

UNIVERSITE DU QUEBEC

THESE

présentée

à

L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (EAU)

comme exigence partielle

de la

maîtrise ès Sciences (eau)

par

Maurice Vallée

Economiste

"LES CHOIX DES LIEUX ET DES MODES DE  
DISPOSITION DE LA NEIGE EN MILIEU URBAIN"

Décembre 1974

## AVANT-PROPOS

En février 1972, un groupe de chercheurs de l'INRS-Eau entreprenait l'étude du cheminement des abrasifs d'hiver dans l'écosystème urbain.

Cette étude devait permettre de connaître davantage les aspects physico-chimiques et biologiques des neiges urbaines et ainsi de réduire les risques d'erreur d'évaluation des problèmes relatifs à l'environnement.

Le présent travail fait suite à ces recherches en dégagant le cadre technologique et socio-économique de ce système, tout en y intégrant les aspects écologiques.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à Monsieur Michel Paquin, professeur à l'ENAP et à l'INRS-Eau, qui a accepté de diriger cette thèse.

Nous tenons à remercier Messieurs Jean-Louis Sasseville, de l'INRS-Eau et Robert Gravel, de l'ENAP, pour leur précieuse assistance en tant que conseillers de thèse.

Nous remercions également Monsieur Raymond Pelletier, de la ville de Québec, dont la collaboration nous a permis d'appliquer notre modèle de disposition au Québec métropolitain, et Monsieur Jean-Pierre Villeneuve, de l'INRS-Eau, pour son aide accordée lors du traitement des données informatisées.

Aussi, l'aide de l'équipe d'informaticiens de l'ENAP, dirigée par Monsieur Roland Hurtubise, de même que la participation de chercheurs de l'INRS-Eau à l'évaluation écologique ont été très appréciées.

Enfin, mes remerciements s'adressent à Madame Odette McDermott qui s'est acquittée avec compétence de la présentation dactylographique ainsi que Mademoiselle Lise Raymond.

## TABLE DES MATIERES

	Page
AVANT-PROPOS.....	i
TABLE DES MATIERES.....	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
1 - INTRODUCTION.....	1
2 - LA PROBLEMATIQUE DE LA DISPOSITION DES NEIGES URBAINES.....	7
2.1 Les moyens techniques disponibles.....	7
2.2 Les coûts directs de la disposition.....	12
2.3 Les coûts indirects de la disposition.....	17
3 - LA FORMULATION DES MODELES DE GESTION UNICRITERE.....	20
3.1 Le modèle de disposition.....	20
3.1.1 L'algorithme de disposition.....	21
3.1.2 La cédule de transport de référence.....	23
3.1.3 La cédule de transport potentielle.....	30
3.2 Le modèle écologique.....	31
3.2.1 L'information sur les sites.....	32
3.2.2 Le modèle d'évaluation et de classement.....	34
3.3 Le modèle social.....	37
4 - ANALYSE DES RESULTATS DU MODELE DE DISPOSITION.....	39
4.1 L'optimisation des coûts directs de transport.....	39
4.2 La minimisation des coûts directs de disposition.....	44

	Page
4.3 Le classement des sites selon le critère du coût/efficacité dans le transport.....	47
4.4 Le classement des sites selon le critère du coût/efficacité dans la disposition.....	50
5 - ANALYSE DES RESULTATS DU MODELE ECOLOGIQUE.....	53
5.1 Les classements individuels des sites.....	53
5.2 Le classement final des sites.....	54
5.3 Les avantages et les désavantages des sites.....	57
5.3.1 Le bilan pour le soufflage sur les terrains...	57
5.3.2 Le bilan pour les dépotoirs terrestres.....	60
5.3.3 Le bilan pour un déchargement direct à l'égout	62
5.3.4 Le bilan pour les fondeuses combinées.....	62
5.3.5 Le bilan pour le déchargement au fleuve.....	63
5.3.6 Le bilan pour la fondeuse fixe.....	63
6 - ANALYSE DES RESULTATS DU MODELE SOCIAL.....	67
6.1 Les inconvénients sociaux potentiels.....	67
6.2 Le calcul du classement social.....	68
6.3 L'efficacité sociale marginale des sites.....	70
7 - INTEGRATION DES RESULTATS DANS UN MODELE DE DECISION MULTICRITERE.....	73
7.1 L'agrégation des données.....	73
7.2 L'analyse par la méthode des notes pondérées.....	80
7.3 L'analyse par la méthode ELECTRE.....	81
8 - CONCLUSION.....	120

	Page
LISTE DES OUVRAGES CITES.....	125
ANNEXE A - PROGRAMME APL UTILISE.....	129
ANNEXE B - PRESENTATION DES DONNEES D'ENTREES DU MODELE DE DISPOSI- TION.....	131
ANNEXE C - EVALUATION ECOLOGIQUE: CONSULTATIONS ET COLLECTE DES RE- PONSES.....	145
ANNEXE D - LA METHODE ELECTRE.....	159
ANNEXE E - CARTE DU QUEBEC METROPOLITAIN.....	176
BIBLIOGRAPHIE.....	178

## LISTE DES TABLEAUX

No.		Page
1.	Ressources employées selon le mode de disposition.....	11
2.	Coût d'opération et d'entretien des modes de disposition...	15
3.	Partage de la responsabilité du déblaiement.....	24
4.	Correspondance entre les sites et les modes de disposition.	33
5.	Matrice des affectations.....	41
6.	Matrice des coûts.....	42
7.	Comparaison des situations.....	43
8.	Matrice des coûts unitaires.....	45
9.	Matrice des coûts de disposition.....	46
10.	Caractéristiques d'un classement des sites en fonction de la diminution de l'efficacité du transport de la neige.....	48
11.	Caractéristiques d'un classement des sites en fonction de la diminution de l'efficacité de disposition de la neige...	51
12.	Classements individuels des sites.....	55
13.	Classement des sites selon la formation des évaluateurs....	56
14.	Classement des sites de disposition selon la diminution de l'efficacité écologique de la disposition.....	58
15.	Attribution des inconvénients sociaux.....	69
16.	Classement des sites de disposition selon la diminution de l'efficacité sociale de la disposition.....	71
17.	Rang des sites selon la diminution des trois critères d'ef- ficacité (échelle de sept rangs).....	74

No.		Page
18.	Rang des sites selon la diminution des trois critères d'efficacité (échelle de dix rangs).....	75
19.	Notation des sites selon les trois critères (échelle de sept points).....	78
20.	Notation des sites selon les trois critères (échelle de dix points).....	79
21/25	Choix multicritères.....	82/102
26.	Matrice de concordance (5, 2.5, 2.5).....	105
27.	Matrice de discordance (premier écart).....	107
28.	Matrice de discordance (second écart).....	108
29.	Matrice de concordance (2.5, 5, 2.5).....	109
30.	Matrice de concordance (2.5, 2.5, 5).....	111
31A/31G	Matrice de concordance.....	112/119
32.	Comparaison entre les deux méthodes multicritères.....	119

## 1 - INTRODUCTION

La disposition des neiges urbaines est un domaine de gestion traditionnel pour cinq raisons principales:

- 1) Tous les moyens potentiellement utiles pour disposer de la neige ne sont pas simultanément comparés et évalués du point de vue de leur efficacité technique.
- 2) Ces différentes méthodes disponibles font rarement l'objet d'une analyse économique comparative.
- 3) Les problèmes écologiques et sociaux potentiels associés à ces divers moyens de disposition ne sont pas entièrement définis.
- 4) Le processus de décision utilisé ne peut donc pas prendre en compte simultanément ces aspects techniques, économiques, sociaux et écologiques.
- 5) Les lieux et les modes de disposition choisis par le gestionnaire amènent ainsi des interventions qui ne sont pas optimales globalement des points de vue économique, social et écologique.

En premier lieu, du point de vue technique, des analystes comme Murray et Eigerman (1972), se préoccupent davantage des moyens utiles pour déblayer ou déglacer les rues que de ceux pouvant servir pour disposer de la neige, tels que le soufflage le long des rues, les déchargements dans des égouts, les rejets dans des cours d'eau, les fondeuses à neige ou les dépotoirs terrestres. (1) Selon Baumann et Russell (1971),

---

(1) Murray, D.M., Eigerman, M.R., A Search: New Technology for Pavement Snow and Ice Control, Environmental Protection Agency, Storm and Combined Sewer Technology Branch, Edison, New Jersey, December 1972.

très peu d'auteurs, publiant dans la revue The American City, par exemple, traitent de nouvelles approches dans ce domaine. (2)

En deuxième lieu, du point de vue économique, il existe des techniques d'optimisation (programmation linéaire, programmation dynamique, simulation, etc...) permettant d'analyser des systèmes et de dégager la solution la moins coûteuse monétairement. Bien que celles-ci peuvent trouver de nombreuses applications dans le secteur de la disposition des neiges urbaines, elles sont rarement utilisées.

A notre connaissance, l'étude sur la disposition de la neige dans la région d'Ottawa-Carleton et de l'Outaouais constitue un précédent, au Canada, du point de vue des techniques d'analyse employées. En effet, selon Marshall (1974), le rapport "would also provide data for computer assignments of snow to disposal facilities on a least unit cost basis so that the total capital and operating cost of various alternative systems and combination networks can be compared". (3)

En troisième lieu, du point de vue socio-écologique, plusieurs études aux Etats-Unis et au Canada ont traité des inconvénients causés à l'environnement par suite de l'utilisation du chlorure de sodium pour déglacer les routes.

Les études entreprises par Fromm (1968) et Palmer (1971) ont

- 
- (2) Baumann, D.D., Russell, C., Urban snow Hazard: Economic and social implications, Research Report no. 37, University of Illinois, Water Resources Center, Illinois, April 1971, p. 41.
- (3) Marshall, L.J., Forecasting Snow Disposal Requirements, 14th Annual North American Snow Conference, Winnipeg, Manitoba, April 1974, p. 2.

confirmé le fait que le sel de déglacage, en retenant l'humidité sur le métal, tend à accélérer le taux de corrosion des véhicules. (4)(5) Les dommages aux chaussées et aux structures des autoroutes ont aussi été confirmés par les travaux de Blackburn (1971) et de ses collaborateurs. (6)

Quant aux inconvénients causés aux réserves d'eau, aux sols et à la végétation, par l'utilisation du sel de déglacage, plusieurs auteurs rapportent des exemples spécifiques de dommages, sans toutefois nous permettre d'en arriver à un consensus général. (7)(8)(9)(10)

Quoiqu'il en soit, les détériorations reliées à l'usage du chlorure de sodium ne constituent qu'un aspect des effets socio-écologiques

- 
- (4) Fromm, H.J., Corrosion of Auto-Body Steel and the Effects of Inhibited De-Icing Salts, Highway Research Record Number 227, Highway Research Board, N.R.C., Washington, D.C., 1968.
  - (5) Palmer, J.D., Corrosion Effects of De-icing Salts on Automobiles, Materials Protection and Performance, Vol. 10, No. 11, Nov. 1971.
  - (6) Blackburn, R.R. et al., Economic Evaluation of the Effects of Ice and Frost on Bridge Decks, Final Report, Midwest Research Institute, National Cooperative Highways Research Program, Kansas City, Missouri, Sept. 1971.
  - (7) Environmental Impact of Highway De-icing, Environmental Protection Agency, Water Quality Research, Edison, New Jersey, June 1971.
  - (8) Smith, H.H., Progress Report on NCHRP Project 16-1 Effects of Deicing Compounds on Vegetation and Water Supplies, National Cooperative Highway Research Program, Highway Research Board, Dec. 1968.
  - (9) Hutchison, F.E., The Influence of Salts Applied to Highways on the Levels of Sodium and Chloride Ions Present in Water and Soil Samples, Office of Water Resources Research Project A-007-ME, June 1969.
  - (10) Hanes, R.E., Zelanzy, L.W., and Blaser, R.E., Effects of Deicing Salts on Water Quality and Biota, National Cooperative Highway Research Program Report 91, Highway Research Board, 1970.

au niveau de la disposition et seulement dans la mesure où les opérations de déglacage affectent les opérations de disposition.

En effet, du point de vue social, il faut aussi considérer le bruit, l'inesthétique et les retards dans la circulation associés aux choix des lieux et des modes de disposition.

De plus, du point de vue écologique, il ne faut pas oublier la présence de substances comme le plomb, le fer et le zinc, de même que de bactéries dans les neiges usées urbaines. Visser (1973) note, par exemple, qu'il pourrait exister des pathogènes dangereux pour la vie animale dans les dépotoirs. (11) Aussi, selon La Barre, Milne et Oliver (1973), le déchargement des neiges usées en milieu terrestre plutôt que directement dans les cours d'eau, réduit la contamination en plomb de ces milieux. (12)

En quatrième lieu, du point de vue global, il semble qu'aucun auteur n'a appliqué des techniques d'analyse multicritère pour améliorer la prise de décision dans le secteur de la disposition des neiges urbaines. En effet, l'utilisation des analyses multicritères suppose que les différents lieux et modes de disposition soient comparés simultanément selon divers points de vue, tels que l'efficacité économique et les aspects écologiques et sociaux. Selon Hubert (1974), plusieurs modèles de décisions multicritères ont été appliqués, notamment dans le processus d'admission des étudiants gradués à l'université, dans les

---

(11) Visser, S.H., The microflora of a Snow Depository in the City of Quebec, INRS-Eau, Univ. du Québec, 1973, pp. 271-2.

(12) La Barre, N., Milne, J.B., Oliver, B.G., Lead Contamination of Snow, Water Research, Pergamon Press, 1973, Vol. 7, p. 1217.

choix de cédulas de production, dans les décisions d'investissements de même que dans les processus d'évaluation des programmes de santé publique...<sup>(13)</sup> En particulier, selon Levy-Lambert et Guillaume (1971), la méthode ELECTRE a déjà été utilisée en France pour classer selon cinq critères 127 programmes dans le secteur de la sécurité routière.<sup>(14)</sup>

En dernier lieu, en se fondant sur les quatre raisons déjà mentionnées, on peut être certain qu'en toute probabilité, la façon dont les neiges urbaines sont disposées est inefficace globalement.

Face à ces problèmes nouveaux, il est donc nécessaire d'utiliser des techniques d'analyse modernes en vue d'arriver à des interventions optimales dans le milieu urbain hivernal.

Le but poursuivi dans cette thèse est de développer un modèle de gestion intégré susceptible de tenir compte des aspects multiples de la disposition et d'en faire l'application pour solutionner de façon optimale les problèmes rencontrés dans la ville de Québec.

Dans la deuxième partie, nous poserons le problème de la disposition sous ses multiples facettes. Dans la troisième partie, nous formulerons trois modèles visant à évaluer l'efficacité économique, écologique et sociale des différentes techniques de disposition. Ensuite, dans les trois autres parties, nous présenterons les résultats respectifs de ces trois modèles de gestion. A ce moment, nous justifierons l'emploi de tel ou tel mode de disposition en fonction de l'un ou de

---

(13) Huber, G.P., Multi-Attribute Utility Models: A Review of Field and Field-Like Studies, Management Science, Vol. 20, 1974.

(14) Levy-Lambert, H., Guillaume, H., Rationalisation des choix budgétaires, Presses Universitaires de France, Paris, 1971, p. 141.

l'autre des trois critères respectifs suivants: l'efficacité économique, l'efficacité écologique ou l'efficacité sociale. Enfin, dans la septième et dernière partie, nous intégrerons les résultats de ces trois modèles unicritères dans un modèle de décision multicritère. En appliquant deux méthodes d'analyse à critères multiples, celle des notes pondérées et celle appelée "ELECTRE", nous donnerons la possibilité au gestionnaire municipal de choisir des lieux et des modes de disposition qui soient globalement efficaces, autant du point de vue économique que des points de vue social et écologique.

Les principales difficultés rencontrées lors de l'étude ont été le manque de données sur le transport de la neige, l'état fragmentaire des recherches écologiques en ce domaine et l'intégration des critères de gestion.

## 2 - LA PROBLEMATIQUE DE LA DISPOSITION DES NEIGES URBAINES

Les problèmes du choix des lieux et des modes de disposition des neiges urbaines sont principalement de nature technique, économique, écologique et sociale. Cette deuxième partie vise à identifier ces différents aspects de la gestion du milieu urbain hivernal.

En ce sens, nous dégagerons d'abord l'horizon technologique. Ensuite, nous discuterons des problèmes des choix économiques à court, moyen et long terme. Enfin, nous tenterons de préciser les difficultés socio-écologiques de la viabilité hivernale.

### 2.1 Les moyens techniques disponibles

En milieu rural, l'entretien des routes en hiver est facilité par la grande disponibilité des terrains où l'on peut disposer de la neige ou de la glace. Habituellement, les maisons d'habitation et les autres bâtiments sont construits loin des chemins. Ces espaces peuvent servir pour disposer de la neige. L'emploi de chasse-neige à une vitesse adéquate ou de souffleuses lors des grosses tempêtes solutionne, la plupart du temps, le problème technique de la disposition dans ces territoires.

Dans les régions urbaines comme Québec et Montréal, ces modes d'enlèvement sont souvent inutilisables, étant donné que les terrains adjacents aux rues servent déjà aux fins alternatives suivantes: lieux résidentiels, emplacements commerciaux ou industriels, circulation des

piétons ou espaces de stationnement. C'est pourquoi, en milieu urbain, seulement le déblaiement de la neige ou son entassement en plusieurs rangées se fait au moyen de niveleuses ou de chasse-neige. L'enlèvement complet de la neige de la chaussée nécessite son chargement dans des camions à l'aide de tracteurs ou de souffleuses et son transport en des lieux de disposition autres que les abords des rues.

En fait, en milieu urbain, la technologie actuelle offre plusieurs méthodes qui peuvent être utilisées individuellement ou en combinaison pour disposer de la neige. Les techniques les plus employées sont le dépotoir terrestre, la fondeuse fixe ou mobile, le déchargement au fleuve ou à la rivière, le déchargement direct à l'égout et quelquefois le soufflage sur les côtés des rues.

L'aménagement d'un dépotoir terrestre suppose l'achat ou la location d'un terrain d'une superficie suffisamment grande pour y décharger et y accumuler la neige originant des territoires environnants. En plus de la morphologie du terrain, l'espace et le temps requis au déchargement des camions de même que la rapidité des tracteurs à étendre la neige sont les principaux facteurs qui limitent la capacité horaire d'un dépotoir terrestre.

Le terrain nécessaire à l'installation d'une fondeuse fixe est moins étendu que celui requis pour l'aménagement d'un dépotoir terrestre. Le principe de fonctionnement d'une fondeuse fixe est fondamentalement différent de celui d'un dépotoir. Alors que le dépotoir terrestre accumule la neige durant tout l'hiver, la fondeuse fixe la transforme au fur et à mesure et en rejette la plus grande partie aux égouts.

En effet, au dépotoir, la neige commence à fondre seulement à l'arrivée des pluies et du soleil printaniers. A la fondeuse fixe, dès que les camions ont déversé leurs charges dans les puits d'eau chaude turbulente, la neige, en se mélangeant, fond et les eaux de fonte s'écoulent dans des cuvettes de rétention et enfin dans des égouts. Alors qu'au dépotoir la source de chaleur est le soleil, à la fondeuse, c'est l'huile à chauffage. En multipliant les puits et les brûleurs, la capacité des fondeuses fixes peut atteindre plus de 1,000 tonnes à l'heure. Cependant, la proximité des puits de fonte peut nuire au déchargement. De plus, par expérience, le rendement des fondeuses fixes peut être augmenté en évacuant constamment la neige dès qu'elle est partiellement fondue <sup>(15)</sup> ou en remplaçant les jets d'eau par des compresseurs à air.

Les fondeuses mobiles sont plus petites que les fondeuses fixes et, de par leur nature, nécessitent des puisards nettoyés et dégelés le long des routes pour évacuer la neige. Si elles ne possèdent pas leur chargeur intégral, elles doivent être chargées par des tracteurs, des souffleuses ou des convoyeurs.

L'aménagement d'un rejet dans un cours d'eau suppose l'appropriation d'un terrain pour accéder à un fleuve ou à une rivière. Plus ces accès s'étendent le long d'un cours d'eau, plus grande est la capacité horaire de ce mode de disposition. Des camions déversent leurs charges directement dans le cours d'eau ou sur les berges ou les quais. Dans ce

---

(15) Groupe d'étude du déneigement urbain, Manuel du déneigement et de la lutte contre le verglas dans les régions urbaines, Mémoire technique no 93F, Conseil national de Recherches, Ottawa, 1967, part. 5, p. 130.

dernier cas, on pousse la neige au moyen de tracteurs.

Le déchargement direct à l'égout est constitué d'une trappe, disposée au-dessus d'un collecteur, par laquelle est rejetée la neige. Les facteurs limitant la capacité d'un tel mode d'élimination sont principalement le débit et la température de l'eau dans l'égout.

Telles sont les caractéristiques principales de ces techniques de disposition des neiges urbaines. Le problème du gestionnaire n'est pas uniquement de choisir lesquelles de ces méthodes peuvent être utilisées, mais aussi dans quelle proportion chacune d'elles peut l'être. Plus précisément, s'il choisit de disposer la neige au moyen de deux fondeuses fixes et trois dépotoirs terrestres, il doit aussi déterminer leurs capacités horaires respectives. C'est une telle combinaison particulière de méthodes qui constitue une alternative technologique.

En somme, étant donné que chaque méthode peut être substituée à une autre, et que même chacune d'elle peut être rejetée ou choisie comme moyen de disposition, une infinité d'alternatives techniques d'élimination de la neige existent au niveau théorique.

Les principaux facteurs de production utilisés par quatre de ces modes de disposition sont décrits au tableau 1. En milieu urbain, les souffleuses servent surtout lors du chargement des camions. Comme, contrairement au soufflage le long des rues, il faut transporter la neige pour utiliser le dépotoir terrestre, la fondeuse fixe ou le rejet dans un cours d'eau, tous ces modes consomment plus d'énergie que le soufflage. Aussi, la fondeuse fixe requiert plus d'énergie pour la fonte que tous les autres modes de disposition. De même, ces méthodes

TABLEAU 1

Ressources employées selon les modes de disposition

Mode de disposition spatial	Ressources employées			
	Ressources économiques requises pour le transport	Ressources naturelles requises pour la fonte	Ressources économiques requises pour la fonte	Main-d'oeuvre
Dépotoir terrestre	camions souffleuses pétrole	eau de pluie air soleil	tracteurs pétrole électricité	opérateurs et ouvriers de soutien
Fondeuse fixe terrestre	camions souffleuses pétrole	eau air	bassins brûleurs pétrole	opérateurs et ouvriers de soutien
Rejet dans un cours d'eau	camions souffleuses pétrole	eau air soleil	tracteurs pétrole électricité	opérateurs et ouvriers de soutien
Soufflage le long des rues	souffleuses pétrole	eau de pluie air soleil	aucune	opérateurs

requièrent plus de main-d'oeuvre et d'équipement que le soufflage.

C'est cette utilisation additionnelle de ressources productives qui constitue le problème fondamental de la disposition des neiges urbaines. Tout en minimisant les coûts d'utilisation des ressources de l'environnement urbain, le gestionnaire municipal doit identifier les alternatives techniques et choisir celle qui est susceptible de permettre l'élimination efficace de la neige.

Le choix d'une telle alternative nécessite la prise en compte de multiples aspects d'ordre économique, écologique et social. Pour préciser ces aspects, il nous faut d'abord traiter du problème des coûts directs de la disposition des neiges urbaines.

## 2.2 Les coûts directs de la disposition

Ces coûts correspondent aux déboursés effectués par une municipalité pour transporter la neige aux différents lieux de disposition et pour aménager, faire fonctionner et entretenir ces modes de disposition. Les coûts du soufflage dans des camions ou le long des rues ne sont pas pris en compte puisqu'ils interviennent peu importe la méthode de disposition considérée.

Au niveau du transport de la neige, la municipalité peut acheter des camions ou les louer et engager la main-d'oeuvre nécessaire pour leur fonctionnement et leur entretien. Dans ce cas, la municipalité s'assure l'exclusivité des camions pendant tout l'hiver. S'il s'agit d'un achat, elle doit supporter les coûts d'achat, d'opération et d'entretien pendant toute la vie utile des camions et s'expose à

devoir les remiser une partie de la saison estivale. Dans le cas de location, les coûts à supporter, en plus des frais de location, dépendent de la nature du contrat de location. La municipalité peut aussi louer des services de camionnage. Dans ce cas, une diminution de la disponibilité d'un tel service sur le marché peut amener la municipalité à payer des prix plus élevés pour assurer le transport de la neige sur son territoire. Ainsi, pour le gestionnaire, déterminer s'il est préférable d'acheter ou de louer des camions plutôt que de louer des services constitue le premier problème à résoudre en vue de minimiser les coûts directs de transport dans sa municipalité.

En deuxième lieu, cette minimisation des coûts directs de transport oblige le gestionnaire à déterminer, pour une période donnée, quelle proportion de neige en provenance de chaque district peut être transportée à chacun des lieux de disposition. A ce niveau, la principale difficulté consiste à affecter les camions à chaque district de façon à réaliser un niveau d'enlèvement qui soit compatible avec les capacités techniques limitées des différents modes de disposition répartis dans la municipalité.

La complexité de ce problème d'affectation provient de l'existence de multiples trajets possibles, de longueurs diverses, pouvant être effectués plus ou moins rapidement et pas nécessairement au même coût.

En effet, au moins une partie de la neige originant de tout district peut être acheminée vers n'importe lequel des lieux de disposition disponibles. Il existe autant de distances variables que de tra-

jets possibles. Les accidents, les encombrements, les différences dans la topographie et la signalisation routière tendent à augmenter ou diminuer les vitesses de croisière des camions selon les trajets. Enfin, sur chacun des parcours, les coûts de transport d'un volume donné de neige peuvent être fixés d'après la capacité des bennes des camions, être déterminés sur une base horaire ou être établis en fonction de la longueur du trajet ou du temps requis pour l'effectuer.

En dernier lieu, la gestion efficace du transport de la neige à court ou à moyen terme est intimement liée à la prévision des besoins de sites et à l'aménagement de modes additionnels de disposition pour une longue période.

Par suite de la hausse du niveau de service d'entretien de la chaussée requis dans certain district et de la croissance du réseau routier urbain, le gestionnaire est appelé, au cours des années, à réserver des terrains susceptibles d'être aménagés comme sites de disposition. Leur rareté aux endroits les plus propices ou au bon moment tend à augmenter, non seulement les coûts d'achat ou de location de ces terrains, mais aussi la longueur des parcours des camions de même que les coûts de transport.

En outre, le progrès technique, même s'il est très lent dans l'industrie du déneigement, offre toujours au gestionnaire diverses méthodes pour disposer de la neige, dont les dépenses d'investissement, d'opération et d'entretien différent. Au niveau de l'investissement initial, c'est la fondeuse et ensuite le dépotoir terrestre qui sont les modes de disposition les plus coûteux. Au niveau des coûts d'opération et d'entretien, comme l'indique le tableau 2, la même tendance se dessine.

TABLEAU 2

## Coût d'opération et d'entretien des modes de disposition

Mode de disposition	Dépotoir terrestre	Fondeuse fixe	Déchargement au fleuve	Soufflage le long des rues
Coût par 500 pi. <sup>3</sup>	\$1.05	\$3.65	0.05	0.00

Source: Ville de Québec, hiver 1972-73.

Note: Ce coût ne tient pas compte de l'amortissement et des charges d'intérêt relatifs à l'investissement initial nécessaires à l'aménagement des sites de disposition. De plus, étant donné que le coût des ressources requises pour entasser la neige dans les rues et la transporter aux lieux de disposition n'est pas considéré ici, il s'ensuit que le coût d'entretien et d'opération est nul lorsque l'on souffle la neige le long des rues. En effet, aucune ressource économique n'est requise pour fondre la neige lorsqu'elle est éliminée par soufflage le long des rues.

