

LES SELS DE VOIRIE AU QUÉBEC : PROPOSITION D'UNE DÉMARCHE DE GESTION
ENVIRONNEMENTALE SPÉCIFIQUE AUX ZONES VULNÉRABLES

par
Jean-Philippe Robitaille

Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement en vue de
l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.)

Sous la direction de Pierre Poulin

CENTRE UNIVERSITAIRE DE FORMATION EN ENVIRONNEMENT
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Sherbrooke, Québec, Canada, 21 mai 2011

SOMMAIRE

Mots clés : développement durable, gestion environnementale, municipalité, sels de voirie, zone vulnérable.

De par leur faible coût et leur grande efficacité, les sels de voirie sont depuis longtemps utilisés dans le cadre de l'entretien hivernal des voies publiques et privées. Considérant le développement du réseau routier et les quantités croissantes de sels épandus, les gouvernements fédéral et provinciaux sont de plus en plus préoccupés par les conséquences que cette formule pourrait avoir auprès d'une société de développement durable. Utilisés d'abord dans le but de maintenir la circulation des personnes et des biens en toute sécurité, de nombreuses études ont démontré les effets néfastes des sels de voirie sur l'environnement, les infrastructures routières ainsi que sur la santé des citoyens. Par conséquent, les administrations responsables de l'entretien routier sont amenées à expérimenter de nouvelles alternatives afin d'optimiser ou de remplacer l'utilisation des sels de voirie.

Au niveau local, les municipalités sont confrontées à un nouveau défi sollicitant d'importantes ressources financières, techniques et organisationnelles. C'est dans ce contexte que s'inscrit l'objectif principal de ce travail, soit d'analyser les méthodes actuelles de gestion environnementale des sels de voirie et de proposer un outil adapté au contexte municipal. Basée sur divers critères du développement durable, cette analyse porte essentiellement sur certains produits de remplacement, de nouvelles stratégies d'intervention, une gestion durable des eaux de pluie, l'arrosage automatique fixe, la gestion des bancs de neige ainsi que la technologie des chaussées chauffantes.

Les recherches effectuées de même que les résultats d'analyse ont permis d'élaborer une démarche accessible de gestion des zones vulnérables aux sels de voirie. Soutenue par la mise en place d'un programme d'aide financière, cette démarche se base essentiellement sur une approche concertée unissant les acteurs concernés par l'entretien hivernal des routes, mais également par la protection de l'environnement d'un même territoire. Enfin, différentes alternatives sont envisageables pour atténuer les effets des sels de voirie sur l'environnement. Cependant, le principe de précaution dicte les restrictions à suivre en fonction des avantages et des inconvénients relevés pour chacune d'entre elles.

REMERCIEMENTS

La réalisation de cet essai n'aurait pas été possible sans l'aide et le soutien indispensable d'un bon nombre de personnes. C'est pourquoi je tiens à remercier tout d'abord monsieur Pierre Poulin d'avoir accepté de participer à ce projet à titre de directeur d'essai. Ses judicieux conseils m'ont aidé à mener cet essai le plus près possible de la réalité en rattrapant au passage des éléments clés de cet essai, malencontreusement oubliés en cours de rédaction.

J'aimerais également exprimer ma gratitude envers le personnel de la Direction de l'environnement et de la recherche du ministère des Transports du Québec pour m'avoir accueilli au sein de leur brillante équipe de travail à la suite d'un stage fort enrichissant sur le plan personnel et professionnel. Cette marque de confiance m'a permis de concrétiser mes deux années de maîtrise dans un milieu de travail exceptionnel. Un clin d'œil particulier à Patricia Keable pour sa précieuse aide au niveau de la recherche, à Robert Delisle pour ses judicieux conseils et son soutien quotidien ainsi qu'à Josianne Giroux pour sa contribution lors de la correction finale de cet essai.

Enfin, je dois remercier l'ensemble de ma famille pour leur appui et leur encouragement tout au long de cet essai, mais également de cette maîtrise.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1. MISE EN CONTEXTE	4
1.1 Les enjeux environnementaux	4
1.1.1 L'importance de l'eau	6
1.1.2 Le rôle des milieux humides	7
1.1.3 Les impacts sur l'eau de surface	8
1.1.4 Les impacts sur le sol	9
1.1.5 Les impacts sur la végétation	9
1.1.6 Les impacts sur la faune	11
1.2 Les enjeux socio-économiques	13
1.2.1 L'importance du transport routier	13
1.2.2 Le véritable coût associé à l'épandage du NaCl	15
1.2.3 La contamination des puits d'eau potable	16
1.2.4 Les effets sur la santé humaine	17
1.3 La législation fédérale	18
1.3.1 Le code de pratique de la LCPE pour la gestion des sels de voirie ..	18
1.3.2 Les autres législations pertinentes	19
1.4 La législation provinciale	20
1.4.1 La stratégie québécoise pour la gestion des sels de voirie	20
1.4.2 La Loi sur la qualité de l'environnement	21
1.4.3 La Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune	22
1.4.4 Les autres législations pertinentes	22
1.5 Les municipalités régionales de comté	24
1.5.1 Le Schéma d'aménagement et de développement	24
1.6 Les municipalités locales	26
1.7 Les organismes de bassin versant	27
2. LA GESTION ACTUELLE DES SELS DE VOIRIE	29
2.1 Les guides disponibles	29
2.1.1 Le Guide relatif à l'aménagement et à l'exploitation d'un centre d'entreposage et de manutention des sels de voirie (CEMS)	30
2.1.2 Le Guide d'aménagement des lieux d'élimination de neige et mise en œuvre du Règlement sur les lieux d'élimination de neige	31

2.1.3	Le Guide de mise en œuvre pour le code de pratique pour la gestion environnementale des sels de voirie	34
2.1.4	Le principe de la charge totale et maximale journalière	35
2.1.5	Lignes directrices pour la qualité des eaux ambiantes face aux chlorures.....	36
2.2	Les meilleures pratiques de gestion	36
2.2.1	Les programmes de formation, de communication et de documentation.....	37
2.2.2	Le calibrage des équipements	38
2.2.3	Un grattage de qualité.....	38
2.2.4	Les stations météorologiques	39
2.3	Les produits alternatifs.....	40
2.3.1	Les abrasifs	40
2.3.2	Les acétates	42
2.3.3	Les dérivés de sous-produits de l'agriculture	44
2.3.4	L'antidérapant Stop Gliss Bio.....	45
2.4	Les stratégies d'intervention	45
2.4.1	La préhumidification et l'antigivrage.....	46
2.5	Les routes blanches.....	49
2.6	La gestion durable des eaux de pluie	51
2.7	Les autres méthodes	53
2.7.1	L'arrosage automatique fixe.....	54
2.7.2	La gestion des bancs de neige.....	55
2.7.3	Les chaussées chauffantes.....	56
3.	L'ANALYSE ET LA COMPARAISON DES MÉTHODES DE GESTION	57
3.1	Méthodologie	57
3.2	Interprétation des résultats	59
3.2.1	Fiabilité des données	63
4.	PROPOSITION D'UN OUTIL POUR LA GESTION DES ZONES VULNÉRABLES AUX SELS DE VOIRIE.....	64
4.1	Quels sont les impacts des sels de voirie?.....	64
4.2	Qu'est-ce qu'une zone vulnérable?	64
4.3	Une approche concertée.....	65

4.4	Comment identifier les zones vulnérables aux sels de voirie?	67
4.4.1	Étape 1 : L'utilisation des données existantes	67
4.4.2	Étape 2 : La validation sur le terrain.....	67
4.5	Par où commencer?.....	67
4.5.1	Étape 3 : Déterminer le degré de vulnérabilité	68
4.5.2	Étape 4 : Déterminer la valeur du milieu naturel	68
4.5.3	Étape 5 : Prioriser la protection des zones vulnérables	70
4.6	Choisir une méthode de protection	72
5.	AUTRES RECOMMANDATIONS	73
	CONCLUSION.....	75
	RÉFÉRENCES	77
	BIBLIOGRAPHIE	88
	ANNEXE 1 Conseils pour l'identification des zones vulnérables aux sels de voirie	90
	ANNEXE 2 Liste des espèces végétales tolérantes au sel.....	93
	ANNEXE 3 Critères de caractérisation proposés dans le Guide d'élaboration d'un plan de conservation des milieux humides	95

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1.1	Flux des sels de voirie dans l'environnement.....	5
Figure 1.2	Impact des sels de voirie sur les végétaux.....	11
Figure 1.3	Âge moyen et médian des véhicules passagers entre 1970 et 1994.....	16
Figure 1.4	Schéma du cycle de gestion intégrée de l'eau par bassin versant.	28
Figure 2.1	Procédure de classification des eaux souterraines.....	33
Figure 2.2	Sensibilisation auprès des citoyens de la Ville de Sherbrooke.	38
Figure 2.3	Stations météorologiques fixe et mobile au MTQ.	40
Figure 2.4	Antidérapant Stop Gliss Bio.	45
Figure 2.5	Performances des déglaçants liquides selon la température d'essai.....	48
Figure 2.6	Comparaison des taux d'application pour différentes stratégies de gestion de la neige et de la glace.....	48
Figure 2.7	Sensibilisation des usagers de la route dans le cadre d'un projet de route blanche..	50
Figure 2.8	Effet de l'urbanisation sur le débit et le volume de ruissellement.....	51
Figure 2.9	Système d'arrosage automatique fixe (FAST)..	54
Figure 3.1	Structure hiérarchique du développement durable.	58
Tableau 1.1	Impacts de l'eau d'irrigation selon le type de plante cultivées.....	10
Tableau 1.2	Résumé des impacts sur l'écosystème	12
Tableau 1.3	Concentration de chlorure observée pour différentes sources.....	16
Tableau 2.1	Critères d'acceptabilité du point de rejet	32
Tableau 2.2	Détails des classes d'eaux souterraines	32
Tableau 2.3	Avantages et inconvénients de la méthode TMDL.....	35
Tableau 2.4	Lignes directrices pour le chlorure	36
Tableau 2.5	Sommaire des caractéristiques de certains produits de déglçage	41
Tableau 2.6	Avantages et inconvénients des abrasifs	42
Tableau 2.7	Avantages et inconvénients des produits d'acétates	44
Tableau 2.8	Stratégie d'intervention fréquemment utilisées	46
Tableau 2.9	Avantages et inconvénients de la préhumidification et de l'antigivrage	49
Tableau 2.10	Avantages et inconvénients des routes blanches	50
Tableau 2.11	Avantages et inconvénients de la gestion durable des eaux	53
Tableau 2.12	Avantages et inconvénients du système d'arrosage automatique	55

