dans les réseaux d'égout pluvial, ainsi qu'aux résultats obtenus par Zinger (1985). Des paramètres comparés, seuls les MES, le plomb et le fer dépassent la norme du MEF et tous, à l'exception des MES, sont inférieurs aux concentrations minimales mesurées dans les neiges usées par Zinger (1985).

Dans son étude sur le dépôt de neiges usées du campus de l'Université de Montréal, visant essentiellement à évaluer son impact environnemental, Troche (1997) a entre autres effectué des analyses physico-chimiques sur des échantillons de neige du dépôt. En tout, 30 échantillons d'un litre ont été recueillis les 28 janvier et 18 février 1995. Les analyses de métaux ont été réalisées sur la fraction liquide (incluant des particules de diamètre inférieur à 0,45 μm) et sur la fraction solide (particules de diamètre compris entre 0,45 μm et 180 μm). Seuls les résultats de la fraction liquide sont présentés dans le **tableau 2-2**. Troche (1997) conclut en un dépérissement de la végétation (principalement des arbres et des arbustes) en bordure du site de dépôt causé par la présence de sels de déglaçage.

Tableau 2-2 Concentrations de certains paramètres physico-chimiques analysés dans les neiges par divers auteurs

Paramètres	Unités	Zinger (1985)	Delisle & Leduc (1987)	Lapointe (1991)	Delisle, André & Paradis (1993)	Péloquin (1993) (Eau de fonte d'un site de dépôt)	Bouchard (1997) (Neige d'un site de dépôt)	Troche (1997) (Neige d'un site de dépôt)	Chenevier & Delisle (1997a)
Calcium	mg/l	146,4	129,8	572	-	-	-	-	269
Écart type		108,88	79,6	598					104
Minimum		34,0	31,0	25					136
Maximum		500,0	420,0	4100					490
N		96	158	581					20
Chlorures	mg/l	3851,2	1441,9	2021	2072,69	414	3,8	1358	5689
Écart type		2335,72	1746,6	2178	2190,808			1206,2	4001
Minimum		56,0	23,0	33	8,6	18,1			1366
Maximum		10000,0	9500,0	9927	29587,0	2980			18230
N		98	479	574	299	45	1	30	24
Conductivité	mS/m	1113	542	582	490	210	-	344	1737
Écart type		745	753	715	480			285	1213
Minimum		15	5	11	5	25		5	436
Maximum		2650	4158	2903	64200	1654			5440
N		108	158	609	299	41		30	24
Cyanures	mg/l	0,24	-	-	-	0,07	0,011	-	0,018
Écart type		-							0,006
Minimum		0,12				<0,02			0,008
Maximum		0,33				0,19			0,031
N		32				45	1		12
Fer	mg/l	913	5,4	28,5	-	20,7	66	0,033	17,0
Écart type		632	3,9	27,4					6,2
Minimum		239	0,10	3,9		0,09		0,019	5,5
Maximum		3763	17,5	186,2		115		0,049	31,0
N		93	158	608		45	1	9	20
H & G	mg/l	104,6	15,9	29	13,06	-	6,3	-	1,83
Écart type		56,11	9,4	31	11,132				0,55
Minimum		9,0	1,0	1	1,1				0,90
Maximum		200,0	43,0	150	45,0				2,80
N		30	86	523	33		1		12
MES	mg/l	1209	214	2057	497	293	2360	1895	742
Écart type		1187	189	2446	392			1165	414
Minimum		86	4,0	50	5,0	3,8			150
Maximum		8546	854	16270	2318	1600			1804
N		108	479	609	299	45	1	30	24
Manganèse	mg/l	-	-	-	0,17	-	-	0,033	0,55
Écart type					0,147				0,22
Minimum					0,003			0,01	0,15
Maximum					1,1			0,06	1,07
N					210			9	20
Plomb	mg/l	84,84	0,34	0,65	0,10	0,03	0,19	0,014	<0,05
Écart type		63,26	0,31	0,67	0,094				<0,05
Minimum		17,15	0,01	0,01	0,002	<0,01		0,004	<0,05
Maximum		360,05	2,59	4,55	0,7	0,18		0,026	<0,05
N		93	479	608	299	45	1	9	20
Sodium	mg/l	4050	539	1331	-	-	-	-	4041
Écart type		2315	502	1384					2883
Minimum		1000	31	14					1240
Maximum		13600	3130	6375					12600
N		98	158	581					20

3 MÉTHODOLOGIE

3.1 Caractérisation physico-chimique

Les échantillons de neige ont été prélevés dans l'andain formé par le passage des autoniveleuses, selon la méthode suggérée par Lapointe (1991). Tel que schématisé à la **figure 3-1**, la méthode consiste à dégager un passage d'environ 30 cm au cœur de l'andain pour ensuite en prélever des tranches contiguës, à l'aide d'une pelle de plastique, et les transférer dans des récipients en plastique de 20 litres.

Pour l'étude de la Ville de Montréal, les **arrondissements Ville-Marie** et **Plateau Mont-Royal/Centre-Sud**, avec 10 territoires de déneigement dont les neiges usées sont dirigées vers le quai 30 du Port-de-Montréal, ont été retenus. Des rues principales et secondaires ont été échantillonnées, au hasard de nos présences sur le terrain et de la localisation des équipes de déneigement[1]. Au total, 24 échantillons ont été récoltés : 3 échantillons par rue (une principale et une secondaire), dans chacun des 2 arrondissements et ce, lors de 2 tempêtes de neige majeures (+ de 10 cm). Les noms de rues ainsi que les dates d'échantillonnage apparaissent au **tableau 3-1**.

Pour l'étude de l'UMQ, des échantillons de neige ont été prélevés sur des rues principales et secondaires des sept municipalités suivantes : **Lévis**, **Trois-Rivières**, **LaSalle**, **Verdun**, **Westmount**, **Montréal** et **Repentigny**. De plus, l'échantillonnage d'un volume de 20 litres d'eaux de fonte s'est effectué au site de dépôt de surface **Royal Mount**, à Montréal (directement dans la nappe d'eau qui recouvrait le terrain), et au site de dépôt de surface **Dagenais**, à Laval (dans le fossé de drainage aménagé). Un

---

[1] Compte tenu de la superficie du territoire à couvrir et du peu de ressources matérielles, humaines et monétaires disponibles, l'application d'un échantillonnage aléatoire stratifié s'est avéré impossible.

échantillon d'eaux de ruissellement de pluie a aussi été recueilli à même le réseau d'égout pluvial de l'**Île des Soeurs**. Les lieux et dates de prélèvement des 17 échantillons sont indiqués au **tableau 3-2**.

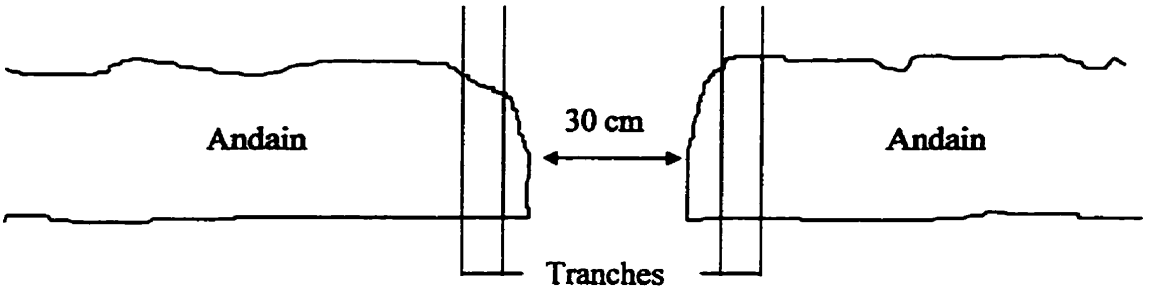


Figure 3-1 Méthode d'échantillonnage de l'andain de neige

Tous les échantillons ont été identifiés puis acheminés vers le laboratoire de la section du génie de l'environnement de l'École Polytechnique, où nous avons laissé fondre la neige à température de la pièce, durant environ 24 heures. Les échantillons ont ensuite été homogénéisés par agitation puis divisés en sous-échantillons. Un volume de 10 litres de chacun des 17 échantillons de l'UMQ a été envoyé au laboratoire du Centre Saint-Laurent pour la réalisation des analyses bioanalytiques. Quant aux analyses physico-chimiques, elles ont toutes été effectuées dans les laboratoires de la section du génie de l'environnement et de géochimie analytique de l'École Polytechnique suivant les méthodes du *Standard methods for the examination of water and wastewater* (APHA et al., 1992), à l'exception des analyses d'huiles et graisses des 2 échantillons de neige provenant de la Ville de Montréal, qui ont été confiées aux *Laboratoires Zénon*. La liste

des paramètres physico-chimiques analysés dans la majorité des échantillons, ainsi que les délais et les modes de conservation de ceux-ci sont présentés au **tableau 3-3**.

Tableau 3-1 Lieux et dates de prélèvement des échantillons de neige de la Ville de Montréal

Dates des tempêtes	Arrondissements	Rue échantillonnées / rues transversales		Dates de prélèvement*
		Rues principales	Rues secondaires	
9-10 janvier 1997	Ville-Marie	René-Lévesque / University et St-Urbain	Redpath / Dc Penfield et Sherbrooke	12/01/97 13/01/97
	Plateau Mont-Royal/Centre-Sud	Du Parc / St-Viateur et Laurier	Esplanade / Mt-Royal et Marie-Anne	12/01/97 13/01/97
27-28 janvier 1997	Ville-Marie	Ontario / Berri et Labrecque	Du Fort / Tupper et Lincoln	28/01/97 30/01/97
	Plateau Mont-Royal/Centre-Sud	Des Pins / St-Denis et Coloniale	Rivard / Mt-Royal et Gilford	29/01/97

* Lorsque deux dates apparaissent, la première est afférente à la rue principale et la deuxième, à la rue secondaire.

Tableau 3-2 Lieux et dates de prélèvement des 17 échantillons de l'UMQ

Nature et provenance des échantillons	Rues échantillonnées / rues transversales		Dates de prélèvement*
	Rues principales	Rues secondaires	
Neige			
Lévis	Président Kennedy / Boul. Rive-Sud	Louise Carrier	12/02/97 21/03/96
Trois-Rivières	Royal	Laurier / Saint-Denis	21/03/96 09/02/97
LaSalle	4ième avenue	Dollar / Salley	28/01/97
Verdun	Verdun / Strathmore	Crawford Bridge / Champlain	28/01/97
Westmount	Parkman / Claremont	Sherbrooke / Arlington	29/01/97
Montréal	Ontario / Berri	Du Fort / Lincoln	28/01/97 30/01/97
Repentigny	Cavanagh / Moncana	Notre-Dame / Brien	28/01/97
Eaux de fonte			
Royal Mount (Mtl)	-	-	05/05/97
Dagenais (Laval)	-	-	08/05/97
Eaux de ruissellement			
Île des Soeurs	-	-	08/11/96

* Lorsque deux dates apparaissent, la première est afférente à la rue principale et la deuxième, à la rue secondaire.

Tableau 3-3 Paramètres physico-chimiques analysés, délais et modes de conservation

Paramètres	Délais	Préservation
Azote ammoniacal	7 jours	Acidification
Cadmium (Cd)	7 jours	4°C
Calcium (Ca)	7 jours	4°C
Chlorures	7 jours	4°C
Chrome (Cr)	7 jours	4°C
Conductivité	24 heures	4°C
Cuivre (Cu)	7 jours	4°C
Cyanures	24 heures	4°C
DBO	le plus tôt possible	20°C
DCO	7 jours	Acidification
Dureté totale	24 heures	4°C
Fer (Fe)	7 jours	4°C
Huiles & graisses	7 jours	Acidification
Matières totales	7 jours	4°C
M.E.S.	7 jours	4°C
Magnésium (Mg)	7 jours	4°C
Manganèse (Mn)	7 jours	4°C
Nitrates	48 heures	Acidification
pH	le plus tôt possible	4°C
Phosphore inorganique	24 heures	4°C
Plomb (Pb)	7 jours	4°C
Potassium (K)	7 jours	4°C
Sodium (Na)	7 jours	4°C
Sulfates	28 jours	4°C
Turbidité	24 heures	4°C
Zinc (Zn)	7 jours	4°C

3.2 Caractérisation bioanalytique et indicateur BEEP

Jusqu'à récemment, aucune méthode ne permettait d'évaluer les effets écotoxicologiques des neiges usées. Une modification de l'approche originale, mise au point par Environnement Canada, région du Québec, dans le cadre du plan Saint-Laurent, permet maintenant d'évaluer la toxicité des neiges usées par l'intermédiaire d'un barème (BEEP), et de comparer cette valeur avec celles d'effluents industriels se déversant dans le fleuve, d'eaux usées domestiques, d'eaux de fonte de dépôts de surface de neige, etc. Le BEEP est exprimé sur une échelle logarithmique de toxicité croissante. Rappelons que la méthode de caractérisation bioanalytique est présentée de façon plus détaillée dans le rapport d'Environnement Canada (1997).

Trois groupes taxonomiques sont utilisés : les bactéries, les algues et les crustacés. Le type d'effet mesuré, plus particulièrement le niveau d'organisation biologique, varie. Au niveau de l'organisme, les paramètres incluent l'inhibition de croissance et de reproduction, alors qu'au niveau cellulaire, l'inhibition de luminescence et l'inhibition d'un système de réparation de l'ADN (SOS) sont mesurés. Enfin, la présente batterie d'essais comporte trois niveaux de toxicité (létalité chronique, ainsi que sublétalité aiguë et chronique), ce qui permet d'évaluer le potentiel écotoxique de l'échantillon mais non ses effets réels dans le fleuve Saint-Laurent.

Les bioessais du **tableau 3-4** se répartissent en deux groupes : les microbioessais et les macrobioessais. Le premier groupe comprend les essais réalisés avec les bactéries *Vibrio fischeri* (Microtox™) et *Escherichia coli* PA37 (SOS Chromotest) et avec la microalgue *Selenastrum capricornutum*. Le second groupe exploite des organismes de plus grande taille, à savoir le microcrustacé *Ceriodaphnia dubia*.

Le calcul de la toximesure[2] nécessite la détermination de la concentration-seuil d'effet (CSE). Cette valeur résulte de la moyenne géométrique de la concentration minimale avec effet observé (CMEO) et de la concentration sans effet observé (CSEO). La CMEO est déterminée par différentes méthodes statistiques, alors que la CSEO correspond à la concentration testée immédiatement sous la CMEO. Cette approche expérimentale exige un minimum de trois à quatre répétitions par concentration testée. Quoique les protocoles expérimentaux de chaque bioessai diffèrent, il n'en demeure pas moins qu'une démarche commune s'applique à tous. Il s'agit d'exposer, en conditions contrôlées, des organismes vivants à une série de dilutions de l'échantillon, puis à observer et à quantifier les effets toxiques. L'indicateur BEEP est en fait le résultat de la multiplication de la toximesure et du débit, le tout exprimé sur une échelle logarithmique.

Tableau 3-4 Caractérisations descriptives des bioessais utilisés pour l'évaluation écotoxicologique

Organismes	Espèces	Échelons trophiques	Niveaux de toxicité	Variables d'effet	Paramètres de mesure	Unités de mesure
Bactérie	*Vibrio fischeri* (Microtox™)	Décomposeur	Sublétalité aiguë	Inhibition de la luminescence	CI_{50}, CMEO, CSEO	UT_{SA}
Bactérie	*Escherichia coli* PA37 (SOS Chromotest)	Décomposeur	Sublétalité chronique	Génotoxicité et cytotoxicité	CMEO, CSEO	UG_{SC}, UT_{SC}
Algue	*Selenastrum capricornutum*	Producteur primaire	Sublétalité chronique	Inhibition de la division cellulaire	CI_{50}, CMEO, DSEO	UT_{SC}
Cladocère (crustacé)	*Ceriodaphnia dubia*	Consommateur primaire	Létalité et sublétalité chronique	Mortalité et inhibition de la reproduction	CL_{50}, CMEO, CSEO	UT_{L}, UT_{SC}

[2] La toximesure est une composante de l'indicateur BEEP qui exprime, en unité toxique ajustée par unité de volume bioanalytique (UTA/uvb), la concentration de substances potentiellement biodisponibles dans l'échantillon.

3.3 Qualification et quantification des débris

Les débris contenus dans les neiges usées ont été qualifiés et quantifiés suite à des opérations effectuées sur le terrain les 7, 8 et 9 mars 1997 dans des rues principales et secondaires des arrondissements Ville-Marie et Plateau Mont-Royal/Centre-Sud. Dans un premier temps, nous avons pris note, sur environ 4,5 kilomètres de rues, des débris se retrouvant à la surface de l'andain de neige. Nous les avons ensuite regroupés en classes puis nous avons déterminé le pourcentage associé à chacune d'elles. Dans un deuxième temps, nous avons fouillé un mètre cube de neige de l'andain pour en ramasser les débris et ce, cinq fois par rue, en espaçant chacune des fouilles de 25 mètres. Les débris ont ensuite été pesés dans le laboratoire de chimie de l'environnement de l'École Polytechnique pour ainsi évaluer la masse de débris contenue dans un mètre cube de neige.

3.4 Exemple de calcul des bilans de masse

Les bilans de masse ont été calculés à partir des informations suivantes :

- le volume de neige déversée au fleuve (2 448 304 m^3 pour la Ville de Montréal),
- facteur de densité de la neige (0,52) (André et Delisle, 1990),
- les concentrations obtenues pour chacun des paramètres.

Voici un exemple de calcul avec le fer :

- Concentration de fer : 17,0 mg/l
- Quantité de neige déversée au fleuve (en litre d'eau de fonte)
    - 2 448 304 m3 * 1000 = 2 448 304 000 litres de neige
    - 2 448 304 000 l * 0,52 = 1 273 118 080 litres d'eau de fonte

- Quantité de fer déversée au fleuve (en tonnes métriques)
  - 17,0 mg/l * 1 273 118 080 l = 2,164300736E10 mg
  - $\frac{2,164300736E10}{1000} = 2,16430074E07$ g
  - $\frac{2,16430074E07}{1000} = 2,16430074E04$ kg
  - $\frac{2,16430074E04}{1000} = 2,16430074E01$ tonnes métriques
  - 22 tonnes métriques de fer déversé au fleuve

3.5 Traitement des données

Les analyses statistiques tels que la moyenne, le minimum, le maximum et l'écart-type ont été réalisées à l'aide du logiciel *Microsoft Excel Version 95* (version 7.0a). Le logiciel *Systat*® (version 6.0) a été utilisé pour les tests de comparaison de moyennes. Le test de Wilcoxon-Mann-Withney, un test non-paramétrique communément appelé test U, a été appliqué sur les séries de données pour vérifier l'existence d'une différence significative entre celles-ci (Scherrer, 1984). Ce test a une puissance égale à approximativement 95% de celle du test t (un test paramétrique) quand les données se distribuent normalement, mais dès que l'on s'écarte des conditions idéales d'application du test t, la puissance du test U devient supérieure (Scherrer, 1984).

4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 Suivi météorologique

Les données sur les précipitations sous forme de pluie et de neige ainsi que la température moyenne journalière de l'hiver 1996-97 sont fournies à l'**annexe E**. De plus, celles des mois de décembre 1996 et janvier 1997 sont représentées sous forme d'histogramme aux **figures 4-1 à 4-6**. On remarque que la première tempête de neige de plus de 10 cm (le 9-10 janvier 1997) a été précédée de plusieurs petites précipitations sous forme de neige et de pluie ainsi que de périodes de gel-dégel. La tempête du 27-28 janvier 1997, qui nous a laissée 21,4 cm de neige, a pour sa part été précédée de précipitations de 16,4 cm de neige et de 8,8 mm de pluie 4 jours plutôt.

4.2 Caractérisation physico-chimique

4.2.1 Échantillons de la Ville de Montréal

Un sommaire des caractéristiques physico-chimiques des neiges usées des rues principales et secondaires de la première et de la deuxième tempête échantillonnée est présenté dans les **tableaux 4-1 et 4-2** respectivement. Les résultats bruts de ces analyses figurent à l'**annexe F**. Le **tableau 4-3** montre les caractéristiques des résultats combinés des deux séries d'échantillons. Et finalement, le **tableau 4-4** fait une synthèse de la moyenne obtenue pour chacun des paramètres : en 1985 (Zinger) et en 1997 pour la première tempête, pour la deuxième tempête et pour les deux séries d'échantillons combinés.

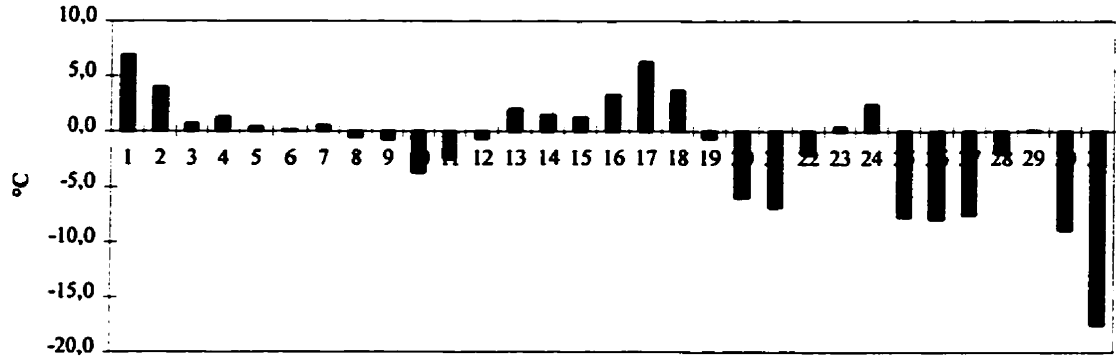


Figure 4-1 Températures moyennes journalières du mois de décembre 1996

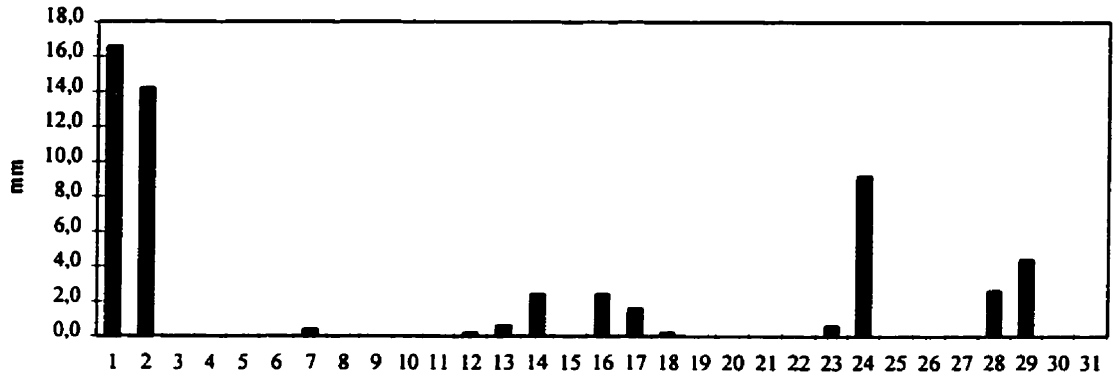


Figure 4-2 Précipitations journalières sous forme de pluie du mois de décembre 1996

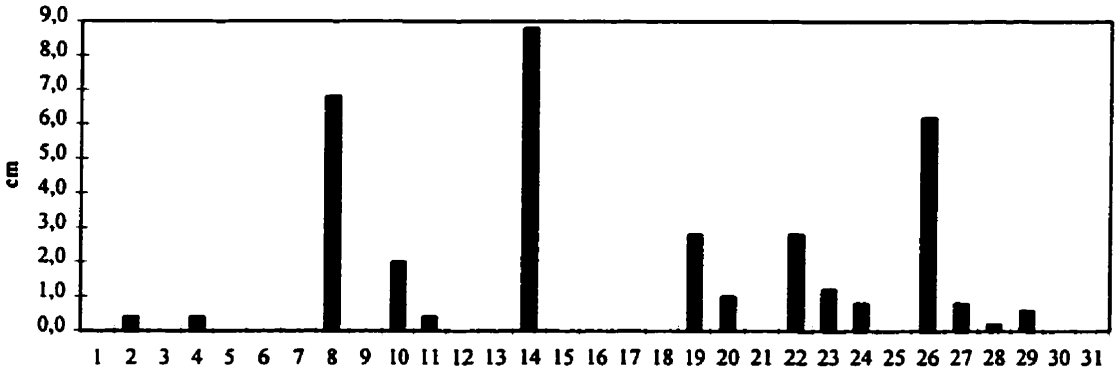


Figure 4-3 Précipitations journalières sous forme de neige du mois de décembre 1996