Ces chiffres représentent ce qu'il peut en coûter en moyenne chaque fois qu'un camion dispose de 500 pieds cubes de neige. Ces données proviennent de la ville de Québec. A titre de comparaison, il en coûtait déjà autant à Montréal en 1965-66. <sup>(16)</sup> Cette différence peut

(16) Groupe d'étude du déneigement urbain, op. cit., part. 5, p. 131.

provenir des variations dans les coûts unitaires, tels que main-d'oeuvre et combustible, entre ces deux régions.

Les facteurs de production utilisés à chaque site de disposition peuvent aussi expliquer pourquoi ces coûts croissent selon l'ordre suivant: soufflage, déchargement au fleuve, dépotoir terrestre et fondeuse fixe.

En effet, contrairement aux autres méthodes, le soufflage ne nécessite aucune main-d'oeuvre sur le site même de disposition. Quant au déchargement au fleuve, les coûts additionnels par rapport au soufflage proviennent de l'achat ou de la location du terrain, de l'utilisation de quelques équipements ou matériaux, d'un peu d'énergie électrique pour les fins d'éclairage et d'un peu de main-d'oeuvre. Les coûts additionnels du dépotoir terrestre par rapport à ceux du déchargement au fleuve reflètent principalement l'accroissement dans l'utilisation de main-d'oeuvre, de tracteurs et d'énergie pétrochimique. Enfin, la fondeuse fixe est encore plus dispendieuse que tous les autres modes du fait qu'elle nécessite l'emploi de bassins et de brûleurs et qu'elle consomme de l'énergie pétrochimique et électrique en grande quantité.

En outre, les coûts d'achat, d'opération et d'entretien peuvent être affectés par les incertitudes techniques et les aléas des prix des matières premières. Tous ces facteurs rendent plus difficile la tâche du gestionnaire qui espère ne pas alourdir sans raison le budget d'entretien d'hiver et ne pas causer des hausses injustifiées de taxes pour les contribuables.

### 2.3 Les coûts indirects de la disposition

Ces coûts correspondent à l'impact relatif des différents modes de disposition sur l'activité socio-écologique du milieu urbain. Au niveau écologique, ils concernent les effets sur l'atmosphère, de même que sur la faune et la flore terrestre et aquatique. Au niveau social, il s'agit plutôt des nuisances affectant plus particulièrement les humains, comme le bruit, l'inesthétique, les mauvaises odeurs et les encombrements.

En terme économique, ces effets socio-écologiques sont appelés des coûts externes que James et Lee (1971) définissent ainsi: "An external diseconomy exists when provision of a good or service for one group causes increased costs for another group and the second group is not compensated for its loss". (17) Elles existent du fait que les performances des modes d'élimination actuels ou futurs, sont plus ou moins incompatibles avec l'équilibre écologique du milieu ou avec les préférences d'un ou de plusieurs individus.

Le problème socio-économique fondamental pour la municipalité devient ainsi le choix de lieux et de modes de disposition qui puisse conduire à un compromis entre deux ou plusieurs groupes d'intérêt. Enlever la neige des rues apporte des bénéfices aux automobilistes et aux piétons. C'est le groupe avantagé dans l'immédiat. Par contre, plusieurs autres individus ou groupe d'individus peuvent subir sans dédommagements les inconvénients causés par le lieu ou le mode de disposi-

---

(17) James, D.L., Lee, R.R., Economics of Water Resources Planning, McGraw Hill Book Company, 1971, chap. 5, p. 107.

tion choisi. Par exemple, les résidents près des dépotoirs terrestres doivent en supporter les inconvénients sociaux tels que l'inesthétique des neiges usées et le bruit causé par les camions. De même, les rejets des fondeuses à neige peuvent dérouter certaines espèces aquatiques dans leur migration ou leur mode de reproduction.

Plusieurs auteurs ont déjà étudié quelques-uns de ces facteurs socio-écologiques de la disposition des neiges, en milieu urbain et rural.

Dans la région métropolitaine de Toronto, où l'on dispose de la neige par des rejets dans des cours d'eau, par des dépotoirs terrestres, par des fondeuses mobiles ou par des rejets aux égouts, un groupe de recherche a évalué la qualité de la neige. Elle contenait des matières solides, des chlorures, du plomb, du fer, du phosphore et des matières organiques. (18) Cette neige usée constituait un risque de destruction de la vie aquatique et de contamination des eaux.

Dans la région d'Ottawa-Carleton et de l'Outaouais, l'esthétique et le bruit constituaient des problèmes notables dans certains quartiers; au niveau écologique, les chlorures et le plomb seraient les causes principales de pollution. (19)

De plus, la Régie des Eaux de l'Ontario (Ontario Water Resources Commission) démontre que l'utilisation des sels de déglacage pour

---

(18) Report of the Technical Task Force on Snow Disposal in the Metropolitan Toronto Area, February, 1972, p. 67.

(19) Richards, J.L. & Associés, Labrecque, Vézina & Associés, Etude de 20 ans sur la disposition de la neige dans la municipalité régionale d'Ottawa-Carleton et la communauté régionale de l'Outaouais, Rapport intérimaire, Septembre 1972, pp. 23 et 48.

l'entretien des rues dans la région de Toronto contribuait significativement aux concentrations de chlorure dans le lac Ontario. (20)

De nombreuses études aux Etats-Unis et au Canada ont porté sur les effets du chlorure de sodium dans l'environnement lorsqu'il est employé pour prévenir ou contrôler la formation de glace sur les routes. (21) On y traite tout spécialement de la corrosion des véhicules, de la détérioration des structures de la chaussée, de la contamination des eaux des réserves publiques et privées de même que des eaux souterraines, et enfin des effets sur la végétation et le sol.

Même si ce sont des effets causés par l'opération de déglacage des chemins plutôt que par l'opération de disposition des neiges comme telle, le chlorure de sodium acheminé aux lieux de disposition peut aussi y influencer le milieu aquatique et terrestre environnant.

Ainsi, il semble que les interdépendances entre les opérations de disposition des neiges usées et la viabilité socio-écologique des agents urbains soient peu connues. Il s'ensuit que les choix du gestionnaire municipal deviennent de plus en plus complexes et nécessitent la participation des chercheurs à la gestion de l'environnement hivernal.

---

(20) Ontario Water Resources Commission, Deicing Salt as a Source of Water Pollution, February, 1971.

(21) Information-Sel, Dossier du sel de déglacage, Recueil de rapports publics de recherche et d'articles généraux concernant les effets du sel de déglacage, Montréal.

### 3 - LA FORMULATION DES MODELES DE GESTION UNICRITERES

Pour tenter de solutionner globalement les problèmes du choix des lieux et des modes de disposition des neiges urbaines, il faut prévoir un modèle de gestion qui tienne compte à la fois des aspects techniques, économiques, écologiques et sociaux.

Cette troisième partie vise à présenter trois modèles qui puissent évaluer ces aspects économiques, écologiques et sociaux respectivement en vue d'optimiser globalement les coûts de disposition.

En ce sens, nous décrirons d'abord un modèle permettant d'identifier et de minimiser les coûts directs de disposition pour des contraintes techniques données. Ensuite, nous présenterons un modèle susceptible d'évaluer et de réduire les impacts négatifs des différents modes de disposition sur le milieu écologique. Enfin, nous dégagerons un modèle social tenant compte des coûts sociaux marginaux des différents modes de disposition.

#### 3.1 Le modèle de disposition

L'objectif recherché par le gestionnaire est de déterminer, pour une période donnée, quelle proportion de neige en provenance de chaque territoire  $i$  doit être transportée à chaque lieu de disposition  $j$  pour minimiser les coûts de disposition des neiges urbaines.

Ces déboursés de la municipalité servent soit pour payer le transport seulement, dans le cas du modèle de transport, soit pour payer

le transport, l'opération et l'entretien des différents sites de disposition répartis dans l'environnement urbain, dans le cas du modèle de disposition.

### 3.1.1 L'algorithme de disposition

Pour solutionner ce problème, la programmation linéaire est un outil adéquat dans la mesure où l'objectif poursuivi de même que l'ensemble des contraintes techniques peuvent se présenter sous la forme de relations mathématiques linéaires.

Ici, ce problème peut se traduire mathématiquement. (22) En effet, il faut déterminer le volume

$$x_{ij} \geq 0 \quad (3-1)$$

qui satisfait les  $m + n$  contraintes

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = b_i, \quad b_i > 0, \quad i = 1, \dots, m, \quad (3-2)$$

et

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = d_j, \quad d_j > 0, \quad j = 1, \dots, n, \quad (3-3)$$

et qui minimise

$$CT = \sum_{ij}^{mn} c_{ij} x_{ij} \quad (3-4)$$

où  $x_{ij}$  le volume horaire de neige qu'il faudra transporter entre le territoire d'origine  $i$  et le lieu de disposition  $j$  (en pieds cubes par heure)

---

(22) Loomba, N.P., Linear Programming, McGraw-Hill Book Company, 1964, chap. 10, p. 165.

- $b_i$  le volume horaire de neige qu'il est possible d'enlever du territoire d'origine  $i$  (en pieds cubes par heure)
- $d_j$  le volume horaire de neige qu'il est possible de décharger au lieu de disposition  $j$  (en pieds cubes par heure)
- $c_{ij}$  le coût de disposition d'un pied cube de neige du territoire d'origine  $i$  au lieu de disposition  $j$  (en dollars par pied cube)
- CT les coûts horaires totaux de disposition.

La contrainte (3-1) signifie qu'il n'est pas permis de transporter des quantités négatives. Les équations (3-2) et (3-3) spécifient les possibilités d'enlèvement et de chargement. L'équation (3-4) représente les coûts à minimiser.

Dans les essais du modèle pour la ville de Québec, les coûts de disposition sont d'abord seulement des coûts de transport. Ensuite, dans les essais subséquents, ils incluent ceux relatifs à l'opération et à l'entretien des sites d'élimination.

Pour fonctionner, l'algorithme suppose aussi que la capacité totale d'enlèvement horaire dans les territoires soit égale à la capacité totale d'absorption horaire aux lieux de disposition, c'est-à-dire que

$$\sum_{i=1}^m b_i = \sum_{j=1}^n d_j \quad (3-5)$$

Etant donné cette relation, une origine binaire est ajoutée lors des essais, chaque fois que les capacités des modes de disposition sont augmentées à leur valeur maximale. La solution optimale indique alors quel mode de disposition n'est pas comblé. (23) Le programme d'ordina-

---

(23) Loomba, N.P., op. cit., p. 201.

teur utilisé est présenté en annexe A.

Les trois composantes nécessaires au fonctionnement de l'algorithme sont  $b_i$ ,  $d_j$  et  $c_{ij}$ . Les différentes variables qui ont permis de les estimer sont définies ci-dessous et leurs valeurs respectives sont présentées en annexe B.

### 3.1.2 La cédule de transport de référence

Les 25 premiers vecteurs de 33 éléments décrivent la cédule de transport suivie durant l'hiver 1972-73, soit l'année de référence. Ils sont définis et commentés de la manière suivante:

VI Le numéro du territoire d'origine  $i$  par rapport au lieu de disposition  $j$ . Pour les opérations de déneigement, la ville de Québec est divisée en six districts: Limoilou, St-Roch, Champlain, Les Saules, Duberger et Neufchâtel. On transporte la neige dans les trois premiers districts et partiellement dans le quatrième. Dans les autres entroits, la neige est disposée par soufflage sur les terrains adjacents aux rues. Le modèle de disposition ne tient pas compte de ces cas de soufflage.

En plus, les districts sont divisés en territoires et chacun de ceux-ci sont déblayés soit par des entrepreneurs, soit par la ville tel qu'indiqué au tableau 3. La différence de numérotation des différents territoires s'explique soit parce que leur situation géographique diffère dans le district considéré, soit parce qu'une partie de la neige du district donné est transportée à plus d'un lieu de disposition.

Ainsi, à partir de 33 territoires différents, la neige est acheminée vers huit lieux de disposition par 33 trajets différents. (24)

TABLEAU 3

## Partage de la responsabilité du déblaiement

District	Territoires déblayés	
	par des entrepreneurs	par la ville
Limoilou	1 à 13	14 à 16
St-Roch	17 à 21	22 à 24
Champlain	25 à 26	27 à 29
Les Saules	30 à 32	33
Total	23	10

- V2 La longueur des rues du territoire d'origine *i* en pieds linéaires.
- V3 La largeur des rues du territoire d'origine *i* en pieds linéaires.
- V4 La surface des rues du territoire d'origine *i* en pieds carrés. Originellement, ces surfaces estimées devaient servir à évaluer le volume total de neige à enlever des territoires d'origine en fonction d'une précipitation moyenne.

Cependant, ce calcul ne nous permettrait pas d'évaluer les capacités horaires d'enlèvement de neige. Le volume de neige pouvant être enlevé par heure dans chaque territoire dépend du nombre de camions affectés dans chaque territoire, du nombre de

(24) Voir commentaire V22.

voyages horaires pouvant être effectués sur un trajet donné et du volume horaire de neige pouvant être absorbé à chaque lieu de disposition.

Ainsi, au lieu de nous aider à évaluer le volume de neige à enlever par suite d'une précipitation moyenne, ces surfaces ont été utiles pour évaluer le nombre de camions affectés habituellement dans chaque territoire.

- V5 Le volume des bennes des camions affectés au territoire d'origine  $i$  en pieds cubes.
- V6 Le nombre de camions affectés au territoire d'origine  $i$ . Les vecteurs V5 et V6 ont été évalués avec l'aide des gestionnaires municipaux d'après leurs connaissances des techniques employées pour déblayer le territoire considéré.
- V7 Le nombre de voyages horaires effectués par chaque camion entre le territoire d'origine  $i$  et le lieu de disposition  $j$ .
- V8 Le nombre de voyages horaires effectués entre le territoire d'origine  $i$  et le lieu de disposition  $j$ . Il est assumé, pour les vecteurs V7 et V8, que les gestionnaires, dans leur évaluation, tiennent compte de la topographie et de la signalisation du trajet donné et que les accidents et les encombrements n'interviennent pas ou très peu pour ralentir les vitesses de croisière des camions.
- V9 Le volume horaire de neige transporté entre le territoire d'origine  $i$  et le lieu de disposition  $j$  en pieds cubes par heure. C'est le résultat du produit du volume des bennes des camions et le nombre de voyages horaires et il correspond à  $b_i$ , le volume de neige qu'il est possible d'enlever de chaque territoire.

- V10 Le prix payé par la municipalité pour chaque voyage entre le territoire d'origine  $i$  et le lieu de disposition  $j$  en dollars par voyage. Ces taux de camionnage sont fixés d'après la capacité des bennes des camions, donc au voyage. (25) Ils ne sont donc pas déterminés sur une base horaire ou établis en fonction de la longueur du trajet requis pour l'effectuer. De plus, habituellement, la municipalité préfère louer les services de camionneurs plutôt que d'acheter des camions.
- V11 Le coût direct de transport horaire payé par la municipalité pour le trajet  $ij$  en dollars par heure. C'est le résultat du produit du nombre de voyages par le coût au voyage.
- V12 Le coût de transport d'un pied cube de neige pour le trajet  $ij$  en dollars par pied cube. C'est le résultat du quotient du déboursé horaire par trajet par le volume horaire de neige transportée. Ces coûts par pied cube sont ceux encourus pour les 33 trajets empruntés en 1972-73. Pour pouvoir utiliser l'algorithme, il faut calculer les autres  $c_{ij}$  des 231 autres trajets possibles.
- V13 Le revenu horaire brut perçu par camionneur pour le trajet  $ij$  en dollars par camionneur par heure. Il diffère sur chaque trajet.
- V14 La longueur du trajet  $ij$  (162 unités équivalent à un mille aérien entre le territoire d'origine  $i$  et le lieu de disposition  $j$ ). Il est assumé une relation constante entre les distances à

---

(25) Ville de Québec, Division de la voie publique, Cahier des charges, Déneigement 1972, 1972, p. 24.

vol d'oiseau et les distances terrestres. (26) Ces distances sont utiles pour calculer les  $c_{ij}$  des 231 autres trajets possibles et ont été évaluées selon la méthode suivante:

- a) A partir de cartes à différentes échelles fournies par la ville de Québec, les limites des territoires déblayés par les entrepreneurs sont transcrites sur des cartes à l'échelle de 1/10,000.
- b) Ces territoires sont ensuite découpés et leurs centroides ou points de gravité estimés manuellement.
- c) Ces centroides sont reproduits sur des cartes à l'échelle de 1/10,000 montrant l'utilisation généralisée du sol en 1971 pour la région étudiée.
- d) En réunissant ces cartes et en fixant les 8 lieux de disposition, les 23 trajets entre les centroides des territoires des entrepreneurs et les lieux de disposition sont mesurés.
- e) Comme la ville entretient des rues principales situées entre les limites des territoires des entrepreneurs, les dix autres distances sont estimées par la moyenne des distances entre les territoires et les lieux de disposition des entrepreneurs, pourvu que le territoire déblayé par la ville soit adjacent aux territoires de ces entrepreneurs et que la ville emploie les mêmes lieux de disposition que ces entrepreneurs. Le schéma suivant explique la méthode utilisée pour calculer une distance entre un territoire déblayé par la ville et un lieu de disposition:

---

(26) James, D.L., Lee, R.R., Economics of Water Resources Planning, McGraw-Hill Book Company, 1971, p. 410.

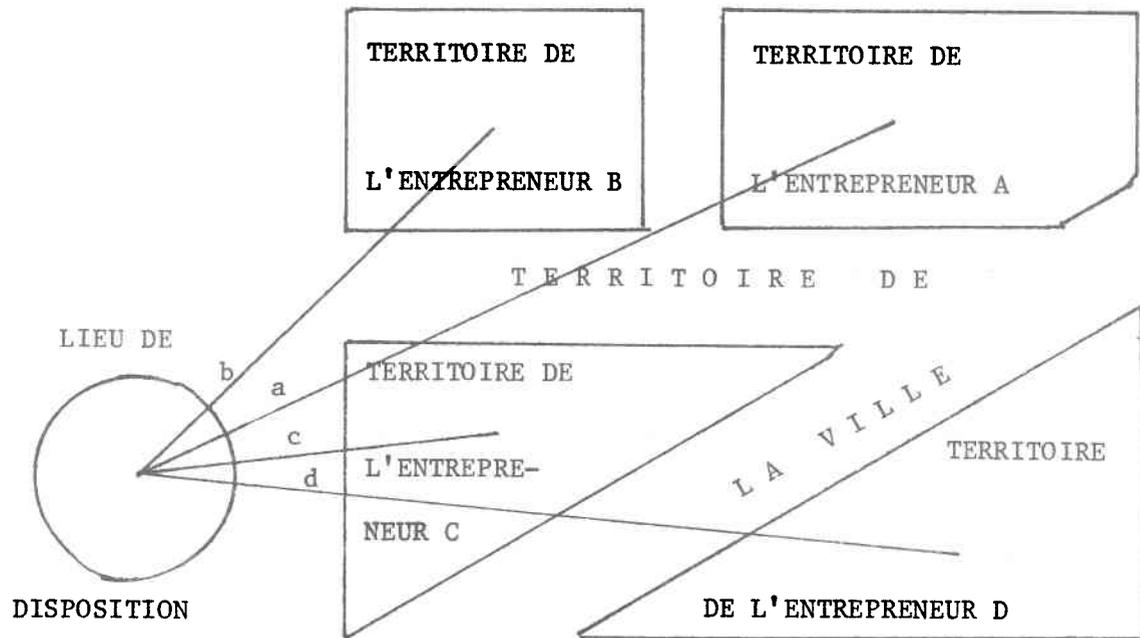


Figure 1: Schéma représentant la méthode de calcul d'une distance.

La distance estimée pour la ville est égale à  $\frac{a + b + c + d}{4}$

- V15 La longueur du trajet ij aller-retour (162 unités = un (1) mille). Elles servent à calculer la vitesse des camions.
- V16 La vitesse des camions sur le trajet ij (162 unités = un (1) mille à l'heure). Les différences dans les vitesses des camions reflètent les différentes conditions des parcours.
- V17 Le revenu brut perçu par camionneur en fonction de la distance aller-retour ij en dollars par unité de longueur (un (1) mille = 162 unités). Il diffère selon le trajet et selon la distance.
- V18 La longueur du trajet ij en milles.
- V19 La longueur du trajet ij aller-retour en milles.
- V20 La vitesse du camion sur le trajet ij en milles.

- V21 Le mode de disposition au lieu j, c'est-à-dire D pour dépotoir terrestre ou rejet dans un cours d'eau, F pour fondeuse fixe et DF pour dépotoir terrestre et fondeuse fixe.
- V22 Le numéro du lieu de disposition j par rapport au lieu d'origine i. En 1972-73, la neige originant des 33 territoires initiaux était transportée dans l'un ou l'autre des 8 lieux de disposition selon 33 chemins différents.
- V23 La capacité horaire totale du lieu de disposition j en pieds cubes par heure s'obtient en additionnant les volumes horaires de neige transportée entre les territoires d'origine i et chacun des lieux de disposition. Elle correspond à  $d_j$ , le volume de neige qu'il est possible de décharger à chaque lieu de disposition.
- V24 Le numéro du lieu de disposition j. (Carte en annexe E)
- V25 Le mode de disposition j. Les huit lieux de disposition considérés sont définis de la façon suivante:
1. le quai Chouinard, près de la traverse de Lévis;
  2. le dépotoir terrestre et la fondeuse fixe Franklin au bas de la rue Calixa-Lavallée;
  3. le dépotoir terrestre St-Sacrement sur le boulevard de l'Entente;
  4. la fondeuse fixe Verdun sur la rue Verdun près de la rivière St-Charles;
  5. le dépotoir terrestre et la fondeuse fixe Exposition, sur les terrains d'Expo-Québec, près de la rue Fleur de Lys;
  6. le dépotoir terrestre Henri-Bourassa sur les battures du fleuve St-Laurent;

7. le dépôt terre de Estimaerville sur les battures du fleuve St-Laurent;
8. le dépôt Michelet près du boulevard Henri IV. (27)

### 3.1.3 La cédule de transport potentielle

La cédule de transport suivie durant l'hiver 1972-73 étant définie, il s'agit maintenant de trouver quels sont les autres trajets possibles et de déterminer à quel coût unitaire la neige peut être acheminée par ces parcours. Les trois dernières variables de 264 éléments sont définies et commentées de la manière suivante:

- V26 Les distances  $ij$  entre les territoires d'origine  $i$  et les lieux de disposition  $j$  (162 unités équivalent à un mille à vol d'oiseau). Ces distances à vol d'oiseau, incluant celles des 33 trajets de références, ont été calculées de la même manière que ces dernières et sont utiles pour calculer les  $c_{ij}$  des autres trajets possibles.
- V27 Les distances  $ij$  entre les territoires d'origine  $i$  et les lieux de disposition  $j$  en milles.
- V28 Les coûts de transport  $ij$  d'un pied cube de neige entre les territoires d'origine  $i$  et les lieux de disposition  $j$  en dollars  $\times 10^{-4}$  par pied cube. Ces coûts unitaires de transport incluent ceux des 33 trajets de référence déjà calculés. Le coût unitaire de chacun des autres trajets possibles égale au coût unitaire du trajet de référence divisé par la longueur du trajet de réf-

---

(27) Ville de Québec, Division de la voie publique, op. cit., p. 24.

rence et multiplié par la longueur du trajet possible en question. Donc, pour les nouveaux trajets, les coûts unitaires sont proportionnels aux distances parcourues. Les coûts unitaires de transport correspondent à  $c_{ij}$ , les coûts de disposition par pied cube.

Ainsi, les trois composantes exogènes nécessaires au modèle, c'est-à-dire  $b_i$ ,  $d_j$  et  $c_{ij}$ , sont estimées. L'algorithme peut fonctionner. Il nous permet de minimiser les coûts directs de disposition sans toutefois tenir compte des coûts socio-écologiques du cheminement des neiges usées dans l'environnement urbain.

### 3.2 Le modèle écologique

L'objectif recherché par le gestionnaire est non seulement de minimiser les coûts directs de disposition, mais aussi de réduire les effets négatifs de différents modes de disposition sur l'activité écologique du milieu urbain.

Ces effets négatifs sont susceptibles d'affecter la viabilité de la faune et de la flore terrestre et aquatique. C'est ainsi que la faune et la flore le long des rues peuvent être contaminées par du plomb, des huiles et des solides là où le soufflage est pratiqué. Dans les neiges usées des dépotoirs terrestres, si des microorganismes pathogènes sont présents, ils peuvent affecter la vie animale. Le rejet des neiges usées dans un cours d'eau est susceptible de dérouter les espèces aquatiques dans leur migration ou leur mode de reproduction. Enfin, les phénols et des hydrocarbures rejetés à la fondeuse peuvent être très toxiques pour la vie aquatique.

Pour solutionner ce problème, il faut acquérir le plus d'information possible sur les sites de disposition, les classer en fonction de leur impact écologique négatif sur le milieu urbain et, enfin, apporter les correctifs nécessaires à un coût économique.

### 3.2.1 L'information sur les sites

L'annexe C décrit les sept sites de disposition qui ont fait l'objet d'une évaluation écologique comparative. Le texte présenté aux évaluateurs de même que les fiches de collecte des réponses et de calcul des classements individuels sont aussi en annexe C.

Parmi les sites décrits en annexe C, six correspondent à des modes de disposition employés en 1972-73, dans la municipalité de Québec, comme le montre le tableau 4. Quant au site D, il représente une technique possible de disposition des neiges usées.

En général, il existe dix niveaux d'information pour chaque site. Ils traitent

1. de la capacité technique du mode de disposition;
2. des conditions topographiques des terrains lors du cheminement des neiges usées avant le déchargement;
3. de la vitesse de fonte des neiges usées selon le mode de disposition;
4. de la conductivité et de la migration ou des concentrations des ions majeurs des neiges usées à l'entrée ou au lieu de disposition;
5. des sédiments en suspension et des substances organiques et inorganiques des neiges usées à l'entrée ou au lieu de disposition;

6. des bassins d'écoulement des eaux de fonte vers le milieu récepteur;
7. de la vitesse d'écoulement des eaux de fonte à l'entrée et dans le milieu récepteur;
8. de la qualité des eaux usées à l'entrée du milieu récepteur;
9. du traitement des eaux usées au site de disposition ou dans le milieu récepteur;
10. de l'impact probable du mode de disposition sur le milieu récepteur.

TABLEAU 4

Correspondance entre les sites et les modes de disposition

Site de disposition	Mode de disposition
A	3 - dépotoir terrestre St-Sacrement
B	4 - fondeuse fixe Verdun
C	1 - quai Chouinard
D	déchargement direct à l'égout
E	soufflage sur les terrains dans les districts Les Saules, Duberger et Neufchâtel
F	2 - dépotoir terrestre et fondeuse fixe Franklin
G	7 - dépotoir terrestre d'Estimauville

Ces informations proviennent de mesures ou d'estimations sur le terrain et d'analyse de laboratoire. Elles sont aussi les conclusions de recherches ou les hypothèses les plus probables sur des processus actuels ou anticipés dans l'avenir.

Par exemple, Visser (1973) a conclu qu'au dépotoir Saint-Sacrement, la température et la concentration des sels inorganiques n'inhibent pas nécessairement toute la microflore: certains pourraient même être des pathogènes dangereux pour la vie animale. (28) Cette conclusion, utilisée pour décrire le dépotoir Saint-Sacrement, a aussi été notée lors de la description des dépotoirs terrestres Franklin et d'Estimauville.