Tableau 2.13	Avantages et inconvénients des pare-neige végétaux et rigides	56
Tableau 3.1	Catégories, champs thématique et indicateurs permettant l'analyse des méthodes de gestion des zones vulnérables	59
Tableau 3.2	Analyse des méthodes de gestion des zones vulnérables selon les trois dimensions du développement durable.....	60
Tableau 4.1	Rôle et responsabilité des acteurs concernés par la gestion des zones vulnérables	66
Tableau 4.2	Résumé des indicateurs d'impact environnemental.....	69
Tableau 4.3	Matrice de priorisation multicritères basée sur le degré de vulnérabilité et la valeur d'une zone vulnérable aux sels de voirie.....	70
Tableau 4.4	Matrice d'évaluation de l'intensité de l'impact des sels de voirie.....	71

LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES

ATC	Association des transports du Canada
CCME	Conseil canadien des ministres de l'environnement
CEMS	Centre d'entreposage et de manutention des sels de voirie
CMA	Acétate de calcium-magnésium
CMI	Comité mixte international
COSEPAC	Comité sur la situation des espèces en péril
C-SHRP	Programme stratégique de recherche routière du Canada
EPA	Environmental Protection Agency
LCPE	<i>Loi canadienne sur la protection de l'environnement</i>
LEP	<i>Loi sur les espèces en péril</i>
LQE	<i>Loi sur la qualité de l'environnement</i>
LSIP	Liste des substances d'intérêt prioritaire
MDDEP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs
MPO	Ministère des Pêches et des Océans
MRC	Municipalités régionales de comté
MTO	Ministère des Transports de l'Ontario
MTQ	Ministère des Transports du Québec
NHDOT	New Hampshire Department of Transportation
OBV	Organismes de bassin versant
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Économiques
OCEE	Office de la coordination environnementale et de l'énergie
PDE	Plan directeur de l'eau
RCES	<i>Règlement sur le captage des eaux souterraines</i>
SAD	Schéma d'aménagement et de développement
SIG	Système d'information géographique
SMR	Station météorologique
TMDL	Charge totale maximale journalière
TRB	Transportation Research Board

INTRODUCTION

En hiver, les nombreuses précipitations de neige combinées aux importantes chutes de température nécessitent un entretien rigoureux du réseau routier entraînant de lourdes conséquences sur le plan environnemental. Au Québec, l'explosion démographique de l'après-guerre a été accompagnée d'une expansion majeure du réseau routier. Ce développement urbain est, depuis toujours, responsable d'une modification importante du milieu naturel et du processus écologique en place. Sans parler de la fragmentation du territoire et de l'impact sur le paysage, l'augmentation du nombre d'utilisateurs de la route a d'abord incité les gestionnaires du réseau routier à utiliser divers types de fondants chimiques afin d'assurer la circulation des personnes et des biens de façon sécuritaire. Vers la fin des années 1950, une croyance populaire avançant que « plus on en met, mieux c'est » a modifié les pratiques d'épandage des sels de voirie pour atteindre des taux d'application très élevés (Environmental Protection Agency (EPA), 1999). Rapidement, de nombreuses études ont commencé à démontrer la toxicité des fondants chimiques pour l'environnement. Au Québec, dès les années 1970, des analyses de la qualité de l'eau ont relevé des concentrations moyennes de chlorure supérieures au bruit de fond, et ce, au niveau de l'eau de surface (Delisle, 2011), comme au niveau de la nappe aquifère (Ministère des Transports du Québec, 1999). De plus, les effets des sels de voirie sur la végétation en bordure du réseau routier ont également été documentés (Mathieu, 1979).

En 2001, le gouvernement canadien a inscrit le nom des sels de voirie à la deuxième liste de substances d'intérêt prioritaire (LSIP), alors que plus de 4,7 millions de tonnes de sels de voirie étaient épandues annuellement, dont 1,5 million au Québec (Morin et Perchanok, 2000). Dans son rapport d'évaluation, Environnement Canada confirmait ce que plusieurs auteurs avançaient depuis déjà longtemps, soit que :

« à la lumière des données disponibles, on conclut que les sels de voirie [...] pénètrent dans l'environnement en une quantité ou en une concentration ou dans des conditions de nature à avoir, immédiatement ou à long terme, un effet nocif sur l'environnement ou sur la diversité biologique, ou de nature à mettre en danger l'environnement essentiel pour la vie. En conséquence, on conclut que les sels de voirie [...] sont considérés comme "toxiques" au sens de l'article 64 de la Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999) » (Environnement Canada et Santé Canada, 2001).

Par ailleurs, développée dans les années 1990, la gestion environnementale des sels de voirie est une approche qui rassemble et encourage l'utilisation des meilleures pratiques

actuelles. Au Canada, un *Guide de gestion des sels de voirie* a été publié en 1999 par l'Association des transports du Canada (ATC) afin d'appuyer les administrations touchées par l'entretien hivernal (ATC, 1999). Cette même organisation a publié par la suite les *Synthèses des meilleures pratiques de gestion des sels de voirie* (ATC, 2003a), qui sont rapidement devenues les documents de référence en matière de gestion environnementale des sels de voirie. L'ensemble de ces informations aurait dû permettre aux administrations publiques et privées de protéger et de conserver adéquatement les zones vulnérables aux sels de voirie (voir annexe 1), dont principalement les ressources en eau souterraine. Or, plusieurs municipalités n'ont pas le soutien financier, technique ou organisationnel pour identifier adéquatement les zones vulnérables et ensuite modifier leurs pratiques de gestion actuelle en fonction de l'information disponible (Stone *et al.*, 2010).

En ce sens, cet essai a pour objectif principal l'analyse des méthodes actuelles de gestion environnementale des sels de voirie dans le but de développer un outil de gestion des zones vulnérables adapté au contexte municipal québécois, et ce, en respectant les dimensions du développement durable. Pour ce faire, une recherche sur les différents enjeux environnementaux, sociaux et économiques de l'entretien hivernal a permis de mieux comprendre la problématique. La description des législations fédérales, provinciales et municipales a été nécessaire afin d'établir les rôles et les responsabilités de chaque administration dans le contexte de l'entretien hivernal. Puis, les principales méthodes de gestion des zones vulnérables ont été décrites et analysées selon la méthode des avantages et des inconvénients. Ces méthodes ont également été comparées entre elles à l'aide de critères basés sur le développement durable, reflétant les besoins du contexte municipal. Suite à la présentation du guide, des recommandations supplémentaires sont finalement ajoutées afin d'améliorer la connaissance générale du territoire du Québec et ainsi de faciliter la prise de décision en matière de gestion environnementale des sels de voirie.

Pour arriver à proposer un outil simple et facilement applicable par les municipalités, une recherche générale sur les sels de voirie a été réalisée afin de considérer l'ensemble de l'information disponible à ce jour. Par la suite, des recherches plus approfondies sur des sujets spécifiques ont permis d'améliorer la compréhension des méthodes ou des pratiques et de confirmer certaines hypothèses. Une grande partie de la recherche

d'informations a été réalisée à partir du centre de documentation du ministère des Transports du Québec (MTQ), ce qui a facilité l'accès à plusieurs banques de données universitaires et scientifiques. De plus, la qualité et la validité des sources ont été principalement évaluées en utilisant les critères suivants : l'ampleur de la matière traitée, la compétence de l'auteur ou de l'organisation, la fiabilité des sources ainsi que la date de parution.

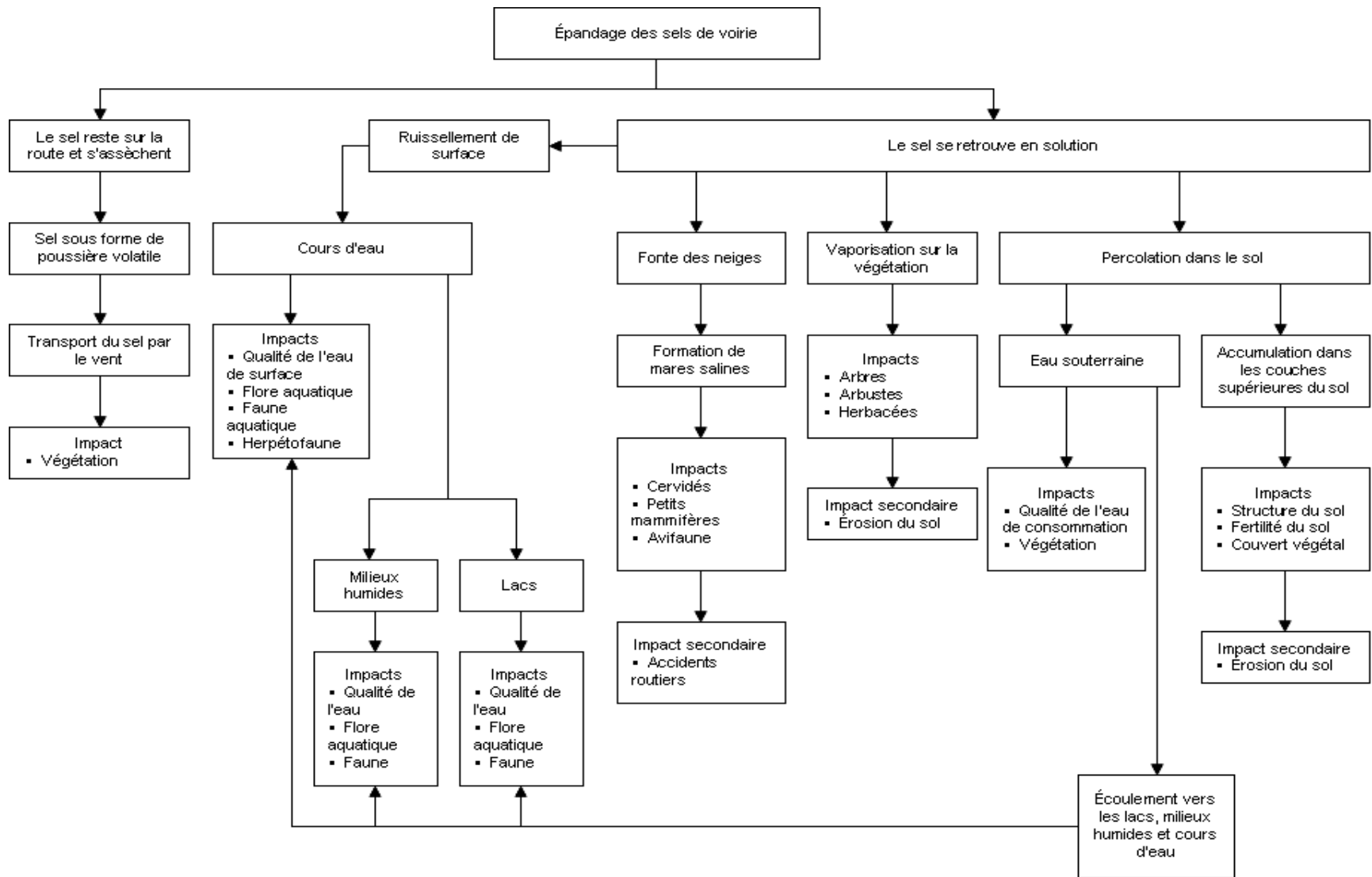
1. MISE EN CONTEXTE

Avec la mise en œuvre de la *Loi sur le développement durable*, les différents paliers gouvernementaux et municipaux ont entrepris certaines démarches pour limiter les impacts de l'entretien hivernal sur l'environnement. Dans un premier temps, les sections suivantes présenteront les enjeux environnementaux, sociaux et économiques de l'entretien hivernal. Par la suite, il sera question des lois, des règlements et des autres stratégies mises en place permettant d'encadrer l'utilisation des sels de voirie sur le territoire canadien, québécois, régional et local. Cet exercice vise particulièrement à définir les rôles et les responsabilités des gestionnaires du réseau routier dans le but d'éclaircir la compétence des municipalités en ce qui a trait à la gestion environnementale des sels de voirie.