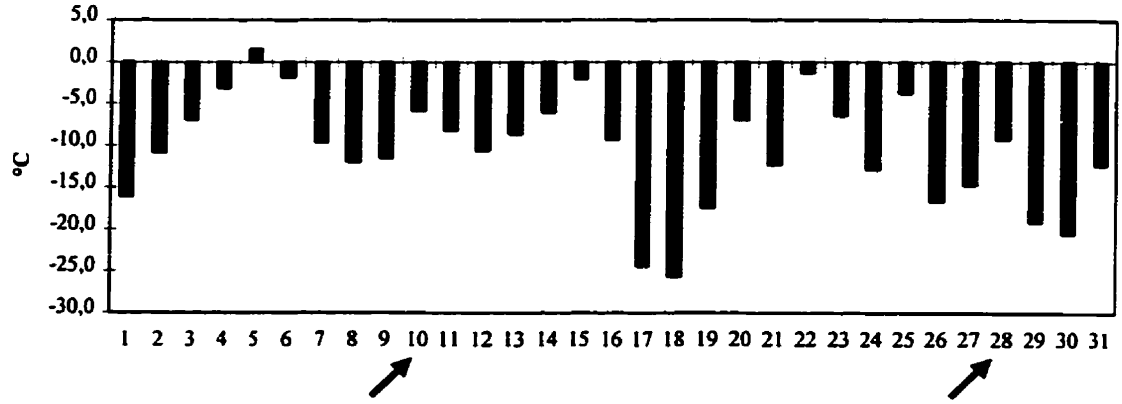


Figure 4-4 Températures moyennes journalières du mois de janvier 1997

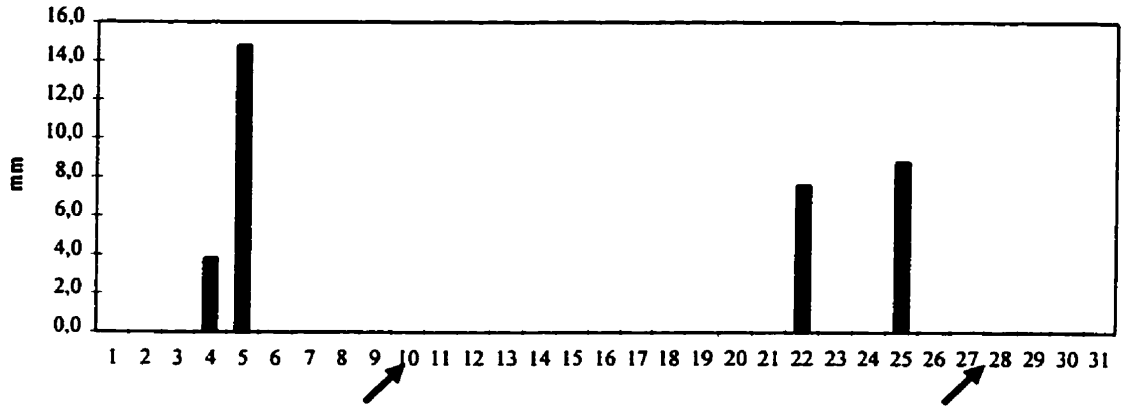


Figure 4-5 Précipitations journalières sous forme de pluie du mois de janvier 1997

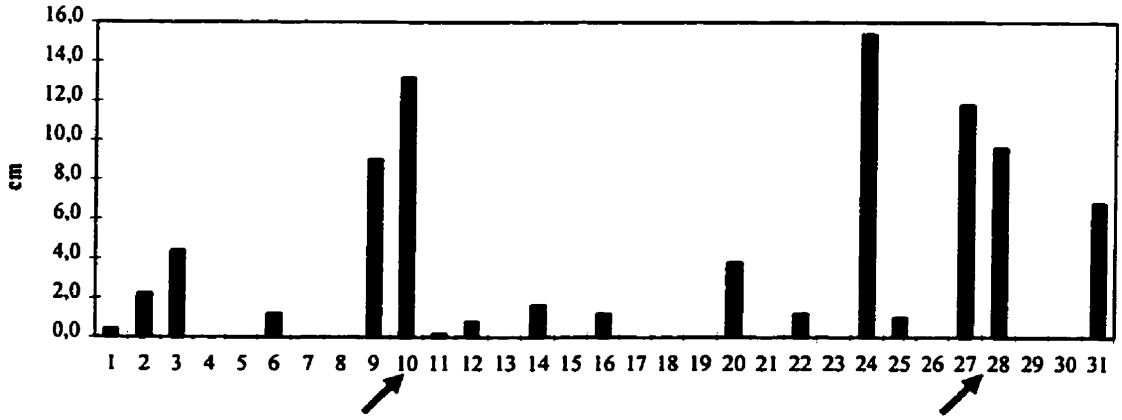


Figure 4-6 Précipitations journalières sous forme de neige du mois de janvier 1997

Tableau 4-1 Sommaire caractéristique des paramètres physico-chimiques analysés dans les neiges usées de la Ville de Montréal de la *première tempête échantillonnée* (tempête du 9-10 janvier 1997)

	Paramètres	U	N	Moyenne	Minimum	Maximum	Écart-type
1	Azote ammoniacal	mg/l	12	0,73	0,42	1,26	0,22
2	Cadmium (Cd)	mg/l	12	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3	Calcium (Ca)	mg/l	12	325	205	490	96
4	Chlorures	mg/l	12	7716	3025	18230	4612
5	Chrome (Cr)	mg/l	12	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
6	Conductivité	mS/m	12	2395	1067	5440	1381
7	Cuivre (Cu)	mg/l	12	0,36	0,28	0,52	0,08
8	DBO	mg/l	12	31,6	17,0	76,5	18,2
9	DCO	mg/l	12	321	63	1041	300
10	Dureté totale	mg/l	12	367	220	610	130
11	Fer (Fe)	mg/l	12	19,3	10,8	31,0	6,7
12	MES	mg/l	12	931	336	1804	452
13	Magnésium (Mg)	mg/l	12	24,5	13,0	34,0	6,9
14	Manganèse (Mn)	mg/l	12	0,63	0,41	1,07	0,23
15	Matières totales	mg/l	12	12985	5478	30667	7826
16	Nitrates	mg/l	12	0,78	0,37	1,34	0,35
17	pH	-	12	8,44	8,06	8,91	0,25
18	Phosphore inorg.	mg/l	12	4,12	0,66	20,33	5,43
19	Plomb (Pb)	mg/l	12	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
20	Potassium (K)	mg/l	12	7,0	4,5	16,0	3,2
21	Sodium (Na)	mg/l	12	5127	2050	12600	3256
22	Sulfates	mg/l	12	158	87	242	61
23	Turbidité	UTN	12	232	110	480	137
24	Zinc (Zn)	mg/l	12	0,68	0,46	1,10	0,19

Légende. - U : unités. N : nombre d'échantillons.

Tableau 4-2 Sommaire caractéristique des paramètres physico-chimiques analysés dans les neiges usées de la Ville de Montréal de la *deuxième tempête échantillonnée* (tempête du 27-28 janvier 1997)

	Paramètres	U	N	Moyenne	Minimum	Maximum	Écart-type
1	Azote ammoniacal	mg/l	12	0,49	0,20	0,90	0,17
2	Cadmium (Cd)	mg/l	8	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3	Calcium (Ca)	mg/l	8	185	136	250	36
4	Chlorures	mg/l	12	3663	1366	8109	1800
5	Chrome (Cr)	mg/l	8	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
6	Conductivité	mS/m	12	1080	436	2220	475
7	Cuivre (Cu)	mg/l	8	0,57	0,40	0,82	0,13
8	Cyanures	mg/l	12	0,018	0,008	0,031	0,006
9	DBO	mg/l	12	17,6	8,8	31,0	5,6
10	DCO	mg/l	12	170	82	381	76
11	Dureté totale	mg/l	12	155	100	270	42
12	Fer (Fe)	mg/l	8	13,6	5,5	17,0	3,5
13	Huiles & graisses						
	Minérales	mg/l	12	1,34	0,60	2,20	0,49
	Totales	mg/l	12	1,83	0,90	2,80	0,55
14	MES	mg/l	12	553	150	1140	277
15	Magnésium (Mg)	mg/l	8	15,3	4,6	19,5	4,7
16	Manganèse (Mn)	mg/l	8	0,43	0,15	0,56	0,12
17	Matières totales	mg/l	8	6275	3306	10420	2234
18	Nitrates	mg/l	12	0,94	0,86	1,17	0,09
19	pH	-	12	8,58	8,46	8,85	0,11
20	Phosphore inorg.	mg/l	12	0,71	0,22	1,28	0,32
21	Plomb (Pb)	mg/l	8	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
22	Potassium (K)	mg/l	8	6,0	4,7	7,8	1,0
23	Sodium (Na)	mg/l	8	2413	1240	4150	919
24	Sulfates	mg/l	12	79	32	167	39
25	Turbidité	UTN	12	620	53	1195	554
26	Zinc (Zn)	mg/l	8	0,38	0,30	0,47	0,06

Légende. - U : unités. N : nombre d'échantillons.

Tableau 4-3 Sommaire caractéristique des paramètres physico-chimiques analysés dans les neiges usées de la Ville de Montréal des *deux séries d'échantillons combinées* (tempêtes du 9-10 et du 27-28 janvier 1997)

	Paramètres	U	N	Moyenne	Minimum	Maximum	Écart-type
1	Azote ammoniacal	mg/l	24	0,606	0,199	1,260	0,225
2	Cadmium (Cd)	mg/l	20	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
3	Calcium (Ca)	mg/l	20	269	136	490	104
4	Chlorures	mg/l	24	5689	1366	18230	4001
5	Chrome (Cr)	mg/l	20	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
6	Conductivité	mS/m	24	1737	436	5440	1213
7	Cuivre (Cu)	mg/l	20	0,44	0,28	0,82	0,14
8	Cyanures	mg/l	12	0,018	0,008	0,031	0,006
9	DBO	mg/l	24	24,4	8,8	76,2	13,9
10	DCO	mg/l	24	245	63	1041	227
11	Dureté totale	mg/l	24	261	100	610	143
12	Fer (Fe)	mg/l	20	17,0	5,5	31,0	6,2
13	Huiles & graisses						
	Minérales	mg/l	12	1.34	0,60	2,20	0,49
	Totales	mg/l	12	1,83	0,90	2,80	0,55
14	MES	mg/l	24	742	150	1804	414
15	Magnésium (Mg)	mg/l	20	20,8	4,6	34,0	7,5
16	Manganèse (Mn)	mg/l	20	0,55	0,15	1,07	0,22
17	Matières totales	mg/l	20	10301	3306	30667	6977
18	Nitrates	mg/l	24	0,858	0,370	1,340	0,263
19	pH	-	24	8,51	8,06	8,91	0,20
20	Phosphore inorg.	mg/l	24	2,41	0,22	20,33	4,15
21	Plomb (Pb)	mg/l	20	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
22	Potassium (K)	mg/l	20	6,6	4,5	16,0	2,6
23	Sodium (Na)	mg/l	20	4041	1240	12600	2883
24	Sulfates	mg/l	24	118,5	31,7	241,5	64,2
25	Turbidité	UTN	24	426	53	1195	442
26	Zinc (Zn)	mg/l	20	0,56	0,30	1,10	0.21

Légende. - U : unités. N : nombre d'échantillons.

Tableau 4-4 Concentrations moyennes des paramètres physico-chimiques analysés dans les neiges usées de la Ville de Montréal en 1985 et en 1997

	Paramètres	U	Zinger (1985)	Montréal Les deux tempêtes (1997)	Montréal 1er tempête (1997)	Montréal 2ième tempête (1997)
1	Azote ammoniacal	mg/l	0,4	0,606	0,73	0,49
2	Cadmium (Cd)	mg/l	0,27	<0,01	<0,01	<0,01
3	Calcium (Ca)	mg/l	146,4	269	325	185
4	Chlorures	mg/l	3851,2	5689	7716	3663
5	Chrome (Cr)	mg/l	6,67	<0,05	<0,05	<0,05
6	Conductivité	mS/m	1113	1737	2395	1080
7	Cuivre (Cu)	mg/l	9,36	0,44	0,36	0,57
8	Cyanures	mg/l	0,24	0,018	-	0,018
9	DBO	mg/l	7,5	24,4	31,6	17,6
10	DCO	mg/l	496,6	245	321	170
11	Dureté totale	mg/l	495,8	261	367	155
12	Fer (Fe)	mg/l	912,57	17,0	19,3	13,6
13	Huiles & graisses	mg/l	104,6	1,83	-	1,83
14	MES	mg/l	1209,0	742	931	553
15	Magnésium (Mg)	mg/l	2,6	20,8	24,5	15,3
16	Manganèse (Mn)	mg/l	-	0,55	0,63	0,43
17	Matières totales	mg/l	6948,8	10301	12985	6275
18	Nitrates	mg/l	5,2	0,86	0,78	0,94
19	pH	-	8,5	8,51	8,44	8,58
20	Phosphore inorg.	mg/l	3,6	2,41	4,12	0,71
21	Plomb (Pb)	mg/l	84,84	<0,05	<0,05	<0,05
22	Potassium (K)	mg/l	10,6	6,6	7,0	6,0
23	Sodium (Na)	mg/l	4049,6	4041	5127	2413
24	Sulfates	mg/l	129,8	118,5	158	79
25	Turbidité	UTN	29,8	426	232	620
26	Zinc (Zn)	mg/l	42,77	0,56	0,68	0,38

Légende. - U : unités. N : nombre d'échantillons.

4.2.1.1 Comparaison des échantillons de neige de 1985 et 1997

Les **figures 4-7 à 4-12** illustrent les moyennes des paramètres physico-chimiques analysés dans les neiges usées en 1985 et en 1997. La présence d'un astérisque devant le nom du paramètre indique une différence statistiquement significative au seuil 0,05. Il y a une diminution significative de la concentration moyenne pour 13 des 25 paramètres analysés, soit : zinc, potassium, cuivre, chrome, nitrates, phosphore inorganique, demande chimique en oxygène, fer, cyanures, cadmium, sulfates, huiles et graisses et plomb. D'autre part, une augmentation significative de la concentration moyenne est observée pour la demande biochimique en oxygène, le magnésium, la turbidité, l'azote ammoniacal et le calcium, soit pour 5 des 25 paramètres. Quant aux 7 autres paramètres (pH, conductivité, matières totales, chlorures, sodium, MES et dureté totale), il n'existe aucune différence significative entre les moyennes de 1997 et de 1985.

Les concentrations de **plomb, fer, cuivre, zinc, chrome, cadmium** et **huiles & graisses** mesurées dans le cadre de ce travail et des études précédentes s'avèrent nettement inférieures aux concentrations présentées par Zinger (1985). Diverses hypothèses pourraient expliquer cette situation. Premièrement, les différences au niveau de la méthodologie d'échantillonnage et d'analyse : dans le cas de Zinger (1985), le fait de récolter la neige directement dans les camions, donc après son passage dans la souffleuse, pourrait expliquer une contamination accrue de celle-ci en certains **métaux**, en **huiles et graisses** et en **matières solides** pouvant elles-mêmes contenir des contaminants ; les résultats des analyses de métaux présentés par Zinger (1985) proviennent de la somme des concentrations retrouvées dans la forme soluble (particules de diamètre inférieur à 0,45 µm) et dans la forme insoluble (particules de diamètre compris entre 0,45 µm et 180 µm). Deuxièmement, la méthode d'analyse par gravimétrie des **huiles et graisses** utilisée en 1985, aujourd'hui remplacée par une méthode à l'infrarouge, pour laquelle il y a moins d' interférences. Troisièmement, il

faut souligner la diminution considérable des concentrations atmosphériques de **plomb**, particulièrement en milieu urbain, principalement grâce à la réduction de l'utilisation du tétraéthyle de plomb dans l'essence, puis de son retrait du marché en 1990 (**annexe G**) (MEF, 1997). Et finalement, étant donné l'écart important (facteur de 100) entre les teneurs en **métaux**, en **huiles et graisses** et la **turbidité** mesurées par Zinger (1985) et celles mesurées lors d'études subséquentes, l'hypothèse d'une erreur de conversion ou de transcription des résultats des analyses doit être considérée.

Les **sulfates** (SO_4^{2-}) et les **nitrates** (NO_3^-) sont des contaminants secondaires formés à la suite de divers mécanismes de transformation des oxydes de soufre (SO_x) (principalement de dioxyde de soufre -SO_2) et des oxydes d'azote (NO_x). La diminution de la concentration en sulfates et en nitrates dans les neiges usées peut être attribuable à la réduction des émissions d'oxydes de soufre et d'oxydes d'azote observée au cours des dernières années. Le Québec a réduit de plus de 55% ses émissions de SO_2 de 1980 à 1990 (MEF, 1994). Une autre publication du (MEF, 1997) fait état d'une baisse d'environ 69% des émissions de SO_2 et d'environ 17% des émissions de NO_x (sur la base du NO_2) entre 1975 et 1994 (**annexe G**).

Les principales sources de **cyanures** retrouvés dans les neiges usées sont les ferrocyanures de sodium, aussi connu sous le nom de *Yellow Pressiate of Sodium* (YPS, ou PJS en français), utilisés comme agent anti-agglutinant dans les sels de déglaçage en concentration pouvant aller jusqu'à 150 mg/g (**annexe H**). La diminution des concentrations de cyanures pourrait provenir d'une réduction de l'utilisation de ces agents dans les fondants.

La diminution significative de la concentration en **phosphore inorganique** et l'augmentation significative de la concentration en **azote ammoniacal** mesurées dans les échantillons de neiges usées de 1997 par rapport à ceux de 1985, pourraient être reliées

aux quantités de phosphore et d'azote contenus dans les engrais minéraux. Une étude de Painchaud (1996) fait état d'une réduction de la quantité de phosphore et d'une hausse de la quantité d'azote contenus dans les engrais minéraux vendus au Québec. Cette réduction de l'utilisation du phosphore fait suite à l'adoption d'un critère de 0,03 mg P/l du MENVIQ afin de prévenir l'eutrophisation des lacs et des cours d'eau à faible courant (Gangbazo et al., 1996).

Malgré des modifications successives de la politique d'épandage des fondants et des abrasifs à la Ville de Montréal, dans le but de réduire l'utilisation des sels de déglaçage (Ville de Montréal, 1996), il n'y a aucune différence significative entre les concentrations de **chlorures** et de **sodium** mesurées dans les neiges usées de 1985 et de 1997. Cette situation peut s'expliquer par le fait que les endroits, les fréquences et le choix des matériaux d'épandage varient selon le type d'événements météorologiques (verglas, précipitation inférieure à 1,0 cm, précipitation de 1,1 cm et plus) ainsi que selon la température (**annexe D**). Donc, pour être en mesure d'apprécier les changements en terme de diminution de la quantité de chlorure de sodium utilisé à la Ville de Montréal, il faudrait appliquer les différentes politiques d'épandage aux mêmes conditions météorologiques. Un bref historique des différentes politiques d'épandage de la Ville de Montréal est présenté à l'**annexe C**.

Le chlorure de sodium contient des impuretés tels que du chlorure de magnésium, du carbonate de calcium, et des sulfates de magnésium, de calcium et de potassium (Hautala et al., 1995). L'augmentation significative de la concentration moyenne de **calcium** et de **magnésium** et la diminution de celle de **potassium** et de **sulfates** pourraient provenir en parti de l'origine du sel de déglaçage.

Sachant que les ions Cl^- influencent directement la **conductivité** et la concentration en **matières totales**, l'absence de différence significative au niveau des concentrations

moyennes de chlorures peut expliquer celle retrouvée au niveau de ces deux paramètres. Les résultats d'analyses de corrélation montrent d'ailleurs des coefficients de corrélation supérieurs à 90% entre ces trois paramètres (**annexe I**).

Les concentrations élevées de **DCO** dans les neiges usées peuvent être en partie attribuable à la présence, en forte concentration, de chlorures. Les réactifs de la méthode utilisée pour mesurer la DCO contiennent du sulfate mercurique ($HgSO_4$), ajouté pour neutraliser jusqu'à 2 000 mg/l de chlorures. Lorsque les chlorures sont présents en forte concentration, comme c'est le cas dans les échantillons de neige (en moyenne 5 689 mg/l), ils consomment du dichromate de potassium, qui sert à oxyder la matière organique, et donc influencent à la hausse les résultats de DCO.

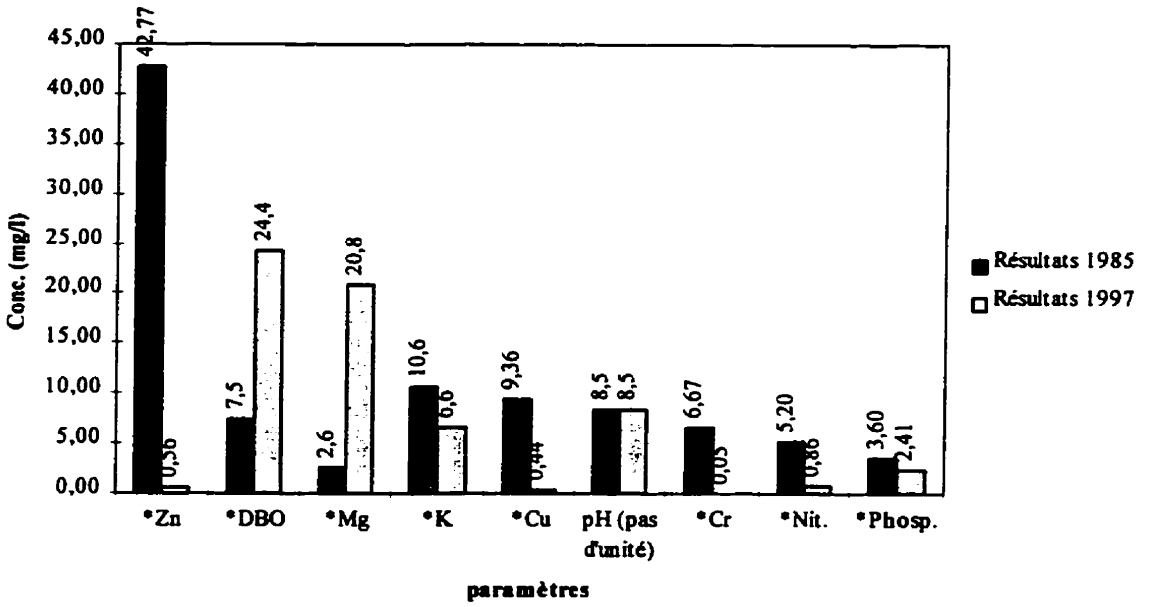


Figure 4-7 Comparaison des valeurs moyennes de *pH* et des concentrations moyennes de *Zn*, de *DBO*, de *Mg*, de *K*, de *Cu*, de *Cr*, de *nitrates* et de *phosphore inorganique* mesurées dans les neiges usées en 1985 et en 1997

*: différence statistiquement significative (au seuil 0,05).

