

Titre: Etude du dépôt de neiges usées sur le campus de l'Université de Montréal
Title: Montréal

Auteur: Nadia Troche
Author:

Date: 1997

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Troche, N. (1997). Etude du dépôt de neiges usées sur le campus de l'Université de Montréal [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie.
Citation: <https://publications.polymtl.ca/9116/>

Document en libre accès dans PolyPublie

Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/9116/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Claude E. Delisle
Advisors:

Programme: Non spécifié
Program:

NOTE TO USERS

The original manuscript received by UMI contains pages with broken and indistinct print. Pages were microfilmed as received.

This reproduction is the best copy available

UMI

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉTUDE DU DÉPÔT DE NEIGES USÉES
SUR LE CAMPUS DE L'UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

NADIA TROCHE

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)
AOÛT 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.

0-612-33190-3

Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé:

ÉTUDE DU DÉPÔT DE NEIGES USÉES
SUR LE CAMPUS DE L'UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

présenté par: TROCHE Nadia

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 à remercier mon directeur de recherche, le Dr Claude E. Delisle, pour le suivi et les conseils apportés lors de la réalisation de cette étude.

Je remercie également Messieurs Denis Bouchard et Marcel Dugal, techniciens au département de génie civil, section environnement, ainsi que M. C. Dallaire du laboratoire de géochimie analytique de l'École Polytechnique pour toute l'aide apportée lors de l'analyse des échantillons.

Ma gratitude va aussi à M. Hay, directeur de l'herbier du Jardin Botanique de Montréal, pour sa collaboration lors de l'identification de certains spécimens, ainsi qu'à M. Famelart et aux Amis de la Montagne pour les documents mis à ma disposition.

Nadia Troche

RÉSUMÉ

Le mont Royal étant un espace vert important pour les montréalais, nous avons répertorié la végétation des zones boisées entourant le dépôt de neiges usées de l'Université de Montréal et celle présente sur le dépôt proprement dit. La diversité des arbres, arbustes et plantes herbacées de ces boisés est représentative de la végétation des collines montréalaises qui offrent toujours une grande variété de plantes en un espace réduit. La végétation sur le dépôt, à l'été 1994, se différenciait selon deux zones bien distinctes: une zone centrale occupée par de la lampourde (*Xanthium chinensis*, alias *X. strumarium*), une plante annuelle riparienne également acclimatée aux terrains vagues et une zone périphérique recouverte d'une multitude de plantes annuelles et vivaces que l'on retrouvent généralement sur les terrains vagues. Cette végétation naturelle, volontairement détruite par des épandages d'herbicides en 1995, a été remplacée par des graminées à l'été 1996. Toutefois, certains indices laissent croire que la lampourde serait une alliée de taille lorsque l'on désire revégéter un dépôt de neiges usées.

La présence du dépôt engendre, dans les zones boisées soumises au ruissellement printanier et estival, un dépérissement des arbres et arbustes qui le bordent. Le suivi du contenu en chlorures et en sulfates des eaux de fonte étaye ces observations; la situation est particulièrement criante au voisinage immédiat du dépôt. Les mesures du pH des sols sur le dépôt et dans les zones boisées permettent à elles seules de démarquer les zones soumises au ruissellement: le ruissellement des eaux de fonte entraîne une augmentation du pH qui atteint des valeurs supérieures à 8. Les mesures du pH des sols du dépôt ont été faites en novembre; les pluies estivales ne lessivent donc jamais les sols au point d'annihiler complètement l'effet des sels de déglaçage.

Le pH élevé des eaux de fonte assure que des métaux lourds éventuellement présents ne seront pas solubilisés en grande quantité; le pH élevé des échantillons de neiges usées et l'analyse du contenu en métaux lourds de la fraction liquide ($\varnothing \leq 0,45 \mu\text{m}$) et de la fraction solide ($0,45 \mu\text{m} < \varnothing \leq 180 \mu\text{m}$) des échantillons de neiges usées (par spectrophotométrie d'absorption atomique) confirment cet état de fait.

La détermination des métaux par spectrophotométrie d'absorption atomique dans les sols témoins, les sols du dépôt en bordure et au centre et dans les échantillons provenant de la couche noirâtre à la surface du dépôt (avant sa fonte complète) montrent que:

- dans les sols témoins, les concentrations de cuivre, de fer et de manganèse sont plus élevées; par contre, les concentrations de chrome et de zinc y sont plus faibles; on attribue ces écarts à l'origine différente des sols témoins et des solides contenus dans les neiges usées; la contamination des neiges usées par la corrosion des métaux s'ajoute donc à un bruit de fond naturel difficilement dissociable;
- les concentrations de plomb plus élevées dans les sols témoins (143 ppm en moyenne) que dans les sols du dépôt et dans les échantillons prélevés dans la couche noirâtre à la surface du dépôt (99 ppm en moyenne) sont, dans l'ensemble, comparables à celles mesurées dans le nord-est des États-Unis;
- les concentrations de cadmium dans les sols témoins de la zone A1** ($< 1 \text{ ppm}$) sont moins élevées que celles mesurées dans les sols du dépôt (en bordure et au centre) et celles mesurées dans la couche noirâtre à la surface du dépôt (2,9 ppm en moyenne) et les concentrations de cadmium mesurées dans les zones touchées par le ruissellement des eaux de fonte (2,3 ppm en moyenne); ces chiffres nous permettent de croire que le cadmium, adsorbé sur des particules solides, est entraîné avec les eaux de fonte.

Le cadmium est en fait le seul métal lourd qui nécessite un suivi; on considère que, normalement, les sols non contaminés ne devraient pas contenir plus de 1 ppm; il y a

toutefois des sols qui, naturellement, en contiennent davantage. De toute manière, que le cadmium fixé à la matière organique contenue dans les neiges usées ait une origine naturelle ou non, cela n'autorise pas pour autant son déplacement vers les boisés.

Le captage des eaux de fonte réglerait les impacts environnementaux liés aux sels de déglaçage et au cadmium simultanément. Rappelons toutefois que le dépôt est situé sur le flanc nord du mont Royal, un site que la Ville de Montréal désire mettre en valeur. La mise en place d'ouvrages d'ingénierie se heurterait donc à de multiples difficultés; l'utilisation éventuelle d'une chute à l'égout, présentement à l'étude par la Ville d'Outremont, apparaît donc comme une alternative valable, malgré son coût élevé.

ABSTRACT

Mount Royal is part of essentially similar hills, named the « Montréal Hills », composed of consanguineous rocks of two distinct types, representing the products of the differentiation of the original magma. These hills present similar vegetation and have been widely studied in the past. However, Mount Royal is at the heart of an industrial metropolis spreading over a monotonous plain; as such, it is an oasis of greenery and quiet.

The incoming of a snow dump right in the middle of woods, on the campus of the University of Montréal on Mount Royal, creates major changes in the vegetation usually encountered on the site; plants in the woods are still typical of the montréal hills; however on the dump, we were left with a particular distribution of the vegetation: a central zone occupied by a single annual plant (cocklebur, i.e. *Xanthium chinensis*, alias *X. strumarium*) surrounded by numerous annuals and perennials usually observed on neglected lands. This natural vegetation, observed during 1994, has been destroyed in 1995 to the request of the university by chemicals and replaced by graminaceous plants in 1996. However, we still believed that cocklebur could be a good choice to overgrow snow dumps.

The use of this snow dump for more than ten years induced damages to shrubs and trees surrounding the dump, even in salt-tolerant species. The repeated meltings of used-snow during springs and summers release de-icing salts which also modify the pH of the soils; pH values higher than 8 are common on the dump and in woods affected by the runoff.

The analysis of used-snow samples, with atomic absorption spectrometry, show that heavy metals are primarily adsorbed on insoluble particles ($0,45 \mu\text{m} < \mathcal{D} \leq 180 \mu\text{m}$) rather than

founded as soluble particles ($\varnothing \leq 0,45 \mu\text{m}$); high pH values of used-snow samples bear out these findings.

*Additional analysis of heavy metals, using atomic absorption spectrometry, have been made on several samples; the top layer of the snow dump, formed during progressive melting, has been investigated; soils from the dump as well as soils in areas subjected to runoff have been studied; all these data were compared with those obtained from regions not affected by the runoff (area A1**) which turn out to be our reference samples; the results are as follow:*

- higher values for copper, iron and manganese and lower ones for chromium and zinc were obtained in the reference samples, all being in the range of typical background values; the different origin of the soils can explained those differences: reference soils came from the Mount Royal alone; soils on the dump are made of the accumulating layers of solids from used-snow; soils subjected to the runoff may contained solids from used-snows; and finally, solids in used-snow are made of particles collected in the streets of the Ville d'Outremont, part of which is natural, the other being induced by the corrosion of metals;
- the lead content of the reference samples was higher: 143 ppm versus 99 ppm in average; similar reasons as above may be responsible for this difference; however, all those values stand in the range of lead levels measured recently in the forest floor of the northeastern USA;
- cadmium levels in the reference soils were less than 1 ppm; this figure represents the maximum value expected for most soils, not contaminated by discrete sources or developed on parent materials with anomalously high Cd contents; levels of cadmium in the top layer of the dump and in the soils of the dump average 2,9 ppm; in soils subjected to runoff, Cd level of 2,3 ppm in average was measured. The high value of

the pH runoff prevents the Cd to be transported in the soluble form; however, insoluble material containing Cd is believed to follow the runoff.

The collecting of runoff waters could prevent de-icing salts damages to shrubs and trees and resolve the cadmium migration. However, this snow dump is located on Mount Royal, a site the citizens want to preserve, a site the City of Montreal accepts to protect by restoring degraded habitats and reforesting land, without direct reference to the snow dump; going ahead may end up with additional problems and costs, if complete agreement between the citizens, the City of Montreal, the Ville d'Outremont and the authorities of the University of Montreal is not achieved. The use of a snow chute into sewers, an alternative solution already under study, seems in this case particularly appropriate.

TABLE DES MATIÈRES

	<u>Page</u>
REMERCIEMENTS	iv
RÉSUMÉ	v
ABSTRACT	viii
TABLE DES MATIÈRES	xi
LISTE DES TABLEAUX	xv
LISTE DES FIGURES	xviii
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	xx
LISTE DES ANNEXES	xxi
CHAPITRE I: INTRODUCTION	1
CHAPITRE II: REVUE DE LITTÉRATURE	3
2.1 Le mont Royal	3
2.1.1 Une colline montérégienne	3
2.1.2 Topographie du mont Royal	5
2.1.3 Le mont Royal en tant qu'espace vert	5
2.1.4 La végétation du mont Royal	11
2.2 Principales sources de contamination des neiges usées	15
2.2.1 Contamination indirecte	17
2.2.1.1 Contamination atmosphérique	17
2.2.1.2 Contamination au sol	20
2.2.2 Contamination directe: les fondants et les additifs	29
2.3 Le mode de relargage des contaminants dans un dépôt de surface	35

2.4	Impacts généraux des contaminants selon le mode d'élimination des neiges usées	37
2.4.1	Entreposage sur des dépôts de surface	37
2.4.2	Rejet dans un cours d'eau	41
2.5	Impacts particuliers des fondants	44
2.5.1	Sur les sols d'un dépôt de surface	44
2.5.2	Sur la végétation d'un dépôt de surface.....	47
2.6	Impacts particuliers des métaux lourds sur la végétation d'un dépôt de surface ..	51
2.7	Impacts climatiques d'un dépôt de surface sur les végétaux.....	52
2.8	Politique gouvernementale en matière d'élimination des neiges usées	52
 CHAPITRE III: PARTIE EXPÉRIMENTALE.....		55
3.1	Description du site et choix des indicateurs.....	55
3.2	Emplacement des points d'échantillonnage des différents indicateurs.....	60
3.2.1	Eaux de fonte.....	60
3.2.2	Sols	60
3.2.2.1	Échantillons témoins	62
3.2.2.2	Sols du dépôt de neiges usées.....	63
3.2.2.3	Sols dans les zones soumises au ruissellement.....	63
3.2.3	Échantillons de neiges usées.....	64
3.2.3.1	En 1994	64
3.2.3.2	En 1995	64
3.3	Méthodes analytiques	65
3.3.1	Végétation	65
3.3.2	pH	66
3.3.3	Conductivité	66
3.3.4	Matières en suspension.....	67
3.3.5	Chlorures	67
3.3.6	Sulfates.....	67

3.3.7	Métaux lourds.....	67
3.3.7.1	Dans les échantillons de sols.....	68
3.3.7.2	Dans la couche noirâtre à la surface du dépôt	68
3.3.7.3	Dans les échantillons de neiges usées.....	68
3.3.8	Remarques.....	69
CHAPITRE IV: RÉSULTATS		71
4.1	Végétation.....	71
4.1.1	Par zone.....	71
4.1.1.1	Zones A1 et A1**	71
4.1.1.2	Zone A2.....	72
4.1.1.3	Zone A3.....	73
4.1.1.4	Zone A4.....	73
4.1.1.5	Zone A5.....	74
4.1.1.6	Dépôt.....	74
4.1.2	Herborisation	77
4.1.3	Anomalies dans les zones boisées	82
4.2	Caractéristiques physico-chimiques des eaux de fonte	87
4.3	Sols: pH et teneur en métaux lourds	92
4.3.1	pH	92
4.3.2	Teneur en métaux lourds.....	92
4.4	Neiges usées: caractéristiques physico-chimiques et teneur en métaux lourds	98
4.4.1	Caractéristiques physico-chimiques	98
4.4.2	Teneur en métaux lourds.....	100
CHAPITRE V: ANALYSE DES RÉSULTATS ET DISCUSSION.....		102
5.1	Végétation.....	102
5.1.1	Les boisés	102

5.1.2	Le dépôt en 1994 et en 1995	103
5.1.3	Critères de sélection d'un couvert végétal et atouts de la lampourde.....	107
5.1.4	Le dépôt en 1996	109
5.2	Eaux de fonte	111
5.2.1	Impacts directs	111
5.2.2	Impacts indirects	112
5.3	Teneur des sols en métaux lourds	113
5.3.1	Comparaison avec les sols témoins.....	113
5.3.2	Comparaison avec les critères A, B et C de la Politique de réhabilitation des terrains contaminés du ministère	117
5.4	Neiges usées.....	119
5.4.1	Conductivité, M.E.S. et chlorures: UdeM vs les autres études	120
5.4.2	Métaux lourds: UdeM vs les autres études	122
5.4.3	Neiges de l'UdeM et normes de rejet.....	124
5.4.4	Sulfates: neiges usées vs neige ou pluie	124
5.5	Remarques	125
	CONCLUSION	127
	RÉFÉRENCES.....	129
	ANNEXES.....	137

LISTE DES TABLEAUX

	<u>Page</u>
<u>Tableau 2.1:</u> Valeurs moyennes et écarts-types des variables écologiques, particulièrement le pH, par communauté - (adapté de Boivin, 1989).....	16
<u>Tableau 2.2:</u> Concentrations de métaux dans des échantillons de neige contaminés par voie humide, au Michigan - (adapté de Cadle et al., 1990).....	19
<u>Tableau 2.3:</u> Concentrations de métaux dans des précipitations fraîchement tombées au-dessus de Montréal selon les vents dominants - (adapté de Delisle, 1991).....	19
<u>Tableau 2.4:</u> Concentrations moyennes et pourcentages de métaux lourds contenus dans des neiges usées en fonction du diamètre (X) des particules - (Zinger et Delisle, 1988).....	23
<u>Tableau 2.5:</u> Essais de désorption du plomb contenu dans des échantillons de neiges usées (Oliver et al., 1974).....	26
<u>Tableau 2.6:</u> Concentrations moyennes de différents éléments dans les roches ignées, les roches sédimentaires et les sols (en ppm i.e., $\mu\text{g/g}$ de sol), - (Purves, 1985).....	26
<u>Tableau 2.7:</u> Concentrations de contaminants mesurées dans différentes neiges (mg/l) (adapté de MENVIQ ^(a) , 1988).....	27
<u>Tableau 2.8:</u> Comparaison, pour quelques paramètres, entre les neiges usées, les eaux usées et diverses normes (adapté de MENVIQ ^(a) , 1988).....	28
<u>Tableau 2.9:</u> Quantités comparatives d'abrasifs et de fondants utilisés par la Ville de Montréal au cours des dernières années - (Delisle, 1995).....	31

<u>Tableau 2.10:</u> Distribution des chlorures dans des neiges et des eaux de fonte, en fonction du lieu d'échantillonnage - (Oliver et al., 1974).....	32
<u>Tableau 2.11:</u> Concentrations des paramètres physico-chimiques observées dans des précipitations par divers auteurs - (adapté de Delisle et al., 1993).....	34
<u>Tableau 2.12:</u> Résistance du rosier et de différentes espèces d'arbres à diverses concentrations de chlorure de sodium dans le sol - (André et Delisle, 1988)	50
<u>Tableau 4.1:</u> Liste des plantes recensées sur le dépôt de neiges usées et qui colonisent habituellement les champs, les bords de route ou les terrains vagues.....	83
<u>Tableau 4.2:</u> Plantes retrouvées sur le dépôt de neiges usées, affectionnant généralement les zones boisées, les lisières des bois ou les bords des rivières plutôt que les champs, les bords de route ou les terrains vagues.....	85
<u>Tableau 4.3:</u> Liste des plantes rencontrées uniquement sur le dépôt de neiges usées.....	86
<u>Tableau 4.4:</u> Mesure du pH de l'eau de fonte et de son contenu en chlorures et en sulfates durant l'été 1994 ainsi qu'au printemps et à l'été 1995 (dépôt de l'UdeM).....	91
<u>Tableau 4.5:</u> Comparaison entre le pH des sols témoins, le pH des sols prélevés au centre et en bordure du dépôt de neiges usées de l'UdeM et le pH des sols dans les zones soumises à un ruissellement	93
<u>Tableau 4.6:</u> Variation de la teneur en métaux lourds des échantillons témoins en surface (T*S) et en profondeur (T*P) en fonction de leur provenance.....	95

<u>Tableau 4.7:</u> Comparaison entre la teneur moyenne en métaux lourds des sols témoins, des sols du dépôt de neiges usées de l'UdeM et des échantillons de la couche noirâtre à la surface du dépôt de neiges usées de l'UdeM	97
<u>Tableau 4.8:</u> Analyse physico-chimique des échantillons de neiges usées du dépôt de l'UdeM	99
<u>Tableau 4.9:</u> Analyse des métaux lourds contenus dans des échantillons composés de neiges usées (dépôt de neiges usées de l'UdeM) - Fractions liquide et solide	101
<u>Tableau 5.1:</u> Teneur en métaux lourds de différents sols et critères de la Politique de réhabilitation des terrains contaminés du ministère.....	118
<u>Tableau 5.2:</u> Conductivité, M.E.S. et chlorures dans les neiges usées: UdeM vs autres études	121
<u>Tableau 5.3:</u> Neiges usées et métaux lourds - UdeM vs les autres études.....	123

LISTE DES FIGURES

	<u>Page</u>
<u>Figure 2.1:</u> Croquis géomorphologique du mont Royal - (adapté de Ritchot, 1972).....	6
<u>Figure 2.2:</u> La topographie et la localisation des trois protubérances majeures au mont Royal - (Boivin, 1988).....	7
<u>Figure 2.3:</u> Territoire de la montagne selon l'accord de collaboration - (BCM, 1990).....	9
<u>Figure 2.4:</u> Distribution des communautés végétales au mont Royal - (Boivin et al., 1988).....	13
<u>Figure 2.5:</u> Efficacité de différents fondants pour la fonte de neige - (Extrait d'une conférence de M. Daigneault donné lors d'une journée technique de l'Association des travaux publics d'Amérique-Québec, à St-Hyacinthe, 1988).....	30
<u>Figure 2.6:</u> Illustration de l'évacuation rapide des chlorures avec le début de la fonte - (Tests effectués en projet de fin d'études par I. Desrochers)	36
<u>Figure 2.7:</u> Cheminement des sels de déglaçage dans l'environnement - (André et Delisle, 1988)	39
<u>Figure 2.8:</u> Cheminement des métaux dans l'environnement - (André et Delisle, 1988).....	40
<u>Figure 2.9:</u> Osmose entre deux contenants ouverts séparés par une membrane semi-perméable - (Saini, 1995).....	48

<u>Figure 3.1:</u>	Localisation de l'École Polytechnique de Montréal (ÉPM) et de la Maison Smith, sur le mont Royal (adapté de Lavallée, 1992). Des échantillons de sol ont été recueillis autour de la maison Smith (T1S, T1P, T2S, T5S et T6S).....	56
<u>Figure 3.2:</u>	Localisation du dépôt de neiges usées sur le campus de l'UdeM.....	57
<u>Figure 3.3:</u>	Dépôt de neiges usées de l'UdeM.....	58
<u>Figure 3.4:</u>	Localisation des principaux points d'échantillonnage.....	61
<u>Figure 4.1:</u>	Contraste entre la végétation dans la zone périphérique du dépôt et la végétation dans la zone centrale du dépôt.....	75
<u>Figure 4.2:</u>	Végétation dans la zone centrale du dépôt de neiges usées.....	78
<u>Figure 4.3:</u>	Croissance de la lampourde dans la zone centrale du dépôt de neiges usées.....	80
<u>Figure 4.4:</u>	Croissance de la lampourde sur le dépôt de neiges usées - le 29 septembre 1994.....	81
<u>Figure 4.5:</u>	Arbres défeuillés, au bas du dépôt de neiges usées, le long de la zone A3 - le 11 juillet 1994.....	88
<u>Figure 4.6:</u>	Feuilles de peuplier faux-tremble (<i>Populus tremuloides</i>) en provenance de la zone A3 - prélevées le 11 juillet 1994, puis séchées.....	89
<u>Figure 4.7:</u>	Feuilles d'érable à sucre (<i>Acer saccharum</i>) en provenance de la zone A3 - prélevées le 11 juillet 1994, puis séchées.....	90
<u>Figure 4.8:</u>	Variation du pH du sol, en surface (s) et en profondeur (p), dans la région étudiée.....	94
<u>Figure 5.1:</u>	Croissance de la lampourde sur un dépôt de neiges usées, à Laval - le 11 août 1995.....	105
<u>Figure 5.2:</u>	Dépôt de neiges usées de l'UdeM - le 15 octobre 1996.....	110

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ASTM	American Society for Testing and Materials
APHA	American Public Health Association
AWWA	American Water Works Association
BCM	Bureau de consultation de Montréal
cm	centimètre
et al.	et autres
DBO	Demande Biologique en Oxygène
ÉPM	École Polytechnique de Montréal
g	gramme
HEC	Hautes Études Commerciales
mg/l	milligramme par litre
ml	millilitre
MENVIQ	Ministère de l'Environnement du Québec
MEF	Ministère de l'Environnement et de la Faune (autrefois MENVIQ)
M.E.S.	Matières en suspension
MMT	sigle anglais du « methylcyclopentadienyl tricarbonyl manganese »
Mtl	Montréal
ND	non déterminé
ppm	partie par million
PRRI	Programme de réduction des rejets industriels
UdeM	Université de Montréal
WPCF	Water Pollution Control Federation
µm	micromètre
Ø	diamètre

LISTE DES ANNEXES

	<u>Page</u>
ANNEXE 1: Liste des végétaux recensés dans les différentes zones.....	138
ANNEXE 2: Analyses des métaux lourds: résultats bruts et méthodes de calcul.....	143
ANNEXE 3: Teneur des sols en métaux lourds.....	147
ANNEXE 4: Caractéristiques physico-chimiques des échantillons de neiges usées	150
ANNEXE 5: Détails concernant les échantillons composés de neiges usées - fraction solide.....	153
ANNEXE 6: Teneur en métaux lourds des échantillons de neiges usées	156
ANNEXE 7: Projet de règlement et règlement sur les lieux d'élimination de neige	158
ANNEXE 8: Quantités de neige déposée sur le site et leurs provenances durant les hivers 1995-1996 et 1996-1997	160

CHAPITRE I

INTRODUCTION

Depuis une dizaine d'années, la Direction des immeubles de l'Université de Montréal (UdeM) permet à la Ville d'Outremont de déverser 75 % de ses neiges usées sur un terrain situé sur le campus de l'Université, derrière l'École Polytechnique; en échange, la Ville d'Outremont s'est engagée à assurer certains travaux d'entretien et la collecte des ordures pour les édifices de l'Université situés sur son territoire. La Ville d'Outremont est une municipalité résidentielle à 95 % et son secteur commercial se limite à trois rues. Deux autres dépôts de neiges usées de petite dimension permettent à la Ville d'Outremont de gérer l'ensemble de ses neiges usées.

Le campus de l'UdeM fait partie du territoire de la Montagne, un espace vert important pour les montréalais; il est situé sur le versant nord du mont Royal; le dépôt de neiges usées est donc à flanc de montagne, dans une zone boisée, près de la ligne de démarcation entre la Ville de Montréal et la Ville d'Outremont.

Une brève revue bibliographique nous permettra de mieux connaître le territoire de la Montagne, les revendications de certains groupes désireux de le préserver et les types de boisés que l'on y retrouve. Nous présenterons également les principales sources de contamination des neiges usées, le cheminement de ces contaminants dans l'environnement, leurs différents impacts et le choix fait par le gouvernement québécois en matière d'élimination des neiges usées.

Le déboisement d'une aire de travail au sein d'un boisé implique des modifications de la végétation sur le site proprement dit et le cas échéant, au-delà des limites du site; l'utilisation ultérieure de ce site comme dépôt de neiges usées a toutes les chances

d'entraîner des modifications encore plus importantes de la flore. La végétation fera donc l'objet d'un recensement et d'un suivi sur le dépôt de neiges usées et dans les boisés environnants.

Des échantillons de neiges usées et de sols ainsi que des prélèvements d'eaux de fonte seront analysés pour déterminer l'ensemble des impacts du dépôt sur le flanc de la Montagne. On accordera une importance toute particulière à la présence éventuelle de métaux lourds dans les échantillons de neige et à leur migration possible en surface et en profondeur dans les sols.

L'utilisation d'un tel site, sans étude d'impact préalable, sans ouvrage de retenue et de traitement des contaminants et en absence de tout suivi environnemental, a déjà suscité certaines interrogations quant à une éventuelle contamination du sol; les critiques soulevées par M. L. P. Ménard dans le Quartier Libre, en février 1994, faisaient état du risque associé à l'utilisation prolongée de ce terrain. Les différentes données que l'on recueillera nous permettront de répondre à ces interrogations. Cette étude devrait également faciliter une prise de décision relative à la mise en valeur des boisés entourant le dépôt de neiges usées et à l'avenir du dépôt proprement dit.

CHAPITRE II

REVUE DE LITTÉRATURE

2.1 Le mont Royal

2.1.1 Une colline montérégienne

Plusieurs millions d'années avant l'apparition du mont Royal, une mer couvrait la majeure partie de l'Amérique du Nord; elle entourait alors le Bouclier canadien. La région de Montréal, située en bordure de ce continent, recevait et empilait les fins sédiments arrachés à ces montagnes par l'érosion. Au cours des millions d'années qui suivirent, la pression intrinsèque de leur masse transforma ces épaisses couches de sédiments fins en roches calcaires. Ces roches sédimentaires formaient après leur consolidation une couverture épaisse de plus d'un kilomètre au dessus de la montagne actuelle. Plusieurs millions d'années après leur consolidation, une montée de magma perça verticalement les couches horizontales de roches sédimentaires sans atteindre la surface; cette percée s'effectua en plusieurs endroits et donna lieu à la formation de collines (Boivin, 1988).

« Des collines semblables au mont Royal, avec leurs reliefs saillants, jalonnent la plaine de Montréal, dans les basses terres du Saint-Laurent. Cette série d'une dizaine de collines isolées qui semblent surgir brusquement de la plaine forme un arc d'un peu plus de 100 kilomètres de longueur. Ces collines ont de forts liens de parenté et cela, même si elles varient dans leur configuration et dans leur élévation. Malgré le fait que chacune d'elles soit unique, elles possèdent toutes une composition géologique commune relativement uniforme et une topographie quasi similaire » (Boivin, 1988).

« Pour nommer cet ensemble de collines le géologue F.D. Adams s'inspira, au début du siècle, du nom du mont Royal puisqu'il était le plus étudié à cette époque. Le nom *mont Royal* fut traduit en latin *mons regius* pour créer l'épithète *Montérégienne* décrivant la chaîne de ces collines éparses dont la composition et la structure de roches divergent grandement de celles de la plaine du Saint-Laurent » (Boivin, 1988).

La composition rocheuse du mont Royal diffère du pied au sommet de la montagne. Au pied, on trouve la roche la plus commune des basses-terres du Saint-Laurent: le calcaire de Trenton, d'une couleur gris-bleu sombre comprenant des entre-lits argileux plus foncés lui donnant un aspect stratifié. Au sommet, on retrouve la roche ignée qui fut dégagée de son enveloppe sédimentaire par l'érosion. Cette intrusion magmatique se compose principalement de deux types de roches qui dérivent d'un même magma, mais à des périodes différentes. La première étape d'infiltration des roches ignées inséra dans le calcaire, le gabbro, de couleur noirâtre; il couvre les huit dixièmes de la roche intrusive du mont Royal. La seconde étape d'infiltration inséra la syénite, une roche de couleur grise claire; la syénite est restreinte à une portion de la colline d'Outremont. Une roche de type intermédiaire, la diorite à néphéline, se retrouve uniquement derrière l'UdeM (Boivin, 1988).

La majeure partie de l'escarpement est composée d'une roche sédimentaire métamorphique. Celle-ci présente de nouvelles caractéristiques dues à l'effet combiné de la chaleur et de la pression de l'intrusion; cette formation rocheuse se retrouve à la jonction des roches intrusive et sédimentaire à la manière d'une bague couvrant environ une trentaine de mètres de largeur sur le flanc nord. Ailleurs, la roche calcaire ceinturant la roche intrusive fut modifiée par la chaleur en formant des cristaux de calcite de forte taille, tout en blanchissant le calcaire (Boivin, 1988).

La figure 2.1 (Ritchot, 1972) permet d'estimer les positions relatives de la cheminée intrusive et des calcaires par rapport au terrain de l'Université de Montréal et à l'École Polytechnique de Montréal (ÉPM) (Ritchot, 1972).

2.1.2 Topographie du mont Royal

Le mont Royal est l'une des plus petites collines montérégiennes; son sommet n'est qu'à 232 mètres au-dessus du niveau de la mer. Il ne prend donc figure de « montagne » que par contraste avec la plaine environnante, qui repose entre 30 et 45 mètres au-dessus du niveau de la mer. Cette colline d'un diamètre de 3 km possède une forme vaguement circulaire, s'approchant de l'ovale, et couvre une superficie de 10,3 km². Les pentes douces se retrouvent au Sud alors que les pentes raides sont au Nord. Le mont Royal se compose de trois protubérances majeures:

- la protubérance du mont Royal (232 m) qui comprend entre autres les buttes de la tour de Radio-Canada, de la tour de la Communauté Urbaine de Montréal et de la croix,
- la protubérance de Westmount (201 m) qui porte l'Oratoire Saint-Joseph,
- et celle d'Outremont (215 m) qui abrite les bâtiments de l'UdeM.

Les cimetières occupent une partie de l'aire centrale couvrant plus de la moitié de la superficie du mont Royal (figure 2.2) (Boivin, 1988; Ritchot, 1972).

2.1.3 Le mont Royal en tant qu'espace vert

Le mont Royal est un point de rencontre entre la nature et le milieu urbain. Cette montagne constitue effectivement un des rares lieux où se côtoient une végétation sauvage et un milieu densément urbanisé (Boivin et al., 1988).

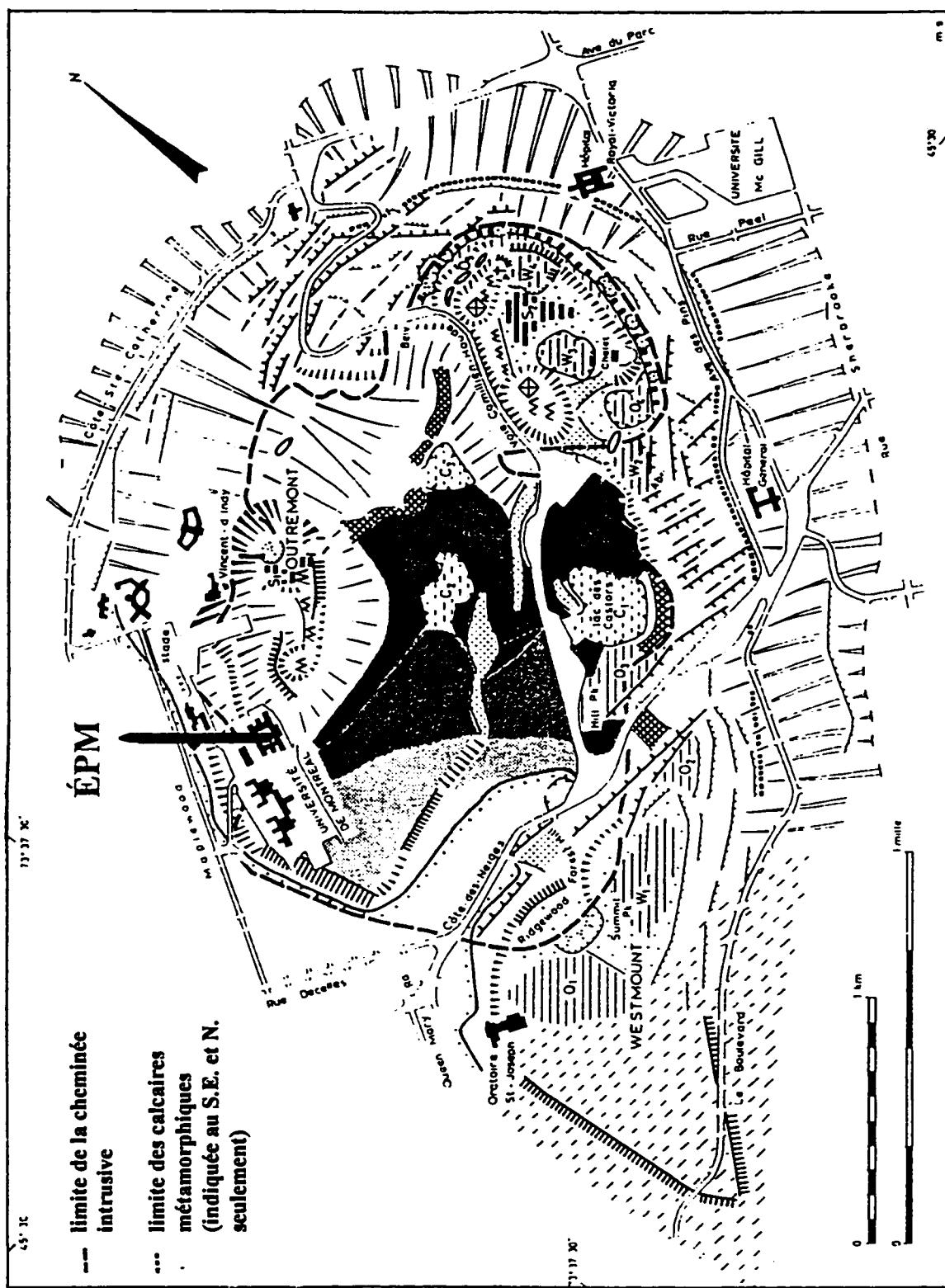


Figure 2.1: Croquis géomorphologique du mont Royal - (adapté de Ritchot, 1972).

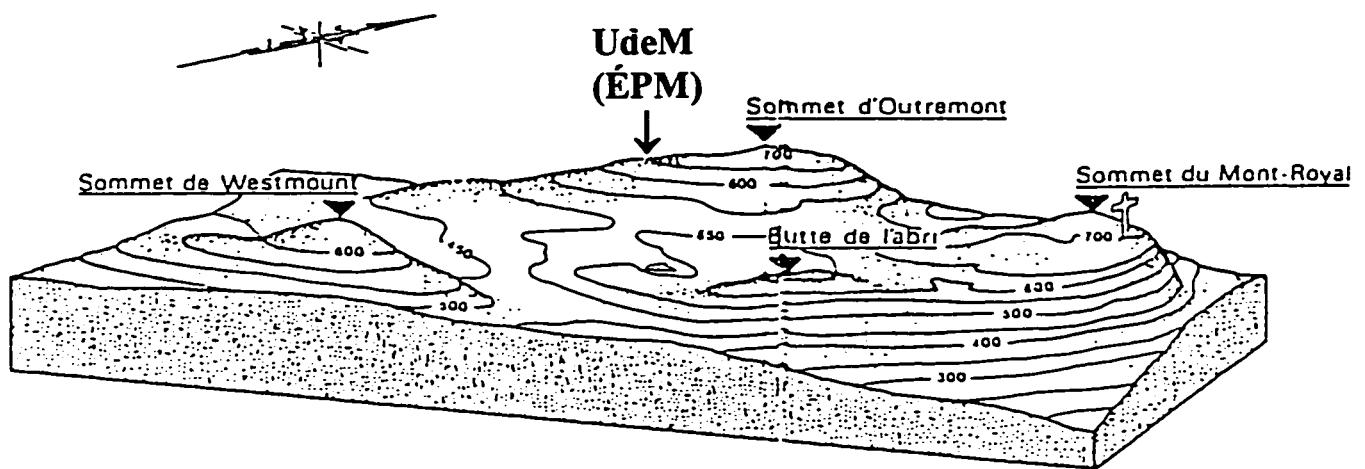


Figure 2.2: La topographie et la localisation des trois protubérances majeures au mont Royal - (Boivin, 1988).

À l'heure actuelle, la protection de cet espace vert n'est pas encore complètement acquise, même si le parc du Mont-Royal a été inauguré en 1876, selon un plan élaboré par l'architecte paysagiste le plus célèbre de son temps Frederick Law Olmsted. C'est d'ailleurs le projet de construction d'une tour de communication dans le parc, en 1986, qui raviva le débat autour de la conservation du parc et du mont Royal dans son ensemble.

Une vaste coalition de personnes désireuses de conserver l'intégrité du mont Royal, les Amis de la montagne, voit alors le jour. Un accord de collaboration pour la conservation et la mise en valeur du mont Royal par les villes de Montréal, Outremont et Westmount ainsi que par les Amis de la montagne est signé en septembre 1989. En janvier 1990, un plan préliminaire de mise en valeur du mont Royal est adopté par la Ville de Montréal et soumis à la consultation publique.

Le territoire visé par ce plan préliminaire de mise en valeur (figure 2.3) s'étend sur trois municipalités, soit Montréal, Outremont et Westmount et est aussi connu sous le nom de «Concept des trois sommets». Il englobe les trois protubérances citées précédemment (section 2.1.2), les cimetières, le parc du Mont-Royal, le parc Jeanne-Mance, l'hôpital Royal Victoria, l'hôpital Général de Montréal et les terrains de l'Université de Montréal; notons que le parc du Mont-Royal forme la principale zone publique de la montagne tout en occupant à peine plus de 20 % de son territoire, soit 190 hectares (BCM, 1990).

Un plan de mise en valeur du mont Royal est adopté en décembre 1992, par la Ville de Montréal; il est centré sur la notion du « Concept des trois sommets ». Le plan de mise en valeur exprime la volonté « des municipalités et des institutions sises sur la montagne de dépasser les tentatives d'appropriations particulières dont son histoire est parsemée, de se concerter et de se poser ainsi en partenaires également engagés dans la mise en valeur du mont Royal » (Lavallée, 1992).

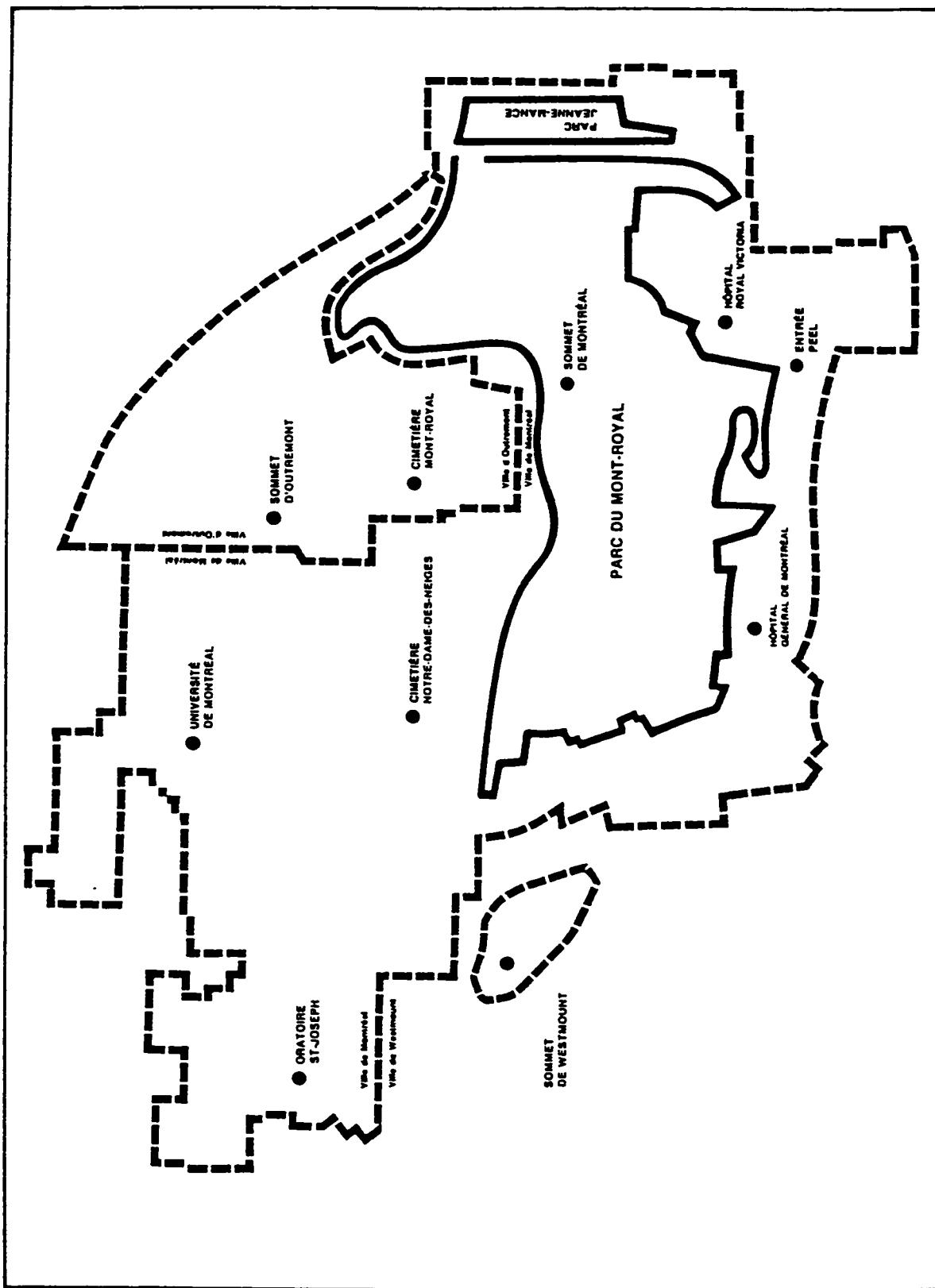


Figure 2.3: Territoire de la montagne selon l'accord de collaboration - (BCM, 1990).