1.1 Les enjeux environnementaux

En raison de son faible coût et de son efficacité en tant que fondant chimique, l'utilisation du chlorure de sodium (NaCl) demeure aujourd'hui le produit le plus couramment utilisé au Canada (Environnement Canada et Santé Canada, 2001). Bien que des efforts considérables aient été réalisés dans les deux dernières décennies, l'état actuel de la gestion environnementale des sels de voirie est loin d'atteindre les attentes en matière de protection de l'environnement. Une des raisons qui pourraient expliquer ce dénouement pourrait être la facilité avec laquelle le NaCl arrive à se disperser dans l'environnement pour ensuite affecter la qualité de l'eau et du sol, la flore ainsi que la faune.

Une fois en solution, les sels de voirie peuvent facilement atteindre le sol en bordure de l'emprise routière, la végétation et les cours d'eau à proximité (voir figure 1.1). S'il n'est pas immédiatement capté par les végétaux ou dirigé vers un cours d'eau, l'ion sodium sera partiellement retenu par la surface des particules dans le sol en raison de sa charge positive. Selon la capacité de drainage du sol, il sera par la suite récupéré par les végétaux ou s'écoulera vers les eaux souterraines. À l'opposé, le chlorure est un ion très soluble dans l'eau et donc très mobile dans l'environnement. Ainsi, il franchit facilement les couches du sol pour atteindre les eaux souterraines et les eaux de surface (*ibid.*).



Flux des sels de voirie dans l'environnement. Modifié de Charbonneau, 2006, p.77.

1.1.1 L'importance de l'eau

Bien que la planète Terre soit recouverte à 70 % d'eau, seulement 2,5 % de ce volume est constitué d'eau douce, essentiel à la consommation humaine. En considérant l'eau gelée, l'eau souterraine, ainsi que l'eau sous forme d'humidité ou de vapeur, les lacs et les cours d'eau ne correspondent qu'à 0,007 % de la quantité totale d'eau. De cette eau, 40 % se retrouve dans les Grands Lacs de l'Amérique du Nord de même que dans le Lac Baïkal, en Russie (U.S. Geological Survey (USGS) et Agence de l'Eau Artois-Picardie, 2011).

Selon un rapport présenté à l'été 2010 par la Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie (TRNEE) :

« à l'échelle nationale, la gouvernance ne permet pas actuellement de réagir à l'augmentation prévue de la pression sur nos ressources en eau. Cela tient surtout à la complexité de la mécanique gouvernementale, à l'incohérence des approches à l'échelle du pays, à la fragmentation des politiques, au manque de ressources et à l'insuffisance des capacités techniques, scientifiques et stratégiques » (Francoeur, 2010).

Dans un autre rapport, le Comité mixte international (CMI) se dit inquiet de la situation dans le bassin des Grands Lacs. Selon le CMI, les eaux souterraines, qui rechargent les Grands Lacs et ses milieux humides, *« obtiennent moins d'attention qu'elles ne devraient »*. Les problèmes observés par le CMI les amènent à recommander aux gouvernements de protéger toutes sources d'eau souterraines potables, même si elles ne sont pas utilisées, et à adopter des programmes de surveillance et de suivi de l'ensemble des puits forés depuis l'ère industrielle. Par ailleurs, les sels de voirie sont clairement identifiés dans ce rapport comme étant l'une des nombreuses sources de contamination des eaux souterraines du bassin des Grands Lacs (*ibid.*).

Enfin, dans un document publié en 2010, le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) révélait les inquiétudes exprimées par les praticiens et les chercheurs consultés lors de l'enquête (CCME, 2010). En matière de connaissances, les répondants ont notamment identifié un grand besoin d'améliorer les lacunes suivantes :

- durabilité des nappes souterraines;
- données sur le suivi et la qualité des eaux souterraines;
- cartographie et caractérisation des nappes souterraines;
- interaction entre eaux souterraines et eaux de surface;

- données de registres de puits;
- accès aux données sur les eaux souterraines;
- protection des eaux souterraines;
- etc.

Au niveau de la gestion des eaux souterraine, la principale préoccupation consiste en un manque de réglementation et de mécanisme de gestion. Combinées au manque d'information sur les eaux souterraines, les solutions apportées sont d'améliorer la législation en vigueur de même que la disponibilité de l'information.

1.1.2 Le rôle des milieux humides

Considérant le pourcentage d'eau de surface disponible sur la Terre, les milieux humides forment de rares écosystèmes qui fournissent plusieurs services essentiels au maintien de la qualité de vie. D'ailleurs, l'organisme Canards Illimités Canada les définit comme suit : « si les forêts sont les poumons de notre planète, les milieux humides en sont les reins ».

Voici les principales fonctions des milieux humides :

- contribuer au maintien de la biodiversité du territoire;
- servir de refuge et de milieu de vie pour la faune;
- agir comme une éponge en réduisant l'érosion et les risques d'inondation;
- contribuer à l'épuration des eaux de surface contaminées par les activités humaines;
- participer au maintien de la nappe phréatique, laquelle contribue entre autres à l'alimentation humaine et animale de même qu'à l'irrigation des cultures;
- capter la chaleur et offrir des refuges thermiques (changements climatiques);
- favoriser la libération d'eau pendant les périodes plus sèches;
- offrir des sites extraordinaires pour des activités récréatives.

Lorsque localisés près d'un site d'entreposage, d'épandage ou d'élimination de la neige, ces milieux humides peuvent constituer des zones vulnérables aux sels de voirie. Par conséquent, il est primordial de considérer ces services naturels lors de l'évaluation des opérations d'entretien hivernal.

1.1.3 Les impacts sur l'eau de surface

Chaque printemps et automne, les changements de température de l'eau entraînent un mélange vertical des eaux ou « *turnover* » qui a pour effet de redistribuer l'oxygène et les nutriments dans la colonne d'eau d'un lac. Toutefois, l'introduction d'une quantité importante de sels de voirie peut affecter la densité de l'eau et nuire à ce brassage des eaux. Par conséquent, l'hypolimnion risque de tomber dans un état anoxique alors que le manque de nutriment dans l'épilimnion affectera la productivité, ce qui peut mener à un changement total de l'écosystème lacustre. Ce phénomène a été observé là où les concentrations de sodium étaient d'environ 60 mg/L et celle de chlorure, d'environ 105 mg/L. En général, les plans d'eau les plus sensibles aux sels de voirie sont ceux avec un faible taux de dilution, tels que les petits lacs, les étangs urbains à long temps de séjour, les bassins de rétention d'eau pluviale, les cours d'eau drainant des zones urbaines et les terres humides à proximité des routes. (Environnement Canada, 2004a)

Au niveau des organismes dulcicoles, il a été estimé que 5 % des espèces sont affectées par une exposition chronique à une concentration de 210 mg/L de chlorure alors que 10 % sont touchées à une concentration de 240 mg/L (Environnement Canada, 2004a). Selon différents auteurs, des effets chroniques sont observés pour des concentrations de chlorure variant de 150 à 230 mg/L, alors que les effets aigus apparaissent entre 600 et 860 mg/L (*ibid.*). Par ailleurs, des concentrations aussi basses que 400 mg/L sont nuisibles pour une espèce comme la truite (Scott et Wylie, 1980). Constituant une source importante de l'alimentation de l'ichtyofaune, les algues, les insectes de même que les invertébrés possèdent des seuils de tolérance inférieurs à ceux présentés ci-dessus, ce qui pourrait favoriser une modification de l'écosystème et la perte de biodiversité (Wegner et Yaggi, 2001). Les effets des chlorures sur les bactéries, les levures et les bivalves peuvent se produire à des concentrations variant de 5 à 200 mg/L (ATC, 1999). Les cours d'eau caractérisés par un faible débit peuvent subir une modification de la composition des colonies de macroinvertébrés benthiques (*ibid.*).

Par ailleurs, la présence d'une quantité importante de sels de voirie risquerait également de faciliter la remise en suspension de certains métaux lourds emprisonnés dans les sédiments (mercure, cadmium, zinc) (Environnement Canada et Santé Canada, 2001).

1.1.4 Les impacts sur le sol

Les sels de voirie augmentent le potentiel osmotique d'un sol rendant difficile l'absorption de l'eau par les plantes. Ce stress osmotique infligé au couvert végétal entraîne une perte graduelle de la végétation de surface et de la matière organique du sol, ce qui a pour effet d'accroître la dispersion et, de ce fait, de réduire la perméabilité du sol et d'en augmenter l'érosion. D'autre part, ce nouveau stress osmotique influence également la communauté biologique du sol et donc le cycle des éléments (carbone, azote, phosphore, soufre, etc.) qui le constituent (*ibid.*). Les bactéries qui s'y retrouvent peuvent être affectées à des concentrations de 150 mg/L, ou 90 mg/L de chlorure et 60 mg/L de sodium (Environnement Canada et Santé Canada, 2001). Cependant, les populations pourraient se rétablir rapidement advenant le rétablissement des conditions favorable, principalement pour une zone restreinte comme celle longeant les routes (*ibid.*).

Suite à certaines inquiétudes exprimées de la part des producteurs agricoles concernant le prolongement de l'autoroute 30, le MTQ s'est donné le mandat d'étudier l'impact des embruns salins sur les caractéristiques chimiques du sol à proximité d'une autoroute (MTQ, 2008). Les résultats de l'étude ont démontré que la concentration de sodium dans le sol était supérieure aux seuils critiques pour le développement racinaire. Toutefois, les champs étant situés à plus de 30 mètres de l'autoroute, aucune concentration problématique n'y a été mesurée.