### 3.2.2 Le modèle d'évaluation et de classement

Une fois ces sites décrits, leur classement en fonction de leur impact écologique négatif le plus probable sur le milieu urbain est obtenu en faisant comparer par plusieurs chercheurs l'impact global négatif des huit sites de disposition pris deux à la fois.

Chaque évaluateur a comparé l'impact négatif le plus probable du site A sur l'environnement par rapport à celui du site B, C, D, E, F et G sur l'environnement, l'impact du site B par rapport à celui du site A, C, D, E, F et G..., et enfin l'impact du site G par rapport à celui du site A, B, C, D, E et F sur l'environnement.

La méthode de comparaison se fonde sur les principes suivants:

1. Chaque fois que l'effet probable du site  $i$  est comparé à celui du site  $j$ , l'importance de  $P(I_{ij})$ , c'est-à-dire l'importance de la probabilité d'impact du site  $i$  par rapport à celle du site  $j$  est mesurée par un nombre réel  $K_{ij}$ .

---

(28) Visser, S.A., The Microflora of a Snow Depository in the City of Quebec, INRS-Eau, Univ. du Québec, Québec, 1973, pp. 271-2.

2. Lorsque la probabilité d'impact du site  $i$  est supérieure, approximativement égale ou inférieure à celle du site  $j$ , alors  $K_{ij}$ , la mesure de  $P(I_{ij})$ , a comme valeur 1, 0 ou -1 respectivement.
3. La cohérence des réponses des chercheurs suppose le respect des conditions de transitivité données par la table de vérité suivante:

Valeur de  $K_{ik}$

$K_{jk}$	1	0	-1
$K_{ij}$			
1	1	1	1, 0 ou -1
0	1	0	-1
-1	1, 0 ou -1	-1	-1

où  $i \neq j$ ,  $j \neq k$ ,  $i \neq k$ .

Cette table donne la valeur de  $K_{ik}$  pour une valeur donnée de  $K_{ij}$  et pour une valeur donnée de  $K_{jk}$ . Par exemple, lorsque  $K_{ij}$  est égal à 1 et que  $K_{jk}$  est égal à 0, alors  $K_{ik}$  est nécessairement égal à 1 si le chercheur est cohérent dans ses réponses.

4. Le classement des sites en fonction de leur impact négatif global le plus probable sur l'environnement s'obtient, pour chaque évaluateur, par les calculs suivants:

## Calculs des classements individuels

$P(I_{ij}) = K_{ij}$ $i \neq j$	A	B	C	D	E	F	G	Position relative des sites	
A		$K_{12}$	$K_{13}$	$K_{14}$	$K_{15}$	$K_{16}$	$K_{17}$	$\frac{n}{\Sigma} + K_{1j}$	A
B	$K_{21}$		$K_{23}$	$K_{24}$	$K_{25}$	$K_{26}$	$K_{27}$	$\frac{n}{\Sigma} + K_{2j}$	B
C	$K_{31}$	$K_{32}$		$K_{34}$	$K_{35}$	$K_{36}$	$K_{37}$	$\frac{n}{\Sigma} + K_{3j}$	C
D	$K_{41}$	$K_{42}$	$K_{43}$		$K_{45}$	$K_{46}$	$K_{47}$	$\frac{n}{\Sigma} + K_{4j}$	D
E	$K_{51}$	$K_{52}$	$K_{53}$	$K_{54}$		$K_{56}$	$K_{57}$	$\frac{n}{\Sigma} + K_{5j}$	E
F	$K_{61}$	$K_{62}$	$K_{63}$	$K_{64}$	$K_{65}$		$K_{67}$	$\frac{n}{\Sigma} + K_{6j}$	F
G	$K_{71}$	$K_{72}$	$K_{73}$	$K_{74}$	$K_{75}$	$K_{76}$		$\frac{n}{\Sigma} + K_{7j}$	G

5. Ainsi, les sites A, B, C, D, E, F et G ont un impact probable sur l'environnement inférieur entre eux dans la mesure où leur position relative est plus basse.

Après vérification, ce modèle, inspiré des méthodes décrites par Kendall, <sup>(29)</sup> est conforme aux axiomes permettant un classement uni-

(29) Kendall, M.G., Rank Correlation Methods, Hafner Publishing Company, 1955, chap. 11, pp. 144-5.

que et additif, énoncées par Churchman et Ackoff <sup>(30)</sup> et répétées par Dooley. <sup>(31)</sup>

C'est ce modèle qui permet de connaître les désavantages écologiques relatifs des modes de disposition puisque chaque évaluateur commente ses réponses. Le classement final des sites s'obtient alors par la moyenne des classements individuels. Cependant, si ce modèle écologique peut compléter le modèle de disposition, un modèle social est nécessaire pour tenir compte des coûts sociaux indirects des modes de disposition.

### 3.3 Le modèle social

L'objectif du gestionnaire est non seulement de minimiser les coûts directs de disposition et de réduire les désavantages écologiques, mais aussi de diminuer les inconvénients sociaux.

Il s'agit ici des nuisances affectant plus particulièrement les humains, comme le bruit, l'inesthétique, les mauvaises odeurs et les encombrements.

Pour solutionner ce problème social, il faut évaluer les impacts négatifs sur l'activité humaine associés à chaque site de disposition et classer ces derniers en fonction de la croissance des inconvénients relatifs.

---

(30) Churchman, C.W., Ackoff, R.L., An Approximate Measure of Value, Operations Research, 1954, vol. 2, pp. 172-187.

(31) Dooley, J.E., Decisions on Social and Technological Tasks Incorporating Expression of Preference and Environmental Insult, Management Science, 1974, vol. 20, p. 913.

Une enquête sur le terrain, diverses lectures et plusieurs rencontres avec les gestionnaires ont permis d'évaluer ces effets sociaux.

Quant au modèle utilisé, il s'agit d'une représentation schématique des inconvénients marginaux. En terme mathématique, le site ayant le moins de désavantage reçoit la note un et occupe le premier rang. Le site qui se classe deuxième est celui dont les effets néfastes sur l'environnement social sont plus nombreux que ceux du premier site, mais moins nombreux que ceux du troisième site. Enfin, le site qui détériore le plus l'environnement est classé au dernier rang.

Le gestionnaire a donc à sa disposition un modèle qui lui permet de classer les sites de disposition, non seulement en fonction des coûts directs économiques et des désavantages écologiques, mais aussi en fonction des coûts sociaux.

Après avoir analysé les résultats de ces trois modèles, il lui restera la tâche de les intégrer dans un modèle de décision multicritère.

#### 4 - ANALYSE DES RESULTATS DU MODELE DE DISPOSITION

Le modèle de disposition déjà formulé permet de minimiser les coûts directs de disposition des neiges urbaines.

Cette quatrième partie vise à présenter les résultats du modèle appliqué à la ville de Québec et à découvrir pourquoi tel ou tel mode de disposition est préférable en fonction de deux critères de coût/efficacité.

En ce sens, nous optimiserons d'abord les coûts directs de transport. Ensuite, nous minimiserons les coûts totaux de disposition. Enfin, nous présenterons deux classements unicritères des sites, l'un concernant l'efficacité dans le transport et l'autre l'efficacité dans la disposition.

##### 4.1 L'optimisation des coûts directs de transport

Parmi les différents essais du modèle de disposition, deux sont reconnus comme significatifs pour la municipalité de Québec en 1972-73: celui qui minimise les coûts de transport et celui qui minimise non seulement les coûts de transport, mais aussi les coûts d'opération et d'entretien des différents modes de disposition.

Pour le premier essai reconnu, les composantes d'entrée, exogènes au modèle, sont calculées en annexe B. Ce sont  $b_i$  et  $d_j$ , les capacités horaires d'enlèvement et de déchargement et  $c_{ij}$ , les coûts de transport d'un pied cube de neige. Elles correspondent aux vecteurs

V9 et V23, de même qu'à la matrice V28 respectivement.

Les résultats du modèle sont présentés aux tableaux 5 et 6. La matrice des affectations indique, pour une période d'une heure, quel volume de neige il faut transporter entre le territoire d'origine  $i$  et le lieu de disposition  $j$  en pieds cubes pour minimiser les coûts directs de transport. La matrice des coûts indique à quel coût ce volume de neige doit être transporté entre le territoire d'origine  $i$  et le lieu de disposition  $j$ .

Selon les modèles, les coûts totaux minima pour transporter pendant une heure 850,045 pieds cubes de neige sont de \$5,921.68 pour la municipalité.

La cédule choisie par la municipalité en 1972-73 serait optimale puisque ces coûts correspondent aux déboursés horaires faits par la municipalité tels qu'estimés pour cette année de référence.

La seule différence entre la situation de référence et les résultats du modèle apparaît dans les affectations.

En effet, alors que la ville transporte la neige des territoires 17 et 18 aux lieux de disposition 4 et 2 respectivement, les résultats du modèle montrent que, pour minimiser les coûts de transport, il faut transporter la neige de ces deux territoires aux lieux de disposition 2 et 4 respectivement.

En fait, le tableau 7 compare les deux situations. La cédule de la municipalité est aussi optimale que celle obtenue par le modèle. En pratique, celle de la municipalité est préférable parce que la réparti-





TABLEAU 7  
Comparaison des situations

Situation	selon la municipalité		selon le modèle	
	17	18	17	18
origine	17	18	17	18
destination	4	2	2	4
distance en mille <sup>(1)</sup>	0.70	0.65	0.65	0.70
voyages par camion <sup>(2)</sup>	4	4	4.30	3.71
coût par pied cube	0.0066	0.0066	0.0061	0.0071
nombre de camions <sup>(2)</sup>	9	9	8.36	9.67
coût de transport <sup>(3)</sup>	166.32	166.32	153.72	178.92
quantité en pieds cubes <sup>(3)</sup>	25,200	25,200	25,200	25,200
coût total de transport <sup>(3)</sup>	332.64		332.64	

(1) La somme des deux distances est 1.35 dans les deux cas.

(2) La répartition des camions est plus précise selon la municipalité que selon le modèle, ce qui constitue une limite pour le modèle.

(3) Dans la situation selon la municipalité, les coûts unitaires de transport sont identiques contrairement à la situation selon le modèle. Cependant, dans les deux situations, le même niveau de service est obtenu pour le même coût total de transport.

tion des camions est plus précise et n'implique aucune nouvelle pondération des coûts unitaires.

#### 4.2 La minimisation des coûts directs de disposition

Pour le second essai retenu, celui qui minimise à la fois les coûts de transport, d'opération et d'entretien, les mêmes vecteurs des capacités techniques sont utilisés.

Cependant, l'addition des facteurs 1, 51, 21, 73, 85, 9, 3 et 3 à chaque colonne de la matrice V28 permet de tenir compte des frais d'entretien et d'opération des modes de disposition. La nouvelle matrice des coûts unitaires est présentée au tableau 8.

Les résultats du modèle montrent que la matrice des affectations est identique à celle du tableau 5. De plus, la matrice qui indique à quel coût il faut disposer la neige est présentée au tableau 9. L'inclusion des coûts d'entretien et d'opération des modes de disposition dans le modèle augmente les coûts totaux minima de disposition de \$5,921.68 à \$8,692.24, soit une hausse de \$2,770.56 ou 46.8%.

Comme dans le premier essai, transporter la neige des territoires 17 et 18 aux lieux de disposition 4 et 2 ou 2 et 4 respectivement est aussi optimal. Dans un cas, il en coûte \$294.84 + \$350.28, soit \$645.12. Dans l'autre cas, \$282.24 + \$362.88, soit aussi \$645.12.

En pratique, tout comme dans le premier essai, et pour les mêmes raisons, la cédule de la municipalité est préférable à celle obtenue par ce modèle.

Tous les autres essais du modèle confirment ces résultats. De

TABLEAU 8

Matrice des coûts unitaires ( $\times 10^4$ )

origine	1	2	3	4	5	6	7	8
destination								
1	74	149	155	159	158	75	81	288
2	96	156	157	157	138	79	75	268
3	247	249	281	213	151	224	220	538
4	490	444	497	353	156	403	374	836
5	334	323	335	277	156	269	239	484
6	175	225	227	212	155	124	98	320
7	105	158	152	157	127	80	67	232
8	126	195	189	223	160	79	53	255
9	176	252	256	283	190	107	73	355
10	139	224	231	219	178	79	57	353
11	180	275	294	262	206	100	73	457
12	187	324	356	313	257	79	56	574
13	248	414	467	392	314	102	73	762
14	277	288	307	251	156	223	200	488
15	195	298	319	302	224	105	74	485
16	118	192	196	197	163	80	67	309
17	158	112	146	139	216	222	241	423
18	170	117	155	144	226	238	258	455
19	239	153	202	145	231	299	321	465
20	137	73	87	106	184	186	197	285
21	257	103	72	122	239	317	329	347
22	209	136	182	147	235	276	299	525
23	193	125	173	153	245	268	293	515
24	232	94	95	122	237	297	313	387
25	71	129	142	173	225	151	173	350
26	670	213	91	353	639	877	938	937
27	73	131	146	176	229	155	178	360
28	193	125	173	153	245	268	293	515
29	221	92	92	120	229	284	299	369
30	363	268	201	274	312	387	381	71
31	1355	932	783	885	952	1397	1381	71
32	514	406	343	392	399	513	496	71
33	431	330	265	327	351	444	433	71



plus, même si certains lieux de disposition peuvent être augmentés, il a été impossible de déterminer dans quel territoire le niveau de service d'entretien pouvait être amélioré de sorte que les essais subséquents ne furent d'aucune utilité pratique. Aussi, pour les mêmes raisons, la création de nouveaux sites de disposition ne pouvait être que spéculative et d'autant plus arbitraire du fait que l'impact des modes de disposition sur l'environnement était inconnu.

#### 4.3 Le classement des sites selon le critère du coût/efficacité dans le transport

L'efficacité du transport de la neige peut se mesurer par le coût direct total de transport de la neige au lieu de disposition j par rapport au volume de neige transporté à ce lieu j.

Le tableau 10 indique les caractéristiques d'un classement des sites de disposition selon le coût moyen de transport par pied cube de neige.

En général, le coût moyen de transport tend à augmenter lorsque le volume des bennes des camions diminue et ne semble pas varier en fonction de la distance moyenne de transport. Cette tendance s'explique par le fait que les taux de camionnage réels sont fixés d'après la capacité des bennes des camions plutôt qu'en fonction de la distance de transport.

Les distances moyennes de transport de la neige à la fondeuse Verdun de même qu'aux dépotoirs et fondeuses Franklin et Exposition sont inférieures à celles conduisant aux dépotoirs terrestres et au déchargement au fleuve.

TABLEAU 10

Caractéristiques d'un classement des sites en fonction de la  
diminution de l'efficacité du transport de la neige

Rang et site de disposition	Volume de neige transporté (pieds cubes par minute)	Coût moyen de transport (\$ X 10 <sup>2</sup> par pied cube)	Coût marginal de transport (\$ X 10 <sup>2</sup> par pied cube)	Volume moyen des ben-nes (pieds cubes par camion)	Distance moyenne de transport en milles
1- Dépotoir St-Sacrement	1690	0.6723	0.0077	607	0.660
2- Dépotoir Michelet	1977	0.6800		0.0163	650
3- Dépotoir Henri Bourassa	2431	0.6963	0.0023		592
4- Dépotoir et fondeuse Franklin	743 <u>577</u> 1320	0.6629 <u>0.7444</u> 0.6986		0.0003	564 <u>450</u> 508
5- Dépotoir et fondeuse Ex- position	1538 <u>1237</u> 2775	0.6907 <u>0.7091</u> 0.6989	0.0042		609 <u>550</u> 581
6- Dépotoir d'Es- timaucville	1725	0.7031		0.0110	583
7- Quai Chouinard	1029	0.7141	0.0122		526
8- Fondeuse Ver- dun	1220	0.7263			523

Comme nous ne connaissons pas les distances de transport qui existaient sans la fondeuse et sans les combinaisons dépotoirs et fondeuses, il est difficile de conclure que ces aménagements ont amené, par leur situation, ces réductions de distances.

Cependant, il semble plus probable que l'aménagement de fondeuses seules ou combinées ait permis de réduire les circuits de transport plutôt que d'abaisser les coûts moyens de transport.

En réalité, il est assez coûteux de transporter la neige aux fondeuses parce que le déchargement dans des bassins de fonte nécessite l'utilisation de bennes à basses capacités. Cette contrainte technique ne se présente pas pour les dépotoirs terrestres, sauf pour le quai Chouinard.

Ainsi, les coûts de transport pourraient être abaissés à moyen terme en recherchant des camions à plus grande capacité en remplacement d'une partie des plus petits et en augmentant proportionnellement et simultanément les surfaces des dépotoirs terrestres adjacents aux fondeuses fixes.

A plus long terme, il faudrait évaluer s'il serait justifié, en terme de baisse dans les coûts de transport, d'investir des sommes additionnelles pour permettre l'accès de camions plus lourds aux fondeuses fixes ou au quai Chouinard.

Si ces modifications s'avéraient techniquement irréalisables, ou possibles mais injustifiées économiquement, le classement unicritère obtenu au tableau 10 correspondrait à une affectation optimale des ca-

mions au niveau des coûts de transport.

#### 4.4 Le classement des sites selon le critère du coût/efficacité dans la disposition

L'efficacité de la disposition de la neige peut se mesurer par le coût direct total de disposition de la neige au lieu de disposition  $j$  par rapport au volume de neige transporté à ce lieu  $j$ . Le coût total de disposition comprend non seulement les coûts de transport, mais aussi les frais d'entretien et d'opération des modes de disposition.

Le tableau 11 indique les caractéristiques d'un classement des sites de disposition selon le coût moyen de disposition par pied cube de neige. En général, il est plus coûteux de disposer la neige aux fondeuses seules ou combinées que d'utiliser les dépotoirs terrestres ou le quai Chouinard.

Bien que cette situation désavantageuse des fondeuses s'explique en partie par une structure des taux de camionnage avantageuse pour les bennes les plus grosses, ce sont particulièrement les frais d'opération et d'entretien qui défavorisent le choix des fondeuses.

A court terme, il semble difficile d'abaisser ces frais. A moyen terme, le remplacement des gicleurs à eau par des compresseurs à air pourrait augmenter la capacité des fondeuses. Une telle modification serait justifiée dans la mesure où la baisse résultante dans les frais d'entretien et d'opération serait au moins égale aux dépenses nécessitées par cette modification.

A plus long terme, les changements technologiques de même que

TABLEAU 11

Caractéristiques d'un classement des sites en fonction de la diminution de l'efficacité de disposition de la neige

Rang et site de disposition	Volume de neige disposé (pieds cubes par minute)	Coût moyen de disposition (\$ x 10 <sup>2</sup> par pied cube)	Coût marginal de disposition (\$ x 10 <sup>2</sup> par pied cube)	Volume moyen des bennes (pieds cubes par camion)	Distance moyenne de disposition en milles
1- Dépotoir Michelet	1977	0.7100	0.0141	650	0.752
2- Quai Chouinard	1029	0.7241	0.0090	526	1.061
3- Dépotoir d'Estimauville	1725	0.7331	0.0532	583	0.806
4- Dépotoir Henri Bourassa	2431	0.7863	0.0960	592	1.210
5- Dépotoir St-Sacrement	1690	0.8823	0.3263	607	0.660
6- Dépotoir et fondeuse Franklin	1320	1.2086	0.2477	508	0.654
7- Fondeuse Verdun	1220	1.4563	0.0926	523	0.629
8- Dépotoir et fondeuse Exposition	2775	1.5489		581	0.659

les fluctuations dans les prix des facteurs de production rendent les choix plus difficiles. Etant donné que notre période d'analyse est annuelle et que notre modèle de disposition optimise les coûts directs de disposition seulement en courte période, il est difficile d'engager l'avenir.

Néanmoins, pour l'année de référence, le classement unicritère du tableau 11 correspond à une affectation optimale des ressources au niveau des coûts directs de disposition.

Cependant, les choix passés impliquent pour le présent et l'avenir différentes répercussions plus ou moins positives sur la faune et la flore aquatique et terrestre qui sont à prendre en compte par le gestionnaire.

## 5 - ANALYSE DES RESULTATS DU MODELE ECOLOGIQUE

Le modèle écologique déjà formulé permet d'évaluer, de façon marginale, les impacts négatifs les plus probables des sites de disposition sur l'écosystème urbain.

Cette cinquième partie vise à présenter les résultats de l'évaluation des sites de disposition de la ville de Québec et à découvrir pourquoi tel ou tel mode de disposition est préférable en fonction du critère de l'efficacité écologique.

Dans ce but, nous présenterons d'abord les classements individuels obtenus par la participation de chaque évaluateur. Ensuite, nous dégagerons le classement final des sites en fonction du critère de l'équilibre écologique. Enfin, nous expliquerons quels sont les avantages et les désavantages des différents sites de disposition.

### 5.1 Les classements individuels des sites

L'évaluation de l'impact global négatif des différents modes de disposition est obtenue par la participation de vingt chercheurs, dont 1 physicien, 3 chimistes, 2 biologistes, 1 microbiologiste, 1 physico-chimiste, 2 biophysiciens, 2 biochimistes, 2 ingénieurs, 2 ingénieurs civils, 1 ingénieur chimiste, 2 ingénieurs municipaux et 1 géographe.

L'échantillon initial comprenait 2 physiciens additionnels. Etant donné qu'ils n'ont pas complété leur évaluation, seulement 20 classements individuels ont été obtenus.

Les entrevues ont duré 14 jours durant la période du 17 juillet au 9 août 1973. La cohérence des réponses des évaluateurs a été vérifiée et seulement 10 incompatibilités au total ont été réévaluées.

Le tableau 12 montre les classements individuels des sites en fonction de la formation de chaque évaluateur. Tous les classements diffèrent.

Cependant, en général, le site E est celui dont l'impact probable sur l'environnement est le moins néfaste tandis que le site B est celui dont l'impact probable sur l'environnement est le plus néfaste.

## 5.2 Le classement final des sites

Si l'on admet au départ que chaque évaluateur a donné un classement aussi pertinent que n'importe quel autre participant, la moyenne des classements individuels conduit à un classement final.

Un tel classement est aussi donné au tableau 12. Encore une fois, il ne correspond à aucun classement individuel. De plus, l'impact du site E est peu néfaste et l'impact du site B est très néfaste.

Le tableau 13 montre que les classements des sites selon la formation des évaluateurs sont différents et que le site E est en général le moins néfaste pour l'environnement.

De plus, le classement final obtenu par la moyenne des classements selon la formation est le même que celui résultant de la moyenne des classements individuels et diffère de tous les classements selon la formation.

TABLEAU 12

## Classements individuels des sites

Evalueateur	sites						
	A	B	C	D	E	F	G
1- physicien	4	7	3	2	1	6	5
2- chimiste	4	2	1	1	4	3	4
3- chimiste	1	4	3	3	2	3	1
4- chimiste	7	3	1	2	4	5	6
5- biologiste	1	6	5	5	2	4	3
6- microbiologiste	5	3	3	2	1	4	6
7- biologiste	3	2	1	1	5	3	4
8- physicochimiste	1	5	5	5	3	4	2
9- biophysicien	2	5	6	4	1	4	3
10- biophysicien	3	5	6	4	1	1	2
11- biochimiste	3	5	4	5	6	1	2
12- biochimiste	2	2	2	2	1	2	2
13- ingénieur civil	2	5	6	4	6	3	1
14- ingénieur civil	3	6	5	4	1	5	2
15- ingénieur	5	3	1	2	7	4	6
16- ingénieur	1	3	5	5	2	4	2
17- ingénieur chimiste	4	2	2	2	1	3	5
18- ingénieur municipal	2	6	5	7	1	4	3
19- ingénieur municipal	2	3	4	3	1	5	2
20- géographe	3	7	6	5	1	4	2
Total	58	84	74	68	52	72	63
Classement final (moyenne des classements individuels)	2	7	6	4	1	5	3

TABLEAU 13

Classement des sites selon la formation des évaluateurs

classe et formation	site						
	A	B	C	D	E	F	G
1- physicien	4	7	3	2	1	6	5
2- chimiste	6	3	1	2	4	5	5
3- biologiste	2	3	2	1	1	3	4
4- physicochimiste	1	5	5	5	3	4	2
5- biophysicien	2	4	5	3	1	2	2
6- biochimiste	3	5	4	5	5	1	2
7- ingénieur	1	4	4	2	3	3	1
8- ingénieur chimiste	4	2	2	2	1	3	5
9- ingénieur municipal	2	4	4	5	1	4	3
10- géographe	3	7	6	5	1	4	2
total	28	44	36	32	21	35	31
Classement final (moyenne des classe- ments selon la for- mation)	2	7	6	4	1	5	3

Ainsi, le modèle écologique permet d'évaluer l'impact marginal le plus probable des sites de disposition. Le gestionnaire peut alors considérer lorsqu'il prend des décisions, que les inconvénients associés à l'utilisation des différents modes de disposition augmentent dans l'ordre suivant:

- E - soufflage sur les terrains
- A - dépotoir terrestre St-Sacrement
- G - dépotoir terrestre d'Estimauville
- D - déchargement direct à l'égout
- F - dépotoir terrestre et fondeuse fixe Franklin
- C - quai Chouinard
- B - fondeuse fixe Verdun

### 5.3 Les avantages et les désavantages des sites

En d'autres termes, l'efficacité écologique de la disposition peut se mesurer en comparant les avantages et les inconvénients du site *i* par rapport à ceux du site *j*. Le site le mieux classé est alors celui dont le bilan est le plus positif tandis que le site ayant le bilan le plus négatif est le moins bien classé.

Le tableau 14 indique le classement des sites de disposition en fonction de la croissance de leurs impacts négatifs les plus probables sur le milieu biologique. Les sites fonctionnant selon le même procédé ont des impacts approximativement égaux.

#### 5.3.1 Le bilan pour le soufflage sur les terrains

Le soufflage le long des rues dans les districts Les Saules, Du-

TABLEAU 14

Classement des sites de disposition selon la diminution de l'efficacité écologique de la disposition

Rang	Mode de disposition	Lieu de disposition
1	Soufflage sur les terrains	Les Saules Duberger Neufchâtel
2	Dépotoir terrestre	Saint-Sacrement Henri-Bourassa Michelet D'Estimauville
3	Déchargement direct à l'égout	Site potentiel
4	Dépotoir terrestre et fondeuse fixe	Franklin Exposition
5	Déchargement au fleuve	Quai Chouinard près du fleuve Saint-Laurent
6	Fondeuse fixe	Verdun

berger et Neufchâtel obtient le bilan le plus positif parmi ceux des autres modes de disposition. C'est donc le mode de disposition qui semble le moins dommageable de tous pour la faune et la flore.

En effet, par rapport aux autres modes de disposition, il possède les avantages suivants:

1. Contrairement aux autres modes de disposition, il ne requiert aucune ressource économique pour la fonte. Sa principale source énergétique provient naturellement du soleil.
2. Certaines substances peuvent servir d'engrais pour les plantes. Ces dernières absorbent certains métaux lourds qui, ainsi, ne sont pas relâchés directement dans le milieu.
3. Par rapport aux autres modes de disposition, les neiges usées sont plus réparties dans le temps et dans l'espace. Ainsi, on assiste à une plus grande dilution par les pluies et à une meilleure absorption par les sols.
4. Les concentrations toxiques demeurent peu élevées, à la fois pendant et après la fusion de la neige.

Quant aux désavantages du soufflage par rapport aux autres modes de disposition, on peut noter certaines singularités:

1. En certains endroits à très dense circulation ou à concentration industrielle importante, les neiges usées peuvent contenir une plus grande quantité de plomb, d'huile et de solides.
2. Dans ces circonstances, il pourrait s'ensuivre non seulement une contamination temporaire de la flore (la pelouse, par exemple), mais aussi un effet cumulatif, à plus long terme, sur les

arbres.