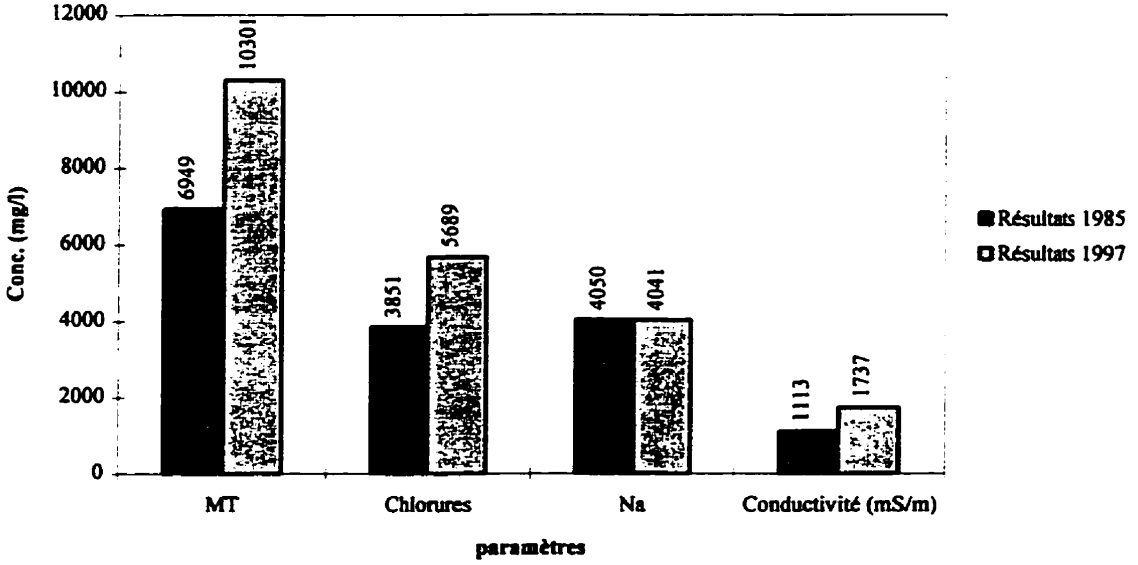


Figure 4-8 Comparaison des valeurs moyennes de *conductivité* et des concentrations moyennes de *matières totales*, de *chlorures* et de *sodium* mesurées dans les neiges usées en 1985 et en 1997

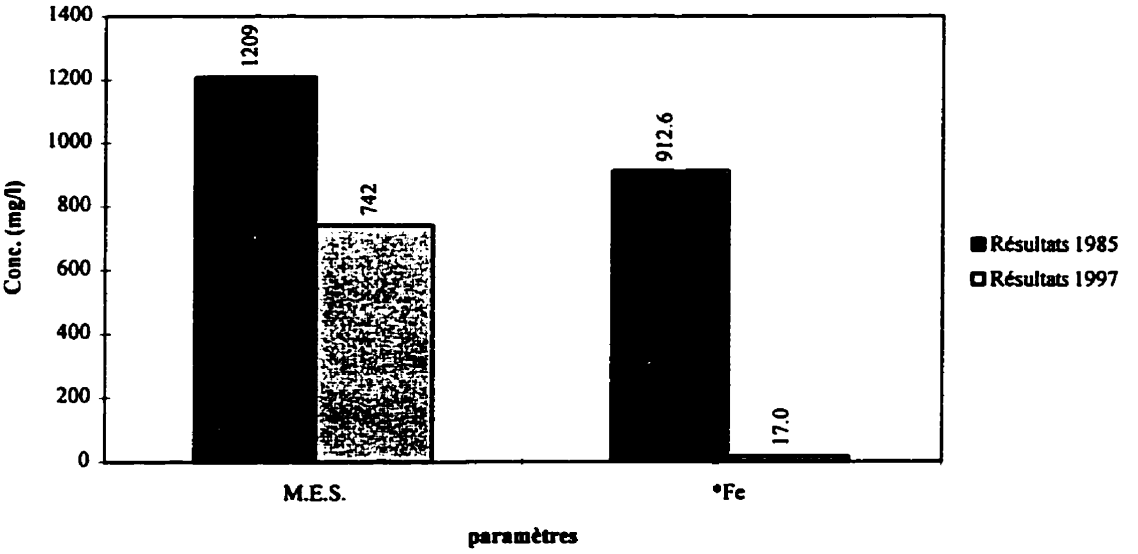


Figure 4-9 Comparaison des concentrations moyennes de *MES* et de *Fe* mesurées dans les neiges usées en 1985 et en 1997

* : différence statistiquement significative (au seuil 0,05).

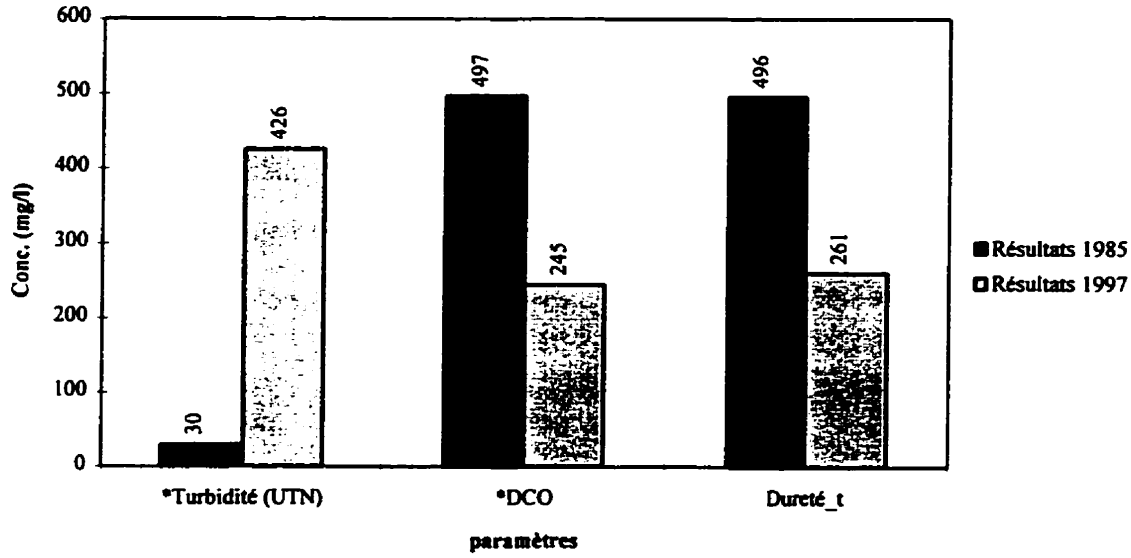


Figure 4-10 Comparaison des valeurs moyennes de *turbidité* et des concentrations moyennes de *DCO* et de *dureté totale* mesurées dans les neiges usées en 1985 et en 1997

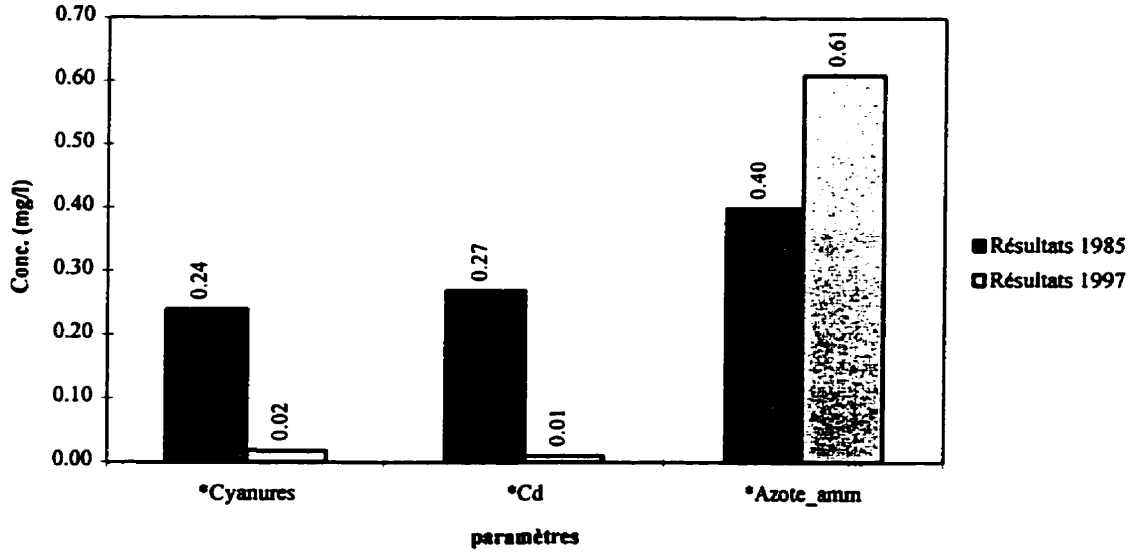


Figure 4-11 Comparaison des concentrations moyennes de *cyanures*, de *Cd* et d'*azote ammoniacal* mesurées dans les neiges usées en 1985 et en 1997

• : différence statistiquement significative (au seuil 0,05).

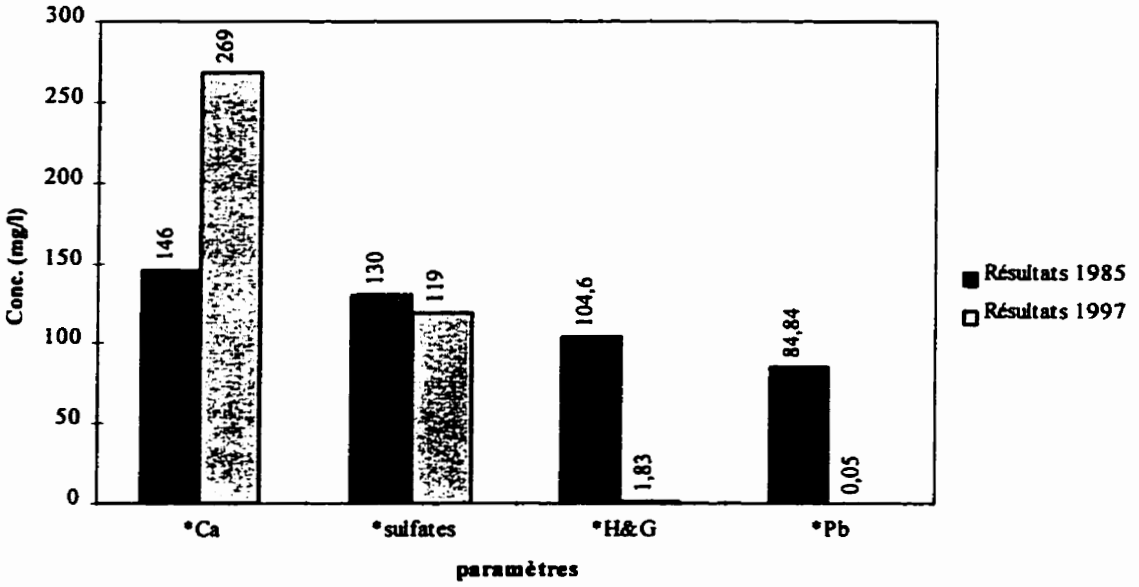


Figure 4-12 Comparaison des concentrations moyennes de *Ca*, de *sulfates*, d'*huiles et graisses* et de *Pb* mesurées dans les neiges usées en 1985 et en 1997

*: différence statistiquement significative (au seuil 0,05).

4.2.1.2 Comparaison des échantillons de neige provenant de rues principales et secondaires

Une comparaison des moyennes des paramètres physico-chimiques analysés dans les neiges usées des rues principales et secondaires, en 1997 (**figures 4-13 à 4-16**), indique une concentration statistiquement plus faible dans les neiges des rues secondaires pour les nitrates, les cyanures, les MES, la turbidité, la demande chimique en oxygène, le pH et le phosphore inorganique. Même si les différences ne sont pas significatives pour 16 des 23 paramètres étudiés, dans tous les cas la concentration est plus élevée dans les

neiges provenant des rues principales, sauf pour ce qui est de la DBO et des huiles et graisses. La présence d'une différence statistiquement significative (au seuil 0,05) est signalée par un astérisque devant le nom du paramètre. Lorsqu'elles existent, les normes de rejets dans un réseau d'égout pluvial de la communauté urbaine de Montréal (CUM ; Règlement 87, Article 11) sont indiquées.

La concentration en **matières en suspension** dans les neiges usées constitue un indicateur important de sa qualité physico-chimique. Selon plusieurs études, ce sont aux particules en suspensions que s'adsorbent plusieurs contaminants dont les métaux lourds. Les matières en suspension proviennent de sources diverses, telles que : les poussières et autres saletés, les abrasifs, l'usure des pneus et des chaussées, la corrosion de différents matériaux métalliques et du béton, etc. (MENVIQ, 1991). Ces sources sont généralement moins importantes dans les rues secondaires que dans les rues principales, ce qui pourrait expliquer la concentration en matières en suspension significativement plus faible dans les échantillons de neige des rues secondaires. La différence de concentrations moyennes en MES peut être, en partie, responsable de la différence significative de **turbidité** mesurée dans les deux catégories d'échantillons.

La concentration en **nitrates** plus élevé dans les rues principales peut être directement reliée à la circulation automobile. Comme nous l'avons vu précédemment, les nitrates sont formés à partir des oxydes d'azote atmosphériques dont environ 80% des émissions proviennent des activités de transport, notamment des véhicules à essence (**annexe J**) (MEF, 1997). Cette relation entre les nitrates trouvés dans les neiges usées et les émissions de NO_x des véhicules automobiles a aussi été établi par Hautala et al. (1995).

Les neiges des rues secondaires présentent des concentrations en **cyanures** significativement plus faibles. Leur principale source étant leur utilisation comme agents anti-agglutinant dans les sels de déglaçage, cette situation peut être attribuable aux

différences entre les politiques d'épandage sur les chaussées principales et secondaires **(annexe D)**.

L'absence de différence significative, entre les concentrations mesurées dans les neiges usées des rues principales et secondaires pour la majorité des paramètres étudiés, peut s'expliquer par la situation particulière qui prévaut à Montréal. L'utilisation du territoire étant beaucoup plus importante dans les grandes villes comme Montréal, les impacts causés par les activités humaines (circulation automobile, épandage de fondants et d'abrasifs, etc.) se font davantage sentir dans la contamination de la neige. Cette constatation a d'ailleurs déjà été faite par Delisle et al. (1993) lors d'une étude sur la caractérisation des neiges en fonction de la densité résidentielle.

Les concentrations moyennes des paramètres mesurées dans les neiges usées des rues secondaires sont toutes, à l'exception des **matières en suspension** et des **chlorures**, inférieures aux normes de rejets dans un réseau d'égout pluvial de la CUM. Les concentrations moyennes mesurées dans les rues principales sont elles aussi inférieures aux normes de rejets dans un réseau d'égout pluvial de la CUM, sauf dans le cas des **matières en suspension**, des **chlorures** et du **fer**.

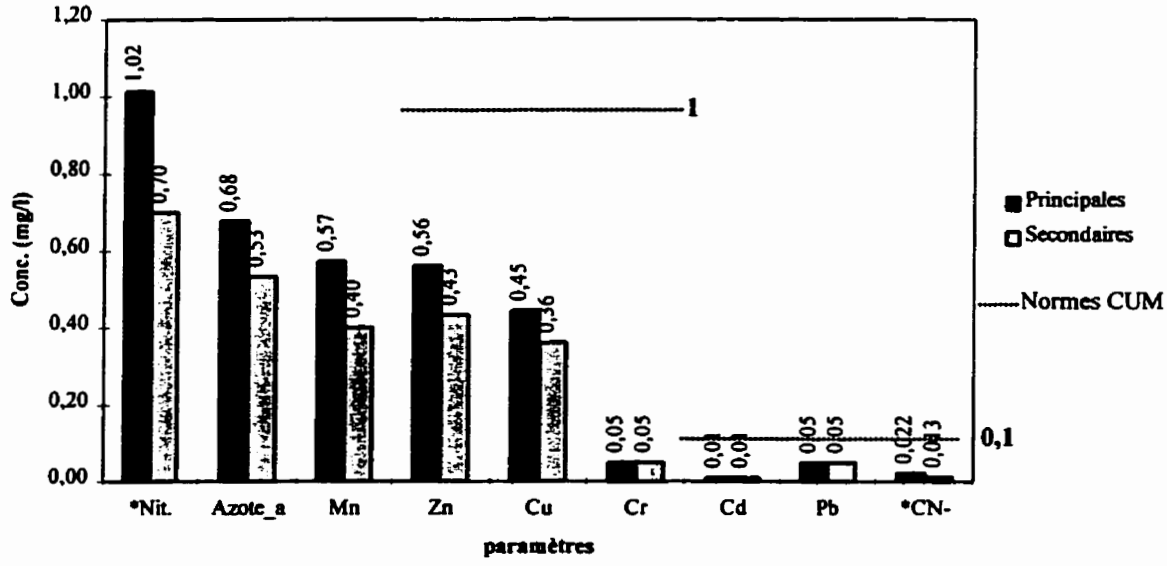


Figure 4-13 Comparaison des concentrations moyennes de *nitrates*, d'*azote ammoniacal*, de *Mn*, de *Zn*, de *Cu*, de *Cd*, de *Pb*, de *Cr*, et de *cyanures* mesurées dans les neiges usées des rues principales et secondaires en 1997

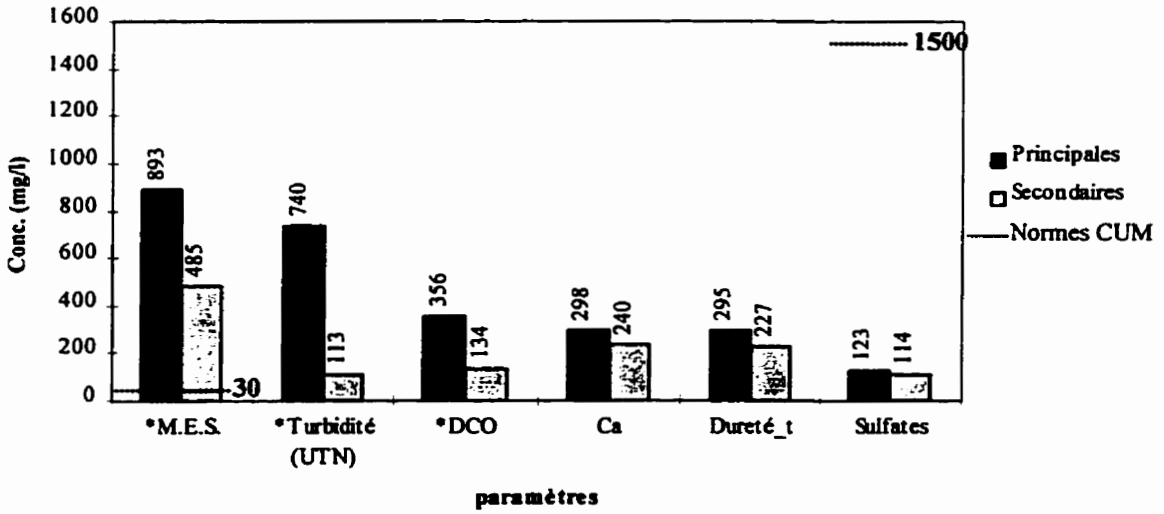


Figure 4-14 Comparaison des valeurs moyennes de *turbidité* et des concentrations moyennes de *MES*, de *DCO*, de *Ca*, de *dureté totale* et de *sulfates* mesurées dans les neiges usées des rues principales et secondaires en 1997

* : différence statistiquement significative (au seuil 0,05).

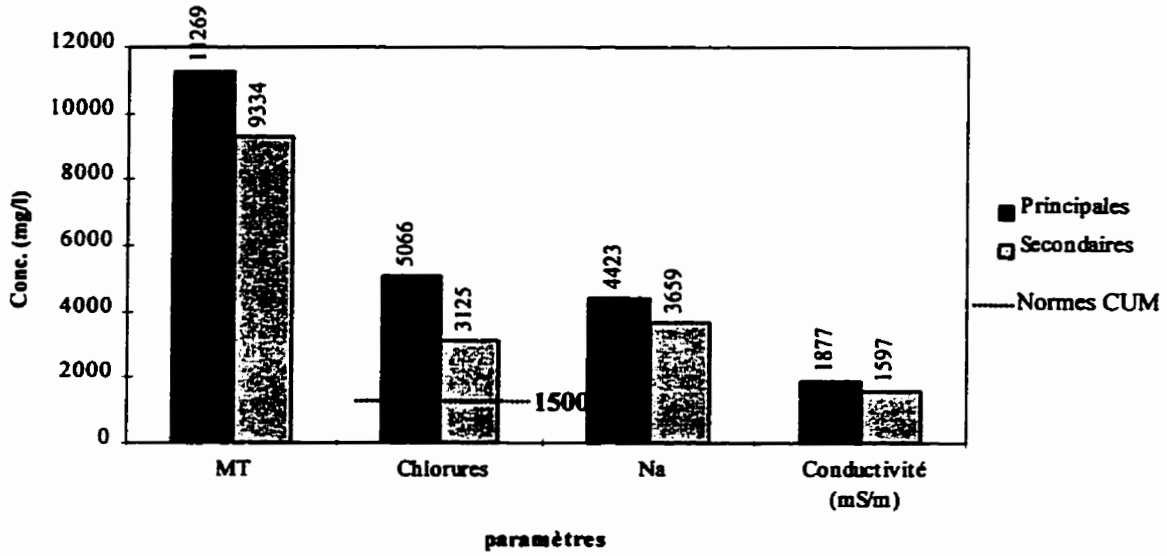


Figure 4-15 Comparaison des valeurs moyennes de *conductivité* et des concentrations moyennes de *matières totales*, de *chlorures* et de *Na* mesurées dans les neiges usées des rues principales et secondaires en 1997

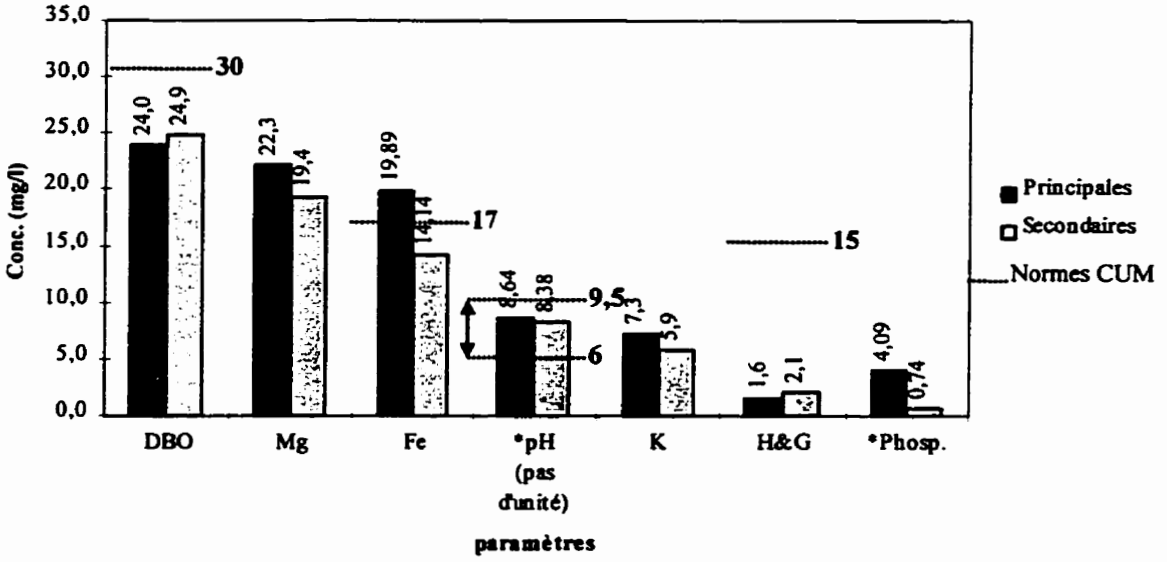


Figure 4-16 Comparaison des valeurs moyennes de *pH* et des concentrations moyennes de *DBO*, de *Mg*, de *Fe*, de *K*, d'*huiles et graisses* et de *phosphore inorganique* mesurées dans les neiges usées des rues principales et secondaires en 1997

•: différence statistiquement significative (au seuil 0,05).

4.2.1.3 Comparaison des échantillons de neige provenant de la première et de la deuxième tempête échantillonnées

La comparaison des moyennes des paramètres physico-chimiques des neiges usées de la première série d'échantillons et de la deuxième (**figure 4-17 à 4-20**) indique une concentration moyenne significativement plus faible dans les neiges usées de la deuxième série d'échantillons pour : l'azote ammoniacal, le zinc, le manganèse, la DBO, le magnésium, le fer, le phosphore inorganique, la conductivité, les matières totales, les chlorures, le sodium, les MES, la dureté totale, le calcium et les sulfates (15/21). La concentration moyenne est significativement plus élevée dans les neiges de la seconde tempête échantillonnée dans le cas du cuivre et du pH. Les différences statistiquement significatives (au seuil 0,05) sont indiquées par la présence d'un astérisque devant le nom du paramètre.

Diverses hypothèses peuvent expliquer une concentration plus élevée dans les neiges usées de la première série d'échantillons pour la majorité (15/21) des paramètres analysés. Premièrement, le fait qu'il s'agissait du premier chargement de neige de l'hiver 1996-1997. Cette neige était chargée de contaminants accumulés sur le sol et dans la neige des précipitations précédentes. Deuxièmement, l'épandage de fondants et d'abrasifs suite au verglas causé par la pluie suivie d'un refroidissement des températures quelques jours avant la tempête (**figure 4-4 à 4-6**). Troisièmement, la précipitation de 16,4 cm de neige le 24-25 janvier 1997 (**annexe E**), qui a eu pour effet de diluer davantage les contaminants présents dans les neiges de la deuxième série d'échantillons.

Cette situation révèle, tout comme dans le cas de l'étude de Delisle et al. (1993), que chaque chargement de neige est un événement en soi qui possède ses propres caractéristiques. Les pratiques d'épandage, le nombre d'événements climatiques aux

températures avoisinant 0 degré Celsius, le nombre d'événements pluviaux ainsi que le nombre de petites précipitations antérieures à un chargement de neige, le nombre de jours entre deux chargements, etc. sont autant de facteurs susceptibles d'influencer la concentration de contaminants de tout genre. Il devient alors très difficile de prédire la contamination de chacune des précipitations, et c'est pourquoi il est préférable de travailler à partir d'une moyenne des résultats obtenus pour chacune des tempêtes échantillonnées.