Plus concrètement, le plan de mise en valeur vise la conservation et la valorisation de ce patrimoine culturel et naturel, notamment:

- en favorisant les interventions sur le milieu écologique et naturel destinées « à freiner l'érosion des sols, protéger les zones fragiles, protéger les boisés existants et faciliter le reboisement »;
- et en conservant les dimensions esthétiques du mont Royal, ce qui implique que « la diversité et l'équilibre des espaces boisés, mais aussi la silhouette de la montagne, la qualité de ses abords et de ses liens avec la ville, doivent être conservés » (Lavallée, 1992).

Selon le plan adopté par la Ville de Montréal, la mise en valeur du flanc nord de la montagne doit en outre « tenir compte des potentiels de ce site, assurer la conservation et la restauration des boisés existants, le réaménagement des zones perturbées, et favoriser l'utilisation éducative et récréative du secteur en mettant à profit le relief et les vues offertes par ce site, en permettant par exemple, des activités légères d'apprentissage du ski qui ne nécessiteraient aucun aménagement additionnel » (Lavallée, 1992). Notons enfin que la Ville de Montréal considère que la mise en valeur du flanc nord devra s'appuyer sur une étroite collaboration entre l'Université de Montréal, le cimetière Notre-Dame-des-Neiges, la Ville d'Outremont, la Ville de Montréal et la Communauté urbaine de Montréal (Lavallée, 1992).

Toutefois, le plan de mise en valeur du mont Royal, tout en cernant les enjeux et en énonçant les grandes orientations et les principes directeurs nécessaires à sa réalisation, n'a pas défini le mode de gestion qui devrait être utilisé. Cette lacune a soulevé d'importantes critiques de la part des Amis de la montagne, notamment:

- l'absence de cohérence des interventions sur le mont Royal en fonction du plan de mise en valeur, puisqu'en l'absence d'une instance spécifique, chaque municipalité devient juge et partie des projets sur son territoire;

- l'intégration des concepts élaborés dans le plan de mise en valeur de la Ville de Montréal aux plans d'urbanisme des villes de Westmount et d'Outremont via des projets spécifiques, mais pas de vision commune et de projet commun en terme de « Concept des trois sommets »;
- l'absence de réglementation en matière de coupe de forêt et l'absence d'un véritable processus d'évaluation des projets, donc finalement aucune protection des espaces verts sur le mont Royal à l'exception du parc du Mont-Royal qui est protégé; aucune mesure légale n'aurait donc pu empêcher la coupe des arbres lors de la construction de l'École des HEC, en 1993 (Les Amis de la montagne, 1994).

Les Amis de la montagne recommandent donc la création d'une structure de gestion permanente pour le mont Royal, qui soit responsable de la gestion du parc du Mont-Royal et qui assure pour le reste du territoire une planification concertée et coordonnée conforme aux objectifs du Plan de mise en valeur du mont-Royal (Les Amis de la montagne, 1994).

À l'heure actuelle, le dépôt de l'UdeM n'est pas défini comme une zone perturbée que le Plan de mise en valeur du mont-Royal devrait restaurer; les boisés ne sont pas davantage protéger par une réglementation en matière de coupe de forêt; la notion d'espace vert s'applique difficilement sur le terrain.

2.1.4 La végétation du mont Royal

Selon les témoignages des premiers naturalistes et explorateurs, il y avait dans la plaine entourant le mont Royal des forêts luxuriantes comprenant notamment des ormes, des noyers, des pins, des érables et des pruches, avec un sous-bois dégagé. Quant à la montagne comme telle, un seul explorateur mentionne qu'elle était couverte de grands chênes (Boivin et al., 1988).

« Cette répartition en deux grands étages végétaux concorde assez bien avec ce que nous apercevons de nos jours. La variation observée dans le couvert végétal pourrait toutefois laisser croire que cette répartition est dictée par l'altitude. Il s'agirait plutôt d'une réponse des végétaux au relief complexe qui engendre une multitude d'habitats et de paysages végétaux » (Boivin et al., 1988).

Un véritable étagement de la végétation en fonction de l'altitude exigerait un refroidissement significatif du climat avec l'accroissement de l'altitude. Ce refroidissement engendrerait une compression des groupements végétaux s'étendant habituellement entre Montréal et le Grand Nord. La faible altitude du mont Royal (232 mètres) n'engendre pas ce type de changements de température. Malgré l'absence de données de température pour le mont Royal, on peut estimer qu'une différence de un degré Celsius existe entre la plaine et le sommet (Boivin et al., 1988).

« La répartition de la végétation observée au mont Royal découle plutôt de la diversité topographique. Ce relief accidenté, composé d'un grand nombre de replats entrecoupés de talus de hauteurs et de formes variables se succédant le long de la dénivellation, détermine des conditions de vie favorisant certaines espèces en fonction des exigences écologiques particulières des arbres, des arbustes et des plantes herbacées. La distribution des espèces végétales, sur le mont Royal, est dictée par des variations dans les dépôts de surface et le drainage, ainsi que par la topographie » (Boivin et al., 1988).

« Les deux essences principales, l'érable à sucre et le chêne rouge, se répartissent à la manière de deux pôles. En effet, les conditions optimales de développement pour le chêne rouge se retrouvent dans un sol mince et bien drainé, tandis que la préférence de l'érable à sucre va à un sol relativement profond et modérément drainé » (Boivin et al., 1988) (figure 2.4).

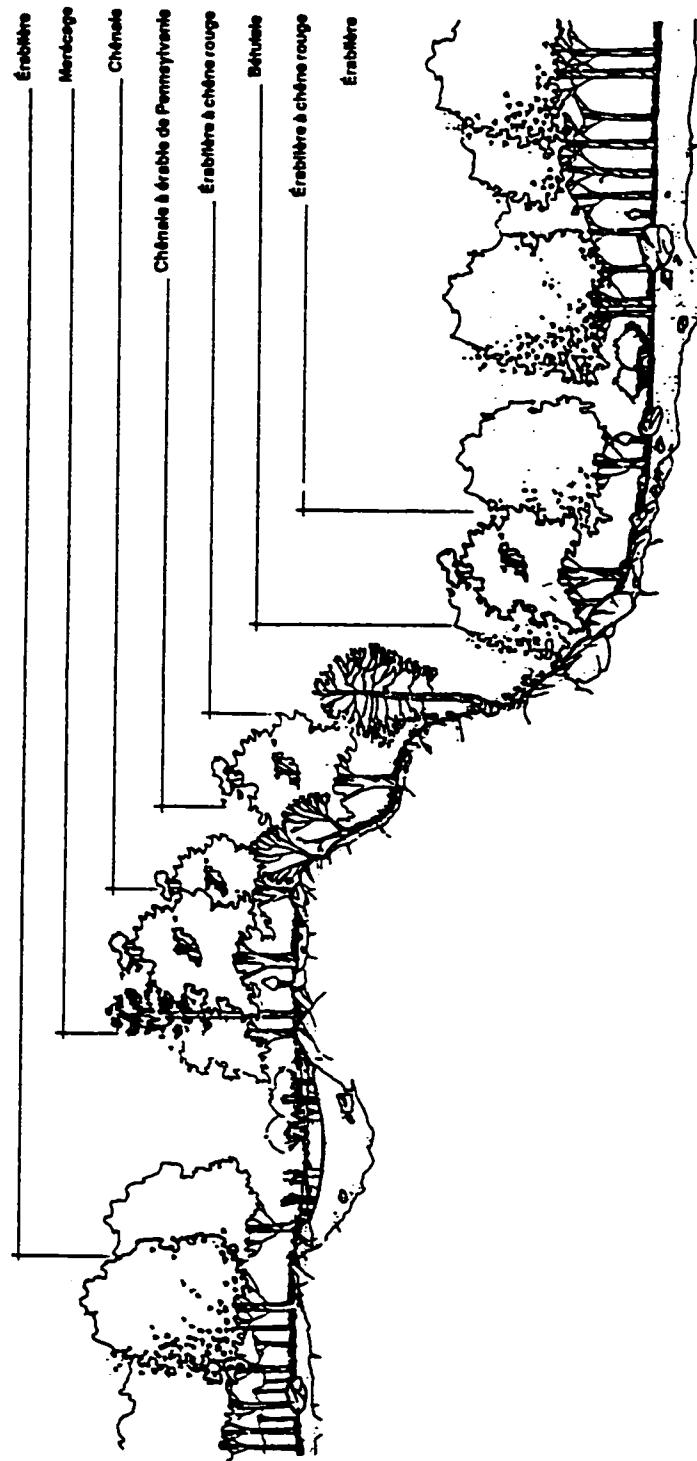


Figure 2.4: Distribution des communautés végétales au mont Royal - (Boivin et al., 1988)

Avant l'intervention humaine, l'érablière sucrière colonisait probablement le bas versant et le bassin central du sommet; ces deux milieux ont des pentes douces recouvertes d'un sol riche et relativement profond; quoique l'érable à sucre formait la majeure partie de la strate arborescente de cette communauté, elle devait aussi inclure d'autres espèces comme le frêne, le tilleul, le noyer, le caryer, l'orme et le charme de Caroline. Malgré une strate arborescente dense et laissant filtrer peu de lumière, le sous-bois comprenait une multitude d'arbustes et de plantes herbacées. Avec l'augmentation de la pente, et conséquemment l'amincissement du sol, son appauvrissement, son assèchement partiel durant l'été et l'augmentation de la pierrosité, on assistait à la disparition de l'érable à sucre et son remplacement graduel par le chêne rouge; lorsque les conditions topographiques devenaient encore plus accentuées, le chêne rouge dominait la communauté jusqu'à former une chênaie presque pure, comprenant du tilleul, de l'ostryer et du cerisier tardif. L'acidification du milieu et les trouées de lumière provoquées par l'espacement plus accentué des arbres entraînaient la diminution du nombre de plantes de sous-bois retrouvées dans l'érablière sucrière. L'aridité des conditions estivales permettait de retrouver dans les chênaies plusieurs plantes de sous-bois accompagnant habituellement des conifères. Ces plantes sont la maïanthème du Canada et l'aralie à tige nue. Dans certaines zones particulièrement escarpées, les bouleaux à papier prenaient temporairement la relève des chênes (Boivin et al., 1988).

La forêt primitive qui couvrait à l'origine toute la montagne, a subi d'importantes modifications dès le XIX^e siècle; l'urbanisation a réduit d'environ soixante-dix pour cent le couvert forestier confinant les zones boisées résiduelles au parc Summit de la Ville de Westmount et au parc du Mont-Royal de la Ville de Montréal, ainsi qu'à la colline Murray (alias la colline ou protubérance d'Outremont) de la Ville d'Outremont. Ces lambeaux de forêt sont eux-mêmes perturbés par l'intervention humaine, notamment par des plantations. Outre les constructions domiciliaires, des cimetières, des parcs et des institutions se sont implantés sur le mont Royal (Boivin et al., 1988).

La flore du mont Royal a fait l'objet de nombreuses herborisations et de quelques études écologiques. Boivin, en 1989, a réalisé une vaste étude écologique des différents types de communautés retrouvés sur le mont Royal. Il a distingué deux grandes catégories composant le paysage végétal du mont Royal: les unités de paysages naturelles et les semi-naturelles. La végétation de l'unité de paysage naturelle correspond aux communautés les moins perturbées par l'action de l'homme ou en régénération par des espèces indigènes après une intervention humaine. L'unité de paysage semi-naturelle comprend les zones où il y a eu des plantations. La réalisation de cette étude écologique avait pour but de faciliter la mise en valeur du mont Royal en protégeant son caractère naturel. On retrouve aussi dans cette étude une analyse des sols en fonction de leur appartenance aux différentes communautés (tableau 2.1). Walther (1963) a répertorié la végétation des collines montérégienennes; plus de cent stations furent étudiées dont cinq sur le mont Royal; les différents arbres, arbustes et plantes herbacées y sont classés selon leur abondance relative.

2.2 Principales sources de contamination des neiges usées

La neige se charge de polluants avant même son arrivée au sol, lors de sa descente dans l'atmosphère (André et Delisle, 1988). Puis, elle entre en contact avec différents contaminants provenant des véhicules automobiles, de l'érosion accélérée des bordures de trottoirs et des chaussées et de la dénudation des plates-bandes ainsi que de débris divers provenant par exemple de sacs de poubelle éventrés. L'utilisation de fondants et d'abrasifs à des fins de sécurité contamine encore davantage la neige. Nous prendrons en considération ces différents modes de contamination dans les pages qui suivent.

Tableau 2.1: Valeurs moyennes et écarts-types des variables écologiques, particulièrement le pH, par communauté - (adapté de Boivin, 1989).

COMMUNAUTÉ	ÉPAISSEUR HORIZON Ah	ÉPAISSEUR HORIZON B	ÉPAISSEUR SOL TOTAL	% INOCHE SURFACE	% ROCHE SOL	DRAINAGE	ALTITUDE	% PENTE	pH SURFACE	↓	↓
ERABLEIERE SUCRIERE A CARYEN CORDIFORME	moyenne écart-type	10.71 6.92	35.08 19.81	46.53 19.10	30.24 23.04	32.53 23.72	2.59	153.8 32.09	24.48 13.48	6.57 0.34	6.47 0.01
ERABLEIERE SUCRIERE AVEC INTERVENTIONS	moyenne écart-type	23.40 11.46	33.40 15.34	64.00 20.57	31.60 27.57	38.60 20.77	2.80	178 8.06	18.60 13.78	6.66 0.25	6.56 0.33
ERABLEIERE SUCRIERE ACHIENE ROUGE	moyenne écart-type	8.64 5.84	30.91 23.40	45.55 24.32	46.36 23.57	45.45 33.28	2.45	146.63 23.61	23.91 19.33	5.57 0.51	6.35 0.35
CHENAIER ROUGE AERABLE A SUCRE	moyenne écart-type	6.80 3.03	19.40 7.16	26.20 16.43	20.00 30.29	21.00 20.64	2.40	187.8 28.64	17.20 16.89	6.64 0.50	5.17 0.58
CHENAIER ROUGE AVEC INTERVENTIONS	moyenne écart-type	8.50 3.51	29.08 12.60	40.13 11.98	30.63 20.20	50.00 16.71	2.00	174.67 13.5	29.00 25.00	6.48 0.38	4.75 0.31
CHENAIER ROUGE	moyenne écart-type	9.03 4.36	27.50 14.35	37.33 14.95	40.03 23.11	60.00 20.65	2.17	213.83 5.19	22.50 19.92	5.34 0.41	4.94 0.44
CHENAIER ROUGE OUVERTE	moyenne écart-type	9.75 5.05	26.00 4.24	35.50 6.34	21.75 31.97	52.00 37.50	2.50	195.75 23.93	8.75 3.77	5.80 0.98	5.33 1.07
BETULAIER BLANCHE (1)	moyenne écart-type	0.91 2.02	0.00 0.00	0.00 0.01	0.04 0.02	99.09 10.94	1.00	148.09 21.58	77.36 21.58	1.13 2.51	0.00 0.00
BETULAIER BLANCHE (2)	moyenne écart-type	6.25 1.69	4.25 6.50	9.25 9.98	65.25 15.95	95.00 7.07	1.00	150.25 10.34	57.25 12.15	4.16 2.88	1.56 3.12
BETULAIER BLANCHE (3)	moyenne écart-type	10.90 7.20	24.00 22.39	34.90 20.07	49.00 40.00	70.00 27.93	1.00	106.4 33.98	33.30 22.39	4.51 2.41	3.04 2.63
CHAMPS	moyenne écart-type	3.67 6.35	10.67 32.33	22.33 30.68	70.00 51.90	73.33 46.19	1.67	157.68 4.04	66.67 21.09	2.07 3.58	2.00 3.46

2.2.1 Contamination indirecte

2.2.1.1 Contamination atmosphérique

Les contaminants sont transportés par les vents d'une région à une autre; les précipitations engendrées par le déplacement des masses d'air chaud ou froid au dessus des continents entraînent les contaminants dans leurs chutes, généralement dès les premières heures (sinon les premières minutes) suivant le début d'une importante précipitation. On considère aussi que la neige absorbe les polluants atmosphériques encore plus facilement que la pluie, à cause de la grande surface des flocons et de son temps de chute relativement long (MENVIQ^(a), 1988). Cependant, certaines études effectuées par Collett et al. (1991) ont montré que:

- la diminution de la concentration d'ions dans des échantillons de neige, au fur et à mesure que se poursuit la précipitation, pourrait être le résultat d'un changement des masses d'air en cause, plutôt que d'un lessivage et,
- que le mode de formation des cristaux de neige à partir de vapeur d'eau ou à partir de gouttelettes d'eau influence considérablement son contenu en ions.

Outre les polluants particulaires et gazeux d'origine naturelle, provenant de l'écorce terrestre, de la cendre volcanique ou de différents processus biologiques, de nombreux contaminants sous forme de gaz ou de poussières, d'origine anthropogénique, s'ajoutent aux gouttelettes d'eau et aux flocons de neige, notamment:

- les oxydes d'azote (NO_x) et le dioxyde de soufre (SO_2) qui donnent lieu aux précipitations acides et au choc acide observé lors de la fonte printanière (Delisle et al., 1992) et,
- les métaux (Bisson, 1986).

Ce type de contamination, qui a lieu avant que la neige ne touche le sol, porte le nom de dépôt humide; lorsque les polluants provenant de l'atmosphère retombent au sol avant d'être absorbés par la neige, on parle alors de dépôt sec.

De nombreuses études permettent d'apprécier quantitativement le degré de contamination de certaines zones rurales ou urbaines; en tenant compte de la direction des masses d'air, on peut aussi détecter les industries responsables des rejets.

Cadle et al. (1990) ont analysé différents contaminants contenus dans des échantillons de neige et de pluie fraîchement tombés, recueillis durant l'hiver 1987, dans une zone rurale au Michigan. Pour sa part, Delisle (1991) a effectué les mêmes observations à partir d'échantillons de neige, de pluie, de verglas ou de grésil fraîchement tombés sur le toit de l'École Polytechnique de Montréal, de mars 1990 à mars 1991. Les concentrations de certains des métaux étudiés par Cadle et al. (1990) apparaissent au tableau 2.2; les chiffres représentent la contamination par voie humide seulement. Des calculs tenant compte des concentrations relatives des métaux dans la croûte terrestre ont permis de faire les constats suivants: Al, Ca, Cr, K, Si et V sont d'origine naturelle; Cu, Ni, Pb, Se et Zn ont en partie une origine humaine. Le tableau 2.3 présente les résultats obtenus par Delisle (1991) selon la direction des vents dominants pour les quatre métaux étudiés, Na, K, Ca et Mg.

Cadle et al. (1990) ont aussi comparé leurs résultats à ceux obtenus par quelques-autres chercheurs dans différentes parties du monde; globalement, les résultats concordent assez bien lorsque des échantillons frais sont analysés. L'analyse d'échantillons de neige ayant séjournée plus longtemps au sol met en évidence un apport accru de contaminants par voie sèche. L'étude de Delisle (1991), par contre, présente des concentrations en métaux nettement plus élevées pour la région montréalaise.

Tableau 2.2: Concentrations de métaux dans des échantillons de neige contaminés par voie humide, au Michigan - (adapté de Cadle et al., 1990).

Métal	Moyenne µg/l	Minimum µg/l	Maximum µg/l
Ca	110	13	580
Mg	23	2,0	111
Na	68	38	280
K	13,3	< 1	160
Cr	0,6	0,1	4,6
Cu	2,9	< 0,3	28
Fe	33	0,4	625
Ni	1,0	< 0,6	11
Pb	1,9	< 0,1	8,8
Se	< 0,1	< 0,1	1,3
V	< 0,1	< 0,1	3,9
Zn	9,3	2,6	34

Tableau 2.3: Concentrations de métaux dans des précipitations fraîchement tombées au-dessus de Montréal selon les vents dominants - (adapté de Delisle, 1991).

Vent	Sodium mg/l	Potassium mg/l	Calcium mg/l	Magnésium mg/l
Sud	0,28	0,17	0,70	0,05
Sud-ouest	0,59	0,27	0,91	0,12
Ouest	0,25	0,15	0,50	0,06
Nord-ouest	0,04	0,03	0,60	0,07
Nord	1,00	3,24	1,3	0,12
Nord-est	1,10	1,14	0,66	0,08
Est	0,11	0,07	1,10	0,10
Sud-est	0,62	0,38	0,62	0,10
Moyenne	0,50	0,68	0,80	0,09

L'analyse du contenu des échantillons de neige fraîche par Cadle et al. (1990) a également permis de retracer l'origine des émissions de dioxyde de soufre et d'oxydes azotes, tout comme le suivi des précipitations acides au-dessus de Montréal par Delisle (1991).

Certaines sources de pollution sont plus importantes l'hiver que l'été. L'air est plus pollué en hiver à cause de l'utilisation accrue des combustibles fossiles pour le chauffage des édifices. Les gaz d'échappement des véhicules automobiles provoquent aussi plus de pollution en hiver qu'en été, les moteurs tournant plus longtemps au point mort (MENVIQ^(a), 1988). Globalement, les précipitations hivernales sont généralement plus contaminées que la pluie estivale par les polluants atmosphériques, par voie humide comme par voie sèche et davantage en milieu urbain qu'en milieu rural.

2.2.1.2 Contamination au sol

Une fois au sol, la neige se mêle à différents contaminants anthropogéniques; certains proviennent des commerces, industries ou édifices environnants; d'autres proviennent des véhicules automobiles. Ces contaminants prennent différentes dimensions et différentes formes (liquide ou solide, soluble ou insoluble, métallique ou non); ils peuvent être biodégradables ou pas.

Considérons tout d'abord les solides; on les retrouve sous forme dissoute ou particulaire, cette dernière se subdivisant en *débris* et *solides en suspension*; les débris réfèrent aux particules retenues sur un tamis de 63 µm; les solides en suspension regroupent les particules de diamètre variant entre 1,4 µm et 63 µm (André et Delisle, 1988). Certains débris sont de grande dimension; ils peuvent être de nature organique, comme les déchets alimentaires ou les sacs de papier ; d'autres ne sont pas biodégradables tels les contenants en plastique, en verre ou en métal.

La différence entre les débris et les solides en suspension a été définie parce qu'elle correspond au diamètre maximum des particules que les organismes benthiques peuvent ingérer lorsqu'il y a rejet des solides dans les cours d'eau. Les matières particulaires proviennent principalement de l'usure des pneus et des chaussées, des poussières et fumées métallurgiques, de la corrosion de différents matériaux métalliques, de la corrosion du béton des bâtiments, ponts et chaussées, du chauffage résidentiel et industriel et de la combustion incomplète du carburant des automobiles (André et Delisle, 1988; Zinger et Delisle, 1988).

Koch (1996) a étudié la matière particulaire dans les neiges usées et les eaux de fonte de deux dépôts de surface à Montréal; l'un deux (dépôt de Royalmount) reçoit des neiges provenant de secteurs résidentiels et commerciaux; l'autre (dépôt de l'UdeM) reçoit des neiges à caractère essentiellement résidentiel; il ressort de cette étude que les particules retrouvées dans les neiges usées d'un secteur résidentiel (UdeM) décantent moins vite que celles provenant d'un secteur mixte (Royalmount); toutefois pour les deux sites, les particules les plus représentées ont un diamètre inférieur à 20 microns; 99% des particules du site Royalmount ont un diamètre inférieur à 44 microns et sont responsables de 70% de leur poids total; cependant pour les neiges usées du dépôt de l'UdeM, 97% des particules ont un diamètre inférieur à 44 microns, tout en représentant 35% de leur poids total et pour les eaux de fonte du dépôt de l'UdeM, 99% des particules ont un diamètre inférieur à 44 microns et totalisent 50% de leur poids total. On trouve également en faible quantité des particules d'un diamètre supérieur à 100 microns dans les neiges usées et les eaux de fonte du dépôt de l'UdeM. Des essais en colonne ont montré que la matière particulaire des 2 sites contient des particules noires et fines (limon) en grande quantité qui mettent de 8 s à 1 heure à décanter et des particules fines et claires qui n'ont pas encore décanté au bout de 2 heures. Malgré tout, 85% des particules décantables en moins de 2 heures ont décanté au bout de 30 minutes et 60% des solides totaux présents dans les neiges ont décanté au bout de 30 minutes.

Bouchard (1997) a également étudié la granulométrie de la matière particulaire contenue dans les neiges usées du dépôt Gagnon à Jonquière; les neiges usées proviennent de routes régionales, urbaines et résidentielles à fort et moyen achalandage. Les résultats montrent que plus les particules sont fines et plus leur nombre est important; les plus grosses particules ont un diamètre de 75 microns; dans la tranche étudiée (de 5 à 75 microns), 97 % des particules ont un diamètre inférieur à 20 microns.

Parmi les contaminants liquides susceptibles de contaminer la neige, il faut citer *les huiles et les graisses*; ils proviennent de la combustion interne des moteurs, des systèmes de chauffage à huile et de la mauvaise étanchéité des véhicules; ce sont des composés organiques possédant des propriétés physiques, chimiques et toxicologiques variées; certains composés sont solubles dans l'eau; d'autres non; certains sont volatiles; d'autres ne le sont pas; certains persistent longtemps dans l'environnement alors que d'autres sont rapidement biodégradés. Les concentrations moyennes enregistrées par Zinger (1985) dans la neige des camions étaient de 100 mg/l. Des concentrations allant jusqu'à 500 mg/l ont été mesurées dans de la neige fondue en provenance d'un dépôt de Montréal (André et Delisle, 1988).

De tous ces contaminants qui entrent en contact avec la neige lorsqu'elle arrive au sol, les métaux lourds représentent la fraction la plus dommageable pour l'environnement; ils peuvent être solubles ou insolubles. Généralement, dans les neiges usées à cause du pH relativement élevé, les métaux lourds sont surtout insolubles. Zinger et Delisle (1988) ont démontré que les métaux lourds se lient à des particules en fonction du diamètre de ces dernières; le tableau 2.4 permet de constater que l'immense majorité des métaux lourds adhèrent à des particules dont le diamètre est compris entre 0,45 μm et 180 μm (plus de 80 % aux particules de diamètre compris entre 0,45 μm et 63 μm). Lorsque le diamètre des débris est supérieur à 180 μm , les métaux lourds sont peu adsorbés. La quantité de métaux lourds associés à la forme soluble ($\leq 0,45 \mu\text{m}$) est généralement faible comme le

montre le tableau 2.4. Toutefois le mercure fait exception car en présence de chlorures, il se dissocie des débris et solides en suspension et se retrouve essentiellement sous forme soluble (Freick et al., 1972 tiré de Zinger et Delisle, 1988).

Tableau 2.4: Concentrations moyennes et pourcentages de métaux lourds contenus dans des neiges usées en fonction du diamètre (X) des particules - (Zinger et Delisle, 1988).

Métaux (mg/l)	Forme soluble		Forme insoluble		
	X < 0,45 µm	0,45 µm < X < 63 µm	63 µm < X < 180 µm		
Pb	0,34	0,4 %	68,69	81,0 %	15,81
Fe	0,63	0,1 %	775,7	85,0 %	136,24
Cu	0,10	1,1 %	6,8	72,6 %	2,46
Zn	0,23	0,6 %	34,34	80,3 %	8,19
Cr	0,12	1,8 %	5,2	78,0 %	1,34
Cd	0,02	7,6 %	0,21	79,5 %	0,03
					12,9 %

Ces métaux lourds associés à de fines particules finiront par se retrouver dans un environnement totalement différent, selon le mode de gestion des neiges usées choisi; leur mobilité ultérieure pourrait engendrer des problèmes de contamination des sols ou du milieu aquatique, selon le type de rejet envisagé.

Les métaux les plus fréquemment trouvés dans les neiges usées sont le plomb, le chrome, le zinc, le cuivre, le fer, le cadmium et le manganèse. Ils s'accumulent plus ou moins dans la neige en fonction de l'intensité du trafic routier et de l'urbanisation. Ils sont essentiellement le résultat de la corrosion des métaux, exception faite du plomb.

De tous ces métaux, *le plomb* est le plus toxique; on lui reconnaissait un temps de résidence dans les sols organiques variant entre 150 et 500 ans (Friendland et al., 1992); la présence du plomb dans l'environnement est principalement due à l'utilisation de l'essence au plomb largement répandue jusqu'aux années 80, tant aux États-Unis qu'au Canada. L'étude effectuée par Friendland et al. (1992) a permis de comparer les niveaux de plomb mesurés à environ dix ans d'intervalle dans les forêts du nord-est des États-Unis, dans l'horizon organique. Contre toute attente, les concentrations de plomb ont diminué de 17% (de 146 µg/g en 1980 à 121 µg/g en 1990); on s'attendait plutôt à mesurer un taux d'augmentation plus faible entre les années 80 et 90 que celui mesuré entre les années 70 et 80, compte tenu de la faible utilisation du plomb et d'un temps de résidence très long; les concentrations de plomb mesurées dans les rivières ont aussi diminué tout comme celles mesurées dans les précipitations (de 25 µg/l en 1975 à 3 µg/l en 1988). Selon une des hypothèses retenues par les chercheurs le plomb a migré dans l'horizon minéral du sol forestier.

Le plomb contenu dans les neiges usées a fait l'objet de nombreuses études, notamment en ce qui concerne son éventuelle mobilité à différents pH. Oliver et al. en 1974 ont démontré que le plomb est principalement adsorbé sur de fines particules et qu'il est très difficile de le désorber (tableau 2.5), que ce soit en modifiant le pH (de 1,88 à 10,6) ou en le mettant en présence de concentrations élevées de chlorures.

Ces deux études apparaissent contradictoires à première vue; de l'étude d'Oliver et al. (1974), on peut retenir que lors de l'analyse de neiges usées, on doit s'attendre à retrouver le plomb d'abord sous forme insoluble; les travaux de Friendland et al. (1992) par contre, doivent nous inciter à la prudence lorsque l'on choisit un mode d'élimination des neiges usées; malgré qu'il soit difficile de désorber le plomb, les rôles de la végétation et des bactéries en milieu naturel peuvent modifier grandement les résultats anticipés.

Le *cadmium* est aussi très toxique et non essentiel. Par contre le chrome, le zinc, le cuivre, le fer et le manganèse sont des éléments essentiels.

Le contenu naturel des sols en métaux, en absence de toute contamination, est le reflet de la concentration individuelle de ces différents métaux dans la croûte terrestre. Le tableau 2.6 (Purves, 1985) permet de comparer les concentrations de différents éléments dans les roches ignées, les roches sédimentaires et les sols dont ils sont issus. Ces chiffres ne sont valables que pour des sites naturels n'ayant pas été utilisés pour l'agriculture. Il faut aussi prendre en ligne de compte l'effet des glaciers qui, dans les régions nordiques, ont remanié la composition des sols.

Le tableau 2.7 (MENVIQ^(a), 1988) permet de comparer les concentrations moyennes, en mg/l, d'arsenic, de cadmium, de cuivre, de mercure, de plomb et de zinc mesurées dans différents échantillons de sources diverses; la première série de chiffres provient de l'étude effectuée par Zinger et Delisle (1988) lors d'un échantillonnage de la neige dans les camions, juste avant son déversement dans le fleuve St.-Laurent; ces chiffres sont repris dans le tableau 2.8 (MENVIQ^(a), 1988) et comparés à différentes normes provenant du règlement relatif aux rejets dans les réseaux d'égouts .

Les tableaux 2.2 et 2.7 permettent de constater que la contamination de la neige en métaux lourds via l'atmosphère est négligeable par rapport à la contamination engendrée lors de son séjour au sol.

Tableau 2.5: Essais de désorption du plomb contenu dans des échantillons de neiges usées (Oliver et al., 1974).

Solution	Percent of Lead Dissolved in Solution		
	Sample A (546 mg/l Pb)	Sample B (566 mg/l Pb)	Sample C (548 mg/l Pb)
Buffer pH 1.88	1	1	1
Buffer pH 3.09	1	0	1
Buffer pH 4.09	1	2	1
Buffer pH 5.06	2	2	2
Buffer pH 6.01	1	1	1
Buffer pH 7.50	1	0	2
Buffer 9.07	0	0	0
Buffer pH 10.60	1	2	1
1,000 mg/l Cl ⁻	0	0	0
0.5 M NaCl	0	0	0
1 M NH ₄ Ac	4	4	3
0.33 M CaCl ₂	3	3	3

Tableau 2.6: Concentrations moyennes de différents éléments dans les roches ignées, les roches sédimentaires et les sols (en ppm i.e., µg/g de sol), - (Purves, 1985).

Element	Igneous rocks	Sedimentary rocks	Soils
Mn	950	670	850
Cr	100	160	200
Zn	70	80	50
Cu	55	57	20
Pb	12	20	10
Sn	2	30	10
B	10	12	10
Co	25	23	8
Be	3	3	6
As	2	7	5
Mo	1.5	-	2
Cd	0.2	0.3	0.5
Ag	0.07	0.9	0.1
Se	0.05	0.6	0.01
Hg	0.08	0.4	0.01

Tableau 2.7: Concentrations de contaminants mesurées dans différentes neiges (mg/l)
 (adapté de MENVIQ^(a), 1988).

Paramètres	1985	1978	1979	1974	1973	Neige sur un dépôt terrestre à Ottawa
						Neige sur un dépôt terrestre à Sainte-Foy
Arsenic	-	0,0485	0,183	-	-	-
Cd	0,27	0,0045	0,037	0,02	0,24	-
Cu	9,36	0,047	0,624	0,13	0,51	-
Hg	-	0,00021	0,00009	0,0001	0,00108	-
Pb	84,84	0,575	2,639	0,84	3,25	0,9-9,5
Zn	42,77	0,079	0,213	0,67	9,15	-
M.E.S.	1 209,0	-	-	1 487	-	2 250-3 100
DCO totale	496,6	-	-	224	1 048,7	-

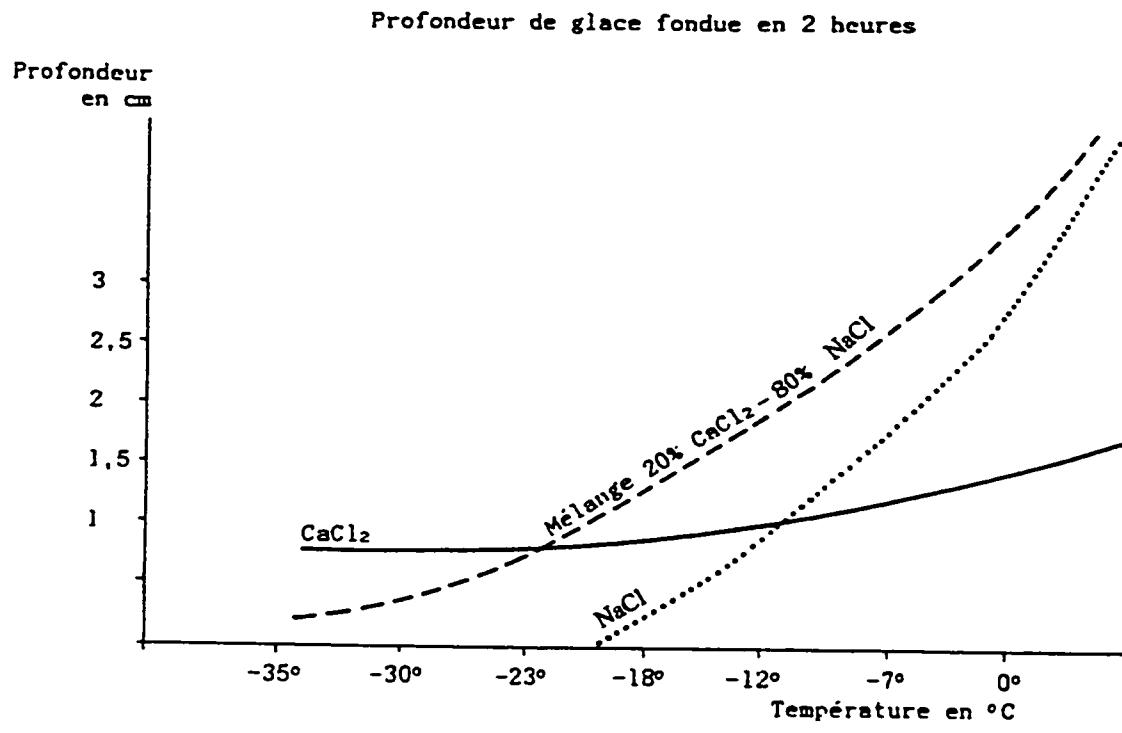
Tableau 2.8: Comparaison, pour quelques paramètres, entre les neiges usées, les eaux usées et diverses normes (adapté de MENVIQ^(a), 1988).

Paramètres	Composition typique des eaux usées au Québec utilisée comme base de design	Normes maximales recommandées par le MENVIQ pour un rejet dans un réseau d'égouts sanitaire	Normes maximales recommandées par le MENVIQ pour un rejet dans un réseau d'égouts pluvial	
Cyanures	0,24	-	2,0	0,1
Chlorures	3 851,2	30	-	1500
DCO	496,6	250	-	-
Solides en suspension	1 209,0	100	-	30
Solides totaux	6 948,8	350	-	-
Huiles et graisses	104,6	50	-	15,0
Plomb	84,84	-	2,0	0,1
Fer	912,57	-	-	17,0
Cuivre	9,36	-	5,0	1,0
Zinc	42,77	-	10,0	1,0
Chrome	6,67	-	5,0	1,0
Cadmium	0,27	-	2,0	0,1

2.2.2 Contamination directe: les fondants et les additifs

Les sels épandus sur les routes, à des fins de sécurité pour prévenir le dérapage des véhicules sur chaussées glissantes, en milieu urbain, demeurent parfois longtemps sur la chaussée avant d'être refoulés en bordure des voies par les chasse-neiges, les niveleuses ou les souffleuses. Lorsque la circulation est dense, les neiges usées imprégnées de sels peuvent se retrouver sur les pelouses ou sur les bâtiments avoisinants. Au Québec, les sels sont surtout épandus sous forme de flocons. Le plus utilisé est le chlorure de sodium (NaCl). Il se dissout lentement; son point de fusion est de -20°C , mais la température pratique de fonte est de -10°C . Il est peu coûteux comparativement au chlorure de calcium (CaCl_2) qui lui, est plus efficace à basses températures. Le point de fusion du chlorure de calcium est de $-50,6^{\circ}\text{C}$ et la température pratique de fonte est de -40°C . Il se dissout plus rapidement que le chlorure de sodium. En pratique, les deux fondants sont utilisés conjointement: le CaCl_2 en libérant rapidement de la chaleur, permet au NaCl d'entrer en action même à de très basses températures (André et Delisle, 1988). La figure 2.5 présente les caractéristiques des différents fondants.

Le chlorure de sodium et le chlorure de calcium contiennent un certain nombre d'impuretés; par exemple, le chlorure de sodium ayant une origine marine (Dallaire et Ouimet, 1980), on le trouve principalement associé à du chlorure de magnésium, à des sulfates de magnésium, de calcium et de potassium et à du carbonate de calcium. L'ajout de fondants augmente donc les quantités de chlorures (1,79 mg/l en moyenne) et de sulfates (5,05 mg/l en moyenne) que l'on trouve dans les précipitations fraîchement tombées au dessus de Montréal (Delisle, 1991).



Propriétés chimiques

	Chlorure de sodium	Chlorure de calcium
Point eutectique	-20°C	-50.6°C
Température pratique	-10°C	-40°C
Chaleur de solution	Endothermique	Exothermique
Vitesse de solution	Lente	Très rapide

Figure 2.5: Efficacité de différents fondants pour la fonte de neige - (Extrait d'une conférence de M. Daigneault donné lors d'une journée technique de l'Association des travaux publics d'Amérique-Québec, à St-Hyacinthe, 1988).

Certains additifs contribuent aussi à contaminer les neiges usées; ainsi, on utilise des ferrocyanures (ferrocyanure ferrique aussi appelé bleu de Prusse ou ferrocyanure de sodium aussi connu sous le nom de pruciate jaune de soude) comme agent anti-agglomérant du chlorure de sodium et du chlorure de calcium, à raison de 50 à 250 parties par million (Dallaire et Ouimet, 1980).

On ajoute aussi du sable, du gravier ou de la pierre concassée comme antidérapants. La Ville de Montréal a réduit considérablement l'utilisation de fondants au cours de l'hiver 1990-1991, tout en quintuplant l'épandage de pierres concassées (Delisle, 1995); (tableau 2.9).

Tableau 2.9: Quantités comparatives d'abrasifs et de fondants utilisés par la Ville de Montréal au cours des dernières années - (Delisle, 1995).