1.1.5 Les impacts sur la végétation

L'impact sur la végétation diffère selon les espèces de plante. En général, les conifères sont plus vulnérables aux sels atmosphériques que les feuillus en raison de leur métabolisme actif au fil des saisons (Jones *et al.*, 1986). Chaque année, il a été estimé que 15 % des arbres le long des routes subissent des dommages causés par l'épandage de sels de voirie (Munck, 2010). Une autre étude a démontré qu'environ 50 % des espèces ligneuses forestières sont sensibles aux sels de voirie, incluant 11 des 15 espèces principales retrouvées dans les forêts canadiennes (Wegner et Yaggi, 2001). En général, les concentrations maximales dans le sol pour la protection des plantes terrestres sensibles sont de 68 mg/L de sodium et de 215 mg/L de chlorure (Environnement Canada et Santé Canada, 2001), les jeunes plants de pin blanc étant les plus sensibles (Wegner et Yaggi, 2001). Toutefois, des dommages à la végétation ont été observés à des

concentrations de 16 ppm de sodium et de 30 ppm de chlorure (Environnement Canada et Santé Canada, 2001).

L'augmentation des concentrations de sel dans le sol à proximité des routes facilite l'invasion des espèces envahissantes et tolérantes au sel, en particulier le roseau commun *Phragmites australis* (Bédard *et al.*, 2008). Les impacts observés sur le couvert végétal ne touchent pas seulement le développement racinaire, mais également la croissance générale de la flore ainsi que le développement des fleurs et des fruits (*ibid.*). En ce sens, le CCME a développé une liste de concentrations maximales en fonction de l'impact de l'eau d'irrigation sur les végétaux (voir tableau 1.1).

Selon les nombreux cas inventoriés, le ruissellement d'eaux à forte teneur en sels ainsi que la dispersion atmosphérique occasionnée par le vent (embruns salins) nuit au développement et au rendement des plantes sur une distance allant jusqu'à 80 mètres des autoroutes à voies multiples et jusqu'à 35 mètres des routes à deux voies (voir figure 1.2) (Cain *et al.*, 2001). Des concentrations dans le sol supérieures à 200 ppm ont été rapportées à moins de 200 mètres de certaines routes du Canada (Environnement Canada et Santé Canada, 2001). En calculant la superficie de végétaux à risque le long des routes du Canada, les sels de voirie pourraient avoir une incidence sur 2 242 000 ha (*ibid.*). Cependant, il faut dire que l'épandage de sels de voirie n'est pas pratiqué sur l'ensemble du réseau routier du pays, la superficie réelle à risque devrait donc être nettement inférieure.

Tableau 1.1 Impacts de l'eau d'irrigation selon le type de plante cultivées

Impact	Concentration de chlorure en (mg/L)
Endommagement des feuilles	100-178 pour l'amande, l'abricot et la prune
	178-355 pour le raisin, le poivron, la pomme de terre et la tomate
	355-710 pour la luzerne, l'orge, le maïs et le concombre
	>710 pour le chou-fleur, le coton, le carthame, le sésame, le sorgho, la betterave à sucre et le tournesol
Porte-greffe	180-600 pour les fruits à noyau (pêche, prune, etc.)
	710-900 pour le raisin
Cultivars	110-180 pour la fraise
	230-460 pour le raisin
	250 pour la mûre de Boysen, la mûre sauvage et la framboise

Tiré du CCME, s. d.

Par ailleurs, les citoyens québécois sont interpellés chaque hiver par les activités d'entretien routier. En effet, l'article 69 de la *Loi sur les compétences municipales* prévoit que « toute municipalité locale peut projeter la neige qui recouvre une voie publique sur les terrains privés contigus ». Il existe également une disposition similaire pour les routes entretenues par le ministère des Transports (*Loi sur la voirie*, article 17). À l'arrivée du printemps, les conséquences de cette méthode de déneigement nuisent à la santé des végétaux présents sur les terrains des particuliers et engendrent des coûts d'entretien supplémentaires ainsi que des pertes au niveau de la productivité des différentes cultures exploitées. En 1991, une étude du ministère des Transports de l'Ontario a d'ailleurs permis d'établir les pertes liées aux dommages causés par le sel de voirie à la végétation, principalement aux vergers sensibles situés à proximité des routes, à environ 2,8 millions de dollars annuellement (Ministère des Transports de l'Ontario, 1991).

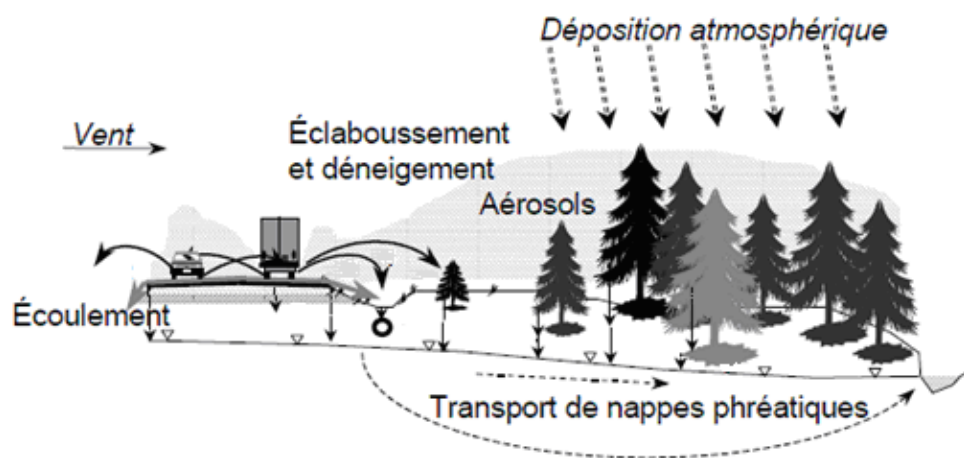


Figure 1.2 Impact des sels de voirie sur les végétaux. Modifié de Blomqvist, s. d.

1.1.6 Les impacts sur la faune

Au Québec, la création de mares salines le long des routes est une cause importante de l'augmentation des collisions avec l'orignal et le cerf de Virginie (Dussault *et al.*, 2005). Ce phénomène est attribuable au besoin des animaux de combler un déficit en sel le printemps venu. Aussi, il a été observé que des petits animaux comme la marmotte commune, le lièvre d'Amérique, le porc-épic et le lapin à queue blanche peuvent subir un empoisonnement suite à une grande consommation de sels de voirie et à une faible absorption d'eau (Environnement Canada et Santé Canada, 2001). En plus du risque de collision et d'empoisonnement, les dommages causés à la végétation contribuent à la dégradation de l'habitat des espèces fauniques. Il a été démontré que les habitats en

Tableau 1.2 Résumé des impacts sur l'écosystème

Élément de l'environnement	Effet	Impact
Eau de surface	Concentrations élevées en chlorure et en sodium	Toxique pour certaines espèces de poisson Nuit au mélange vertical des eaux entraînant une chute des concentrations d'oxygène Peut libérer des métaux lourds contenus dans les sédiments
Eau souterraine	Concentrations élevées en chlorure et en sodium	Augmente la salinité de l'eau de consommation Augmente la salinité du courant de fond alimentant les eaux de surface
Végétation	Concentrations élevées en chlorure et en sodium dans le sol et dans l'air exposé	Permet l'invasion des plantes tolérantes au sel Diminue la productivité des fleurs et des fruits Nuit à la croissance générale Endommage les racines des plantes
Sol	Augmentation de la salinité du sol	Détérioration de la structure du sol Perte de la stabilité du sol Perte de la perméabilité du sol
Faune	Impacts sur le comportement animal	Augmentation des décès reliés au trafic routier (effet des mares salines en bordure des routes) Déshydratation causée par l'ingestion des granules de sel en bordure des routes Réduction de la nourriture disponible causée par la perte du couvert végétal et le changement de la communauté biologique Perte d'habitat le long des routes et augmentation des effets de la fragmentation

Tiré de RiverSides Stewardship Alliance et Sierra Legal Defense Fund, 2006, p.21.

bordure de routes favorisent le maintien de la biodiversité et limitent l'impact de la fragmentation des habitats en constituant des corridors de déplacement pour les individus (*ibid.*). Au Québec, ces habitats sont d'ailleurs les seuls endroits où la reproduction de la grenouille *Pseudacris triseriata* a été observée, cette espèce figure sur la liste des espèces en péril et a été classée vulnérable (*ibid.*). Enfin, les intoxications et les changements de comportement entraînant une collision avec un véhicule pourraient être des impacts sous-estimés des sels de voirie sur l'avifaune (*ibid.*). D'ailleurs, les oiseaux les plus vulnérables aux sels de voirie pourraient être les roselins carduélins (famille des Fringillidés, sous-famille des Carduélins : becs-croisés des sapins, gros-becs et tarins des aulnes), des espèces retrouvées sur l'ensemble du territoire couvert par la forêt boréale et protégées par la *Loi sur la Convention concernant les oiseaux migrants*.

1.2 Les enjeux socio-économiques

Outre leurs impacts sur l'environnement, les quantités importantes de sel inorganique de chlorure (chlorure de sodium, chlorure de calcium, chlorure de magnésium et chlorure de potassium) utilisées annuellement ont de nombreuses répercussions, tant sur le plan social qu'économique. Cette section vise à déterminer si les sels inorganiques de chlorure utilisés comme sels de voirie sont socialement acceptables.

1.2.1 L'importance du transport routier

De 1908 à aujourd'hui, le parc automobile mondial a été multiplié par 10 000 alors que la population mondiale quadruplait. De son côté, le réseau routier mondial, alors estimé à 10 millions de kilomètres, avoisine aujourd'hui un total de 33 millions de kilomètres, revêtus à 60 %. Deux enjeux classiques doivent être relevés lorsqu'il est question de transport, soit la maintenance et l'exploitation du réseau routier (Gouvernement de la France, 2007).

Les chaussées sont constituées de matériaux fragiles et périssables. Ceci est particulièrement vrai lorsqu'elles sont soumises à des climats rigoureux comme celui du Québec. Ceci dit, l'entretien, la maintenance et les réparations requièrent des ressources financières importantes et une main-d'œuvre suffisante. Au Québec, le MTQ consacre annuellement un budget d'exploitation d'environ 250 millions de dollars uniquement pour l'entretien hivernal, ce qui représente 50 % du budget total alloué pour la réalisation de l'ensemble des activités d'exploitation du réseau routier (MTQ, 2010). En 2010, le réseau

routier du Québec était composé d'approximativement 320 000 km de routes, dont 30 400 km étaient sous la responsabilité du MTQ (MTQ, 2009b). Au total, l'industrie des services de transports employait près de 156 000 Québécois, ce qui représente 4,6 % de tous les salariés du Québec (ce chiffre exclut les 145 000 emplois d'ordre administratif ou encore reliés à la construction et à la fabrication des véhicules, des pièces ou des autres matériaux liés aux transports) (*ibid.*).