Au total, et malgré ces quelques inconvénients, le soufflage sur les terrains demeure encore la méthode de disposition la plus compatible avec l'équilibre écologique.

### 5.3.2 Le bilan pour les dépotoirs terrestres

Les dépotoirs terrestres Saint-Sacrement, Henri-Bourassa, Michel et d'Estimauville obtiennent ensuite le bilan le plus positif parmi ceux des autres sites. Ils constituent donc les meilleurs compromis après le soufflage.

En effet, les avantages à considérer sont les suivants:

1. Contrairement à la fondeuse fixe, par exemple, le dépotoir utilise encore en partie l'énergie solaire naturelle pour la fonte. La fondeuse n'emploie que des ressources économiques, ce qui tend à augmenter plus l'entropie dans l'écosystème.
2. Parmi les autres modes de disposition, le dépotoir est celui qui possède la vitesse de fonte la plus lente. Les eaux usées sont diluées par les pluies et leur écoulement est réparti sur une longue période.
3. Tout comme pour le soufflage et contrairement aux autres modes, le sol des dépotoirs peut absorber, tout au long de la fonte, non seulement les ions de sodium, de calcium et de chlore, mais aussi assimiler les substances toxiques comme le plomb, le fer et le zinc, beaucoup plus néfastes pour les écosystèmes dépendants.
4. Donc, à l'égout, la qualité des eaux est moins détériorée, d'au-

tant plus que les sédiments en suspension s'accumulent autour du tas.

Les dépotoirs terrestres ont cependant les inconvénients suivants:

1. La température et la concentration des sels inorganiques n'inhibent pas nécessairement toute la microflore: les microorganismes pourraient y croître et y métaboliser; certains pourraient même être des pathogènes dangereux pour la vie animale.
2. L'accumulation des neiges usées a un impact immédiat sur la flore terrestre et produit un climat subarctique local pendant presque tout l'été.
3. Les substances produites dans le tas de neige usées sont, en toute probabilité, des toxiques (secondaires) organiques fabriqués par des bactéries ou lors de réactions chimiques entre les produits de déchets. Dans l'éventualité qu'il faille envisager un traitement des eaux usées avant l'égout fluvial, seul un traitement primaire de sédimentation pourrait être de quelque utilité. Si les eaux du dépotoir s'écoulent dans un égout domestique ou mixte, les bactéries des tas de neiges usées peuvent être incompatibles avec celles utilisées dans un traitement par boues activées. De même, la trop grande dilution des eaux usées provenant du tas rendrait le traitement biologique non fonctionnel.

Comme bilan final, en tenant compte des aspects positifs et négatifs, les dépotoirs sont les modes de disposition préférables si les neiges usées ne peuvent pas être éliminées par soufflage le long des rues.

### 5.3.3 Le bilan pour un déchargement direct à l'égout

Quant au déchargement potentiel des neiges usées directement à l'égout, il est préférable à une fondeuse combinée, tandis qu'un dépotoir terrestre doit lui être préféré.

D'abord, tout comme au dépotoir, ces eaux usées sont diluées par les pluies et comme à la fondeuse fixe, un système de drainage bien établi limite l'impact terrestre.

Ensuite, contrairement aux eaux usées du dépotoir terrestre qui sont riches en toxiques secondaires organiques, celles du déchargement direct à l'égout contiendraient plutôt des toxiques primaires inorganiques.

Enfin, cette charge serait moindre que celle à la fondeuse fixe et les sous-produits du pétrole seraient inexistantes.

### 5.3.4 Le bilan pour les fondeuses combinées

Une fondeuse combinée correspond à un dépotoir terrestre et une fondeuse fixe installés côte à côte. Ce sont les sites Franklin et Exposition.

Si l'on fait le bilan des avantages et des désavantages associés à ces modes de disposition, ils se classent au quatrième rang. Ils sont moins néfastes qu'un déchargement au fleuve et plus dommageables qu'un déchargement direct à l'égout pour le milieu biologique. Cette position relative s'explique du fait qu'on y retrouve les avantages ou les inconvénients d'un dépotoir terrestre ou d'une fondeuse fixe.

### 5.3.5 Le bilan pour le déchargement au fleuve

Quant au quai Chouinard, les résultats du bilan montrent que ce déchargement dans le fleuve Saint-Laurent est plus néfaste que les fondeuses combinées et moins dommageable qu'une fondeuse fixe seule.

Les avantages principaux sont les suivants:

1. Parmi tous les modes de disposition, c'est celui qui occupe un espace terrestre le plus limité.
2. Comme les neiges usées transportées par les glaces ne fondent habituellement qu'au printemps, certains solides en suspension pourraient sédimenter passablement plus loin dans le fleuve plutôt que dans un point particulier.
3. Au printemps, la rapidité de la dilution diminuerait l'impact local dans le temps.

Malgré ces avantages, le rejet des neiges usées dans le fleuve comporte des inconvénients:

1. Comme les neiges usées originent de territoires plus accidentés comparativement aux autres modes, les concentrations en minéraux et en toxiques (plomb) sont susceptibles d'être plus élevés.
2. Plus que tout autre mode de disposition, celui-ci peut, à certains moments, servir comme dépotoir à déchets.
3. Il élimine toute possibilité de traitement des neiges usées.

### 5.3.6 Le bilan pour la fondeuse fixe

La fondeuse fixe Verdun est le mode de disposition des neiges

urbaines le plus néfaste écologiquement.

Les aspects positifs sont les suivants:

1. Elle possède un système de drainage bien établi, et dans la mesure où aucun bris ne se produit et qu'elle fournit les entrées de neiges usées, cette alternative technique limite l'impact terrestre en évitant l'accumulation des neiges usées sur les terrains.
2. Grâce à des cuvettes de rétention, la fondeuse permet, par décantation, l'enlèvement d'une certaine partie des 210 mg/l de solides en suspension originalement dans les puits.
3. Vu la rapidité des transferts, la vitesse des processus, dans les puits et le collecteur, les microorganismes ne peuvent pas autant se développer et se métaboliser que dans les dépotoirs terrestres; les possibilités de formation de matières toxiques par les bactéries sont réduites, avant l'arrivée des eaux de fonte dans le milieu récepteur.
4. Dans les puits de fonte, le débit d'eau provenant des gicleurs permet une première dilution. <sup>(32)</sup> Celle-ci est augmentée dans le collecteur permettant vraisemblablement des concentrations plus uniformes et des pulses moins élevés de substances toxiques (primaires) inorganiques telles que plomb, fer, zinc dans le fleuve Saint-Laurent.
5. Selon certains chercheurs, le cône de diffusion dans le fleuve est possiblement évitable par les organismes aquatiques. La dif-

---

(32) Note: En 1973-74, des compresseurs à air remplacent ces gicleurs et augmentent la capacité de la fondeuse.

fusion serait moindre que si l'on décharge directement dans le fleuve.

6. A court terme, un meilleur pré-traitement de sédimentation pourrait être installé. Et à long terme, malgré certains problèmes possibles tels que la présence d'ions chlore, sodium et calcium de même qu'un certain pourcentage de neiges usées non fondues, un système de boues activées pourrait être envisagé.

Cependant, malgré ces cotés positifs, plusieurs facteurs rendent inacceptable, au niveau écologique, le choix de cette méthode d'élimination des neiges urbaines:

1. La fondeuse fixe est le seul mode de disposition qui utilise de l'huile en très grande quantité pour fondre la neige.
2. Contrairement aux autres modes de disposition, divers produits provenant de la combustion du pétrole peuvent être rejetés dans l'atmosphère et, s'il y a mauvaise combustion, des produits tels que les phénols et les hydrocarbures, peuvent être très toxiques pour la vie aquatique.
3. A la fondeuse, un processus de décantation peu efficace laisse s'écouler encore une grande partie des solides. Ceux-ci, sur lesquels est absorbée une grande partie des matières toxiques, peuvent, dans le milieu récepteur, précipiter en un point singulier, transformer la morphologie du fond et probablement le cycle de certains métaux lourds.
4. A cause des fluctuations de température, la composante bactériologique peut être modifiée dans le milieu récepteur. Les bactéries peuvent y former des matières toxiques.

5. On peut douter de la possibilité des organismes aquatiques d'éviter le rejet direct et rapide des eaux usées. Même si ce rejet a été dilué, il peut créer, dans un temps très court, des zones hétérogènes dans le fleuve, et placer certains animaux aquatiques dans une période physiologiquement défavorable.
6. Du point de vue traitement, un système de boues activées, qui serait calibré en fonction des orages, fonctionnerait en hiver dans la mesure où sa capacité pourrait être augmentée, et que les problèmes causés par la présence d'ions et d'un certain pourcentage de neige non fondue seraient résolus.

Le bilan final est que la fondeuse fixe est le mode de disposition le plus néfaste pour l'écosystème urbain.

Le gestionnaire connaît maintenant les raisons qui justifient le classement écologique déjà présenté au tableau 14. Il s'agit alors de reconnaître quels sites il faut étudier en vue de tenter d'améliorer l'efficacité écologique. Les possibilités de transformation doivent être inventoriées et, en dernier ressort, l'équilibre écologique doit être recherché économiquement. Cependant, avant de prendre des décisions finales, le gestionnaire doit considérer aussi les impacts de ces sites sur l'activité sociale.

## 6 - ANALYSE DES RESULTATS DU MODELE SOCIAL

Le modèle social déjà formulé permet d'évaluer, de façon marginale, les inconvénients sociaux associés à chaque site de disposition.

Cette sixième partie vise à présenter les résultats de cette évaluation pour les sites de la ville de Québec et à montrer pourquoi tel ou tel mode de disposition est préférable en fonction du critère de l'efficacité sociale.

Nous ferons d'abord la liste des inconvénients sociaux susceptibles d'affecter les sites de disposition. Ensuite, nous expliquerons à l'aide d'un schéma la façon dont le classement social a été obtenu. Enfin, nous présenterons le classement final des sites en fonction du critère de l'efficacité sociale.

### 6.1 Les inconvénients sociaux potentiels

Les impacts négatifs de chaque site sur l'activité humaine ont été analysés au moyen d'une enquête sur le terrain. Des rencontres avec les gestionnaires et les échanges de rapports d'étude ou de recherche se sont aussi avérés d'une grande utilité.

Cette démarche nous a permis d'établir une liste des différents effets négatifs pouvant affecter l'environnement social de l'un ou l'autre des sites.

Ces désavantages sociaux potentiels concernent:

1. les souffleuses ou les camions qui encombrant les rues, engendrent du bruit et polluent l'atmosphère;
2. les déchets ou les saletés qui diminuent l'esthétique du milieu urbain ou dégradent les attraits touristiques;
3. les accumulations de neige qui augmentent les risques d'accidents et de retard pour la navigation fluviale;
4. les opérations qui génèrent parfois des odeurs nauséabondes;
5. les microorganismes potentiellement pathogènes qui peuvent contaminer des sources d'eau à usage domestique et ainsi détériorer la santé de l'homme;
6. les opérations qui entraînent des mesures pour protéger ou remplacer certains arbres ou arbustes;
7. les amoncellements de neige qui peuvent être des facteurs de stress important pour les résidents claustrophobes;
8. et les amoncellements de neige qui peuvent réduire la vision au coin des rues et augmenter les risques d'accidents.

## 6.2 Le calcul du classement social

Les inconvénients sociaux potentiels déjà énumérés servent au calcul du classement social.

Au tableau 15, on attribue à chaque mode de distribution les inconvénients sociaux qui le caractérisent. Par exemple, le premier inconvénient est attribué à tous les modes de disposition tandis que le huitième ne l'est qu'au soufflage le long des rues.

TABLEAU 15

## Attribution des inconvénients sociaux

Mode de disposition	Inconvénient social								Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Déchargement direct à l'égout	X								1
Déchargement au fleuve	X	X	X						3
Fondeuse fixe	X			X					2
Dépotoir terrestre	X	X		X	X				4
Dépotoir terrestre et fondeuse fixe	X	X		X	X				4
Soufflage sur les terrains	X	X				X	X	X	5

En d'autres termes, des souffleuses ou des camions encombrant les rues, engendrent du bruit et polluent l'atmosphère pour tous les modes de disposition tandis que c'est seulement par le soufflage qu'on tend à réduire la vision au coin des rues.

Le total donne le nombre d'inconvénients associés à chaque site.

### 6.3 L'efficacité sociale marginale des sites

Un dernier critère d'efficacité de la disposition de la neige est alors celui des inconvénients sociaux totaux associés au lieu *i* par rapport à celui au lieu *j*.

Le tableau 16 indique le classement des sites de disposition en fonction de la croissance de leurs impacts négatifs sur l'activité humaine.

Le gestionnaire reconnaît ainsi qu'au niveau social, un déchargement direct à l'égout bien aménagé est le mode de disposition le moins néfaste pour l'activité humaine. Cependant, le soufflage le long des rues est celui le plus désavantageux socialement.

Le gestionnaire peut donc prendre en compte dans ses décisions non seulement les coûts du transport et de la disposition, de même que les inconvénients écologiques, mais aussi les désavantages sociaux.

Cependant, s'il semble facile de préférer un site en fonction d'un seul critère, il est plus difficile de déterminer quel site est plus ou moins préférable en fonction de plusieurs critères pris simultanément.

TABLEAU 16

Classement des sites de disposition selon la diminution  
de l'efficacité sociale de la disposition

Rang	Mode de disposition	Lieu de disposition
1	Déchargement direct à l'égout	Site potentiel
2	Fondeuse fixe	Verdun
3	Déchargement au fleuve	Quai Chouinard près du fleuve St-Laurent
4	Dépotoir terrestre	Saint-Sacrement Henri-Bourassa Michelet D'Estimauville
5	Dépotoir terrestre	Franklin Exposition
6	Soufflage sur les terrains	Les Saules Duberger Neufchâtel

C'est pourquoi le défi du gestionnaire devient alors d'intégrer les résultats des trois modèles unicritères en un seul modèle de décision multicritère.

## 7 - INTEGRATION DES RESULTATS DANS UN MODELE DE DECISION MULTICRITERE

Un modèle global de gestion intégrée suppose la prise en compte simultanée de l'efficacité de la disposition en fonction des coûts directs, des inconvénients écologiques et des désavantages sociaux.

Cette septième partie vise à dégager un tel processus de décision multicritère susceptible d'aider le gestionnaire municipal dans les choix des lieux et des modes de disposition.

Nous solutionnerons d'abord le problème d'agrégation des données. Ensuite, nous appliquerons la méthode des notes pondérées. Enfin, nous comparerons certains de ces résultats avec ceux obtenus par la méthode "ELECTRE".

### 7.1 L'agrégation des données

Nous avons déjà obtenu trois classements des sites en fonction de trois critères différents. Au tableau 11, les sites ont été rangés selon l'augmentation du coût économique direct évaluable monétairement. Au tableau 14, ils ont été rangés selon la hausse des désavantages écologiques. De même, au tableau 16, ils ont été classés selon la croissance des inconvénients sociaux.

Ces rangements sont résumés aux tableaux 17 et 18. Tel que montré, les échelles de rangements varient de 1 à 6 pour le critère écologique et de 1 à 5 pour le critère social.

TABLEAU 17  
 Rang des sites selon la diminution  
 des trois critères d'efficacité  
 (Echelle de 7 rangs)

Mode et site de disposition	Critères		
	Coût direct	Impact écologique	Impact social
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Saules, Duberger et Neufchâtel	1	1	5
Déchargement à l'égout potentiel	2	3	1
Dépotoir terrestre Michelet	3	2	4
Quai Chouinard	3	5	3
Dépotoir terrestre d'Estimauville	3	2	4
Dépotoir terrestre Henri-Bourassa	3	2	4
Dépotoir terrestre Saint-Sacrement	4	2	4
Dépotoir terrestre et fonduse fixe Franklin	5	4	4
Fonduse fixe Verdun	6	6	2
Dépotoir terrestre et fonduse fixe Exposition	7	4	4

TABLEAU 18  
Rang des sites selon la diminution  
des trois critères d'efficacité  
(Echelle de 10 rangs)

Mode et site de disposition	Critères		
	Coût direct	Impact écologique	Impact social
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Saules, Duberger et Neufchâtel	1	1	5
Déchargement à l'égout potentiel	2	3	1
Dépotoir terrestre Michelet	3	2	4
Quai Chouinard	4	5	3
Dépotoir terrestre d'Estimauville	5	2	4
Dépotoir terrestre Henri-Bourassa	6	2	4
Dépotoir terrestre Saint-Sacrement	7	2	4
Dépotoir terrestre et fon-			
deuse fixe Franklin	8	4	4
Fondeuse fixe Verdun	9	6	2
Dépotoir terrestre et fon-			
deuse fixe Exposition	10	4	4

Cependant, au tableau 17, l'échelle de rangement pour le critère économique direct varie de 1 à 7. Cela s'explique du fait que les sites de disposition ont été groupés en 7 classes d'intervalle de \$0.0020 comme coût de disposition par pied cube. Par exemple, pour les 4 sites rangés en troisième position, les coûts de disposition varient de \$0.0071 à \$0.0078 par pied cube.

Aussi, au tableau 18, l'échelle de rangement pour le critère économique varie de 1 à 10 et correspond au classement obtenu lorsqu'un site occupe un meilleur rang qu'un autre si le coût de disposition à ce site est inférieur à celui à l'autre site.

Avant de pouvoir procéder à une analyse multicritère, il nous faut résoudre ce problème d'agrégation des données. Cela implique qu'il faut transformer ces rangements de sorte qu'il existe une échelle commune pour les trois critères. (33)

Les notations présentées au tableau 19 proviennent de la transformation des rangs du tableau 17 en notes de la façon suivante:

critère	rang	1	2	3	4	5	6	7
économique	note	7	6	5	4	3	2	1
critère	rang	1	2	3	4	5	6	
écologique	note la plus proche ou la plus haute	7	6	5	4	3	2	1
critère	rang	1	2	3	4	5		
social	note la plus proche ou la plus haute	7	6	5	4	3	2	1

(33) Charest, J., Théorie générale du travail, Supplément aux annales de l'ACFAS, 1972, vol. 39, p. 59.

De même, les notations présentées au tableau 20 proviennent de la transformation des rangs du tableau 18 en notes de la manière suivante:

critère	rang	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
économique	note	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
impact	rang	1	2	3	4	5	6				
écologique	note la	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
		plus proche									
impact	rang	1	2	3	4	5					
social	note la plus	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
		proche ou la									
		plus haute									

Les notations des tableaux 19 et 20 sont donc sur 7 et sur 10 respectivement. Le site préférable est noté 7 ou 10 respectivement selon chacun des critères. Le site le moins préférable est noté 1 selon chacun des critères. Le problème d'agrégation étant résolu, l'analyse multicritère peut être effectuée.

L'analyse multicritère peut se faire selon deux méthodes: celle des notes pondérées et celle appelée Electre. Selon les classements unicitères, nous arrivions à des conclusions différentes selon le critère choisi. En effet, alors que le soufflage le long des rues est économiquement et écologiquement préférable, c'est un déchargement direct à l'égout qui l'est socialement.

Face à de telles conclusions, l'analyse multicritère tend à identifier le site de disposition globalement préférable, c'est-à-dire celui qui constitue la meilleure solution au niveau économique, écologique et

TABLEAU 19  
 Notation des sites selon les trois critères  
 (Echelle de sept points)

Mode et site de disposition	Critères		
	Coût direct	Impact écologique	Impact social
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Saules, Duberger et Neufchâtel	7	7	1
Déchargement à l'égout potentiel	6	5	7
Dépotoir terrestre Michelet	5	6	3
Quai Chouinard	5	2	4
Dépotoir terrestre d'Estimauville	5	6	3
Dépotoir terrestre Henri-Bourassa	5	6	3
Dépotoir terrestre Saint-Sacrement	4	6	3
Dépotoir terrestre et fonduse fixe Franklin	3	3	3
Fondeuse fixe Verdun	2	1	6
Dépotoir terrestre et fonduse fixe Exposition	1	3	3

TABLEAU 20

Notation des sites selon les trois critères

(Echelle de dix points)

Mode et site de disposition	Critères		
	Coût direct	Impact écologique	Impact social
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Saules, Duberger et Neufchâtel	10	10	1
Déchargement à l'égout potentiel	9	6	10
Dépotoir terrestre Michelet	8	8	3
Quai Chouinard	7	3	6
Dépotoir terrestre d'Estimauville	6	8	3
Dépotoir terrestre Henri Bourassa	5	8	3
Dépotoir terrestre Saint-Sacrement	4	8	3
Dépotoir terrestre et fonduse fixe Franklin	3	5	3
Fonduse fixe Verdun	2	1	8
Dépotoir terrestre et fonduse fixe Exposition	1	5	3

social simultanément.

## 7.2 L'analyse par la méthode des notes pondérées

L'application de la méthode des notes pondérées conduit aux constatations suivantes:

1. Selon le tableau 21, un déchargement à l'égout est le mode préférable et la fondeuse combinée Exposition est le site le moins préférable dans le cas où les trois critères ont le même poids relatif et quelle que soit l'échelle de notation utilisée.
2. Selon les tableaux 21 et 22, ces deux sites sont encore le préférable et le moins préférable respectivement dans le cas où l'on accorde de plus en plus d'importance au point de vue économique (facteur évaluable directement en valeur monétaire) et même si la pondération de ce facteur est de 2 à 3 fois supérieure à celle des autres facteurs.
3. Selon les tableaux 21 et 23, les sites préférables et moins préférables respectivement diffèrent dans le cas où l'on accorde de plus en plus d'importance au point de vue écologique (facteur non évaluable directement en valeur monétaire).

En effet, selon les tableaux 23A pour l'échelle de notation variant de 1 à 7, le passage du poids 2 au poids 3 favorise le soufflage par rapport au déchargement à l'égout et fait ressortir que la fondeuse fixe Verdun est aussi défavorable que la fondeuse combinée Exposition.

De même, selon les tableaux 23B, pour l'échelle de notation va-

riant de 1 à 10, ce même passage favorise le soufflage autant qu'un déchargement à l'égout et montre que la fondeuse Verdun est plus défavorable que la fondeuse combinée Exposition.

4. Selon les tableaux 21 et 24, dans le cas où l'on accorde de plus en plus d'importance au point de vue social (facteur non évaluable directement en valeur monétaire) et quelle que soit l'échelle de notation employée, un déchargement à l'égout est le mode préférable et la fondeuse combinée Exposition est le site le moins préférable.
5. Selon les tableaux 25A et 25B, si l'on accorde seulement 20% du poids relatif au critère social, le soufflage est préférable selon les deux échelles, mais un déchargement à l'égout est aussi préférable selon l'échelle variant de 1 à 7.

De même, la fondeuse combinée Exposition est le moins préférable selon l'échelle variant de 1 à 7 tandis que la fondeuse fixe Verdun l'est selon l'échelle variant de 1 à 10.

6. Selon les tableaux 25A et 25B, si l'on accorde seulement 20% du poids relatif au critère économique ou au critère écologique, un déchargement à l'égout est toujours préférable et la fondeuse combinée Exposition est toujours le site le moins préférable.

### 7.3 L'analyse par la méthode ELECTRE

La méthode ELECTRE, tout comme la méthode des notes pondérées, permet de guider le gestionnaire municipal dans le choix multicritère d'un site de disposition. On l'utilise pour donner plus d'importance au critère minoritaire.

TABLEAU 21 A

Choix multicritères (1, 1, 1)

Critères	Coût direct	Impact écologique	Impact social	TOTAL
pondération site de disposition	1	1	1	
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Sau- les, Duberger et Neufchâtel	7	7	1	15
Déchargement à l'égout potentiel	6	5	7	18*
Dépotoir terrestre Michelet	5	6	3	14
Quai Chouinard	5	2	4	11
Dépotoir terrestre d'Esti- mauville	5	6	3	14
Dépotoir terrestre Henri Bourassa	5	6	3	14
Dépotoir terrestre Saint- Sacrement	4	6	3	13
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Franklin	3	3	3	9
Fondeuse fixe Verdun	2	1	6	9
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Exposition	1	3	3	7**

\* Le site préférable

\*\* Le site le moins préférable

TABLEAU 21B

## Choix multicritères (1,1,1)

Critères	Coût direct	Impact écologique	Impact social	TOTAL
pondération site de disposition	1	1	1	
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Sau- les, Duberger et Neufchâtel	10	10	1	21
Déchargement à l'égout potentiel	9	6	10	25*
Dépotoir terrestre Michelet	8	8	3	19
Quai Chouinard	7	3	6	16
Dépotoir terrestre d'Esti- mauville	6	8	3	17
Dépotoir terrestre Henri Bourassa	5	8	3	16
Dépotoir terrestre Saint- Sacrement	4	8	3	15
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Franklin	3	5	3	11
Fondeuse fixe Verdun	2	1	8	11
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Exposition	1	5	3	9**

\* Le site préférable

\*\* Le site le moins préférable

TABLEAU 22A

Choix multicritères (2,1,1)

Critères	Coût direct	Impact écologique	Impact social	TOTAL
pondération site de disposition	2	1	1	
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Sau- les, Duberger et Neufchâtel	14	7	1	22
Déchargement à l'égout potentiel	12	5	7	24*
Dépotoir terrestre Michelet	10	6	3	19
Quai Chouinard	10	2	4	16
Dépotoir terrestre d'Esti- mauville	10	6	3	19
Dépotoir terrestre Henri Bourassa	10	6	3	19
Dépotoir terrestre Saint- Sacremant	8	6	3	17
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Franklin	6	3	3	12
Fondeuse fixe Verdun	4	1	6	11
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Exposition	2	3	3	8**

\* Le site préférable

\*\* Le site le moins préférable

TABLEAU 22A

Choix multicritères (3,1,1)

Critères	Coût direct	Impact écologique	Impact social	TOTAL
pondération site de disposition	3	1	1	
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Sau- les, Duberger et Neufchâtel	21	7	1	29
Déchargement à l'égout potentiel	18	5	7	30*
Dépotoir terrestre Michelet	15	6	3	24
Quai Chouinard	15	2	4	21
Dépotoir terrestre d'Esti- mauville	15	6	3	24
Dépotoir terrestre Henri Bourassa	15	6	3	24
Dépotoir terrestre Saint- Sacrement	12	6	3	21
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Franklin	9	3	3	15
Fondeuse fixe Verdun	6	1	6	13
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Exposition	3	3	3	9**

\* Le site préférable

\*\* Le site le moins préférable

TABLEAU 22B

Choix multicritères (2,1,1)

Critères	Coût direct	Impact écologique	Impact social	TOTAL
pondération site de disposition	2	1	1	
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Sau- les, Duberger et Neufchâtel	20	10	1	31
Déchargement à l'égout potentiel	18	6	10	34**
Dépotoir terrestre Michelet	16	8	3	27
Quai Chouinard	14	3	6	23
Dépotoir terrestre d'Esti- mauville	12	8	3	23
Dépotoir terrestre Henri Bourassa	10	8	3	21
Dépotoir terrestre Saint- Sacrement	8	8	3	19
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Franklin	6	5	3	14
Fondeuse fixe Verdun	4	1	8	13
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Exposition	2	5	3	10**

\* Le site préférable

\*\* Le site le moins préférable

TABLEAU 22B

## Choix multicritères (3,1,1)

Critères	Coût direct	Impact écologique	Impact social	TOTAL
pondération site de disposition	3	1	1	
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Sau- les, Duberger et Neufchâtel	30	10	1	41
Déchargement à l'égout potentiel	27	6	10	43*
Dépotoir terrestre Michelet	24	8	3	35
Quai Chouinard	21	3	6	30
Dépotoir terrestre d'Esti- mauville	18	8	3	29
Dépotoir terrestre Henri Bourassa	15	8	3	26
Dépotoir terrestre Saint- Sacrement	12	8	3	23
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Franklin	9	5	3	17
Fondeuse fixe Verdun	6	1	8	15
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Exposition	3	5	3	11**