Abrasifs et fondants	Quantité (tonne métrique)	
	Avant 1990	1990 - 91
NaCl	120 000	70 000
CaCl ₂	350	Peu
Pierre concassée (5-6 mm)	10 000	56 000
Sable	15 000	13 000

Les concentrations de chlorures dans les neiges usées varient énormément d'un endroit à un autre, sur un même tronçon de route, d'une rue peu passante à une route très achalandée ou d'un quartier à un autre, pour de multiples raisons. Ainsi, pendant la chute de neige, les municipalités procèdent à l'épandage de fondants et d'abrasifs principalement

dans les courbes et aux intersections; les concentrations de chlorures y atteignent leurs valeurs les plus élevées; puis, lors du déblaiement, des bancs de neige sont formés en bordure des routes par la machinerie; les quantités totales de fondants épandus dépendent de la quantité de neige tombée et de la température. Le tableau 2.10 montre que les concentrations de chlorures dans les rues varient beaucoup d'un échantillon à l'autre, quel que soit le type de rues (Oliver et al., 1974). En outre, les concentrations de chlorures sont plus faibles dans les échantillons de neiges usées provenant des dépôts, soit après le chargement des neiges usées dans les camions par des souffleuses. Cette difficulté d'échantillonnage des neiges usées dans les rues a mené certains intervenants à la création d'un protocole d'échantillonnage des andains juste avant leurs chargements dans des camions (Delisle et al., 1990).

Tableau 2.10: Distribution des chlorures dans des neiges et des eaux de fonte, en fonction du lieu d'échantillonnage - (Oliver et al., 1974).

Location	Number of Samples	Range of Chloride Levels (mg/l)	Mean Chloride Level (mg/l)
Snow dumps	134	4-2,500	464
Commercial street	41	4-15,266	3,233
Industrial street	6	143-2,448	1,703
Residential street	9	154-8,151	2,283
Roof samples	5	0-3	0.6
Snow dump runoff	36	16-4,397	500
Storm sewer runoff	53	11-1,163	219
Raw wastewater	5	84-332	162
Treated wastewater	10	88-363	200
Rideau River	54	8-57	19
Ottawa River	61	6-21	9

Une étude effectuée par Delisle et al. (1993) a permis de caractériser des neiges usées dans les villes de LaSalle, Lachine et Verdun en utilisant le nouveau protocole d'échantillonnage de Delisle et al. (1990). Le tableau 2.11 permet de comparer les diverses études suivantes:

- la caractérisation d'averses de pluie et la caractérisation de neiges dans des quartiers résidentiels et commerciaux par carottage dans l'andain (Delisle et Leduc, 1987),
- les études de Zinger et Delisle (1988) et Zinger (1985), sur des échantillons de neiges usées prélevés dans des bennes de camions de transport de neige avant leur déversement dans le port de Montréal,
- les résultats obtenus avec le nouveau protocole élaboré en 1991.

La mise en place du protocole de Delisle et al. (1990) avait montré qu'après l'échantillonnage d'une portion complète de l'andain, le meilleur mode d'échantillonnage consistait à prélever des tranches d'andain d'un volume de 20 litres. Le tableau 2.11 permet de constater que le carottage de l'andain utilisé par Delisle et Leduc (1987) sous-estime les concentrations de polluants. Toutefois, les chiffres de Zinger et Delisle (1988) sont nettement supérieurs; outre l'échantillonnage différent, effectué dans des camions, ces neiges usées sont le reflet du type d'épandage que l'on pratiquait à cette époque et de l'utilisation de composés à base de plomb plutôt que de manganèse comme antidétonant dans l'essence. De plus, l'échantillonnage de Zinger et Delisle (1988) s'était effectué dans les pires conditions, i.e., les neiges avaient séjournées plusieurs semaines dans les rues de Montréal.

Tableau 2.11: Concentrations des paramètres physico-chimiques observées dans des précipitations par divers auteurs - (adapté de Delisle et al., 1993).

		DELISLE & LEDUC	ZINGER	DELISLE & LEDUC	DELISLE & LEDUC	LAPOINTE & DELISLE	DELISLE & al.	DELISLE & al.
	Caract. d'averse de pluie 1987		1985	1987 résidentiel	1987 commercial	1991 mixte	1993 résidentiel	1993 Témoins
Nombre de sites		16	108	12	12	55	299	10
Paramètres	Unités							
pH	-	8,5	-	-	-	-	-	-
Écart type	-	0,39	-	-	-	-	-	-
Minimum	-	6,8	-	-	-	6,4	5,7	
Maximum	-	9,9	-	-	-	8,9	7,2	
N	-	108	-	-	-	299	10	
Conductivité	mS/cm	0,126	11,13	2,01	9,71	5,82	4,90	0,061
Écart type		0,086	7,45	2,15	9,46	7,15	4,80	0,084
Minimum		0,036	0,15	0,104	0,049	0,104	0,05	0,010
Maximum		0,901	26,5	9,53	41,58	29,03	64,2	0,13
N		190	108	88	70	609	299	10
Chlorures	mg/l	29,9	3 851,2	508,5	2 647,8	2 021,0	2 072,7	18,7
Écart type		38,3	2 335,72	649,1	1 968,1	2 178,0	2 190,8	31,6
Minimum		5,0	56,0	23,0	66,0	33,0	8,6	2,5
Maximum		390,0	10 000,0	7 000,0	9 500,0	9 927,0	29 587,0	33,5
N		190	98	270	209	574	299	10
M.E.S.	mg/l	125,0	1 209,0	103,9	355,9	2 057,0	496,6	9,5
Écart type		197,2	1 186,64	101,4	181,9	2 446,0	392,3	7,2
Minimum		3,0	86,0	50,0	16,0	50,0	5,0	1,0
Maximum		1 535,0	8 546,0	480,0	854,0	16 270,0	2 318,0	24,6
N		190	108	270	209	609	299	10
Huiles et graisses	mg/l	9,1	104,6	11,9	20,8	29,0	13,06	-
Écart type		5,0	56,11	6,7	10,1	31,0	11,13	-
Minimum		2,0	9,0	2,0	1,0	1,0	1,1	-
Maximum		35,0	200,0	28,0	43,0	150,0	45,0	-
N		188	30	47	39	523	33	-
Pb total	mg/l	0,23	84,84	0,21	0,51	0,65	0,10	0,005
Écart type		0,23	63,26	0,29	0,25	0,67	0,09	0,0
Minimum		0,02	17,15	0,01	0,07	0,01	0,002	0,005
Maximum		1,76	360,05	2,59	1,4	4,55	0,682	0,005
N		190	93	270	209	608	299	10
Manganèse	mg/l	-	-	-	-	-	0,173	0,005
Écart type		-	-	-	-	-	0,147	0,0
Minimum		-	-	-	-	-	0,003	0,005
Maximum		-	-	-	-	-	1,08	0,005
N		-	-	-	-	-	210	7

2.3 Le mode de relargage des contaminants dans un dépôt de surface

Pendant les périodes de faibles précipitations et de dégel, les égouts des zones urbaines drainent les neiges usées fondues et leurs contaminants; toutefois, après d'importantes chutes de neige, les neiges usées doivent être retirées des rues; deux méthodes ont jusqu'ici été couramment utilisées au Québec: le rejet dans les cours d'eau et l'empilement sur des dépôts de surface. Cette dernière option donne lieu à des phénomènes particuliers lors de la fonte hivernale ou printanière: certains contaminants sont évacués avec l'eau de fonte et d'autres s'accumulent à la surface du dépôt de neige. Les ions dissous sont transportés avec l'eau de fonte; on retrouve aussi des matières particulières entraînées dans les sillons de ruissellement dispersés autour du dépôt de neige. La quantité de particules évacuées des lieux d'élimination par les canaux de ruissellement dépend du taux de fonte de la neige du dépôt qui résulte de: sa localisation (sur un versant nord ou sud, à l'abri des arbres ou en plein champ), la température extérieure, l'intensité et la durée des pluies, ou encore la pente du terrain. De plus, les ions solubles tels que les chlorures, le sodium et le calcium, sont rapidement évacués avec l'eau de fonte. Une série d'expériences menées à l'École Polytechnique a permis de démontrer que 70% des chlorures sont évacués avec les premiers 40% d'eau de fonte (figure 2.6). Des résultats semblables ont été observés sur des lieux d'élimination de la Ville de Montréal et de la Ville de Québec (André et Delisle, 1988) et (Pinard et al., 1989).

L'enrichissement en contaminants solubles au début de la fonte d'un empilement de neige n'est pas uniquement le fait des dépôts de neiges usées; le choc acide printanier observé dans certains cours d'eau en est aussi le résultat (Bales et al., 1990); des études semblables effectuées au Japon (Ecker et al., 1990), ont démontré que les métaux lourds solubles contenus dans des neiges fraîches, de pH avoisinant 5.1, se comportaient de façon similaire. Ce phénomène est expliqué comme suit: la neige subit des recristallisations

Concentration
en chlorures (g/l)

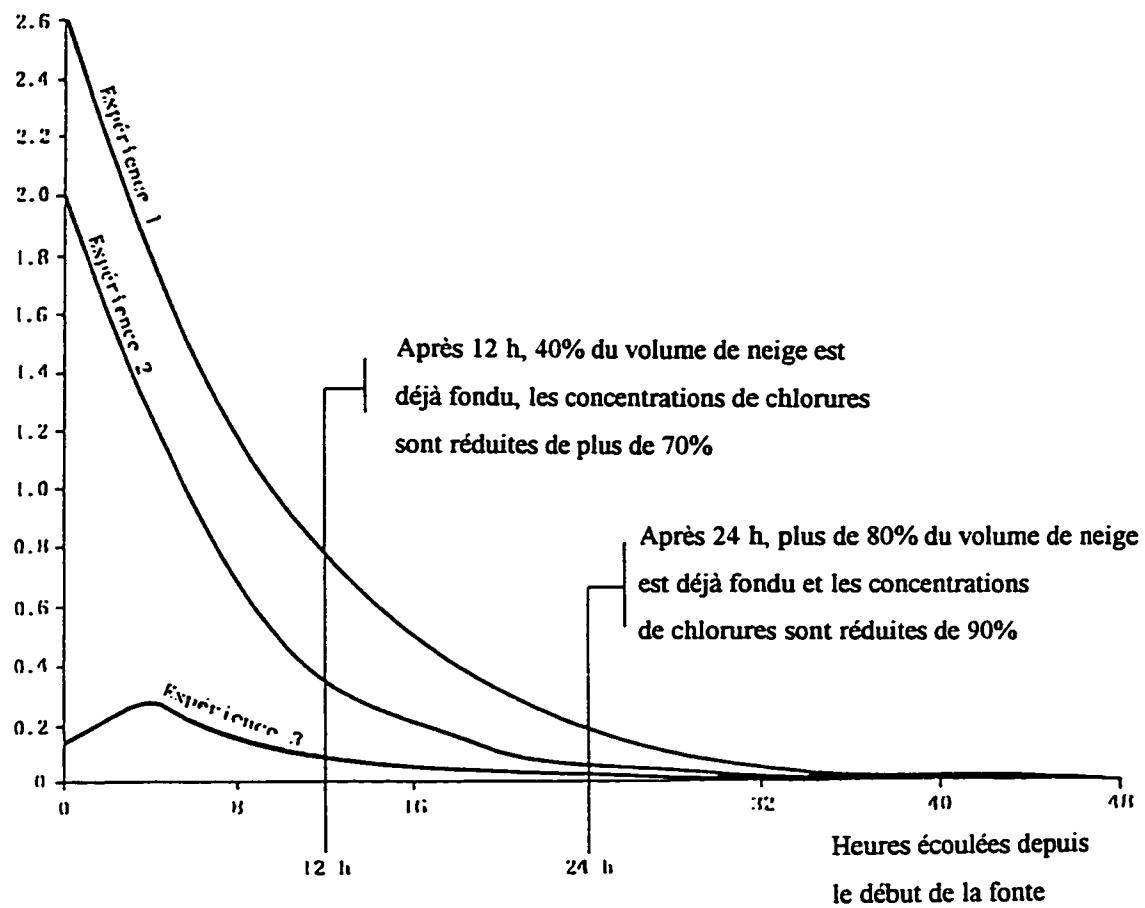


Figure 2.6: Illustration de l'évacuation rapide des chlorures avec le début de la fonte - (Tests effectués en projet de fin d'études par I. Desrochers).

successives en réponse aux variations de température et du rayonnement solaire. Lors du processus de recristallisation, les impuretés se retrouvent à l'extérieur des cristaux de neige; au fur et à mesure que l'eau de fonte se déplace verticalement dans l'amas de neige, elle s'enrichit de ces impuretés restées prisonnières entre les cristaux. Lors du premier épisode de fonte donnant lieu à un ruissellement, la quantité d'impuretés solubles est maximale (Ecker et al., 1990).

Lorsque les eaux de fonte ne sont pas traitées sur place ou encore envoyées à l'égout, il peut y avoir des impacts environnementaux au niveau des sols, de la végétation, des eaux de surface ou des eaux souterraines selon les cas. La matière particulaire entraînée avec l'eau de fonte ou avec la pluie (Pinard et al., 1989), tout comme celle restée à la surface du dépôt de neige peut contenir des métaux lourds; un relargage éventuel des métaux lourds, adsorbés sur les solides en suspension à la faveur d'un pH acide, pourrait également se produire.

2.4 Impacts généraux des contaminants selon le mode d'élimination des neiges usées

2.4.1 Entreposage sur des dépôts de surface

Les débris, sur un dépôt de neiges usées sont d'abord inesthétiques; lorsqu'ils sont de nature organique, ils finissent par se dégrader en dégageant des odeurs nauséabondes sous l'effet des températures printanières. Ceux qui ne sont pas biodégradables persistent longtemps dans l'environnement et devraient être retirés de la surface du dépôt (André et Delisle, 1988).

Sur un dépôt, l'accumulation de matières particulaires a tendance à former des galettes qui ralentissent ou empêchent le développement ultérieur de la végétation (André et Delisle, 1988).

Le cheminement des fondants dans l'environnement est présenté sur la figure 2.7. Que la neige soit laissée sur place dans les rues ou encore qu'elle soit acheminée à un lieu d'élimination, les fondants finissent presque tous par se dissoudre et rejoindre les lacs et les cours d'eau. Cependant, avant que ce long processus soit achevé, lors d'un rejet sur un dépôt de surface certains ions seront adsorbés par le sol et subséquemment par les végétaux (voir les sections 2.5.1 et 2.5.2, pour plus de détails); d'autres contamineront éventuellement la nappe phréatique (André et Delisle, 1988).

La Direction des eaux souterraines et de consommation du ministère de l'Environnement (MEF, anciennement MENVIQ) mentionne que l'épandage et le stockage de fondants sont les principales causes de contamination des eaux souterraines. Selon le Salt Institute américain, la contamination de l'eau souterraine est surtout limitée aux puits de faibles profondeurs, en bordure des routes; mais tout dépend de la perméabilité des sols (André et Delisle, 1988).

Le cheminement des métaux dans l'environnement est montré à la figure 2.8; la fraction soluble suit le déplacement de l'eau de fonte; la fraction insoluble est adsorbée sur la matière particulaire. Outre la toxicité relative des différents métaux lourds, la possibilité d'une bioaccumulation de certains d'entre eux dans les organismes vivants doit être considérée. Un schéma général d'interactions métal/organisme est impossible à définir; trop de facteurs différents sont en cause tant du côté des métaux que du côté des organismes; par exemple, certains (le cuivre et le plomb) sont facilement adsorbés par les particules humiques; par contre, d'autres (le cadmium, le zinc, le mercure) sont plus mobi-

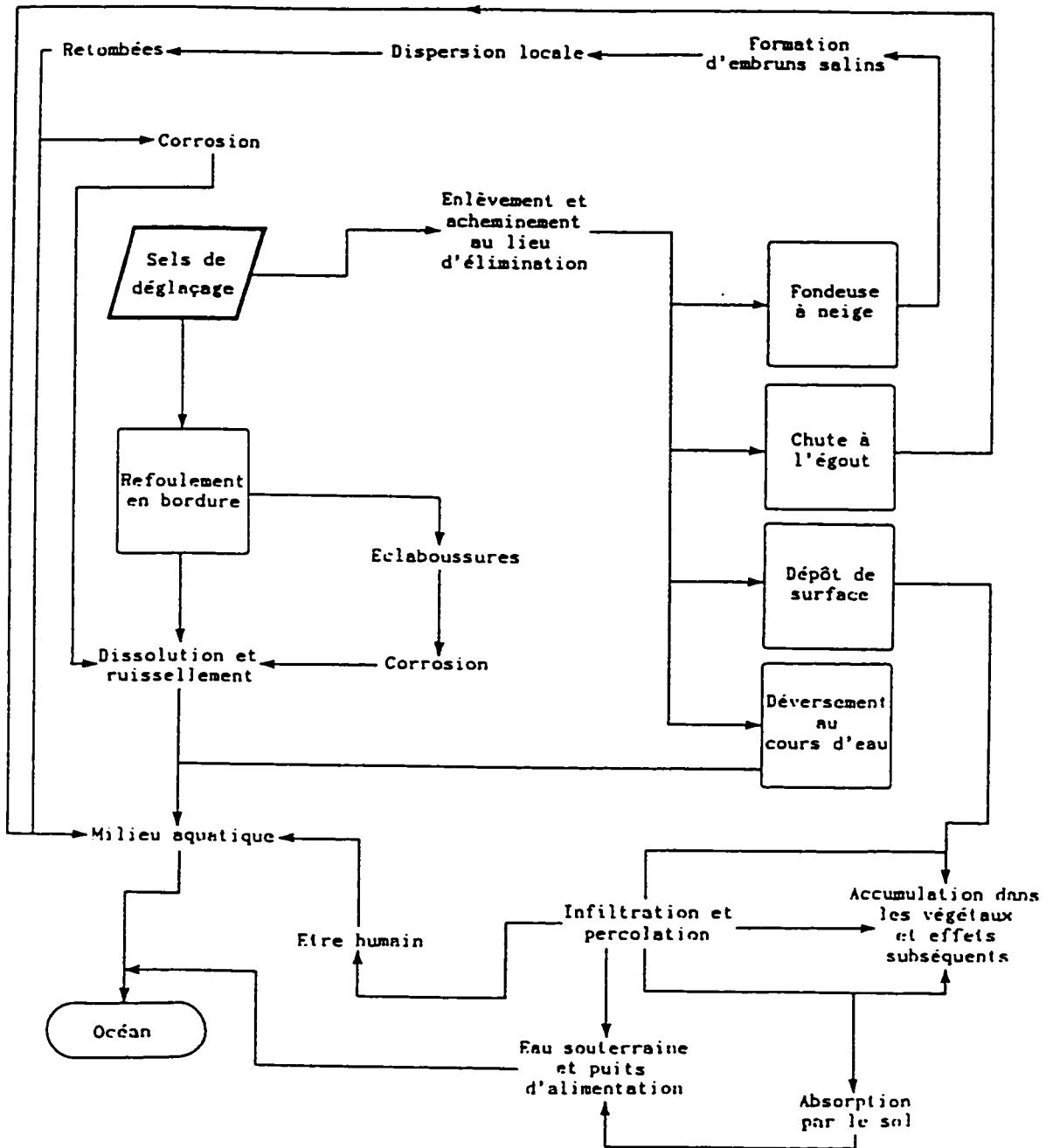


Figure 2.7: Cheminement des sels de déglaçage dans l'environnement - (André et Delisle, 1988).

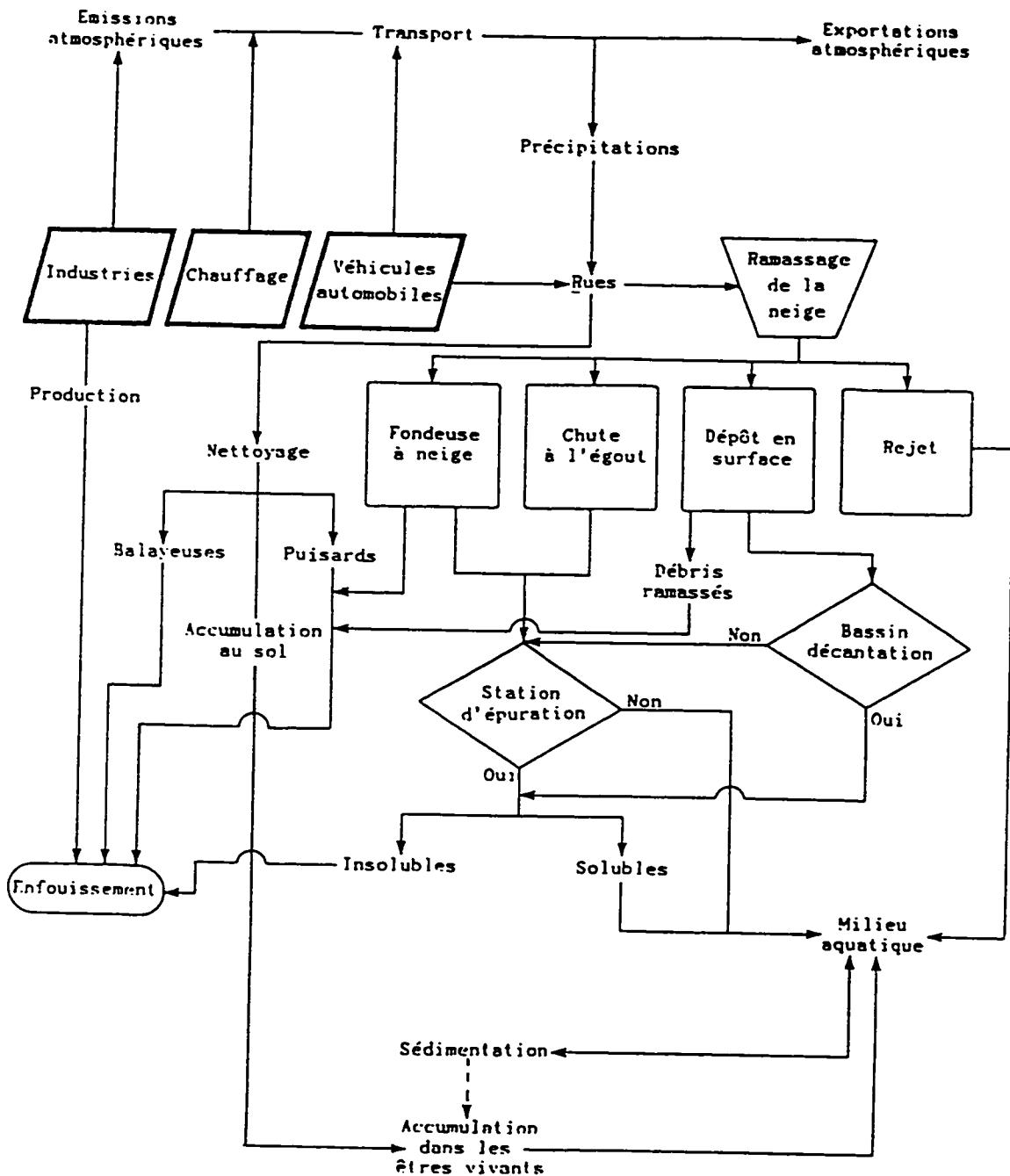


Figure 2.8: Cheminement des métaux dans l'environnement - (André et Delisle, 1988).

les ce qui leur confère un pouvoir de bioaccumulation, voire de bioamplification dans la chaîne alimentaire. Les métaux sont des éléments simples qui ne se dégradent pas; ils peuvent seulement se combiner ou se complexer avec des groupes minéraux ou des groupes organiques selon leurs formes chimiques; il y aura alors une modification de leur toxicité (André et Delisle, 1988).

2.4.2 Rejet dans un cours d'eau

Lorsque les neiges usées sont évacuées dans un cours d'eau, les débris (de grande dimension) qui ne sont pas biodégradables souillent les rives; ceux qui sont de nature organique dégagent des odeurs désagréables en se décomposant et captent une partie de l'oxygène de l'eau (DBO); les déchets en verre, en plastique et en métal peuvent aussi occasionner des blessures aux baigneurs (André et Delisle, 1988).

Les débris de faible dimension et les solides en suspension, indépendamment de leur contenu éventuel en métaux lourds, ont un impact plus sournois. Ils peuvent modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau du milieu récepteur ce qui aura des répercussions sur les organismes habitant ce milieu. Une cascade d'événements suit alors un rejet de neiges usées dans un milieu aquatique (André et Delisle, 1988):

- la présence de ces solides interfère avec la pénétration en profondeur de la lumière et cause un réchauffement de l'eau du cours d'eau en surface;
- ce réchauffement favorise la formation et le maintien d'une stratification de la température avec la profondeur ce qui a pour conséquence de diminuer les échanges d'oxygène avec la nappe d'eau profonde pouvant provoquer la mort des organismes qui vivent au fond;
- lorsque les solides sédimentent au fond des cours d'eau et qu'ils contiennent une grande proportion de matière organique, la décomposition de cette matière organique

engendrera une consommation d'oxygène dissous pouvant être fatale pour certains organismes;

- la diminution de la pénétration de la lumière aura aussi un impact sur la production de végétaux. Il y aura réduction de la production primaire si ces solides sont inorganiques; par contre, si ces solides sont organiques, il est possible d'observer un accroissement de la productivité de végétaux, possiblement d'espèces différentes de celles qui abondaient auparavant ou encore l'apparition d'espèces carrément indésirables;
- la décantation de ces solides au fond des cours d'eau entraîne la diminution des populations de macroinvertébrés qui constituent la majeure partie de la nourriture des poissons et de diverses espèces de sauvagine;
- ces solides en plus de réduire l'abondance de nourriture des poissons, ont une action directe sur la capacité natatoire des poissons, sur le développement de leurs oeufs et de leurs larves; les solides qui se déposent au fond des cours d'eau altèrent aussi les aires de frai des poissons (André et Delisle, 1988).

L'adsorption des métaux lourds sur les solides en suspension et sur les débris de faible dimension lorsqu'ils décantent au fond des cours d'eau peut entraîner une contamination des sédiments.

Les matières particulaires rejetées dans les cours d'eau ont aussi des impacts socio-économiques sur l'être humain (André et Delisle, 1988):

- elles confèrent à l'eau une teinte souvent brunâtre peu attrayante pour les baigneurs;
- à plus ou moins brève échéance, cet apport de sédiments peut entraîner des coûts de dragage;
- la pêche sportive peut être réduite (André et Delisle, 1988).

La norme de rejet de matières en suspension (M.E.S.) dans les cours d'eau est de 25 mg/l. Zinger et Delisle (1988) ont déjà mesuré des concentrations aussi élevées que 8000 mg/l

dans des échantillons de neiges usées, immédiatement avant leur évacuation dans le fleuve St.-Laurent (André et Delisle, 1988).

Les produits pétroliers rejetés dans les cours d'eau ont des effets sub-létaux à des concentrations variant de 10 à 100 $\mu\text{g/l}$; certains organismes aquatiques peuvent être affectés par des concentrations aussi faibles que 1 $\mu\text{g/l}$. Les produits pétroliers peuvent aussi se bioaccumuler dans les organismes aquatiques et être nocifs pour l'homme. Lorsqu'incorporées aux sédiments, les huiles pétrolières persistent dans l'environnement et possèdent un potentiel de toxicité chronique (André et Delisle, 1988).

Les fondants ont des impacts différents sur le milieu aquatique selon qu'il s'agit de lacs, d'étangs, de ruisseaux, ou de fleuves. Des études (tirées de André et Delisle, 1988) ont montré que l'entrée d'une quantité importante de fondants dans un lac, situé en bordure d'une route par exemple, entraîne une modification de la composition ionique de l'eau et, dans certains cas, une stratification saline qui peut ralentir le brassage printanier des eaux. L'usage de cette eau à des fins de consommation est alors menacée. Cependant, lorsque des fondants sont rejetés dans des cours d'eau, l'impact dépend directement de la capacité de dilution du milieu récepteur. Les fleuves et les rivières de fort débit sont moins sensibles que les petits ruisseaux. Des effets létaux ou sub-létaux ne seraient décelables qu'à des concentrations de NaCl supérieures à 2 000 mg/l , atteintes probablement près du point de rejet des neiges usées; les invertébrés vivant dans la zone mourraient et les poissons éviteraient la zone en se déplaçant vers des lieux de moindre salinité (André et Delisle, 1988).

Les cyanures, quoique chimiquement très stables, peuvent être dissociées en présence de la lumière solaire ce qui accroîtra leur toxicité. Pour la plupart des poissons, la toxicité aiguë des cyanures libres se situent entre 50 et 200 $\mu\text{g/l}$; de plus, la tolérance des individus décroît avec l'augmentation de la température. Zinger et Delisle (1988) rapportent une

concentration moyenne de cyanures libres de 240 µg/l avec des valeurs variant entre 120 et 330 µg/l dans la neige usée des camions, à Montréal.

Les métaux rejetés avec les neiges usées dans l'environnement aquatique peuvent subir des modifications en réponse aux conditions physiques et chimiques du cours d'eau récepteur qui les reçoit; il peut y avoir un changement de l'association de ce métal avec la matière organique, ou encore une modification des formes chimiques du métal (spéciation) tout comme pour le rejet des neiges usées en surface. Ces modifications peuvent amener un métal à acquérir un potentiel de toxicité supérieur en milieu aqueux; des changements dans la densité, la diversité et la structure des communautés du milieu aquatique peuvent survenir; ces effets seront d'autant plus importants que l'on sera à proximité de la zone de rejet (André et Delisle, 1988).

2.5 Impacts particuliers des fondants

La situation particulière du dépôt de neiges usées de l'Université de Montréal, en bordure de boisés qui pourraient être éventuellement protégés sous une forme ou sous une autre, justifie que l'on s'attarde quelque peu aux effets des sels de déglaçage sur les sols et sur la végétation.

2.5.1 Sur les sols d'un dépôt de surface

Les plantes obtiennent la plupart de leurs nutriments inorganiques à partir du sol; ce sont les racines qui captent ces éléments dans le sol; la forme filamenteuse et la nature proliférante des racines leur permettent d'explorer un volume considérable de sol par unité de volume de racine; les racines ont aussi des poils absorbants qui augmentent la capacité des racines de capter l'eau et les minéraux dissous dans le sol (Saini, 1995).

La solubilité des ions n'entraîne pas pour autant leur lessivage à travers toute l'épaisseur du sol; deux constituants importants du sol se chargent de retenir les minéraux: l'argile et la matière organique. L'argile représente la fraction du sol la plus fine (particules $\leq 0,002$ mm). Elle est constituée de silicates d'alumine hydratés; elle est liante; c'est donc un élément de cohésion. La matière organique ou humus est aussi une substance liante. L'argile et l'humus, substances insolubles, peuvent se mettre en suspension dans l'eau et leurs particules y rester à l'état dispersé; toutefois, en présence d'un sel de calcaire, les particules d'argile et d'humus se coagulent et forment un flocon. Dans un sol en place, argile et humus se trouvent généralement réunis à l'état floculé, formant un ensemble appelé complexe argilo-humique. Le complexe argilo-humique est plus stable que l'argile seule ou que l'humus seul; mais pour qu'il reste stable, il faut que le sol renferme une certaine quantité de calcium; cette stabilité physique dépend de la capacité du complexe à retenir les ions (Gros, 1967).

L'argile et l'humus sont des particules colloïdales présentant des charges nettes négatives; pour l'humus, c'est la migration d'un ion H^+ de son groupe carboxyle vers l'eau du sol qui entraîne la formation d'une charge nette négative; pour l'argile, plusieurs causes sont retenues: la présence de sites O^- en périphérie des feuillets de silicates, la substitution d'un ion Si^{+4} par Al^{+3} ou encore la substitution d'un Al^{+3} par un ion Mg^{+2} . Étant chargé négativement, le complexe argilo-humique ne peut retenir que les cations; la majeure partie de ces cations demeure concentrée dans une mince couche d'eau à la surface des granules. Mais ces cations ne sont pas tous aussi énergiquement retenus. Les ions possédant deux charges positives ou plus (comme le calcium) sont mieux retenus que les cations monovalents (comme le sodium); les cations d'un diamètre inférieur sont aussi mieux retenus (Harpstead et Hole, 1980).

L'affinité relative d'adsorption des cations au complexe argilo-humique se fait dans l'ordre suivant: $H^+ > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ = NH_4^+ > Na^+$ (Saini, 1995). Ainsi donc, c'est

l'hydrogène qui est le plus énergiquement retenu; viennent ensuite les oligo-éléments; dans la plupart des sols, c'est le calcium qui constitue l'oligo-élément le mieux fixé et le sodium qui est le plus mal retenu. C'est la présence sur le complexe, en plus ou moins grande quantité, d'ions H^+ qui détermine le pH (Gros, 1967).

Les cations utilisables par la plante se trouvent soit en solution dans l'eau des espaces lacunaires, soit fixés à la surface des complexes. Lorsque la quantité de cations présents dans le milieu est à un niveau suffisamment élevé, il y a alors un équilibre, pour un élément donné, entre la concentration de cations retenus par le complexe et la concentration de cations en solution. Idéalement, le complexe doit être fort, c'est-à-dire capable de fixer le maximum de cations (Gros, 1967).

Mais les cations fixés sur le complexe sont susceptibles d'être échangés contre des cations provenant de la solution du sol. Règle générale, la fixation d'un cation par le complexe est toujours accompagnée par le passage dans la solution avoisinante d'un cation provenant du complexe, généralement du calcium. Le départ du calcium laisse la place à la fixation d'ions H^+ acidifiants uniquement s'il n'y a pas assez de cations dans le sol; c'est donc à ce niveau que décalcification et acidification sont liés dans des sols pauvres (Gros, 1967).

L'ajout d'importantes quantités de chlorure de sodium à un sol provoque un déplacement des ions Ca^{++} du complexe vers la solution et leur remplacement par des ions Na^+ . Si le sol contient beaucoup de sodium, il devient alcalin; or, à des pH élevés certains éléments tels que le fer et le manganèse forment des précipités sous forme d'oxydes ou d'hydroxydes; n'étant plus en solution, ces éléments ne sont plus assimilables par les plantes (Gros, 1967). La non disponibilité du fer entraîne une chlorose des végétaux (Alloway, 1990).

De plus, ce manque de calcium, provoqué par un apport de sodium, modifie la structure du sol; les agrégats se brisent et les interstices entre les particules du sol deviennent plus

petits; le sol devient moins perméable à l'eau et à l'air; dès que l'on mouille un tel sol, les particules se séparent, puis en séchant, elles forment une croûte nuisant au développement de la végétation (Harpstead et Hole, 1980). Les chlorures (Cl^-) ne sont pas retenus par le complexe argilo-humique et seront éventuellement lessivés; toutefois, étant en solution dans l'eau des espaces lacunaires, les végétaux les absorbent tant que la fonte d'un dépôt de neiges n'est pas terminée et que le lessivage ultérieur n'est pas complet.

Le contenu ionique d'un sol en contact avec des neiges usées est donc déséquilibré, qualitativement et quantitativement. Pour comprendre les conséquences de ce déséquilibre sur la plante, on doit connaître les mécanismes qui permettent à la plante d'absorber l'eau et les minéraux.

2.5.2 Sur la végétation d'un dépôt de surface

L'eau passe du sol aux racines par un mécanisme semblable à la diffusion que l'on nomme *osmose*. Généralement, le terme de diffusion s'applique au mouvement d'un soluté d'une région dans laquelle il existe à haute concentration vers une région où il existe à basse concentration. Le terme d'osmose est réservé à la diffusion de l'eau, d'une région à une autre, en réponse à des gradients de l'énergie libre entre ces deux régions; dans ce cas, c'est le solvant (l'eau) qui se déplace malgré que les concentrations de l'eau dans le sol et dans la plante sont égales. L'énergie libre d'un système est la mesure de l'énergie maximale disponible, à l'intérieur du système, pour conversion en travail, à pression et température constantes. L'énergie libre par mole d'une substance quelconque est appelée *potentiel chimique*; le *potentiel hydrique* est le potentiel chimique de l'eau d'un système comparé au potentiel chimique de l'eau pure à la pression atmosphérique et à la même température que le système considéré; le potentiel chimique de l'eau pure a été arbitrairement fixé à zéro (Salisbury et Ross, 1991)

Lorsqu'un soluté est ajouté à l'eau, le potentiel chimique de la solution « eau + solutés » est inférieur au potentiel chimique de l'eau seule (sans solutés); le potentiel chimique de l'eau pure ayant été fixé à zéro, il s'ensuit que le potentiel chimique d'une solution « eau + solutés » est toujours négatif (Saini, 1995).

Le déplacement de l'eau par osmose se fait d'une région de haut potentiel hydrique vers une région de bas potentiel hydrique, à condition bien entendu qu'il n'y ait pas de barrières imperméables entre ces deux régions; ainsi, lorsqu'une solution de sucre est séparée de l'eau pure par une membrane semi-perméable laissant passer seulement l'eau, l'eau diffuse par osmose, du côté de l'eau pure vers le côté où il y a du sucre (figure 2.9) (Saini, 1995).

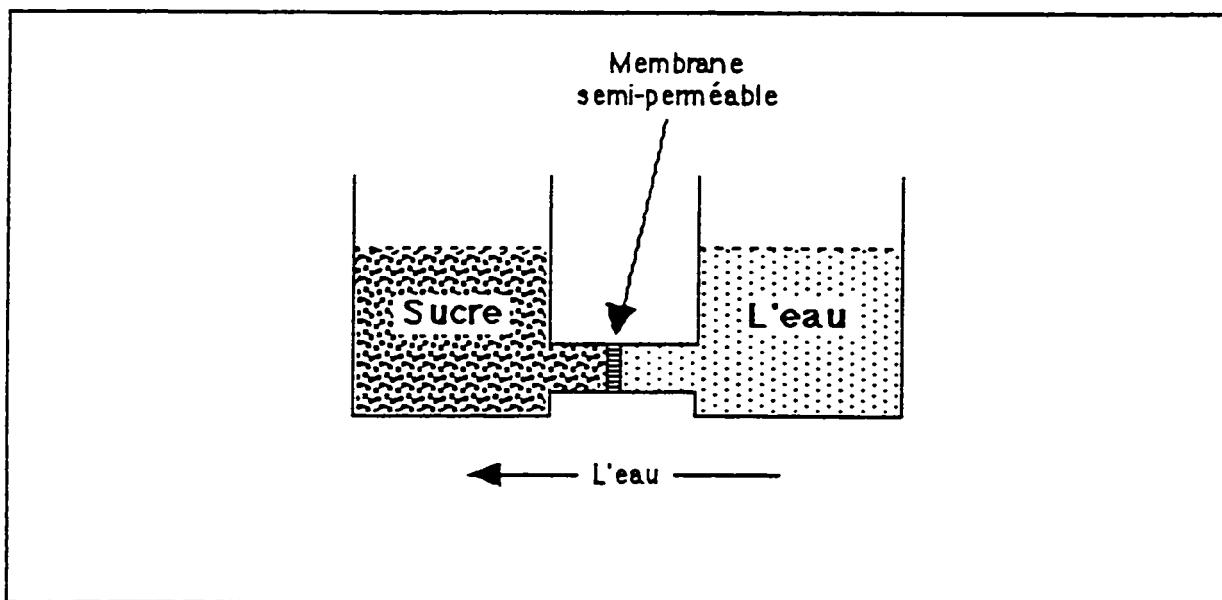


Figure 2.9: Osmose entre deux contenants ouverts séparés par une membrane semi-perméable - (Saini, 1995).

Normalement, une cellule végétale contient plus de solutés (ions, molécules organiques et inorganiques) que le milieu extérieur, le sol par exemple. L'eau passe donc normalement du sol vers la plante dont les besoins en eau sont considérables. Toutefois, lorsqu'un sol est fortement chargé de fondants, le phénomène inverse tend à se produire. La plante, bien qu'elle ait les racines entourées d'eau, est incapable de combler ses besoins en eau; elle manque d'eau et se dessèche.

Les ions dans le sol entrent dans les racines soit en même temps que l'eau ou soit par diffusion à travers la surface racinaire. Des concentrations élevées de Na^+ , Cl^- , Mg^{2+} , SO_4^{2-} et Ca^{2+} peuvent être toxiques pour le métabolisme des plantes; par exemple, l'absorption du potassium par les racines est partiellement inhibée lorsque le sol contient une trop forte concentration de sodium; une concentration de sodium trop élevée dans les cellules modifie aussi la perméabilité des membranes, entraînant une fuite du potassium; la perturbation du rapport Na^+ / K^+ normal par l'absorption excessive de sodium affecte défavorablement le métabolisme cellulaire, notamment la photosynthèse (Saini, 1995).

Globalement, chez les plantes poussant dans un sol contenant de fortes concentrations de sels, on observe un ralentissement de la croissance, suivi de l'apparition de taches nécrotiques sur les feuilles, leur flétrissement, puis leur chute; ce déclin graduel de vigueur amène irrémédiablement à la mort de ces végétaux (Dallaire et Ouimet, 1980).

Chez la plupart des végétaux, les tissus vivants accumulent les ions; ce n'est qu'à la mort de ces tissus que la plante se débarrasse d'une certaine quantité d'ions. La perte de feuilles ou d'aiguilles en automne permet à certaines plantes de survivre pendant quelques années; elles finiront par dépérir graduellement et mourir (Dallaire et Ouimet, 1980).

Certaines plantes sont très sensibles aux sels de déglaçage; d'autres le sont beaucoup moins (tableau 2.12). Aucun dommage n'est observé lorsque les concentrations de

chlorures dans le sol sont inférieures à 1 800 mg/l; le brunissement des feuilles et la nécrose apicale apparaissent à des concentrations d'environ 2 000 mg/l; au delà de 5 000 mg/l, il y a défoliation, dépérissement et mort des végétaux dans la majorité des cas (André et Delisle, 1988).

Tableau 2.12: Résistance du rosier et de différentes espèces d'arbres à diverses concentrations de chlorure de sodium dans le sol - (André et Delisle, 1988).

FAIBLE TOLÉRANCE 0 à 2 000 µg/g ¹	TOLÉRANCE MODÉRÉE 2 000 à 5 000 µg/g	BONNE TOLÉRANCE 5 000 à 6 000 µg/g
Érable à sucre	Bouleau	Mûrier
Érable rouge	Tremble	Chêne blanc
Peuplier d'Italie	Peuplier	Chêne rouge
Mélèze	Sapin baumier	Aubépine
Rosier	Hêtre	Orme blanc
Noyer noir	Frêne	Peuplier blanc
Pommier	Épinette bleue	Peuplier gris
Érable de Norvège		

Extrait en partie de Girard (1982). (1) µg de NaCl par g de sol.