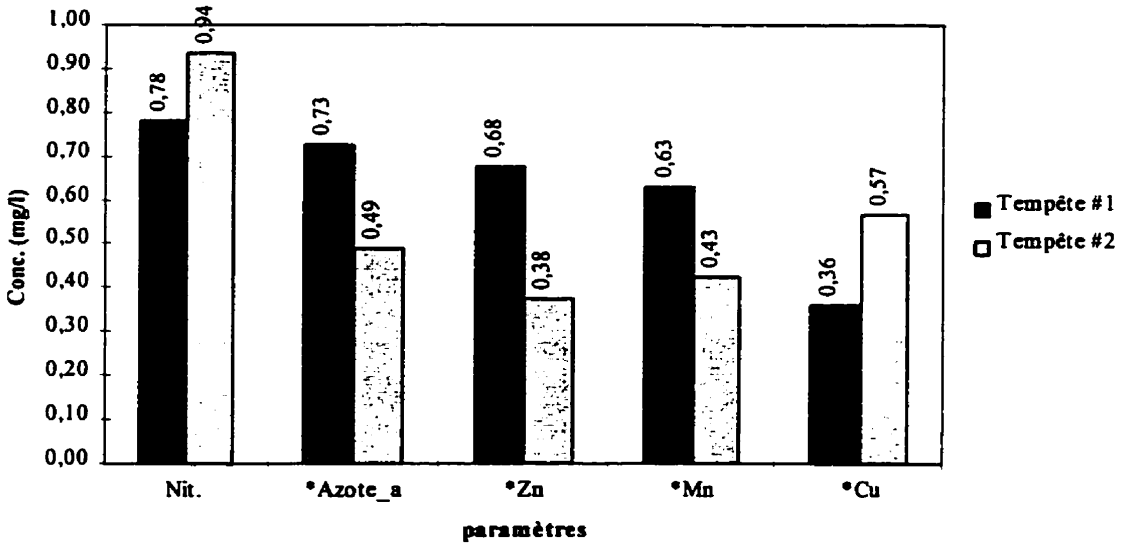


Figure 4-17 Comparaison des concentrations moyennes de *nitrates*, d'*azote ammoniacal*, de *Zn*, de *Mn* et de *Cu* mesurées dans les neiges usées de la première et de la deuxième tempête échantillonnée en 1997

* : différence statistiquement significative (au seuil 0,05).

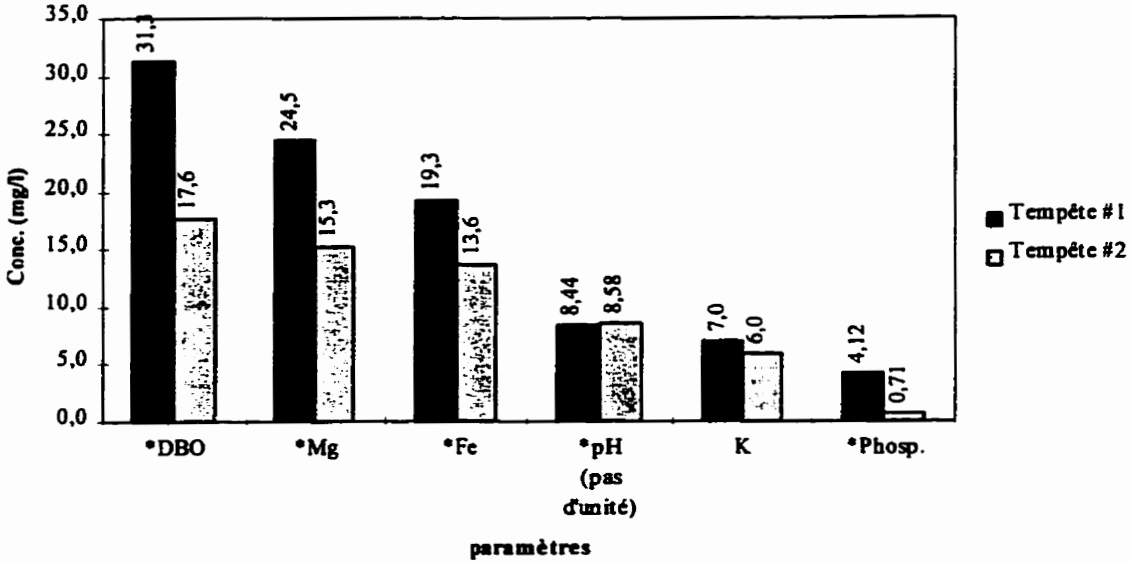


Figure 4-18 Comparaison des valeurs moyennes de *pH* et des concentrations moyennes de *DBO*, de *Mg*, de *Fe*, de *K* et de *phosphore inorganique* mesurées dans les neiges usées de la première et de la deuxième tempête échantillonnée en 1997

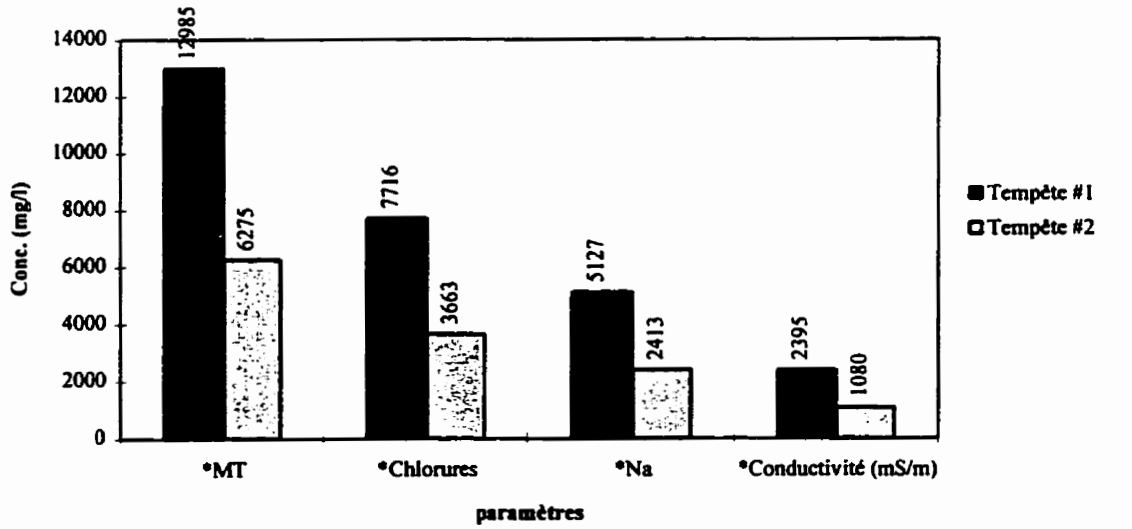


Figure 4-19 Comparaison des valeurs moyennes de *conductivité* et des concentrations moyennes de *matières totales*, de *chlorures*, et de *Na* mesurées dans les neiges usées de la première et de la deuxième tempête échantillonnée en 1997

* : différence statistiquement significative (au seuil 0,05).

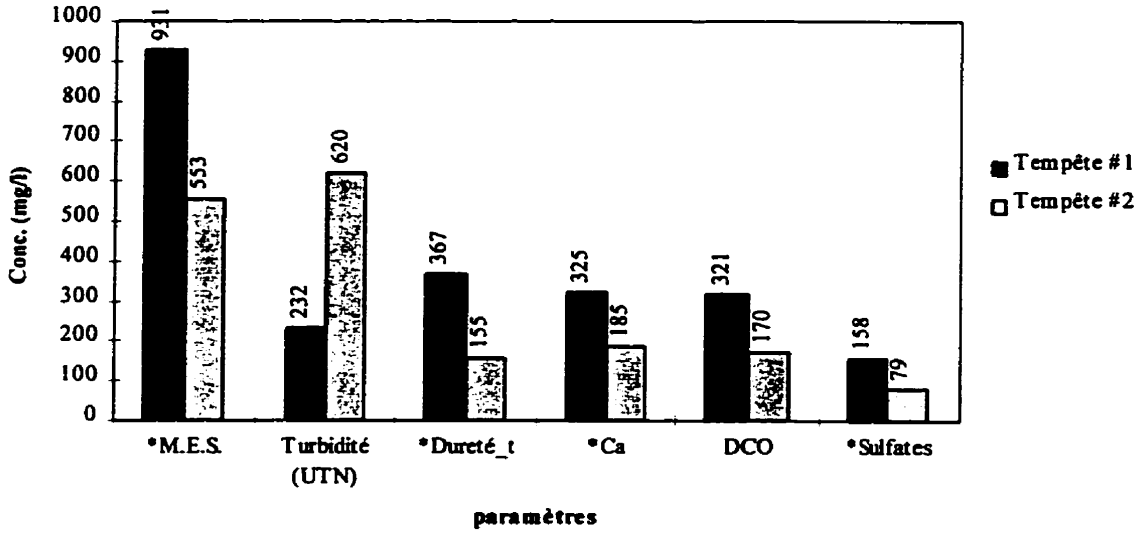


Figure 4-20 Comparaison des valeurs moyennes de *turbidité* et des concentrations moyennes de *MES*, de *dureté totale*, de *Ca*, de *DCO* et de *sulfates* mesurées dans les neiges usées de la première et de la deuxième tempête échantillonnée en 1997

*: différence statistiquement significative (au seuil 0,05).

4.2.2 Échantillons de l'UMQ

Les **tableaux 4-5 à 4-7** présentent les résultats des paramètres physico-chimiques analysés sur les échantillons de neige des rues principales et secondaires des municipalités à l'étude ainsi que ceux des deux échantillons d'eaux de fonte et de celui d'eaux de ruissellement.

Tableau 4-5 Résultats des analyses physico-chimiques des échantillons d'eaux de fonte et de ruissellement

Paramètres	Unités	Eaux de fonte		Eaux de ruissellement
		Royal Mount	Dagenais	Île des Soeurs
Cadmium (Cd)	mg/l	0,031	0,025	0,025
Calcium (Ca)	mg/l	330	21	35
Chlorures	mg/l	284	257	25
Chrome (Cr)	mg/l	0,114	<0,01	<0,01
Cuivre (Cu)	mg/l	0,435	0,105	0,042
Fer (Fe)	mg/l	58,0	0,6	2,6
MES	mg/l	1 700	2	111
Magnésium (Mg)	mg/l	21,0	2,9	9,3
Manganèse (Mn)	mg/l	1,12	0,17	0,20
Plomb (Pb)	mg/l	0,50	<0,01	<0,01
Potassium (K)	mg/l	8,60	2,68	1,90
Sodium (Na)	mg/l	183	167	17
Zinc (Zn)	mg/l	1,27	0,03	0,08
Toximesure	UTA/uvb	26,9	0	0,6

Tableau 4-6 Résultats des analyses physico-chimiques des échantillons de neige provenant des rues secondaires des sept municipalités de l'UMQ en 1997

		Rues secondaires							
Paramètres	**Unités**	**Lévis**	**3-Riv.**	**LaSalle**	**Verdun**	**Westm.**	**Mtl.**	**Repent.**	**Moy.**
Azote amm.	mg/l	-	0,440	0,229	0,300	0,108	0,402	0,190	0,278
Cadmium (Cd)	mg/l	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Calcium (Ca)	mg/l	27	-	71	102	268	136	76	113
Chlorures	mg/l	415	562	767	359	4 673	2 792	204	1 396
Chrome (Cr)	mg/l	<0,05	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Conductivité	mS/m	176	208	251	131	1 275	842	69	422
Cuivre (Cu)	mg/l	-	-	0,83	0,62	0,63	0,82	0,52	0,68
Cyanures	mg/l	-	0,0299	0,0065	0,0056	0,0151	0,0119	0,0035	0,0121
DBO	mg/l	-	-	1,4	13,4	4,6	13,5	17,4	10,1
DCO	mg/l	-	30	61	89	390	102	76	125
Dureté totale	mg/l	-	46	50	50	230	130	40	91
Fer (Fe)	mg/l	0,01	-	3,5	7,5	10,0	5,5	3,3	5,0
H & G totales	mg/l	6,6	17,9	14,0	9,3	12,6	1,9	8,6	10,1
MES	mg/l	324	278	125	162	335	225	76	218
Magnésium (Mg)	mg/l	-	-	4,0	5,5	12,2	4,6	3,1	5,9
Manganèse (Mn)	mg/l	0,005	-	0,15	0,32	0,45	0,15	0,19	0,21
Matières totales	mg/l	-	1 140	1 520	940	8 320	5 440	540	2 983
Nitrates	mg/l	-	0,477	0,721	0,624	0,942	0,909	0,607	0,713
pH	-	7,60	7,91	8,47	8,29	8,26	8,54	8,28	8,19
Phosp. inorg.	mg/l	-	0,21	0,18	0,22	0,22	0,38	0,16	0,23
Plomb (Pb)	mg/l	<0,05	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Potassium (K)	mg/l	1,4	-	2,5	3,5	5,8	5,5	4,2	3,8
Sodium (Na)	mg/l	275	-	540	260	3 190	2 080	145	1 082
Sulfates	mg/l	34	20	35	54	297	57	20	74
Turbidité	UTN	-	14	35	35	58	63	27	39
Zinc (Zn)	mg/l	-	-	0,26	0,44	0,32	0,35	0,12	0,30
BEEP	-	2,5	2,2	1,8	0	2,7	4,0	0	1,9
Toximesure	UTA/uvb	2,3	0,8	0,1	0	4,6	10,4	0	2,6

Tableau 4-7 Résultats des analyses physico-chimiques des échantillons de neige provenant des rues principales des sept municipalités de l'UMQ en 1997

		Rues principales							
Paramètres	**Unités**	**Lévis**	**3-Rivi.**	**LaSalle**	**Verdun**	**Westm.**	**Mtl.**	**Repent.**	**Moy.**
Azote amm.	mg/l	1,310	-	0,420	0,407	0,576	0,510	0,491	0,619
Cadmium (Cd)	mg/l	-	-	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Calcium (Ca)	mg/l	-	66	188	115	312	218	260	193
Chlorures	mg/l	6 979	1 740	2 520	1 300	7 469	5 796	10 061	5 124
Chrome (Cr)	mg/l	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Conductivité	mS/m	2 317	732	755	407	2 400	1 640	2 750	1 572
Cuivre (Cu)	mg/l	-	-	1,25	0,47	0,59	0,55	0,53	0,68
Cyanures	mg/l	0,0702	-	0,0151	0,0073	0,0239	0,0221	0,0273	0,0276
DBO	mg/l	-	-	2,8	4,4	6,8	22,7	20,2	11,4
DCO	mg/l	272	-	120	95	385	231	435	256
Dureté totale	mg/l	320	-	100	90	310	193	210	204
Fer (Fe)	mg/l	-	0,06	9,0	7,2	14,2	16,5	20,5	11,2
H & G totales	mg/l	83,7	6,1	13,1	18,2	25,1	1,2	29,0	25,2
MES	mg/l	2 100	1 341	484	217	371	725	483	817
Magnésium (Mg)	mg/l	-	-	11,6	9,9	18,0	16,5	15,2	14,2
Manganèse (Mn)	mg/l	-	0,14	0,36	0,36	0,39	0,42	0,53	0,37
Matières totales	mg/l	15 340	-	4 878	2 592	13 673	10 420	18 460	10 894
Nitrates	mg/l	1,021	-	0,942	0,846	0,937	1,041	0,905	0,949
pH	-	8,19	7,65	8,62	8,52	8,24	8,58	8,32	8,30
Phosp. Inorg.	mg/l	1,19	-	0,58	0,20	0,26	0,81	0,78	0,64
Plomb (Pb)	mg/l	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Potassium (K)	mg/l	-	2,0	3,6	3,4	7,3	7,8	9,7	5,6
Sodium (Na)	mg/l	-	1 020	1 720	358	5 550	4 150	7 500	3 383
Sulfates	mg/l	93	133	56	54	431	123	182	153
Turbidité	UTN	87	-	130	48	90	1 135	125	269
Zinc (Zn)	mg/l	-	-	0,57	0,32	0,35	0,42	0,62	0,46
BEEP	-	3,6	3,1	4,0	1,6	2,2	3,8	2,8	3,0
Toximesure	UTA/uvb	65,8	10,7	43,3	2,3	7,0	23,9	11,8	23,5

4.2.2.1 Comparaison des échantillons de neige provenant de rues principales et secondaires

Les valeurs moyennes obtenues pour les deux catégories d'échantillons (rues principales et rues secondaires), pour chacun des paramètres analysés, sont présentées aux **figures 4-21 à 4-24**. La présence d'un astérisque devant le nom du paramètre indique une différence statistiquement significative (au seuil 0,05). Lorsqu'elles existent, les normes de rejets dans un réseau d'égout pluvial de la communauté urbaine de Montréal (CUM ; Règlement 87, Article 11) sont aussi indiquées.

Les valeurs moyennes mesurées dans les échantillons des rues secondaires sont toutes inférieures aux valeurs moyennes obtenues pour les échantillons provenant de rues principales. La différence est significative dans 12 des 28 cas, soit : azote ammoniacal, MES, turbidité, dureté totale, calcium, sulfates, toximesure, magnésium, conductivité, matières totales, chlorures et sodium.

La différence significative de concentration au niveau des **chlorures** et du **sodium** provient sans doute de l'utilisation du sel de déglaçage. Les politiques d'épandage des fondants et des abrasifs sont en effet fonction, entre autres, de la vocation des rues (**annexe D**). Les concentrations en chlorures de sodium ont une grande influence sur les concentrations de plusieurs autres paramètres, comme nous le montre les résultats d'analyses de corrélation (**annexe K**). Les différences observées entre les moyennes de **conductivité** et de **matières totales** des échantillons provenant des rues principales et secondaires peuvent s'expliquer par la présence plus ou moins grande d'ions Cl^-. Les concentrations en **sulfates**, en **calcium**, en **magnésium** et en **potassium** peuvent provenir en grande partie des impuretés contenu dans les sels de déglaçage. La présence

plus ou moins grande de cations bivalents (Ca^{2+} et Mg^{2+}) pourrait expliquer les concentrations en **dureté totale**.

Les différences de concentrations moyennes observées dans le cas de l'**azote ammoniacal** (statistiquement significative) et du **phosphore inorganique** (non-significative) entre les deux catégories d'échantillons semblent être reliées à la différence significative de concentration en **matières en suspension**. On observe en effet des coefficients de corrélation de 93% entre l'azote ammoniacale et les MES et de 88% entre le phosphore inorganique et les MES.

Malgré une circulation automobile, responsable de 80% des émissions atmosphériques d'oxydes d'azote (NO_x) (MEF, 1994; MEF, 1997), plus élevée dans les rues principales, aucune différence significative n'a été observé entre la concentration moyenne de **nitrates** des rues principales et secondaires. La différence au niveau du **manganèse**, qui entre dans la composition des essences sans plomb, est elle aussi non-significative. L'étude de Loranger et al. (1996) conclut en l'impossibilité d'établir un lien clair entre les concentrations de manganèse dans les neiges et les émissions des véhicules.

Les concentrations moyennes des paramètres analysés dans les neiges usées des rues secondaires sont toutes, à l'exception des **matières en suspension**, inférieures aux normes de rejets dans un réseau d'égout pluvial de la CUM. Ces normes sont toutefois, en moyenne, dépassées dans le cas des **matières en suspension**, des **chlorures** et du **fer**, pour ce qui est des échantillons de neige provenant de rues principales.

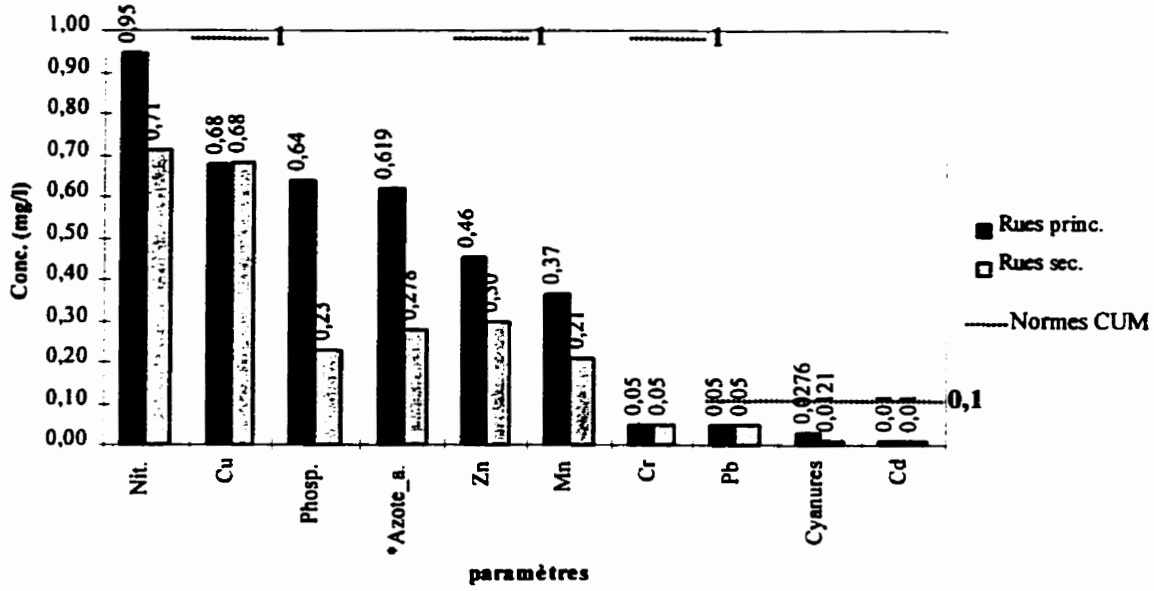


Figure 4-21 Comparaison des concentrations moyennes de *nitrates*, de *Cu*, de *phosphore inorganique*, d'*azote ammoniacal*, de *Zn*, de *Mn*, de *Cr*, de *Pb*, de *cyanures* et de *Cd* mesurées dans les neiges usées des rues principales et secondaires en 1997

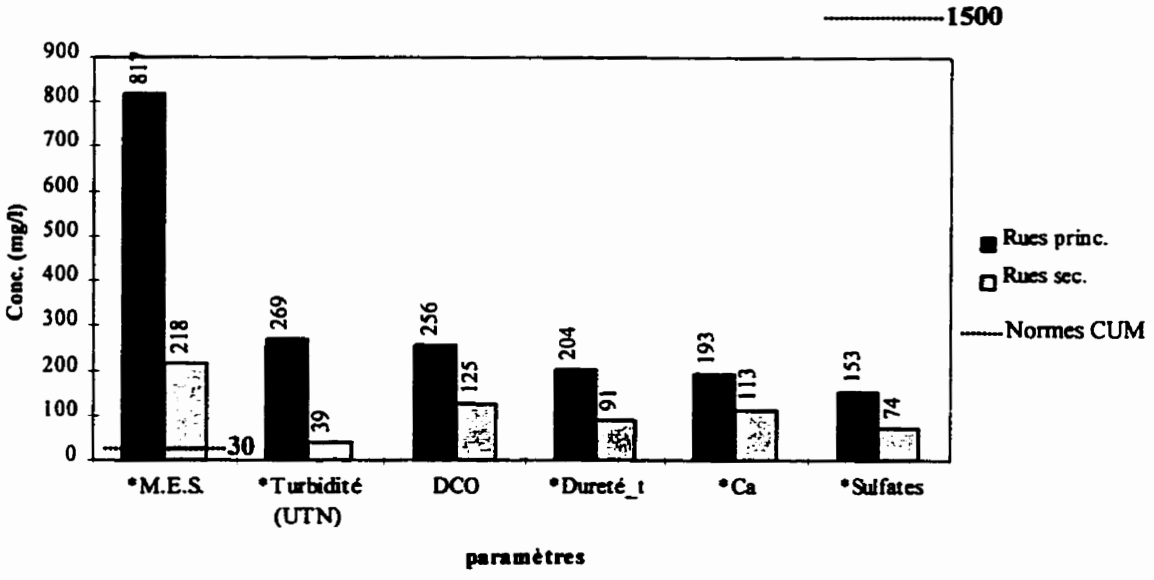


Figure 4-22 Comparaison des valeurs moyennes de *turbidité* et des concentrations moyennes de *MES*, de *DCO*, de *dureté totale*, de *Ca* et de *sulfates* mesurées dans les neiges usées des rues principales et secondaires en 1997

*: différence statistiquement significative (au seuil 0,05).