\* Le site préférable

\*\* Le site le moins préférable

TABLEAU 23A

Choix multicritères (1,2,1)

Critères	Coût direct	Impact écologique	Impact social	TOTAL
pondération site de disposition	1	2	1	
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Sau- les, Duberger et Neufchâtel	7	14	1	22
Déchargement à l'égout potentiel	6	10	7	23*
Dépotoir terrestre Michelet	5	12	3	20
Quai Chouinard	5	4	4	13
Dépotoir terrestre d'Esti- mauville	5	12	3	20
Dépotoir terrestre Henri Bourassa	5	12	3	20
Dépotoir terrestre Saint- Sacrement	4	12	3	19
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Franklin	3	6	3	12
Fondeuse fixe Verdun	2	2	6	10**
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Exposition	1	6	3	10**

\* Le site préférable

\*\* Le site le moins préférable

TABLEAU 23A

Choix multicritères (1,3,1)

Critères	Coût direct	Impact écologique	Impact social	TOTAL
pondération site de disposition	1	3	1	
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Sau- les, Duberger et Neufchâtel	7	21	1	29*
Déchargement à l'égout potentiel	6	15	7	28
Dépotoir terrestre Michelet	5	18	3	26
Quai Chouinard	5	6	4	15
Dépotoir terrestre d'Esti- mauville	5	18	3	26
Dépotoir terrestre Henri Bourassa	5	18	3	26
Dépotoir terrestre Saint- Sacrement	4	18	3	25
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Franklin	3	9	3	15
Fondeuse fixe Verdun	2	3	6	11**
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Exposition	1	9	3	13

\* Le site préférable

\*\* Le site le moins préférable

TABLEAU 23B

## Choix multicritères (1,2,1)

Critères	Coût direct	Impact écologique	Impact social	TOTAL
pondération site de disposition	1	2	1	
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Sau- les, Duberger et Neufchâtel	10	20	1	31*
Déchargement à l'égout potentiel	9	12	10	31*
Dépotoir terrestre Michelet	8	16	3	27
Quai Chouinard	7	6	6	19
Dépotoir terrestre d'Esti- mauville	6	16	3	25
Dépotoir terrestre Henri Bourassa	5	16	3	24
Dépotoir terrestre Saint- Sacrement	4	16	3	23
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Franklin	3	10	3	16
Fondeuse fixe Verdun	2	2	8	12**
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Exposition	1	10	3	14

\* Le site préférable

\*\* Le site le moins préférable

TABLEAU 23B

Choix multicritères (1,3,1)

Critères	Coût direct	Impact écologique	Impact social	TOTAL
pondération site de disposition	1	3	1	
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Sau- les, Duberger et Neufchâtel	10	30	1	41*
Déchargement à l'égout potentiel	9	18	10	37
Dépotoir terrestre Michelet	8	24	3	35
Quai Chouinard	7	9	6	22
Dépotoir terrestre d'Esti- mauville	6	24	3	33
Dépotoir terrestre Henri Bourassa	5	24	3	32
Dépotoir terrestre Saint- Sacrement	4	24	3	31
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Franklin	3	15	3	21
Fondeuse fixe Verdun	2	3	8	13**
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Exposition	1	15	3	19

\* Le site préférable

\*\* Le site le moins préférable

TABLEAU 24A

## Choix multicritères (1,1,2)

Critères	Coût direct	Impact écologique	Impact social	TOTAL
pondération site de disposition	1	1	2	
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Sau- les, Duberger et Neufchâtel	7	7	2	16
Déchargement à l'égout potentiel	6	5	14	25*
Dépotoir terrestre Michelet	5	6	6	17
Quai Chouinard	5	2	8	15
Dépotoir terrestre d'Esti- mauville	5	6	6	17
Dépotoir terrestre Henri Bourassa	5	6	6	17
Dépotoir terrestre Saint- Sacrement	4	6	6	16
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Franklin	3	3	6	12
Fondeuse fixe Verdun	2	1	12	15
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Exposition	1	3	6	10**

\* Le site préférable

\*\* Le site le moins préférable

TABLEAU 24A

## Choix multicritères (1,1,3)

Critères	Coût direct	Impact écologique	Impact social	TOTAL
site de disposition pondération	1	1	3	
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Sau- les, Duberger et Neufchâtel	7	7	3	17
Déchargement à l'égout potentiel	6	5	21	32*
Dépotoir terrestre Michelet	5	6	9	20
Quai Chouinard	5	2	12	19
Dépotoir terrestre d'Esti- mauville	5	6	9	20
Dépotoir terrestre Henri Bourassa	5	6	9	20
Dépotoir terrestre Saint- Sacrement	4	6	9	19
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Franklin	3	3	9	15
Fondeuse fixe Verdun	2	1	18	21
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Exposition	1	3	9	13**

\* Le site préférable

\*\* Le site le moins préférable

TABLEAU 24B

## Choix multicritères (1,1,2)

Critères	Coût direct	Impact écologique	Impact social	TOTAL
pondération site de disposition	1	1	2	
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Sau- les, Duberger et Neufchâtel	10	10	2	22
Déchargement à l'égout potentiel	9	6	20	35*
Dépotoir terrestre Michelet	8	8	6	22
Quai Chouinard	7	3	12	22
Dépotoir terrestre d'Esti- mauville	6	8	6	20
Dépotoir terrestre Henri Bourassa	5	8	6	19
Dépotoir terrestre Saint- Sacrement	4	8	6	18
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Franklin	3	5	6	14
Fondeuse fixe Verdun	2	1	16	19
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Exposition	1	5	6	12**

\* Le site préférable

\*\* Le site le moins préférable

TABLEAU 24B

## Choix multicritères (1,1,3)

Critères	Coût direct	Impact écologique	Impact social	TOTAL
pondération site de disposition	1	1	3	
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Sau- les, Duberger et Neufchâtel	10	10	3	23
Déchargement à l'égout potentiel	9	6	30	45*
Dépotoir terrestre Michelet	8	8	9	25
Quai Chouinard	7	3	18	28
Dépotoir terrestre d'Esti- mauville	6	8	9	23
Dépotoir terrestre Henri Bourassa	5	8	9	22
Dépotoir terrestre Saint- Sacrement	4	8	9	21
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Franklin	3	5	9	17
Fondeuse fixe Verdun	2	1	24	27
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Exposition	1	5	9	15**

\* Le site préférable

\*\* Le site le moins préférable

TABLEAU 25A

Choix multicritères (2,2,1)

Critères	Coût direct	Impact écologique	Impact social	TOTAL
pondération site de disposition	2	2	1	
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Sau- les, Duberger et Neufchâtel	14	14	1	29*
Déchargement à l'égout potentiel	12	10	7	29*
Dépotoir terrestre Michelet	10	12	3	25
Quai Chouinard	10	4	4	18
Dépotoir terrestre d'Esti- mauville	10	12	3	25
Dépotoir terrestre Henri Bourassa	10	12	3	25
Dépotoir terrestre Saint- Sacrement	8	12	3	23
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Franklin	6	6	3	15
Fondeuse fixe Verdun	4	2	6	12
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Exposition	2	6	3	11**

\* Le site préférable

\*\* Le site le moins préférable

TABLEAU 25A

## Choix multicritères (1,2,2)

Critères	Coût direct	Impact écologique	Impact social	TOTAL
pondération site de disposition	1	2	2	
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Sau- les, Duberger et Neufchâtel	7	14	2	23
Déchargement à l'égout potentiel	6	10	14	30*
Dépotoir terrestre Michelet	5	12	6	23
Quai Chouinard	5	4	8	17
Dépotoir terrestre d'Esti- mauville	5	12	6	23
Dépotoir terrestre Henri Bourassa	5	12	6	23
Dépotoir terrestre Saint- Sacrement	4	12	6	22
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Franklin	3	6	6	15
Fondeuse fixe Verdun	2	2	12	16
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Exposition	1	6	6	13**

\* Le site préférable

\*\* Le site le moins préférable

TABLEAU 25A

## Choix multicritères (2,1,2)

Critères	Coût direct	Impact écologique	Impact social	TOTAL
pondération site de disposition	2	1	2	
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Sau- les, Duberger et Neufchâtel	14	7	2	23
Déchargement à l'égout potentiel	12	5	14	31*
Dépotoir terrestre Michelet	10	6	6	22
Quai Chouinard	10	2	8	20
Dépotoir terrestre d'Esti- mauville	10	6	6	22
Dépotoir terrestre Henri Bourassa	10	6	6	22
Dépotoir terrestre Saint- Sacrement	8	6	6	20
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Franklin	6	3	6	15
Fondeuse fixe Verdun	4	1	12	17
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Exposition	2	3	6	11**

\* Le site préférable

\*\* Le site le moins préférable

TABLEAU 25B

Choix multicritères (2,2,1)

Critères	Coût direct	Impact écologique	Impact social	TOTAL
pondération site de disposition	2	2	1	
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Sau- les, Duberger et Neufchâtel	20	20	1	41*
Déchargement à l'égout potentiel	18	12	10	40
Dépotoir terrestre Michelet	16	16	3	35
Quai Chouinard	14	6	6	26
Dépotoir terrestre d'Esti- mauville	12	16	3	31
Dépotoir terrestre Henri Bourassa	10	16	3	29
Dépotoir terrestre Saint- Sacrement	8	16	3	27
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Franklin	6	10	3	19
Fondeuse fixe Verdun	4	2	8	14**
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Exposition	2	10	3	15

\* Le site préférable

\*\* Le site le moins préférable

TABLEAU 25B

Choix multicritères (1,2,2)

Critères	Coût direct	Impact écologique	Impact social	TOTAL
pondération site de disposition	1	2	2	
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Sau- les, Duberger et Neufchâtel	10	20	2	32
Déchargement à l'égout potentiel	9	12	20	41*
Dépotoir terrestre Michelet	8	16	6	30
Quai Chouinard	7	6	12	25
Dépotoir terrestre d'Esti- mauville	6	16	6	28
Dépotoir terrestre Henri Bourassa	5	16	6	27
Dépotoir terrestre Saint- Sacrement	4	16	6	26
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Franklin	3	10	6	19
Fondeuse fixe Verdun	2	2	16	20
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Exposition	1	10	6	17**

\* Le site préférable

\*\* Le site le moins préférable

TABLEAU 25B

## Choix multicritères (2,1,2)

Critères	Coût direct	Impact écologique	Impact social	TOTAL
pondération site de disposition	2	1	2	
Soufflage sur les terrains dans les districts Les Sau- les, Duberger et Neufchâtel	20	10	2	32
Déchargement à l'égout potentiel	18	6	20	44*
Dépotoir terrestre Michelet	16	8	6	30
Quai Chouinard	14	3	12	29
Dépotoir terrestre d'Esti- mauville	12	8	6	26
Dépotoir terrestre Henri Bourassa	10	8	6	24
Dépotoir terrestre Saint- Sacrement	8	8	6	22
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Franklin	6	5	6	17
Fondeuse fixe Verdun	4	1	16	21
Dépotoir terrestre et fon- deuse fixe Exposition	2	5	6	13**

\* Le site préférable

\*\* Le site le moins préférable

Le principe et un exemple de cette méthode sont exposés à l'annexe D.

Si l'on suit cette méthode, il faut d'abord trouver les axes orientés selon chaque critère. Les graphes ne seront pas tracés du fait que notre problème comprend dix possibilités et qu'ils n'ajoutent rien à l'explication.

Pour le point de vue économique, on a les axes suivants à partir de la notation du tableau 19:

J  $\leftarrow$  A, B, C, D, E, F, G, H, I

I  $\leftarrow$  A, B, C, D, E, F, G, H

H  $\leftarrow$  A, B, C, D, E, F, G

G  $\leftarrow$  A, B, C, D, E, F

F  $\leftarrow$  A, B

$\leftrightarrow$  C, D, E

E  $\leftarrow$  A, B

$\leftrightarrow$  C, D

D  $\leftarrow$  A, B

$\leftrightarrow$  C

C  $\leftarrow$  A, B

B  $\leftarrow$  A

A  $\rightarrow$  B, C, D, E, F, G, H, I, J

où X  $\leftarrow$  Y signifie que X est surclassé par Y,

X  $\leftrightarrow$  Y signifie que X est équivalent à Y et

X  $\rightarrow$  Y signifie que X surclasse Y.

Pour le point de vue écologique, nous avons :

J ← A, B, C, E, F, G  
 I ← A, B, C, D, E, F, G, H, J  
 H ← A, B, C, E, F, G  
 ↔ J  
 G ← A  
 F ← A  
 E ← A  
 D ← A, B, C, E, F, G, H, J  
 C ← A  
 ↔ E, F, G  
 B ← A, C, E, F, G  
 A → B, C, D, E, F, G, H, I, J

Pour le point de vue social, nous avons :

J ← B, D, I  
 I ← B  
 H ← B, D, I  
 G ← B, D, I  
 F ← B, D, I  
 E ← B, D, I  
 D ← B, I  
 C ← B, D, I  
 ↔ E, F, G, H, J  
 B → A, C, D, E, F, G, H  
 A ← B, C, D, E, F, G, H, I, J

L'unanimité des points de vue est obtenue en reportant les seuls axes orientés qui existent simultanément selon les trois critères:

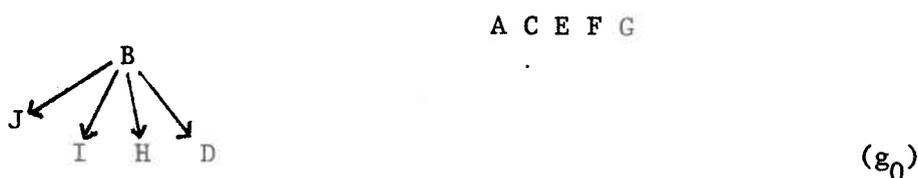
J ← B

I ← B

H ← B

D ← B

Le graphe se présente donc ainsi:



Les sites entre lesquels le choix reste à faire (le noyau) sont donc les sites A, B, C, E, F, G.

Afin de déterminer les sites à éliminer, les matrices de concordance et de discordance sont construites.

Pour la matrice de concordance du tableau 26, on donne aux différents points de vue les poids relatifs suivants:

1. coût direct  $R_1 = 5$
2. impact écologique  $R_2 = 2.5$
3. impact social  $R_3 = 2.5$

soit la même pondération que celle utilisée pour les choix multicritères (2,1,1) du tableau 22A.

En se basant sur la matrice de concordance du tableau 26 et sur

TABLEAU 26

Matrice de concordance (5, 2.5, 2.5)

$C_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
2	0.25	1	0.75	1	0.75	0.75	0.75	1	1	1
3	0.25	0.25	1	0.75	1	1	1	1	0.75	1
4	0.25	0	0.75	1	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
5	0.25	0.25	1	0.75	1	1	1	1	0.75	1
6	0.25	0.25	1	0.75	1	1	1	1	0.75	1
7	0.25	0.25	0.50	0.25	0.50	0.50	1	1	0.75	1
8	0.25	0	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	1	0.75	1
9	0.25	0	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	1	0.75
10	0.25	0	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.50	0.25	1

la matrice de discordance du tableau 27, il apparaît que pour pouvoir dire si le site 1 ou 2 est préférable à tous les autres, il faut

1. soit abaisser le seuil de concordance  $p$  jusqu'à 0.75 et augmenter le seuil de discordance  $q$  jusqu'à 0.85;
2. soit abaisser le seuil de concordance  $p$  jusqu'à 0.25 et élever le seuil de discordance  $q$  jusqu'à 0.28.

Etant donné que le seuil de concordance doit être peu différent de 1 et le seuil de discordance peu différent de 0, on peut obtenir un choix plus satisfaisant en établissant la matrice de discordance basée sur le second écart présenté au tableau 28.

En prenant alors comme seuil  $p \geq 0.75$  et  $q \leq 0.10$ , le site 1 est supérieur au site 2 et à tous les autres sites.

Cette conclusion contredit celle obtenue par la méthode des notes pondérées où un déchargement à l'égout était préférable au soufflage.

Pour analyser la sensibilité des choix aux variations des poids donnés à chaque point de vue, on peut favoriser le point de vue écologique en lui donnant le poids 5 au tableau 29.

En utilisant de nouveau la matrice de discordance basée sur le second écart, on obtient aussi que pour  $p \geq 0.75$  et  $q \leq 0.10$ , le site 1 est supérieur au site 2 et à tous les autres sites.

Cette conclusion contredit aussi celle obtenue par la méthode des notes pondérées où un déchargement à l'égout était préférable au soufflage.

TABLEAU 27

Matrice de discordance  
(premier écart)

$D_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0.85	0.28	0.42	0.28	0.28	0.28	0.28	0.85	0.28
2	0.28	0	0.14	-	0.14	0.14	0.14	0	0	0
3	0.28	0.57	0	0.14	0	0	0	0	0.42	0
4	0.71	0.42	0.57	0	0.57	0.57	0.57	0.14	0.28	0.14
5	0.28	0.57	0	0.14	0	0	0	0	0.42	0
6	0.28	0.57	0	0.14	0	0	0	0	0.42	0
7	0.42	0.57	0.14	0.14	0.14	0.14	0	0	0.42	0
8	0.57	0.57	0.42	0.28	0.42	0.42	0.42	0	0.42	0
9	0.85	0.57	0.71	0.42	0.71	0.71	0.71	0.28	0	0.28
10	0.85	0.71	0.57	0.57	0.57	0.57	0.42	0.28	0.42	0

TABLEAU 28

Matrice de discordance  
(second écart)

$D_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.14	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.14	0.14	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.28	0.14	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.14	0.14	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.14	0.14	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.14	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.42	0.28	0.14	0.28	0.28	0.14	0	0.00	0.00
9	0.71	0.14	0.42	0.14	0.42	0.42	0.28	0.14	0	0.00
10	0.57	0.57	0.42	0.14	0.42	0.42	0.00	0.00	0.14	0

TABLEAU 29

Matrice de concordance (2.5, 5, 5.2)

$C_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
2	0.25	1	0.50	1	0.50	0.50	0.50	1	1	1
3	0.25	0.50	1	0.75	1	1	1	1	0.75	1
4	0.25	0	0.50	1	0.50	0.50	0.50	0.50	0.75	0.75
5	0.25	0.50	1	0.75	1	1	1	1	0.75	1
6	0.25	0.50	1	0.75	1	1	1	1	0.75	1
7	0.25	0.50	0.75	0.50	0.75	0.75	1	1	0.75	1
8	0.25	0	0.25	0.50	0.25	0.25	0.25	1	0.75	1
9	0.25	0	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	1	0.50
10	0.25	0	0.25	0.50	0.25	0.25	0.25	0.75	0.50	1

Enfin, en favorisant le point de vue social au tableau 30 et en utilisant la matrice de discordance basée sur le second écart, pour  $p \geq 0.50$  et  $q \neq 0.10$ , le site 1 est supérieure à 2.

Bien que le seuil de concordance est très éloigné de 1, il est le plus satisfaisant.

Encore une fois, cette conclusion contredit celle obtenue par la méthode des notes pondérées où un déchargement à l'égout était préférable au soufflage. Il est à noter cependant que d'après cette analyse, les résultats sont insensibles aux variations des poids donnés à chaque point de vue.

D'autres analyses ont été faites aux tableaux 31A à 31G, pour différentes pondérations des critères.

Tel que montré au tableau 32, qui résume les résultats de l'analyse selon la méthode ELECTRE tout en les comparant à ceux obtenus par la méthode des notes pondérées, les résultats sont peu sensibles aux variations des poids accordés à chaque point de vue.

De plus, avec la méthode des notes pondérées, un déchargement à l'égout potentiel est le plus souvent préférable tandis qu'avec la méthode ELECTRE, c'est le soufflage le long des rues qui est le site préférable dans le plus grand nombre de cas.

Enfin, le gestionnaire municipal peut utiliser l'une ou l'autre des méthodes selon son jugement. En général, la première méthode semble tenir beaucoup plus compte des trois critères simultanément que la deuxième, qui tend à sous-considérer l'importance du critère social.

TABLEAU 30

Matrice de concordance(2.5, 2.5, 5)

$C_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
2	0.50	1	0.75	1	0.75	0.75	0.75	1	1	1
3	0.50	0.25	1	0.50	1	1	1	1	0.50	1
4	0.50	0	0.75	1	0.75	0.75	0.75	0.75	0.50	0.75
5	0.50	0.25	1	0.50	1	1	1	1	0.50	1
6	0.50	0.25	1	0.50	1	1	1	1	0.50	1
7	0.50	0.25	0.75	0.25	0.75	0.75	1	1	0.50	1
8	0.50	0	0.50	0.25	0.50	0.50	0.50	1	0.50	1
9	0.50	0	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	1	0.75
10	0.50	0	0.50	0.25	0.50	0.50	0.50	0.50	0.25	1

TABLEAU 31A

Matrice de concordance (3.33, 3.33, 3.33)

$C_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
2	0.33	1	0.66	1	0.66	0.66	0.66	1	1	1
3	0.33	0.33	1	0.66	1	1	1	1	0.66	1
4	0.33	0.00	0.66	1	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66
5	0.33	0.33	1	0.66	1	1	1	1	0.66	1
6	0.33	0.33	1	0.66	1	1	1	1	0.66	1
7	0.33	0.33	0.66	0.33	0.66	0.66	1	1	0.66	1
8	0.33	0.00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1	0.66	1
9	0.33	0.00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1	0.66
10	0.33	0.00	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.66	0.33	1

TABLEAU 31B

Matrice de concordance (6,2,2)

$C_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
2	0.2	1	0.8	1.0	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0
3	0.2	0.2	1	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	1.0
4	0.2	0.0	0.8	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
5	0.2	0.2	1.0	0.8	1	1.0	1.0	1.0	0.8	1.0
6	0.2	0.2	1.0	0.8	1.0	1	1.0	1.0	0.8	1.0
7	0.2	0.2	0.4	0.2	0.4	0.4	1	1.0	0.8	1.0
8	0.2	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1	0.8	1.0
9	0.2	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1	0.8
10	0.2	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2	1

TABLEAU 31C

Matrice de concordance (2,6,6,2)

$C_{11}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
2	0.2	1	0.4	1.0	0.4	0.4	0.4	1.0	1.0	1.0
3	0.2	0.6	1	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	1.0
4	0.2	0.0	0.4	1	0.4	0.4	0.4	0.4	0.8	0.4
5	0.2	0.6	1.0	0.8	1	1.0	1.0	1.0	0.8	1.0
6	0.2	0.6	1.0	0.8	1.0	1	1.0	1.0	0.8	1.0
7	0.2	0.6	0.8	0.6	0.8	0.8	1	1.0	0.8	1.0
8	0.2	0.0	0.2	0.6	0.2	0.2	0.2	1	0.8	1.0
9	0.2	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1	0.4
10	0.2	0.0	0.2	0.6	0.2	0.2	0.2	0.8	0.6	1

TABLEAU 31D

Matrice de concordance (2,2,6)

$C_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
2	0.6	1	0.8	1.0	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0
3	0.6	0.2	1	0.4	1.0	1.0	1.0	1.0	0.4	1.0
4	0.6	0.0	0.8	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.4	0.8
5	0.6	0.2	1.0	0.4	1	1.0	1.0	1.0	0.4	1.0
6	0.6	0.2	1.0	0.4	1.0	1	1.0	1.0	0.4	1.0
7	0.6	0.2	0.8	0.2	0.8	0.8	1	1.0	0.4	1.0
8	0.6	0.0	0.6	0.2	0.6	0.6	0.6	1	0.4	1.0
9	0.6	0.0	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	1	0.8
10	0.6	0.0	0.6	0.2	0.6	0.6	0.6	0.6	0.2	1

TABLEAU 31 E

Matrice de concordance (4,4,2)

$C_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
2	0.2	1	0.6	1.0	0.6	0.6	0.6	1.0	1.0	1.0
3	0.2	0.4	1	0.8	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	1.0
4	0.2	0.0	0.6	1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	0.6
5	0.2	0.4	1.0	0.8	1	1.0	1.0	1.0	0.8	1.0
6	0.2	0.4	1.0	0.8	1.0	1	1.0	1.0	0.8	1.0
7	0.2	0.4	0.6	0.4	0.6	0.6	1	1.0	0.8	1.0
8	0.2	0.0	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2	1	0.8	1.0
9	0.2	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1	0.6
10	0.2	0.0	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2	0.6	0.4	1

TABLEAU 31F

Matrice de concordance (2,4,4)

$C_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
2	0.4	1	0.6	1.0	0.6	0.6	0.6	1.0	1.0	1.0
3	0.4	0.4	1	0.6	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6	1.0
4	0.4	0.0	0.6	1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
5	0.4	0.4	1.0	0.6	1	1.0	1.0	1.0	0.6	1.0
6	0.4	0.4	1.0	0.6	1.0	1	1.0	1.0	0.6	1.0
7	0.4	0.4	0.8	0.4	0.8	0.8	1	1.0	0.6	1.0
8	0.4	0.0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	1	0.6	1.0
9	0.4	0.0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	1	0.6
10	0.4	0.0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.8	0.4	1

TABLEAU 31 G

Matrice de concordance (4,2,4)

$C_{ij}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
2	0.4	1	0.8	1.0	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0
3	0.4	0.2	1	0.6	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6	1.0
4	0.4	0.0	0.8	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.8
5	0.4	0.2	1.0	0.6	1	1.0	1.0	1.0	0.6	1.0
6	0.4	0.2	1.0	0.6	1.0	1	1.0	1.0	0.6	1.0
7	0.4	0.2	0.6	0.2	0.6	0.6	1	1.0	0.6	1.0
8	0.4	0.0	0.4	0.2	0.4	0.4	0.4	1	0.6	1.0
9	0.4	0.0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	1	0.8
10	0.4	0.0	0.4	0.2	0.4	0.4	0.4	0.6	0.2	1

TABLEAU 32

Comparaison entre les deux méthodes multicritères

Pondération des critères éco- éco- so- nomi- logi- ci- que que al			Sites préférables			
			Méthode des notes pondérées	Méthode ELECTRE	Valeur de	
					P	q*
			Echelle de sept points			
1	1	1	déchargement à l'égout	soufflage	0.66	0.00
3	1	1	déchargement à l'égout	soufflage	0.8	0.00
2	1	1	l'égout	soufflage	0.75	0.00
1	3	1	soufflage	soufflage	0.8	0.00
1	2	1	déchargement à l'égout	soufflage	0.75	0.00
1	1	3	déchargement à l'égout	déchargement à l'égout	0.6	0.14
1	1	2	l'égout	soufflage	0.5	0.00
2	2	1	soufflage déchargement à l'égout	soufflage	0.8	0.00
1	2	2	déchargement à l'égout	soufflage	0.6	0.00
2	1	2	déchargement à l'égout	soufflage	0.6	0.00

\* Selon la matrice de discordance du second écart

## 8 - CONCLUSION

Dans cette étude, nous avons élaboré un modèle de gestion intégré permettant au gestionnaire municipal de mieux choisir les lieux et les modes de disposition des neiges urbaines.

L'application d'un tel modèle à la gestion de la disposition des neiges usées dans le Québec métropolitain démontre non seulement son utilité pour définir et analyser les problèmes, mais aussi y apporter des solutions ou des éléments de solutions efficaces globalement.

Dans la ville de Québec, les neiges usées sont disposées par cinq méthodes différentes: le soufflage sur les terrains le long des rues, le dépotoir terrestre, la fondeuse fixe, la fondeuse combinée et le rejet direct en milieu aquatique. Contrairement à la ville de Montréal, le déchargement direct à l'égout n'est pas utilisé.