La tolérance de certaines plantes, que l'on appelle des halophytes, envers les sels met en jeu différents mécanismes:

- l'expulsion d'ions; par exemple, chez certaines plantes, le sodium entre passivement dans les racines, mais est expulsé activement par des cellules de l'endoderme ou de l'exoderme;

- l'excrétion du sel; certaines plantes ne contrôlent pas la pénétration du sel dans le système vasculaire ou son transport vers les feuilles; elles l'excrètent plutôt dans des glandes situées à la surface des feuilles, qui éclatent en relâchant le sel;
- l'accumulation de solutés compatibles pour maintenir l'absorption d'eau; ces solutés ne sont pas toxiques pour la plante, mais ils contribuent à baisser le potentiel hydrique des cellules des racines;
- la compartimentation du sel; les ions toxiques passent du cytoplasme des cellules aux vacuoles et en même temps, une certaine quantité de solutés compatibles est synthétisé dans le cytoplasme (Saini, 1995).

2.6 Impacts particuliers des métaux lourds sur la végétation d'un dépôt de surface

La solubilité des métaux lourds dépend largement des conditions physico-chimiques du milieu, notamment du pH; la fraction insoluble fait partie des solides en suspension; la fraction soluble se retrouve dans le sol à l'état d'ions, dans la phase liquide du sol (en solution dans l'eau des espaces lacunaires) ou dans la phase solide du sol (adsorbés sur le complexe argilo-humique, principalement à la manière des fondants, mais aussi selon différents mécanismes de substitution d'ions, de co-précipitation ou de complexation (Alloway, 1990)).

L'absorption des métaux lourds par les plantes entraînent différents impacts; par exemple, les cations tels que Ag^+ , Hg^{2+} ou Pb^{2+} provoquent la dégradation des enzymes (Salisbury et Ross, 1991); d'autres causent des changements au niveau de la perméabilité des membranes cellulaires, notamment l'argent, le cadmium, le cuivre et le plomb (Alloway, 1990).

Une fois que les ions sont absorbés par les racines, leurs mobilités à travers toute la plante et leurs vitesses de déplacement ultérieur dépend du métal concerné et de l'âge de la plante; le Cd est l'élément qui migre le plus facilement; viennent ensuite le Zn, le Cu et le Pb (Alloway, 1990).

Certaines plantes ont acquis des mécanismes qui leur permettent de tolérer une importante quantité de métaux lourds dans les sols; généralement, une plante particulière développe une tolérance vis à vis un métal particulier; toutefois, il existe aussi des plantes qui tolèrent plusieurs métaux lourds simultanément. Les mécanismes protecteurs en jeu varient d'une plante à l'autre; parfois, l'exclusion des métaux lourds se fait au niveau des racines; à d'autres occasions, les ions sont absorbés mais ultérieurement immobilisés dans les racines, le feuillage ou les graines; quelquefois, les ions d'abord absorbés sont ensuite excrétés par les racines ou le feuillage (Alloway, 1990).

2.7 Impacts climatiques d'un dépôt de surface sur les végétaux

La fonte tardive de la neige crée un microclimat qui tend à sélectionner certaines variétés de végétaux plutôt que d'autres; plusieurs critères sont susceptibles de rendre compte de cette sélection; par exemple, les plantes annuelles dont la floraison s'effectue sur un cycle de journées courtes, celles dont la floraison est indépendante de la longueur du jour ou de la nuit ou encore les annuelles qui ne requièrent pas un différentiel de température très marqué entre le jour et la nuit pour assurer leur germination seraient privilégiées.

2.8 Politique gouvernementale en matière d'élimination des neiges usées

En 1978, le ministère de l'Environnement mettait de l'avant son programme d'assainissement des eaux. Ce programme visait à: « Améliorer et conserver la qualité des eaux de façon à ce qu'elles puissent répondre sans risque aux besoins des usagers:

alimentation en eau, baignade, activités récréatives, etc. » et à « Chercher à atteindre et maintenir des milieux équilibrés qui assurent aux ressources biologiques une évolution normale ».

Toutefois, en 1979, un inventaire partiel avait permis d'estimer à plus de 30 000 000 de mètres cubes le volume de neiges usées à enlever au Québec. L'élimination se faisait comme suit: 64 p. 100 sur des dépôts au sol, 29 p. 100 dans les cours d'eau et 7 p. 100 à l'égout ou aux fondeuses (MENVIQ^(a), 1988).

Une étude, effectuée par Girard (1982), montre que pour la seule région de Chicoutimi, sur un total de dix dépôts, six d'entre eux étaient en fait des rejets dans le cours de la rivière Saguenay; de plus, les autres étaient situés dans des zones de ravinement.

Globalement, en 1983, au Québec, la neige des principales artères des petites villes et de la plupart des rues et stationnements des centres urbains était rejetée dans quelque 470 dépôts, à 115 points de décharge aux cours d'eau, à une dizaine de chutes au réseau d'égouts et à 2 fondeuses, ces deux derniers modes d'élimination n'étant utilisés que sur l'île de Montréal (MENVIQ^(a), 1988).

Chaque hiver, 250 cm de neige tombe sur la Ville de Montréal. Il faut donc éliminer environ 7 000 000 m³ de neiges usées annuellement; 30 % de cette neige usée est encore déchargée dans les cours d'eau (Delisle et André, 1995).

En 1988, en tenant compte des multiples études menées pour caractériser les neiges usées et évaluer les impacts des rejets aux cours d'eau, le gouvernement se dota d'une Politique d'élimination des neiges usées. En vertu de cette Politique, l'évacuation de la neige usée directement dans les cours d'eau ou en bordure des cours d'eau devait être interdite dès 1995. Les seules méthodes jugées acceptables pour assurer la protection de

l'environnement, sont celles qui permettent un traitement des neiges usées: les dépôts de surface ou en carrière équipés de bassins de sédimentation, les chutes à l'égout menant à une station d'épuration dont la chaîne de traitement est compatible avec le type de polluants présents dans la neige et les fondeuses dont les eaux de fonte sont traitées à la station d'épuration ou dans un ouvrage produisant des résultats équivalents. Cette prise de position du gouvernement reflète, semble-t-il, les désirs de plusieurs citoyens qui préfèrent encore les dépôts au sol, malgré leur fonte très lente et leur aspect inesthétique, que les rejets dans les cours d'eau (MENVIQ^(a), 1988).

En août 1990, le gouvernement reportait la date de l'échéance finale au 1^{er} avril 1996 pour l'arrêt des déversements au cours d'eau. Constatant que durant l'hiver 1995-96, près de 80 municipalités déversaient encore des neiges usées au cours d'eau ou en bordure de ceux-ci, le ministère de l'Environnement et de la Faune a présenté des allégements techniques afin de faciliter l'application de la Politique d'élimination des neiges usées tout en maintenant l'échéance prévue (MEF, 1996).

Le non respect de l'échéance par plusieurs municipalités a entraîné l'élaboration d'un projet de règlement sur les lieux d'élimination de neige à la fin d'avril 1997. Une copie du projet de règlement et du règlement est présentée à l'annexe 7. On vise l'interdiction des déversements de neige aux cours d'eau ou en bordure de ceux-ci à compter du 1^{er} novembre 1997; les lieux d'élimination existants non autorisés devront également être conformes aux critères d'autorisation au plus tard le 1^{er} avril 2002.

CHAPITRE III

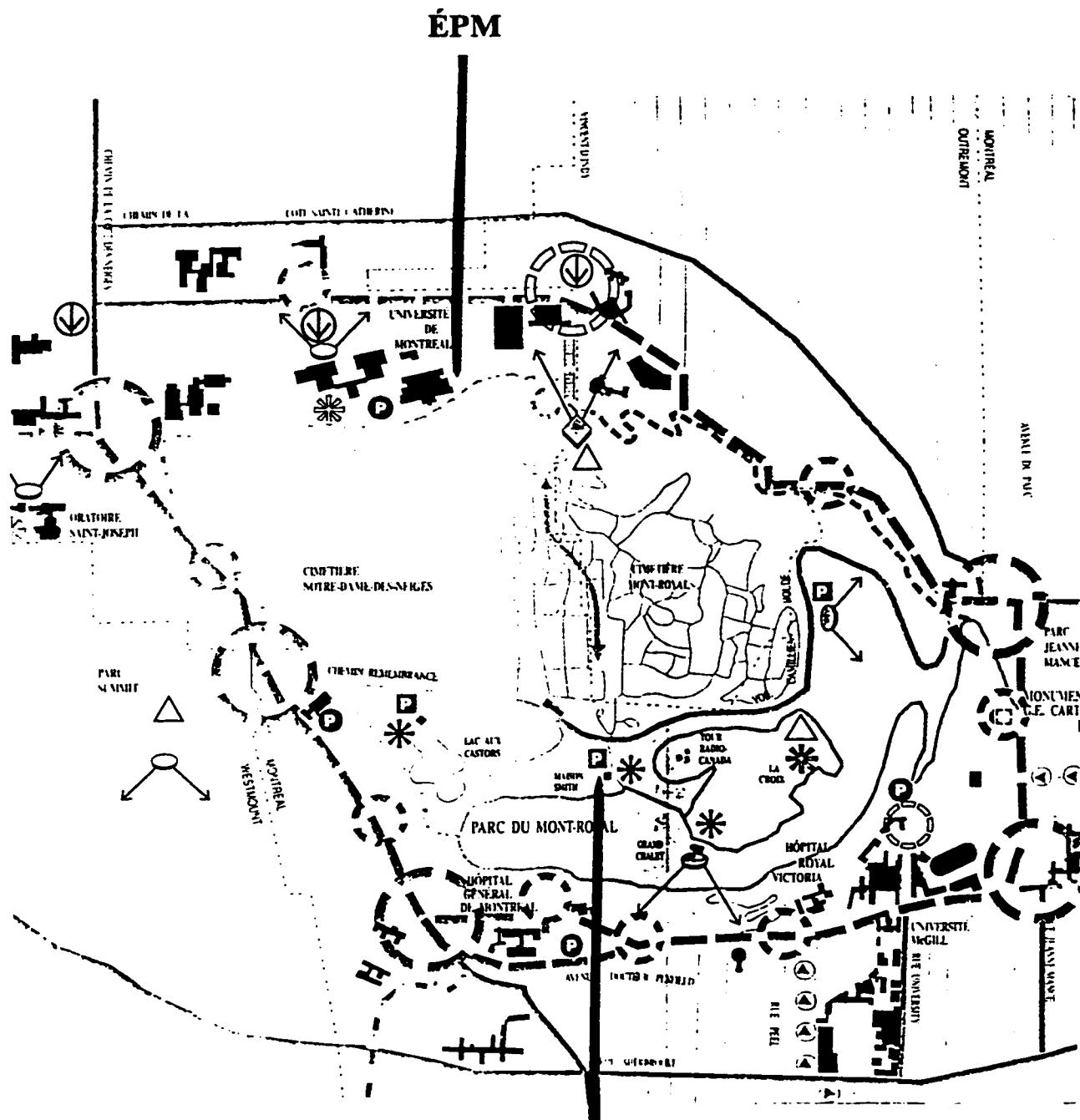
PARTIE EXPÉRIMENTALE

3.1 Description du site et choix des indicateurs

La figure 3.1 montre les positions relatives des différentes institutions, parcs et cimetières occupant le mont Royal; le dépôt de neiges usées de l'UdeM est situé sur le campus, près de l'École Polytechnique de Montréal (ÉPM). La majorité des échantillons ont été prélevés autour et sur le dépôt de neiges usées, exception faite de quelques échantillons de sols témoins (T1S, T1P, T2S, T5S, T6S) ramassés dans un boisé, situé près de la Maison Smith.

La région, qui a fait l'objet d'une étude détaillée, est montrée sur la figure 3.2; on y voit la ligne de démarcation entre la Ville de Montréal et la Ville d'Outremont, certains bâtiments de l'Université de Montréal, l'École Polytechnique, la zone déboisée utilisée comme dépôt de neiges usées et les boisés résiduels qui l'entourent. La figure 3.3 représente le dépôt de neiges usées durant l'année 1994, du début d'avril à la mi-août, selon différents points de vue.

Les boisés entourant le dépôt ont été divisés en six zones (A1** et A1 à A5), susceptibles de se différencier au fur et à mesure de la progression de l'étude, soit à cause de la végétation s'y trouvant, soit à cause du degré possible de contamination par ruissellement, ou encore à une combinaison de ces deux causes (voir figure 3.2). La topographie des lieux assure un ruissellement des eaux de fonte vers les zones A2, A3 et A4 principalement, et à un degré moindre vers la zone A5. Un ravin d'environ trois à quatre mètres de profondeur, au centre du dépôt, traverse les zones A3 et A4 et canalise une fraction importante du ruissellement.



MAISON SMITH

Figure 3.1: Localisation de l'École Polytechnique de Montréal (ÉPM) et de la Maison Smith, sur le mont Royal (adapté de Lavallée, 1992). Des échantillons de sol ont été recueillis autour de la maison Smith (T1S, T1P, T2S, T5S et T6S)

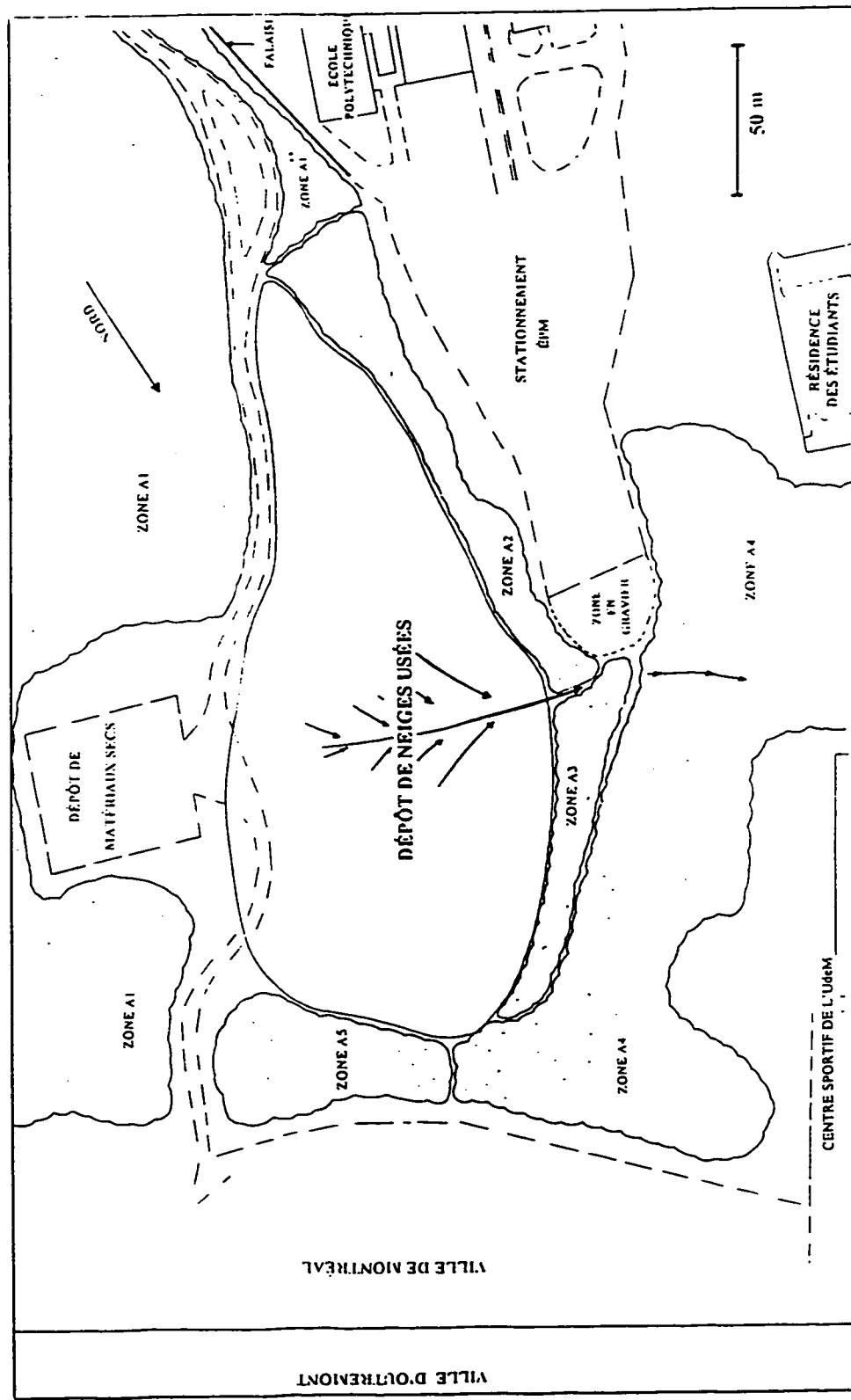
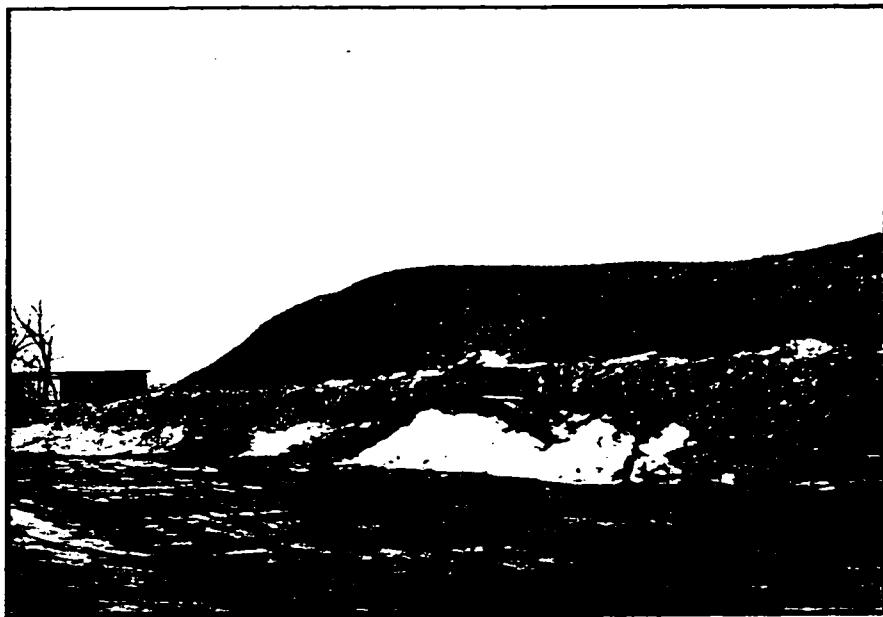


Figure 3.2: Localisation du dépôt de neiges usées sur le campus de l'UdeM.



↑ le 1^{er} avril 1994

↓ le 1^{er} juin 1994

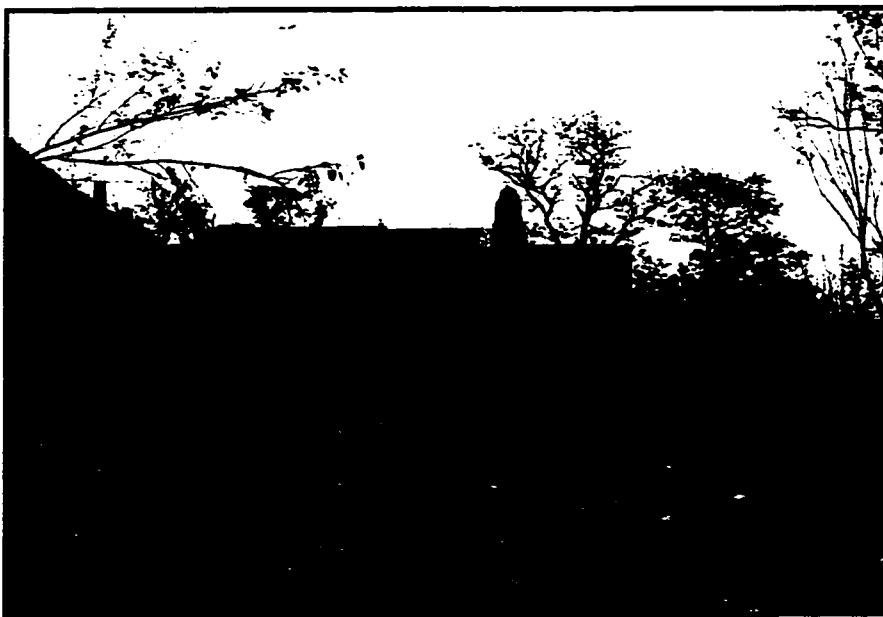


Figure 3.3: Dépôt de neiges usées de l'UdeM.



↑ le 29 juin 1994

↓ le 19 août 1994



Figure 3.3 (suite): Dépôt de neiges usées de l'UdeM.

Des échantillons de neiges usées ont été analysés pour identifier et quantifier les différents contaminants déversés sur le dépôt; des échantillons d'eaux de fonte et des échantillons de sols ont aussi été prélevés pour évaluer leurs migrations éventuelles.

La végétation des zones A1** , A1 à A5 et celle poussant sur le dépôt a fait l'objet d'un recensement durant le printemps, l'été et l'automne 94; le but de cette herborisation est double: préciser l'intérêt écologique des boisés et cerner les impacts du dépôt de neiges usées sur la végétation.

3.2 Emplacement des points d'échantillonnage des différents indicateurs

3.2.1 Eaux de fonte

Les eaux de fonte ont été échantillonnées en deux endroits: l'un, en amont de la canalisation située entre les zones A2 et A3, soit le point RS1 (R* = ruissellement) et l'autre, trente mètres plus bas, en RS3 (figure 3.4); un premier prélèvement a été fait en juillet 94, en RS1, puis un suivi du début mai à la fin de juin 1995 a été réalisé; l'échantillon de 1994 a été conservé congelé; ceux prélevés en 1995 ont été gardés au réfrigérateur avant les analyses. Le pH de ces échantillons a été mesuré le jour même de l'échantillonnage; ultérieurement les chlorures et les sulfates ont été évalués. Tous ces échantillons ont été conservés dans des bouteilles en plastique.

3.2.2 Sols

Des échantillons de sols ont été prélevés (durant l'été et l'automne) sur le dépôt de neiges usées, dans des zones soumises au ruissellement printanier et estival et dans des zones hors d'atteinte du ruissellement, ces derniers représentant ultimement les échantillons témoins.

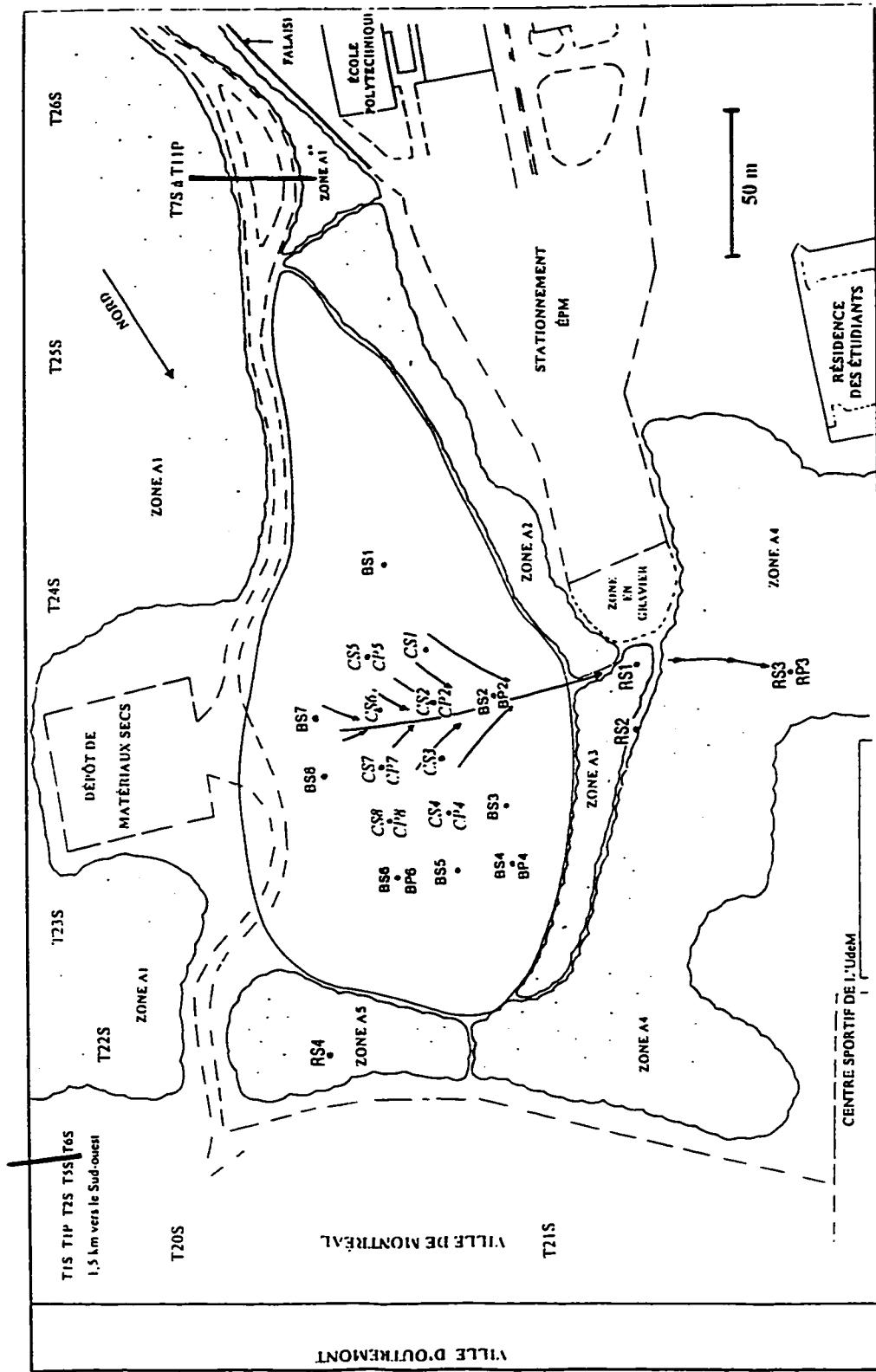


Figure 3.4: Localisation des principaux points d'échantillonnage.

Les échantillons de sols ont tous été conservés au réfrigérateur, dans des sacs en polyéthylène aseptiques; ultérieurement, ils ont été manuellement mélangés pour les rendre homogènes. Le pH des sols a été mesuré et leur contenu en métaux lourds a été évalué.

Deux types d'échantillonnage ont été effectués:

- ceux en surface (S), obtenus en raclant les deux premiers centimètres de sol avec un outil en plastique;
- ceux en profondeur (P), obtenus en prélevant, généralement, les huit centimètres suivants avec un outil en plastique, sous certains échantillons en surface; à l'occasion, à cause de la compaction du sol sur le dépôt proprement dit ou à cause de l'enchevêtrement des racines dans les boisés, la profondeur a été réduite à six ou huit centimètres.

3.2.2.1 Échantillons témoins

Certains échantillons témoins (T1S, T1P et T2S) ont été prélevés en novembre 1994 dans un boisé semblable à ceux qui entourent le dépôt de neiges usées, près de la maison Smith située à environ 1,5 kilomètre du dépôt (voir figure 3.1). En juin 1995, un ensemble plus imposant d'échantillons témoins a été ramassé: T5S et T6S, près de la maison Smith, dix échantillons (T7S à T11P) dans la zone A1**, cinq échantillons (T22S à T26S) dans la zone A1 et finalement deux autres échantillons (T20S et T21S) dans un secteur déboisé ayant été utilisé comme piste de ski dans le passé, près de la ligne de démarcation entre la Ville de Montréal et la Ville d'Outremont (voir figure 3.4).

3.2.2.2 Sols du dépôt de neiges usées

Des échantillons de sol provenant du dépôt de neiges usées ont été prélevés en novembre 1994; l'observation de la végétation durant l'été 94 nous avaient amené à différencier une zone centrale revégétée très tardivement par rapport à la zone périphérique qui l'entourait (voir section 4.1); par conséquent, nous avons différencié les échantillons pris dans la zone centrale, en surface (CS*) et en profondeur (CP*), de ceux ramassés sur les bords du dépôt, en surface (BS*) et en profondeur (BP*). La plupart de ces échantillons contenaient beaucoup de gravier et le sol était très dur; BS7 et BS8 faisaient exception; l'ajout de grandes quantités de feuilles mortes que les camions déchargeaient dans ce secteur, à l'automne, explique cette différence. Les échantillons ramassés sur le dépôt étaient distants d'environ vingt mètres les uns des autres, à l'exception de BS1 (voir figure 3.4). Notons que les sols du dépôt ne sont pas remaniés par les employés de l'Université de Montréal de sorte que l'ajout successif des solides contenus dans les neiges usées représente année après année une nouvelle couche de sol sur le dépôt.

3.2.2.3 Sols dans les zones soumises au ruissellement

Un échantillon en surface (RS1) a été recueilli en aval de la conduite en béton (voir section 3.2.1), au même endroit où nous avions échantillonné les eaux de fonte; le sol à cet endroit était très sablonneux. À une trentaine de mètres de là, correspondant au deuxième point d'échantillonnage des eaux de ruissellement, deux échantillons ont été prélevés: un en surface (RS3) et un immédiatement en dessous, en profondeur (RP3); ces deux derniers points sont situés à la toute fin du ravin qui mène à un replat; à ces trois points d'échantillonnage, se sont ajoutés deux autres échantillons, RS2, à la jonction des zones A3 et A4, et RS4, dans la zone A5.

3.2.3 Échantillons de neiges usées

3.2.3.1 En 1994

En avril 1994, quatre échantillons de neiges usées d'un litre ont été collectés, avec une pelle en plastique. L'un d'eux, très superficiel, était destiné à l'analyse de la couche noirâtre qui s'accumule à la surface du dépôt à la faveur de la fonte printanière; l'épaisseur de cette couche était d'environ 2 cm. Un autre échantillon de neige a été ramassé immédiatement en dessous de la couche noirâtre, sur une épaisseur d'environ 2,5 cm. Par la suite, deux autres échantillons d'un litre ont été prélevés, en deux endroits différents et à des profondeurs différentes: l'un à 50 cm et l'autre à 75 cm.

3.2.3.2 En 1995

Le 28 janvier 1995, treize échantillons d'un litre de neiges usées ont été recueillis, sur une épaisseur d'environ 2 à 3 cm, selon un maillage d'environ 20 mètres couvrant l'ensemble du dépôt; la surface blanchâtre du dépôt avait été nivelée par des bouteurs. Bien que durant les semaines précédant la récolte des échantillons, il y ait eu une période relativement chaude pour un mois de janvier, avec des températures diurnes bien au-dessus du point de congélation ($\approx 10^\circ \text{ C}$) et quelques journées très pluvieuses, une couche noire résultant d'une fonte accélérée ne s'était pas encore formée.

Le 18 février 1995, dix-sept échantillons d'un litre ont été ramassés; la collecte de ces échantillons faisait suite à une importante tempête suivie d'une plus petite, durant les semaines précédentes. La surface du dépôt était très irrégulière et grise foncée; la neige avait une texture de gros sel, car la température de l'air était d'environ 2° C . Les camions avaient déchargé leur cargaison comme autant de monticules laissés tels quels sur le site;

des sillons de 1 mètre de profondeur les séparaient; les échantillons ont été récoltés sur les côtés des monticules les moins exposés au soleil.

Le 2 avril 1995, la couche de solides à la surface du dépôt a été ramassée sur une épaisseur de 1 à 3 cm; seize échantillons de neiges usées de 500 ml ont ainsi été récoltés.

Tous les échantillons de neiges usées ont été conservés au congélateur; le pH, la conductivité, les matières en suspension (M.E.S), les chlorures et les sulfates ont été mesurés durant le printemps et l'été 95 . Les solides contenus dans les échantillons de neiges usées et les échantillons du 2 avril 1995 ont été traités comme des sols (voir section 3.3.7). Des contenants en plastique ont été utilisés pour conserver tous les échantillons de neiges usées.

3.3 Méthodes analytiques

3.3.1 Végétation

Les différents arbres, arbustes et plantes herbacées poussant sur le dépôt et dans les boisés environnants ont été identifiés en recueillant les feuilles, les fleurs ou les graines; ces spécimens ont été conservés dans un herbier. Différents ouvrages ont été consultés pour faciliter l'identification de ces plantes, parmi lesquels:

- Flore laurentienne du Frère Marie-Victorin;
- Arbres indigènes du Canada de R.C. Hosie;
- Arbres, arbustes et plantes herbacées du Québec, Tomes 1 et 2, de D. Fortin et M. Famelart;
- Plantes sauvages des villes et des champs du groupe Fleurbec, Tomes 1 et 2;
- Fougères, prêles et lycopodes du groupe Fleurbec, et;
- Secrets et vertus des plantes médicinales réalisé par Sélection du Reader's Digest.

L'herbier du Jardin Botanique de Montréal et celui du Centre de Documentation de la Montagne ont aussi été mis à contribution.

La présence de ces plantes dans chacune des zones étudiées (A1 à A5 et le dépôt proprement dit) a été notée, sans toutefois en faire le décompte exact; la rareté de certaines d'entre elles a été signalée. Leur coexistence en fonction des conditions du milieu a aussi fait l'objet d'un suivi.

3.3.2 pH

Le pH des sols provenant des échantillons témoins (TS* et TP*), du dépôt (CS*, CP*, BS* et BP*) et des zones de ruissellement (RS* et RP*) a été mesuré, en utilisant la méthode standard recommandée par l'ASTM (norme D 4972-89, 1994). Le délai maximum de 1 mois, tel que recommandé par le PRRI (1992), a été respecté; les échantillons avaient été conservés au réfrigérateur; ils ont par la suite été séchés à 105 ° C et tamisés pour ne conserver que les particules d'un diamètre inférieur à 2 mm. La méthode utilisée est celle de la mesure du pH dans l'eau distillée, avec un pH-mètre.

Le pH des eaux de fonte a été mesuré avec un pH-mètre, au laboratoire, la journée même de la prise de l'échantillon; la mesure du pH des échantillons de neiges usées s'est faite de façon identique, dès la décongélation des échantillons.

3.3.3 Conductivité

La conductivité des eaux de fonte et des échantillons de neige a été mesurée selon la méthode décrite dans la section 2510 du « Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater » (APHA et al., 1989).

3.3.4 Matières en suspension

Les matières en suspension, contenues dans les échantillons de neige, ont été déterminées en pesant les particules retenues sur un filtre de 1.5 µm (934 AH, de marque Whatman), après séchage à 105 ° C. Le volume d'échantillon utilisé variait de 50 à 100 ml, selon les cas. (Section 2540 D de APHA et al., 1989).

3.3.5 Chlorures

Le contenu en chlorures des eaux de fonte et des échantillons de neige a été mesuré par détermination potentiométrique par électrodes; les échantillons de neige ont requis une préfiltration à travers un filtre de 180 µm. (Section 4500-Cl⁻ - Chloride - D potentiometric method de APHA et al., 1989).

3.3.6 Sulfates

Les sulfates contenus dans les eaux de fonte et dans les échantillons de neige ont été mesurés selon la méthode turbidimétrique, après une préfiltration à travers un filtre de 0,45 µm. (Section 4500-SO₄²⁻ - Sulfate - E turbidimetric method de APHA et al., 1989).

3.3.7 Métaux lourds

Les métaux lourds recherchés dans les différents échantillons étaient les suivants: le cadmium, le chrome, le cuivre, le fer, le manganèse, le plomb et le zinc. Les analyses ont été faites par le laboratoire de géochimie analytique de l'École Polytechnique; la méthode utilisée est la détermination des métaux par spectrophotométrie d'absorption atomique basée sur la méthode recommandée dans APHA et al. (1989) à la section 3110. Les analyses ont été effectuées en respectant le délai maximum de 6 mois suggéré par le PRRI (1992). Les résultats bruts et les méthodes de calcul sont présentés dans l'annexe 2.

3.3.7.1 Dans les échantillons de sols

Les sols témoins recueillis en 1994 et 1995, les sols dans les zones soumises au ruissellement et les échantillons de sol recueillis à la surface du dépôt en novembre 1994 ont subi les traitements suivants:

- un assèchement de quelques grammes de sol à 105 °C, pendant 48 heures;
- un tamisage à travers un filtre de soie de 300 µm;
- la mise en contact, dans un pot de téflon, de 1g de sol tamisé avec 2 ml d'acide nitrique purifié dans 5 ml d'eau distillée, le tout chauffé durant une heure à 80 °C;
- la filtration du contenu du pot en téflon sur un papier-filtre de 8 µm et la dilution du filtrat recueilli dans 100 ml d'eau distillée.

3.3.7.2 Dans la couche noirâtre à la surface du dépôt

Les échantillons de solides recueillis à la surface du dépôt en avril 1994 et en avril 1995 ont subi un traitement similaire aux échantillons de sol (section 3.3.7.1); cependant, la consistance très boueuse des échantillons nous a amené à sécher et à tamiser (à 300 µm) l'échantillon au complet, pour assurer son homogénéité, avant de recueillir la fraction de 1 gramme exigée pour les besoins de l'analyse.

3.3.7.3 Dans les échantillons de neiges usées

La procédure suivie pour l'analyse du contenu en métaux lourds des échantillons de neiges usées est la suivante:

- un tamisage à travers un filtre de soie de 180 µm, qui permet d'exclure toute particule d'un diamètre supérieur; cette opération est nécessaire parce que les métaux lourds sont peu adsorbés sur des particules d'un diamètre supérieur à 180 µm, l'adsorption étant un phénomène reliée à la surface de contact présente;

- un tamisage à travers un filtre de $0,45 \mu\text{m}$, qui permet de séparer la fraction liquide de la fraction solide;
- les débris ($63 \mu\text{m} \leq \mathcal{D} < 180 \mu\text{m}$) et les solides en suspension ($0,45 \mu\text{m} < \mathcal{D} \leq 63 \mu\text{m}$) représentent donc la fraction solide; ils ont par la suite été séchés à 105°C , puis traités comme les sols;
- la partie liquide restante, exempte de particules d'un diamètre supérieur à $0,45 \mu\text{m}$, a été conservée au congélateur jusqu'à son envoi au laboratoire;
- pour chaque échantillon de neiges, la fraction solide a été pesée et le volume de la fraction liquide mesurée, afin de nous permettre de calculer l'apport de métaux lourds par litre de neige.

Très souvent, nous avons recouru à des échantillons composés, étant donné la faible quantité de solides contenue dans chaque échantillon individuel. Pour conserver une certaine homogénéité, l'ajout de la fraction solide d'un échantillon de neiges usées à une autre a été effectuée entre échantillons prélevés le même jour et la même année (annexe 5).

3.3.8 Remarques

Les différentes méthodes de filtration utilisées pour les échantillons de neiges usées et pour les sols nous amènent à faire les précisions suivantes:

- les mesures de M.E.S. ($\mathcal{D} > 1,5 \mu\text{m}$) permettent de comparer différents échantillons de neiges usées entre eux ou d'un site à un autre, d'une ville à une autre ville, etc. ou encore à vérifier des normes de rejet;
- les concentrations de métaux lourds retenus dans la fraction solide ($0,45 \mu\text{m} < \mathcal{D} \leq 180 \mu\text{m}$) des échantillons de neiges usées et dans la fraction liquide ($\mathcal{D} \leq 0,45 \mu\text{m}$) permettent de comparer des échantillons de neiges usées entre eux ou à encore à vérifier des normes de rejet;

- les successions de mesure faites sur un même échantillon de neiges usées, à savoir tout d'abord le pH, puis la conductivité, les M.E.S., les chlorures, les sulfates et en dernier lieu les métaux lourds ont exigé des prélèvements successifs et distincts pour lesquels l'homogénéité de l'échantillon est difficile à maintenir: on peut petit à petit accroître la proportion de solides dans l'échantillon;
- les concentrations de métaux lourds retenues sur les particules ($\varnothing \leq 300 \mu\text{m}$) de sols dans les zones soumises au ruissellement, celles de sols du dépôt ou encore dans la couche noirâtre à la surface du dépôt peuvent être comparées aux concentrations trouvées sur les particules ($\varnothing \leq 300 \mu\text{m}$) de sols témoins.

CHAPITRE IV

RÉSULTATS

4.1 Végétation

Deux approches différentes, calquées sur les travaux de Boivin (1989) et de Walther (1963), ont été utilisées pour décrire la végétation recouvrant les zones boisées et le dépôt de neiges usées:

- une description par zone, en notant les espèces dominantes, le relief, le type de sol et certaines associations de plantes (sans décompte exact des différents peuplements);
- une herborisation permettant d'identifier chaque plante et d'en noter la présence ou l'absence dans chacune des zones répertoriées.

Certaines anomalies rencontrées principalement dans les zones contiguës au dépôt sont aussi présentées dans ce chapitre.

4.1.1 Par zone

4.1.1.1 Zones A1 et A1**

La zone A1 est bordée au sud-est par une clôture séparant le cimetière Notre-Dame des Neiges et les terrains de l'Université de Montréal. Au nord-ouest, la zone A1 est délimitée par une route non asphaltée qui permet l'accès au dépôt de neiges usées et à un dépôt de matériaux secs. Les deux tiers de cette zone abrite un boisé dans lequel l'érythrine à sucre (*Acer saccharum*) domine; le sol est profond et humide, la terre est noire, les dénivellations sont faibles; malgré une strate arborescente dense laissant passer peu de lumière, les plantes de sous-bois sont nombreuses; la présence de l'hydrophille

(*Hydrophyllum virginianum*) et de la sanicle (*Sanicula marilandica*) confirme les caractères humide et riche du sol. Cette zone est sillonnée de sentiers pédestres que les promeneurs et les cyclistes empruntent fréquemment dès les beaux jours du printemps jusque tard à l'automne. La partie sud-ouest de la zone A1 est plus escarpée et s'apparente à une chênaie; la terre est plutôt brune et le sol est plus sec; cette portion de la zone A1, se prolonge en A1'' de l'autre côté de la voie d'accès au dépôt et affiche une végétation similaire; le chêne rouge (*Quercus rubra*) abonde, mais pas en peuplement serré; les arbres, le plus souvent comme individu isolé, mais quelquefois en touffes regroupant deux ou trois individus, sont éloignés d'une dizaine à une quinzaine de mètres. En plus des érables à sucre et des chênes rouges qui dominent tour à tour certaines sections de cette zone, on retrouve aussi des caryers cordiformes (*Carya cordiformis*), des noyers cendrés (*Juglans cinerea*), des tilleuls (*Tilia americana*), des frênes blancs (*Fraxinus americana*), des ostryers (*Ostrya virginiana*) des cerisiers d'automne (*Prunus serotina*), pour n'en citer que quelques uns.