L'exploitation du réseau de transport est dans un premier temps un enjeu économique, mais également social. D'abord, les données les plus récentes démontrent que le transport routier au Canada engendre un revenu annuel de 34,8 milliards de dollars (Environnement Canada, sous-presse). De plus, les revenus provenant des échanges avec les États-Unis atteignent 270 milliards de dollars. Dans l'ensemble, la marchandise transportée annuellement par camion est estimée à 507 millions de tonnes. Sur le plan social, l'enjeu majeur est de permettre une qualité de vie aux usagers et aux riverains en limitant les inconvénients des travaux d'entretien, les nuisances de bruit et de pollution, les risques d'accident de même que toutes autres sources de congestion. La demande étant de plus en plus forte pour habiter en ville ou en périphérie et obtenir une diversité de services en tout genre, cette tendance impose une ramification croissante des réseaux hiérarchisés entre le sentier et l'autoroute. Aujourd'hui, c'est en moyenne entre 4 à 6 % du réseau qui dirige 50 % du trafic routier (Gouvernement de la France, 2007). Malgré le développement continu, mais lent, des moyens de transport alternatifs, le véhicule automobile représente aujourd'hui la réponse à cette demande. Bien qu'inégalement répartie et de moins en moins soutenable, l'automobile restera vraisemblablement dominante au cours des 20 prochaines années. Entre temps, les recherches et les expérimentations préalables dans le domaine des transports interurbains sont primordiales afin de s'assurer que les choix ne se révèlent pas trop lourds en coûts et en conséquences éventuelles. Enfin, la route fait partie de l'histoire de chaque être humain et est aujourd'hui un élément indispensable au développement ou même au maintien de la vie sociale et économique. L'autonomie de chaque individu ainsi que l'accès à l'école régulière, aux services de santé, à l'eau et aux biens matériels de base sont rendus possibles grâce à cette diversité de chemins, participant jour après jour au développement du réseau mondial de transports.

1.2.2 Le véritable coût associé à l'épandage du NaCl

Encore aujourd'hui, le produit déglaçant le plus utilisé au Canada demeure le NaCl en raison de son faible coût et de son efficacité (Environnement Canada, sous-presse). Or, les coûts réels associés à l'épandage du NaCl et des autres produits inorganiques de chlorure devraient tenir compte de leurs répercussions en tant qu'agents corrosifs. Aux États-Unis, les coûts annuels associés aux mesures de protection contre la corrosion et à la réparation des dommages causés aux ponts sont évalués respectivement à 250 et 650 millions de dollars américains (Shi, 2005). En 1992, une étude a démontré que les coûts reliés à la corrosion des infrastructures équivalaient à 615 \$/tonne de sels épandus et à 113 \$/tonne pour ce qui est des coûts associés à la corrosion des véhicules (Vitaliano, 1992). Basé sur un taux d'inflation annuel de 1,91 % (Banque du Canada, 2011) et considérant que 4,7 millions de tonnes de sels de voirie sont épandues au Canada, dont 1,5 au Québec, il est possible d'estimer les coûts annuels se rattachant à la corrosion des infrastructures et des automobiles à 4,9 milliards de dollars au Canada et à 1,6 milliard de dollars au Québec. Enfin, additionné à un coût d'achat de 75 \$/tonne, le véritable coût d'utilisation du NaCl se chiffrerait aux alentours de 1 117 \$/tonne. Dans un article publié en 2011 dans le journal *Le Droit*, le coût du sel incluant les dommages aux infrastructures routières et à la végétation atteindrait un peu plus de 900 \$/tonnes (St-Pierre, 2011).

Malgré les efforts pour arriver à obtenir des données le plus près de la réalité d'aujourd'hui, plusieurs sources potentielles d'erreurs pourraient influencer la fiabilité des données ci-dessus. Par exemple, le pourcentage du taux d'inflation se réfère aux données mensuelles de l'indice des prix à la consommation (IPC). Aussi, les fabricants d'automobiles ont réduit la vulnérabilité des véhicules face à la corrosion, notamment en introduisant le plastique dans plusieurs composantes du véhicule, ce qui a pour effet d'augmenter la durée de vie des automobiles (voir figure 1.3). La même tendance a été observée dans le secteur de l'ingénierie routière, alors que les infrastructures et les ponts sont de plus en plus construits à partir de matériaux résistant à la corrosion. Bien qu'il n'existe aucune étude réalisée au Canada et que les différentes études provenant des États-Unis fournissent des résultats très variables (Shi, 2005; Johnson, 2002), force est de constater que le coût total d'utilisation du NaCl s'élève bien au-delà de son seul coût d'achat.

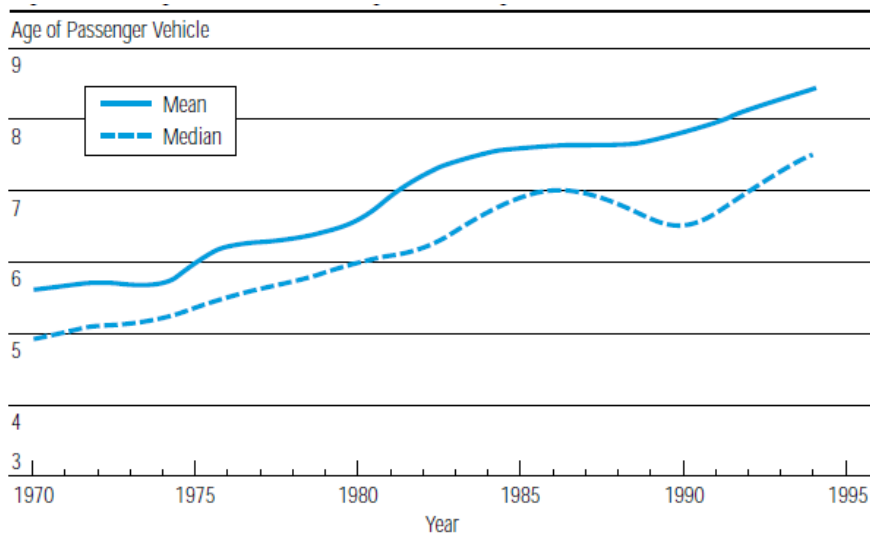


Figure 1.3 Âge moyen et médian des véhicules passagers entre 1970 et 1994. Tiré de Salt Institute, 2004.

1.2.3 La contamination des puits d'eau potable

Provenant de l'entreposage des sels de voirie, de l'épandage sur les voies de circulation ou encore des sites d'élimination de la neige, la contamination des eaux de surface comme des eaux souterraines mène dans certains cas à la contamination des puits privés et même municipaux (voir tableau 1.3). Des études ont démontré qu'entre 10 et 60 % du sel épandu pénètre dans les eaux souterraines peu profondes jusqu'à l'atteinte d'un équilibre (Environnement Canada et Santé Canada, 2001). Une charge annuelle supérieure à 20 tonnes de NaCl par kilomètre de route à 2 voies pourrait entraîner la contamination des eaux souterraines sous un réseau routier d'importance (*ibid.*). Une fois contaminée, l'impact de cette eau peut se faire ressentir au niveau de la qualité de l'eau potable et des eaux de surface.

Tableau 1.3 Concentration de chlorure observée pour différentes sources

Source de chlorure	Concentration maximale de chlorure (mg/L)
Eau de source normale	20-50
Ruisseau urbain en hiver	plus de 1000
Eau souterraine	2800
Neige contaminée	3000-5000
Eau de ruissellement d'une autoroute	plus e 18 000
Eau de ruissellement d'un entrepôt de sel	82 000

Tiré de RiverSides Stewardship Alliance et Sierra Legal Defense Fund, 2006, p.18.

À la demande de la Municipalité du Cap-de-la-Madeleine, le MTQ a réalisé une étude afin de déterminer le lien de cause à effet entre l'utilisation des sels de voirie et la contamination de la nappe aquifère desservant les contribuables en eau potable (Ministère des Transports, 1999). Au total, 23 puits ont été échantillonnés entre 1983 et 1994. Les résultats d'analyse démontrent que les concentrations ont en moyenne doublé pour atteindre un maximum de 268 mg/l de chlorure (*ibid.*). Les conclusions de l'étude confirment le lien entre l'épandage de sels de voirie et la contamination de la nappe aquifère. La présence d'un site d'entreposage des sels de voirie était en partie responsable de la contamination d'un de ces puits municipaux.

En Ontario, une étude réalisée en 1991 par le ministère des Transports de l'Ontario a démontré que la contamination des eaux souterraines par le sel de voirie coûtait environ 5,9 millions de dollars par an (Ministère des Transports de l'Ontario, 1991).

Enfin, aucun système de collecte de données ne permet actuellement de connaître le nombre de puits contaminés annuellement au Québec. Le MTQ prévoit implanter ce type de système dès la saison 2011-2012 (MTQ, sous-presse). Malgré tout, il a été estimé que le coût de dédommagement d'un puits contaminé par les sels de voirie varie entre 20 000 et 25 000 dollars (Soucy, 2011). En considérant les coûts reliés aux méthodes préventives (imperméabilisation des fossés), les coûts annuels sont estimés à plusieurs millions de dollars (*ibid.*).

1.2.4 Les effets sur la santé humaine

Selon le Centre de contrôle et de prévention des maladies (CDC), le sel est associé à plusieurs problèmes de santé. Une trop grande consommation de sel contribuerait au développement de problème cardiovasculaire, à des maladies du foie et des reins ainsi qu'à une pression sanguine élevée (Centre de contrôle et de prévention des maladies, 2009). Aucun seuil de concentration n'a été déterminé par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). Toutefois, Santé Canada recommande d'inclure les concentrations de sodium dans le suivi des échantillons d'eau potable et d'aviser les services de santé locaux lorsque la concentration excède 20 mg/l afin de prévenir les patients qui doivent respecter un régime hyposodique (Santé Canada, 2009).

Fidèle aux recommandations de Santé Canada, la Direction régionale de santé publique de la Capitale-Nationale (DRSP) établit à 200 mg/l de sodium et à 250 mg/l de chlorure les seuils au-delà desquels les propriétés organoleptiques ou esthétiques de l'eau de consommation pourraient être altérées (Duchesne, 2011). Aux États-Unis, certaines agences recommandent des limites beaucoup plus sévères, soit 25 mg/l pour le chlorure (Marsalek, 2003).