Parmi ces multiples méthodes disponibles, le soufflage sur les terrains le long des rues est la plus efficace techniquement: un volume maximum de neige est disposé en un temps minimum. Sur cet aspect, le rejet direct en milieu aquatique, tel le quai Chouinard, dans la ville de Québec, est une méthode inefficace.

Du point de vue économique, il s'agit de minimiser les coûts totaux de transport ou de disposition en général ou d'identifier en particulier les sites de disposition dont les coûts moyens de transport ou de disposition sont minima ou maxima.

En général, les résultats du modèle de transport et du modèle de disposition confirment le fait que la cédule de transport et de disposition choisie par la municipalité en 1972-73 est économiquement efficace. Par approximations successives, les gestionnaires municipaux parviennent ainsi, à court terme, à minimiser les frais totaux de transport de la neige de même que la somme globale des dépenses d'opération et d'entretien des sites de disposition. Cependant, en longue période, étant donné que les dépenses d'investissement initiales doivent être considérées dans les analyses coût/efficacité, il est très peu probable que cette situation soit économiquement optimale: les fondeuses utilisées actuellement sont très dispendieuses à acheter, à faire fonctionner et à entretenir.

Quant à l'efficacité économique à court terme des sites de disposition eux-mêmes, il est très inefficace de transporter la neige spécialement à la fondeuse Verdun et, en général, de la disposer aux fondeuses seules ou combinées plutôt qu'aux dépotoirs terrestres ou au quai Chouinard.

Du point de vue écologique, il s'agit de classer les sites de disposition selon leur impact négatif le plus probable sur la faune et la flore aquatique et terrestre.

Au total, vingt chercheurs ont participé à cette évaluation. Les classements obtenus diffèrent autant selon les chercheurs que selon leur classe disciplinaire.

Cependant, le gestionnaire écologique considère que la fondeuse fixe est le mode de disposition le plus néfaste pour l'écosystème urbain

tandis que le soufflage le long des rues est celui le plus efficace.

Du point de vue social, il s'agit de classer les modes de disposition en fonction des nuisances ou inconvénients qu'ils causent à l'activité humaine.

Le gestionnaire social reconnaît qu'un déchargement direct à l'égout bien aménagé est le mode de disposition le moins néfaste et que le soufflage le long des rues est une méthode très inefficace.

En somme, les choix des lieux et les modes de disposition peuvent être l'oeuvre d'un gestionnaire technique, d'un gestionnaire économique, d'un gestionnaire écologique ou d'un gestionnaire social. Aussi longtemps que ce genre de gestion disciplinaire existera, les interventions dans le milieu urbain hivernal seront inefficaces globalement.

Au niveau global, l'analyse multicritère permet d'intégrer tous ces points de vue et de choisir des sites de disposition compatibles sur les plans économique, écologique et social.

Par ce processus de gestion intégré, la méthode des notes pondérées aide le gestionnaire à choisir, la plupart du temps, le déchargement direct à l'égout. La méthode "ELECTRE" avantage le soufflage le long des rues.

La méthode des notes pondérées, contrairement à la méthode "ELECTRE", permet aussi de classer globalement les sites de disposition. Ainsi, pour la ville de Québec, cette méthode avantage les sites suivants, dans l'ordre:

1. Déchargement à l'égout potentiel;
2. Soufflage le long des rues dans les districts Les Saules, Duberger et Neufchâtel;
3. Dépotoir terrestre Michelet;
4. Dépotoir terrestre d'Estimauville;
5. Quai Chouinard;
6. Dépotoir terrestre Henri-Bourassa;
7. Dépotoir terrestre Saint-Sacrement;
8. Fondeuse fixe Verdun;
9. Fondeuse combinée Franklin;
10. Fondeuse combinée Exposition.

Plus précisément, il faudrait d'abord continuer de disposer la neige par soufflage dans les districts Les Saules, Duberger et Neufchâtel, prévoir ensuite des déchargements à l'égout et, en dernier ressort, utiliser les dépotoirs terrestres.

Les rejets au fleuve et les fondeuses fixes seules ou combinées avec des dépotoirs ne seraient pas souhaitables sur le plan économique, social et écologique.

Enfin, ce processus de décision multicritère, même s'il permet de mieux choisir les méthodes de disposition des neiges urbaines, ne conduit pas nécessairement à une gestion optimale à long terme.

Pour justifier les choix à long terme, il faudrait classer les sites et modes de disposition possibles en fonction de leurs coûts moyens actualisés sur une période d'analyse plus longue.

Ces coûts actualisés incluraient les déboursés futurs associés au transport de la neige, à l'achat, l'entretien et l'opération des modes de disposition et aux modifications à apporter pour minimiser les coûts écologiques et sociaux engendrés par ces méthodes.

La poursuite d'une telle étude bénéficierait grandement des résultats de la présente analyse socio-écologique du fait que, dans le futur, il est fort probable que de tels impacts tendent à augmenter si aucune modification n'est apportée.

LISTE DES OUVRAGES CITES

- Baumann, D.D., Russell, C., Urban Snow Hazard: Economic and Social Implications, Research Report no. 37, University of Illinois, Water Resources Centre, Illinois, April 1971.
- Blackburn, R.R. et al., Economic Evaluation of the Effects of Ice and Frost on Bridge Decks, Final Report, Midwest Research Institute, National Cooperative Highways Research Program, Kansas City, Missouri, Sept. 1971.
- Charest, J., Théorie générale du travail, Supplément aux annales de l'ACFAS, 1972.
- Churchman, C.W., Ackoff, R.L., An Approximate Measure of Value, Operations Research, 1954.
- Dooley, J.E., Decision on Social and Technological Tasks Incorporating Expression of Preference and Environmental Insult, Management Science, 1974.
- Environmental Impact of Highway De-Icing, Environmental Protection Agency, Water Quality Research Edison, New Jersey, June 1971.
- Fromm, H.J., Corrosion of Auto-Body Steel and the Effects of Inhibited De-Icing Salts, Highway Research Record Number 227, Highway Research Board, N.R.C., Washington, D.C., 1968.

- Groupe d'études du déneigement urbain, Manuel du déneigement et de la lutte contre le verglas dans les régions urbaines, Mémoire technique no. 93F, Conseil national de Recherches, Ottawa, 1967.
- Hanes, R.E., Zelanzy, L.W., and Blaser, R.E., Effects of Deicing Salts on Water Quality and Biota, National Cooperative Highway Research Program Report 91, Highway Research Board, 1970.
- Huber, G.P., Multi-Attribute Utility Models: A review of Field and Field-Like Studies, Management Science, 1974.
- Hutchinson, F.E., The Influence of Salts Applied to Highways on the Levels of Sodium and Chloride Ions Present in Water and Soil Samples, Office of Water Resources Research Project A-007-ME, June 1969.
- Information-Sel, Dossier du sel de déglacage, Recueil de rapports publics de recherche et d'articles généraux concernant les effets du sel de déglacage, Montréal.
- James, D.L., Lee, R.R., Economics of Water Resources Planning, McGraw-Hill Book Company, 1971.
- Kendall, M.G., Rank Correlation Methods, Hafner Publishing Company, 1955.
- La-Barre, N., Milne, J.F., Oliver, B.G., Lead Contamination of Snow, Water Research, Pergamon Press, 1973.
- Levy-Lambert, H., Guillaume, H., Rationalisation des choix budgétaires, Presses Universitaires de France, Paris, 1971.

Loomba, N.P., Linear, Programming, McGraw-Hill Book Company, 1964.

Marshall, L.J., Forecasting Snow Disposal Requirements, 14th Annual North American Snow Conference, Winnipeg, Manitoba, April 1974.

Murray, D.M., Eigerman, M.R., A Search: New Technology for Pavement Snow and Ice Control, Environmental Protection Agency, Storm and Combined Sewer Technology Branch, Edison, New Jersey, December 1972.

Ontario Water Resources Commission, Deicing Salt as a Source of Water Pollution, February 1971.

Palmer, J.D., Corrosion Effects of De-Icing Salts on Automobiles, Materials Protection and Performance, Nov. 1971.

Report of the Technical Task Force on Snow Disposal in the Metropolitan Toronto Area, February 1972.

Richards, J.L. & Associés, Labrecque, Vézina & Associés, Etude de 20 ans sur la disposition de la neige dans la municipalité régionale d'Ottawa-Carleton et la communauté régionale de l'Outaouais, Rapport intérimaire, Sept. 1972.

Smith, H.H., Progress Report on NCHRP Project 16-1 Effects of Deicing Compounds on Vegetation and Water Supplies, National Cooperative Highway Research Program, Highway Research Board, Dec. 1968.

Ville de Québec, Division de la voie publique, Cahier des charges, Déneigement 1972, 1972.

Visser, S.A., The Microflora of a Snow Depository in the City of Quebec,  
Québec, 1973.

ANNEXE A

PROGRAMME "APL" UTILISE

TRANSPORTHOW

TRANSPORTATION PROBLEM  
 S←TRANSPORT COST  
 ENTERED:10/11/68

THIS FUNCTION USES THE PRIMAL-DUAL ALGORITHM TO SOLVE THE TRANSPORTATION PROBLEM. COST IS AN (M+1)×(N+1) MATRIX, WHERE COST[I;J] IS THE UNIT COST OF SHIPPING FROM ORIGIN I TO DESTINATION J, WHERE I=1,...,M AND J=1,...,N. COST[I;N+1] IS THE AMOUNT AVAILABLE AT ORIGIN I, I=1,...,M, AND COST[M+1;J] IS THE AMOUNT REQUIRED AT DESTINATION J, J=1,...,N. COST[M+1;N+1] IS ARBITRARY. THE SUM OF THE ORIGIN AVAILABILITIES MUST BE EQUAL TO THE SUM OF THE DESTINATION REQUIREMENTS.

S IS AN M×N MATRIX WITH S[I;J] GIVING THE NUMBER OF UNITS SHIPPED FROM ORIGIN I TO DESTINATION J IN THE OPTIMAL SOLUTION. THE CORRESPONDING MINIMUM COST IS GIVEN IN THE GLOBAL SCALAR VARIABLE MINCOST.

REQUIRES NETFLOW.

```

▽TRANSPORT[[]]▽
▽ S←TRANSPORT COST;A;B;R;C;U;V;X;H;I;J;K;I1;J1
[1] A←COST[1R←1+(ρCOST)[1];(ρCOST)[2]]
[2] B←COST[(ρCOST)[1];1C←1+(ρCOST)[2]]
[3] COST←COST[1R;1C]
[4] V←1/[1] COST-φ(φρS+(R,C)ρ0)ρU←1/COST
[5] I←1+1|(X←((0=COST-U0.+V)/1R×C)-1)÷C
[6] J←(K←1)+C|X
[7] S[I[K];J[K]]←[ /0,1/(A[I[K]]-+ /S[I[K];]),B[J[K]]-+/[1] S[;J[K]]
[8] →((ρI)≥K+K+1)/7
[9] G←(2ρN+R+C+2)ρ0
[10] G[1+1R;1+R+1C]←(100000×0=COST-U0.+V)-S
[11] G[1+R+1C;1+1R]←φS
[12] G[1;1+1R]←A-+ /S
[13] G[1+R+1C;N]←B-+/[1] S
[14] NETFLOW
[15] →(0=+ /G[;N])/21
[16] H←1 / / COST[I1;J1]-U[I1←(DELTA[1+1R]>0)/1R]0.+V[J1←(DELTA[R+1+1C]=0)/1C]
[17] U[I1]←U[I1]+H
[18] V[J1]←V[J1←(∼(1C)εJ1)/1C]-H
[19] G+G×G≠100000
[20] →14,ρG[I1;J1]←G[I1;J1]+100000×(G[I1←1+1R;J1←1+R+1C]=0)∧0=COST-U0.+V
[21] MINCOST←+ /, COST×S+(100000×0=COST-U0.+V)-G[1+1R;1+R+1C]
▽
▽NETFLOW[[]]▽
▽ NETFLOW;GAMMA;STAGE;I;J;K;I1;F;R
[1] FLOW←0
[2] DELTA←([ / /G), (∼1+ρGAMMA+Nρ(STAGE←(1N)≤1)[N])ρ0
[3] I←(ρR+(STAGE=K+[ /STAGE)/1N)[1]
[4] →(0=ρJ+((DELTA=0)∧G[I1←R[I];]>0)/1N)/7
[5] DELTA[J]←G[I1;J]|DELTA[I1]
[6] GAMMA[J]←J1
[7] →((ρR)≥I+J+1)/4
[8] →((0=ρI+((DELTA>0)∧STAGE=0)/1N),DELTA[N]>0)/ 0 10
[9] →3,STAGE[I]←K+1
[10] FLOW←FLOW+F+DELTA[J+N]
[11] I←GAMMA[J]
[12] G[I;J]←G[I;J]-F
[13] G[J;I]←G[J;I]+F
[14] → 2 11[1+1<J+I]
▽

```

ANNEXE B

PRESENTATION DES DONNEES D'ENTREES

DU MODELE DE DISPOSITION

Pour les différents essais du modèle de disposition, les données du problème à résoudre portaient essentiellement sur les trois composantes suivantes:

1. le volume horaire de neige qu'il est possible d'enlever du territoire d'origine  $i$  (pieds cubes par heure);
2. le volume horaire de neige qu'il est possible de décharger au lieu de disposition  $j$  (pieds cubes par heure);
3. le coût de disposition d'un pied cube de neige du territoire d'origine  $i$  au lieu de disposition  $j$  (dollars par pied cube).

Cette annexe sert à présenter les différentes variables que nous avons utilisées pour estimer ces trois composantes exogènes au modèle.

Durant l'hiver 1972-73, l'année de référence, la cédule de transport comportait 33 trajets entre 33 territoires d'origine et huit lieux de disposition. Les 25 premiers vecteurs présentés aux tableaux B-1 à B-7 décrivent cette situation de référence.

Pour le premier essai du modèle, nous avons ainsi deux composantes, c'est-à-dire V9, les volumes horaires de neige dans les territoires d'origine et V23, les volumes horaires de neige dans les lieux de disposition. Pour les essais subséquents, les capacités d'un ou de plusieurs lieux de disposition ont été augmentées selon les besoins.

De plus, pour satisfaire les besoins des autres essais du modèle, les matrices présentées aux tableaux B-8 à B-11 ont été estimées.

Enfin, la matrice V28, la troisième composante exogène, a été utilisée dans la plupart des essais.

TABLEAU B-1  
Données d'entrées

V1	V2	V3	V4	V5	V22
1	27690	40	1107600	685	6
2	22810	40	912400	600	6
3	22875	30	686250	700	5
4	27305	40	1092200	550	5
5	27700	40	1108000	550	5
6	25595	40	1023800	600	5
7	23825	40	953000	550	6
8	9266	40	370640	600	6
9	18534	40	743160	600	7
10	10094	35	353290	600	6
11	20186	35	706510	600	7
12	6945	35	243075	600	6
13	20835	35	729225	600	7
14	39600	42	1663200	550	5
15	14520	60	871200	550	7
16	19800	52	1029600	550	6
17	19486	33	643038	700	4
18	19486	33	643038	700	2
19	24219	40	968760	500	4
20	28230	50	1411500	700	3
21	28203	50	1410150	1000	3
22	23579	60	1414740	450	4
23	11790	60	707400	450	2
24	11790	60	707400	450	3
25	23200	35	812000	600	1
26	38580	30	1157400	600	3
27	147676	20	2953520	500	1
28	39737	20	794740	450	2
29	19868	35	695380	550	3
30	29000	36	1044000	650	8
31	42400	36	1526400	650	8
32	19300	36	694800	650	8
33	50000	36	1800000	650	8

TABLEAU B-2  
Données d'entrées

V1	V6	V7	V8	V9	V22
1	14.0	3.0	42.0	28770	6
2	10.0	4.0	40.0	24000	6
3	7.0	6.5	45.5	31850	5
4	11.0	4.0	44.0	24200	5
5	15.0	3.0	45.0	24750	5
6	12.0	3.5	42.0	25200	5
7	12.0	3.0	36.0	19800	6
8	5.0	3.5	17.5	10500	6
9	10.0	3.5	35.0	21000	7
10	5.0	4.5	22.5	13500	6
11	10.0	4.5	45.0	27000	7
12	2.5	5.0	12.5	7500	6
13	7.5	5.0	37.0	22500	7
14	22.0	5.0	110.0	60500	5
15	15.0	4.0	60.0	33000	7
16	19.0	4.0	76.0	41800	6
17	9.0	4.0	36.0	25200	4
18	9.0	4.0	36.0	25200	2
19	6.0	4.0	24.0	12000	4
20	8.0	4.0	32.0	22400	3
21	6.0	2.5	15.0	15000	3
22	20.0	4.0	80.0	36000	4
23	10.0	4.0	40.0	18000	2
24	10.0	4.0	40.0	18000	3
25	10.0	3.0	30.0	18000	1
26	10.0	4.0	40.0	24000	3
27	35.0	2.5	87.5	43750	1
28	20.0	4.0	80.0	36000	2
29	10.0	4.0	40.0	22000	3
30	15.0	3.5	52.5	34125	8
31	9.0	5.5	49.5	32175	8
32	15.0	3.5	52.5	34125	8
33	8.0	3.5	28.0	18200	8

TABLEAU B-3

## Données d'entrées

V1	V10	V11	V12	V13	V22
1	4.50	189.00	0.006569	13.50	6
2	4.20	168.00	0.007000	16.80	6
3	4.60	209.30	0.006571	29.90	5
4	3.90	171.60	0.007091	15.60	5
5	3.90	175.50	0.007091	11.70	5
6	4.20	176.40	0.007000	14.70	5
7	3.90	140.40	0.007091	11.70	6
8	4.20	73.50	0.007000	14.70	6
9	4.20	147.00	0.007000	14.70	7
10	4.20	94.50	0.007000	18.90	6
11	4.20	189.00	0.007000	18.90	7
12	4.20	52.50	0.007000	21.00	6
13	4.20	157.50	0.007000	21.00	7
14	3.90	429.00	0.007091	19.50	5
15	3.90	234.00	0.007091	15.60	7
16	3.90	296.40	0.007091	15.60	6
17	4.60	165.60	0.006571	18.40	4
18	4.60	165.60	0.006571	18.40	2
19	3.60	86.40	0.007200	14.40	4
20	4.60	147.20	0.006571	18.40	3
21	5.10	76.50	0.005100	12.75	3
22	3.35	268.00	0.007444	13.40	4
23	3.35	134.00	0.007444	13.40	2
24	3.35	134.00	0.007444	13.40	3
25	4.20	126.00	0.007000	12.60	1
26	4.20	168.00	0.007000	16.80	3
27	3.60	315.00	0.007200	9.00	1
28	3.35	268.00	0.007444	13.40	2
29	3.90	156.00	0.007091	15.60	3
30	4.40	231.00	0.006769	15.40	8
31	4.40	217.80	0.006769	24.20	8
32	4.40	231.00	0.006769	132.00	8
33	4.40	123.20	0.006769	15.40	8

TABLEAU B-4  
Données d'entrée

V1	V14	V15	V16	V22
1	193.00	386.00	1158.00	6
2	212.00	424.00	1696.00	6
3	89.00	178.00	1157.00	5
4	59.00	118.00	472.00	5
5	100.00	200.00	600.00	5
6	173.00	346.00	1211.00	5
7	243.00	486.00	1458.00	6
8	242.00	484.00	1694.00	6
9	173.00	346.00	1211.00	7
10	174.00	348.00	1566.00	6
11	134.00	268.00	1206.00	7
12	113.00	226.00	1130.00	6
13	85.00	170.00	850.00	7
14	105.25	210.50	1052.50	5
15	130.67	261.33	1045.33	7
16	196.17	392.33	1569.33	6
17	114.00	228.00	912.00	4
18	106.00	212.00	128.00	2
19	90.00	180.00	720.00	4
20	158.00	316.00	1264.00	3
21	86.00	172.00	430.00	3
22	102.00	204.00	816.00	4
23	106.00	212.00	128.00	2
24	122.00	244.00	976.00	3
25	172.00	344.00	1032.00	1
26	47.00	94.00	376.00	3
27	172.00	344.00	860.00	1
28	106.00	212.00	128.00	2
29	122.00	244.00	976.00	3
30	161.00	322.00	1127.00	8
31	48.00	96.00	528.00	8
32	132.00	264.00	924.00	8
33	146.50	293.00	1025.50	8

TABLEAU B-5  
Données d'entrées

V1	V17	V18	V22
1	0.011658	1.191358	6
2	0.009906	1.308642	6
3	0.025843	0.549383	5
4	0.033051	0.364198	5
5	0.019500	0.617284	5
6	0.012139	1.067901	5
7	0.008025	1.500000	6
8	0.008678	1.493827	6
9	0.012139	1.067901	7
10	0.012069	1.074074	6
11	0.015672	0.827160	7
12	0.018584	0.697531	6
13	0.024706	0.524691	7
14	0.018527	0.649691	5
15	0.014923	0.806584	7
16	0.009941	1.210905	6
17	0.020175	0.703704	4
18	0.143750	0.098765	2
19	0.020000	0.555556	4
20	0.014557	0.975359	3
21	0.029651	0.530864	3
22	0.016422	0.629630	4
23	0.104688	0.098765	2
24	0.013730	0.753086	3
25	0.012209	0.061728	1
26	0.044681	0.290123	3
27	0.010465	1.061728	1
28	0.104688	0.098765	2
29	0.015984	0.753086	3
30	0.013665	0.993827	8
31	0.045833	0.296296	8
32	0.016667	0.814815	8
33	0.015017	0.904321	8

TABLEAU B-6  
Données d'entrées

V1	V19	V20	V21	V22
1	2.382716	7.148148	D	6
2	2.617284	10.469136	D	6
3	1.098765	7.141975	DF	5
4	0.728395	2.913580	DF	5
5	1.234568	3.703704	DF	5
6	2.135802	7.475309	DF	5
7	3.000000	9.000000	D	6
8	2.987654	10.456790	D	6
9	2.135802	7.475309	D	7
10	2.148148	9.666667	D	6
11	1.654321	7.444444	D	7
12	1.395062	6.975309	D	6
13	1.049383	5.246914	D	7
14	1.299383	6.496914	DF	5
15	1.613169	6.452675	D	7
16	2.421811	9.687243	D	6
17	1.407407	5.629630	F	4
18	0.197531	0.790123	DF	2
19	1.111111	4.444444	F	4
20	1.950617	7.802469	D	3
21	1.061728	2.654321	D	3
22	1.259259	5.037037	F	4
23	0.197531	0.790123	DF	2
24	1.506173	6.024691	D	3
25	2.123457	6.370370	D	1
26	0.580247	2.320988	D	3
27	2.123457	5.308642	D	1
28	0.197531	0.790123	DF	2
29	1.506173	6.024691	D	3
30	1.987654	6.956790	D	8
31	0.592593	3.259259	D	8
32	1.629630	5.703704	D	8
33	1.808642	6.330247	D	8

## TABLEAU B-7

## Données d'entrées

V23	V24	V25
61750	1	D
79200	2	DF
101400	3	D
73200	4	F
166500	5	DF
145870	6	D
103500	7	D
118625	8	D

TABLEAU B-8

V26		Données d'entrées			
V1	V24	1	2	3	4
1		214.00	289.00	394.00	252.00
2		289.00	317.00	413.00	255.00
3		333.00	268.00	352.00	189.00
4		407.00	327.00	396.00	233.00
5		469.00	384.00	443.00	288.00
6		430.00	431.00	508.00	344.00
7		357.00	365.00	450.00	287.00
8		432.00	497.00	582.00	519.00
9		432.00	497.00	582.00	519.00
10		342.00	429.00	522.00	362.00
11		342.00	429.00	522.00	362.00
12		300.00	441.00	541.00	387.00
13		300.00	441.00	541.00	387.00
14		409.75	352.50	424.75	263.50
15		358.00	455.66	548.33	422.66
16		322.33	389.66	483.66	343.66
17		273.00	106.00	216.00	114.00
18		273.00	106.00	216.00	114.00
19		297.00	128.00	226.00	90.00
20		327.00	54.00	158.00	79.00
21		431.00	88.00	86.00	82.00
22		285.00	117.00	221.00	102.00
23		273.00	106.00	216.00	114.00
24		379.00	71.00	122.00	80.50
25		172.00	191.00	298.00	245.00
26		449.00	109.00	47.00	188.00
27		172.00	191.00	298.00	245.00
28		273.00	106.00	216.00	114.00
29		379.00	71.00	122.00	80.50
30		860.00	517.00	428.00	477.00
31		960.00	625.00	540.00	576.00
32		1000.00	692.00	627.00	622.00
33		930.00	604.50	527.50	549.50

TABLEAU B-9

V26		Données d'entrées			
V1	V24	5	6	7	8
1		214.00	193.00	230.00	838.00
2		161.00	212.00	218.00	803.00
3		89.00	291.00	294.00	724.00
4		59.00	328.00	309.00	693.00
5		100.00	366.00	333.00	679.00
6		173.00	285.00	236.00	783.00
7		144.00	243.00	219.00	784.00
8		259.00	242.00	173.00	870.00
9		259.00	242.00	173.00	870.00
10		231.00	174.00	134.00	870.00
11		231.00	174.00	134.00	870.00
12		278.00	113.00	85.00	922.00
13		278.00	113.00	85.00	922.00
14		105.25	317.50	293.00	719.75
15		256.00	176.33	130.66	887.33
16		214.50	196.16	176.50	847.83
17		228.00	369.00	413.00	729.00
18		228.00	369.00	413.00	729.00
19		183.00	362.00	397.00	702.00
20		238.00	426.00	467.00	679.00
21		259.00	519.00	550.00	580.00
22		205.50	365.50	405.00	715.50
23		228.00	369.00	413.00	729.00
24		248.50	472.50	508.50	629.50
25		344.00	349.00	418.00	852.00
26		372.00	583.00	628.00	627.00
27		344.00	349.00	418.00	852.00
28		228.00	369.00	413.00	729.00
29		248.50	472.50	508.50	629.50
30		540.00	900.00	900.00	161.00
31		615.00	984.00	977.00	48.00
32		613.00	983.00	961.00	132.00
33		576.50	941.50	930.50	146.50

TABLEAU B-10

V27		Données d'entrées							
V1	V24	1	2	3	4	5	6	7	8
1		1.32	1.78	2.43	1.55	1.32	1.19	1.41	5.17
2		1.78	1.95	2.54	1.57	0.99	1.30	1.34	4.95
3		2.05	1.65	2.17	1.16	0.54	1.79	1.81	4.46
4		2.51	2.01	2.44	1.43	0.36	2.02	1.90	4.27
5		2.89	2.37	2.73	1.77	0.61	2.25	2.05	4.19
6		2.65	2.66	3.13	2.12	1.06	1.75	1.45	4.83
7		2.20	2.25	2.77	1.77	0.88	1.50	1.35	4.83
8		2.66	3.06	3.59	3.20	1.59	1.49	1.06	5.37
9		2.66	3.06	3.59	3.20	1.59	1.49	1.06	5.37
10		2.11	2.64	3.22	2.23	1.42	1.07	0.82	5.37
11		2.11	2.64	3.22	2.23	1.42	1.07	0.82	5.37
12		1.85	2.72	3.33	2.38	1.71	0.69	0.52	5.69
13		1.85	2.72	3.33	2.38	1.71	0.69	0.52	5.69
14		2.52	2.17	2.62	1.62	0.64	1.95	1.80	4.44
15		2.20	2.81	3.38	2.60	1.58	1.08	0.80	5.47
16		1.98	2.40	2.98	2.12	1.32	1.21	1.08	5.23
17		1.68	0.65	1.33	0.70	1.40	2.27	2.54	4.50
18		1.68	0.65	1.33	0.70	1.40	2.27	2.54	4.50
19		1.83	0.79	1.39	0.55	1.12	2.23	2.45	4.33
20		2.01	0.33	0.97	0.48	1.46	2.62	2.88	4.19
21		2.66	0.54	0.53	0.50	1.59	3.20	3.39	3.58
22		1.75	0.72	1.36	0.62	1.26	2.25	2.50	4.41
23		1.68	0.65	1.33	0.70	1.40	2.27	2.54	4.50
24		2.33	0.43	0.75	0.49	1.53	2.91	3.13	3.88
25		1.06	1.17	1.83	1.51	2.12	2.15	2.58	5.25
26		2.77	0.67	0.29	1.16	2.29	3.59	3.87	3.87
27		1.06	1.17	1.83	1.51	2.12	2.15	2.58	5.25
28		1.68	0.65	1.33	0.70	1.40	2.27	2.54	4.50
29		2.33	0.43	0.75	0.49	1.53	2.91	3.13	3.88
30		5.30	3.19	2.64	2.94	3.33	5.55	5.55	0.99
31		5.92	3.85	3.33	3.55	3.79	6.07	6.03	0.29
32		6.17	4.27	3.87	3.83	3.78	6.06	5.93	0.81
33		5.74	3.73	3.25	3.39	3.55	5.81	5.74	0.90

TABLEAU B-11

V28	(x10 <sup>-4</sup> )	Données d'entrées							
V1	V24	1	2	3	4	5	6	7	8
1		73	98	134	86	73	66	78	285
2		95	105	136	84	53	70	72	265
3		246	198	260	140	66	215	217	535
4		489	393	476	280	71	394	371	833
5		333	272	314	204	71	260	236	481
6		174	174	206	139	70	115	95	317
7		104	107	131	84	42	71	64	229
8		125	144	168	150	75	70	50	252
9		175	201	235	210	105	98	70	352
10		138	173	210	146	93	70	54	350
11		179	224	273	189	121	91	70	454
12		186	273	335	240	172	70	53	571
13		247	363	446	319	229	93	70	759
14		276	237	286	178	71	214	197	485
15		194	247	298	229	139	96	71	482
16		117	141	175	124	78	71	64	306
17		157	61	125	66	131	213	238	420
18		169	66	134	71	141	229	256	452
19		238	102	181	72	146	290	318	562
20		136	22	66	33	99	177	194	282
21		256	52	51	49	154	308	326	344
22		208	85	161	74	150	267	296	522
23		192	74	152	80	160	259	290	512
24		231	43	74	49	152	288	310	384
25		70	78	121	100	140	142	170	347
26		669	162	70	280	554	868	935	934
27		72	80	125	103	144	146	175	357
28		192	74	152	80	160	259	290	512
29		220	41	71	47	144	275	296	366
30		362	217	180	201	227	378	378	68
31		1354	881	762	812	867	1388	1378	68
32		513	355	322	319	314	504	493	68
33		430	279	244	254	266	435	430	68

ANNEXE C

EVALUATION ECOLOGIQUE:

CONSULTATIONS ET COLLECTE DES REPONSES

Depuis plusieurs années, de nombreuses recherches visent à connaître et à comprendre les aspects physique, chimique et biologique des neiges usées et leur impact sur la qualité du milieu urbain. Malheureusement, peu de chercheurs dans ce secteur ont déjà participé réellement aux processus de décision et de gestion du service de déneigement en milieu urbain.