Compte tenu de la topographie des lieux, l'apport, par ruissellement, de sels de déglaçage et de métaux lourds dans les zones A1 et A1'' est considéré nul.

4.1.1.2 Zone A2

La zone A2 longe le dépôt de neiges usées, du côté ouest; c'est une mince bande de terre, d'au plus une vingtaine de mètres de large, qui borde le stationnement de l'École Polytechnique; au printemps, les eaux de fonte du dépôt mouillent abondamment cette zone; lors de périodes de fonte particulièrement intenses, les eaux empruntent un chemin pédestre et traversent complètement le stationnement. On y retrouve à l'état adulte principalement des chênes rouges, entremêlés de bouleaux à papier (*Betula papyrifera*), de tilleuls, de peupliers faux-tremble (*Populus tremuloides*), de peupliers à grandes dents (*Populus grandidentata*), d'érables à sucre, de cerisiers à grappes (*Prunus virginiana*), de

cerisiers de Pennsylvanie (*Prunus pensylvanica*) et d'érables à Giguère (*Acer negundo*), de faibles dimensions; du nerprun cathartique (*Rhamnus catharticus*), du cornouiller rugueux (*Cornus rugosa*), des chèvrefeuilles, des ronces, de l'herbe à la puce (*Rhus radicans*) et des vinaigriers (*Rhus typhina*) habillent le sous-bois.

4.1.1.3 Zone A3

La zone A3 prolonge la zone A2 vers le nord-ouest et vers le nord; la végétation qu'on y trouve est semblable à celle de la zone A2; toutefois, cette zone est contiguë à la zone boisée A4, et les eaux de fonte du dépôt qui traverse la zone A3 s'infiltrent ou ruissent dans la zone A4. Le ruissellement est particulièrement intense; au début, les eaux de fonte mouillent toute la surface de la zone puis, lorsque les bords du dépôt se sont asséchés, la majeure partie des eaux de fonte empruntent un petit ravin, situé entre les zones A2 et A3, qui débouche dans une courte canalisation en béton; ce ravin se prolonge ensuite dans la zone A4, sur une longueur d'environ trente mètres.

4.1.1.4 Zone A4

La zone A4 longe en partie la zone A3 dont elle est séparée par un chemin de terre de deux à trois mètres de largeur qui s'estompe graduellement vers le nord-est. C'est une zone boisée où le chêne rouge domine en hauteur et en diamètre; à l'occasion, on rencontre des chênes rouges en touffes (2 ou 3, au maximum), mais généralement ce sont des spécimens éloignés les uns des autres de dix à quinze mètres qui peuplent cette zone; l'érable à sucre y est beaucoup plus rare que dans la zone A1; la majorité des essences présentes dans la zone A1 se retrouvent aussi dans la zone A4, mais les spécimens sont plus jeunes; le sol est rocallieux; la strate arborescente n'est pas très dense et le relief est accidenté; en allant vers le nord-ouest et vers le nord, les pentes sont très abruptes; une clôture borde des secteurs particulièrement dangereux pour les promeneurs, en arrière de

la piscine olympique et du stade de football. Cette zone est aussi sillonnée de sentiers pédestres que les eaux de fonte du dépôt dévalent en entraînant du sable et des cailloux sur plusieurs dizaines de mètres. Des cornouillers rugueux de dimension fort respectable, des ronces et des chèvrefeuilles peuplent le sous-bois.

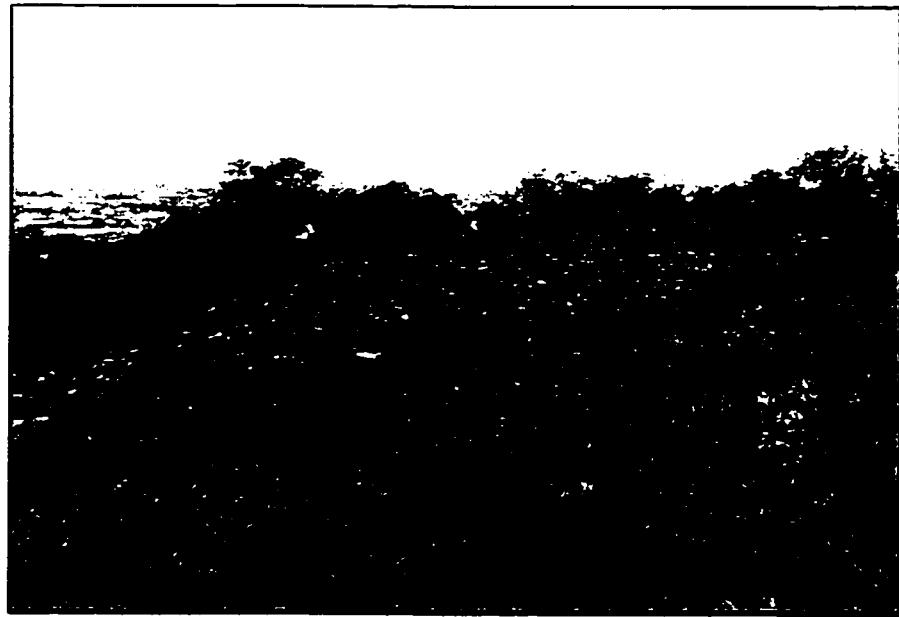
4.1.1.5 Zone A5

La zone A5 borde le dépôt sur son flanc nord-est; en certains endroits le terrain est montueux et le sol est rocailleux; ailleurs le sol est riche et humide; c'est alors le domaine de l'érable à épis (*Acer spicatum*), de l'onoclée sensible (*Onoclea sensibilis*) et de l'hélianthe à dix rayons (*Helianthus decapetalus*), dans une minuscule dépression. Cette zone n'est pas soumise à un ruissellement important et prolongé, à cause de la topographie des lieux. On assiste, tout au plus, à un faible ruissellement des eaux de fonte vers cette zone, lorsque les ouvriers égalisent les neiges usées au printemps en les poussant à la limite des arbres.

4.1.1.6 Dépôt

Le dépôt de neiges usées occupe une superficie d'environ 20 000 mètres carrés; les souches encore visibles par endroit démontrent qu'à l'origine, cette zone était boisée; elle devait alors ressembler aux zones A2, A3 et A5 qui en sont le prolongement.

On peut différencier deux zones principales sur le dépôt; une zone centrale tout juste dégagée de neige à la mi-juillet 94 et une zone périphérique qui se revégète lentement dès les premiers jours de juin (94). Ces deux zones sont très différentes en ce qui a trait à la végétation. La zone périphérique (figure 4.1) est le royaume des herbacées qui poussent en pleine lumière dans les champs, les lieux ouverts, les terrains dénudés, les bords de route, et qui ont trouvé une terre d'accueil une fois la zone déboisée. Les familles de



↑ le 29 juin 1994

↓ le 30 juillet 1994



Figure 4.1: Contraste entre la végétation dans la zone périphérique du dépôt et la végétation dans la zone centrale du dépôt.



^ le 26 août 1994 (Détails en périphérie)

↓ le 29 septembre 1994

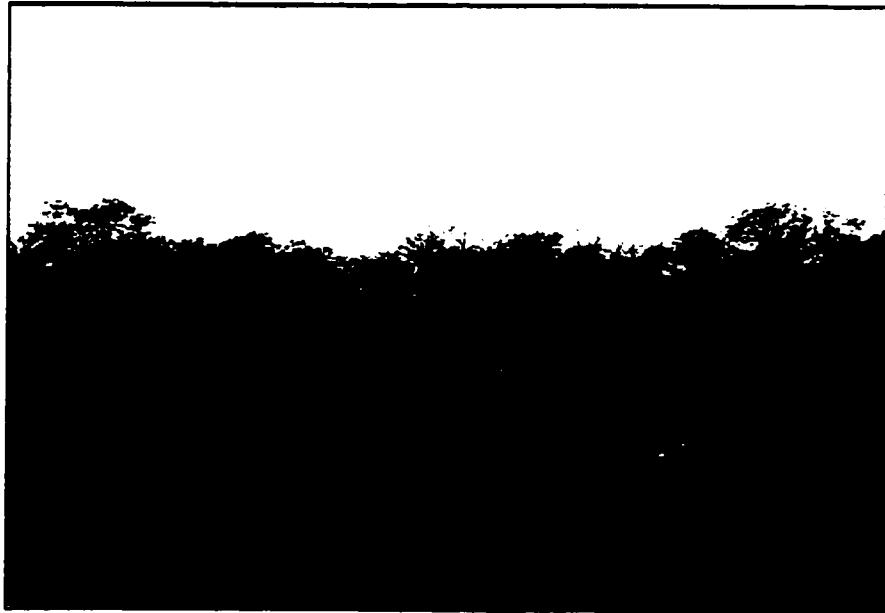


Figure 4.1 (suite): Contraste entre la végétation dans la zone périphérique du dépôt et la végétation dans la zone centrale du dépôt.

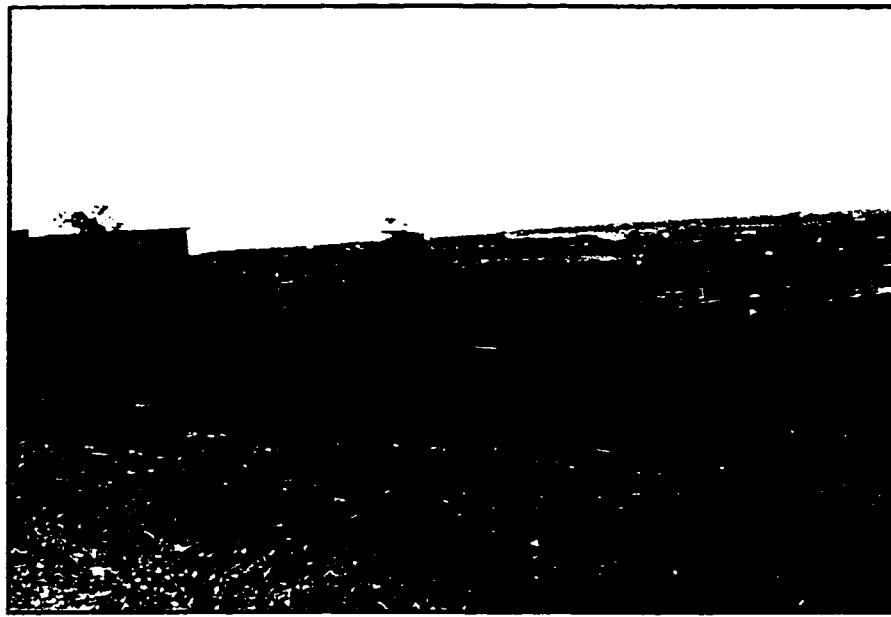
plantes les plus souvent rencontrées sont les chénopodiacées, les composées, les crucifères, les graminées, les légumineuses et les polygonacées. La zone centrale (figure 4.2), d'environ 80 mètres par 40, est essentiellement recouverte d'une herbacée annuelle, la lampourde (*Xanthium chinensis*, alias *X. strumarium*), à 90 %, avec parfois quelques inclusions de kochias à balais (*Kochia scoparia*), elle aussi annuelle; à l'occasion, le kochia assure la transition entre la zone périphérique et la zone centrale, sur quelques mètres carrés, ça et là.

La croissance de la lampourde (figures 4.3 et 4.4) est assez particulière dans cette zone; contrairement aux rares plants qui poussent en périphérie, qui sont largement ramifiés et qui atteignent facilement 50 cm, la lampourde dans la zone centrale est très rabougrie. À la mi-juillet 94, le sol était enfin libre de neige; vers la fin juillet, les premiers plants de lampourde ont commencé à apparaître; ils avaient alors deux vrais feuilles, en plus de leurs deux cotylédons; à la mi-août, ils portaient une dizaine de feuilles et avaient 20 à 30 cm de hauteur; les boutons floraux commençaient à pointer, mais les plants n'étaient pas ramifiés; ils étaient serrés les uns contre les autres, en peuplement très dense. À la fin de septembre, les fruits étaient mûrs; les plants n'avaient pas véritablement grandi; au début novembre, les fruits mûrs se détachaient des plants desséchés et brunis.

La croissance du kochia à balais dans la zone centrale était semblable à celle de la lampourde; alors que les plants en périphérie étaient très ramifiés et très hauts (environ 1 mètre), ceux de la zone centrale étaient très petits, non ramifiés et serrés les uns contre les autres. À la mi-août, ils avaient environ 20 à 30 cm de hauteur et étaient en fleurs.

4.1.2 Herborisation

Les résultats de l'herborisation qui a été faite durant le printemps, l'été et l'automne 1994 sont présentés dans l'annexe 1. Les plantes ont été classifiées selon trois groupes distincts:



↑ le 11 juillet 1994 (sol encore nu)

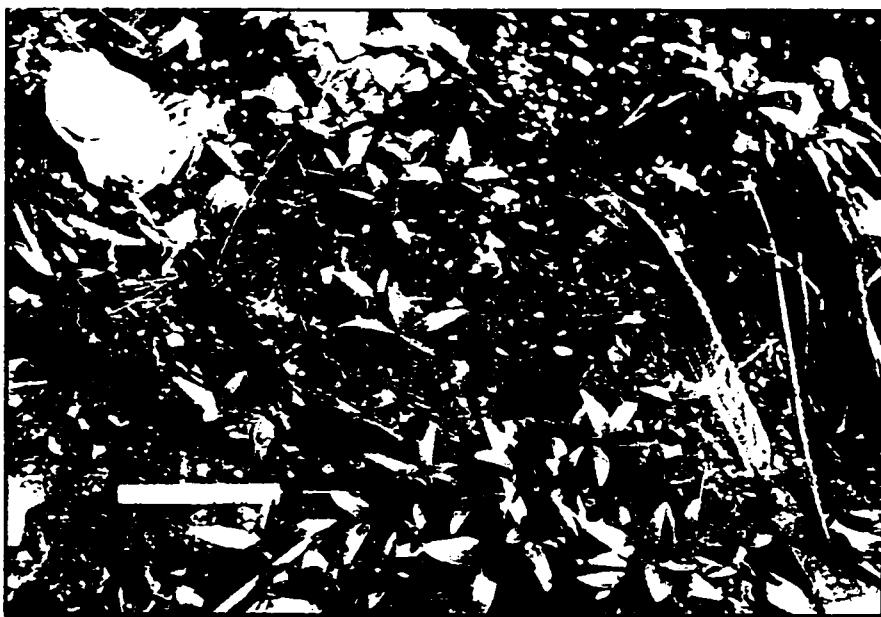
↓ le 30 juillet 1994



Figure 4.2: Végétation dans la zone centrale du dépôt de neiges usées.



Figure 4.2 (suite): Végétation dans la zone centrale du dépôt de neiges usées - le 19 août 1994.



↑ le 30 juillet 1994

↓ le 19 août 1994

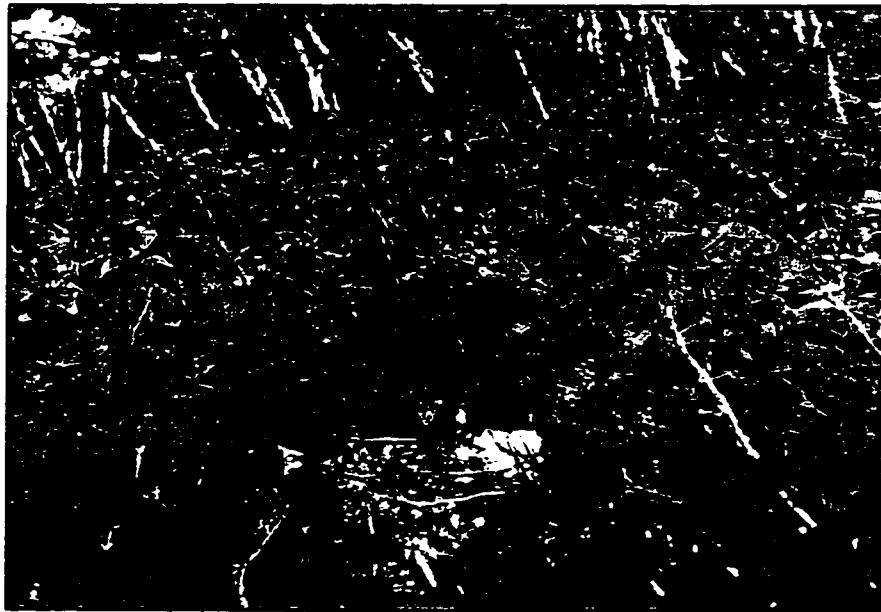
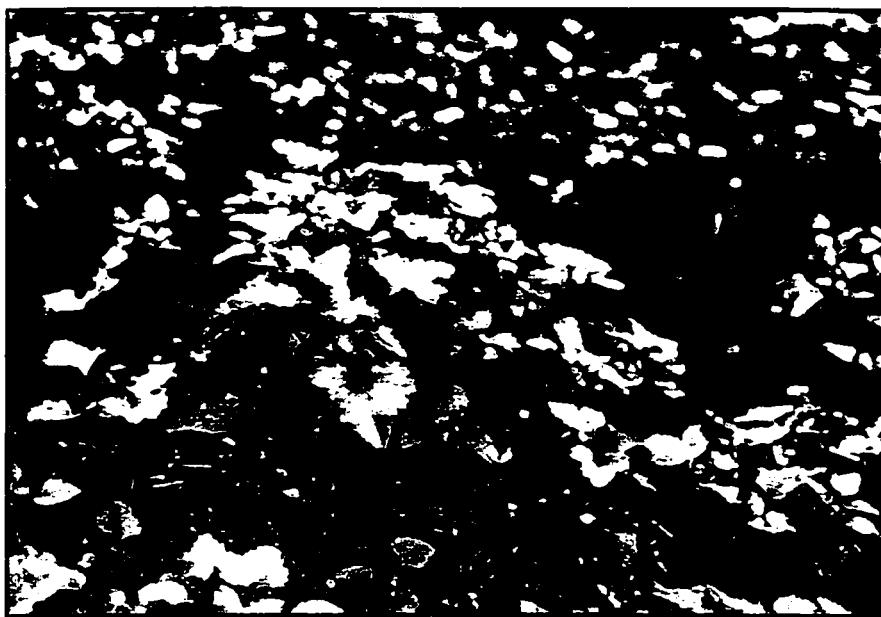


Figure 4.3: Croissance de la lampourde dans la zone centrale du dépôt de neiges usées.



↑ Dans la zone centrale

↓ Dans la zone périphérique

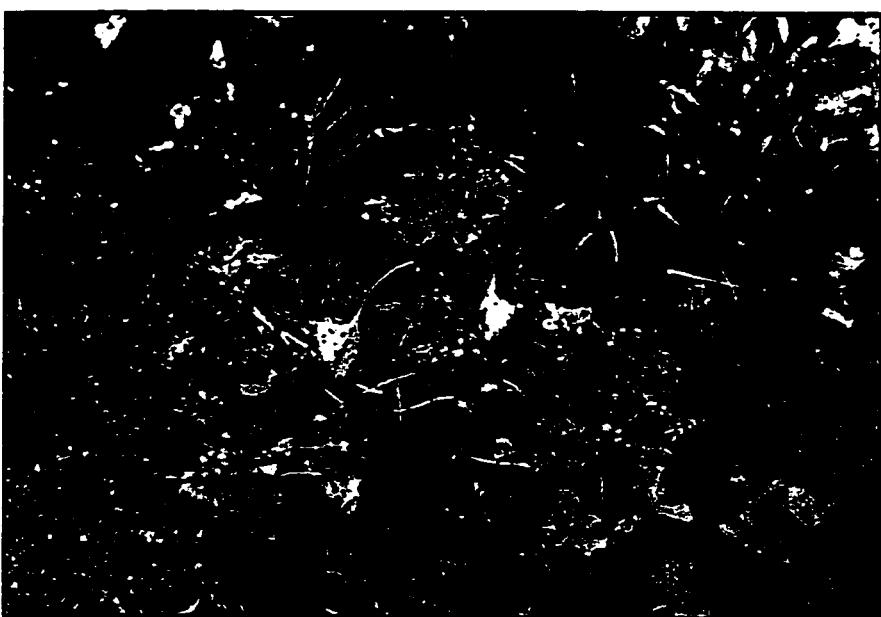


Figure 4.4: Croissance de la lampourde sur le dépôt de neiges usées - le 29 septembre 1994.

les arbres, les petits arbres, arbustes et plantes ligneuses et finalement les plantes herbacées. On a noté leur présence dans les différentes zones boisées ou en bordure des zones boisées et/ou sur le dépôt (D).

Les données présentées dans l'annexe 1 permettent de faire les constatations suivantes:

- l'immense majorité des plantes que l'on trouve sur le dépôt (dans la zone centrale et dans la zone périphérique), à l'occasion faiblement représentées (un plant ou une touffe) comme l'indique l'astérisque (tableau 4.1), qu'elles soient vivaces (V), annuelles (A) ou bisannuelles (B), sont des plantes qui colonisent généralement les champs, les bords de route ou les terrains vagues;
- d'autres, qui affectionnent généralement les zones boisées, les lisières des bois ou les bords des rivières plutôt que les champs, les bords de route ou les terrains vagues, sont présentes sur le dépôt, soit parce qu'elles ont migré des zones boisées vers le dépôt ou encore parce qu'elle sont demeurées sur le dépôt après le déboisement du site (tableau 4.2); parmi celles-ci, le raisin de couleuvre (*Smilax herbacea*) qui, en plein sous-bois prenait toutefois l'allure d'une longue plante grimpante, assez peu ramifiée, plutôt herbacée que ligneuse alors qu'elle était nettement ligneuse sur le dépôt, en masse dense d'environ 30 cm de diamètre;
- certaines plantes ne sont présentes que sur le dépôt, quelquefois en très petite quantité (un plant ou une touffe *) (tableau 4.3).

4.1.3 Anomalies dans les zones boisées

Les arbres et arbustes des zones A2, A3 et A4 présentent certaines anomalies en rapport direct avec le degré de ruissellement auquel ils sont soumis; la zone A3 est la plus touchée; au printemps, les premières feuilles commencent à se développer normalement; cependant au lieu de croître, elles restent petites; le bord des feuilles brunit, sèche, puis se recroqueille vers la face supérieure ou inférieure; le tissu végétal entre les nervures jaunit;

Tableau 4.1: Liste des plantes recensées sur le dépôt de neiges usées et qui colonisent habituellement les champs, les bords de route ou les terrains vagues.

HERBACÉES	VIVACES, ANNUELLES OU BISANNUELLES	HERBACÉES	VIVACES, ANNUELLES OU BISANNUELLES
<i>Agropyron repens</i>	V	<i>Lolium perenne</i>	V
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	A	<i>Matricaria matricarioïdes</i>	A
<i>Artemisia vulgaris</i>	V	<i>Medicago lupulina</i>	A
<i>Asclepias syriaca</i>	V	<i>Melilotus alba</i>	B
<i>Atriplex hastata</i>	A	<i>Panicum capillare</i>	A
<i>Bromus inermis</i>	V	<i>Panicum miliaceum</i>	A
<i>Capsella Bursa-pastoris</i>	A	<i>Phalaris canariensis</i>	A
<i>Chenopodium album</i>	A	<i>Plantago major</i>	V (pérennant)
<i>Chenopodium glaucum</i>	A	<i>Polygonum achoreum</i>	A
<i>Cichorium Intybus</i>	V	<i>Polygonum aviculare</i>	A
<i>Cirsium arvense</i>	V	<i>Polygonum lapathifolium</i>	A
<i>Dactylis glomerata</i>	V	<i>Polygonum pensylvanicum</i>	A
<i>Echinochloa</i> (non différenciés)	-	<i>Polygonum Persicaria</i>	A
<i>Erigeron canadensis</i>	A	<i>Potentilla Anserina</i>	V
<i>Erucastrum gallicum</i>	A / A(hivernante)	<i>Pteridium aquilinum</i>	V
<i>Galinsoga ciliata</i> *	A	<i>Setaria italicica</i> *	A
<i>Helianthus annuus</i>	A	<i>Setaria viridis</i>	A
<i>Hordeum jubatum</i>	A/V	<i>Silene Cucubalus</i>	V
<i>Iva xanthifolia</i>	A	<i>Solanum Dulcamara</i>	V
<i>Kochia scoparia</i>	A	<i>Sonchus arvensis</i> var. <i>glabres.</i>	V
<i>Lactuca Serriola</i>	A/B	<i>Sonchus oleraceus</i>	A
<i>Leontodon autumnalis</i> *	V	<i>Tanacetum vulgare</i>	V
<i>Lepidium densiflorum</i>	A	<i>Trifolium pratense</i>	V

Tableau 4.1 (suite): Liste des plantes recensées sur le dépôt de neiges usées et qui colonisent habituellement les champs, les bords de route ou les terrains vagues.

HERBACÉES	VIVACES, ANNUELLES OU BISANNUELLES	PLANTE LIGNEUSE OU ARBUSTE
<i>Triticum aestivum</i>	A/B	<i>Apocynum androsaemifolium</i>
<i>Valeriana officinalis</i>	V	<i>Rhus typhina</i>
<i>Vicia Cracca</i>	V	<i>Rosa rugosa</i> *
<i>Xanthium chinense</i>	A	

Tableau 4.2: Plantes retrouvées sur le dépôt de neiges usées, affectionnant généralement les zones boisées, les lisières des bois ou les bords des rivières plutôt que les champs, les bords de route ou les terrains vagues.

HERBACÉES	VIVACES, ANNUELLES OU BISANNUELLES
<i>Aralia racemosa</i> *	V
<i>Atriplex hastata</i>	A
<i>Bidens vulgaris</i>	A
<i>Chenopodium hybridum</i>	A
<i>Desmodium canadense</i>	V
<i>Eupatorium rugosum</i>	V
<i>Mentha canadensis</i> *	V
<i>Potentilla Anserina</i>	V
<i>Smilax herbacea</i> *	-
<i>Xanthium chinense</i>	A
ARBUSTES OU PLANTES LIGNEUSES	REMARQUE
<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	-
<i>Rhus radicans</i>	-
<i>Salix</i> (non différenciés)	Repousses sur souches ou à l'état d'arbisseau
<i>Vitis riparia</i>	Pas de fructification

Tableau 4.3: Liste des plantes rencontrées uniquement sur le dépôt de neiges usées.

HERBACÉES	VIVACES, ANNUELLES OU BISANNUELLES	ARBUSTE
<i>Agropyron repens</i>	V	<i>Rosa rugosa</i> *
<i>Capsella Bursa-pastoris</i>	A	
<i>Cirsium arvense</i>	V	
<i>Helianthus annuus</i>	A	
<i>Lolium perenne</i>	V	
<i>Mentha canadensis</i> *	V	
<i>Panicum miliaceum</i>	A	
<i>Phalaris canariensis</i>	A	
<i>Polygonum pensylvanicum</i>	A	
<i>Potentilla Anserina</i>	V	
<i>Setaria italica</i> *	A	
<i>Triticum aestivum</i>	A/B	

à la fin de juin, les feuilles les plus atteintes sont complètement desséchées; des branches entières prennent alors une allure automnale; les grands chênes sont particulièrement défeuillés; de petits tilleuls, des peupliers faux-tremble, des bouleaux à papier, des frênes, des érables à sucre, des nerpruns affichent aussi le même comportement (figures 4.5 à 4.7). Par contre, les plantes herbacées, annuelles et vivaces, croissent sans difficulté apparente. Dans la zone A4, les feuilles de certains arbres et arbustes présentent aussi des anomalies, de façon sporadique et beaucoup moins sévèrement que ceux de la zone A3.

4.2 Caractéristiques physico-chimiques des eaux de fonte

Le pH et le contenu en chlorures et en sulfates des eaux de fonte des différents échantillons prélevés durant le printemps et l'été sont présentés sur le tableau 4.4; la fin de la fonte dépend de la quantité de neiges usées sur le dépôt ainsi que des conditions météorologiques qui ont prévalu durant les mois d'hiver; en 1994, le ruissellement a cessé à la mi-juillet et en 1995, il s'est terminé dès la fin de juin.

Rappelons que le point d'échantillonnage RS1 est localisé en amont de la canalisation située entre les zones A2 et A3 et RS3 trente mètres plus bas dans la zone A4 (voir figure 3.4); les mesures du pH et les concentrations de chlorures et de sulfates démontrent que les eaux de fonte dévalent les boisés (de RS1 à RS3, en considérant l'échantillonnage effectué durant la même journée) en conservant les mêmes caractéristiques physico-chimiques; ces données représentent donc les concentrations de chlorures et de sulfates auxquelles est soumise la végétation lors de l'infiltration des eaux de fonte.

Le pH moyen des eaux de fonte est de 7,8 avec des valeurs extrêmes de 6,9 et 8,3. Les concentrations de chlorures et de sulfates dans les eaux de fonte sont réduites de 90 % en 40 jours et 45 jours respectivement.



↑ Vue générale

↓ Détails

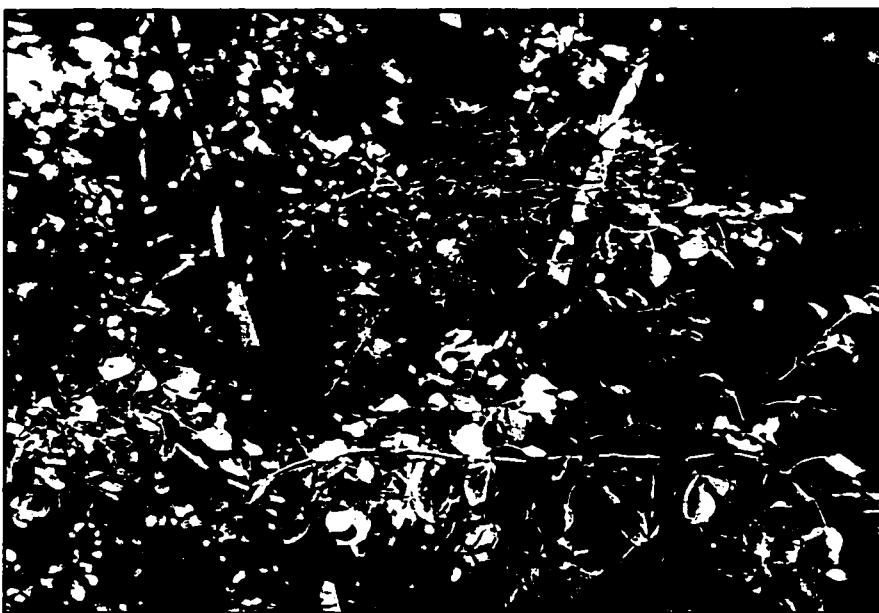


Figure 4.5: Arbres défeuillés, au bas du dépôt de neiges usées, le long de la zone A3 - le 11 juillet 1994.

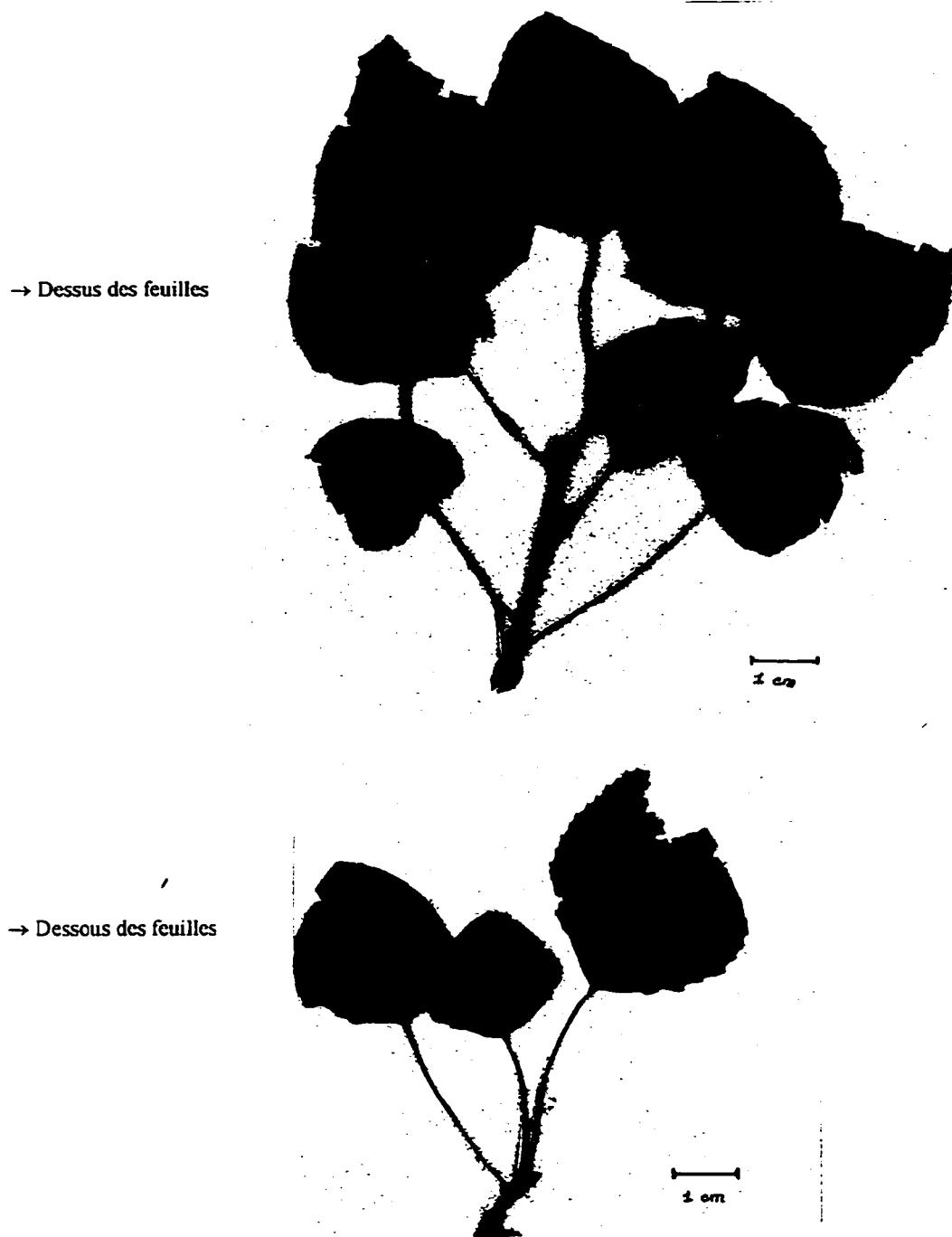


Figure 4.6. Feuilles de peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*) en provenance de la zone A3 - prélevées le 11 juillet 1994, puis séchées.

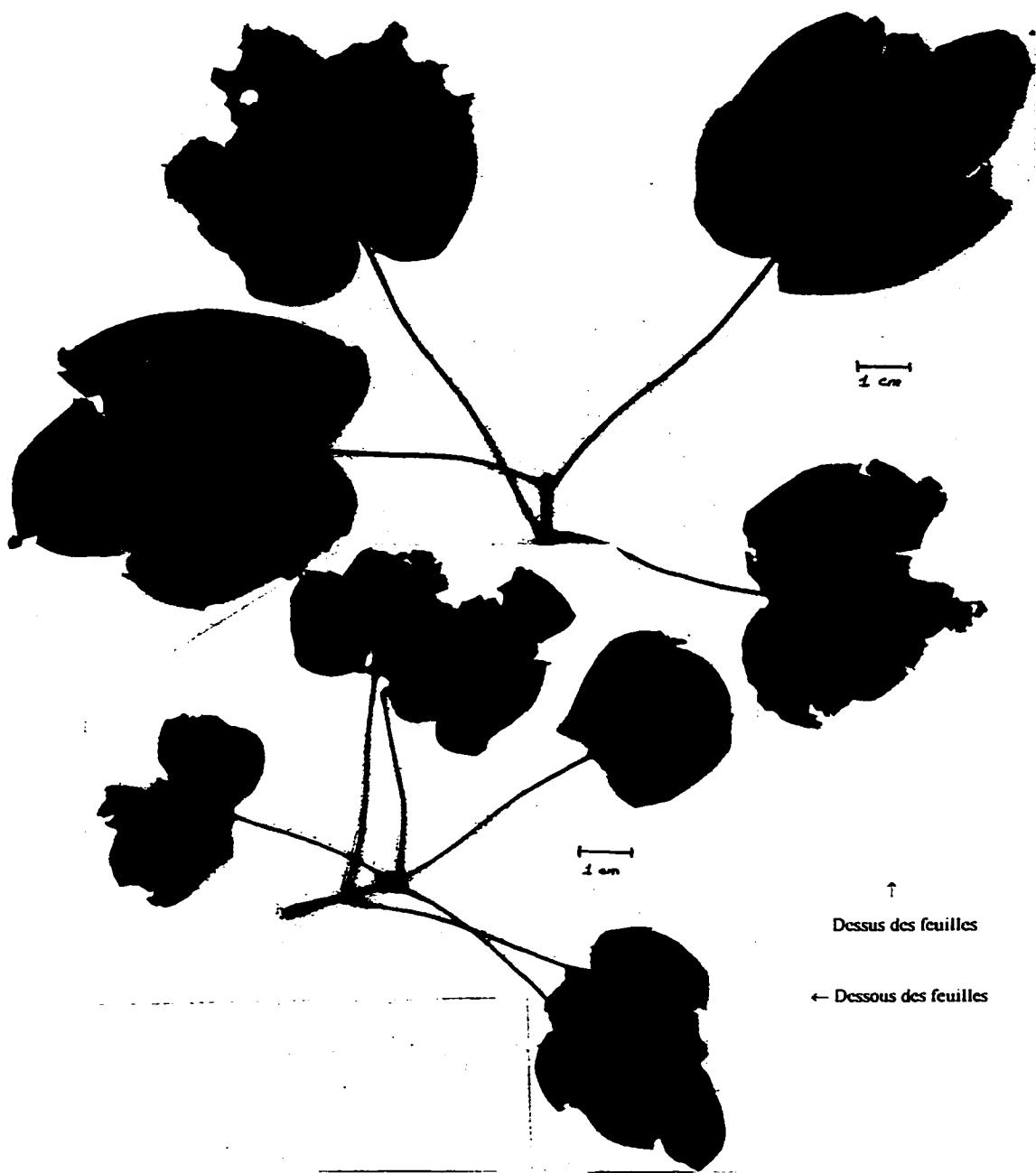


Figure 4.7: Feuilles d'érable à sucre (*Acer saccharum*) en provenance de la zone A3 - prélevées le 11 juillet 1994, puis séchées

Tableau 4.4: Mesure du pH de l'eau de fonte et de son contenu en chlorures et en sulfates durant l'été 1994 ainsi qu'au printemps et à l'été 1995 (dépôt de l'UdeM).

LIEU D'ÉCHANTILLONNAGE	DATE DU PRÉLÈVEMENT	pH	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
RS1	1994 5 juillet	ND	550	21,6
RS1	1995 5 mai	8,0	1 100	89,5
RS3	5 mai	8,3	940	92,5
RS1	10 mai	7,3	716	70,0
RS3	10 mai	7,5	748	78,9
RS1	18 mai	6,9	375	41,0
RS3	18 mai	7,9	398	45,4
RS1	25 mai	7,7	369	44,2
RS3	25 mai	8,0	350	46,8
RS1	1 juin	7,8	188	30,0
RS3	1 juin	8,0	210	32,0
RS1	7 juin	7,9	218	34,3
RS3	7 juin	8,0	222	37,0
RS1	15 juin	8,0	125	20,9
RS3	15 juin	Ne coule plus	Ne coule plus	Ne coule plus
RS1	21 juin	8,0	< 10	9,4
RS3	21 juin	Ne coule plus	Ne coule plus	Ne coule plus
RS1	28 juin	7,9	< 10	10,7
RS3	28 juin	Ne coule plus	Ne coule plus	Ne coule plus
RS1	5 juillet	Ne coule plus	Ne coule plus	Ne coule plus
RS3	5 juillet	Ne coule plus	Ne coule plus	Ne coule plus

4.3 Sols: pH et teneur en métaux lourds

4.3.1 pH

Le tableau 4.5 permet de juger de la valeur du pH dans les différentes zones étudiées; certaines valeurs ont été reportées sur la figure 4.8; le pH des sols témoins varie considérablement selon les points d'échantillonnage; toutefois, les valeurs du pH des échantillons recueillis sur le dépôt, en surface et en profondeur est beaucoup plus constant; en surface, dans la zone centrale et dans la zone périphérique, la valeur moyenne est de 8,1 avec un minimum de 7,9 et un maximum de 8,4; en profondeur, dans la zone centrale et dans la zone périphérique, la valeur moyenne est de 8,3 avec un minimum de 8,1 et un maximum de 8,8.

Les variations de pH obtenues dans les différents secteurs confirment que les eaux de fonte du dépôt envahissent surtout les zones A3 et A4; la zone A5 est peu touchée et la zone A1** en est exempte.

4.3.2 Teneur en métaux lourds

Le contenu en métaux lourds de certains échantillons témoins a été analysé (tableau 4.6); les échantillons T1S, T2S, T5S et T6S prélevés près de la Maison Smith (voir figure 3.1) affichent des niveaux de Cd, Cr et Mn plus élevés que ceux des échantillons prélevés sur les terrains de l'Université de Montréal (T7S à T11P, voir figure 3.4) dans la zone A1**; à l'inverse, le contenu en Cu est nettement inférieur. Les concentrations de fer, de plomb et de zinc sont semblables. Le boisé situé à côté de la Maison Smith présente pourtant des caractéristiques semblables à celui de la zone A1**; le sol ainsi que les variétés d'arbres et d'herbacées sont similaires; les échantillons témoins de la zone A1** ont été prélevés relativement loin de la voie d'accès aux dépôts de neiges usées et de matériaux secs,

Tableau 4.5: Comparaison entre le pH des sols témoins, le pH des sols prélevés au centre et en bordure du dépôt de neiges usées de l'UdeM et le pH des sols dans les zones soumises à un ruissellement.