1.3 La législation fédérale

1.3.1 Le code de pratique de la LCPE pour la gestion des sels de voirie

La *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* (LCPE) stipule que le gouvernement fédéral s'engage à exercer ses pouvoirs de manière à « prendre des mesures préventives et correctives pour protéger, valoriser et rétablir l'environnement » et « préserver l'environnement, notamment la diversité biologique, et la santé humaine des risques d'effets nocifs de l'utilisation et du rejet de substances toxiques, de polluants et de déchets » (*Loi canadienne sur la protection de l'environnement*, article 2). La LCPE exige également l'élaboration et la mise à jour d'une liste des substances d'intérêt prioritaire (LSIP). Sous la responsabilité d'Environnement Canada et de Santé Canada, cette liste regroupe les substances prioritaires dont la toxicité et le risque doivent être évalués pour la santé des citoyens et de l'environnement. Les sels de voirie ont fait leur apparition sur cette liste en 1995. Plus spécifiquement, quatre types de fondants chimiques ont été visés en fonction de leur utilisation importante sur le réseau routier canadien, soit : le chlorure de sodium (NaCl), le chlorure de calcium (CaCl₂), le chlorure de magnésium (MgCl₂) ainsi que le chlorure de potassium (KCl).

Après une étude s'échelonnant sur cinq années, le rapport final a conclu que les sels de voirie contenant des sels inorganiques de chlorure étaient considérés comme « toxiques » (Environnement Canada et Santé Canada, 2001), ce qui a mené à la publication du *Code de pratique pour la gestion environnementale des sels de voirie* (Environnement Canada, 2004a). Basé sur les meilleures pratiques de gestion des sels de voirie développées et publiées par l'ATC, le gouvernement fédéral invite les municipalités à adopter celles-ci et à transmettre, sur une base volontaire, un rapport annuel qui démontre les progrès effectués en matière de gestion environnementale des sels de voirie et de protection des zones

vulnérables. Il n'y a toujours pas de règlement fédéral encadrant l'entreposage, l'épandage ou l'élimination de la neige contaminée par les sels de voirie.

En 2009, cinq ans après la mise en œuvre du code de pratique, Environnement Canada a procédé au bilan des progrès réalisés pour constater que la quantité de sels de voirie utilisée était demeurée stable (Environnement Canada, sous presse). Ce constat s'explique en partie par l'expansion continue du réseau routier. Malgré tout, d'importantes décisions devront être prises par le gouvernement fédéral au cours des prochains mois. Le code de pratique deviendra-t-il un règlement officiel? Pour ce faire, il est à noter que les sels de voirie devront être préalablement ajoutés à la *Liste des substances toxiques*.

1.3.2 Les autres législations pertinentes

Par ailleurs, certains habitats d'espèces fauniques et floristiques peuvent constituer des zones vulnérables aux sels de voirie. En ce sens, d'autres mesures législatives doivent être considérées afin de protéger les espèces ainsi que leur habitat contre les impacts négatifs des sels de voirie. C'est le cas notamment de la *Loi sur les espèces en péril*, la *Loi sur les pêches* et de la *Loi sur la convention concernant les oiseaux migrateurs*.

D'abord, la *Loi sur les espèces en péril* (LEP) cherche à prévenir la disparition des espèces sauvages du Canada, en favorisant notamment la gestion des espèces préoccupantes (LEP, article 6). C'est le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC) qui est en charge d'évaluer la situation, de signaler les menaces réelles ou potentielles et d'établir le statut de l'espèce en fonction des meilleures données biologiques disponibles (LEP, article 15). Bien qu'une telle cause n'ait jamais eu lieu, il est donc tout à fait probable qu'une espèce en situation critique selon le COSEPAC et soumise aux impacts des sels de voirie puisse influencer les activités d'entreposage des sels de voirie et d'élimination de la neige usée sur un territoire en particulier.

Par ailleurs, il existe un lien important entre l'évaluation des sels de voirie relevant de la LCPE et la *Loi sur les pêches*. En effet, l'article 36 (3) de la *Loi sur les pêches* précise qu'il est interdit de rejeter une substance nocive, ou d'en permettre le rejet, dans des eaux où vivent des poissons. Toutefois, en vertu d'une entente administrative, les pouvoirs de réglementation détenus par le ministère des Pêches et des Océans (MPO) ont été transmis à Environnement Canada. Les entrevues réalisées par l'Association des

transports du Canada dans le cadre d'un projet pilote révèlent que le MPO conserve un intérêt marqué pour les zones vulnérables aux sels de voirie (ATC, 2003b).

Pour sa part, la *Loi sur la convention concernant les oiseaux migrateurs* de 1994 exige un permis du gouvernement fédéral (émis par le Service canadien de la faune d'Environnement Canada) pour toute action qui perturbe l'habitat des oiseaux migrateurs qu'elle protège. Le *Règlement sur les refuges d'oiseaux migrateurs* identifie 92 refuges au Canada, dont 28 au Québec. L'entreposage et l'élimination des sels de voirie de même que le développement et l'entretien du réseau routier à proximité de ces zones vulnérables pourraient compromettre la qualité et la conservation de l'habitat des oiseaux migrateurs. D'ailleurs le rapport d'Environnement Canada et de Santé Canada laisse entendre que l'impact des sels de voirie sur certaines de ces espèces protégées, comme les roselins carduelinés, serait sous-estimé. Est-ce que ce règlement pourrait éventuellement encadrer l'entretien hivernal des routes? Jusqu'ici, aucun jugement n'a été prononcé en ce sens.

1.4 La législation provinciale

1.4.1 La stratégie québécoise pour la gestion des sels de voirie

Sanctionnée en 2006, la *Loi sur le développement durable* annonçait l'engagement du gouvernement du Québec à adopter une vision à long terme basée sur le caractère indissociable des dimensions environnementale, sociale et économique des activités de développement. Ce nouveau mode de gestion permet de répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. En ce sens, comme le secteur des transports est un acteur important dans l'amélioration de la performance environnementale du Québec, le MTQ a élaboré sa Stratégie de développement durable 2009-2013. L'action 3.3.2 de ce document fait d'ailleurs référence à la gestion environnementale des sels de voirie. En effet, elle stipule que le Ministère s'engage « à coordonner l'élaboration d'une Stratégie québécoise pour une gestion environnementale des sels de voirie et sa mise en œuvre au Ministère » (MTQ, 2009).

C'est finalement à l'automne 2010 que le ministère des Transports du Québec, en partenariat avec le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, le ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire, l'Union des municipalités du Québec et la Fédération Québécoise des Municipalités a lancé la

Stratégie québécoise pour une gestion environnementale des sels de voirie (Gouvernement du Québec, 2010a).

Tout comme le code de pratique proposé par le gouvernement fédéral, cette stratégie a pour objectif principal de limiter les impacts sur l'environnement liés à l'utilisation des sels de voirie, soit tout fondant chimique composé de sels inorganiques de chlorure, avec ou sans sels de ferrocyanure. En invitant sur une base participative les administrations concernées, elle encourage l'implantation des meilleures pratiques de gestion élaborées par l'ATC. De plus, grâce à la participation des municipalités et des autres administrations publiques et privées, les partenaires de la stratégie prévoient également publier un bilan annuel illustrant les progrès accomplis au Québec, notamment en matière de protection des zones vulnérables aux sels de voirie.

1.4.2 La Loi sur la qualité de l'environnement

Le gouvernement québécois dispose de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (LQE) pour encadrer de façon plus globale la protection de l'environnement. L'administration de cette loi est sous la responsabilité du MDDEP. Selon l'article 20 de cette loi :

« nul ne doit émettre, déposer, dégager ou rejeter ni permettre l'émission, le dépôt, le dégagement ou le rejet dans l'environnement d'un contaminant au-delà de la quantité ou de la concentration prévue par règlement du gouvernement » (LQE, article 20).

À ce jour, aucune concentration maximale des sels de voirie n'a été prévue par règlement. Malgré tout, l'alinéa 2 de l'article 20 précise que cette prohibition s'applique également à tout contaminant *« susceptible de [...] causer du dommage ou de porter autrement préjudice à la qualité du sol, à la végétation, à la faune ou aux biens »*. De plus, comme l'article 1, paragraphe 5, définit un « contaminant » comme toute matière solide ou liquide susceptible d'altérer de quelque manière la qualité de l'environnement, l'ensemble des fondants chimiques est concerné par cette interdiction.

De plus, le verbe « émettre » *« vise non seulement l'acte d'émettre directement mais l'omission de tarir une source d'émission dont on a la garde et le contrôle »* (LeComte, 2009). Ainsi, les activités d'entreposage des sels de voirie et d'élimination de la neige contaminée sont soumises à l'article 20 de la LQE.

Enfin, la mention « ni permettre l'émission » vise le défaut d'empêcher un événement que l'administration responsable aurait dû prévoir (*ibid.*). Par conséquent, une municipalité ne peut pas nier sa responsabilité en confiant le travail à un tiers, car elle est en mesure de contrôler les entrepreneurs qu'elle mandate et d'encadrer leurs opérations par contrat ou par règlements municipaux (*La Reine c. Sault Ste-Marie*, [1978] 2 R.C.S. 1299). En principe, dans le cas où le sel est fourni par l'entrepreneur et entreposé chez lui, la municipalité ne peut être tenue responsable d'un problème environnemental, car le sel entreposé à cet endroit ne devient la propriété de la municipalité que lorsqu'il est épandu sur les routes (MTQ, 1995).

1.4.3 La Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune

La superficie du territoire québécois s'étend sur 1 667 926 km², dont 92 % constitue toujours des terres publiques relevant du domaine de l'État (MRNF, 2003). C'est au ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) que revient la mission :

« d'assurer, dans une perspective de développement durable et de gestion intégrée, la conservation et la mise en valeur des ressources naturelles, dont la faune et son habitat, ainsi que des terres du domaine de l'État » (Loi sur le ministère des Ressources naturelles et de la Faune, article 11.1).

La réussite de cette mission est notamment attribuable au développement de l'expertise et d'une multitude d'outils de gestion (réseaux géodésiques, géomatique, photographies, télédétection, assise de référence géographique du Québec, etc.), mais également grâce à la *Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune*. En effet, l'article 128.6 de cette loi stipule que :

« nul ne peut, dans un habitat faunique, faire une activité susceptible de modifier un élément biologique, physique ou chimique propre à l'habitat de l'animal ou du poisson visé par cet habitat » (Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune, article 128.6).

Enfin, les travaux réalisés de concert avec le *Règlement sur les habitats fauniques* permettent aujourd'hui de délimiter les habitats fauniques sur un territoire et d'identifier lesquels ont été protégés par règlement jusqu'à aujourd'hui.