Les consultations présentes visent, au moins à court terme, à combler en partie cette lacune. Les administrateurs municipaux ont chaque année à choisir des nouveaux sites où disposer la neige usée. Ils ne connaissent pas l'impact probable de ces sites éventuels sur l'environnement. Même, qui d'entre eux ont vraiment pris conscience que les sites de l'année antérieure avaient affecté l'environnement? Et aujourd'hui, malgré des études fragmentaires, quelles raisons d'ordre écologique pourraient justifier devant les gestionnaires du déneigement des décisions d'abandon, de modification ou de création de sites au cours de l'hiver prochain? C'est à cette question qu'il faut répondre avant le début de l'hiver.

Dans ce but, un résumé d'informations est présenté pour sept sites différents. Elles traitent des facteurs reliés au mode de disposition et de ceux reliés aux conditions d'écoulement jusqu'au milieu récepteur. Ces données d'information regroupent des descriptions de facteurs locaux importants, des interprétations de données recueillies, des conclusions d'études ou des hypothèses les plus probables sur des processus réels, présents ou anticipés dans l'avenir (lorsque l'on ne peut pas se

référer à des études pertinentes).

Avec l'aide de ces informations, l'évaluateur doit comparer deux sites à la fois au meilleur de ses connaissances et de sa compétence scientifique. Il compare l'impact global négatif le plus probable d'un site sur un environnement avec celui d'un autre site sur un autre environnement. Le chercheur n'a qu'à répondre en disant si l'effet probable du premier site est supérieur, égal ou inférieur à celui du deuxième. Il peut aussi dire quelle donnée d'informations a motivé le plus sa réponse et faire d'autres commentaires sur les informations fournies ou sur sa réponse.

Ce n'est ni une enquête de préférences sociologiques, financières ou économiques. De telles préférences individuelles n'ont pas à intervenir. Il s'agit d'une évaluation écologique, une recherche de l'effet le plus probable des sites de disposition sur la flore et sur la faune terrestre et aquatique.

En comparant deux sites à la fois, chaque chercheur fournit des réponses permettant éventuellement d'aboutir à un classement individuel des sites entre eux en fonction de leur impact probable sur l'environnement. Chacun d'eux servira au classement final des sites.

Les conclusions de cette évaluation pourront alors, au moins à court terme, faire participer les chercheurs aux processus de décision et de gestion du service de déneigement en milieu urbain.

#### C.1 Niveau des informations sur les sites

Mode de disposition:

1. Caractéristiques générales, volume de neige absorbé par heure.
2. Origine de la neige usée et leur relief, distance moyenne entre les contrats d'origine et le lieu de disposition, relief de l'accès au lieu de disposition.
3. Croissance de la vitesse de fonte selon le mode de disposition.
4. Migration ou concentration des ions et conductivité: à l'entrée ou aux lieux de disposition.
5. Sédiments en suspension et substances organiques et inorganiques: à l'entrée ou aux lieux de disposition.

Écoulement et milieu récepteur:

6. Écoulement des eaux vers le milieu récepteur.
7. Vitesse d'écoulement des eaux à l'entrée ou dans le milieu récepteur.
8. Qualité des eaux à l'entrée du milieu récepteur.
9. Traitement des eaux usées.
10. Impact sur le milieu.

C.2 Information sur le site A

Mode de disposition: dépotoir terrestre (1 tas)

1. Surface de 60,000 pi.<sup>2</sup>, 101,400 pi.<sup>3</sup>/hre.
2. Cinq territoires relativement plats, 0.66 mille, côtes à monter ou à descendre.
3. Dépotoir, soufflage, à l'égout, à la rivière ou au fleuve, fondeuse.
4. Migration rapide des ions Na et Cl et lente des ions Ca dans le tas de neiges usées.

5. Ils s'accumulent à la surface où les métaux traces sont absorbés. La température et la concentration des sels inorganiques n'inhibent pas nécessairement toute la microflore: les microorganismes pourraient y croître et y métaboliser; certains pourraient même être des pathogènes dangereux pour la vie animale.

#### Écoulement et milieu récepteur

6. Les eaux de fonte et de pluies s'infiltrent dans le sol ou s'écoulent surtout en surface dans des canaux ou des égouts jusqu'au fleuve par le collecteur.
7. Les études en cours visent à déterminer l'importance relative de la température, l'humidité, l'albedo, le rayonnement, les précipitations, la vitesse et la direction du vent dans la cinétique de fonte.
8. De mai à août, baisse de Na et Cl, hausse de Ca et  $SO_4$ . Présence de plomb, fer et zinc.
9. Aucun, mais dilution par les eaux de pluies et dans le fleuve. Possibilité de biodégradation et de sédimentation dans le milieu récepteur.
10. Les eaux usées du mois d'août sont potentiellement toxiques pour les truites après une longue exposition. Leur impact sur le milieu terrestre n'a pas été étudié ici. L'effet pathogène des microorganismes sur les poissons n'a pas pu être étudié: on observe cependant une décoloration de la peau et des fèces filamenteuses.

### C.3 Informations sur le site B

Mode de disposition: fondeuse

1. 4 bassins, 20 brûleurs, 73,200 pi.<sup>3</sup>/hre.
2. 4 territoires relativement plats, 0.66 mille, accès plat.
3. Dépotoir, soufflage, à l'égout, à la rivière ou au fleuve, fondeuse.
4. Concentrations moyennes en ppm. pour Na<sup>+</sup> (114), Ca<sup>++</sup> (51), Cl<sup>-</sup> (190) et conductivité d'eau plus 800 umho cm<sup>-1</sup>: dans les puits de fonte.
5. Sédiments en suspension: 210 mg/l et matière organique soluble: 1 à 3 ppm: dans les puits de fonte.

Écoulement et milieu récepteur

6. Les eaux de fonte, diluées et contenant de 20 à 30% de neige usée non fondue, s'écoulent en surface dans deux égouts de 24 po., le trop-plein déborde à la rivière, le reste s'écoule dans un égout de 30 p. jusqu'au fleuve par le collecteur.
7. Dépend du débit d'eau provenant des gicleurs, de la quantité et densité de la neige, de la température dans les puits.
8. Au plus du même ordre tel qu'indiqué aux données 4 et 5. Présence de plomb, fer et zinc.
9. Aucun, mais forte dilution dans les puits de fonte. Possibilité de biodégradation et de sédimentation dans le milieu récepteur.
10. Les eaux usées sont potentiellement toxiques pour la vie aquatique surtout dans la rivière. L'effet pathogène des microorganismes sur la vie aquatique n'a pas été étudié.

#### C.4 Informations sur le site C

Mode de disposition: déchargement au fleuve

1. Longueur du quai d'environ 200 pi., 61,750 pi.<sup>3</sup>/hre.
2. Deux territoires relativement accidentés, un mille, côtes à descendre deux fois sur trois.
3. Dépotoir, soufflage, à l'égout, à la rivière ou au fleuve, fondeuse.
4. Conc. en ppm. d'au moins pour Na<sup>+</sup>(114), Ca<sup>++</sup>(51), Cl<sup>-</sup>(190) et conductivité d'au moins 800 umho cm<sup>-1</sup>: au moment du déchargement.
5. Sédiments en suspension d'au moins 210 mg/l et matière organique soluble: 1 à 3 ppm.: au moment du déchargement.

Écoulement et milieu récepteur

6. Les eaux de fonte se diluent dans celle du fleuve.
7. L'infiltration de la neige usée et des eaux de fonte dans les eaux du fleuve serait assez rapide.
8. Au moins du même ordre tel qu'indiqué aux données 4 et 5. Présence de plomb, fer et zinc.
9. Aucun, mais forte dilution dans le fleuve. Possibilité de biodégradation et de sédimentation dans le milieu récepteur.
10. Aucune étude sur le destin des ions, des sédiments en suspension, de la matière organique et des traces inorganiques dans les eaux du fleuve. Aucune étude de toxicité, ni de pathogénicité. Impact probable à estimer.

### C.5 Informations sur le site D

Mode de disposition: déchargement direct à l'égout

1. Trappe rectangulaire d'environ 120 pi.<sup>2</sup> au-dessus d'un collecteur.
2. La neige origine des rues avoisinantes.
3. Dépotoir, soufflage, à l'égout, à la rivière ou au fleuve, fondeuse.
4. Conc. en ppm. pour Na<sup>+</sup>(114), Ca<sup>++</sup>(51), Cl<sup>-</sup>(190) et conductivité de 800 umho cm<sup>-1</sup>: au moment du déchargement.
5. Sédiments en suspension: 210 mg/l et matière organique soluble: 1 à 3 ppm.: au moment du déchargement.

Écoulement et milieu récepteur

6. Les eaux de fonte se diluent dans celles du collecteur jusqu'au fleuve.
7. Dépend du débit d'eau dans le collecteur, de la quantité et densité de la neige, de la température dans le collecteur.
8. Du même ordre tel qu'indiqué aux données 4 et 5. Présence de plomb, fer et zinc.
9. Aucun, mais dilution dans le collecteur. Possibilité de biodégradation et de sédimentation dans le milieu récepteur.
10. Aucune étude. Impact probable à estimer.

### C.6 Informations sur le site E

Mode de disposition: soufflage

1. Soufflage sur les terrains adjacents aux rues.
2. 7 territoires relativement plats.



2. 3 territoires relativement plats, 0.66 mille, côtes à monter.
3. Dépotoir, soufflage, à l'égout, à la rivière ou au fleuve, fondeuse.
4. Migration rapide pour  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  et lente pour  $\text{Ca}^{++}$ .  $\text{Na}^+$ (257),  $\text{Ca}^{++}$ (58),  $\text{Cl}^-$ (439). Conductivité de 1,500 umho  $\text{cm}^{-1}$
5. Ils s'accumulent à la surface où les métaux traces sont absorbés. La température et la concentration des sels inorganiques n'inhibent pas nécessairement toute la microflore: les microorganismes pourraient y croître et y métaboliser; certains pourraient même être des pathogènes dangereux pour la vie animale.

#### Écoulement et milieu récepteur

6. Les eaux de fonte et de pluies s'infiltrent dans le sol ou s'écoulent en surface dans un égout de 24 po. jusqu'au fleuve par le collecteur. Les eaux de fonte, diluées et contenant de 20 à 30% de neige non fondue, s'écoulent en surface dans un égout jusqu'au fleuve par le collecteur.
7. On étudie présentement les variables intervenant dans la cinétique de fonte. Dépend du débit des gicleurs, des caractéristiques de la neige, de la température.

8. Baisse de  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ , hausse de  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{SO}_4^{--}$ . Présence de plomb, fer et zinc. Voir données 4 et 5.
9. Aucun, mais dilution par les eaux de pluies. Possibilité de biodégradation et de sédimentation. Dilution dans les puits de fonte dans le milieu récepteur.
10. Impact probable sur le milieu terrestre et aquatique à évaluer en se fondant sur les données 10 des sites A et B.

#### C.8 Informations sur le site G

Mode de disposition: dépotoir terrestre (3 tas)

1. Trois tas de neige usée de 25,000 pi.<sup>2</sup> respectivement, 103,500 pi.<sup>3</sup>/hre.
2. 4 territoires relativement plats, 0.8 mille, accès plat.
3. Dépotoir, soufflage, à l'égout, à la rivière ou au fleuve, fondeuse.
4. Migration rapide des ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  et lente des ions  $\text{Ca}^{++}$ : dans les tas de neiges usées.
5. Ils s'accumulent à la surface où les métaux traces sont absorbés. La température et la concentration des sels inorganiques n'inhibent pas nécessairement toute la microflore: les microorganismes pourraient même être des pathogènes dangereux pour la vie animale.

Écoulement et milieu récepteur

6. Les eaux de fonte et de pluies s'infiltrent surtout dans le sol

ou s'écoulent en surface sur des terres de remplissage sur le bord du fleuve.

7. Plus rapide que celle réalisée aux autres dépotoirs.
8. Baisse de  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ , hausse de  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{SO}_4^{--}$ .
9. Aucun, mais dilution par les eaux de pluies et dans le fleuve.  
Possibilité de biodégradation et de sédimentation dans le milieu récepteur.
10. Impact probable sur le milieu terrestre et aquatique à évaluer.

C.9 Relevé des réponses et des commentaires

Ordre des questions	Comparaisons entre les P(S) <sup>(1)</sup>	Implications	Données motivant le plus votre réponse	Commentaires
	A B		enregistrements magnétoscopiques	
	B C		"	"
	A C	A B et B C	"	"
	C D		"	"
	A D	A C et C D	"	"
	B D	B C et C D	"	"
	D E		"	"
	A E	A D et D E	"	"
	B E	B D et D E	"	"
	C E	C D et D E	"	"
	E F		"	"
	A F	A E et E F	"	"
	B F	B E et E F	"	"
	C F	C E et E F	"	"
	D F	D E et E F	"	"
	F G		"	"
	A G	A F et F G	"	"
	B G	B F et F G	"	"
	C G	C F et F G	"	"
	D G	D F et F G	"	"
	E G	E F et F G	"	"

(1) P(S): Probabilité d'impact négatif des deux sites.

Formation de l'évaluateur

Nombre de questions posées

Nombre d'incompatibilités

Nombre d'implications vérifiées

Classement individuel

Temps de l'évaluation

C.10 Calcul du classement individuel

P(S)	A	B	C	D	E	F	G	Somme
A								
B								
C								
D								
E								
F								
G								

C.11 Classement individuel

Classement des sites selon la croissance de leur impact global  
le plus probable sur l'environnement:

Sites
Somme
Classement

ANNEXE D

LA METHODE ELECTRE

Extrait de: ELECTR'ACTION, Cas pédagogique, Ministère de l'Economie et  
des Finances, Direction de la Prévision, Paris 1973.

Les choix économiques au niveau de l'entreprise comme au niveau de la nation ne se font que rarement en vue d'atteindre un seul objectif.

Souvent la réalité de ces choix est complexe et nécessite l'adoption de plusieurs points de vue conduisant à retenir plusieurs critères de choix.

Les méthodes de choix basées sur les analyses multicritères répondent à cette nécessité. Plus généralement ces analyses permettent de caractériser les points de vue selon lesquels un objet peut être observé, puis de juger les objets selon chaque critère.

De plus, ces méthodes échappent aux limites que rencontrent les analyses coûts-avantages. En effet, à côté des critères auxquels on peut faire correspondre des évaluations monétaires, il existe des critères quantitatifs mesurés par des échelles autres que l'échelle monétaire (ex. nombre de vies sauvées dans une étude portant sur la sécurité routière) ou même des critères qualitatifs (ex. avantage urbanistique dans la construction du R.E.R.).

Il existe plusieurs méthodes:

- la méthode ELECTRE: Elimination et Choix Traduisant la Réalité
- la méthode PATTERN: Planning Assistance Through Technical Evaluation of Relevance Numbers
- la méthode C.P.E.

La présente note concerne la méthode ELECTRE dont le principe

sera exposé dans une première partie. Elle sera suivie dans une seconde partie d'un exemple d'application.

#### D.1 Résumé rapide de la méthode ELECTRE (1)

Son objectif: elle permet de guider le choix d'un "objet" au sein d'un ensemble d'objets, candidats à une sélection, quand ce choix dépend de choix multiples qu'on ne peut agréger en un seul.

Son contenu: parmi l'ensemble E des objets, ELECTRE permet à partir d'une relation dite de surclassement de mettre en évidence un sous-ensemble de E qui, à coup sûr, ne renferme pas le candidat à retenir. La partition de l'ensemble E fournit deux sous-ensembles:

- sous-ensemble S des objets retenus
- sous-ensemble E-S des objets éliminés.

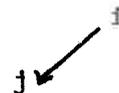
La relation de surclassement s'appuie sur la théorie des graphes que l'on peut résumer pour ce qui nous est utile par:

Un graphe est un schéma formé de points - les sommets du graphe - reliés par des lignes orientées, les arcs du graphe. Associons un graphe G à notre problème, en convenant que ses sommets  $i, j, k, \dots$  représenteront les objets de E, et en définissant ses arcs comme suit:

si  $i$  surclasse  $j$  un arc ira de  $i$  vers  $j$



si  $j$  surclasse  $i$  un arc ira de  $j$  vers  $i$



si  $i$  et  $j$  sont jugés équivalents, on placera un arc allant de  $i$  vers  $j$  et un autre allant de  $j$  vers  $i$



(1) Résumé tiré de METRA.

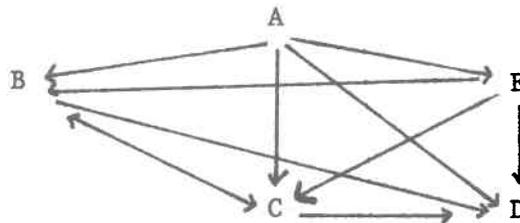
si  $i$  et  $j$  ne sont pas comparables, il n'y  
aura pas d'arc les reliant directement

$i$        $j$

Exemple: Dans un concours avec 6 candidats: A, B, C, D, E, F,  
le critère "faculté d'expression" donne la classification suivante:

<u>Candidat</u>	<u>Appréciation</u>
A	très bien (t.b.)
E	bien (b.)
B et C	neutre (n.)
D	mauvais (m.)

Sous forme graphique, nous aurons alors:



On dispose donc pour chaque critère d'un graphe qui classe chaque élément. A partir des différents graphes va être construit un graphe  $G_0$  que l'on définit ainsi:

Si pour chaque graphe, il existe un arc orienté  $A \longrightarrow B$  (c'est-à-dire si A est toujours préféré à B) alors cet arc est reporté dans  $G_0$ . L'ensemble des sommets qui ne sont pas reliés entre eux (non comparables) ou qui ne sont surclassés par aucun autre se nomme le noyau. Il comprend en général plusieurs sommets (s'il n'y en a qu'un, le problème est résolu). Il faut donc faire apparaître de nouvelles liaisons pour réduire le noyau à un seul élément.

### Règle d'introduction d'une liaison supplémentaire dans le graphe

Il est évidemment nécessaire que nous puissions comparer chaque objet selon chaque critère pris isolément. Pour chaque critère, on définira donc une échelle d'appréciation; cette échelle pourra être continue ou discontinue. Dans ces conditions, deux éléments  $i$  et  $j$  peuvent être comparés suivant chacun des points de vue et il apparaît naturel d'admettre que  $i$  surclasse d'autant plus  $j$  que la proportion des points de vue pour lesquels  $i$  est au moins aussi bon que  $j$  est plus élevée. Mais on conçoit bien que chaque point de vue n'a pas la même importance.

Ceci conduit à associer à chaque point de vue  $m$  un certain coefficient  $R_m$  et à estimer que l'hypothèse que  $i$  surclasse  $j$  est d'autant plus légitime que la somme des coefficients des points de vue pour lesquels  $i$  est au moins aussi bon que  $j$  est la plus grande devant la somme de tous les coefficients.

Nous appellerons indicateur de concordance avec l'hypothèse que  $i$  surclasse  $j$  le rapport suivant:

soit  $m$  le nombre des points de vue

$k$  le nombre de points de vue pour lesquels  $i$  surclasse  $j$

$R_m$  les coefficients de chacun des points de vue.

L'indicateur de concordance pour  $i$  surclassant  $j$  est:

$$C_{ij} = \frac{\sum_{m=1}^k R_m}{\sum_{m=1}^n R_m}$$

C'est la somme des poids des points de vue en accord sur la somme totale des poids.

$C_{ij}$  est compris entre 0 et 1

$C_{ij} = 1$  si  $i \longrightarrow j$  (pour tous les critères)

$C_{ij} = 0$  si  $j \longrightarrow i$  (pour tous les critères)

chaque élément du graphe sera donc caractérisé par un indicateur. L'ensemble des indicateurs de concordance forme la matrice de concordance.

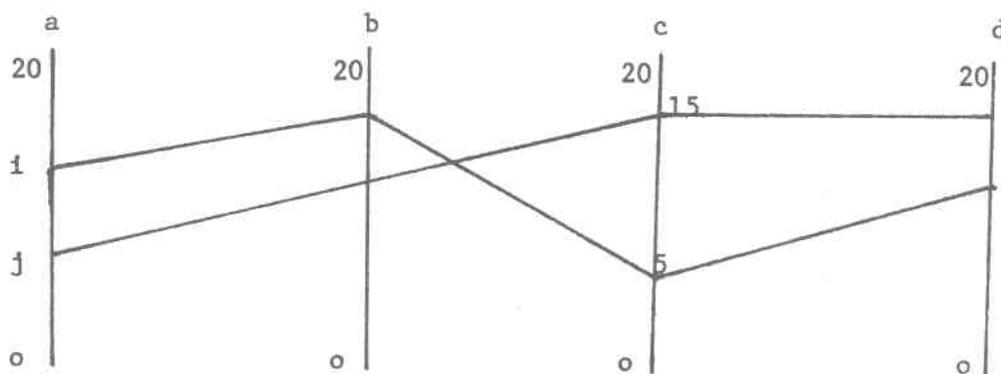
Cependant, on comprend que si cet indicateur de concordance donne une grande importance à la majorité des points de vue, il n'en accorde aucune à la minorité. Or, il peut se faire que le désaccord suivant certains points de vue minoritaires soit très grand et que les points de vue correspondants soient très importants.

Pour compléter la notion de surclassement, on introduit alors un indicateur de discordance qui mesure le désaccord qui existe entre les points de vue majoritaires et minoritaires quant à la légitimité de l'hypothèse de surclassement de  $i$  par  $j$ .

Construction d'un indicateur de discordance (parmi d'autres possibles): elle est basée sur l'hypothèse qu'il est possible de comparer n'importe quelle paire d'échelons distincts pris dans une échelle, à n'importe quelle autre paire d'échelons distincts pris dans une autre échelle. Chaque échelon d'une échelle sera repéré par un nombre, la comparaison de paires d'échelons se faisant par la comparaison des valeurs absolues des différences de repères associées à chaque échelon. On peut alors prendre comme indicateur de discordance:

$$d_{ij} = \frac{\text{le plus grand écart pour lequel } j > i}{\text{le plus grand écart possible}}$$

Points de vue



Dans ce cas particulier, on a  $d_{ij} = \frac{15 - 5}{20} = 0,5$

$d_{ij} = 0$  si la liaison  $i \longrightarrow j$  est toujours vraie

$$0 < d_{ij} < 1$$

Au lieu de prendre l'écart du plus grand désaccord, on peut retenir comme définition de l'indicateur de discordance  $d_{ij}^{(S)}$  le rapport de l'amplitude Sème désaccord à l'amplitude du plus grand désaccord possible.

On peut en définitive préciser les règles de décisions qui conduiront à accepter l'hypothèse de surclassement de  $i$  par  $j$ . On se donne un seuil de concordance  $p$  tel que  $0 < p < 1$  et un seuil de discordance  $q$  tel que  $0 < q < 1$ .

Nous dirons que  $i$  surclasse  $j$  pour le couple de seuils  $(p, q)$  si et seulement si simultanément:

$$C_{ij} > p \text{ et } d_{ij}^{(S)} < q$$

(c'est-à-dire si la concordance est suffisamment grande et si simultanément la discordance est suffisamment petite).

Il faut noter:

- la relation de surclassement perd beaucoup de sa signification si l'on attribue à  $p$  et  $q$  des valeurs quelconques, par exemple une valeur de  $p = 0,50$  a peu de sens.

- la relation n'est pas transitive: il peut se faire que  $j$  surclasse  $i$  et que  $k$  surclasse  $j$  sans que  $k$  surclasse  $i$ .

#### D.2 Exemple traité: application de la méthode d'une ligne du R.E.R.

On veut comparer quatre tronçons:

le tronçon No 2	Saint-Germain Auber
le tronçon No 9	La desserte d'Orly
le tronçon No 12	La desserte de Cergy
le tronçon No 16	Luxembourg - Châtelet - Gare du Nord

et l'on retient quatre points de vue:

1. Charge financière: il s'agit des coûts d'investissement et des charges d'exploitation supplémentaires par rapport à la solution de référence (absence de projet);
2. Gain de temps: il s'agit du gain de temps de l'ensemble des usagers par rapport à la solution de référence. Ce gain de temps peut être traduit en équivalent monétaire en attribuant une valeur moyenne à l'heure gagnée.
3. Durée des travaux: ce point de vue qui tient compte de diverses considérations relatives à l'immobilisation des matériels,

à la gêne des chantiers, à l'urgence de la mise en service, ne peut pas pratiquement être valorisé monétairement.

4. Urbanisme: cet avantage urbanistique sera approché par référence au Schéma Directeur. Un tronçon sera "supérieur" à un autre de ce point de vue s'il permet une meilleure réalisation du schéma Directeur. L'appréciation ne peut évidemment être que qualitative.