SOLS TÉMOINS	pH	SOLS AU CENTRE ET EN BORDURE DU DÉPÔT	pH	SOLS DANS LES ZONES DE RUISELLEMENT	pH
T1S	7,5	CS1	8,0	RS1	8,4
T1P	7,2	CS2	7,9	RS2	8,0
T2S	6,5	CP2	8,3	RS3	8,2
T5S	5,8	CS3	8,1	RP3	8,7
T6S	6,9	CS4	8,0	RS4	7,9
T7S	6,6	CP4	8,8		
T7P	6,6	CS5	8,1		
T8S	7,4	CP5	8,8		
T8P	7,5	CS6	8,0		
T9S	6,4	CS7	8,1		
T9P	6,1	CP7	8,4		
T10S	6,2	CS8	8,0		
T10P	5,8	CP8	8,2		
T11S	6,7	BS1	8,1		
T11P	5,9	BS2	8,1		
T20S	7,2	BP2	8,1		
T21S	7,6	BS3	8,3		
T22S	7,3	BS4	8,2		
T23S	5,8	BP4	8,3		
T24S	6,1	BS5	8,2		
T25S	5,7	BS6	8,1		
T26S	5,5	BP6	8,2		
		BS7	8,3		
		BS8	8,4		

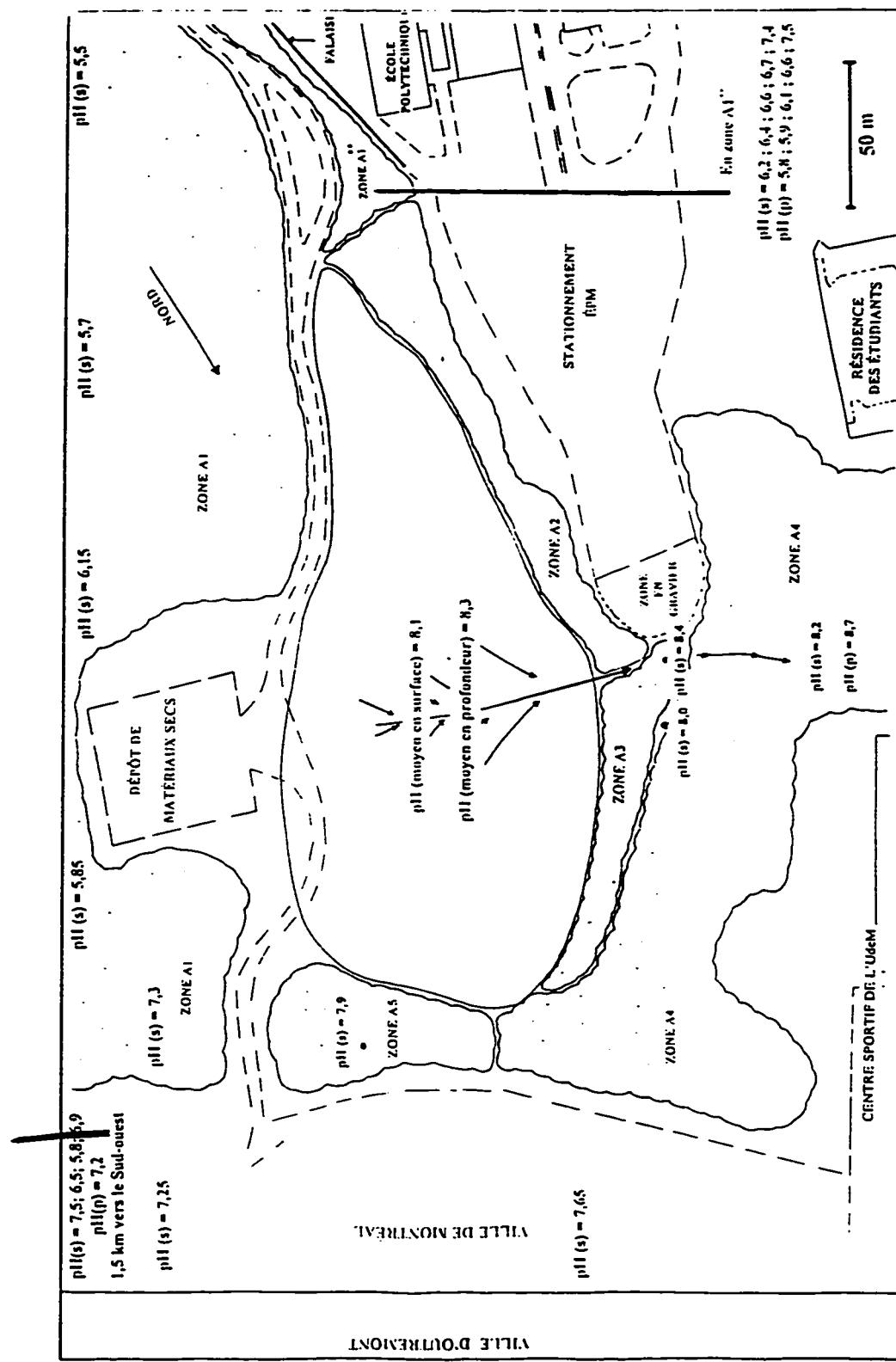


Figure 4.8: Variation du pH du sol, en surface (s) et en profondeur (p), dans la région étudiée.

Tableau 4.6: Variation de la teneur en métaux lourds des échantillons témoins en surface (T*S) et en profondeur (T*P) en fonction de leur provenance.

# Échantillons	CONCENTRATIONS PAR GRAMME DE SOL						
	Cd ($\mu\text{g/g}$)	Cr ($\mu\text{g/g}$)	Cu ($\mu\text{g/g}$)	Fe (mg/g)	Mn ($\mu\text{g/g}$)	Pb ($\mu\text{g/g}$)	Zn ($\mu\text{g/g}$)
Au sommet							
T1S	2,80	17,00	43,5	18,2	1 873	131	212
T2S	3,00	31,7	57,9	28,2	715	185	172
T5S	0,8	19,0	28,0	19,6	545	108	150
T6S	0,9	22,0	28,0	17,5	1 174	128	156
Dans la zone A1**							
T7S	0,5	16,0	73	16,0	560	121	119
T7P	0,4	18,0	71	16,7	580	120	109
T8S	0,9	14,0	125	17,6	390	283	253
T8P	0,8	14,0	168	22,8	275	151	150
T9S	0,7	14,0	130	19,4	439	130	154
T9P	0,6	15,0	128	19,0	338	115	123
T10S	0,7	8,0	86	21,1	469	151	156
T10P	0,6	8,2	83	20,6	463	146	148
T10P (reprise)	0,6	9,0	83	20,2	458	146	149
T11S	0,6	7,0	217	17,3	492	120	145
T11P	0,6	7,4	256	20,3	500	115	135
T11P (reprise)	0,6	7,8	259	20,1	525	115	131

éitant leurs contaminations; aucun de ces sites ne semble avoir fait l'objet d'un remblai récent; par contre, la circulation automobile est plus intense près de la Maison Smith, sur le sommet du mont Royal. Rappelons aussi que le mont Royal est composé de différents types de roche ignée: de la syénite autour de la colline d'Outremont, de la diorite à néphéline derrière l'UdeM et donc autour du dépôt de neiges usées et du gabbro dans les autres secteurs, donc près de la Maison Smith (voir les sections 2.1.1 et 2.1.2).

Pour ces raisons, les échantillons T1S, T2S, T5S et T6S ont été laissés de côté lors de la comparaison du contenu en métaux lourds des échantillons témoins d'une part et d'autre part du contenu en métaux lourds des échantillons prélevés dans la zone centrale et dans la zone périphérique du dépôt ainsi que dans la couche noirâtre à la surface du dépôt de neiges usées; le tableau 4.7 permet de visualiser l'ensemble des résultats (N représentant le nombre d'échantillons); les résultats détaillés sont présentés dans l'annexe 3. Globalement, il y a peu de différences entre les sols de la zone centrale et les sols de la zone périphérique ou entre les sols du dépôt et les solides formant la couche noirâtre à la surface des neiges usées. On note:

- un apport minime en Cr et en Zn dans les sols du dépôt par rapport aux sols témoins et une quantité accrue de Cd sur le dépôt;
- des quantités de Cu, de Fe, de Mn et de Pb dans les sols du dépôt inférieures à celles contenues dans les sols témoins.

Ce dernier phénomène représente une anomalie que nous tenterons d'expliquer plus loin.

Tableau 4.7: Comparaison entre la teneur moyenne en métaux lourds des sols témoins, des sols du dépôt de neiges usées de l'UdeM et des échantillons de la couche noirâtre à la surface du dépôt de neiges usées de l'UdeM.

Type d'échantillons	N	CONCENTRATIONS MOYENNES PAR GRAMME DE SOL						
		Cd ($\mu\text{g/g}$)	Cr ($\mu\text{g/g}$)	Cu ($\mu\text{g/g}$)	Fe (mg/g)	Mn ($\mu\text{g/g}$)	Pb ($\mu\text{g/g}$)	Zn ($\mu\text{g/g}$)
Témoins								
Minimum		0,4	7,0	71,0	16,0	275	115	109
Maximum		0,9	18,0	259,0	22,8	580	283	253
Moyenne	12	0,6	11,5	139,9	19,3	457	143	148
Sols en bordure du dépôt (1)								
Minimum		1,9	16,5	51,3	6,9	249	66	118
Maximum		3,1	27,3	108,0	12,3	364	131	232
Moyenne	11	2,6	20,9	80,7	9,0	296	101	178
Sols au centre du dépôt (2)								
Minimum		2,1	18,3	55,7	6,6	177	81	119
Maximum		7,2	32,8	136	11,8	366	172	275
Moyenne	16	3,0	23,6	85,2	9,1	259	108	189
Échantillons de la couche noirâtre (3)								
Minimum		2,5	15,0	62,2	6,2	167	61	141
Maximum		4,0	27,8	110	11,0	321	134	317
Moyenne	21	3,2	19,5	81,5	8,3	249	87	215
Moyenne de (1), (2) et (3)	48	2,9	21,3	82,5	8,8	268	99	194

4.4 Neiges usées: caractéristiques physico-chimiques et teneur en métaux lourds

4.4.1 Caractéristiques physico-chimiques

Le tableau 4.8 illustre les résultats obtenus pour les trois échantillons de neiges usées prélevés durant l'année 1994 ainsi que les résultats globaux pour les échantillons de neiges usées prélevés le 28 janvier et le 18 février 1995; N représente le nombre d'échantillons analysés lors de ces deux séries de prélèvements. Les résultats détaillés sont présentés dans l'annexe 4.

Dans tous les cas, le pH des échantillons est supérieur à 7. Les mesures de conductivité sont représentatives du contenu des neiges usées en ions chlorures et en ions sulfates: lorsqu'un échantillon de neiges usées contient peu de chlorures et de sulfates, la conductivité est faible; à l'inverse, une importante quantité de chlorures et de sulfates génère une conductivité élevée de l'échantillon. Les résultats détaillés montrent aussi qu'il n'y a pas de relation directe entre la quantité de M.E.S. et les autres variables.

Globalement, les échantillons de neiges usées prélevés le 18 février 1995 sont beaucoup plus contaminés par les sels de déglaçage que ceux du 28 janvier 1995 ou ceux d'avril 1994. Les quantités de M.E.S sont aussi plus élevées dans les échantillons de neiges usées du 18 février. Rappelons toutefois que sur un dépôt de surface, une fonte partielle provoque un accroissement des M.E.S et une diminution des chlorures et des sulfates par lessivage. Le prélèvement d'échantillons sur un dépôt de surface n'est donc pas la méthode la plus appropriée pour caractériser des neiges usées.

Tableau 4.8: Analyse physico-chimique des échantillons de neiges usées du dépôt de l'UdeM.

	N	pH	CONDUCTIVITÉ (mS/cm)	M.E.S. $\varnothing > 1,5 \mu\text{m}$ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
Avril 1994						
Surface # 2	1	9,0	0,0780	811	< 10	< 10
Profondeur # 1	1	8,9	0,2610	427	< 10	30
Profondeur # 2	1	9,3	0,1275	339	26	< 10
28 janvier 1995						
Minimum		7,9	0,0518	422	< 10	< 10
Maximum		9,5	4,2900	3 632	1 677	54
Moyenne	13	8,9	0,7750	1 422	263	21
18 février 1995						
Minimum		7,9	1,278	1 220	376	40
Maximum		10,0	8,690	6 900	3 600	133
Moyenne	17	8,9	5,490	2 257	2 196	79

4.4.2 Teneur en métaux lourds

Le tableau 4.9 montre les résultats globaux des analyses de métaux lourds effectués sur les échantillons de neiges usées; les résultats détaillés apparaissent dans les annexes 5 et 6. Pour les échantillons prélevés en avril 1994, seule la fraction liquide a été analysée, la quantité totale de solides présents dans les trois échantillons étant inférieure au 1 g requis.

Les analyses montrent que les métaux lourds sont principalement attachés à la fraction solide des échantillons de neiges usées. Les concentrations mesurées dans la fraction solide des échantillons du 18 février 1995 sont légèrement supérieures à celles des échantillons du 28 janvier 1995.

Tableau 4.9: Analyse des métaux lourds contenus dans des échantillons composés de neiges usées (dépôt de neiges usées de l'UdeM) - Fractions liquide et solide.

		CONCENTRATIONS EN mg/l DE NEIGE FONDUE						
	N	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
Fraction liquide								
Avril 1994								
Moyenne	1	< 0,001	< 0,005	0,024	0,025	0,02	0,006	0,016
Fraction liquide								
28 janvier 1995								
Minimum		< 0,001	< 0,005	0,018	0,020	0,01	0,004	0,000
Maximum		< 0,001	< 0,005	0,025	0,049	0,02	0,017	0,004
Moyenne	4	< 0,001	< 0,005	0,021	0,035	0,02	0,01	0,002
Fraction liquide								
18 février 1995								
Minimum		< 0,001	< 0,005	0,029	0,019	0,03	0,015	0,013
Maximum		< 0,001	< 0,005	0,034	0,045	0,06	0,026	0,025
Moyenne	4	< 0,001	< 0,005	0,031	0,032	0,05	0,019	0,017
Fraction solide								
28 janvier 1995								
Minimum		0,003	0,05	0,15	17,8	0,40	0,26	0,44
Maximum		0,007	0,18	0,47	98,2	2,34	0,81	1,19
Moyenne	5	0,005	0,09	0,24	39,7	0,99	0,48	0,69
Fraction solide								
18 février 1995								
Minimum		0,002	0,07	0,17	26,7	0,66	0,38	0,67
Maximum		0,014	0,33	0,92	139,5	3,46	1,69	3,30
Moyenne	12	0,005	0,13	0,33	50,9	1,24	0,58	1,18

CHAPITRE V

ANALYSE DES RÉSULTATS ET DISCUSSION

5.1 Végétation

5.1.1 Les boisés

Le dépôt de matériaux secs, le dépôt de neiges usées, les zones de remblai et les voies d'accès ont considérablement morcelé les boisés de l'UdeM; de nombreuses plantes qui colonisent habituellement les champs, les bords de route ou les terrains vagues bordent maintenant ces boisés, sans pénétrer profondément sous le couvert des arbres.

Ces nombreuses perturbations et la petitesse de la région étudiée ne permettent pas d'identifier les nombreuses successions de groupements végétaux répertoriés par Boivin (1989) dans son étude de la végétation forestière du mont Royal (voir tableau 2.1 et section 2.1.4). Toutefois, on reconnaît facilement la dominance de l'érable à sucre autour du dépôt de matériaux secs, la dominance du chêne rouge dans les autres secteurs et les liens entre la végétation, le type de sol, le drainage et la topographie.

La végétation des collines montérégienennes, incluant la végétation du mont Royal, avait fait l'objet d'une herborisation par Walther (1963); en comparant l'herborisation effectuée par Walther et la nôtre (annexe 1), on en arrive à la conclusion que l'immense majorité des arbres, arbustes, plantes ligneuses et herbacées (sauf les plantes associées directement ou indirectement à la présence des dépôts), répertoriées sur le terrain de l'UdeM, avaient déjà été recensées en 1963; en ce sens, ces plantes partagent un cadre naturel commun aux collines montérégienennes.

Seules quelques plantes indigènes, présentes sur le terrain de l'UdeM, ne font pas partie de la liste de Walther (1963); ainsi, on retrouve:

- le bident vulgaire (*Bidens vulgaris*);
- le carex faible (*Carex tenera*);
- le circée de Lutèce (*Circaea lutetiana*);
- la desmodie du Canada (*Desmodium canadense*);
- l'érechtite à feuilles d'épervière (*Erechtites hieracifolia*);
- le gnaphale des vases (*Gnaphalium uliginosum*);
- le physocarpe à feuilles d'obier (*Physocarpus opulifolius*);
- le prunier noir (*Prunus nigra*);
- la verge d'or très élevée (*Solidago altissima*);
- et l'ortie élevée (*Urtica procera*, alias *U. dioica ssp gracilis*).

5.1.2 Le dépôt en 1994 et en 1995

La distribution très particulière de la végétation sur le dépôt de neiges usées de l'UdeM, selon deux zones bien différenciées (voir section 4.1.1.6), mérite d'être analysée quelles que soient les décisions ultimes qui seront prises quant à son avenir. Certains gestionnaires (Ville de Laval) ont exprimé le désir de maintenir un couvert végétal sur leurs dépôts de neiges usées durant la belle saison. Dans cette optique, selon les observations de ces travaux, la présence de la lampourde en quasi-monoculture dans la zone centrale permet de penser que cette plante est peut-être une alternative valable aux graminées généralement utilisées.

Une des questions que l'on peut se poser concerne la dynamique de chaque zone en fonction de la fin de la fonte du dépôt; ainsi, on peut se demander si une fonte très tardive provoque une avancée de la zone centrale occupée par la lampourde ou un recul. Ou encore, la lampourde gagnerait-elle du terrain d'année en année peu importe la rapidité

avec laquelle les neiges usées fonderaient? La zone centrale du dépôt a été dégagée de toute neige à la mi-juillet, en 1994 et à la fin juin, en 1995; toutefois, durant le mois de juillet 1995, toute la végétation des zones centrale et périphérique du dépôt a été détruite volontairement, à l'aide d'herbicides, à la demande des autorités de l'UdeM. Nous avons alors déplacé notre étude vers d'autres dépôts de neiges usées.

Les sites qui ont été visités sont situés sur le territoire de la Ville de Laval; les quantités de neiges déversées, les caractéristiques physico-chimiques de ces neiges et le rythme de fonte de ces différents dépôts ne sont pas connus; aucun n'a subi de réensemencement; certains sont utilisés en partie comme dépôts de matériaux secs, officiellement ou pas; malgré tout, on y retrouve de la lampourde en plus ou moins grande quantité selon les sites. La figure 5.1 montre le dépôt situé au 81 boul. Ste Rose, à Laval; la lampourde y recouvre une surface continue de 12 000 mètres carrés et s'étend d'un fossé à l'autre; le reste du site est en partie dénudé et en partie recouvert de lampourde et de plantes diverses.

De toute évidence, l'utilisation de ces sites comme dépôt de matériaux secs nuit à l'implantation de la végétation en compactant considérablement les sols dans certains secteurs, mais la lampourde demeure présente. L'absence d'une zone périphérique sur le dépôt situé au 81 boul. Ste Rose permet de penser que la lampourde est en mesure de concurrencer les plantes qui colonisent habituellement les terrains vagues, notamment l'herbe à poux, lorsque ces sites sont utilisés comme dépôts de neiges usées. En d'autres mots, sur le dépôt de l'UdeM, la lampourde se serait peut-être étendue jusqu'à l'orée des boisés.

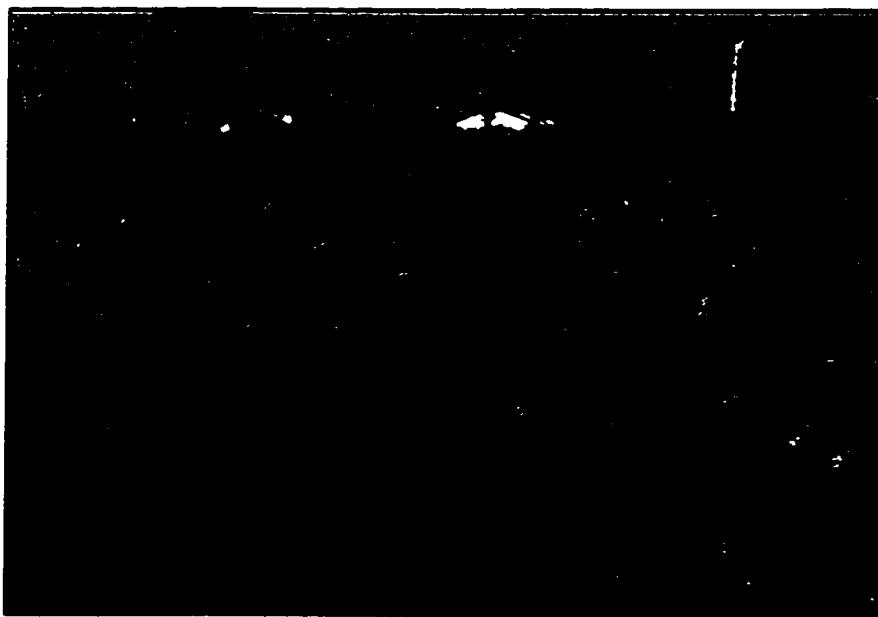
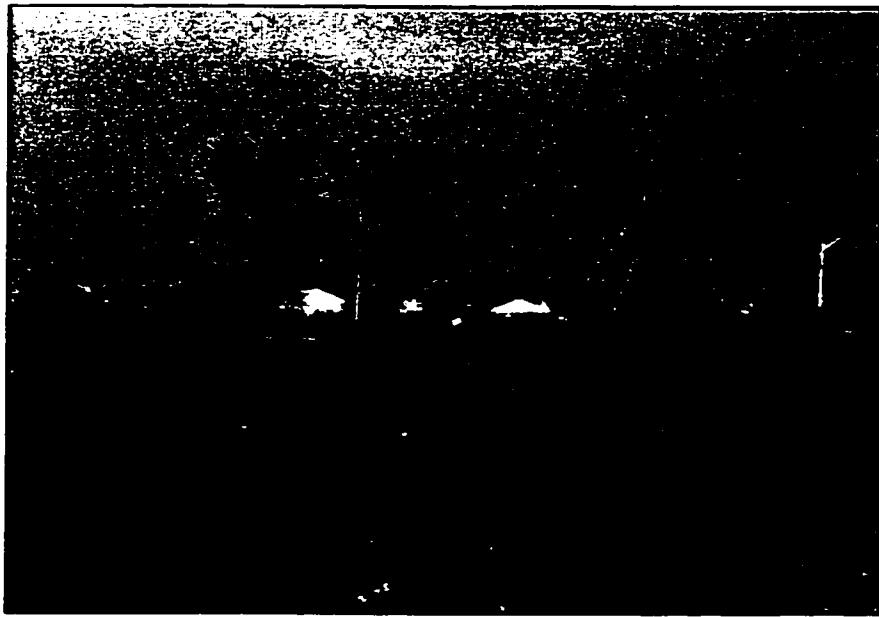
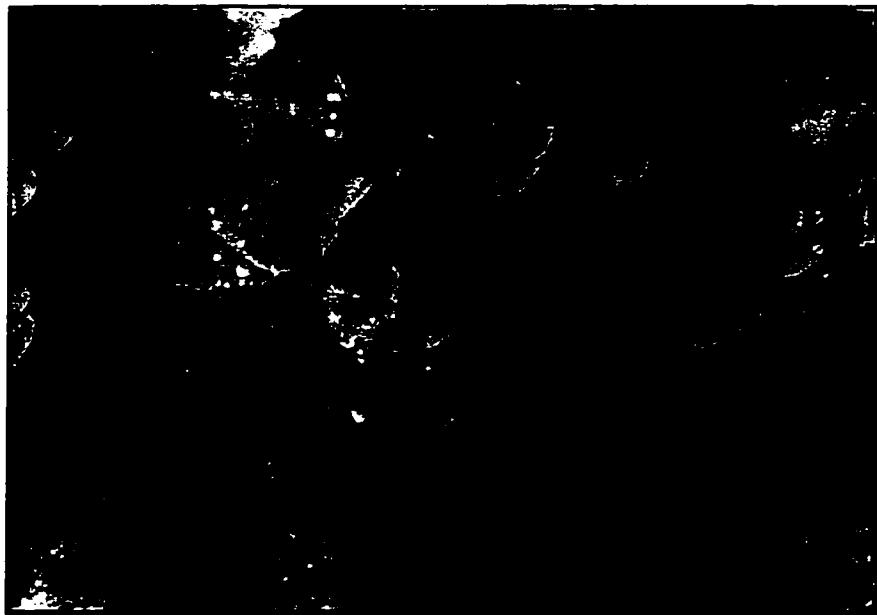


Figure 5.1: Croissance de la lampourde sur un dépôt de neiges usées, à Laval - le 11 août 1995.



Détails



Figure 5.1 (suite): Croissance de la lampourde sur un dépôt de neiges usées à Laval -
le 11 août 1995.

5.1.3 Critères de sélection d'un couvert végétal et atouts de la lampourde

Un dépôt de neiges usées présente deux caractéristiques qui le distingue d'un terrain vague ordinaire: un microclimat particulier et la présence de sels de déglaçage qui modifient physiquement et chimiquement les sols.

Le choix d'un certain couvert végétal doit tendre à minimiser les coûts d'ensemencement ou de réensemencement et ne pas nécessiter l'application d'herbicides pour s'y maintenir. Deux alternatives s'offrent alors: les plantes vivaces ou les plantes annuelles.

Si on choisit une plante annuelle, il faut que cette dernière ait amplement le temps de fructifier; la présence d'un microclimat froid favorise les plantes dont la floraison requiert des journées courtes; le photopériodisme de la lampourde a fait l'objet de nombreuses études qui démontrent hors de tout doute que c'est une plante à journées courtes (i.e., qui fleurit lorsque les journées sont courtes) sous nos latitudes (Kaul, 1971); des essais en serre réalisés par Nadeau (1961) montrent que des plants de lampourde semés à la fin de mai et en juin ne fleurirent pas avant la fin de juillet, début d'août lorsque les journées raccourcissent; toutefois, des plants de lampourde semés aux mois de mars et d'avril fleurirent immédiatement, rendues au stade de croissance de deux ou quatre feuilles. L'allure rabougrie des plants de lampourde dans la zone centrale du dépôt de neiges usées de l'UdeM (voir section 4.1.1.6) est donc liée au photopériodisme de la lampourde et à la courte période de croissance disponible durant l'été 94. La fin de la fonte des neiges usées sur le dépôt de l'UdeM, plus hâtive en 1995, aurait produit des plants plus hauts et probablement ramifiés si la lampourde n'avait pas été détruite par des herbicides .

Du même coup, ce microclimat exclut les plantes à journées longues, ou encore les plantes dont les besoins de germination requièrent des températures fraîches durant la nuit et chaudes durant le jour, conditions essentiellement printanières.

Le choix d'une plante vivace évite en partie ces quelques considérations lorsque le mode de propagation est souterrain.

Les sols des dépôts de neiges usées peuvent être très humides ou très secs selon la saison, la topographie des lieux et les capacités de drainage du terrain; la lampourde (*Xanthium chinense* alias *X. strumarium*) répond bien à ces exigences car elle affectionne autant le bord des cours d'eau que les terrains vagues, tout comme l'arroche hastée (*Atriplex hastata*) (voir tableaux 4.1 et 4.2); les fruits de la lampourde, capables de flotter, sont protégés par une carapace épineuse de forme elliptique (de 20 à 25 mm de longueur) et contiennent chacun deux graines qui germeront successivement: la plus grosse germera la première année et l'autre, l'année suivante (Groupe Fleurbec, 1978).

La germination d'une plante dans un sol durci par la présence d'une quantité importante de sodium (voir section 2.5.1) et par l'ajout d'antidérapants (voir section 2.2.2) peut être facilitée par l'émergence d'une plantule solide, d'un diamètre respectable, capable de soulever ou de contourner les croûtes qui se forment à la surface du dépôt; la lampourde possède cet atout, particulièrement en peuplement dense.

Les plantes sur un dépôt de neiges usées doivent aussi tolérer les sels de déglaçage, quel que soit le mécanisme en jeu (voir section 2.5.2); un inventaire des plantes halophytes vivant dans les milieux perturbés des prairies canadiennes a été fait par Braidek et al. (1984); dix espèces se retrouvaient sur plus de 25 % des 44 sites inventoriés dont le kochia à balais (*Kochia scoparia*) et le laiteron des champs (*Sonchus arvensis*); ces deux espèces étaient aussi très communes dans la zone périphérique du dépôt de neiges usées de l'UdeM; le mélilot blanc (*Melilotus alba*) occupait 16 % des sites. Parmi les graminées répertoriées par Braidek et al. (1984), citons l'orge agréable (*Hordeum jubatum*) sur 36 % des sites et le chiendent (*Agropyron repens*) sur 6 % des sites. Toutefois, rappelons que sur le dépôt de l'UdeM, les graminées sont principalement confinées à une bande de terre

voisine de la voie d'accès où des amas de feuilles ont été déversés durant l'automne, rendant le sol très meuble (voir section 3.2.2.2 et figure 4.1). Le chiendent n'a pas naturellement migré vers le reste du dépôt.

La littérature ne permet pas de comprendre tous les éléments en jeu sur un dépôt de neiges usées: des botanistes ont étudié intensément le photopériodisme de la lampourde sous de nombreuses latitudes et sa grande faculté d'adaptation à des environnements variés; des agronomes ont cherché à rentabiliser les terres salinisées des prairies canadiennes en introduisant le kochia à balais en tant que plante fourragère; d'autres ont cherché à contrecarrer l'énorme potentiel envahissant du chiendent; cependant, il faut reconnaître qu'un dépôt de neiges usées est un environnement bien particulier et qu'il est peut-être erroné de forcer l'implantation d'une ou de plusieurs plantes qui ne sont pas, naturellement, des espèces dominantes.

5.1.4 Le dépôt en 1996

L'utilisation massive d'herbicides sur le dépôt en juillet 1995 a été suivie en 1996 d'un ensemencement avec des graminées, conférant au site une allure de pelouse clairsemée plutôt que de terrain vague (figure 5.2). Le succès ou l'échec de l'entreprise se mesurera uniquement au bout de quelques années, lorsque les besoins en réensemencement et en herbicides seront connus des gestionnaires. Toutefois, il y a fort à parier que les graminées ne se maintiendront sur le dépôt qu'au prix d'arrosages continuels destinés à détruire les « mauvaises herbes », particulièrement dans la zone périphérique du dépôt.



Figure 5.2: Dépôt de neiges usées de l'UdeM - le 15 octobre 1996

5.2 Eaux de fonte

5.2.1 Impacts directs

Les eaux de fonte entraînent des particules solides et des éléments dissous vers les boisés en contrebas; le pH relativement élevé des eaux de fonte (voir section 4.2) et la quasi-absence de métaux lourds dans les sols du dépôt (voir section 4.3.2) indiquent que les dommages causés à la végétation sont dus aux sels de déglaçage et non à des métaux lourds dissous. L'analyse des échantillons de neiges usées corroborent ces conclusions: pH élevé et fraction liquide contenant peu de métaux lourds (voir section 4.4.2).

Les dommages aux arbres et arbustes (voir section 4.1.3) doivent être interprétés autant en terme de quantité de sels qu'en terme de durée d'application; il est difficile d'estimer les quantités totales de sels absorbées par la végétation; durant l'hiver et au tout début du printemps, le degré d'absorption dépend de la profondeur du gel et de la fonte intermittente du dépôt; du milieu du printemps au début de l'été, le dépôt est en fonte continue; c'est aussi la période de croissance accélérée des végétaux (feuilles et souvent semences); bien que les ions solubles soient relargués à un rythme plus rapide lors des premiers épisodes de fonte, il n'en reste pas moins que les végétaux sont soumis à des concentrations de chlorures et de sulfates non négligeables sauf, peut-être, à la fin de la fonte du dépôt (voir tableau 4.4, 1994 et 1995); de surcroît, cette situation se reproduit année après année. Si l'on abandonne ce site, il sera intéressant de suivre l'évolution de la végétation arborescente, arbustive et herbacée.

Les observations sur le terrain corroborent les données présentées dans la littérature (voir section 2.5.2): les plantes herbacées dans les boisés, annuelles ou vivaces, s'en tirent bien mais les feuilles des arbres et arbustes présentent les mêmes anomalies que celles observées chez des individus poussant en milieu salin. Toutefois, il n'est pas possible de

différencier sur le terrain les arbres et arbustes considérés tolérants de ceux qui ne le sont pas; en bordure du dépôt, dans les zones A2 et A3, le chêne rouge, considéré comme une espèce présentant une bonne tolérance aux sels, dépérît à vue d'oeil, comme les autres espèces. Dans la zone A4, ce sont généralement des individus (chêne rouge, ostryer de Virginie, érable à sucre, frêne américain) de faible dimension qui sont touchés, là où le ruissellement est maximum.

La dégradation des boisés, particulièrement autour du dépôt, est évidente; la situation ne fera qu'empirer au long des années tant que les eaux de fonte dévaleront librement les pentes. L'importance des zones boisées en bordure du dépôt est pourtant indiscutable; outre leurs valeurs esthétiques, ces zones boisées assurent une protection contre l'érosion; elles comportent aussi une facette sécuritaire, soit l'arrêt mécanique des blocs de neige lors du nivelingement de la surface du dépôt par la machinerie.

5.2.2 Impacts indirects

Le pH du sol en surface, mesuré lors de l'étude de la végétation forestière du mont Royal par Boivin (1989), indiquait des valeurs moyennes variant entre 5,3 et 5,8 dans les communautés végétales contenant du chêne rouge (voir tableau 2.1). Pour sa part, l'étude de Walther (1963) montre que pour les 112 sites dispersés sur l'ensemble des montérégienennes, le pH variait entre 3,7 et 7,0.

Notre étude affiche des pH nettement plus élevés (> 8), sur le dépôt proprement dit mais aussi dans plusieurs zones boisés soumises au ruissellement, notamment dans les zones A3 et A4 (voir figure 4.8). Le pH dans la zone A2 n'a pas été mesuré, mais compte tenu du ruissellement dans cette zone, on peut penser qu'il serait aussi anormalement élevé. Cette modification des sols dans les boisés est probablement liée à la présence d'ions sodium dans les eaux de fonte. Rappelons qu'à un $\text{pH} > 6$, certains éléments tels que le fer et le

manganèse forment des précipités et cessent d'être assimilables par les plantes; l'effet net apparaît alors comme une carence (voir section 2.5.1). Le jaunissement du tissu végétal (voir section 4.1.3) entre les nervures des feuilles est probablement lié à une carence en fer; il est toutefois difficile de dissocier les anomalies associées aux sels de déglaçage de celles dues aux carences.

5.3 Teneur des sols en métaux lourds

La teneur en métaux lourds des sols du dépôt peut être comparée à la teneur en métaux lourds des échantillons témoins ou aux critères de la Politique de réhabilitation des terrains contaminés (MENVIQ^(b), 1988). Nous ferons tour à tour ces deux comparaisons.

5.3.1 Comparaison avec les sols témoins

La teneur naturelle des sols en métaux lourds dépend largement de la concentration individuelle de ces différents métaux dans la croûte terrestre (voir tableau 2.6 et section 2.2.1.2); on peut donc s'attendre à des teneurs en métaux lourds différentes selon que les sols se sont formés à partir de roches ignées ou à partir de roches sédimentaires; comme l'indique la figure 2.1, les boisés de l'UdeM sont assis sur des roches ignées plutôt que sur du calcaire.

Les échantillons témoins utilisés comme référence (voir section 4.3.2) ont été prélevés dans la zone boisée A1**. Les sols du dépôt proviennent de l'accumulation successive de solides contenus dans les neiges usées; on peut chiffrer à environ 2 cm l'accumulation annuelle de ces solides à la surface du dépôt, en se basant sur l'épaisseur des croûtes soulevées par la végétation. L'origine de ces solides est plus difficile à cerner: débris végétaux, dénudation des plates-bandes et des pelouses qui forment un bruit de fond naturel (très différent des sols assis sur des roches ignées) auxquels s'ajoutent les métaux

lourds libérés par la corrosion des véhicules automobiles, l'usure des pneus et chaussées, le chauffage résidentiel et commercial, etc. et qui composent la source de contamination que l'on désire mesurer.

Pour faciliter la comparaison entre les teneurs en métaux lourds des sols témoins et des sols du dépôt, chaque métal sera évalué tour à tour:

- le cadmium se trouve généralement dans les sols à des concentrations moyennes avoisinant 0,5 ppm (i.e. 0,5 µg/g) (voir tableau 2.6). Selon Alloway (1990), on doit s'attendre à ce que les sols ne contiennent jamais plus de 1 ppm (1 µg/g), exception faite des sols contaminés par des sources ponctuelles ou encore des sols provenant de schistes argileux. Les résultats de nos analyses montrent que les concentrations de cadmium sur le dépôt de neiges usées (voir annexe 3) sont toujours supérieures à 1 ppm (en moyenne 2,9 µg/g, i.e. 2,9 ppm) et celles dans les sols témoins (dans la zone A1**) sont inférieures à 1 ppm (en moyenne 0,6 µg/g, i.e. 0,6 ppm) (voir tableau 4.6). Certaines plantes peuvent concentrer le cadmium dans leurs tissus à des niveaux plusieurs fois supérieurs aux concentrations mesurées dans les sols où elles poussent (Waldron, 1980); année après année, on note alors un enrichissement superficiel important. Toutefois, les concentrations de cadmium mesurées dans la couche noirâtre à la surface du dépôt (voir annexe 3) sont similaires à celles mesurés dans les sols du dépôt, en bordure et en périphérie. Les concentrations plus élevées en bordure et en périphérie du dépôt que dans les sols témoins peuvent être attribuées à la corrosion des métaux, la dégradation des pigments inclus dans les plastiques, les pertes d'huile à moteur, etc. ou à l'origine différente des sols;
- le chrome est un élément essentiel que l'on trouve en quantité variable dans les sols; parfois à l'état de trace, il peut se retrouver à des concentrations avoisinant les 250 ppm (Waldron, 1980); Purves (1985) suggère des valeurs moyennes de 200 ppm dans

les sols, 100 ppm dans les roches ignées et 160 ppm dans les roches sédimentaires, à l'échelle planétaire. Les concentrations moyennes observées dans les boisés (~11 µg/g, i.e. 11 ppm) et sur le dépôt (~21 µg/g, i.e. 21 ppm) sont relativement faibles; la légère augmentation sur le dépôt peut s'expliquer par une origine différente des sols ou l'utilisation de fertilisants sur les pelouses ou la corrosion des véhicules automobiles;

- le cuivre est un important élément essentiel, que l'on retrouve généralement à des concentrations de 20 à 30 ppm dans les sols à l'échelle planétaire, avec des valeurs extrêmes de 2 et 100 ppm (Purves, 1985 et Alloway, 1990). Selon Purves (1985), les roches ignées et les roches sédimentaires contiennent à l'échelle planétaire 55 et 57 ppm respectivement; Alloway (1990) pour sa part, note que le gabbro contient beaucoup plus de cuivre que les calcaires. Les concentrations dans les sols témoins (140 µg/g, i.e. 140 ppm) et dans les sols du dépôt (82 µg/g, i.e. 82 ppm) reflètent en partie ces données auxquelles on doit rajouter l'effet de la corrosion des métaux;
- le fer n'est pas un métal lourd; c'est un élément essentiel qui est présent en grande quantité dans la croûte terrestre et dans les sols (de 5 000 à 50 000 ppm, selon Buckman et Brady, 1969); c'est aussi un élément que l'on peut trouver en grande quantité dans les neiges usées à cause de la corrosion des métaux; il est donc cibler comme contaminant possible; en moyenne les sols témoins contenaient 19,3 mg/g (i.e. 19 300 ppm), et les sols du dépôt 8,8 mg/g (i.e. 8 800 ppm); ces différences peuvent être attribuées à l'origine différente des sols ou à la corrosion des métaux;
- le manganèse est un élément essentiel relativement abondant dans les sols. Purves (1985) et Alloway (1990) s'accordent pour dire que les roches ignées en contiennent davantage que les roches sédimentaires; les analyses effectuées sur le terrain de l'UdeM ont montré que les sols des boisés contiennent plus de manganèse que les sols du dépôt (457 µg/g, i.e. 457 ppm contre 268 µg/g, i.e. 268 ppm); en conséquence, ces

données ne permettent pas de chiffrer l'apport de manganèse dû à son utilisation dans de nombreux alliages et leurs corrosions subséquentes, pas plus qu'il ne permet de retracer son utilisation comme antidétonant (MMT) relargué dans l'atmosphère en Mn_3O_4 , une particule toxique d'un diamètre de 0,3 à 0,4 μm (Waldron, 1980);

- le plomb est présent dans l'écorce terrestre à de faibles concentrations (~ 15 ppm) et dans les sols, loin des centres urbains, à des concentrations variant entre 5 et 25 ppm; l'utilisation du plomb dans l'essence comme antidétonant, dans les batteries et dans de nombreux alliages a contribué à augmenter considérablement les concentrations de plomb dans les sols. En moyenne, dans les boisés de l'UdeM on a retrouvé des concentrations de 143 $\mu\text{g/g}$, i.e. 143 ppm contre 99 $\mu\text{g/g}$, i.e. 99 ppm dans les sols du dépôt. Ces chiffres sont du même ordre de grandeur que ceux rapportés par Friendland (1992, voir section 2.2.1.2). Le plomb s'accumule à la surface d'un sol: la teneur en plomb d'un sol prélevé dans l'horizon organique, lorsqu'il y a contamination atmosphérique, est alors plus élevée que la teneur en plomb d'un sol prélevé dans l'horizon minéral sous-jacent; les quantités moindres de plomb dans les sols du dépôt s'expliquent peut-être par leur origine différente (lieux différents, profondeur et degré de contamination différent);
- le zinc est en quantité légèrement plus faible dans les roches ignées que dans les roches sédimentaires selon Purves (1985); sa concentration moyenne dans les sols est d'environ 50 ppm (de 10 à 300 ppm selon Alloway, 1990). Les valeurs mesurées dans les boisés (148 $\mu\text{g/g}$, i.e. 148 ppm) sont inférieures à celles retrouvées dans les sols du dépôt (194 $\mu\text{g/g}$, i.e. 194 ppm); cette différence peut être attribuée autant à l'origine différente des sols qu'à la contamination des neiges usées par la corrosion des métaux .