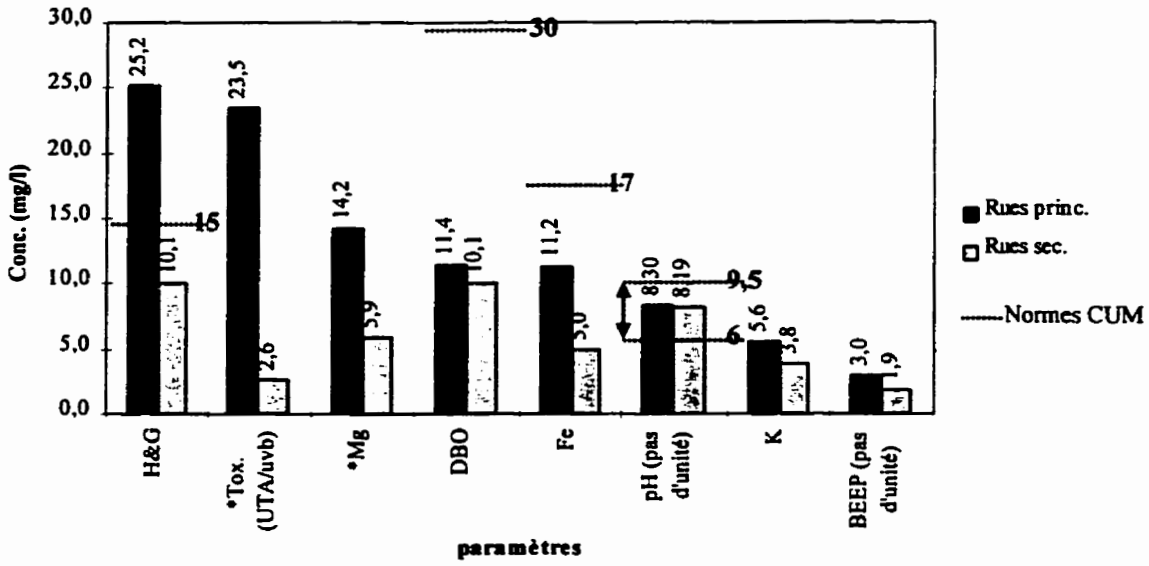


Figure 4-23 Comparaison des valeurs moyennes de *toximesure*, de *pH* et de *BEEP* et des concentrations moyennes d'*huiles et graisses*, de *Mg*, de *DBO*, de *Fe*, et de *K* mesurées dans les neiges usées des rues principales et secondaires en 1997

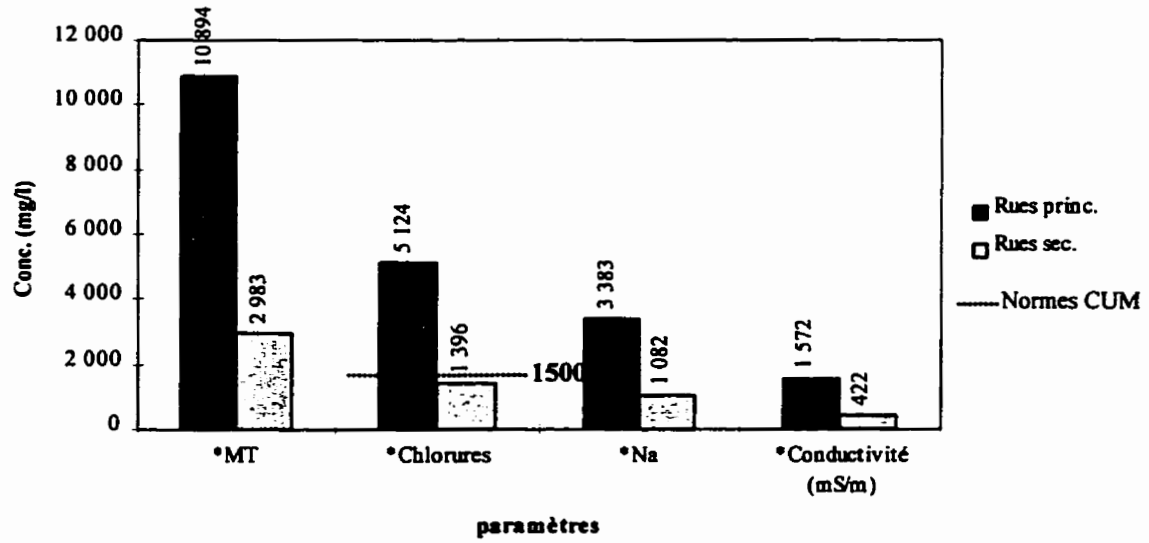


Figure 4-24 Comparaison des valeurs moyennes de *conductivité* et des concentrations moyennes de *matières totales*, de *chlorures* et de *Na* mesurées dans les neiges usées des rues principales et secondaires en 1997

*: différence statistiquement significative (au seuil 0,05).

4.3 Caractérisation bioanalytique et indicateur BEEP

Cette section présente et discute sommairement des résultats des analyses bioanalytiques effectuées sur les neiges usées provenant des rues principales et secondaires des sept municipalités impliquées dans l'étude ainsi que sur les échantillons d'eaux de fonte et de ruissellement. Rappelons au lecteur que plus de précision sur l'aspect bioanalytique de la caractérisation des échantillons est disponible dans le rapport d'Environnement Canada (1997).

L'échantillon en provenance d'une rue secondaire de **Lévis** indique un BEEP de 2,5. Cette valeur relativement élevée est principalement attribuable au débit[3] puisque la valeur de la toximesure n'est que de 2,3 UTA/uvb. Seule la concentration en MES est supérieure à la moyenne obtenue pour l'ensemble des échantillons de cette catégorie. L'échantillon recueilli dans une rue principale affiche un BEEP et une toximesure élevés de 3,6 et 65,8 UTA/uvb respectivement. La majorité des paramètres physico-chimiques étudiés dans cet échantillon de neige présente des concentrations supérieures à la moyenne. Cette situation peut s'expliquer en parti par le fait que l'échantillon ait été recueilli à l'intersection d'un important boulevard, et qu'il s'agissait de neige ayant séjourné environ une semaine au sol. Les concentrations maximales en azote ammoniacale (1,310 mg/l) et en phosphore inorganique (1,19 mg/l) semblent en partie responsables de la valeur élevée de toximesure (65,8 UTA.uvb^{-1}) ; leur coefficient de corrélation avec la toximesure étant de 81% et 87% respectivement.

La BEEP de 2,2 de l'échantillon prélevé d'une rue secondaire de **Trois-Rivières** est attribuable principalement au débit puisque la toximesure n'est que de 0,8 UTA/uvb. Seuls les concentrations en azote ammoniacal, en cyanures, en huiles et graisses et en

---

[3] Le débit représente le volume de neige rejeté en fonction d'une unité de temps (m^3/h).

MES de cet échantillon sont supérieures à la moyenne. Ces quatre paramètres ont tous des coefficients de corrélation de plus de 80% entre eux. Pour l'échantillon provenant d'une rue principale, la toximesure atteint 10,7 UTA/uvb et le BEEP 3,1. Ce BEEP relativement élevé par rapport à la moyenne pour cette catégorie d'échantillon (3,0), malgré une toximesure environ deux fois inférieure à la moyenne (23,5), semble dû au débit qui, selon une analyse de corrélation, peut expliquer 33,3% du BEEP.

Avec une toximesure de seulement 0,1 UTA/uvb, le débit est grandement responsable de la valeur BEEP de 1,8 obtenu dans l'échantillon de neige d'une rue secondaire de **LaSalle**. Pour l'échantillon provenant d'une artère principale, les concentrations relativement élevées de cuivre (1,25 mg/l) et de zinc (0,57 mg/l), qui montrent des coefficients de corrélation respectif de 69% et 63% avec la toximesure, pourraient être en partie responsable de la valeur élevée de celle-ci (43,3 UTA/uvb). En plus de la toximesure, le débit est lui aussi responsable du BEEP le plus élevé (4,0) mesuré dans les échantillons des rues principales.

Une écotoxicité inférieure à la limite de détection a été observée dans l'échantillon provenant d'une rue secondaire de **Verdun**. Le BEEP résultant est donc lui aussi inférieur à la limite de détection. L'échantillon prélevé dans une artère principale présente les plus faibles valeurs de toximesure et de BEEP de sa catégorie (2,3 UTA/uvb et 1,6 respectivement).

Les concentrations mesurées dans l'échantillon de neige en provenance d'une rue secondaire de **Westmount** sont presque toutes supérieures à la moyenne observée dans cette catégorie d'échantillons. Les concentrations en chlorures et en sodium, deux paramètres qui ont une forte corrélation avec plusieurs autres paramètres, sont particulièrement élevées (4673 mg/l et 3190 mg/l respectivement). La toximesure est de 4,6 UTA/uvb et le BEEP de 2,7. Malgré une toximesure plus élevée dans l'échantillon

provenant d'une rue principale de cette municipalité (7,0 UTA/uvb), le BEEP est plus faible (2,2). Cette situation est attribuable au débit qui est quatre fois plus élevé pour les rues secondaires.

L'échantillon de neige récolté dans une rue secondaire de **Montréal** présente la toximesure (10,4 UTA/uvb) et le BEEP (4,0) les plus élevés de sa catégorie. La grande majorité des paramètres ont des valeurs supérieures à la moyenne. Cette situation est sans doute associée au degré d'activité élevé dans ces rues du Centre-Ville. Malgré une toximesure plus élevée (23,9 UTA/uvb), le BEEP de l'échantillon en provenance d'une artère principale (3,8) est plus faible que celui de l'échantillon provenant d'une rue secondaire. Ceci est dû au débit environ 3,5 fois plus élevé pour les rues secondaires.

Aucune écotoxicité n'a été observée dans l'échantillon prélevé d'une rue secondaire de **Repentigny**. L'échantillon provenant d'une artère principale à obtenu une toximesure relativement faible de 11,8 UTA/uvb et un BEEP (2,8) légèrement sous la moyenne de sa catégorie.

L'échantillon d'eaux de fonte recueilli au site de dépôt de surface **Royal Mount** présente une toximesure (26,9 UTA/uvb) comparable à la moyenne de celle mesurée dans les échantillons de neige provenant des rues principales. La concentration mesurée pour la plupart des paramètres dans cet échantillon est supérieure à la moyenne de celle mesurée dans les échantillons de neige provenant de rues principales. Les concentrations sont particulièrement élevées dans le cas du calcium, du fer, du magnésium, du manganèse et du zinc.

De faibles valeurs ont été mesurées pour tous les paramètres analysés dans l'échantillon d'eaux de fonte provenant du site de dépôt de surface **Dagenais**. La toximesure s'est avérée inférieure au seuil de détection.

Une faible écotoxicité (0,6 UTA.uvb^{-1}) a été observée sur l'échantillon d'eaux de ruissellement de l'**Île des Soeurs**. Les concentrations mesurées dans cet échantillon sont toutes, à l'exception de celle magnésium, inférieures à la moyenne observée dans les échantillons de neige provenant de rues secondaires.

Bien que plusieurs études semblent associer la génotoxicité des neiges aux émissions de combustibles fossiles (White et al., 1995), cette étude révèle que la concentration en phosphore inorganique et en azote ammoniacal peuvent expliquer respectivement 87% et 81% des variations d'écotoxicité. Les résultats de toximesure effectuée sur la portion filtrée des échantillons de neige confirme d'ailleurs l'extraction de contaminants, responsable de l'écotoxicité, adsorbés aux matières particulaires (Environnement Canada, 1997).

4.3.1 Comparaison des valeurs BEEP des neiges avec celles d'autres types d'effluents

Les neiges caractérisées au cours de cette étude ont révélé des valeurs BEEP variant entre 0 et 4 inclusivement. Le BEEP moyen des neiges provenant des rues principales est de 3,0, alors que celui des neiges provenant des rues secondaires est de 1,9. Rappelons que les résultats des BEEP sont exprimés sur une échelle logarithmique de toxicité croissante. Donc, un effluent ayant un BEEP de 4,0 est 100 fois plus toxique qu'un autre ayant un BEEP de 2,0.

On ne dispose malheureusement pas pour le moment de résultats récents de caractérisation bioanalytique d'autres types d'effluents. On peut cependant référer aux résultats de caractérisation de 106 établissements industrielles effectuée dans le cadre du plan Saint-Laurent vision 2000 (SLV 2000) (Environnement Canada, 1996). Dans une

première phase, qui s'est déroulée entre 1989 et 1992, 50 rejets ont été caractérisés. Les 15 usines du secteur des pâtes et papiers avaient obtenu des BEEP variant de 4,3 à 7,5 ; les 11 du secteur de chimie inorganique, de 1,7 à 7,5 ; les 12 du secteur de la métallurgie, de 1,3 à 6,6 ; et les 11 du secteur de chimie organique, de 0,0 à 4,5. L'effluent de l'émissaire nord de la station d'épuration de la CUM avait révélé un BEEP de 5,9 (Bermingham et Boudreau, 1994). Soulignons que depuis cette étude de caractérisation, beaucoup de progrès ont été fait en matière environnementale et que certaines usines ont fermé leurs portes, entre autres Tioxide (BEEP de 7,5). Aussi, « depuis le 30 septembre 1995, selon le règlement provincial sur les fabriques de pâtes et papiers, il est interdit de rejeter dans l'environnement ou d'évacuer dans un égout pluvial un effluent final dont la toxicité atteint un niveau de létalité aiguë démontré par l'essai biologique avec des truites arc-en-ciel » (Environnement Canada, 1996). La majorité des rejets caractérisés lors de la deuxième phase, en 1995, montre des indices BEEP qualifiés de « faible » (inférieur à 3,0) (Environnement Canada, 1996). Devant ces résultats, il est évident que les BEEP des neiges en provenance de rues secondaires peuvent également être qualifiés de « faible » étant tous inférieurs à 3,0, à l'exception de celui de la Ville de Montréal (4,0).

4.4 Les débris

4.4.1.1 Qualification

La **figure 4-25** illustre la répartition des débris selon leurs qualités et leur fréquence d'apparition dans les neiges usées. Près des deux tiers (63,7%) des débris trouvés dans les neiges usées sont du papier et du carton ; le plastique (papier plastique et plastique rigide) en représente 14,8%. Le reste des débris se compose entre autres d'aliments, de

mégots de cigarette, de vitre, de canette en aluminium, de bois, etc. Un exemple de débris trouvés dans les neiges usées est présenté à la **figure 4-26**.

Très peu des débris trouvés dans les neiges usées semblent avoir un potentiel écotoxicologique. L'écotoxicité intrinsèque reliée aux neiges usées proviendraient plutôt des métaux lourds dissous dans les eaux de fonte ainsi que ceux adsorbés sur les matières solides, particulièrement sur celles de 0,45 µm à 63 µm de diamètres (Zinger, 1985). Les concentrations en phosphore inorganique et en azote ammoniacal semble aussi fortement associées à la toximesure (**annexe K**).

4.4.1.2 Quantification

Les résultats de la quantification des débris sont présentés au **tableau 4-8**. Le poids de débris par mètre cube de neiges usées est très élevé dans la rue Villeneuve (675g/m^3). Ceci est dû à la présence de deux boulons d'environ 30 cm de longueur pesant chacun 1375 grammes.

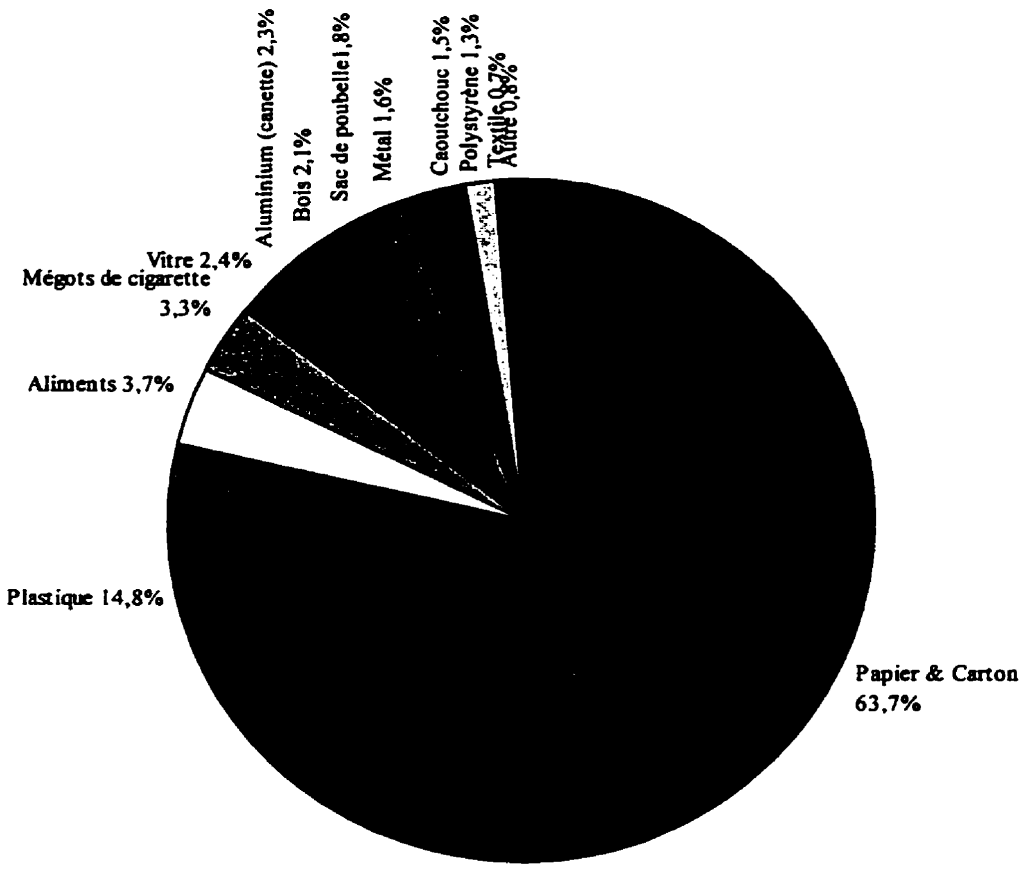


Figure 4-25 Répartition des débris selon leurs qualités et leur fréquence d'apparition dans les neiges usées

Figure 4-26 Exemple de débris retrouvés dans les neiges usées

Tableau 4-8 Masse (g) des débris contenus dans les neiges usées

	Rues		Débris	
			($g/5m^3$)	(g/m^3)
1	Résidentielle	Hutchinson	0	0
2	Résidentielle	Labadie	0,5	0,1
3	Résidentielle	Édouard-Charles	3	0,6
4	Résidentielle	Villeneuve	3375	675
5	Résidentielle	Henri-Julien	0	0
6	Résidentielle	Drolet	0	0
7	Résidentielle	Carmel	0	0
8	Résidentielle	Boucher	20	4
9	Résidentielle	Berri	20	4
10	Résidentielle	Mentana	0	0
11	Résidentielle	Marie-Anne E.	150	30
12	Résidentielle	Marie-Anne E.	125	25
13	Résidentielle	Chapleau	600	120
14	Résidentielle	Chapleau	100	20
15	Résidentielle	Laroche	750	150
16	Résidentielle	Hogan	75	15
17	Résidentielle	Berri	50	10
18	Résidentielle	Resther	7	1,4
19	Commerciale	Du Parc	35	7
20	Commerciale	Sherbrooke	1	0,2
21	Commerciale	Ontario	0	0
22	Commerciale	René-Lévesque	125	25
		Moyenne		49,4 g/m^3

4.5 Bilans de masse

À partir des concentrations mesurées dans les échantillons de neige de la Ville de Montréal en 1997, et en connaissant le volume de neiges usées déversées au fleuve Saint-Laurent au cours de cet hiver (2 448 304 m3), il nous est possible de calculer des bilans de masse. À partir de ces mêmes concentrations, nous avons estimé[4] les quantités de contaminants rejetés chaque année dans les cours d'eau par l'ensemble des municipalités québécoises ; en 1979, le volume de neige à éliminer était évalué à plus de 30 millions de mètres cubes, dont environ 29% était déversé dans les cours d'eau (MENVIQ, 1988). Lors d'une étude réalisée à la CUM, on a aussi estimé les quantités annuelles de contaminants toxiques rejetés au fleuve par l'usine d'épuration des eaux au cours des années 1992 à 1994 (Deschamps, 1995). Tel que l'on peut le voir au **tableau 4-9**, les valeurs estimées par le MENVIQ dans sa Politique sur l'élimination des neiges usées sont nettement supérieures à celles estimées dans cette étude, particulièrement pour les métaux. Ceci s'explique par le fait que les extrapolations du MENVIQ sont basées sur les concentrations mesurées par Zinger (1985), qui sont, dans le cas des métaux, les résultats de la somme des concentrations dans la forme soluble et insoluble. Ce tableau nous permet aussi de constater que le rejet des eaux traitées de l'usine d'épuration de la CUM représente des quantités très importantes de contaminants, et de beaucoup supérieures à celles associées au déversement de neiges usées.

---

[4] Il s'agit en fait d'une sur-estimation puisqu'elle a été effectuée à partir des concentrations moyennes mesurées dans les échantillons de neige de la Ville de Montréal qui sont, bien souvent, supérieures à celles mesurés dans les échantillons de neige des autres municipalités.

Selon une étude effectuée par la Ville de Montréal en 1991, 51% des abrasifs utilisés se retrouvent dans les sites d'élimination, 9% sont balayés, 8% se retrouvent dans les puisards et 33% dans les égouts, sous forme de poussières et autres (**figure 4-27**). La Ville de Montréal à utilisé 33 723 tonnes métriques de pierre au cours de l'hiver 1996-1997 (**annexe L**). On peut donc estimer à 4025 tonnes métriques la quantité d'abrasifs rejetés au fleuve, par la Ville de Montréal.

Tableau 4-9 Quantité de contaminants déversés au fleuve Saint-Laurent au cours de l'hiver 1996-1997

Paramètres	**Masses (tonnes métriques)**			
	Neige de la Ville de Montréal	**Neige de l'ensemble du Québec**	**Neige de l'ensemble du Québec** (estimation rapportée dans la Politique du MENVIQ, 1988)	**Eau traitée de l'usine de la CUM** (moyenne de 1992, 1993 et 1994)
Azote ammoniacal	0,77	2,74	-	3307
Cadmium	0,01	0,045	1	0,59
Chlorures	7243	25737	-	-
Chrome	0,06	0,23	-	6,0
Cuivre	0,56	1,99	-	20,8
Cyanures	0,02	0,081	1	24,6
Fer	21,6	77	-	1271
Débris	121	430	70000*	-
MES	945	3357		-
Abrasifs	4025			
Plomb	0,06	0,23	350	4,5
Sodium	5145	18281	-	-
Zinc	0,71	2,53	175	35,1

* Débris + matières en suspension ou dissoutes

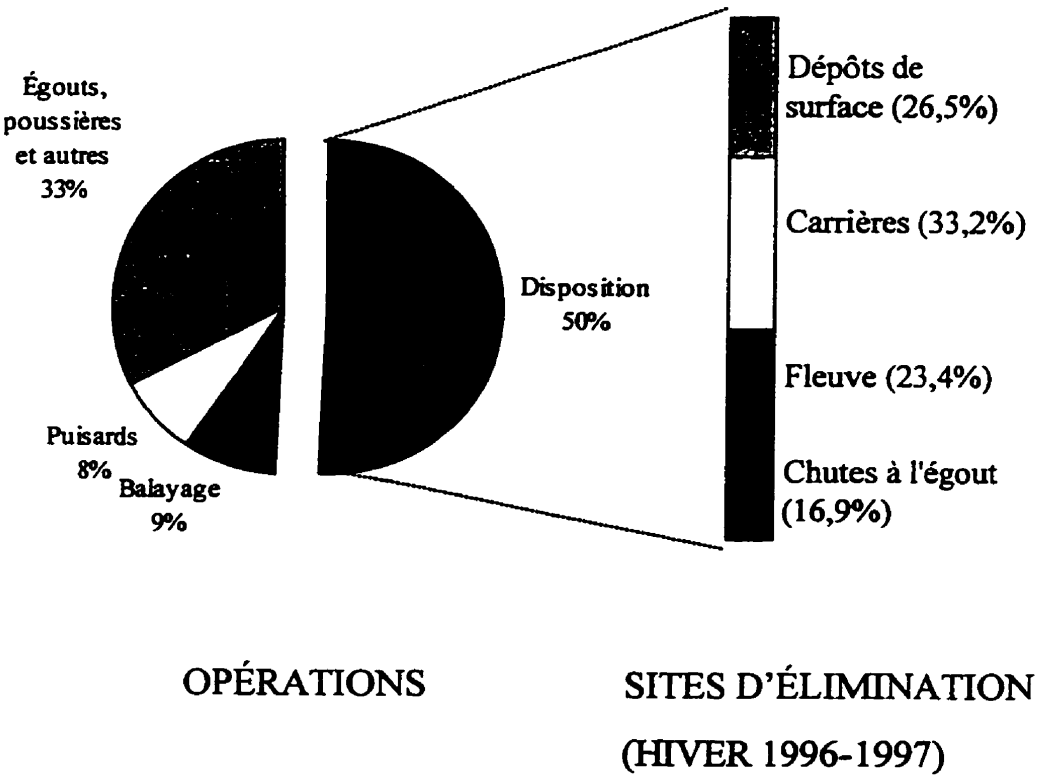


Figure 4-27 Répartition des abrasifs utilisés par type d'opérations et par sites d'élimination

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Cette étude nous a permis, lors de la vérification d'une première hypothèse, de constater que la qualité des neiges usées analysées en 1997 est différente de celle des neiges usées analysées par Zinger (1985). Pour la majorité des paramètres (13/25) analysés dans les échantillons de la Ville de Montréal (1997), la concentration moyenne est inférieure à celle mesurée par Zinger (1985). Des différences très importantes de concentrations moyennes ont été observées pour les paramètres suivants : plomb, fer, cuivre, zinc, chrome, cadmium et huiles et graisses. Cette situation peut s'expliquer de plusieurs façons : par les différences au niveau de la méthodologie d'échantillonnage et d'analyse de certains paramètres ; par la diminution des émissions de certains contaminants dans l'environnement ; et finalement, étant donné l'écart important (facteur de 100) entre les teneurs en métaux, en huiles et graisses et en turbidité mesurées par Zinger (1985) et celles mesurées lors d'études subséquentes, par une erreur de conversion ou de transcription des résultats. Cette étude n'a pas permis de montrer une différence significative au niveau des chlorures et du sodium et ce, malgré le fait que la Ville de Montréal ait modifié ses politiques d'épandage afin de diminuer la quantité de fondants utilisée. Cette situation peut être due aux caractéristiques propres des deux tempêtes échantillonnées.