1.4.4 Les autres législations pertinentes

La réglementation provinciale touchant la gestion des sels de voirie se démarque de celle du fédérale par l'application du *Règlement sur les lieux d'élimination de neige*. En effet, le

gouvernement québécois a publié, en 1997, un règlement qui assure la bonne gestion des lieux d'élimination de neige et qui oblige les gestionnaires à se procurer un certificat d'autorisation en vertu de l'article 22 de la LQE, limitant ainsi les impacts sur l'environnement lors de l'entreposage et de la fonte de cette neige contaminée. De plus, le *Règlement sur l'utilisation de pneus conçus spécifiquement pour la conduite hivernale* oblige les taxis de même que les véhicules de promenade à se munir, entre le 15 décembre et le 15 mars, de pneus spécifiquement conçus pour l'hiver et respectant les normes fixées par le règlement en question. Par cette modification de la loi, le gouvernement contribue à atteindre les trois objectifs de la gestion environnementale des sels de voirie que sont : la mobilité des personnes et des biens, la sécurité des usagers et la protection de l'environnement. En effet, les taux d'épandage de produit déglaçant peuvent être revus à la baisse sans compromettre la sécurité ou la circulation des usagers, ce qui réduit du même coup la quantité de contaminants rejetée dans l'environnement.

Tout comme le gouvernement fédéral, le gouvernement du Québec possède également des mesures législatives visant la protection des espèces fauniques et floristiques de même que leur habitat respectif. Suite à son engagement lors du Sommet mondial de la planète terre à Rio de Janeiro, en 1992, le gouvernement du Québec a développé une stratégie sur la diversité biologique qui a donné suite à plusieurs plans d'action touchant notamment les aires protégées, les espèces menacées ou vulnérables, la gestion de l'eau et les activités de transport. Toutefois, déjà en 1987, la diversité biologique était au cœur des préoccupations de la société québécoise alors que le gouvernement s'était engagé, suite au rapport de la Commission Brundtland, dans un projet de développement durable. Par exemple, en adoptant la *Loi sur les espèces menacées ou vulnérables* en 1989, le gouvernement québécois s'est engagé à garantir la sauvegarde de l'ensemble de la diversité génétique du Québec. En effet, la loi stipule qu'il est interdit « *d'exercer une activité susceptible de modifier les processus écologiques en place, la diversité biologique présente et les composantes chimiques ou physiques propres à cet habitat* » (*Loi sur les espèces menacées ou vulnérables*, article 17). Jusqu'ici, 68 espèces floristiques et 38 espèces fauniques ont été désignées menacées ou vulnérables au Québec. Par conséquent, la gestion des zones vulnérables aux sels de voirie devrait considérer la présence de ces espèces et de leur habitat et apporter les mesures de protection et de conservation adéquate pour contrer l'effet des sels de voirie sur l'environnement.

Enfin, le *Règlement sur le captage des eaux souterraines* (RCES) demande d'établir l'aire d'alimentation et les aires de protection bactériologique et virologique pour tout ouvrage de captage alimentant plus de 20 personnes et dont le débit moyen est supérieur à 75 m³/jour. Le RCES demande également d'établir la vulnérabilité des eaux souterraines à l'intérieur des aires de protection bactériologique et virologique. Puis, le *Règlement sur les normes de charges et de dimensions* fournit les limites de charge pour chaque catégorie de véhicules routiers. Ainsi, les gestionnaires de l'entretien hivernal sont tenus de respecter ces charges lors de leurs opérations. En tenant compte de la longueur de route couverte par un seul camion, ce règlement pourrait influencer le choix des produits utilisés ou du moins le ratio solide et liquide d'un mélange.

1.5 Les municipalités régionales de comté

1.5.1 Le Schéma d'aménagement et de développement

Étant les premières responsables de l'aménagement du territoire, les municipalités régionales de comté (MRC) sont amenées à élaborer des objectifs d'aménagement et à poser des actions concrètes qui respectent les orientations du gouvernement en matière de protection des milieux naturels, de surveillance ainsi que de préservation de la qualité des eaux de surface (lacs et rivières) et des eaux souterraines.

Conséquemment, la *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme* exige que les MRC adoptent un schéma d'aménagement et de développement (SAD) spécifiant les grandes orientations de même que les grandes affectations du territoire. Le SAD doit également identifier les « zones où l'occupation du sol est soumise à des contraintes particulières pour des raisons de protection environnementale des rives, du littoral et des plaines inondables » ainsi que les zones « présentant pour la municipalité régionale de comté un intérêt d'ordre écologique » (*Loi sur l'aménagement et l'urbanisme*, article 2.3). Enfin, les MRC sont tenues de « maintenir en vigueur, en tout temps, un énoncé de sa vision stratégique du développement culturel, économique, environnemental et social de son territoire » (*ibid.*). C'est de cette démarche que s'ensuivent les objectifs d'aménagement jugés prioritaires et donc le pouvoir des MRC en matière de protection de l'environnement.

À titre d'exemple, la vision stratégique en environnement de la MRC Memphrémagog spécifie que le développement de ses municipalités passera notamment par la protection des milieux naturels d'intérêt ainsi que la surveillance et la préservation de la qualité des eaux de surface (lacs et rivières) et des eaux souterraines. Pour ce faire, la MRC a prévu des actions concrètes dont :

- identifier les milieux naturels d'intérêt et établir un plan de protection;
- s'assurer d'une coordination dans la surveillance de la qualité des eaux;
- identifier les sources de pollution.

Considérant les objectifs et les actions prévues par la MRC Memphrémagog, plusieurs informations relatives à la gestion des zones vulnérables aux sels de voirie seront compilées et pourront être utilisées afin de prévenir les impacts environnementaux.

Au niveau des transports, le rôle des MRC porte principalement sur la planification des infrastructures. Cependant, la *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme* n'habilite pas les MRC à construire ou exploiter ces infrastructures. Dans ce contexte, les MRC doivent effectuer leur rôle de planification dans un cadre de concertation avec les autres intervenants. Compte tenu de leur mandat d'aménagement du territoire, les MRC deviennent donc d'importants interlocuteurs pour les divers paliers gouvernementaux.

Par ailleurs, il est à noter qu'il y a actuellement une révision de la présente loi. L'avant-projet de la *Loi sur l'aménagement durable du territoire et l'urbanisme* a d'ailleurs été déposé le 9 décembre 2010. Les objectifs de cette révision sont :

- créer un nouveau partenariat avec le milieu municipal et conférer au gouvernement un rôle d'accompagnateur;
- assurer une meilleure contribution des pratiques d'aménagement et d'urbanisme au développement durable et à l'occupation du territoire;
- se doter d'un système de planification moins lourd et plus efficient;
- obtenir un texte législatif dont le contenu est plus convivial et qui favorise l'innovation;
- adopter des mécanismes d'évaluation de l'atteinte des objectifs et des résultats.

Si elle est adoptée, cette réforme pourrait faciliter la communication et le partage d'informations entre les municipalités locales, la MRC et les différents ministères concernés dans l'objectif d'une gestion environnementale des zones vulnérables aux sels de voirie.

1.6 Les municipalités locales

Les municipalités locales jouent un rôle de maître d'œuvre. Suivant les grandes orientations du SAD, elles doivent réaliser les actions qui permettront d'atteindre les objectifs de leur MRC respective. Pour ce faire, les municipalités locales disposent de plusieurs outils d'ordre règlementaire.

L'article 4 de la *Loi sur les compétences municipales* mentionne que toute municipalité locale a compétence dans les domaines de l'environnement et du transport. Au sens de cette loi, le mot « environnement » s'entend dans son sens large et couvre notamment la protection de l'environnement sous toutes ses facettes incluant l'alimentation en eau. Pour sa part, l'article 19 permet à toute municipalité locale d'adopter des règlements en matière d'environnement. Aussi, l'utilisation de règlements d'urbanisme locaux en vertu de la *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme* permet aux municipalités locales de protéger des milieux humides ou des milieux boisés, en plus d'encadrer le développement urbain. Par exemple, un règlement de zonage peut régir ou prohiber tous les usages du sol, incluant l'entreposage des sels de voirie ou l'élimination de la neige contaminée, compte tenu de la topographie du terrain, de la proximité d'un cours d'eau ou d'un lac ou encore de « *tout autres facteurs propres à la nature des lieux qui peuvent être pris en considération pour des raisons de protection environnementale des rives, du littoral ou des plaines inondables* » (*Loi sur l'aménagement et l'urbanisme*, article 113). D'autres outils sont disponibles pour les municipalités, entre autres l'adoption de programmes particuliers d'urbanisme (PPU), de règlements sur les plans d'implantation et d'intégration architecturale (PIIA) et l'élaboration de plans d'aménagement d'ensemble (PAE). Ces dispositifs règlementaires permettent aux municipalités de protéger et de mettre en valeur des milieux humides, des habitats naturels ou encore d'effectuer une gestion écologique des eaux de pluie. Par exemple, ces règlements permettent à la municipalité locale d'établir les critères utilisés lors de l'évaluation des projets de développement, de négocier avec les promoteurs avant le début des travaux et de réclamer une évaluation de la valeur écologique des milieux à protéger. (Girard, 2010)

En matière de transport, la compétence des municipalités locales couvre l'ensemble des voies publiques dont la gestion ne relève pas du gouvernement du Québec, ni de celui du Canada. Par définition, une voie publique inclut :

« toute route, chemin, rue, ruelle, place, pont, voie piétonnière ou cyclable, trottoir ou autre voie qui n'est pas du domaine privé ainsi que tout ouvrage ou installation, y compris un fossé, utile à leur aménagement, fonctionnement ou gestion. » (Loi sur les compétences municipales, article 66)

Il est à noter que les fossés de voie publique, couramment appelés « fossés de chemin » de même que les fossés utilisés aux seules fins de drainage et d'irrigation demeurent de la compétence de la municipalité locale (*Loi sur les compétences municipales*, article 103). L'importance de cette remarque vient du fait qu'elle permet aux municipalités de procéder à l'imperméabilisation des fossés en vue d'une gestion durable des eaux de pluie (voir section 2.6). Par ailleurs, à l'aide de règlements municipaux, les municipalités locales sont en droit d'établir une limite de vitesse différente de celle prévue à l'article 328 du *Code de la sécurité routière* pourvu que celle-ci soit affichée par une signalisation adéquate (*Code de la sécurité routière*, articles 299 et 626). Cette mesure de sécurité supplémentaire pourrait éventuellement être utilisée par une municipalité locale lors de la désignation d'une route blanche (voir section 2.5). De plus, selon une étude réalisée par le Plymouth State University, les trottoirs et les stationnements seraient la source de 40 % des sels de voirie (Région de Waterloo, 2008). En ce sens, les municipalités locales peuvent, par règlement, régir les aires de stationnement. Toutefois, elles doivent avoir obtenu préalablement le consentement des propriétaires auxquels la réglementation est applicable (*Loi sur les compétences municipales*, article 79).