La comparaison entre les teneurs en métaux lourds des sols des boisés et celles des sols du dépôt met en lumière la difficile tâche de choisir des témoins représentatifs d'une situation

donnée. Si l'on se fie au bruit de fond naturel de chaque métal inventorié, seuls les niveaux de plomb et de cadmium sont trop élevés. Le problème de la contamination des sols par le plomb n'est pas nouveau; les concentrations sur le dépôt et dans les boisés, en chiffres absolus, ne sont pas plus alarmantes que celles mesurées ailleurs dans le monde. Par contre, les concentrations de cadmium sur le dépôt semblent directement liées au déversement des neiges usées. L'analyse de la fraction liquide des échantillons de neiges usées et le pH des eaux de fonte démontre que le cadmium n'est pas solubilisé; mais, les quelques analyses dans les zones soumises au ruissellement montre qu'il est entraîné avec les eaux de fonte, probablement adsorbé sur des particules solides (voir annexe 3, échantillons RS1 à RS4).

5.3.2 Comparaison avec les critères A, B et C de la Politique de réhabilitation des terrains contaminés du ministère

Le tableau 5.1 permet de comparer les concentrations des métaux dans les échantillons témoins de la zone A1** (campus de l'UdeM), dans ceux des sols du dépôt de neiges usées de l'UdeM et dans les sédiments captifs des différents bassins du dépôt Gagnon à Jonquière (Bouchard, 1997) avec les concentrations des critères A, B et C de la Politique de réhabilitation des terrains contaminés du ministère.

Tableau 5.1: Teneur en métaux lourds de différents sols et critères de la Politique de réhabilitation des terrains contaminés du ministère.

MÉTAUX LOURDS	CRITÈRES			DÉPÔT GAGNON				UdeM		
	µg/g	A	B	C	Sud	Nord	Central	Décantation	Témoins	Dépôt
Cd	1,5	5	20	2,2	1,4	1,7	2,1	2,1	0,6	2,9
Cr	75	250	800	43	7	9	23	23	11,5	21,3
Cu	50	100	500	25	10	5	12	12	140	82,5
Fe	ND	ND	ND	27 180	10 390	7 123	16 307	16 307	19 300	8 800
Pb	50	500	1 000	14	8	9	7	7	143	99
Zn	100	500	1 500	70	32	27	47	47	148	194

Rappelons que le critère A représente le bruit de fond « naturel » des différents métaux lourds pour la province de Québec; à ce titre les quantités de cuivre et de zinc sur le mont Royal dépassent largement la moyenne calculée pour l'ensemble du Québec. Toutefois, comme nous l'avons vu précédemment, la composition rocheuse du mont Royal diffère de celle de la Ville de Montréal (roches ignées versus calcaires). On ne peut donc pas conclure formellement qu'il y a une contamination des neiges usées par le zinc ou le cuivre.

Le critère A pour le plomb est largement dépassé sur le dépôt de neiges usées de l'UdeM; toutefois, il l'est davantage encore par les sols témoins; seule la concentration de cadmium est supérieure au critère A dans les sols du dépôt de neiges usées de l'UdeM; nous avons donc un sol faiblement contaminé entre la plage A-B; toutefois l'écart entre ces deux critères est si faible (de 1,5 µg/g à 5 µg/g), qu'il apparaît justifié de recommander un suivi pour cet élément.

Globalement, il serait souhaitable d'avoir un critère A différent selon les régions géologiques et selon l'occupation du sol, particulièrement dans les grandes agglomérations urbaines; les niveaux de plomb et de cadmium dans les parcs, les boisés urbains et les terrains privés devraient être mesurés car ils sont à la source d'une partie des solides contenus dans les neiges usées.

5.4 Neiges usées

La prise d'échantillons de neiges usées à la surface d'un dépôt ne permet pas de juger de l'ensemble des activités d'un gestionnaire; le dépôt de neiges usées de l'UdeM est en effet utilisé depuis de nombreuses années et reçoit les neiges usées de la Ville d'Outremont, de l'UdeM et de l'École Polytechnique; l'échantillonnage effectué en 1994 et ceux effectués en 1995 ne permettent pas de les relier (dans le temps ou dans l'espace) à des épisodes particuliers; comme nous l'avons mentionné dans la section 2.2.2, l'épandage des sels de déglaçage varie considérablement d'un endroit à un autre et d'un moment à un autre; il est alors difficile de conclure que le suivi de un ou plusieurs déchargements de neiges usées est représentatif de l'ensemble. À titre indicatif, les quantités de neige déposée au site et leur provenance respective durant l'hiver 1995-1996 et l'hiver 1996-1997 sont présentées à l'annexe 8.

Les comparaisons avec des études antérieures sont aussi problématiques parce que les méthodes d'échantillonnage utilisées (section 2.2.2) varient beaucoup d'une étude à une autre. De surcroît, la Ville de Montréal a réduit considérablement l'utilisation des fondants tout en augmentant les quantités de pierre concassée, au début des années 90. Une plus faible utilisation de fondants engendre probablement une diminution de la corrosion et conséquemment une réduction de certains métaux lourds. Rappelons aussi que le manganèse a remplacé le plomb comme antidétonant dans l'essence. Nous tenterons malgré tout de comparer les échantillons de neiges usées prélevés sur le dépôt de l'UdeM

avec diverses autres études. Nous comparerons aussi les échantillons de neiges usées du dépôt de l'UdeM aux normes maximales de rejet dans les égouts dictées par le ministère. Finalement les concentrations de sulfates dans les neiges usées seront comparées aux concentrations généralement observées dans la neige ou la pluie.

5.4.1 Conductivité, M.E.S. et chlorures: UdeM vs les autres études

Le tableau 5.2 permet de comparer quelques paramètres physico-chimiques mesurés dans les échantillons de neiges usées du dépôt de l'UdeM à ceux des échantillons de neiges usées du dépôt Gagnon à Jonquière et à ceux de divers échantillons de neiges usées provenant de la grande région de Montréal, mais reflétant diverses occupations de sol et divers modes d'échantillonnage.

Rappelons que les neiges usées du dépôt Gagnon à Jonquière proviennent de routes régionales, urbaines et résidentielles à fort et moyen achalandage; la ville utilise principalement des abrasifs pour entretenir son réseau routier; l'usage des sels de déglaçage est restreint à certaines routes seulement (Bouchard, 1997). Rappelons aussi que sur un dépôt terrestre, les fontes hivernale et printanière entraînent une augmentation des M.E.S. et une perte des chlorures. Toutes ces raisons peuvent expliquer les quantités élevées de M.E.S. et les très faibles concentrations de chlorures dans les échantillons de neiges usées (prélevés à la fin de mai) du dépôt Gagnon. Les plus faibles concentrations de M.E.S. et les quantités accrues de chlorures dans les échantillons de neiges usées du dépôt de l'UdeM (prélevés en janvier et février) sont donc à la fois le reflet d'un épandage et d'un degré de fonte différents.

Tableau 5.2: Conductivité, M.E.S. et chlorures dans les neiges usées:
UdeM vs autres études

ÉCHANTILLONS DE NEIGES USÉES	CONDUCTIVITÉ (mS/cm)			M.E.S. (mg/l)			Cl (mg/l)		
	N	Écart-type	Moyenne	N	Écart-type	Moyenne	N	Écart-type	Moyenne
UdeM moyenne (28 janvier 1995)			0,7750			1 422			263
UdeM moyenne (18 février 1995)			5,490			2 257			2 196
UdeM (moyenne globale 1995) résidentiel, dépôt	30	2,85	3,447	30	1165	1 895	30	1206,2	1 358
Bouchard (1997) mixte, dépôt	-	-	-	-	-	2 360	-	-	3,8
Zinger (1985) mixte, camions	108	7,45	11,13	108	1187	1 209	98	2336	3 851,2
Delisle et Leduc (1987) résidentiel, carottage de l'andain	88	2,15	2,01	270	101,4	103,9	270	649,1	508,5
Delisle et Leduc (1987) commercial, carottage de l'andain	70	9,46	9,71	209	181,9	355,9	209	1968,1	2 647,8
Lapointe et Delisle (1991) mixte, tranche de l'andain	609	7,14	5,82	609	2446	2 057	574	2178	2 021,0
Delisle et al. (1993) résidentiel, tranche de l'andain	299	4,80	4,90	299	392,3	496,6	299	2190,8	2 072,7

Le caractère résidentiel des neiges usées de l'UdeM est difficilement mis en évidence à travers les études de Zinger (1985), Delisle et Leduc (1987), Lapointe et Delisle (1991) et Delisle et al. (1993). Un test t au seuil de 0,05, a permis de conclure que, statistiquement, les échantillons de neiges usées de l'UdeM sont similaires à ceux prélevés par Lapointe et Delisle (1991) dans un secteur mixte; cependant le mode d'échantillonnage est très différent; de plus, la topographie accidentée de la Ville d'Outremont, sise aux abords du mont Royal, peut entraîner un épandage accru de fondants et d'abrasifs comparativement à une localité située en terrain plat.

5.4.2 Métaux lourds: UdeM vs les autres études

Le tableau 5.3 permet de comparer la teneur en métaux lourds des échantillons de neiges usées du dépôt de l'UdeM à celle de différents échantillons de neiges usées prélevés sur des dépôts terrestres (MENVIQ^(a), 1988 et Bouchard, 1997), dans des camions avant le déversement des neiges usées au fleuve (Zinger, 1985) ou dans les rues de la grande région de Montréal, mais reflétant diverses occupations de sol et divers modes d'échantillonnage.

En comparant les échantillons de Zinger (1985) et les échantillons prélevés sur les dépôts terrestres de Sainte-Foy, Edmonton et Ottawa, on note que la teneur en métaux lourds des échantillons de neiges usées du dépôt de l'UdeM est relativement faible; c'est particulièrement vrai pour le cadmium et le plomb. On note aussi que la teneur en métaux lourds des neiges usées du dépôt de Jonquière est généralement plus faible que celle des échantillons pris sur le dépôt de l'UdeM, exception faite du fer. Cette plus faible contamination des neiges usées de la Ville de Jonquière s'explique par une circulation automobile moins importante et une très faible utilisation de fondants routiers (Bouchard, 1997).

La concentration du plomb est aussi beaucoup plus faible que celles observées dans les études de Delisle et Leduc (1987), Lapointe et Delisle (1991) et Delisle et al. (1993), même si les méthodes d'échantillonnage sont très différentes. Le suivi du manganèse, qui a remplacé le plomb dans l'essence, est récent; l'étude de Delisle et al. (1993) a permis de mesurer des teneurs plus élevées dans les neiges usées (0,173 mg/l) que dans des échantillons témoins (0,005 mg/l); sur le dépôt de l'UdeM, la teneur en manganèse des échantillons de neiges usées est plus élevée, soit 1,17 mg/l, mais le mode d'échantillonnage a été très différent.

Tableau 5.3: Neiges usées et métaux lourds - UdeM vs les autres études

ÉCHANTILLONS DE NEIGES USÉES	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
	mg/l						
UdeM: moyenne (28 janvier 1995)	0,005	0,09	0,24	39,7	0,99	0,48	0,69
UdeM: moyenne (18 février 1995)	0,005	0,13	0,33	50,9	1,24	0,58	1,18
UdeM (moyenne globale 1995): résidentiel, dépôt	0,005	0,12	0,30	47,6	1,17	0,55	1,04
Sainte-Foy (1979): dépôt terrestre	0,02	-	0,13	-	-	0,84	0,67
Edmonton (1974): dépôt terrestre	0,24	-	0,51	-	-	3,25	9,15
Ottawa (1973): dépôt terrestre	-	-	-	-	-	0,9-9,5	-
Jonquière (Bouchard, 1997): dépôt terrestre	<0,01	0,13	0,12	66,0	-	0,19	0,59
Zinger (1985): mixte, camions	0,27	6,67	9,36	912,7	-	84,84	42,77
Delisle et Leduc (1987): résidentiel, carottage	-	-	-	-	-	0,21	-
Delisle et Leduc (1987): commercial, carottage	-	-	-	-	-	0,51	-
Lapointe et Delisle (1991): mixte, tranche	-	-	-	-	-	0,65	-
Delisle et al. (1993): résidentiel, tranche	-	-	-	-	0,173	0,10	-

5.4.3 Neiges de l'UdeM et normes de rejet

En comparant les quantités totales de métaux lourds retenus par les fractions solide et liquide des échantillons de neiges usées du dépôt de l'UdeM (tableau 4.9) et les normes maximales recommandées pour un rejet dans un réseau d'égouts pluvial (tableau 2.8), on voit qu'il y a dépassement des normes pour Pb, Fe et Zn; les quantités de chlorures (tableau 4.8) sont souvent dépassés; les M.E.S. excèdent en tout temps la norme maximale de 30 mg/l. Le rejet de ces neiges usées dans un réseau d'égouts pluvial ou dans un cours d'eau, sans décantation préalable des M.E.S. et des métaux lourds adsorbés, ne pourrait être autorisé.

Par contre, les normes maximales recommandées pour Pb, Cu, Zn, Cr et Cd, lors d'un rejet des neiges usées dans un réseau d'égouts sanitaire, ne sont pas dépassées; l'envoi des eaux de fonte du dépôt de l'UdeM vers un réseau d'égouts sanitaire respecterait donc les normes du ministère; l'absence de norme maximale pour les M.E.S. et pour les chlorures permettrait aussi l'envoi des neiges usées ou des eaux de fonte dans un réseau d'égouts sanitaire; l'utilisation d'une chute à l'égout ou d'une fondeuse pour les neiges usées de la Ville d'Outremont serait donc en accord avec les exigences du ministère.

5.4.4 Sulfates: neiges usées vs neige ou pluie

Les concentrations de sulfates dans les neiges usées sont très élevées comparativement aux quantités mesurées dans la neige ou la pluie; les échantillons du 18 février 1995 prélevés sur le dépôt de l'UdeM sont éloquents à cet égard; on y retrouve en moyenne 79 mg/l de sulfates (tableau 4.8); Zinger (1985), pour sa part, avait mesuré une concentration moyenne de 129,8 mg/l de sulfates dans les bennes des camions avant leur déchargement au port de Montréal.

Par comparaison, une étude effectuée, en 1980, par Lewis et al. (1982) sur des échantillons de neige prélevés lors de six tempêtes au dessus de la région montréalaise montrait que la concentration de sulfates variait entre 5 et 352 $\mu\text{eq/l}$; Benoit (1983), lors d'une caractérisation de l'acidité de 17 événements pluviaux dans la région de la Baie James, avait enregistré des résultats variant entre 1,0 mg/l et 10 mg/l avec une moyenne de 3,7 mg/l. Rappelons aussi que l'étude de Delisle (1991) avait permis de mesurer des concentrations moyenne et maximale de 5,05 mg/l et 21,6 mg/l de sulfates dans les précipitations au dessus de Montréal en 1990-91.

Même si l'on considère généralement que la contamination de l'atmosphère en sulfates est plus importante en hiver qu'en été (voir section 2.2.1.1), les échantillons de neiges usées contiennent des quantités de sulfates bien supérieures aux quantités mesurées dans les précipitations. Les impuretés (sulfates de magnésium, de calcium et de potassium, voir section 2.2.2) liées à l'origine marine du chlorure de sodium pourraient être les premiers responsables de cette augmentation de sulfates dans les neiges usées.

5.5 Remarques

Les quelques difficultés mises à jour lors des discussions précédentes, notamment en ce qui concerne les sulfates et surtout les métaux lourds, montrent que l'on aurait avantage à mieux connaître:

- toutes les impuretés contenues dans les sels de déglaçage et les antidérapants y compris les métaux lourds;
- la nature de la matière particulaire contenue dans les neiges usées et les concentrations de métaux lourds qui lui sont naturellement associés; l'étude de la granulométrie de la matière particulaire dans les neiges usées a montré qu'il s'agissait surtout de fines

particules dont le diamètre était inférieur à 20 µm (Bouchard, 1997); toutefois, cette information ne permet pas d'expliquer l'origine des métaux lourds;

- et le manganèse et son devenir dans l'environnement à partir de sa forme toxique Mn_3O_4 .

Tous ces éléments prennent leur importance lorsque les neiges usées sont amoncelées sur un dépôt de surface; il faut être en mesure de différencier le bruit de fond naturel de la contamination; cet aspect est particulièrement important pour le manganèse, parce que le bruit de fond naturel du manganèse dans les sols est très élevé, et pour le cadmium qui est très toxique pour les plantes et les animaux.

CONCLUSION

L'impact du dépôt de neiges usées se traduit entre autres par le dépérissement des arbres et arbustes qui le bordent; l'analyse des eaux de fonte démontre que les sols et la végétation sont soumis à l'action des sels de déglaçage pendant de nombreuses semaines; en conséquence, le pH des sols sur le dépôt et dans les zones soumises au ruissellement est anormalement élevé (pH > 8), à longueur d'année.

L'analyse des métaux lourds adsorbés sur les solides contenus dans les échantillons de neiges usées d'une part et l'analyse des métaux lourds dans les sols témoins, les sols du dépôt et dans la couche noirâtre à la surface du dépôt (avant sa fonte complète) d'autre part, nous permettent de penser qu'il n'y a pas de contamination importante du dépôt par des métaux lourds. Toutefois, le cadmium (2,9 ppm en moyenne) devrait faire l'objet d'un suivi, d'autant plus que les eaux de fonte l'entraîne dans les boisés environnants. Les apparentes contradictions concernant des concentrations de fer, de manganèse et de cuivre supérieures dans les sols témoins pourraient s'expliquer comme suit: les sols témoins proviennent du mont Royal alors que les matières organiques servant de support aux métaux lourds des sols du dépôt proviennent des terrains, parcs, habitations et commerces situés sur le territoire de la Ville d'Outremont.

La comparaison entre les concentrations des critères A, B et C de la Politique de réhabilitation des sols contaminés avec celles des échantillons témoins de la zone A1** (campus de l'UdeM) et celles des sols du dépôt de neiges usées de l'UdeM montre qu'il serait souhaitable d'avoir un critère A différent selon les régions géologiques et selon l'occupation du sol, particulièrement dans les grandes agglomérations urbaines.

La destruction du couvert végétal naturel du dépôt et son remplacement par des graminées a déjà nécessité l'utilisation d'herbicides sur toute sa surface; on peut craindre que le maintien de cette pelouse « artificielle » exige des épandages additionnels; l'UdeM fait déjà un usage considérable d'herbicides pour éliminer les pissenlits qui ornent les pelouses entourant les différents pavillons et l'herbe à puces en bordure de certains chemins pédestres en plein milieu des boisés; les récents choix des gestionnaires en ce qui concerne la végétation sur le dépôt ne feront qu'accroître l'utilisation de ces produits.

L'utilisation d'un site plus ou moins naturel à flanc de montagne comme dépôt de neiges usées, sans captage des eaux de fonte, dans une zone urbaine désireuse de conserver ses espaces verts, amène nécessairement des controverses; en d'autres lieux, il aurait été facile de recommander l'installation d'une membrane imperméable et d'ouvrages de retenue des eaux de fonte; toutefois, ce serait là une façon de rendre permanente l'utilisation de ce dépôt.

Rappelons que l'UdeM s'est engagée, conjointement avec la Ville de Montréal, à assurer la mise en valeur du flanc nord, soit garantir la conservation et la restauration des boisés existants, le réaménagement des zones perturbées, etc. (Lavallée, 1992). Or, gazonner un dépôt de neiges usées, ce n'est pas réaménager une zone perturbée qui, à l'origine, était boisée; cela n'assure pas davantage la conservation des boisés en contrebas puisque les eaux de fonte continueraient de ruisseler vers ces zones.

Les décisions ultimes devront se prendre avec l'accord des citoyens, via les Amis de la montagne par exemple; c'est d'abord à eux qu'il revient de décider si la mise en valeur du flanc nord est possible malgré la présence d'un dépôt de neiges usées; dans la négative, la restauration du dépôt passera probablement par son reboisement et une autre alternative devra être envisagée pour gérer les neiges usées.

RÉFÉRENCES

- ALLOWAY, B. J. (1990). Heavy metals in soils. Éditeurs: Blackie, Glasgow and London et John Wiley & Sons Inc., New York.
- APHA, AWWA et WPCF (1989). Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater. Éditeur: American Public Health Association, 17th Edition, Washington, USA.
- ANDRÉ, P. et DELISLE, C. E. (1988). Élaboration d'un guide pour l'aménagement des lieux d'élimination des neiges usées. Rapport préliminaire. Centre de développement technologique de l'École Polytechnique de Montréal. Projet C.D.T. P1258. Mtl.
- ASTM (1994). Annual Book of ASTM Standards. Volume 04.09, Soil and Rock (II). Éditeur: ASTM, Philadelphia, USA.
- BALES, R. C., SOMMERFELD, R. A. and KEBLER, D. G. (1990). Ionic tracer movement through a Wyoming snowpack. Atmospheric Environment, Vol. 24A, No. 11, pp. 2749-2758.
- BCM (1990). Rapport de consultation publique. L'avenir de la montagne. Plan préliminaire de mise en valeur du mont Royal. Ville de Montréal. Mtl. 230 pages et annexes.
- BENOIT, G. (1983). Caractérisation de l'acidité, du mercure et douze autres métaux dans les précipitations humides de la région de EOL-Baie James. Mémoire (M. Sc. A.). Département de Génie Civil. École Polytechnique. Mtl.

BISSON, M. (1986). Introduction à la pollution atmosphérique. Direction de l'assainissement de l'air. Ministère de l'environnement. Québec. Éditeur: Les publications du Québec. 135 pages.

BOIVIN, R. (1988). La montagne en question, section Haut-Relief, volume 2, Groupe d'interventions urbaines, Mtl, 72 pages et annexes.

BOIVIN, R. (1989). La végétation forestière du Mont-Royal. Mémoire (M. Sc.). Département des sciences biologiques. Université de Montréal. Mtl.

BOIVIN, R., BOUCHARD, A. et GAGNON, D. (1988). La montagne en question, section Un milieu naturel méconnu, volume 2, Groupe d'interventions urbaines, Mtl, 72 pages et annexes.

BOUCHARD, R. (1997). Suivi environnemental des eaux de fonte du dépôt à neiges usées Gagnon à Jonquière. Rapport de recherche présenté dans le cadre de la Maîtrise en Environnement. Université de Sherbrooke, Québec, Canada. 106 pages.

BRAIDEK, J. T., FEDEC, P. and JONES, D. (1984). Field survey of halophytic plants of disturbed sites on the Canadian prairies. Can. J. Plant Sci., 64. pp. 745-751.

BUCKMAN, H. O. and BRADY, N. C. (1969). The nature and properties of soils. Éditeur: the MacMillan company ; Collier-MacMillan Canada, Ltd., Toronto, Ontario.

CADLE, S. H., VANDEKOPPLE, R., MULAWA, P. A. and DASCH, J. M. (1990). Ambient concentrations, scavenging ratios and source regions of acid related compounds and trace metals during winter in northern Michigan. Atmospheric Environment, Vol. 24a, No.12, pp. 2981-2989.

COLLETT, JEFFREY L., PRÈVÔT, ANDRÉ S. H., STAHELIN J. and WALDVOGEL A. (1991). Physical factors influencing winter precipitation chemistry. Environ. Sci. Technol., Vol.25, No.4, pp. 782-788.

DAIGNEAULT, J. (1988). Efficacité accrue dans le procédé de fonte de la neige. Communication donnée dans le cadre d'un atelier de l'Association des travaux publics d'Amérique. Québec, Hôtel des gouverneurs, Ste-Hyacinthe.

DALLAIRE, J. et OUIMET, C. (1980). L'effet des halogénures alcalins (sels de déglaçage) sur les écosystèmes aquatique et terrestre. Travail de recherche effectué dans le cadre d'un cours, disponible auprès de M. Famelart, département des sciences biologiques de l'Université de Montréal. Mtl. 39 pages.

DELISLE, C. E. (1991). Installation et opération d'un collecteur de précipitations de neige et de pluie et analyses chimiques des échantillons recueillis. Centre de développement technologique de l'École Polytechnique de Montréal. Projet C.D.T. P1427. 70 p. Mtl.

DELISLE, C. E. (1995). La gestion des neiges usées. Routes et transports. Vol. 24, No. 4, pp. 20-27. Éditeur: Association québécoise du transport et des routes (AQTR).

DELISLE, C. E. and ANDRÉ, P. (1995). The Montreal experience in used snow: disposal and treatment. Ecological reclamation in Canada at century's turn. 35th annual meeting of the Canadian Society of Environmental Biologists. September 26-29, 1995. Hotel Saskatchewan, Regina, Sk.

DELISLE, C. E., ANDRÉ P. et PARADIS, J. F. (1993). Caractérisation des neiges usées en fonction de la densité résidentielle (Hiver 1992-1993). Centre de développement technologique de l'École Polytechnique de Montréal. Projet C.D.T. P1744. Mtl.

DELISLE, C. E., LAPOINTE, M. F. et LEDUC A. (1990). L'échantillonnage des neiges usées en milieu urbain: résultats de l'hiver 1989-1990. Sciences et techniques de l'eau. Vol. 23, No. 4, pp. 391-395.

DELISLE, C. E. et LEDUC, A. (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. Centre de développement technologique de l'École Polytechnique de Montréal. Projet C.D.T. P981. 155 p. Mtl.

DELISLE, C.E., LEDUC, A. et RACICOT, M.-H. (1992). Les précipitations acides en milieu urbain (Cas de Montréal, Québec, Canada). Chimie de l'atmosphère. Exposés du 9^e Congrès mondial sur l'air pur. Vers l'an 2000: Problèmes cruciaux en matière d'environnement à l'échelle mondiale. Volume 2. IU-10.12, 12 p. Éditeur: Air & Waste Management Association, Pittsburgh, PA, U.S.A.

DESROCHERS, Y. Projet de fin d'études. École Polytechnique.

ECKER, F-J., HIRAI E. and CHOJII T. (1990). The release of heavy metals from snowpacks on the japan sea side of Japan. Environmental Pollution , Vol. 65, No. 2. pp. 141-153.

FORTIN, D. et FAMELART, M. (1989). Arbres, arbustes et Plantes herbacées du Québec (et de l'est du Canada). Tome 1. Éditeur: Éditions du Trécarré. 193 pages.

FORTIN, D. et FAMELART, M. (1990). Arbres, arbustes et Plantes herbacées du Québec (et de l'est du Canada). Tome 2. Éditeur: Éditions du Trécarré. 315 pages.

FRÈRE MARIE-VICTORIN, É. C. (1964). Flore laurentienne. Éditeur: Presses de l'Université de Montréal. Mtl. 925 pages.

FRIENDLAND, A. J., CRAIG, B. W., MILLER, E. K., HERRIC, G. T., SICCAMA, T. G. and JOHNSON, A. H. (1992). Decreasing lead levels in the forest floor of the northeastern USA. Ambio, Vol. 21, No. 6, pp. 400-403.

GIRARD, J. P. (1982). Les dépotoirs de neige-usée de la ville de Chicoutimi. Mémoire de baccalauréat en géographie. Université du Québec à Chicoutimi. Chicoutimi.

GROUPE FLEURBEC (1978). Plantes sauvages des villes et des champs. Tome 1. Fides / Éditeur officiel du Québec. 273 pages.

GROUPE FLEURBEC (1983). Plantes sauvages des villes et des champs et en bordure des chemins. Tome 2. Fleurbec et Québec Science. 208 pages.

GROUPE FLEURBEC (1993). Fougères, prêles et lycopodes. Éditeur officiel du Québec. 511 pages.

GROS, A. (1967). Engrais - Guide pratique de fertilisation. Éditeur: La maison rustique. Paris. 436 pages.

HARPSTEAD, M. I. and HOLE, F. D. (1980). Soil science simplified. Éditeur: Iowa state university press, Ames, Iowa, U.S.A.

HOSIE, R. C. (1978). Arbres indigènes du Canada. Éditions Fides. 389 pages.

KAUL, V. (1971). Physiological ecology of *Xanthium strumarium* Linn. IV. Effect of climatic factors on growth and distribution. New Phytol. Vol. 70, pp. 799-812.

KOCH, C. (1996). Étude des matières en suspension dans les neiges usées. Projet de fin d'études en environnement. Département de génie chimique. École Polytechnique de Montréal. Québec. 72 pages.

LAPOINTE, M. et DELISLE, C. E. (1991). Élaboration d'un protocole d'échantillonnage des neiges usées en milieu urbain. Rapport final. Centre de développement technologique de l'École Polytechnique de Montréal. Projet C.D.T. P1425. 74 p. Mtl.

LAVALLÉE, A. (1992). Plan de mise en valeur du mont Royal. Ville de Montréal. Mtl. 65 pages.

LES AMIS DE LA MONTAGNE (1994). Le mont Royal. Bilan 1986-1993. Interventions pour la conservation et la mise en valeur du mont Royal. Mtl. 49 pages et annexes.

LEWIS, J. E., MOORE, T. R. and ENRIGHT, N. J. (1982). Spatial-temporal variations in snowfall chemistry in the Montreal region. Water, Air and Soil Pollution. Vol 20, pp. 7-22.

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

MENVIQ^(b) (1988). Politique de réhabilitation des terrains contaminés. Ministère de l'Environnement. Gouvernement du Québec. 22 pages.

MEF (1996). Politique sur l'élimination des neiges usées. Ministère de l'Environnement et de la Faune. Gouvernement du Québec. 12 pages.

NADEAU, L. H. (1961). Étude biosystématique sur le genre Xanthium. Thèse de doctorat. Faculté des sciences. Université de Montréal. Mtl.

OLIVER, B. G., MILNE, J. B. and LABARRE, N. (1974). Chloride and lead in urban snow. Journal Water Pollution Control Federation, Vol. 46, No. 4. pp. 766-771.

PINARD, D., SÉRODES, J.-B. et CÔTÉ, P.-A. (1989). Caractérisation des eaux de fonte d'un dépôt à neiges usées. Sciences et techniques de l'eau. Vol. 22, No. 3, pp. 211-215.

Programme de réduction des rejets industriels (PRRI) (1992). Guide d'échantillonnage pour analyses environnementales. Chapitre 7: Échantillonnage des sols. Direction des laboratoires. Ministère de l'Environnement. Québec. 57 pages et annexes.

PURVES, D. (1985). Trace-element contamination of the environment. Fundamental aspects of pollution control and environmental science 7. Éditeur: Elsevier.

READER'S DIGEST (1985). Secrets et vertus des plantes médicinales. Éditeur: Sélection du Reader's Digest. 463 pages.

RITCHOT, G. (1972). Le mont Royal. Guide d'excursion du 22ième Congrès international de géographie. Presses de l'Université de Montréal, Mtl, pp. 49-53.

SAINI, H. D. (1995). Notes du cours Bio 1534: Introduction à la physiologie végétale. Département de sciences biologiques. Université de Montréal. Mtl.

SALISBURY, F. B. and ROSS, C. W. (1991). Plant physiology. Éditeur: Wadsworth, Belmont, California. 682 pages.

WALDRON, H. A. (1980). Metals in the environment. Éditeur: Academic Press Inc., New York, U.S.A.

WALTHER, A. (1963). Forest Ecological Studies of the Montereigians Hill of Southern Québec. Thesis (M.Sc.). Department of botany. McGill University.

ZINGER, I. (1985). Qualité des neiges usées et impacts de leurs déversements dans la région du Port de Montréal. Mémoire de M. Sc. A. École Polytechnique de Montréal. Mtl.

ZINGER, I. and DELISLE, C. E. (1988). Quality of used-snow discharged in the St-Lawrence River, in the region of Montreal harbor. J. Water, Air and Soil Pollution, 39, pp. 47-57

ANNEXES

ANNEXE 1

LISTE DES VÉGÉTAUX RECENSÉS DANS LES DIFFÉRENTES ZONES

ARBRES			
Noms	Zones	Noms	Zones
<i>Acer negundo</i> (23 cm)	A1,A2,A3,A4,A5	<i>Populus grandidentata</i>	A1,A2,A3,A5
<i>Acer saccharum</i> (48 cm)	A1,A2,A3,A4,A5	<i>Populus tremuloides</i>	A1,A2,A3,A4
<i>Acer spicatum</i>	A1,A5	<i>Prunus nigra</i>	A1
<i>Betula papyrifera</i> (25 cm)	A1,A2,A4	<i>Prunus pensylvanica</i>	A1,A2,A3,A4,A5
<i>Betula populifolia</i>	A4	<i>Prunus serotina</i> (36 cm)	A1,A5
<i>Carya cordiformis</i>	A1,A4,A5	<i>Prunus virginiana</i>	A1,A2,A4,A5
<i>Fraxinus americana</i>	A1,A3,A4,A5	<i>Quercus rubra</i> (53 cm)	A1,A2,A3,A4,A5
<i>Juglans cinerea</i>	A1,A4	<i>Robinia Pseudo-Acacia</i>	A1,A4,A5
<i>Ostrya virginiana</i>	A1,A3,A4	<i>Salix</i> (non-différenciés)	A1,A3,A4,D
<i>Populus balsamifera</i> (20 cm)	A1,A4	<i>Tilia americana</i> (48 cm)	A1,A2,A3,A4,A5
<i>Populus deltoides</i>	A4	<i>Ulmus americana</i>	A1,A5

Remarques:

- le diamètre maximal, mesuré à hauteur d'épaules, de certaines variétés apparaît entre parenthèses;
- les saules (*Salix*) sont essentiellement présents à l'état d'arbustes ou de brindilles sur d'anciennes souches;
- il n'y a que de très petits spécimens d'ormes (*U. americana*).

ANNEXE 1

LISTE DE VÉGÉTAUX RECENSÉS DANS LES DIFFÉRENTES ZONES
(suite)

PETITS ARBRES, ARBUSTES ET PLANTES LIGNEUSES			
Noms	Zones	Noms	Zones
<i>Amelanchier laevis</i>	A4	<i>Physocarpus opulifolius</i>	A1
<i>Apocynum androsaemifolium</i>	A1,A2,A3,A4,D	<i>Rosa rugosa</i>	D
<i>Berberis</i> (cultivée)	A2	<i>Rubus allegheniensis</i>	A4
<i>Berberis vulgaris</i>	A4	<i>Rubus</i> (non-différenciés)	A1,A2,A3,A4,A5
<i>Celastrus scandens</i>	A1,A4	<i>Rubus odoratus</i>	A1,A2,A3,A4,A5
<i>Cornus rugosa</i>	A1,A2,A3,A4,A	<i>Rhamnus catharticus</i>	A1,A2,A3,A4
<i>Cornus stolonifera</i>	A4	<i>Rhamnus Frangula</i>	A4
<i>Corylus cornuta</i>	A1,A5	<i>Rhus radicans</i>	A1,A2,A3,A4,D
<i>Crataegus</i> (non-différenciées)	A1,A3,A4,A5	<i>Rhus typhina</i>	A1,A2,A3,A4,D
<i>Diervilla Lonicera</i>	A3,A4	<i>Sambucus pubens</i>	A1,A4
<i>Lonicera dioca</i>	A4	<i>Viburnum alnifolium</i>	A1
<i>Lonicera tatarica</i>	A1,A2,A4	<i>Viburnum trilobum</i>	A1,A5
<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	A3,A4,D	<i>Vitis riparia</i>	A3,A4,A5,D

ANNEXE 1

LISTE DES VÉGÉTAUX RECENSÉS DANS LES DIFFÉRENTES ZONES
(suite)

PLANTES HERBACÉES			
Noms	Zones	Noms	Zones
<i>Achillea Millefolium</i>	A3,A4	<i>Campanula Trachelium</i>	A1,A2,A4
<i>Actaea pachypoda</i>	A2	<i>Capsella Bursa-pastoris</i>	D
<i>Actaea rubra</i>	A1	<i>Carex rosea</i>	A1
<i>Agropyron repens</i>	D	<i>Carex tenera</i>	A3
<i>Agrostis alba</i>	A3	<i>Caulophyllum thalictroides</i>	A1,A2,A5
<i>Alliaria officinalis</i>	A1,A3	<i>Cerastium vulgatum</i>	A4
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	A3,A4,A5,D	<i>Chenopodium album</i>	A3,A4,A5,D
<i>Amphicarpa bracteata</i>	A1,A4	<i>Chenopodium glaucum</i>	A3,D
<i>Antennaria fallax</i>	A1,A3,A4	<i>Chenopodium hybridum</i>	A4,A5,D
<i>Anthriscus sylvestris</i>	A1,A3,A5	<i>Chrysanthemum Leucanthemum</i>	A3
<i>Aquilegia canadensis</i>	A4	<i>Cichorium Intybus</i>	A3,D
<i>Aralia nudicaulis</i>	A2,A3	<i>Circaea lutetiana</i>	A1,A5
<i>Aralia racemosa</i>	A1,A4,D	<i>Cirsium arvense</i>	D
<i>Arctium minus</i>	A1,A5	<i>Convallaria</i>	A4
<i>Artemisia vulgaris</i>	A3,A4,D	<i>Coronilla varia</i>	A3
<i>Asclepias syriaca</i>	A1,A2,A3,A4,A5,D	<i>Dactylis glomerata</i>	A1,A3,A5,D
<i>Aster cordifolius</i>	A1,A3,A4,A5	<i>Desmodium canadense</i>	A1,A2,A4,D
<i>Aster novae-angliae</i>	A3	<i>Desmodium glutinosum</i>	A4
<i>Aster simplex (lanceolatus)</i>	A3	<i>Dryopteris marginalis</i>	A4
<i>Athyrium Filix-femina</i>	A1	<i>Echinochloa (non-différenciés)</i>	A1,A3,A5,D
<i>Atriplex hastata</i>	A3,A4,A5,D	<i>Epilobium glandulosum</i>	A3
<i>Bidens vulgaris</i>	A3,A5,D	<i>Erechtites hieracifolia</i>	A4
<i>Bromus inermis</i>	A1,A3,A4,D	<i>Erigeron canadensis</i>	A1,A5,D
<i>Campanula rapunculoides</i>	A3	<i>Erigeron philadelphicus</i>	A1,A4

ANNEXE 1

LISTE DES VÉGÉTAUX RECENSÉS DANS LES DIFFÉRENTES ZONES

(suite)

PLANTES HERBACÉES (suite)			
Noms	Zones	Noms	Zones
<i>Erigeron strigosus</i>	A1	<i>Maianthemum canadense</i>	A3,A4,A5
<i>Erucastrum gallicum</i>	A1,A3,D	<i>Matricaria matricarioides</i>	A1,A3,A5,D
<i>Erysimum cheiranthoides</i>	A3	<i>Medicago lupulina</i>	A1,A4,D
<i>Erythronium americanum</i>	A1,A2,A3,A4,A5	<i>Medicago sativa</i>	A1
<i>Eupatorium rugosum</i>	A1,A2,A4,A5,D	<i>Melilotus alba</i>	A1,A2,A3,A4,D
<i>Euphorbia Helioscopia</i>	A1	<i>Mentha canadensis</i>	D
<i>Fragaria</i> (non-différenciés)	A4	<i>Onoclea sensibilis</i>	A5
<i>Galeopsis Tetrahit</i>	A5	<i>Oxalis stricta</i>	A1,A2,A4
<i>Galinsoga ciliata</i>	A3,D	<i>Panicum capillare</i>	A1,A3,D
<i>Gnaphalium uliginosum</i>	A3	<i>Panicum miliaceum</i>	D
<i>Helianthus annuus</i> ¹	D	<i>Phalaris canariensis</i>	D
<i>Helianthus decapetalus</i>	A1,A3,A5	<i>Phleum pratense</i>	A3
<i>Hieracium vulgatum</i>	A1,A2,A3,A4,A5	<i>Plantago major</i>	A3,A5,D
<i>Hordeum jubatum</i>	A1,D	<i>Plantago Rugelii</i>	A1,A4
<i>Hydrophyllum virginianum</i>	A1	<i>Poa annua</i>	A5
<i>Hypericum perforatum</i>	A2	<i>Polygonum achoreum</i>	A3,D
<i>Iva xanthifolia</i>	A1,A5,D	<i>Polygonum aviculare</i>	A3,A4,D
<i>Kochia scoparia</i>	A1,A5,D	<i>Polygonum Convolvulus</i>	A3
<i>Lactuca Serriola</i>	A1,A2,D	<i>Polygonum Hydropiper</i>	A5
<i>Leontodon autumnalis</i>	A3,D	<i>Polygonum lapathifolium</i> ²	A3,D
<i>Lepidium densiflorum</i>	A3,A5,D	<i>Polygonum pensylvanicum</i>	D
<i>Linaria vulgaris</i>	A1,A2,A3	<i>Polygonum Persicaria</i>	A4,D
<i>Lithospermum officinale</i>	A3,A4,A5	<i>Potentilla Anserina</i>	D
<i>Lolium perenne</i>	D	<i>Potentilla argentea</i>	A3
<i>Lotus corniculatus</i>	A1,A2	<i>Potentilla recta</i>	A3,A4

Remarques

¹ : naturalisés et non-naturalisés ; ² : *P. lapathifolium* et *P. scabrum* non-différenciés.