Une deuxième hypothèse vérifiée nous indique que la provenance des échantillons de neige (rues principales *vs* secondaires) a une influence sur leur potentiel écotoxicologique. Les résultats montrent une valeur moyenne significativement plus faible de toximesure pour les échantillons provenant de rues secondaires (2,6 UTA/uvb) que pour ceux provenant de rues principales (23,5 UTA/uvb). La différence n'est cependant pas significative pour les valeurs moyennes BEEP (1,9 rues secondaires ; 3,0 rues principales). Cette situation peut être attribuable au débit, en moyenne 2,7 fois plus élevé pour les rues secondaires, qui entre dans le calcul de l'indice BEEP. Les BEEP des échantillons de neige ont varié entre 0 et 4,0 inclusivement. Il est difficile de comparer ces indices BEEP avec ceux d'autres types d'effluents car les données dont on dispose

datent déjà de plusieurs années. On peut cependant se référer aux fiches de caractérisations des établissements industriels du plan d'action Saint-Laurent (Environnement Canada, 1996), dans lesquelles Environnement Canada qualifie de faible potentiel écotoxique des valeurs BEEP inférieures à 3,0 et de modérément toxique un effluent de valeur BEEP 3,6.

La vérification de la troisième hypothèse, voulant que la provenance des échantillons de neige (rues principales *vs* secondaires) ait une influence sur leurs concentrations moyennes en contaminants, nous a clairement démontrée que les échantillons de neige provenant des rues secondaires présentent des concentrations moyennes plus faible que ceux provenant des rues principales. Plusieurs auteurs en étaient d'ailleurs déjà venu à cette conclusion. Cette situation est sans doute relié au degré d'activité (circulation automobile, épandage de fondants et d'abrasifs, etc.), source de contamination de la neige, moins élevé dans les rues secondaires. Ceci pourrait aussi expliquer le fait que les différences observées entre les deux catégories d'échantillons sont moins grandes pour ce qui est des échantillons provenant de la Ville de Montréal (où le degré d'activité est plus élevé que dans les plus petites municipalités).

La vérification de la dernière hypothèse, à l'effet que les événements (tempêtes de neige) ont une influence sur les concentrations en contaminants mesurées dans les neiges usées, nous a démontré, tout comme dans le cas de l'étude de Delisle et al. (1993), que chaque chargements de neige est un événement en soi qui possède ses propres caractéristiques. Il appert qu'il est très difficile de prédire la contamination de la neige de chacune des précipitations et qu'il est préférable de travailler à partir d'une moyenne des résultats obtenus pour chacune des tempêtes échantillonnées.

Comme nous l'avons déjà souligné, la contamination de la neige est fortement reliée aux activités humaines : épandage de fondants et d'abrasifs, circulation automobile, civisme

des gens, etc. Nous pouvons donc supposer qu'en modifiant certaines de ces activités, nous pourrions améliorer la qualité des neiges usées, particulièrement celles provenant de rues secondaires, de façon à les rendre plus acceptables pour l'environnement aquatique du fleuve Saint-Laurent. Voici d'abord quelques suggestions ayant pour but de réduire la quantité de débris retrouvé dans les neiges usées :

- éviter de faire coïncider le ramassage des ordures ménagères avec le chargement de neige,
- favoriser l'utilisation de sacs à ordure de couleur foncée, afin qu'ils soient bien visible sur les bancs de neige.
- augmenter le nombre de poubelles dans les rues de la ville,
- sensibiliser la population et les employés municipaux à l'importance écologique de la qualité des neiges usées.

Ensuite, dans le but de réduire la quantité de matières en suspension, il faudrait en identifier clairement les sources et leur importance relative pour ensuite cibler celles que l'on peut contrôler et proposer des changements. En réduisant la concentration de matières en suspension, nous réduirions du même coup les concentrations de certains paramètres tels que les métaux lourds, fortement adsorbés aux particules, la turbidité, etc. Tel que nous le montre les résultats d'analyses de corrélation, les concentrations en chlorures de sodium semblent aussi avoir un impact direct et indirect sur plusieurs autres paramètres. La qualité du sel de déglaçage utilisée pourrait donc être un critère important.

Soulignons que cette étude a été réalisée à partir d'échantillon de moyenne taille (24 pour la Ville de Montréal et 14 pour l'UMQ). D'autres études seraient requises pour préciser les relations existant entre les divers paramètres, entre autres, entre les concentrations en phosphore inorganique et en azote ammoniacal et les valeurs de toximesure.

RÉFÉRENCES

André, P. et C. E. Delisle (1990). *Modification des pratiques d'élimination des neiges usées pour diminuer les apports de contaminants au fleuve St-Laurent*. D. Messier, Legendre, P. Delisle, C. E., éds. in Symposium sur le Saint-Laurent: Un fleuve à reconquérir. Montréal. Collection environnement et géologie. **11:** 343-357.

APHA, AWWA et WEF (1992). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 18th édition. American Public Health Association, American Water Works Association et Water Environment Federation. Washington, D.C.

BAPE (1982). Quai à des fins récréatives et de déversement occasionnel de neiges. Bureau des Audiences Publiques en Environnement, Gouvernement du Québec. 121 pages.

Bermingham, N. et D. Boudreau (1994). Synthèse de l'application du barème d'effets écotoxiques potentiels (BEEP) et recommandations d'orientation pour son développement. Environnement Canada - Région du Québec, Centre Saint-Laurent. 12 pages.

Bouchard, R. (1997). Suivi environnemental des eaux de fonte du dépôt à neiges usées Gagnon (Jonquière, Québec). Rapport de recherche. Université de Sherbrooke, Sherbrooke. 106 pages.

Chenevier, C. et C. E. Delisle (1997a). Étude des variables pouvant mener à une meilleure gestion des neiges usées. Projet C.D.T. P2063. École Polytechnique de Montréal. 83 pages.

Chenevier, C. et C. E. Delisle (1997b). Caractérisation physico-chimique d'échantillons de neige de sept municipalités du Québec. Projet C.D.T. P2069. École Polytechnique de Montréal. 26 pages.

Delisle, C. E., P. André et J.-F. Paradis (1993). Caractérisation des neiges usées en fonction de la densité résidentielle (hiver 1992-1993). Projet C.D.T. P1744. École Polytechnique de Montréal. 124 pages.

Delisle, C. E. et A. Leduc (1987). Évolution dans le temps et dans l'espace de la qualité de la neige usée et de l'eau de ruissellement de pluie du territoire de la Ville de Montréal. Projet C.D.T. P981. École Polytechnique de Montréal. 148 pages.

Deschamps, G. (1995). Évolution des contaminants toxiques dans les eaux usées à la station d'épuration en 1994. Communauté urbaine de Montréal, Service de l'environnement. 30 pages.

Droste, R. L. et J. C. Jonhston (1993). "Urban snow dump quality and pollutant reduction in snowmelt by sedimentation." *Canadian Journal of Civil Engineering* **20**(1): 9-21.

Environnement Canada (1996). Les établissements industriels: Faits saillants.

Environnement Canada (1997). Caractérisation bioanalytique d'échantillons de neige de sept municipalités du Québec. Rapport. ST-127. Centre Saint-Laurent, Environnement Canada. 55 pages.

Field, R., E. J. Struzeski, H. E. Masters et A. N. Tafuri (1974). "Water pollution and associated effects from street salting." *J. of the Environ. Eng.* **100:** 459-477.

Gangbazo, G., J. Dupont, M. Simoneau et J. Painchaud (1996). *Pollution des cours d'eau par le phosphore dans les basses-terres du fleuve Saint-Laurent.* L. Lauzon, Dion, H., Delisle, C.E. éds. in Le Saint-Laurent pour la vie. Québec. Collection environnement de l'Université de Montréal. **23:** 287-311.

Hautala, E.-L., R. Rekilã, J. Tarhanen et J. Ruuskanen (1995). "Deposition of motor vehicule emissions and winter maintenance along roadside assessed by snow analyses." *Environmental Pollution* **87**(1)**:** 45-49.

Landsberger, S. (1984). *Sulphur and heavy metal pollution of urban snow and environmental impact.* in Minimisation de l'impact environnemental de l'élimination de la neige dans les régions urbaines. Compte rendu d'un atelier de l'APWA. Montréal, 11 et 12 juin 1984. 8 pages.

Lapointe, M. (1991). Élaboration d'un protocole expérimental d'échantillonnage des neiges usées en milieu urbain. Mémoire de maîtrise. Département de Génie Civil, Université de Montréal, École Polytechnique, Montréal. 164 pages.

Loranger, S., M. Tétrault, G. Kennedy et J. Zayed (1996). "Manganese and other trace elements in urban snow near an expressway." *Environmental Pollution* **92**(2)**:** 203-211.

Malmquist, P.-A. (1984). *Environmental effects of snow disposal in Sweden.* in Minimisation de l'impact environnemental de l'élimination de la neige dans les régions urbaines. Compte rendu d'un atelier de l'APWA. Montréal, 11 et 12 juin 1984. 10 pages.

MENVIQ (1991). Guide pour l'aménagement des lieux d'élimination des neiges usées. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Environnement et de la Faune. 95 pages.

MEF (1994). L'acidité des eaux au Québec. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Environnement et de la Faune. 16 pages.

MEF (1997). La qualité de l'air au Québec de 1975 à 1994. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction du milieu atmosphérique, Service de la qualité de l'atmosphère. 31 pages.

MENVIQ (1988). Politique sur l'élimination des neiges usées. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Environnement. 15 pages.

Novotny, V., C. H. Huang et H. Jones (1986). *Winter nonpoint pollution : A statistical evaluation.* in Effect of pollutants from snow on quality of water from urban drainage basins, prepared for National Science Foundation. Washington D.C. 29-65.

Painchaud, J. (1996). *La qualité de l'eau des rivières tributaires du Saint-Laurent.* L. Lauzon, Dion, H., Delisle, C.E. éds. in Le Saint-Laurent pour la vie. Québec. Collection environnement de l'Université de Montréal. **23:** 187-220.

Péloquin, Y. (1993). Qualité des eaux de fonte provenant d'un site de surface pour l'élimination des neiges usées à la ville de Laval. Mémoire de maîtrise. Université du Québec à Montréal, Montréal. 91 pages.

Pierstorff, B. W. et P. L. Bishop (1980). "Water pollution from snow removal operations." *J. of the Environ. Eng.* **106:** 377-388.

Sakai, H., T. Sasaki et K. Saito (1988). "Heavy metal concentrations in urban snow as an indicator of air pollution." *Science of the Total Environment* 77(2-3): 163-174.

Scherrer, B. (1984). *Biostatistique.* Gaëtan Morin éditeur. Boucherville, Québec. 849 pages.

Scott, W. S. et N. P. Wylie (1980). "The environmental effects of snow dumping : A litterature reviews." *J. of the Environ. Management* **10:** 219-240.

Troche, N. (1997). Étude du dépôt de neiges usées sur le campus de l'Université de Montréal. Mémoire de maîtrise. Département des Génies Civil, Géologique et des Mines, Université de Montréal, École Polytechnique, Montréal. 160 pages.

Ville de Montréal (1996). Politique d'épandage des fondants et des abrasifs pour l'hiver 1996-1997. Service des travaux publics, Division technique, Bureau technique - Déneigement et projet spéciaux. 21 pages.

White, P. A., J. B. Rasmussen et C. Blaise (1995). "Genotoxicity of snow in the Montreal metropolitain area." *Water, Air and Soil Pollution* **83:** 315-334.

Zinger, I. (1985). Qualité des neiges usées et impacts de leurs déversements dans la région du port de Montréal. Mémoire de maîtrise. Département de Génie Civil, Université de Montréal, École Polytechnique, Montréal. 103 pages.

Zinger, I. et C. E. Delisle (1988). "Quality of used-snow discharged in the St-Lawrence river, in the region of the Montreal harbor." *Water, Air, and Soil Pollution* **39:** 47-57.

ANNEXES

ANNEXE A PRÉCIPITATION DE NEIGE (CM) - DORVAL DE 1941 À 1997

PRÉCIPITATION DE NEIGE (cm).-DORVAL
DE 1941 À 1997

HIVER	OCT.	NOV.	DEC.	JANV.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	TOTAL	total hiver	ordre décroissant oct. -avril	total jan. avril	ordre décroissant jan. avril	jan. avril / hiver	ordre décroissant
1996-97	0,0	16,2	34,0	85,0	60,5	70,9	36,0	0,0	302,6	302,6	353,3	252,4	276,2	0,834	92,6%
1995-96	0,0	47,6	66,9	21,8	19,8	13,6	25,9	0,0	195,6	195,6	345,7	81,1	260,8	0,415	88,4%
1994-95	0,0	13,0	34,0	50,3	55,4	25,6	1,0	0,0	179,3	179,3	316,6	132,3	**252,4**	0,738	88,2%
1993-94	0,8	18,6	44,6	68,2	64,2	47,0	24,2	0,0	267,6	267,6	314,0	203,6	246,6	0,761	87,9%
1992-93	0,4	10,3	6,8	42,0	65,4	68,6	41,6	0,0	235,1	235,1	313,3	217,6	227,2	0,926	84,3%
1991-92	0,0	9,5	56,3	28,5	76,8	14,6	23,8	0,0	209,5	209,5	309,4	143,7	224,0	0,686	**83,4%**
1990-91	0,0	16,0	41,4	60,0	32,2	45,9	0,0	0,0	195,5	195,5	**302,6**	138,1	219,4	0,706	82,2%
1989-90	6,2	33,2	28,2	49,0	44,8	16,4	16,0	0,0	193,8	193,8	299,7	126,2	217,6	0,651	78,4%
1988-89	22,4	25,2	28,0	49,8	22,6	54,2	3,0	0,0	205,2	205,2	296,7	129,6	209,8	0,632	78,0%
1987-88	0,4	29,6	40,8	12,8	66,2	10,8	0,0	0,0	160,6	160,6	293,6	89,8	206,6	0,559	77,6%
											281,2		203,6		76,1%
					MOYENNE 10 ANS :				214,5		280,2		190,8		74,9%
1986-87	0,0	37,3	45,7	60,7	33,2	45,6	2,6	0,0	225,1	225,1	272,6	142,1	186,4	0,631	73,8%
1985-86	0,0	16,7	36,0	69,8	26,7	38,1	0,6	0,0	187,9	187,9	272,0	135,2	185,9	0,720	73,7%
1984-85	0,0	11,5	78,7	61,2	22,2	64,1	32,6	0,0	270,3	270,3	270,3	180,1	185,8	0,666	73,7%
1983-84	0,0	72,6	81,6	22,6	33,8	18,0	1,0	0,0	229,6	229,6	267,6	75,4	185,6	0,328	72,0%
1982-83	0,0	4,6	10,2	29,5	22,5	22,7	37,5	0,4	127,4	127,4	258,8	112,6	181,5	0,884	72,0%
1981-82	1,6	26,3	54,6	45,7	30,8	48,6	0,6	0,0	208,2	208,2	251,3	125,7	180,1	0,604	71,8%
1980-81	0,4	20,8	43,2	17,7	24,2	20,5	2,2	0,0	129,0	129,0	245,2	64,6	175,3	0,501	71,3%
1979-80	13,0	3,2	6,8	9,0	15,3	36,4	3,8	0,0	87,5	87,5	243,8	64,5	164,3	0,737	71,0%
1978-79	0,0	28,8	61,0	70,2	11,9	3,6	20,2	0,0	195,7	195,7	243,4	105,9	153,5	0,541	70,6%
1977-78	0,0	28,3	59,2	51,8	7,7	48,9	7,7	1,2	204,8	204,8	242,5	117,3	153,5	0,573	68,6%
											235,1		149,6		68,6%
					MOYENNE 20 ANS :				200,5		229,6		145,6		68,6%
1976-77	3,9	17,6	28,4	57,7	43,0	26,7	12,4	0,0	189,7	189,7	225,1	139,8	144,0	0,737	68,2%
1975-76	0,0	32,1	59,0	65,5	62,3	34,7	14,2	4,8	272,6	272,6	220,1	181,5	143,7	0,666	66,9%
1974-75	0,0	13,7	49,3	51,0	31,2	20,4	32,5	0,0	198,1	198,1	218,2	135,1	142,1	0,682	66,6%
1973-74	0,0	61,0	72,1	32,3	17,8	47,0	15,0	0,0	245,2	245,2	212,3	112,1	139,8	0,457	66,6%
1972-73	1,5	23,1	110,0	31,5	33,8	20,8	21,8	0,0	242,5	242,5	209,8	107,9	138,1	0,445	65,1%
1971-72	0,0	32,3	40,1	25,4	80,0	61,7	19,3	0,0	258,8	258,8	209,5	186,4	135,2	0,720	65,0%
1970-71	0,0	8,9	90,2	58,2	114,0	66,0	8,4	0,0	345,7	345,7	208,2	246,6	135,1	0,713	64,4%
1969-70	1,8	13,7	67,6	15,5	33,0	27,2	16,0	7,6	182,4	182,4	205,2	99,3	132,3	0,544	63,7%
1968-69	0,0	36,8	100,6	24,6	20,3	17,0	13,0	0,0	212,3	212,3	205,2	74,9	129,6	0,353	63,4%
1967-68	0,0	19,3	28,9	35,3	25,4	20,6	0,0	0,0	129,5	129,5	204,8	81,3	127,9	0,628	63,2%
											198,1		126,2		63,1%
					MOYENNE 30 ANS :				209,6		197,7		125,7		63,0%

PRÉCIPITATION DE NEIGE (cm).-DORVAL (SUITE)
DE 1941 À 1997

HIVER	OCT.	NOV.	DEC.	JANV.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	TOTAL	total hiver	ordre décroissant oct. -avril	total jan. avril	ordre décroissant jan. avril	jan. avril / hiver	ordre décroissant
1966-67	0,0	4,1	55,1	43,2	43,1	7,6	0,8	3,8	157,7	157,7	195,7	98,5	117,3	0,625	62,8%
1965-66	7,9	58,0	24,4	85,1	46,5	18,5	2,6	0,8	243,8	243,8	195,6	153,5	116,2	0,630	62,5%
1964-65	0,0	14,7	42,9	40,1	37,6	18,2	0,0	0,0	153,5	153,5	195,5	95,9	112,6	0,625	62,5%
1963-64	0,0	8,9	18,8	28,1	31,2	32,3	9,2	0,0	128,5	128,5	193,8	100,8	112,1	0,784	60,4%
1962-63	20,1	17,5	65,2	40,4	58,4	56,3	4,8	30,9	293,6	293,6	191,1	190,8	109,9	0,650	60,1%
1961-62	0,0	27,2	43,2	58,6	70,1	47,3	33,8	0,0	280,2	280,2	189,7	209,8	107,9	0,749	59,7%
1960-61	0,0	3,3	59,9	29,7	17,3	48,7	32,2	0,0	191,1	191,1	187,9	127,9	105,9	0,669	59,3%
1959-60	3,8	40,1	45,5	52,8	132,3	41,1	1,0	0,0	316,6	316,6	182,5	227,2	100,8	0,718	59,2%
1958-59	0,0	26,1	70,6	87,1	61,0	25,4	0,0	1,8	272,0	272,0	182,4	175,3	99,3	0,644	57,3%
1957-58	0,0	0,0	37,1	73,4	122,9	43,6	24,9	11,4	313,3	313,3	179,3	276,2	98,5	0,882	55,9%
											160,6		95,9		54,8%
					MOYENNE 40 ANS :				215,9		157,7		92,2		54,4%
1956-57	0,0	22,8	40,4	49,0	17,3	24,1	1,8	0,0	155,4	155,4	155,4	92,2	91,5	0,593	54,1%
1955-56	0,2	13,5	20,8	41,6	69,6	74,4	0,0	0,0	220,1	220,1	153,5	185,6	89,8	0,843	50,1%
1954-55	0,0	27,0	96,5	29,7	47,5	108,7	0,0	0,0	309,4	309,4	153,2	185,9	81,3	0,601	45,7%
1953-54	0,0	2,1	33,8	94,0	118,9	36,5	11,4	0,0	296,7	296,7	129,5	260,8	81,1	0,879	45,2%
1952-53	0,5	3,6	57,6	47,7	32,3	7,9	3,6	0,0	153,2	153,2	129,0	91,5	75,4	0,597	44,5%
1951-52	0,0	41,9	93,5	57,9	67,8	37,6	1,0	0,0	299,7	299,7	128,5	164,3	74,9	0,548	41,5%
1950-51	0,0	8,1	60,5	63,3	41,6	39,6	5,1	0,0	218,2	218,2	127,4	149,6	64,6	0,686	35,3%
1949-50	0,0	44,0	17,8	59,0	103,4	54,9	2,1	0,0	281,2	281,2	87,5	219,4	64,5	0,780	32,8%
1948-49	0,0	5,8	38,4	55,7	37,4	48,2	12,2	0,0	197,7	197,7		153,5		0,776	
1947-48	0,0	24,9	41,4	52,8	40,1	23,3	0,0	0,0	182,5	182,5		116,2		0,637	
					MOYENNE 50 ANS :				219,0						
1946-47	8,6	31,5	89,2	70,6	83,8	45,2	24,4	0,0	353,3	353,3		224,0		0,634	
1945-46	3,8	36,6	25,4	78,7	52,3	3,3	9,7	0,0	209,8	209,8		144,0		0,686	
1944-45	0,0	54,8	78,7	69,1	28,0	12,5	0,0	0,3	243,4	243,4		109,9		0,452	
1943-44	0,0	11,1	48,5	48,6	58,7	22,8	15,5	0,0	205,2	205,2		145,6		0,710	
1942-43	1,8	22,3	104,1	53,4	56,4	51,3	24,7	0,0	314,0	314,0		185,8		0,592	
1941-42	0,0	6,6	38,1	51,3	74,5	56,4	24,4	0,0	251,3	251,3		206,6		0,822	
					MOYENNE 56 ANS :				223,7						

PRECIPITATIONS MESURES EN EQUIVALENT-EAU.

MOYENNE: 223,7 ECART-TYPE: 59,5

moy.	1,8	22,9	50,9	49,3	49,1	36,5	12,1	1,1	223,7

ANNEXE B RÉPARTITION DE L'ÉLIMINATION DE LA NEIGE AU COURS DES HIVERS 1984-1985 À 1996-1997

RÉPARTITION DE L'ÉLIMINATION DE LA NEIGE

HIVERS	CHUTE À L'ÉGOUT		FLEUVE		CARRIÈRE		DÉPÔT DE SURFACE		FONDEUSE		TOTAL
	VOL. (m3)	%	VOL. (m3)	%	VOL. (m3)	%	VOL. (m3)	%	VOL. (m3)	%	VOL. (m3)
1984-85	1 610 612	20,1	2 742 121	34,3	1 937 570	24,2	1 612 238	20,2	98 509	1,2	8 001 050
1985-86	1 297 010	19,9	2 181 609	33,5	1 692 854	26,0	1 276 586	19,6	73 206	1,1	6 521 265
1986-87	2 759 189	22,8	3 699 456	30,5	2 957 266	24,4	2 544 817	21,0	152 386	1,3	12 113 114
1987-88	1 482 483	21,1	2 141 368	30,4	1 751 156	24,9	1 572 208	22,3	89 327	1,3	7 036 542
1988-89	1 101 272	22,7	1 395 907	28,8	1 152 303	23,8	1 131 179	23,3	66 188	1,4	4 846 849
1989-90	1 152 978	21,5	1 479 507	27,6	1 288 912	24,0	1 376 517	25,7	63 868	1,2	5 361 782
1990-91	2 252 250	27,3	2 292 673	27,8	1 689 268	20,5	1 904 331	23,1	99 566	1,2	8 238 088
1991-92	1 655 500	23,1	1 930 068	26,9	1 549 711	21,6	2 039 839	28,4	0	0,0	7 175 118
1992-93	1 976 767	20,3	2 751 088	28,2	2 027 239	20,8	2 984 377	30,6	0	0,0	9 739 471
1993-94	2 043 849	19,1	3 039 665	28,5	2 474 817	23,2	3 119 462	29,2	0	0,0	10 677 793
1994-95	996 090	20,3	1 065 102	21,7	1 186 703	24,1	1 670 738	34,0	0	0,0	4 918 633
1995-96	989 832	20,1	1 016 603	20,7	1 374 588	28,0	1 535 440	31,2	0	0,0	4 916 463
1996-97	1 764 617	16,9	2 448 304	23,4	3 481 126	33,3	2 774 884	26,5	0	0,0	10 468 931
Moyenne	1 621 727	21,2	2 167 959	27,9	1 889 501	24,5	1 964 817	25,8	49 465	0,7	7 693 469

ANNEXE C BREF HISTORIQUE DES DIFFÉRENTES POLITIQUES D'ÉPANDAGE DE LA VILLE DE MONTRÉAL

HISTORIQUE

La politique d'épandage est demeurée inchangée pendant plusieurs années, pour ensuite être soumise à de nombreuses modifications au cours des hivers 1990-1991, 1991-1992. Ce n'est qu'au cours des quatre derniers hivers qu'une certaine stabilisation s'est faite sentir, soit depuis l'obtention et la mise en application des recommandations de l'École polytechnique.