Pour chacun de ces critères, à partir de l'appréciation qualitative ou quantitative relative à chaque tronçon, on a établi une notation dans des échelles variant de 0 à 20.

1. Charges financières

no de tronçon	2	9	12	16
charge en millions de F	55	38	20	40
Note sur 20	9	12	15	12

2. Gain de temps

no de tronçon	2	9	12	16
gain en millions de F.	28	28	34	64
Note sur 20	6	6	8	15

3. Durée des travaux

no. de tronçon	2	9	12	16
durée en année	6	4	3	4
Note sur 20	8	12	14	12

4. Urbanisme

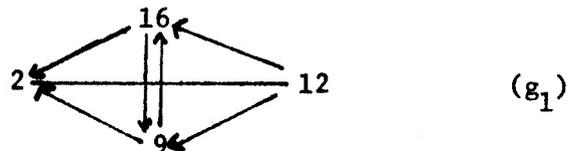
no de tronçon	2	9	12	16
Appréciation de l'avantage urbanistique	Assez bien	Assez bien	Très bien	Neutre
Note sur 20	12	12	18	6

Examinons le classement des tronçons selon chaque point de vue et traçons les graphes correspondants.

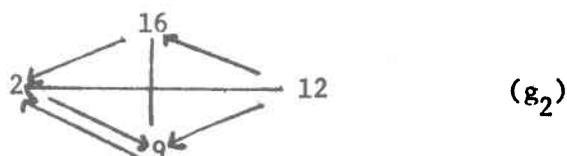
Pour le premier point de vue,

- le tronçon no 2 est surclassé par tous les autres
- le tronçon no 9 surclasse le tronçon no 2
  - est équivalent au tronçon no 16
  - est surclassé par le tronçon no 12
- le tronçon no 12 surclasse tous les tronçons
- le tronçon no 16 surclasse le tronçon no 2
  - est équivalent au tronçon no 9
  - est surclassé par le tronçon no 12

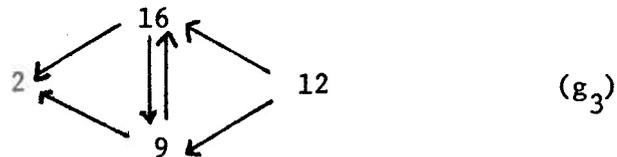
On peut donc tracer le graphe  $g_1$  relatif au premier point de vue:



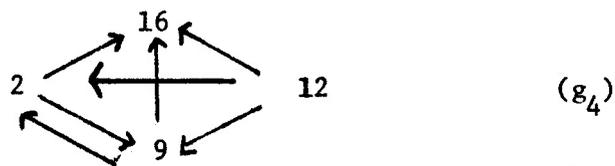
Pour le second point de vue: gain de temps, le graphe  $g_2$  s'obtient de la même façon:



Pour le troisième point de vue, durée des travaux, le graphe  $g_3$  est:



Et pour le quatrième point de vue: urbanisme, le graphe  $g_4$  est



Le graphe  $G_0$  résumant l'unanimité des points de vue est obtenu en reportant les seuls axes orientés qui existent simultanément dans chacun des quatre graphes  $g_1, g_2, g_3, g_4$ .

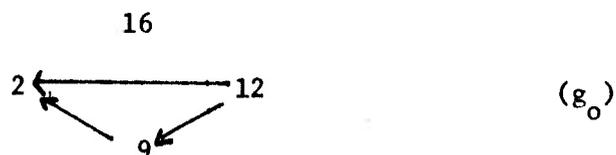
Ainsi, on a, quel que soit le point de vue:

tronçon no 12 supérieur à tronçon no 2

tronçon no 12 supérieur à tronçon no 9

tronçon no 9 supérieur à tronçon no 2

d'où le graphe



Le noyau, c'est-à-dire les trajets entre lesquels le choix reste à faire, est constitué des tronçons no 12 et 16. En effet, 2 et 9 sont éliminés puisqu'à l'unanimité on leur préférera le tronçon no. 12.

Afin de déterminer dans le noyau le tronçon à éliminer, construisons les matrices de concordance et de discordance en donnant aux différents points de vue les poids relatifs suivants :

charge financière	$R_1 = 4$
gain de temps	$R_2 = 4$
durée des travaux	$R_3 = 0,5$
urbanisme	$R_4 = 1,5$

#### Construction de la matrice de concordance

L'élément de la première ligne (tronçon no 2) et de la deuxième colonne (tronçon no 9) est égal au rapport de la somme des poids relatifs des points de vue pour lesquels le tronçon no 2 surclasse le tronçon no 9 au total des poids de tous les points de vue; cet élément vaut donc (l'équivalence est considérée comme une double liaison)

$$C_{2,9} = \frac{4 + 1,5}{10} = 0,55$$

$$\text{de même } C_{16,9} = \frac{4 + 4 + 0,5}{10} = 0,85$$

$$C_{9,16} = \frac{4 + 0,5 + 1,5}{10} = 0,60$$

En opérant ainsi pour chaque couple orienté et en convenant que les éléments de la diagonale principale valent 1 (ce qui peut se traduire par le tronçon X surclasse toujours le tronçon X) on obtient la matrice de concordance suivante:

Ci j	2	9	12	16
2	1	0,55	0	0,15
9	1	1	0	0,60
12	1	1	1	0,60
16	0,85	0,85	0,40	1

#### Construction de la matrice de discordance

Pour la matrice de discordance, l'élément de la première ligne et de la deuxième colonne est égal au plus grand écart de note non en accord avec l'opinion selon laquelle 2 surclasse 9.

Ainsi

$$d_{2,9} = \frac{4}{20}$$

$$d_{16,12} = \frac{12}{20}$$

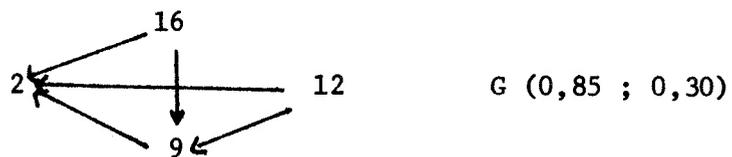
En opérant ainsi pour chaque couple orienté et en convenant que les éléments de la diagonale principale valent 0, on obtient la matrice de discordance suivante:

di j	2	9	12	16
2	0	0,20	0,30	0,45
9	0	0	0,30	0,45
12	0	0	0	0,35
16	0,30	0,30	0,60	0

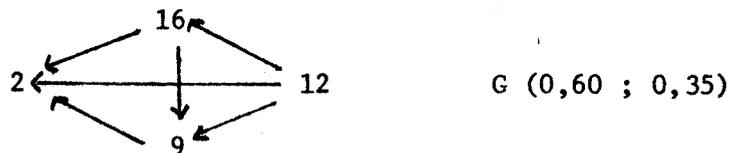
L'élimination des éléments du noyau dépend, on le sait des valeurs des seuils de concordance et de discordance. Pour être pleinement satisfaisant, le seuil de concordance doit être peu différent de 1 et le seuil

de discordance pas très voisin de zéro.

Construisons par exemple le graphe  $G(0,85 ; 0,30)$  - pour cela, il suffit de repérer les couples  $i, j$  tels que l'on ait à la fois  $c_{ij} \geq 0,85$  et  $d_{ij} \leq 0,30$ . En dehors des liaisons qui apparaissent déjà dans  $G_0$  (et qui correspondent évidemment à des  $c_{ij} = 1, d_{ij} = 0$ ), on trouve que le tronçon no 16 est supérieur au tronçon no 2 et au tronçon no 9.



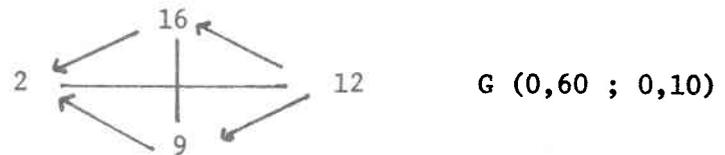
Le noyau est toujours constitué des tronçons no 12 et 16. Pour trancher entre eux, il faudrait abaisser le seuil de concordance jusqu'à 0,60 et élever le seuil de discordance jusqu'à 0,35; alors on aurait le tronçon no 12 supérieur au tronçon no 16 et le graphe correspondant:



Toutefois, ces valeurs des seuils sont très éloignées respectivement de 1 et de 0 et le choix effectué est peu convainquant. On peut alors pour améliorer ce choix établir la matrice de discordance basée sur le second écart. On en calcule les éléments comme pour la première en remplaçant l'écart le plus important par le second.

d\j	2	9	12	16
2	0	0,15	0,30	0,20
9	0	0	0,15	0
12	0	0	0	0
16	0	0	0,15	0

En prenant comme seuil  $p = 0,60$  et  $q = 0,10$ , on obtient le graphe suivant:



qui confirme la supériorité du tronçon no 12 sur tous les autres.

Variante obtenue en modifiant l'importance relative des poids.

Pour analyser la sensibilité des choix aux variations des poids donnés à chaque point de vue, nous favorisons le point de vue gain de temps; le nouvel ensemble des poids étant le suivant:

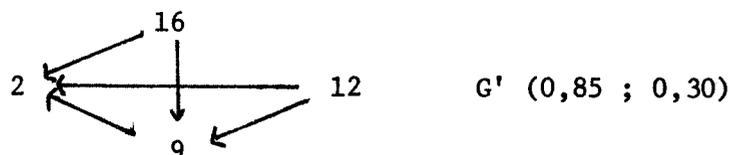
charge financière	$R_1 = 2,5$
gain de temps	$R_2 = 6$
durée des travaux	$R_3 = 0,5$
urbanisme	$R_4 = 1$

La matrice de concordance devient:

C'ij	2	9	12	16
2	1	0,70	0	0,10
9	1	1	0	0,40
12	1	1	1	0,40
16	0,90	0,90	0,60	1

Les matrices de discordance,  $D_{ij}$  ou  $D'_{ij}$  ne sont évidemment pas affectées par ce changement de poids.

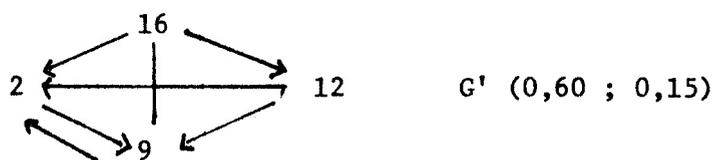
Alors avec la première matrice de discordance  $D$  et  $p = 0,85$  et  $q = 0,30$ , on obtient le graphe suivant:



qui montre que le noyau est encore constitué des tronçons no 12 et 16.

On constate cependant, en comparant  $C_{ij}$  et  $C'_{ij}$  que les indicateurs de concordance des liaisons favorables au tronçon no 16 ont augmenté alors que ceux qui lui sont défavorables ont diminué. Mais on ne peut trancher, même avec des seuils à la limite de la signification comme  $p = 0,50$ ,  $q = 0,50$ .

Avec la seconde matrice de discordance  $D'$  et les seuils  $p = 0,60$ ,  $q = 0,15$ , on obtient le graphe suivant:



Il apparaît que le tronçon no 16 est supérieur à tous les autres et doit leur être préféré. La modification des poids relatifs a favorisé

---

N.B. Il faut noter que le petit nombre de tronçons étudiés, pour faciliter les calculs manuels, conduit à des simplifications excessives qui entraînent la considération de valeurs pour  $p$  et  $q$  respectivement trop faibles et trop grandes, valeurs qui ne devraient pas être prises dans une étude en vraie grandeur.

le tronçon no 16 au détriment du 12; ce résultat est normal puisque l'on a augmenté le poids du "gain de temps" (où 16 est supérieur aux autres) et diminué les poids de la "charge financière" et de l'"urbanisme" (où c'est 12 qui l'emporte sur les autres).

Cet exemple entièrement traité doit mettre en évidence les limites de la méthode:

- trouver de "bonnes" notations pour les critères
- affecter de "bonnes" pondérations aux critères.

Tout ceci reste à l'entière initiative de l'utilisateur de la méthode qui n'est pas dispensé de l'analyse économique préalable. La méthode n'est un outil de décision qu'une fois cette analyse faite et les opinions traduites en chiffres. La réponse donnée variera évidemment considérablement avec ces chiffres.

ANNEXE E

CARTE DU QUEBEC METROPOLITAIN

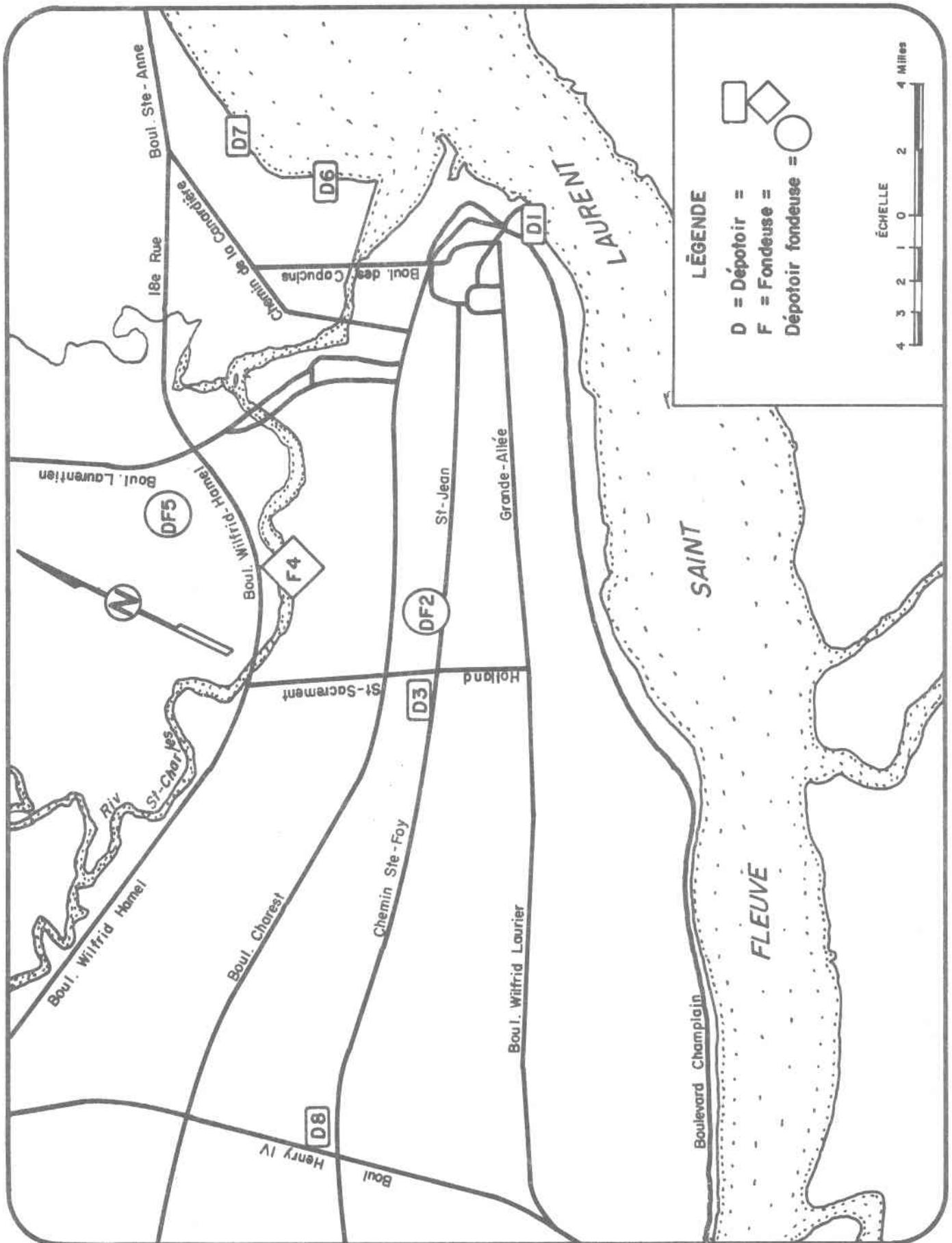


Fig. 2 Carte de la région de Québec. Localisation des sites de dispositions de neige.

## BIBLIOGRAPHIE

- ADAMS, F.S., "Highway Salt: Social and Environmental Concerns", Hwy. Res. Record, No. 425, 1973.
- AMARA, R.C., LIPINSKI, A.J., "Some Views on the Use of Expert Judgment", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 3, 1972.
- ANDERSON, H.E.B., "Snow on its Way... Will You Move it or Melt it?", Plant Engineering, Vol. 23, No. 18, Barrington, Illinois, Sept. 1969.
- BAUMANN, D.D., and RUSSELL, C., "Urban Snow Hazard: Economic and Social Implications", WRC Research Report, No. 37, Water Resources Center, Univ. of Illinois, Urbana, Apr. 1971.
- BINI, G., "Lead in the Urban Environment-2", Intern. J. Environmental Studies, Vol. 5, 1973.
- BOYCE, S.G., "The Salt Spray Community", Ecological Monographs, Vol. 24, No. 1, 1954.
- BOYD, D.W., GOLD, L.W. and WILLIAMS, G.P., Radiation Balance During the Snow Melt Period at Ottawa Canada, National Research Council of Canada, NRC 7152, 1962.
- BRANDT, G.H., "Potential Impact of Sodium Chloride and Calcium Chloride De-Icing Mixtures on Roadside Soils and Plants", HWY. Res. Record, No. 425, 1973.
- BRIED, R., "The Great Salt Controversy", Yankee Magazine, Mar. 1973.

- BROWN, R.M., McClelland, N.L., DEININGER, R.A., TOZER, R.G., "A Water Quality Index - Do We Dare?", presented at National Symposium on Data and Instrumentation for Water Quality Management, July 1970.
- BUTLER, BERTELL, C., The Economics of Ice and Snow Removal in Urban Areas, Report No. 224-1, Ohio State Univ., June 1964.
- CARLSON, JOHN G., "Snow Melter Saves Money for Nation's Largest Town", Public Works, Vol. 98, No. 8, 1967.
- COOMBER, N.H., BISWAS, A.K., Evaluation of Environmental Intangibles, Review of Techniques, Ecological Systems Branch, Research Co-ordination Directorate, Policy, Planning and Research Service, Environment Canada, June 1972.
- Corrosion des véhicules automobiles et influence des fondants chimiques, rapport préparé par un groupe de recherche routière de l'OCDE, octobre 1969.
- "Corrosion and its Prevention in Motor Vehicles", Anti-Corrosion Methods and Materials, Vol. 15, No. 4, London, 1968.
- Corrosion Inhibitor Study (Summary), Department of Highways of Ontario, February 13, 1968.
- DAINES, R.H. et al., "Atmospheric lead: Its relationship to traffic volume and proximity to highways", Environmental Science and Technology, Vol. 4, 1970.
- De-icing Salt and Snow Disposal, Water Quality Surveys Branch, O.W.R.C., November 3, 1971.
- Direct Dumping of Salt-Laden Snow into Lake Ontario, News Release, The Honourable George A. Kerr, Q.C., January 6, 1972.

- DOLLEY, J.E., "Decisions on Social and Technological Tasks Incorporating Expression of Preference and Environmental Insult", Management Science, Vol. 20, 1974.
- DRESSLER, F.R.S., "Subjective Methodology in Forecasting", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 3, 1972.
- Dumping of Snow in the Waters of the Harbour and Lake Ontario, Letter from the Honourable George A. Kerr, Q.C., Inviting the Appointment of a Task Force, January 5, 1972.
- "Environmental Considerations in Use of Deicing Chemicals", Highway Research Record, #193, Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1967.
- Environmental Impact of Highway Deicing, Environmental Protection Agency, Water Quality Research, Edison Water Quality Laboratory, Edison, New Jersey, June 1971.
- Facts you Should Know About Effects of De-Icing Salt on the Environment, Reporter of the American Public Works Association, 1971.
- FROMM, H.J., "Corrosion of Auto-Body Steel and the Effects of Inhibited De-icing Salts", Highway Research Record Number 227, Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C, 1968.
- GRABLE, E.M., PYKE, D.L., "An Evaluation of the Forecasting of Information Processing Technology and Applications", Technological Forecasting and Social Change, Vol. 4, 1972.
- GUIGOU, J.L., Analyse des données et choix à critères multiples, Dunod, Montréal, 1974.

- HALL, J.N. and LAHUE, S.P., "Effect of Salt on Reinforced Concrete Highway Bridges and Pavements", Snow Removal and Ice Control Research, Special Report 115, U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory and Highway Research Council, Washington, D.C., 1970.
- HANES, R.E., ZELANZY, L.W. and BLASER, R.E., "Effects of Deicing Salts on Water Quality and Biota", National Cooperative Highway Research Program Report #91, Highway Research Board, 1970.
- HAYWARD, H.E. and BERNSTEIN, L., "Plant-Growth Relationships on Salt-Affected Soils", Botanical Review, Vol. 24, 1958.
- HOLMES, F.W., Effects of Use of Snow Control Chemicals on Street Trees, Proceedings of the 39th Annual Meeting of the New Jersey Federation of Shade Tree Commissioners, Atlantic City, N.J., 1964.
- "How to Assess the Economics of Urban Snow Problems", Rural and Urban Roads, pp. 20-21, November 1972.
- HUBER, G.P., "Multi-Attribute Utility Models: A Review of Field and Field-Like Studies", Management Science, Vol. 20, 1974.
- HUTCHINSON, F.E., "Effect of Highway Salting on the Concentration of Sodium and Chloride in Rivers", Research in the Life Sciences, Winter, 1968.
- HUTCHINSON, FREDERICK E., The Influence of Salts Applied to Highways on the Levels of Sodium and Chloride Ions Present in Water and Soil Samples, Office of Water Resources Research, Project #A-007-ME, June 1969.
- HUTCHINSON, F.F., and OLSON, B.E., "The Relationship of Road Salt Applications to Sodium and Chloride Ion Levels in the Soil Bordering Major Highways", Hwy. Res. Record, No. 193, 1967.

- JUDD, J.H., "Lake Stratification Caused by Runoff from Street De-Icing",  
Water Research, Vol. 4, August 1970.
- Kerr Urges Controls on Salt Disposal, New Release, O.W.R.C., November 25,  
1971.
- KEYSER, J.H., "De-Icing Chemicals and Abrasives: State of the Art", Hwy.  
Res. Record, No. 425, 1973.
- LAGERWERFF, J.V., "Contamination of roadside soil and vegetation with cad-  
mium, lead and zinc," American Chemical Society J., Vol. 4, 1970.
- LEOPOLD, L.B., et al., A Procedure for Evaluating Environmental Impact,  
Washington, D.C.: Geological Survey Circ. 645, 1971.
- LERETAILE, L., Les choix budgétaires, Presses Universitaires de France,  
Paris, 1972.
- LEVY-LAMBERT, H., GUILLAUME, H., Rationalisation des choix budgétaires,  
Presses Universitaires de France, Paris, 1971.
- MAGA, J.A., "Vehicular pollution effects in urban development", A.S.C.E.,  
93(UP4), 1967.
- Manuel des équipes de déneigement, Salt Institute, 1967.
- Manuel du déneigement et de la lutte contre le verglas dans les régions  
urbaines, Comité associé de la recherche géotechnique, Conseil  
National de Recherche, Ottawa, 1969.
- Manual on Snow Removal and Ice Control in Urban Areas, National Research  
Council, Ottawa, November 1967.
- MELLOR, MALCOLM, "Snow Removal and Ice Control", Cold Regions Science and  
Engineering Part III, Section A3b, Cold Regions Research and En-  
gineering Laboratory, Hanover, N.H., April 1965.
- MINSK, L.D., "Survey of Snow and Ice Removal Techniques", CRREL Technical  
Report 128, Cold Regions Research and Engineering Laboratory,  
Hanover, N.H., December 1964.

MURRAY, D.M., and EIGERMAN, M.R., A Search: New Technology for Pavement Snow and Ice Control, EPA-R2-72-125, Dec. 1972.

NISBET, I.C.T., "Has Salt Lost Favor", Conservation Leader, Lincoln, Massachusetts 1972.

Non-Chemical Methods of Snow and Ice Control on Highway Structures, National Cooperative Highway Research Program Report 4, Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1964.

OLIVER, B.G., MILNE, J.B., LABARRE, N., "Chloride and Lead in Urban Snow", Journal of the Water Pollution Control Federation, Vol. 46, No. 4, 1974.

PALMER, J.D., "Corrosive Effects of De-Icing Salts on Automobiles", Materials Protection and Performance, Vol. 10, No. 11, November 1971.

PEARCE, D.C., A Bibliography on Snow and Ice, National Research Council of Canada, NRC 2534, 1951.

POLLOCK, S.J., and TOLER, L.G., "Effects of Highway De-Icing Salts on Groundwater and Water Supplies in Massachusetts", Hwy Res. Record, 425, 1973.

RICH, A.E., "Some Effects of De-Icing Chemicals of Roadside Trees", Hwy. Res. Record, No. 425, 1973.

ROBERTS, E.C. and ZYBURN, E.L., "Effects of Sodium Chloride on Grasses for Roadside Use", Paper presented at 46th Annual Meeting, Highway Research Board, 1967.

Salt Contamination of Existing Well Supplies, Town of Burlington, Mass, Whitman & Howard, Inc., Boston, Mass., October 1971.

"Second-generation Snow Melter", Engineering News-Record, Vol. 167, 1961.

SMITH, H.A., Environmental Effects of Snow Removal and Ice Control Programs, Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C., April 1971.

SMITH, H.A., Progress Report on NCHRP Project 16-1 Effects of Deicing Compounds on Vegetation and Water Supplies, National Cooperative Highway Research Program, Highway Research Board, December 1968.

"Snow and Ice Control Methods and Problems", Rural and Urban Roads, Vol. 10, No. 7, Pontiac, Illinois, July 1972.

"Snow Melting Systems: Their Design, Installation, and Operation", Engineering News-Record, Vol. 141, 1948.

Snow Removal and Ice Control in Urban Areas, American Public Works Association, APWA Research Foundation Project No. 114, Vol. 1, 1965.

Snow Removal and Ice Control Research, Special Report 115, U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory and Highway Research Board, Washington, D.C., April 1970.

TERRY, R.C., JR, Road Salt, Drinking Water, and Safety, Ballinger Publishing Co., Cambridge, Mass., 1974.

THE COMMONWEALTH OF MASSACHUSETTS, Interim Report of the Special Commission on Salt Contamination of Water Supplies and Related Matters, 1973.

"The Economics of Large Snow Melting Systems, Design Criteria, Operation and Equipment Employed", by Kenneth R. Hodges. Paper presented at 25th American Power Conference, Chicago, Illinois, Mar. 26-28, 1963.

The Use and Effects of Highway De-Icing Salts, Commonwealth of Massachusetts, Legislative Research Council, January 1965.

TSUCHIYA, RAIZO and MOTOYA INOUE, "Current Research on Snow Removal and Ice Control on Roads in Japan", Snow Removal and Ice Control Research, Special Report 115, U.S. Army cold Regions Research and Engineering Laboratory and Highway Research Board, Washington, D.C., April 1970.

Vehicle Corrosion Caused by De-Icing Salts, American Public Works Association Research Foundation, Special Report #34, Chicago, Illinois, September 1970.

Water Pollution and Associated Effects From Street Salting, Environmental Protection Agency, Storm and Combined Sewer Technology Branch, National Environmental Research Centre, Edison, New Jersey, October 1972.

WILLIAMS, G.P., Summary of Current Research on Snow and Ice in Canada, Technical Memorandum No. 106, National Research Council of Canada, 1972.

Winter damage to Roads Pavements, Road Research Group, Organization for Economic Co-operation and Development, OCED Publications Centre, May 1972.

WIRSHING, R.J., Effect of De-Icing Salts on the Corrosion of Automobiles, Bulletin 150, Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1957.