ANNEXE 1

LISTE DES VÉGÉTAUX RECENSÉS DANS LES DIFFÉRENTES ZONES
(suite et fin)

PLANTES HERBACÉES (suite et fin)			
Noms	Zones	Noms	Zones
<i>Prenanthes alba</i>	A4	<i>Sonchus arvensis</i> var. <i>glabrescens</i>	A3,A4,D
<i>Prenanthes altissima</i>	A1,A4	<i>Sonchus oleraceus</i>	A4,D
<i>Prunella vulgaris</i>	A4	<i>Tanacetum vulgare</i>	A1,A2,A3,A4,A5,D
<i>Pteridium aquilinum</i>	A1,A2,A4,A5,D	<i>Taraxacum officinale</i>	A3
<i>Ranunculus acris</i>	A1,A2,A3	<i>Thalictrum dioicum</i>	A1,A2,A3,A4,A5
<i>Rumex crispus</i>	A3	<i>Thlaspi arvense</i>	A2
<i>Sanguinaria canadensis</i>	A1,A2,A3,A4,A5	<i>Tragopogon pratensis</i>	A3
<i>Sanicula marilandica</i>	A1,A4	<i>Trifolium arvense</i>	A4
<i>Scrophularia lanceolata</i>	A1	<i>Trifolium pratense</i>	A1,A3,A4,D
<i>Senecio viscosus</i>	A2,A3	<i>Trifolium procumbens</i>	A3
<i>Senecio vulgaris</i>	A3	<i>Trifolium repens</i>	A4
<i>Setaria italica</i>	D	<i>Trillium grandiflorum</i>	A1,A2,A3,A4,A5
<i>Setaria viridis</i>	A1,A3,A5,D	<i>Triticum aestivum</i>	D
<i>Silene Cucubalus</i>	A1,A2,A3,A4,D	<i>Tussilago Farfara</i>	A2,A5
<i>Smilacina racemosa</i>	A1,A2,A3,A4,A5	<i>Urtica procera</i> ³	A1
<i>Smilax herbacea</i>	A1,D	<i>Valeriana officinalis</i>	A1,A2,A3,A4,D
<i>Solanum Dulcamara</i>	A1,A2,A4,A5,D	<i>Verbena urticifolia</i>	A1,A5
<i>Solidago altissima</i>	A1,A3,A4,A5	<i>Vicia Cracca</i>	A1,A2,A3,A4,A5,D
<i>Solidago caesia</i>	A1,A3,A4,A5	<i>Viola</i> (non-différenciées)	A1,A3
<i>Solidago flexicaulis</i>	A1,A4,A5	<i>Xanthium chinense</i>	A3,A4,D
<i>Solidago graminifolia</i>	A3,A4		

Remarque

³ : alias *Urtica dioica* ssp *gracilis*.

ANNEXE 2
ANALYSES DES MÉTAUX LOURDS : RÉSULTATS BRUTS

Échant.	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn	Échant.	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Blanc 4/6	0.001	0.028	0.038	0.095	0.009	0.01	0.054	C8-4	0.036	0.167	0.944	101	3.12	0.84	2.86
Blanc 10/6	0.003	0.018	0.054	0.115	0.020	0.01	0.074	C8-4R	0.035	0.174	0.958	100	3.13	0.84	2.67
Blanc 11/6	0.005	0.010	0.053	0.083	0.017	0.01	0.077	DN-1	0.035	0.236	0.831	89.2	3.00	1.34	2.71
Blanc 28/6	0.004	0.034	0.076	0.165	0.023	0.01	0.120	DN-1R	0.032	0.278	0.855	110	3.21	1.19	3.01
Blanc 2/6	0.003	0.032	0.070	0.120	0.029	0.02	0.092	DN-1B	0.037	0.241	0.826	98.0	2.78	1.01	2.79
Blanc 7/6	0.002	0.019	0.130	0.191	0.031	0.03	0.130	DN-2A	0.030	0.196	0.800	82.1	2.38	0.78	1.97
Blanc 8/6	0.004	0.030	0.094	0.165	0.033	0.01	0.087	DN-2B	0.031	0.155	0.735	72.7	2.30	0.66	1.50
BP-2	0.026	0.209	0.645	92.7	2.58	1.14	1.92	DN-3A	0.029	0.192	0.705	71.3	2.19	0.88	1.66
BP-4	0.019	0.165	0.812	77.8	2.91	1.12	1.62	DN-3B	0.031	0.185	0.782	76.9	2.14	0.95	1.78
BP-6	0.024	0.235	0.818	91.6	2.96	1.21	2.14	DN-4A	0.033	0.211	0.928	88.8	2.59	0.86	2.77
BS-1	0.026	0.212	0.945	107	3.30	1.07	1.46	DN-4B	0.040	0.258	1.100	99.2	2.83	1.11	3.17
BS-1R	0.031	0.233	1.08	123	3.64	0.78	1.60	DN-4BR	0.037	0.251	1.030	86.9	2.66	0.99	2.94
BS-2	0.030	0.225	0.877	88.3	3.00	1.17	2.25	DN-5A	0.036	0.166	0.756	67.4	2.60	1.02	1.71
BS-2R	0.026	0.218	0.756	77.0	3.02	0.96	1.83	DN-5B	0.028	0.191	0.746	70.5	2.06	0.70	1.41
BS-3	0.027	0.188	0.637	71.2	2.49	0.77	1.46	DNN-1	0.029	0.165	0.775	74.7	2.07	0.70	1.85
BS-4	0.022	0.165	0.513	69.4	2.59	0.66	1.18	DNN-2	0.026	0.175	0.740	70.3	2.06	0.63	1.43
BS-5	0.028	0.181	0.854	93.9	2.83	0.95	1.75	DNN-3	0.025	0.150	0.622	61.6	1.67	0.61	1.44
BS-6	0.031	0.273	0.938	95.5	3.26	1.31	2.32	DNN-4	0.030	0.178	0.633	83.4	2.53	0.77	1.77
CP-2	0.023	0.212	0.616	65.8	1.77	0.83	1.19	DNN-1	0.032	0.190	0.747	85.0	2.37	0.79	1.97
CP-4	0.032	0.213	0.716	90.4	2.52	1.09	1.81	DNN-2	0.034	0.168	0.756	79.4	2.25	0.77	1.81
CP-5	0.029	0.222	0.823	90.7	2.61	1.18	2.14	DNN-2R	0.032	0.170	0.846	77.2	2.33	0.80	1.98
CP-6R	0.031	0.226	0.851	94.4	2.75	1.18	2.30	RS-1	0.021	0.123	0.544	56.5	1.66	0.50	0.87
CP-7	0.024	0.198	0.831	90.9	2.69	1.11	1.72	RS-2	0.032	0.236	0.969	94.4	3.48	1.13	2.17
CP-7R	0.025	0.223	0.807	90.1	2.64	1.02	1.74	RS-3	0.024	0.269	1.13	122	4.33	0.67	1.57
CP-8	0.025	0.255	0.894	118	3.41	1.46	2.07	RS-4	0.022	0.164	0.756	161	3.58	0.43	1.00
CS-1	0.025	0.215	0.686	81.6	2.15	0.81	1.71	RP-1	0.016	0.300	1.16	136	2.85	0.30	0.81
CS-2	0.021	0.183	0.557	83.6	1.92	0.84	1.25	T-1S	0.028	0.170	0.435	182	18.73	1.31	2.12
CS-3	0.023	0.215	1.36	76.0	2.48	0.96	1.70	T-2S	0.030	0.317	0.579	282	7.15	1.85	1.72
CS-4	0.072	0.230	0.819	83.9	2.46	1.15	1.46								
CS-4R	0.025	0.260	0.692	83.7	2.51	0.81	1.46								
CS-6	0.032	0.328	0.818	95.4	2.44	1.00	2.34								
CS-8	0.034	0.248	1.07	106	2.75	1.15	2.51								
CS-7	0.030	0.235	0.889	96.6	2.73	0.98	2.12								
CS-8	0.031	0.317	1.20	107	3.66	1.72	2.75								

Dossier laboratoire 95133041

Christian Dallaire
Laboratoire de Géochimie Analytique

BS* = Échantillons dans la zone périphérique du dépôt, en surface

BP* = Échantillons dans la zone périphérique du dépôt, en profondeur

CS* = Échantillons dans la zone centrale du dépôt, en surface

CP* = Échantillons dans la zone centrale du dépôt, en profondeur

C94* = Échantillons prélevés dans la couche noirâtre à la surface du dépôt, en avril 1994

DN* et DNN* = Échantillons prélevés dans la couche noirâtre à la surface du dépôt, en avril 1995

RS* = Échantillons dans les zones soumises au ruissellement, en surface

RP* = Échantillons dans les zones soumises au ruissellement, en profondeur

T*S = Échantillons témoins, en surface

ANNEXE 2
ANALYSES DES MÉTAUX LOURDS: RÉSULTATS BRUTS
(suite)

Echant.	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
B-1	< 0.001	0.016	0.057	0.100	0.016	0.010	0.071
B-2	< 0.001	0.045	0.040	0.080	0.006	0.012	0.060
B-3	< 0.001	0.050	0.047	0.101	0.006	0.005	0.067
B-4	< 0.001	0.020	0.038	0.095	0.013	0.010	0.072
NC-1	0.049	0.42	1.25	145	3.25	2.15	3.56
NC-2	0.038	0.38	1.00	148	3.79	2.10	3.40
NC-3	0.015	0.40	1.03	107	3.21	2.78	3.13
NC-4	0.013	0.30	0.79	130	3.38	1.45	2.16
NC-5	0.011	0.33	0.85	177	4.21	1.45	2.14
NC-20	0.012	0.36	0.95	159	3.51	1.60	3.57
NC-21	0.017	0.40	0.90	152	3.49	1.80	3.60
NC-22	0.017	0.34	0.86	144	3.43	1.60	3.42
NC-23	0.019	0.401	0.94	137	3.64	1.87	3.16
NC-24	0.014	0.36	0.87	150	3.41	1.52	3.30
NC-25	0.012	0.32	1.04	148	3.67	1.36	2.79
NC-26	0.013	0.34	0.88	133	3.37	1.44	3.27
NC-27	0.014	0.31	0.81	122	2.84	1.43	2.89
NC-28	0.014	0.33	0.93	141	3.50	1.71	3.34
NC-29	0.015	0.34	0.96	143	3.40	1.54	3.14
NC-30	0.016	0.34	0.80	116	3.06	1.50	3.15
NC-31	0.012	0.37	0.82	131	3.25	1.95	3.31
TS-S	0.008	0.191	0.28	196	5.45	1.08	1.50
TS-S	0.009	0.221	0.28	175	11.74	1.28	1.56
TP-P	0.004	0.181	0.71	167	5.80	1.20	1.09
TS-S	0.005	0.161	0.73	160	5.60	1.21	1.19
TP-P	0.008	0.141	1.68	228	2.75	1.51	1.50
TS-S	0.009	0.141	1.25	176	3.90	2.83	2.53
TP-P	0.006	0.15	1.28	190	3.38	1.15	1.23
TS-S	0.007	0.141	1.30	194	4.39	1.30	1.54
T10-S	0.007	0.080	0.86	211	4.69	1.51	1.56
T10-P	0.006	0.082	0.83	206	4.63	1.46	1.48
T10-PR	0.006	0.090	0.83	202	4.58	1.46	1.49
T11-S	0.006	0.070	2.17	173	4.92	1.20	1.45
T11-P	0.006	0.074	2.56	203	5.00	1.15	1.35
T11-PR	0.006	0.078	2.59	201	5.25	1.15	1.31
LQ-1	< 0.001	< 0.005	0.018	0.021	0.02	0.017	0.000
LQ-2	< 0.001	< 0.005	0.021	0.020	0.02	0.009	0.004
LQ-3	< 0.001	< 0.005	0.025	0.049	0.02	0.008	0.003
LQ-4	< 0.001	< 0.005	0.021	0.047	0.01	0.004	0.001
LQ-5	< 0.001	< 0.005	0.030	0.019	0.06	0.020	0.025
LQ-6	< 0.001	< 0.005	0.034	0.045	0.03	0.026	0.013
LQ-7	< 0.001	< 0.005	0.029	0.041	0.05	0.016	0.017
LQ-8	< 0.001	< 0.005	0.031	0.022	0.04	0.015	0.014
LQ-34	< 0.001	< 0.005	0.024	0.025	0.02	0.006	0.016

Dossier laboratoire 95134074

Christian Dallaire

Christian Dallaire
 Laboratoire de Géochimie Analytique

B* = Blanc

NC* = Échantillons composés de neiges usées (fraction solide)

T*S = Échantillons témoins, en surface

T*P = Échantillons témoins, en profondeur

LQ* = Échantillons composés de neiges usées (fraction liquide)

ANNEXE 2
ANALYSES DES MÉTAUX LOURDS: MÉTHODES DE CALCUL
(suite)

Définitions:

mg/l : (masse d'une substance en mg) / (volume de la solution en litre)

ppm : (masse d'une substance en mg) / (masse de la solution en Kg)

donc, pour l'eau, 1 mg/l = 1 ppm.

Méthode de calcul pour les sols:

Prenons par exemple, les résultats obtenus pour l'échantillon T5S; pour le Cd, on a 0,008 ppm, soit 0,008 mg de Cd par litre d'eau,

i.e., 0,008 mg dans 1000 ml d'eau

i.e., 0,0008 mg dans 100 ml d'eau.

Or, c'est dans 100 ml d'eau que l'on avait acidifié 1g de sol

⇒ 0,0008 mg de Cd dans 1g de sol, ou encore 0,8 µg de Cd par g de sol.

Méthode de calcul pour les neiges usées: Fraction liquide

La fraction liquide n'avait subi aucune acidification et aucune dilution; par conséquent
 $x \text{ ppm} = x \text{ mg/l}$

ANNEXE 2**ANALYSES DES MÉTAUX LOURDS: MÉTHODES DE CALCUL**
(suite et fin)**Méthode de calcul pour les neiges usées: fraction solide**

Les solides contenus dans les neiges usées avaient subi les mêmes types de traitement que les sols, exception faite du tamisage; ainsi nous prenions 1 g de solides que l'on acidifiait et diluait dans 100 ml d'eau.

Par conséquent, pour NC-1, pour le Cd, les résultats du laboratoire se calculent comme suit:

0,049 ppm, i.e., 0,049 mg de Cd dans 1000 ml d'eau
soit 0,0049 mg de Cd dans 100 ml d'eau
soit 0,0049 mg de Cd dans 1 g de solides.

Dans 1 litre de neiges usées correspondant à NC-1, il y avait 1,2257 g de solides; donc 0,006 mg de Cd par litre de neiges usées (i.e., $0,0049 \times 1,2257$) (pour NC-1).

ANNEXE 3
TENEUR DES SOLS EN MÉTAUX LOURDS

# Identification	CONCENTRATIONS PAR GRAMME DE SOL						
	Cd ($\mu\text{g/g}$)	Cr ($\mu\text{g/g}$)	Cu ($\mu\text{g/g}$)	Fe (mg/g)	Mn ($\mu\text{g/g}$)	Pb ($\mu\text{g/g}$)	Zn ($\mu\text{g/g}$)
RS1	2,1	12,3	54,40	5,65	166	50	87
RS2	3,2	23,6	96,90	9,44	348	113	217
RS3	2,4	26,9	113,0	12,2	433	67	157
RP3	1,6	30,0	116,0	13,6	285	30	81
RS4	2,2	16,4	75,60	16,1	358	43	100
BS1	2,6	21,2	94,50	10,7	330	107	146
BS1°	3,1	23,3	108,0	12,3	364	78	160
BS2	3,0	22,5	87,70	8,83	300	117	225
BS2°	2,6	21,8	75,60	7,70	302	96	183
BP2	2,6	20,9	64,50	9,27	258	114	192
BS3	2,7	18,8	63,70	7,12	249	77	146
BS4	2,2	16,5	51,30	6,94	259	66	118
BP4	1,9	16,5	81,20	7,78	291	112	162
BS5	2,8	18,1	85,40	9,39	283	95	175
BS6	3,1	27,3	93,80	9,55	326	131	232
BP6	2,4	23,5	81,80	9,16	296	121	214

Remarques:

RS* = Échantillons dans les zones soumises au ruissellement, en surface

RP* = Échantillons dans les zones soumises au ruissellement, en profondeur

BS* = Échantillons dans la zone périphérique du dépôt, en surface

BP* = Échantillons dans la zone périphérique du dépôt, en profondeur

° = reprise.

ANNEXE 3
TENEUR DES SOLS EN MÉTAUX LOURDS
(suite)

# Identification	CONCENTRATIONS PAR GRAMME DE SOL						
	Cd ($\mu\text{g/g}$)	Cr ($\mu\text{g/g}$)	Cu ($\mu\text{g/g}$)	Fe (mg/g)	Mn ($\mu\text{g/g}$)	Pb ($\mu\text{g/g}$)	Zn ($\mu\text{g/g}$)
CS1	2,5	21,5	68,6	8,16	215	81	171
CS2	2,1	18,3	55,7	8,36	192	84	125
CP2	2,3	21,2	61,6	6,58	177	83	119
CS3	2,3	21,5	136	7,60	248	96	170
CS4	7,2	23,0	81,9	8,39	246	115	146
CS4°	2,5	26,0	69,2	8,37	251	81	146
CP4	3,2	21,3	71,6	9,04	252	109	181
CS5	3,2	32,8	81,8	9,54	244	100	234
CP5	2,9	22,2	82,3	9,07	261	118	214
CP5°	3,1	22,6	85,1	9,44	275	118	230
CS6	3,4	24,8	107,0	10,6	275	115	251
CS7	3,0	23,5	88,9	9,66	273	98	212
CP7	2,4	19,8	83,1	9,09	269	111	172
CP7°	2,5	22,3	80,7	9,01	264	102	174
CS8	3,1	31,7	120	10,7	366	172	275
CP8	2,5	25,5	89,4	11,8	341	146	207

Remarques:

CS* = Échantillons dans la zone centrale du dépôt, en surface

CP* = Échantillons dans la zone centrale du dépôt, en profondeur

° = reprise.

ANNEXE 3
TENEUR DES SOLS EN MÉTAUX LOURDS
(suite et fin)

# Identification	CONCENTRATIONS PAR GRAMME DE DÉPÔT DE SURFACE						
	Cd ($\mu\text{g/g}$)	Cr ($\mu\text{g/g}$)	Cu ($\mu\text{g/g}$)	Fe (mg/g)	Mn ($\mu\text{g/g}$)	Pb ($\mu\text{g/g}$)	Zn ($\mu\text{g/g}$)
DN94	3,6	16,7	94,4	10,1	312	84	286
DN94°	3,5	17,4	95,8	10,0	313	84	267
DN1	3,5	23,6	83,1	8,92	300	134	271
DN1°	3,2	27,8	85,5	11,0	321	119	301
DN1B	3,7	24,1	82,6	9,80	278	101	279
DN2A	3,0	19,6	80,0	8,21	238	78	197
DN2B	3,1	15,5	73,5	7,27	230	66	150
DN3A	2,9	19,2	70,5	7,13	219	88	166
DN3B	3,1	18,5	78,2	7,69	214	95	178
DN4A	3,3	21,1	92,8	8,88	259	86	277
DN4B	4,0	25,8	110,0	9,92	283	111	317
DN4B°	3,7	25,1	103,0	8,69	266	99	294
DN5A	3,6	16,6	75,6	6,74	260	102	171
DN5B	2,8	19,1	74,6	7,05	206	70	141
DNNE1	2,9	16,5	77,5	7,47	207	70	185
DNNE2	2,6	17,5	74,0	7,03	206	63	143
DNNE3	2,5	15,0	62,2	6,16	167	61	144
DNNE4	3,0	17,8	63,3	8,34	253	77	177
DNNO1	3,2	19,0	74,7	8,50	237	79	197
DNNO2	3,4	16,8	75,6	7,94	225	77	181
DNNO2°	3,2	17,0	84,6	7,72	233	80	198

Remarques:

Les échantillons ci-haut ont été prélevés dans la couche noirâtre à la surface du dépôt

DN94 et DN94° : en avril 1994

DN1 à DNNO2° : en avril 1995

° = reprise.

ANNEXE 4
CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES ÉCHANTILLONS DE
NEIGES USÉES

# IDENTIFICATION	pH	CONDUCTIVITÉ (mS/cm)	M.E.S. $\varnothing > 1,5 \mu\text{m}$ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
Surface # 2	9,0	0,0780	811	< 10	< 10
Profondeur # 1	8,9	0,2610	427	< 10	30
Profondeur # 2	9,35	0,1275	339	26	< 10

Remarque:

Échantillons de neiges usées prélevés sur le dépôt de neiges usées de l'UdeM, en surface et en profondeur, en avril 1994.

ANNEXE 4
CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES ÉCHANTILLONS DE
NEIGES USÉES
(suite)

# IDENTIFICATION	pH	CONDUCTIVITÉ (mS/cm)	M.E.S. $\varnothing > 1,5 \mu\text{m}$ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
A	8,1	0,4600	951	144	26
B	9,4	0,1670	702	40	< 10
C	9,3	0,2970	1 446	82	17
D	9,25	1,1740	422	372	15
E	8,05	0,4270	992	130	22
F	9,3	0,8000	1 610	247	22
G	8,1	0,0518	1 280	< 10	23
H	7,9	0,3240	1 028	103	17
I	9,3	0,2600	1 090	71	13
J	9,55	1,4600	1 526	448	20
K	9,15	4,2900	2 314	1 677	54
L	9,4	0,2250	1 494	79	21
M	9,2	0,1350	3 632	24	25

Remarque:

Échantillons de neiges usées prélevées sur le dépôt de neiges usées de l'UdeM, en surface,
le 28 janvier 1995.

ANNEXE 4

**CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES ÉCHANTILLONS DE
NEIGES USÉES**

(suite et fin)

# IDENTIFICATION	pH	CONDUCTIVITÉ (mS/cm)	M.E.S. $\text{Ø} > 1,5 \mu\text{m}$ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)
1	7,95	5,670	2 712	1 996	86,5
2	7,9	6,580	2 092	3 600	133
3	8,0	6,400	1 476	3 252	94
4	7,9	2,520	1 304	820	40
5	9,2	8,690	1 576	3 426	105
6	9,15	4,300	1 614	1 580	54
7	9,3	1,690	1 620	595	40
8	9,3	6,790	2 682	2 520	103
9	9,1	7,120	1 220	2 703	78
10	9,3	5,330	1 806	2 004	67
11	9,2	6,310	2 956	2 450	78
12	9,1	6,380	2 430	2 420	78
13	9,1	5,040	1 564	1 941	73
14	9,0	1,278	6 900	376	62
15	10,0	5,890	2 556	2 552	78
16	8,9	6,540	1 546	2 520	77
17	8,9	6,800	2 314	2 575	91

Remarque: Échantillons de neiges usées prélevées sur le dépôt de neiges usées de l'UdeM, en surface, le 18 février 1995.

ANNEXE 5
DÉTAILS CONCERNANT LES ÉCHANTILLONS COMPOSÉS DE NEIGES
USÉES - FRACTION SOLIDE

# Identification	Échantillons source	Quantité de solides ($0,45\mu\text{m} < \varnothing < 180\mu\text{m}$) recueillie par échantillon source (g)	Volume d'eau de fonte correspondant (ml)	Concentration moyenne de solides ($0,45\mu\text{m} < \varnothing < 180\mu\text{m}$) (g/l)
NC1				1,2257
	B	0,2763	305	
	C	0,6418	330	
	D	0,1483	235	
NC2				1,7367
	A	0,2907	278	
	E	0,3808	182	
	H	0,3879	150	
NC3				2,1673
	F	0,4063	194	
	G	0,6340	286	
NC4				2,5768
	I	0,3593	230	
	J	0,5994	213	
	K	0,3658	71	
NC5	M	0,9992	180	5,5511

Remarques:

NC1 à NC5: échantillons composés de neiges usées prélevés sur le dépôt de neiges usées de l'UdeM, le 28 janvier 1995

A à M: échantillons prélevés sur le dépôt de neiges usées de l'UdeM, le 28 janvier 1995 (L non-utilisé)

ANNEXE 5
DÉTAILS CONCERNANT LES ÉCHANTILLONS COMPOSÉS DE NEIGES
USÉES - FRACTION SOLIDE
(suite)

# Identification	Échantillons source	Quantité de solides ($0,45\mu\text{m} < \varnothing < 180\mu\text{m}$) recueillie par échantillon source (g)	Volume d'eau de fonte correspondant (ml)	Concentration moyenne de solides ($0,45\mu\text{m} < \varnothing < 180\mu\text{m}$) (g/l)
NC20				3,0272
	12 (une fraction)	0,4318	163	
	12 (une fraction)	0,6580	197	
NC21				2,1004
	13	0,6822	353	
	15 (une fraction)	0,4373	180	
NC22	15 (une fraction)	1,1008	266	4,1383
NC23				2,6599
	16 (une fraction)	0,3162	210	
	16 (une fraction)	0,5266	216	
	2	1,1521	324	
NC24				3,2101
	4	0,7515	269	
	2	1,1521	324	
NC25				4,5319
	11 (une fraction)	0,5319	148	
	11 (une fraction)	0,7461	134	

Remarques:

NC20 à NC25: échantillons composés de neiges usées prélevés le 18 février 1995

2 à 4, 11 à 13, 15 et 16: échantillons prélevés le 18 février 1995

Certains échantillons sources ont été fractionnés pour éviter le colmatage du filtre.

Tous les échantillons ont été prélevés sur le dépôt de neiges usées de l'UdeM.

ANNEXE 5

**DÉTAILS CONCERNANT LES ÉCHANTILLONS COMPOSÉS DE NEIGES
USÉES - FRACTION SOLIDE**
(suite et fin)

# Identification	Échantillons source	Quantité de solides ($0,45\mu\text{m} < \text{Ø} < 180\mu\text{m}$) recueillie par échantillon source (g)	Volume d'eau de fonte correspondant (ml)	Concentration moyenne de solides ($0,45\mu\text{m} < \text{Ø} < 180\mu\text{m}$) (g/l)
NC26				2,6405
	3 10 (une fraction) 10 (une fraction)	0,2870 0,3031 0,4133	140 111 129	
NC27				2,6549
	5 17	0,9217 0,9394	363 338	
NC28				9,8932
	14 (une fraction) 14 (une fraction)	0,8710 2,1761	105 203	
NC29				3,0073
	1 7	0,7049 0,4890	176 221	
NC30				3,6674
	8 6 (une fraction)	0,7501 0,3868	197 113	
NC31				2,0367
	6 (une fraction) 9 (une fraction) 9 (une fraction)	0,3911 0,2333 0,4917	153 145 250	

Remarques:

NC26 à NC31: échantillons composés de neiges usées prélevés le 18 février 1995

1, 3, 5 à 10, 14 et 17: échantillons prélevés le 18 février 1995

Certains échantillons sources ont été fractionnés pour éviter le colmatage du filtre.

Tous les échantillons ont été prélevés sur le dépôt de neiges usées de l'UdeM.

ANNEXE 6

TENEUR EN MÉTAUX LOURDS DES ÉCHANTILLONS DE NEIGES USÉES

# Identification	CONCENTRATIONS EN mg/l DE NEIGE FONDUE - FRACTION SOLIDE						
	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
NC1	0,006	0,05	0,15	17,8	0,40	0,26	0,44
NC2	0,007	0,07	0,17	25,7	0,66	0,37	0,59
NC3	0,003	0,09	0,22	23,2	0,70	0,60	0,68
NC4	0,003	0,08	0,20	33,5	0,87	0,38	0,56
NC5	0,006	0,18	0,47	98,2	2,34	0,81	1,19
NC20	0,004	0,11	0,29	48,1	1,06	0,48	1,08
NC21	0,004	0,08	0,19	31,9	0,73	0,38	0,76
NC22	0,007	0,14	0,36	59,6	1,42	0,66	1,42
NC23	0,005	0,11	0,25	36,4	0,97	0,50	0,84
NC24	0,004	0,12	0,28	48,2	1,10	0,49	1,06
NC25	0,005	0,15	0,47	67,1	1,66	0,62	1,26
NC26	0,003	0,09	0,23	35,1	0,89	0,38	0,86
NC27	0,004	0,08	0,22	32,4	0,75	0,38	0,77
NC28	0,014	0,33	0,92	139,5	3,46	1,69	3,30
NC29	0,005	0,10	0,29	43,0	1,02	0,46	0,94
NC30	0,006	0,12	0,29	42,5	1,12	0,55	1,16
NC31	0,002	0,07	0,17	26,7	0,66	0,40	0,67

Remarques:

Échantillons composés de neiges usées prélevés le 28 janvier 1995 (NC1 à NC5) et le 18 février 1995 (NC20 à NC31).

Tous les échantillons ont été prélevés sur le dépôt de neiges usées de l'UdeM.

ANNEXE 6

TENEUR EN MÉTAUX LOURDS DES ÉCHANTILLONS DE NEIGES USÉES
(suite et fin)

# Identification	CONCENTRATIONS EN mg/l DE NEIGE FONDUE - FRACTION LIQUIDE						
	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
LQ94	< 0,001	< 0,005	0,024	0,025	0,02	0,006	0,016
LQ1	< 0,001	< 0,005	0,018	0,021	0,02	0,017	0,000
LQ2	< 0,001	< 0,005	0,021	0,020	0,02	0,009	0,004
LQ3	< 0,001	< 0,005	0,025	0,049	0,02	0,008	0,003
LQ4	< 0,001	< 0,005	0,021	0,047	0,01	0,004	0,001
LQ5	< 0,001	< 0,005	0,030	0,019	0,06	0,020	0,025
LQ6	< 0,001	< 0,005	0,034	0,045	0,03	0,026	0,013
LQ7	< 0,001	< 0,005	0,029	0,041	0,05	0,016	0,017
LQ8	< 0,001	< 0,005	0,031	0,022	0,04	0,015	0,014

Remarques:

Échantillons composés de neiges usées prélevés en avril 1994 (LQ94), le 28 janvier 1995 (LQ1 à LQ4) et le 18 février 1995 (LQ5 à LQ8).

Tous les échantillons ont été prélevés sur le dépôt de neiges usées de l'UdeM.

ANNEXE 7

PROJET DE RÈGLEMENT ET RÈGLEMENT SUR LES LIEUX D'ÉLIMINATION DE NEIGE

2302

GAZETTE OFFICIELLE DU QUÉBEC, 23 avril 1997, 129e année, n° 16

Partie 2

Projet de règlement

Loi sur la qualité de l'environnement
(L.R.Q., c. Q-2)

Lieux d'élimination de neige

Avis est donné par les présentes, conformément aux articles 10 et 11 de la Loi sur les règlements (L.R.Q., c. R-18.1) ainsi qu'à l'article 124 de la Loi sur la qualité de l'environnement, que le Règlement sur les lieux d'élimination de neige, dont le texte apparaît ci-dessous, pourra être édicté par le gouvernement du Québec à l'expiration d'un délai de 60 jours à compter de la présente publication.

La Politique sur les lieux d'élimination des neiges usées, rendue publique par le gouvernement en 1988, visait à mettre fin aux déchargements dans les cours d'eau des neiges usées et à réduire les impacts environnementaux associés à leur élimination au plus tard le 1^{er} avril 1996. Compte tenu du non respect de cette échéance par plusieurs municipalités, 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 1^{er} novembre 1997 et de rendre conformes aux critères d'autorisation les lieux d'élimination existants non autorisés au plus tard le 1^{er} 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. En outre, dans les cas de lieux d'élimination existants non autorisés, les exploitants devront faire approuver, pour chacun de ces lieux, un programme d'assainissement prévoyant qu'au plus tard à l'expiration du 1^{er} novembre 2002, tous les correctifs prévus auront été apportés à ces lieux.

Pour toute information relative au projet de règlement sur les lieux d'élimination de neige, vous pouvez contacter monsieur Jean-Maurice Latulippe, Direction des politiques du secteur municipal, ministère de l'Environnement et de la Faune, 2360, chemin Sainte-Foy, 3^e étage, boîte 42, Sainte-Foy (Québec), G1V 4H2, numéro de téléphone: (418) 644-7434, numéro de télécopieur: (418) 644-2003.

Toute personne intéressée ayant des commentaires à formuler au sujet du projet de règlement sur les lieux d'élimination de neige est priée de les faire parvenir par

écrit, avant l'expiration du délai de 60 jours, au ministère de l'Environnement et de la Faune, édifice Marie-Guyart, 675, boulevard René-Lévesque Est, 30^e étage, Québec (Québec), G1R 5V7.

*Le ministre de l'Environnement
et de la Faune.*

DAVID CLICHE

Règlement sur les lieux d'élimination de neige

Loi sur la qualité de l'environnement
(L.R.Q., c. Q-2, a. 31, par. a à c, e, f, g, a. 109.1
et a. 124.1)

I. Les neiges qui font l'objet d'un enlèvement et d'un transport en vue de leur élimination, ne peuvent être déposées définitivement que dans un lieu d'élimination pour lequel a été délivré un certificat d'autorisation en application de l'article 22 de la Loi sur la qualité de l'environnement (L.R.Q., c. Q-2) ou, s'il s'agit d'un lieu d'élimination établi avant la date d'entrée en vigueur du présent règlement, pour lequel un programme d'assainissement a été approuvé par le ministre de l'Environnement et de la Faune en application des articles 116.2 à 116.4 de la loi précitée.

L'exploitant d'un lieu d'élimination de neige établi avant la date d'entrée en vigueur du présent règlement bénéficie toutefois d'un délai de deux ans, à compter de cette date, pour faire approuver par le ministre un programme d'assainissement relatif à ce lieu. Entre-temps, l'exploitant peut continuer d'admettre les neiges qui y sont apportées. Ce programme d'assainissement doit faire en sorte qu'au plus tard à l'expiration de la période convenue dans le programme, laquelle ne pourra excéder le 1^{er} novembre 2002, toutes les mesures correctives prévues par le programme auront été appliquées.

Les dispositions du deuxième alinéa ne sont pas applicables à l'exploitant d'un lieu d'élimination de neige établi en tout ou en partie sur la rive d'un plan ou cours d'eau: le dépôt de neige dans un tel lieu est, pour les fins du présent règlement, assimilé à un déversement de neige dans le plan ou cours d'eau, de sorte que ce dépôt n'est permis que dans les conditions prévues à l'article 2, lequel s'applique compte tenu des adaptations nécessaires.

Pour l'application du présent règlement, le mot « rive » a le sens qui lui est donné dans la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables, adoptée par le décret 103-96 du 24 janvier 1996.

ANNEXE 7

**PROJET DE RÈGLEMENT ET RÈGLEMENT SUR LES LIEUX
D'ÉLIMINATION DE NEIGE**

(suite et fin)

Partie 2

GAZETTE OFFICIELLE DU QUÉBEC 23 avril 1997 129 année n° 16

2202

2. Malgré les dispositions du premier alinéa de l'article 1, le déversement de neige dans un plan ou cours d'eau est permis dans les conditions qui suivent:

1° le déversement de neige dans le plan ou cours d'eau est effectué par une personne ou une municipalité qui, au cours de la période hivernale s'étendant de novembre 1996 à avril 1997, utilisait déjà ce mode d'élimination;

2° le déversement de neige dans le plan ou cours d'eau intervient à l'endroit même où il s'effectuait au cours de la période hivernale mentionnée au paragraphe 1° et ce, dans une proportion qui ne peut excéder celle déversée durant cette même période;

3° la personne ou municipalité mentionnée au paragraphe 1° ci-dessus a, avant le 1^{er} novembre 1997, fait approuver par le ministre de l'Environnement et de la Faune, en vertu des articles 116.2 à 116.4 de la Loi sur la qualité de l'environnement, un programme d'assainissement faisant en sorte qu'au plus tard à l'expiration de la période convenue au programme, laquelle ne pourra excéder le 1^{er} novembre 2000, le déversement de neige au plan ou cours d'eau aura cessé complètement.

4° la personne ou municipalité visée par le programme d'assainissement mentionné au paragraphe 3° en respecte les conditions.

Les dispositions de l'article 22 de la Loi sur la qualité de l'environnement ne sont pas applicables au déversement de neige dans un plan ou cours d'eau effectué dans les conditions prescrites par le présent article.

3. Est passible d'une amende de 2 000 \$ à 15 000 \$ celui qui:

1° en violation des dispositions de l'article 1, dépose des neiges ailleurs que dans un lieu d'élimination conforme aux prescriptions de cet article;

2° exploite un lieu d'élimination de neige où sont déposées des neiges en violation des dispositions de l'article 1 ou 2;

3° déverse des neiges dans un plan ou cours d'eau, ou dépose des neiges dans un lieu d'élimination établi en tout ou en partie sur la rive de celui-ci, alors que ce déversement ou ce dépôt ne remplit pas toutes les conditions prescrites par l'article 2 pour être permis.

Lorsque les infractions visées au premier alinéa sont commises par une personne morale, celle-ci se rend passible d'une amende de 5 000 \$ à 100 000 \$.

En cas de récidive, ces amendes sont portées au double.

4. Le présent règlement s'applique notamment dans une aire retenue pour fins de contrôle et dans une zone agricole établies suivant la Loi sur la protection du territoire agricole (L.R.Q., c. P-41.1).

5. Le présent règlement entrera en vigueur le quinzième jour qui suivra la date de sa publication à la Gazette officielle du Québec.

27616

ANNEXE 8

**QUANTITÉS DE NEIGE DÉPOSÉE SUR LE SITE ET LEURS PROVENANCES
DURANT LES HIVERS 1995-1996 ET 1996-1997**



Service de l'équipement

NOTE

DATE : Le 23 avril 1997
DEST.: M. Claude Delisle
 Professeur - Département de génie civil
EXP. : François Pinsonneault
 Gérant - Ateliers et Immeuble & terrains
OBJET: Dépôt à neige

En réponse à votre demande concernant l'objet en titre, je désire vous informer que le dépôt à neige de la montagne, situé sur le terrain de l'Université de Montréal, est utilisé depuis environ 35 ans par la Ville d'Outremont en totalité, par l'Université de Montréal et l'École Polytechnique. Selon les normes gouvernementales, ce site est un droit acquis et accepté.

Les informations que vous retrouverez dans le tableau ci-dessous sont approximatives et ont été obtenues auprès de M. Jean-Pierre Le Poul de la Direction des immeubles de l'Université de Montréal.

QUANTITÉ DE NEIGE DÉPOSÉE AU SITE - HIVER 1996-1997		
	Voyages de camion*	Verges cubes
Ville d'Outremont	4 500	72 000
Université de Montréal	820	13 120
École Polytechnique	230	3 680
Total	5 550	88 800

QUANTITÉ DE NEIGE DÉPOSÉE AU SITE - HIVER 1995-1996		
	Voyages de camion*	Verges cubes
Ville d'Outremont	3 800	60 800
Université de Montréal	740	11 840
École Polytechnique	160	2 560
Total	4 700	75 200

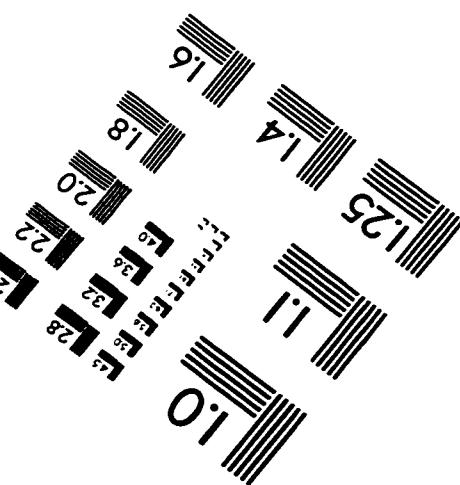
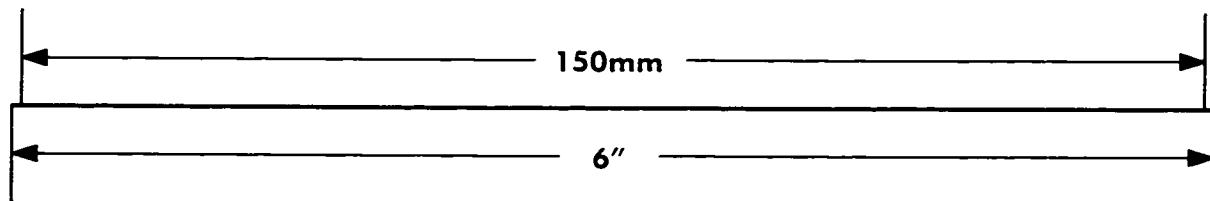
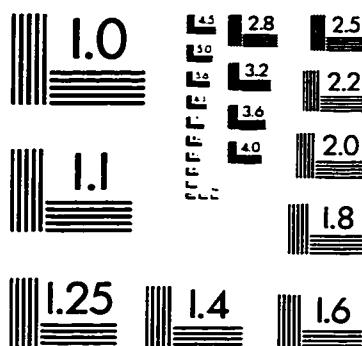
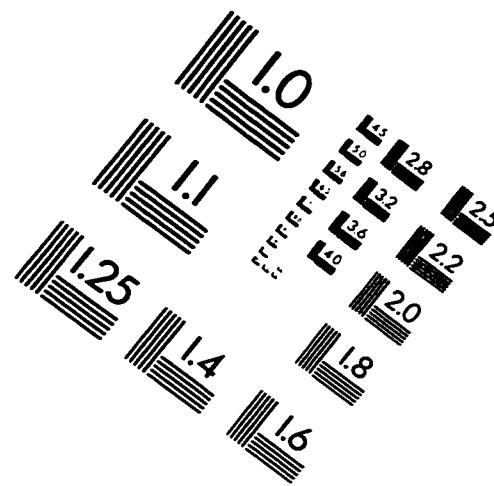
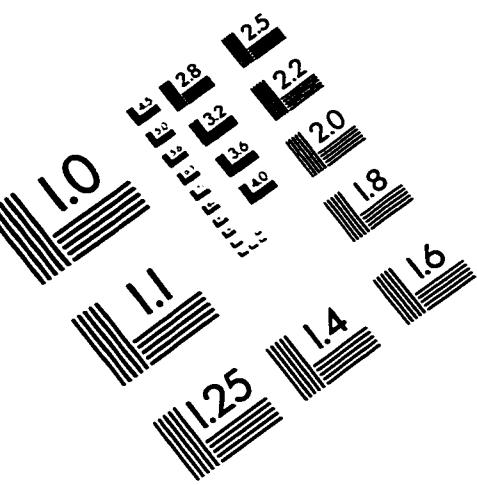
* Un camion représente environ 16 v³.

J'espère que ces renseignements vous satisferont.

François Pinsonneault
 Gérant - Ateliers, Immeubles & Terrains

FP/mc

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