Jusqu'à l'hiver 1989-1990 (incl.)

Pour les chaussées, la politique préconise l'emploi de sel pur jusqu'à -10 °C, mais avec des taux qui varient selon la température. Sous les -10 °C, un mélange sel-pierre (33-67 %) est utilisé. Certains secteurs bénéficient d'un double-taux, entre autres le Centre-Ville.

TEMPÉRATURE	*MATÉRIAUX*	*TAUX*
> -5 °C	*sel*	*400 kg/km-2 voies*
-7 > T° > -5 °C	*sel*	*600 kg/km-2 voies*
-10 > T° > -7 °C	*sel*	*800 kg/km-2 voies*
< -10 °C	*1 sel: 2 pierre*	*600 kg/km-2 voies*

À la fin de l'hiver 1989-1990, une pénurie de sel oblige au maintien du mélange 1 sel : 2 pierre à toutes températures.

Sur les trottoirs, on épand un mélange sel-sable (33-67 %), au taux de 250 g/m.ca.

Hiver 1990-1991

Pour les chaussées, on emploie du sel pur avant le 1er décembre et après le 1er mars. Entre ces dates, on utilise un mélange sel-pierre dans les proportions respectives 33-67 %, à toute température. Le taux est fixé à 400 kg/km-2 voies. Le double-épandage dans certains secteurs est aboli.

Pour les trottoirs, il n'y a aucun changement. On songe toutefois à modifier le choix de l'abrasif, c'est-à-dire utiliser de la pierre concassée au lieu du sable.

On constate qu'il y a beaucoup de pierre dans les rues, et on appréhende qu'à long terme, le réseau d'égout pourrait en être surchargé.

Hiver 1991-1992

Pour les chaussées, on épand un mélange 50-50 % de sel-pierre, à toute température, durant tout l'hiver. Le taux est baissé à 300 kg/km-2 voies (ou 50 g/m.ca.), en accord avec les premières recommandations de l'École polytechnique.

Pour les trottoirs, on essaie un nouveau mélange : sel-pierre dans les proportions 10-90 %, à toute température, à un taux de 125 g/m.ca. Ce mélange offre les avantages suivants :

- *meilleure persistance que le sable (donc diminution possible du nombre d'interventions);*
- *moins de transport de sable via les déplacements piétonniers et, incidemment, moins de dommages dans les édifices (ex. : hall d'entrées, stations de métro);*
- *moins dispendieux que le mélange sel-sable 33-67 %.*

Encore une fois cependant, on retrouve beaucoup de pierre dans les rues. Par rapport à l'hiver 1990-1991, une plus grande quantité a été utilisée.

Hiver 1992-1993

La politique commence à prendre forme, grandement influencée par le rapport final de l'École polytechnique.

Les secteurs d'intervention en matière d'épandage sont catégorisés (rues principales, secondaires, pentes, cas spéciaux) selon des critères bien précis. Le concept d'épandage en continu, à raison d'un taux correspondant à la fonte de 2 cm de neige, cède la place à l'épandage ***"discontinu"*** *lors de la précipitation (même sur les artères principales) et* ***"à tous les 2,5 cm"****. Cela favorise une économie importante au niveau de l'utilisation des matériaux.*

Pour les chaussées, on épand du sel jusqu'à une température de -14 °C. Sous cette dernière, on utilise un mélange 50-50 % de sel-pierre. Le taux d'épandage demeure à 50 g/m.ca.

Pour les trottoirs, le mélange 10-90 % de sel-pierre est maintenu.

Hivers 1993-1994 et 1994-1995

La politique se stabilise.

Pour les chaussées, on épand du sel jusqu'à une température de -14 °C. Entre -15 et -20 °C, on utilise un mélange 50-50 % de sel-pierre. Sous les -20 °C, on utilise le mélange couramment employé pour les trottoirs, soit le mélange 10-90 % de sel-pierre. Le taux d'épandage demeure à 50 g/m.ca.

Aucun changement pour les trottoirs.

Hiver 1995-1996

La politique subit une modification mineure relative aux températures, en ce qui a trait à l'épandage sur les chaussées.

TEMPÉRATURE	POLITIQUE 1994-1995	POLITIQUE 1995-1996
jusqu'à -10 °C	sel pur	sel pur
de -11 à -15 °C	sel pur	sel : pierre (1:1)
de -16 à -20 °C	sel : pierre (1:1)	sel : pierre (1:9)
sous les -20 °C	sel : pierre (1:9)	sel : pierre (1:9)

Le taux d'épandage est inchangé. Quant aux trottoirs, il n'y a aucune modification.

Cette évolution de la politique, au fil des six dernières années, s'est traduite par une réduction de la consommation de sel d'environ 40 %, d'un choix de matériaux plus adéquat, tout en maintenant le même niveau de sécurité pour les usagers des voies publiques.

ANNEXE D GUIDE D'ÉPANDAGE SELON LES PRÉVISIONS ATMOSPHÉRIQUES - HIVER 1996-1997

Ville de Montréal

Service des travaux publics
Division technique
Bureau technique - Déneigement et projets spéciaux

Guide d'épandage selon les prévisions atmosphériques hiver 1996-1997

Endroits	Verglas	Trace à 1,0 cm	1,1 cm et +	Après chargement
Chaussées principales	épandage en continu 1 passage au début 1 passage/2 heures	épandage en discontinu 50 m avant arrêt 1 passage au début	épandage en continu 1 passage au début *[précipitation de + de 3 hres*]* 1 passage après déblaiement final	épandage en discontinu 50 m avant arrêt 1 passage
Chaussées secondaires	épandage en continu 1 passage au début 1 passage/2 heures	épandage en discontinu 33 m avant arrêt 1 passage au début	épandage en discontinu 33 m avant arrêt 1 passage au début 1 passage après déblaiement final	épandage en discontinu 33 m avant arrêt 1 passage
Cas particuliers	épandage en continu 2 passages au début 2 passages/2 heures	épandage en continu 1 passage au début	épandage en continu 1 passage au début 1 passage/2,5 cm	épandage en continu 1 passage
–Pentes fortes (≥ 8%)	voir Cas particuliers	voir Cas particuliers	épandage en continu 2 passages au début 2 passages/2,5 cm	voir Cas particuliers

* 1 passage discontinu, 50m avant arrêt, à toutes les 3 heures durant la précipitation.

Température	Matériaux à épandre			
0° à –10°C	sel	sel	sel	sel
–11° à –15°C	-----	sel–pierre (1:1)	sel–pierre (1:1)	sel–pierre (1:1)
≤ –16°C	-----	pierre/sel (9:1)	pierre/sel (9:1)	pierre/sel (9:1)

sel : NaCl

Endroits	Verglas	Trace à 2,4 cm	2,5 cm et +
Trottoirs	épandage en continu 1 passage au début	au besoin 1 passage après la fin du déblaiement	épandage en continu ou au besoin 1 passage après la fin du déblaiement

Température	Matériaux à épandre		
≤ 0°C	pierre/sel (9:1)	pierre/sel (9:1)	pierre/sel (9:1)

Indépendamment du guide, les gestionnaires et les opérateurs se doivent de prendre les actions appropriées, selon les conditions des chaussées et des trottoirs, pour assurer la sécurité des déplacements en tout temps.

ANNEXE E PRÉCIPITATION ET TEMPÉRATURE MOYENNE JOURNALIÈRE DE L'HIVER 1996-1997

DATE	OCTOBRE				NOVEMBRE				DECEMBRE				JANVIER				FEVRIER				MARS				AVRIL			
		Précipitation				Précipitation				Précipitation				Précipitation				Précipitation				Précipitation				Précipitation		
	Temp. moy. (°C)	Pluie (mm)	Neige (cm)	Total (mm)	Temp. moy. (°C)	Pluie (mm)	Neige (cm)	Total (mm)	Temp. moy. (°C)	Pluie (mm)	Neige (cm)	Total (mm)	Temp. moy. (°C)	Pluie (mm)	Neige (cm)	Total (mm)	Temp. moy. (°C)	Pluie (mm)	Neige (cm)	Total (mm)	Temp. moy. (°C)	Pluie (mm)	Neige (cm)	Total (mm)	Temp. moy. (°C)	Pluie (mm)	Neige (cm)	Total (mm)
1	15,2				3,3		TR	TR	6,9	16,6		16,6	-16,1		0,4	0,4	-3,9		4,0	2,4	0,0	9,8		9,8	0,7			
2	13,3	3,5		3,5	-0,5		TR	TR	4,0	14,2	0,4	14,6	-10,8	TR	2,2	2,2	-4,0		TR	TR	1,0	10,4		10,4	2,8			
3	3,3				-0,7				0,7		TR	TR	-6,9	TR	4,4	4,4	-5,9		0,8	0,4	-6,7				1,8	TR		TR
4	3,1				3,7				1,3		0,4	0,4	-3,1	3,8	TR	3,8	-6,4		6,8	6,6	-6,3		8,6	4,0	4,4			
5	3,5				4,5		TR	TR	0,4				1,5	14,8		14,8	-3,8		16,5	16,7	-2,6		0,6	0,6	4,9	1,6		1,6
6	9,6				5,9	TR		TR	0,1		TR	TR	-1,8		1,2	1,2	-4,8		TR	TR	-4,4		17,6	17,6	10,0	8,6		8,6
7	12,9				12,2	0,5		0,5	0,5	0,4	TR	0,4	-9,6		TR	TR	-7,5		1,0	0,4	-8,1				5,2	0,6	0,2	0,8
8	11,6				15,0	93,5		93,5	-0,5	TR	6,8	6,8	-11,9		TR	TR	-17,4				-9,3		TR	TR	-4,0		TR	TR
9	11,4				6,9	40,5		40,5	-0,7	TR		TR	-11,5		9,0	9,0	-14,3				-9,4				-6,1			
10	6,5	14,0		14,0	3,3	0,5		0,5	-3,7		2,0	2,0	-5,8		13,2	14,2	-5,9		0,8	0,8	-0,5		5,2	5,2	-3,0			
11	2,1				-0,3		TR	TR	-2,5		0,4	0,4	-8,1		0,2	0,2	-11,8		2,0	1,8	-2,8		TR	TR	1,3			
12	7,0	0,5		0,5	-2,3		0,2	0,4	-0,6	0,2	TR	0,2	-10,6		0,8	0,8	-7,5		4,2	4,0	-9,0		0,4	0,6	2,3	0,2	5,0	5,2
13	12,3	1,5		1,5	-5,0		TR	TR	2,0	0,6		0,6	-8,6				-17,9				-12,1				1,6	4,4	0,4	4,8
14	6,6				-6,0		TR	TR	1,5	2,4	8,8	11,2	-6,0		1,6	1,4	-12,7	TR	10,8	10,8	-7,8	0,8	21,4	24,4	0,6			
15	2,0				-7,4				1,3	TR		TR	-2,0				-8,7	TR	TR	TR	-5,3		0,4	0,4	1,7			
16	9,7				-4,3				3,3	2,4		2,4	-9,3	TR	1,2	1,4	-17,4				-10,9				8,8	TR		TR
17	6,2				0,7				6,3	1,6		1,6	-24,4		TR	TR	-18,9		TR	TR	-7,3		3,5	3,5	5,0			
18	8,6				0,1	7,0		7,0	3,7	0,2		0,2	-25,6		TR	TR	-2,0	TR	TR	TR	-7,3				1,7	11,8	21,0	42,2
19	10,3				0,9	3,6	8,0	11,6	-0,6		2,8	2,4	-17,4		TR	TR	1,1	7,6	3,2	10,8	-7,0				4,0	5,2		5,2
20	8,9	11,0		11,0	0,1	TR	0,6	0,6	-6,0		1,0	1,0	-6,9		3,8	2,8	-7,3		TR	TR	-2,6		TR	TR	4,1			
21	6,2	31,0		31,0	-1,6		0,6	0,6	-6,9		TR	TR	-12,3				-1,4	20,8		20,8	-4,6		4,2	4,6	8,0			
22	7,9	2,0		2,0	-0,8				-2,1		2,8	2,4	-1,3	7,6	1,2	9,8	-6,5	3,0	0,6	6,2	-5,8		TR	TR	10,6			
23	10,5	2,0		2,0	-4,6	2,0	5,0	7,0	0,4	0,6	1,2	1,8	-6,4	TR	TR	TR	-9,3		6,4	3,0	-11,8				8,9			
24	10,0	0,5		0,5	-10,6				2,4	9,2	0,8	10,0	-12,8		15,4	16,6	-12,1		9,2	2,2	-9,0				8,7			
25	7,2				-6,0		1,8	1,0	-7,7		TR	TR	-3,7	8,8	1,0	10,2	-12,7		TR	TR	-3,9	3,2	5,2	8,4	9,9	TR		TR
26	7,7				-3,2		0,6	0,6	-7,9		6,2	6,0	-16,6		TR	TR	0,0	1,6		1,6	1,4	1,0	TR	1,0	8,2			
27	9,5	0,5		0,5	-6,5				-7,5		0,8	0,6	-14,7		11,8	11,6	0,1	2,9	4,2	7,9	2,9		TR	TR	8,4			
28	10,3				-7,2		TR	TR	-2,0	2,6	0,2	2,8	-9,2		9,6	9,2	-2,4		TR	TR	4,4				8,0	28,5		28,5
29	5,4				-3,8		TR	TR	0,1	4,4	0,6	5,0	-19,1		TR	TR					6,3	3,8		3,8	8,3			
30	7,5	7,5	TR	7,5	1,3	TR	TR	TR	-8,9				-20,5								2,1	0,4	1,0	1,6	16,0			
31	5,3	0,5		0,5					-17,5		TR	TR	-12,3		6,8	6,0					-1,5		4,4	4,4				

ANNEXE F RÉSULTATS BRUTS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES NEIGES USÉES DE LA VILLE DE MONTRÉAL

Résultats bruts des analyses physico-chimiques des neiges usées de la première série d'échantillons (tempête du 9-10 janvier 1997)

			Rues principales						Rues secondaires					
			Réné-Lévesque			Du Parc			Redpath			Esplanade		
	Paramètres	Unités	#1	#2	#3	#1	#2	#3	#1	#2	#3	#1	#2	#3
1	Azote amm.	mg/L	0,67	0,75	1,26	0,90	0,93	0,61	0,59	0,63	0,63	0,42	0,70	0,62
2	Cadmium (Cd)	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
3	Calcium (Ca)	mg/L	383	372	480	221	490	205	295	350	330	213	314	250
4	Chlorures	mg/L	5820	6125	18230	5800	12320	3610	9000	10550	10900	3560	3650	3025
5	Chrome (Cr)	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
6	Conductivité	umhos	17000	18500	54400	17200	36800	10670	27850	35030	34780	12030	12250	10860
7	Cuivre (Cu)	mg/L	0,4	0,37	0,52	0,32	0,5	0,28	0,28	0,31	0,35	0,28	0,38	0,33
8	DBO	mg/L	20,8	24,8	47,1	20,6	35,1	17,8	28,8	76,5	27,4	17,0	30,9	28,8
9	DCO	mg/L	284	599	1041	315	662	95	126	158	284	126	63	95
10	Dureté totale	mg/L	340	400	610	340	600	270	320	400	420	240	240	220
11	Fer (Fe)	mg/L	25,0	22,5	30,0	16,8	31,0	12,3	13,8	14,6	10,8	15,2	20,3	18,9
12	M.E.S.	mg/L	1339	1240	1603	765	1804	659	734	674	631	336	733	651
13	Magnésium (Mg)	mg/L	30,0	31,5	33,5	17,3	34,0	13,0	23,2	26,7	24,0	16,5	23,0	21,0
14	Manganèse (Mn)	mg/L	0,77	0,75	1,07	0,51	1,01	0,41	0,41	0,5	0,41	0,45	0,7	0,59
15	Matières totales	mg/L	9792	10333	30667	9500	22217	5938	14204	17408	18022	5830	6435	5478
16	Nitrates	mg/L	1,040	1,340	1,160	1,130	1,040	0,650	0,830	0,370	0,440	0,380	0,570	0,400
17	pH	-	8,64	8,61	8,48	8,58	8,58	8,91	8,06	8,09	8,16	8,35	8,4	8,4
18	Phosp. inorg.	mg/L	4,76	4,21	5,14	5,14	4,04	20,33	1,28	1,07	0,93	0,66	1,00	0,93
19	Plomb (Pb)	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
20	Potassium (K)	mg/L	6,5	6,8	16,0	5,0	10,5	4,5	6,6	6,3	5,6	4,5	6,2	5,5
21	Sodium (Na)	mg/L	3500	3900	12600	3700	8910	2330	5400	7000	7300	2430	2400	2050
22	Sulfates	mg/L	155	108	239	151	233	96	179	210	242	87	98	100
23	Turbidité	UTN	350	320	480	200	470	155	170	140	120	110	150	120
24	Zinc (Zn)	mg/L	0,73	0,68	1,10	0,55	1,00	0,60	0,58	0,65	0,48	0,60	0,68	0,46

Résultats bruts des analyses physico-chimiques des neiges usées de la deuxième série d'échantillons (tempête du 27-28 janvier 1997)

			Rues principales						Rues secondaires					
			Des Pins			Ontario			Rivard			Du Fort		
	Paramètres	Unités	#1	#2	#3	#1	#2	#3	#1	#2	#3	#1	#2	#3
1	Azote amm.	mg/L	0,426	0,459	0,609	0,896	0,436	0,199	0,495	0,554	0,561	0,446	0,383	0,376
2	Cadmium (Cd)	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	-	-	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	-	-
3	Calcium (Ca)	mg/L	183	182	250	218	-	-	150	180	180	136	-	-
4	Chlorures	mg/L	1561	1911	3283	8109	4677	4603	3230	3920	4282	3077	1366	3935
5	Chrome (Cr)	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	-	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	-
6	Conductivité	umhos	5014	6084	10362	22195	13432	13582	9752	11569	12317	9361	4359	11535
7	Cuivre (Cu)	mg/L	0,45	0,55	0,63	0,55	-	-	0,4	0,51	0,61	0,82	-	-
8	Cyanures	mg/L	0,0247	0,0197	0,0216	0,0312	0,0190	0,0161	0,0125	0,0148	0,0158	0,0125	0,0083	0,0148
9	DBO	mg/L	19,6	16,4	18,0	31,0	16,0	21,2	18,8	16,2	14,0	11,0	20,6	8,8
10	DCO	mg/L	192	186	207	381	137	174	140	155	159	116	107	82
11	Dureté totale	mg/L	120	130	150	270	150	160	160	155	180	150	100	140
12	Fer (Fe)	mg/L	14,3	13,5	17,0	16,5	-	-	14,0	14,3	14,0	5,5	-	-
13	H & G minérales	mg/L	2,0	1,2	0,8	0,9	1,2	0,6	1,6	1,6	2,2	1,2	1,1	1,7
	H & G totales	mg/L	2,8	1,8	1,3	1,3	1,5	0,9	2,0	2,1	2,6	1,6	1,8	2,2
14	M.E.S.	mg/L	668	620	916	1140	456	580	498	563	522	314	150	212
15	Magnésium (Mg)	mg/L	14,3	14,3	18,1	16,5	-	-	16,0	19,5	19,0	4,6	-	-
16	Manganèse (Mn)	mg/L	0,43	0,42	0,52	0,42			0,45	0,56	0,45	0,15	-	-
17	Matières totales	mg/L	3306	3920	6592	10420	-	-	5840	7102	7583	5440	-	-
18	Nitrates	mg/L	0,855	0,879	0,964	1,169	0,999	0,955	0,916	0,881	0,888	0,954	0,870	0,903
19	pH	-	8,85	8,68	8,60	8,58	8,65	8,51	8,46	8,51	8,54	8,58	8,52	8,51
20	Phosp. inorg.	mg/L	1,06	0,96	1,04	1,28	0,56	0,60	0,62	0,60	0,60	0,28	0,64	0,22
21	Plomb (Pb)	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	-	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	-	-
22	Potassium (K)	mg/L	4,7	5,0	6,3	7,8	-	-	6,0	6,3	6,3	5,5	-	-
23	Sodium (Na)	mg/L	1240	1410	2490	4150	-	-	2250	2780	2900	2080	-	-
24	Sulfates	mg/L	32	43	53	167	108	95	80	87	113	72	33	65
25	Turbidité	UTN	1150	1150	1195	1115	1140	1150	105	125	125	83	54	53
26	Zinc (Zn)	mg/L	0,33	0,37	0,45	0,42	-	-	0,30	0,47	0,32	0,35	-	-

ANNEXE G ÉVOLUTION DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES DE PLOMB (Pb), DE DIOXYDE DE SOUFRE (SO_2) ET DE DIOXYDE D'AZOTE (NO_2) AU QUÉBEC ENTRE 1975 ET 1994

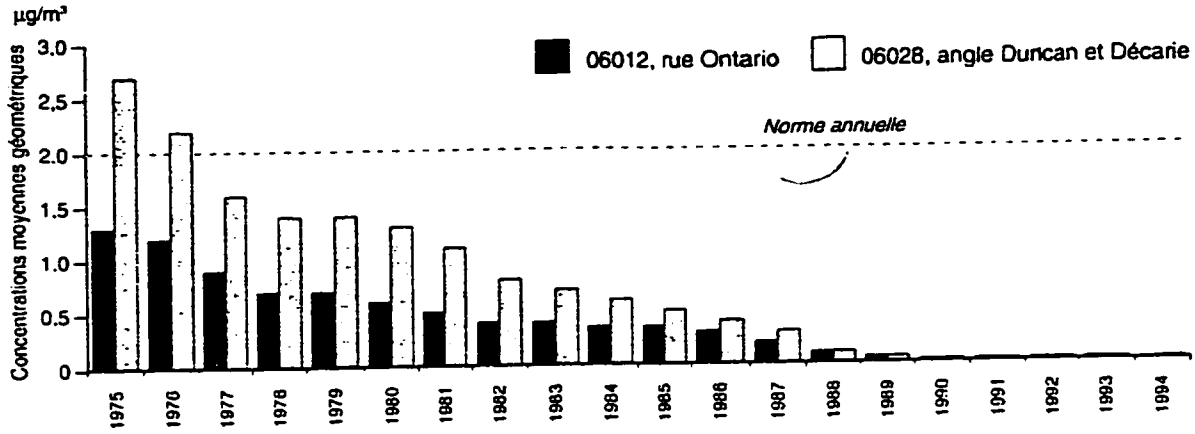


FIGURE 27 : Évolution des concentrations moyennes géométriques annuelles de plomb (Pb) à deux stations de la Communauté urbaine de Montréal entre 1975 et 1994

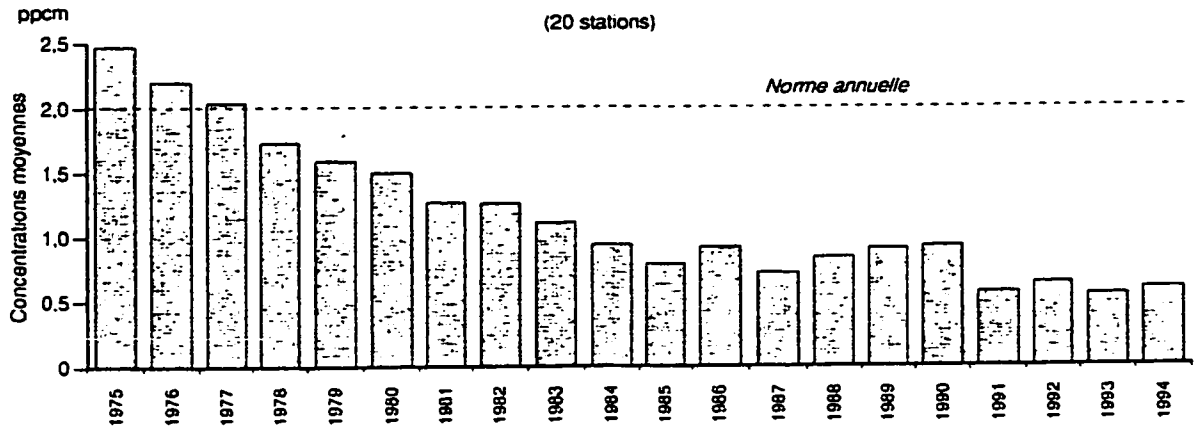


FIGURE 13 : Évolution des concentrations moyennes annuelles de dioxyde de soufre (SO_2) au Québec entre 1975 et 1994

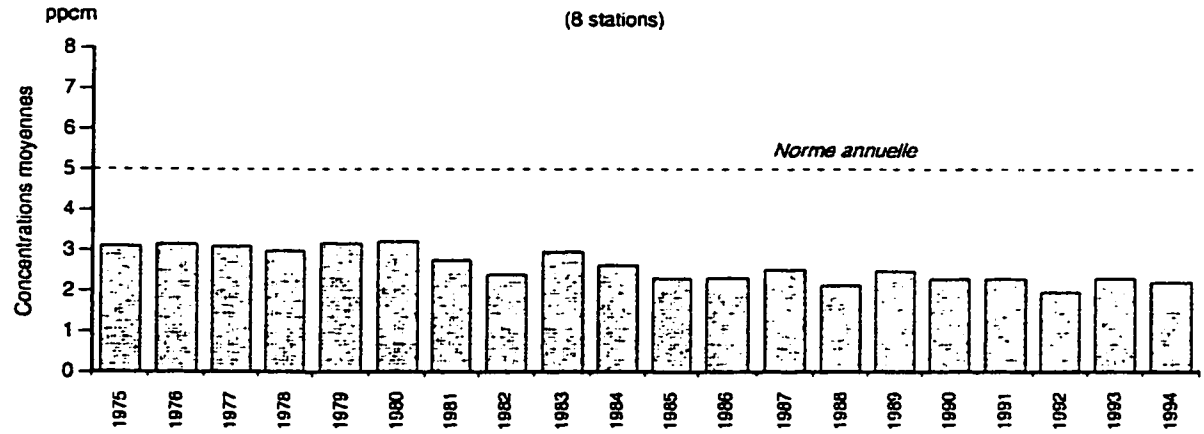


FIGURE 19 : Évolution des concentrations moyennes annuelles de NO_2 au Québec entre 1975 et 1994

ANNEXE H SPÉCIFICATION DU SEL DE DÉGLAÇAGE

PRODUCT DATA

sifto

6

PRODUIT : Sel anti-glace

INSTALLATION DE PRODUCTION : Mine de Goderich (Ontario)

DESCRIPTION DU PRODUIT : Sel gemme extrait au moyen de procédés miniers traditionnels, broyé, tamisé et trié au calibre voulu.

ANALYSE CHIMIQUE TYPE : (moyenne sur 1 an)

	POURCENTAGE EN POIDS Sol./acide	Sol./eau
Chlorure de sodium NaCl	98,6	98,6
Sulfate de calcium $CaSO_4$	1,09	1,09
Carbonate de calcium $CaCO_3$	0,15	-
Carbonate de magnésium $MgCO_3$	0,11	-
Chlorure de magnésium $MgCl_2$	0,02	0,02
Insolubles	0,06	0,32
Humidité H_2O (%)	0,06	

Addition de PJS jusqu'à 150 p.p.m. (vrac seulement) à la demande du client pour empêcher l'agglutination.

ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE TYPE :

Tyler	Équiv. U.S.S.	Ouverture (mm)	% cumulatif
0,371 po	0,375 po	9,51	1
3	0,265 po	6,68	10
4	4	4,76	30
6	6	3,33	50
8	8	2,38	70
28	30	0,589	95
60	60	0,250	98
Total			100

DENSITÉ APPARENTE 1220 kg/m³ (76 lb/pi³)

CONDITIONNEMENT	CODE
- Sac plastique de 20 kg	6716
- Sac plastique de 40 kg	6718
- Vrac	6615
- Vrac	6751

JANVIER 1990

ANNEXE I RÉSULTATS DES ANALYSES DE CORRÉLATION SUR LES DONNÉES DE LA VILLE DE MONTRÉAL

	Azote amm.	*Calcium*	*Chlorures*	*Conductivité*	*Cuivre*	*Cyanures*	*DBO*	*DCO*	*Dureté totale*
Azote amm.	1								
Calcium (Ca)	0,711052582	1							
Chlorures	0,753632971	0,800885844	1						
Conductivité	0,732681441	0,807996655	0,99598125	1					
Cuivre (Cu)	-0,02159845	-0,227417409	-0,096589879	-0,135914327	1				
Cyanures	0,622329619	0,69338508	0,527177392	0,519561393	-0,200088621	1			
DBO	0,486691099	0,606718314	0,670229482	0,709407589	-0,303658517	0,585197733	1		
DCO	0,804599431	0,731082404	0,786567664	0,755319249	0,129652707	0,869767525	0,376693685	1	
Dureté totale	0,812047915	0,909092043	0,903918359	0,906620541	-0,266109562	0,615521301	0,628118011	0,799421234	1
Fer (Fe)	0,739839573	0,827393764	0,552895021	0,530498672	-0,130708633	0,58102807	0,346558907	0,750104459	0,701141182
H & G totales	-0,007085806	-0,384210345	-0,417764941	-0,440725996	-0,410077459	-0,111235694	-0,378517492	-0,301193407	-0,304547806
M.E.S.	0,803364279	0,837396998	0,685232088	0,657642397	0,033663554	0,876049155	0,416884409	0,829032629	0,798920434
Magnésium	0,638706624	0,930861168	0,711701005	0,717966208	-0,325369179	0,234442574	0,565515585	0,668615283	0,814288624
Manganèse	0,740769845	0,850974247	0,600850461	0,586049836	-0,139036971	0,212349545	0,38444294	0,766307819	0,731291114
Matières tot.	0,778039495	0,829530103	0,991357881	0,990565966	-0,075286315	0,325995581	0,657840904	0,793857999	0,919404314
Nitrates	0,32092719	0,154656433	0,142243109	0,069188139	0,439970195	0,620709904	-0,255828067	0,534313738	0,116946499
pH	-0,042227482	-0,256185625	-0,407193955	-0,460552049	0,336497285	0,56585312	-0,519131932	0,073990994	-0,279625992
Phosp. inorg.	0,302715598	0,123560362	0,116242247	0,099956355	-0,315793792	0,798246478	0,011310522	0,171797884	0,305136023
Potassium (K)	0,831514302	0,708736738	0,828889591	0,798962144	0,217633847	0,355741528	0,446694173	0,882146939	0,723940455
Sodium (Na)	0,775622952	0,814748608	0,990454521	0,990038361	-0,070602896	0,334911851	0,658111666	0,794418857	0,913364363
Sulfates	0,693547317	0,75372724	0,92332541	0,927850365	-0,251310965	0,42134125	0,657514898	0,599461433	0,89150837
Turbidité	-0,079462762	-0,05610997	-0,069917136	-0,102336771	0,37475543	0,755039152	-0,083780617	0,139196868	-0,194074076
Zinc (Zn)	0,752827131	0,905556861	0,756167226	0,752803218	-0,235691398	0,313590342	0,518217913	0,736790733	0,881910554
	Coefficient de corrélation > 80%								
Nb. de coefficients de corrélation > 80%	4	10	8	6	0	2	0	4	9

	Fer (Fe)	*H & G totales*	*M.E.S.*	*Magnésium*	*Manganèse*	*Matières tot.*	*Nitrates*	*pH*	*Phosp. inorg.*
Azote amm.									
Calcium (Ca)									
Chlorures									
Conductivité									
Cuivre (Cu)									
Cyanures									
DBO									
DCO									
Dureté totale									
Fer (Fe)	1								
H & G totales	-0,019076484	1							
M.E.S.	0,897184804	-0,282696206	1						
Magnésium	0,838045262	0,190505307	0,781024299	1					
Manganèse	0,973886416	0,169730873	0,853745325	0,871535884	1				
Matières tot.	0,589058362	-0,440629402	0,678263183	0,739397595	0,649253796	1			
Nitrates	0,377631955	-0,620451241	0,450760045	0,173470824	0,317377088	0,164213735	1		
pH	0,090132344	0,305874634	0,11390621	-0,305786842	0,037190909	-0,392215379	0,485023297	1	
Phosp. inorg.	0,120264112	-0,105084198	0,272477028	0,018718779	0,13594942	0,069629658	0,046669594	0,4557319	1
Potassium (K)	0,725216942	-0,510905892	0,759033525	0,639521089	0,762624281	0,844609139	0,424428909	-0,083089773	0,028971877
Sodium (Na)	0,576768396	-0,432598062	0,662526962	0,721119636	0,63976134	0,99900687	0,149430026	-0,387938364	0,070532496
Sulfates	0,450464958	-0,315393141	0,627493914	0,688283959	0,480668382	0,899493039	-0,011699012	-0,492988388	0,136575033
Turbidité	0,11944464	-0,417057319	0,222162891	-0,114130881	0,018197826	-0,110930279	0,370258914	0,42971408	-0,135810162
Zinc (Zn)	0,828531989	-0,536511758	0,781268135	0,797514393	0,861207366	0,785423227	0,169875193	-0,115671785	0,320679676
	Coefficient de corrélation > 80%								
Nb. de coefficients de corrélation > 80%	5	0	5	3	5	7	0	0	0

	Potassium	*Sodium*	*Sulfates*	*Turbidité*	*Zinc*
Azote amm.					
Calcium (Ca)					
Chlorures					
Conductivité					
Cuivre (Cu)					
Cyanures					
DBO					
DCO					
Dureté totale					
Fer (Fe)					
H & G totales					
M.E.S.					
Magnésium					
Manganèse					
Matières tot.					
Nitrates					
pH					
Phosp. inorg.					
Potassium (K)	1				
Sodium (Na)	0,846014159	1			
Sulfates	0,604974203	0,892907178	1		
Turbidité	0,095447867	-0,10876133	-0,181137525	1	
Zinc (Zn)	0,747897034	0,778985619	0,657285517	-0,145186121	1
	Coefficient de corrélation > 80%				
Nb. de coefficients de corrélation > 80%	5	7	5	0	4

ANNEXE J ORIGINE DES ÉMISSIONS ATMOSPHÉRIQUES D'OXYDES D'AZOTE (NO_x) ET DE DIOXYDE DE SOUFRE (SO_2) AU QUÉBEC EN 1994 (EN POURCENTAGE)

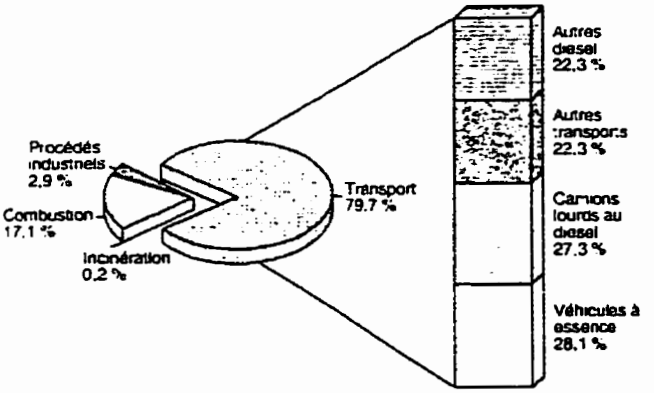


FIGURE : Origine des émissions atmosphériques d'oxydes d'azote (NO_x) au Québec en 1994 (en pourcentage)

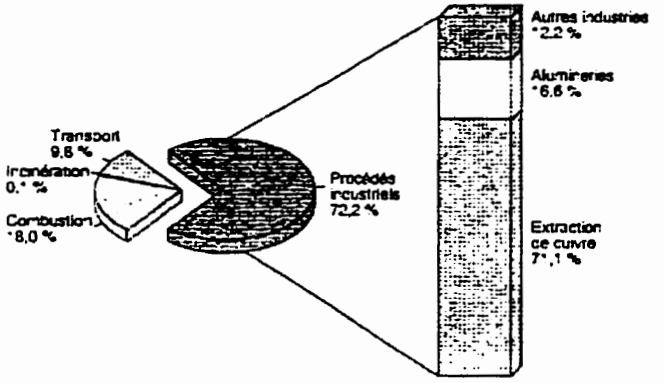


FIGURE : Origine des émissions atmosphériques de dioxyde de soufre (SO_2) au Québec en 1994 (en pourcentage)

ANNEXE K RÉSULTATS DES ANALYSES DE CORRÉLATION SUR LES DONNÉES DE L'UNION DES MUNICIPALITÉS DU QUÉBEC

	BEEP	*Toximesure*	*Azote amm.*	*Calcium*	*Chlorures*	*Conductivité*	*Cuivre*	*Cyanures*	*DBO*
BEEP	1								
Toximesure	0,614665444	1							
Azote amm.	0,434970677	0,810758345	1						
Calcium (Ca)	0,342489384	0,342781468	0,463965585	1					
Chlorures	0,46360665	0,443852839	0,506483872	0,875572088	1				
Conductivité	0,476744471	0,494490651	0,586815415	0,873417846	0,991042614	1			
Cuivre (Cu)	0,483123144	0,686856655	-0,014918903	-0,088605246	-0,227122857	-0,218035834	1		
Cyanures	0,479090469	0,762955704	0,922751018	0,898809799	0,579608719	0,641674846	-0,068556812	1	
DBO	-0,005194602	0,014199254	0,285786851	0,082598956	0,353616027	0,315651064	-0,478440602	0,315726961	1
DCO	0,323336884	0,216274593	0,254930006	0,928620983	0,914111234	0,895119618	-0,309456921	0,396061239	0,183759215
Dureté totale	0,509515706	0,525700071	0,627617481	0,961677455	0,875168261	0,914233851	-0,224216145	0,684968106	0,098025199
Fer (Fe)	0,244352702	0,34078026	0,6471991	0,864772351	0,892950695	0,859353938	-0,264191365	0,935179655	0,464118787
H & G totales	0,171299741	0,697580298	0,878713099	0,531988911	0,495700739	0,557634405	-0,183496592	0,891729441	-0,236648607
M.E.S.	0,492937148	0,787000729	0,928780206	0,051469915	0,405300994	0,487074523	0,091079521	0,930940087	0,357341855
Magnésium	0,479445391	0,423591723	0,654338413	0,904777247	0,841206349	0,857712468	-0,155786468	0,89788273	0,139579766
Manganèse	0,106974893	0,317263851	0,372040933	0,847500475	0,740540548	0,703738047	-0,261676972	0,738667687	0,199381305
Matières tot.	0,528857004	0,497874888	0,594063839	0,877817142	0,993321909	0,995383099	-0,218823912	0,656318878	0,354586417
Nitrates	0,731930325	0,609909906	0,436119671	0,753887217	0,71707215	0,72316407	0,15927178	0,379181862	0,033712903
pH	0,099577251	0,205427294	-0,187252598	0,402049578	0,2271085	0,175406042	0,534593066	-0,412434304	-0,096348384
Phosp. inorg.	0,635010439	0,869288828	0,811742943	0,451176364	0,672152479	0,689854012	0,130185432	0,797024331	0,568180199
Potassium (K)	0,260967054	0,210532549	0,546870835	0,845878499	0,916819032	0,887151134	-0,382419783	0,899036243	0,624025182
Sodium (Na)	0,404679989	0,268805642	0,584664398	0,864638165	0,9970895	0,98984206	-0,209573191	0,967203924	0,377573027
Sulfates	0,154483705	-0,018372287	0,050043355	0,819646464	0,667704612	0,684193241	-0,249523028	0,151596089	-0,104576726
Turbidité	0,389036805	0,218855966	0,108838293	0,246355544	0,292328325	0,263799977	-0,15052777	0,079521856	0,54741461
Zinc (Zn)	0,512467262	0,633397616	0,554122536	0,471844619	0,56116923	0,534072906	0,331835752	0,635386383	0,156157977
	Coefficient de corrélation > 80%								
Nb. de coefficients de corrélation > 80%	0	2	5	12	9	9	0	8	0

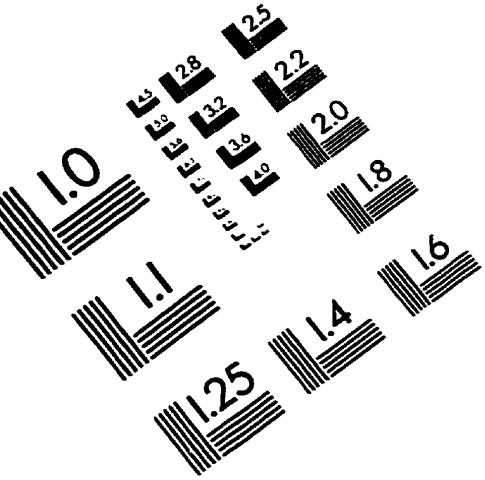
	DCO	*Dureté totale*	*Fer*	*H & G totales*	*M.E.S.*	*Magnésium*	*Manganèse*	*Matières tot.*	*Nitrates*
BEEP									
Toximesure									
Azote amm.									
Calcium (Ca)									
Chlorures									
Conductivité									
Cuivre (Cu)									
Cyanures									
DBO									
DCO	1								
Dureté totale	0,856170608	1							
Fer (Fe)	0,819213701	0,747742169	1						
H & G totales	0,341147156	0,598308569	0,537513211	1					
M.E.S.	0,339508098	0,665981967	0,007312046	0,710819175	1				
Magnésium	0,799449789	0,859654405	0,88487383	0,456178078	0,830645603	1			
Manganèse	0,79707751	0,654147923	0,900596892	0,567418846	0,011958457	0,847983479	1		
Matières tot.	0,889535542	0,89532548	0,928820936	0,553679475	0,605255448	0,835631598	0,741296848	1	
Nitrates	0,643981607	0,770187814	0,645892458	0,28892669	0,530844414	0,785170974	0,558229061	0,723530931	1
pH	-0,101951999	-0,103826889	0,504854954	-0,024812099	-0,259606289	-0,045932775	0,534529418	-0,044576238	0,525803105
Phosp. inorg.	0,418072467	0,607455056	0,771653582	0,65725094	0,877066741	0,58721148	0,54641196	0,729112412	0,645978585
Potassium (K)	0,837626605	0,790144553	0,930210808	0,431965134	0,00466073	0,737198226	0,778270172	0,941694598	0,59797078
Sodium (Na)	0,903999389	0,855477085	0,88681884	0,570267039	0,202489924	0,814331071	0,713810026	0,997287582	0,648865204
Sulfates	0,838539273	0,754948184	0,53219768	0,127192719	0,081383295	0,737809702	0,534939471	0,623073819	0,478120442
Turbidité	0,159502004	0,208277214	0,489335882	-0,225259513	0,194493491	0,479499649	0,300649429	0,261484934	0,450037211
Zinc (Zn)	0,394309462	0,297614017	0,689349048	0,330911376	0,649553215	0,534693523	0,643077737	0,572018131	0,487948273
	Coefficient de corrélation > 80%								
Nb. de coefficients de corrélation > 80%	9	7	10	2	4	10	3	9	0

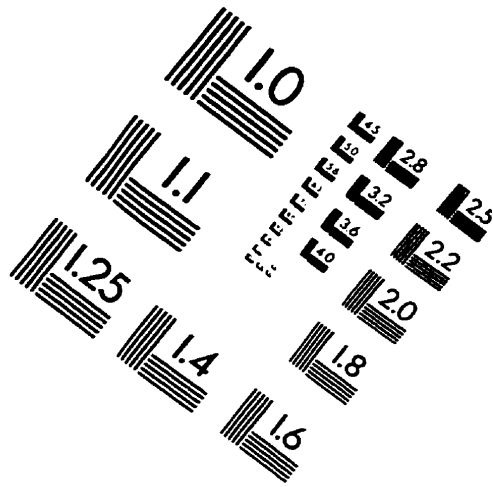
	pH	*Phosp. inorg.*	*Potassium*	*Sodium*	*Sulfates*	*Turbidité*	*Zinc*
BEEP							
Toximesure							
Azote amm.							
Calcium (Ca)							
Chlorures							
Conductivité							
Cuivre (Cu)							
Cyanures							
DBO							
DCO							
Dureté totale							
Fer (Fe)							
H & G totales							
M.E.S.							
Magnésium							
Manganèse							
Matières tot.							
Nitrates							
pH	1						
Phosp. inorg.	0,11274454	1					
Potassium (K)	0,431397207	0,683866162	1				
Sodium (Na)	0,195182317	0,651768883	0,920133314	1			
Sulfates	0,007148337	0,009918271	0,56807909	0,702863513	1		
Turbidité	0,395774983	0,429942072	0,429800685	0,296499197	0,057742887	1	
Zinc (Zn)	0,250464328	0,747934366	0,449344691	0,558332602	0,119535416	0,192256733	1
	Coefficient de corrélation > 80%						
Nb. de coefficients de corrélation > 80%	0	3	8	10	2	0	0

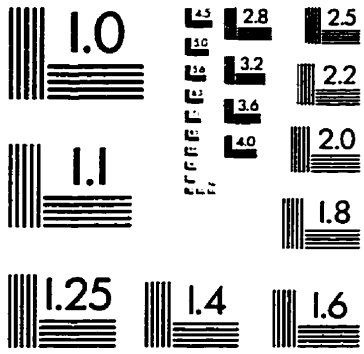
ANNEXE L QUANTITÉS DE FONDANTS ET D'ABRASIFS UTILISÉES À LA VILLE DE MONTRÉAL AU COURS DES HIVERS 1987-1988 À 1996-1997

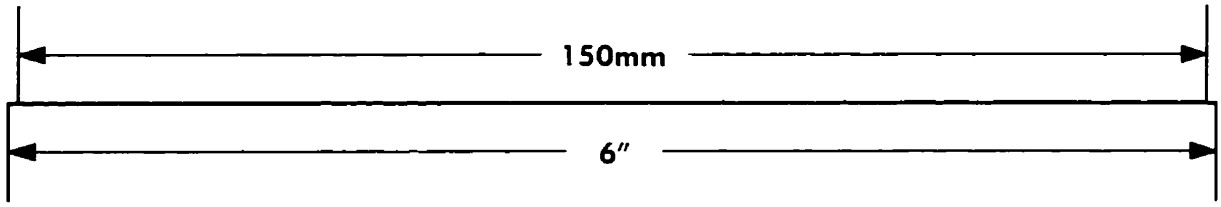
HIVERS	ACCUMULATIONS (CM)	FONDANTS ET ABRASIFS (tonnes métriques)				
		SEL	PIERRE	MÉLANGE (9 pierre : 1 sel)	SABLE	TOTAL/cm
1987-88	160,6	108500	11800	0	13200	133500
1988-89	205,2	133600	13100	0	15600	162300
1989-90	193,8	133500	26600	0	15900	176000
1990-91	195,5	76400	56100	0	12800	145300
1991-92	209,5	68200	70900	18800	0	157900
1992-93	235,1	72900	15100	9700	0	97700
1993-94	267,6	100200	15600	18300	0	134100
1994-95	179,3	70200	5300	11000	0	86500
1995-96	195,6	98300	8200	12200	0	118700
1996-97	319,7	85442	15454	20299	0	121195

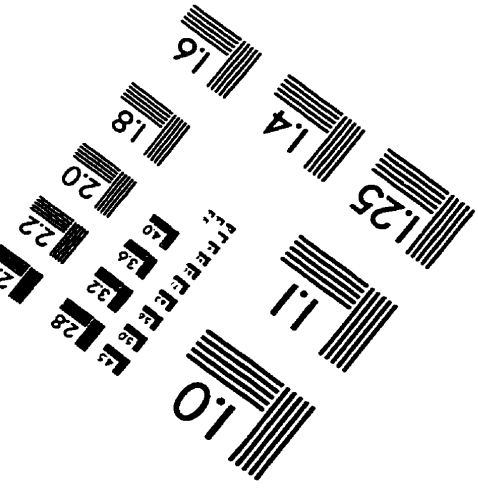
IMAGE EVALUATION
TEST TARGET (QA-3)

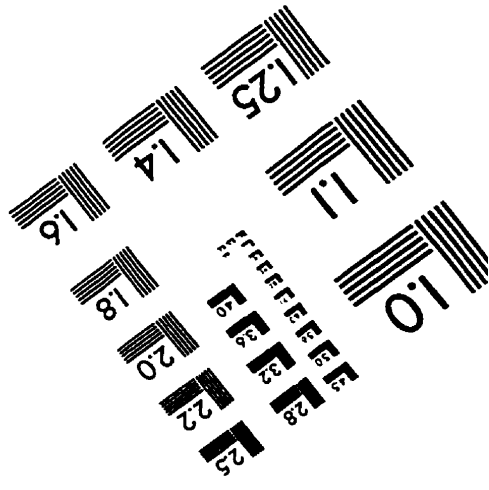












APPLIED IMAGE, Inc
1653 East Main Street
Rochester, NY 14609 USA
Phone: 716/482-0300
Fax: 716/288-5989

© 1993, Applied Image, Inc., All Rights Reserved