1.7 Les organismes de bassin versant

Présentée par le gouvernement du Québec en 2002, la Politique nationale de l'eau vise une gestion intégrée de l'eau par bassin versant. Plus spécifiquement, il s'agit d'une gestion d'ensemble des eaux de surface confinées à l'intérieur des mêmes lignes de partage des eaux d'un territoire et se dirigeant vers le même exutoire. Cette gestion doit tenir compte des écosystèmes en place et des interactions reliées aux activités naturelles et humaines à proximité (MDDEP, 2002a). Respectant le principe du développement durable, l'objectif de cette approche est d'amener des solutions viables aux problématiques rencontrées sur le territoire. Les principes de gouvernance visent essentiellement :

- l'utilisation d'une unité territoriale de gestion, soit le bassin versant, comme référence géographique;
- l'approche participative des acteurs basée sur la transparence de l'information et la consultation des citoyens;
- l'information de qualité en appui à la décision;
- le renforcement des capacités pour créer un environnement favorable à l'aide de programme de formation ou de sensibilisation, d'outils de gestion et de communication ainsi que de nouvelles lois.

Les organismes de bassin versant (OBV) sont les principaux responsables de cette gestion de l'eau. Ils sont constitués de plusieurs membres œuvrant sur un même territoire dont les MRC, les municipalités locales, les usagers, les groupes environnementaux et les citoyens (*ibid.*). Ensemble, ces acteurs de l'eau ont la mission de réaliser les plans directeurs de l'eau (PDE), conformément à la Politique nationale de l'eau (voir figure 1.4). Il est à noter que le PDE n'a toutefois aucune portée obligatoire.



Figure 1.4 Schéma du cycle de gestion intégrée de l'eau par bassin versant. Tiré de MDDEP, 2004.

2. LA GESTION ACTUELLE DES SELS DE VOIRIE

Depuis le début des années 1990, l'utilisation des sels de voirie a suscité suffisamment de questionnement pour que certaines pratiques plus environnementales et économiques soient mises à l'essai par les différents gestionnaires de l'entretien routier. Avec l'apparition des sels de voirie sur la LSIP, ces pratiques se sont répandues et multipliées afin de limiter l'impact négatif des sels de voirie. Basées sur les *Synthèses des meilleures pratiques de gestion des sels de voirie* (ATC, 2003), les approches gouvernementales proposent d'identifier et d'évaluer les zones vulnérables afin d'apporter des mesures de protection supplémentaires pour le maintien de la qualité de l'environnement. Cependant, les municipalités ne semblent pas être en mesure de réaliser ce mandat, faute de ressources financières, techniques et logistiques (Stone *et al*, 2010). L'identification et l'évaluation des zones vulnérables constituent donc une sorte de barrière à l'implantation du code de pratique et de la stratégie, respectivement proposés par le gouvernement fédéral et provincial.

La gestion des sels de voirie est un domaine d'étude en plein développement. Plusieurs techniques, équipements ou outils d'aide à la décision furent essayés dans les vingt dernières années. Malheureusement, les résultats peuvent varier et parfois même être contradictoires d'une étude à l'autre. Le fait est que l'interprétation de ces résultats varie en fonction des conditions climatiques, de l'achalandage, de la topographie du territoire, du rendement souhaité, etc. Malgré tout, la section suivante présente brièvement diverses composantes à la fois populaires et prometteuses, mais parfois inappropriées. Dans les sections suivantes, il sera question des différents guides et outils actuels qui pourraient éventuellement être utilisés par les municipalités pour identifier et évaluer, dans un premier temps, les zones vulnérables aux sels de voirie et dans un deuxième temps, pour en assurer leur protection et leur conservation selon le degré de vulnérabilité et la valeur du milieu établis.

2.1 Les guides disponibles

D'abord, selon les recherches effectuées, il semble que très peu d'outils aient été publiés jusqu'ici concernant l'identification des zones vulnérables aux sels de voirie. Plusieurs méthodes concernant la vulnérabilité des eaux souterraines ont été répertoriées sans toutefois convenir aux fins du présent document, c'est-à-dire la réalisation d'un outil simple

et adaptable selon les ressources financières, techniques et organisationnelles des 1 112 municipalités locales québécoises. Malgré tout, certains éléments provenant de différents guides et outils sont à considérer et seront présentés dans les sections suivantes. Il sera question du *Guide relatif à l'aménagement et à l'exploitation d'un centre d'entreposage et de manutention des sels de voirie (CEMS)*, du *Guide d'aménagement des lieux d'élimination de neige et mise en œuvre du Règlement sur les lieux d'élimination de neige*, du *Guide de mise en œuvre pour le code de pratique pour la gestion environnementale des sels de voirie*, du principe de la charge totale et maximale journalière et des lignes directrices pour la qualité des eaux ambiantes face aux chlorures.

2.1.1 Le Guide relatif à l'aménagement et à l'exploitation d'un centre d'entreposage et de manutention des sels de voirie (CEMS)

Le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) n'exige pas l'acquisition d'un certificat d'autorisation en vertu de l'article 22 de la LQE pour l'exploitation d'un CEMS. Le MDDEP demande au propriétaire d'aviser le Ministère 30 jours avant le début d'une nouvelle exploitation. Pourtant, si mal entreposé, une étude d'Environnement Canada a démontré que jusqu'à 50 % du sel peut être entraîné dans l'environnement (Environnement Canada, 2004d). Publié en 2010 par le MDDEP, le *Guide relatif à l'aménagement et à l'exploitation d'un centre d'entreposage et de manutention des sels de voirie (CEMS)* s'inscrit dans le cadre de la *Stratégie québécoise pour une gestion environnementale des sels de voirie* et a pour objectif d'encadrer les activités réalisées dans les CEMS afin de prévenir et de contrôler les rejets. Ainsi, les gestionnaires de ces centres d'entreposage sont invités à respecter certains critères d'aménagement regroupés en fonction des quatre thèmes suivants : la localisation, l'imperméabilisation, le recouvrement et les eaux de drainage.

En plus de tenir compte du zonage municipal, de la topographie, de l'hydrologie, de la nature du sol et de l'impact sonore lors du choix de localisation, le MDDEP recommande qu'un CEMS se situe à au moins :

- « 100 mètres de tout ouvrage de captage, à l'exception de celui qui se trouve sur le site du centre;
- 50 mètres de la limite des inondations de récurrence de 2 ans ou de la ligne des hautes eaux d'un lac ou d'un cours d'eau à débit régulier ou intermittent;

- 15 mètres d'une installation septique, à l'exception de celles qui se trouvent sur le site du centre.

Un CEMS ne doit pas être aménagé :

- dans un milieu humide ni à moins de 60 mètres d'un tel milieu. On entend par « milieu humide », un étang, un marais, un marécage ou une tourbière;
- sur un terrain en dessous duquel se trouve une nappe libre ayant un potentiel aquifère élevé. Il existe « un potentiel aquifère élevé » lorsqu'il peut être soutiré en permanence, à partir d'un même puits de captage, au moins 25 mètres cubes d'eau par heure;
- lorsqu'il y a un préleveur en aval hydraulique entre le cours d'eau récepteur et le lieu d'entreposage;
- dans une zone vulnérable ou écologiquement sensible aux sels, dans les zones qui avoisinent de la végétation implantée ou conservée pour des besoins spécifiques (brise-vent, antibruit, etc.), ou encore dans des zones agricoles sensibles aux sels;
- dans la zone d'inondation d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau, qui est comprise à l'intérieur de la ligne d'inondation de récurrence de 100 ans. On entend, par « ligne d'inondation de récurrence de 100 ans », la ligne qui correspond à la limite de la crue des eaux susceptible de se produire une fois tous les 100 ans. » (MDDEP, 2010)

Basés sur les *Synthèses des meilleures pratiques de gestion des sels de voirie* de l'ATC, l'imperméabilisation des surfaces d'entreposage et de manutention de même que le recouvrement des produits entreposés et la gestion des eaux de drainage forment les autres bonnes pratiques recommandées par le MDDEP en matière d'aménagement des CEMS.

2.1.2 Le Guide d'aménagement des lieux d'élimination de neige et mise en œuvre du Règlement sur les lieux d'élimination de neige

Suite à la publication du *Règlement sur les lieux d'élimination de neige*, le MDDEP a développé un guide d'accompagnement qui dicte les critères environnementaux à respecter pour la mise en œuvre du règlement (MDDEP, 2002b). Ce guide précise le cheminement à suivre pour obtenir un certificat d'autorisation concernant l'exploitation

d'un lieu d'élimination de neige. Également, il comprend différents outils pour évaluer le degré de vulnérabilité de l'environnement à proximité d'un tel site et pour identifier et évaluer la valeur des eaux souterraines (voir tableaux 2.1, 2.2 et figure 2.1). Pour constituer un risque de contamination de la nappe souterraine, le sol doit être analysé dans le cadre d'une étude hydrogéologique et présenter une perméabilité de moyenne à élevée. Les sablières, les gravières et certaines carrières sont propices à une telle contamination. Enfin, en fonction des concentrations initiales dans les eaux souterraines et de la nature des paramètres (eau potable, irrigation, eau pour le bétail), des seuils d'alerte doivent être établis et vérifiés en continue. Lorsqu'il y a un dépassement, des mesures doivent être prises immédiatement.

Tableau 2.1 Critères d'acceptabilité du point de rejet

Usages du cours d'eau	Concentration maximale de chlorure (mg/L)
Prise d'eau potable	≤ 250
Irrigation	plantes vulnérables ≤ 100 plantes tolérantes ≤ 700
Abreuvement du bétail	Aucun critère
Vie aquatique: Toxicité aigue	≤ 860
Toxicité chronique	≤ 230

Modifié de MDDEP, 2002b.

Tableau 2.2 Détails des classes d'eaux souterraines

CLASSE	TERMES CLÉS
I	Hautement vulnérable et irremplaçable pour une population substantielle ou vitale écologiquement.
II A	Source courante d'eau de consommation.
II B	Source potentielle d'eau de consommation.
III A	N'est pas une source d'eau de consommation : degré de liaison hydraulique intermédiaire à élevé; de piètre qualité; ne peut être purifiée ou ne présente pas un potentiel suffisant en quantité ou ne peut pas être considéré d'un point de vue économique comme un substitut valable, en totalité ou en partie à la source actuelle d'approvisionnement.
III B	N'est pas une source d'eau de consommation : faible degré de liaison hydraulique; de piètre qualité; et ne peut être purifiée.

Tiré de MDDEP, 2002b.

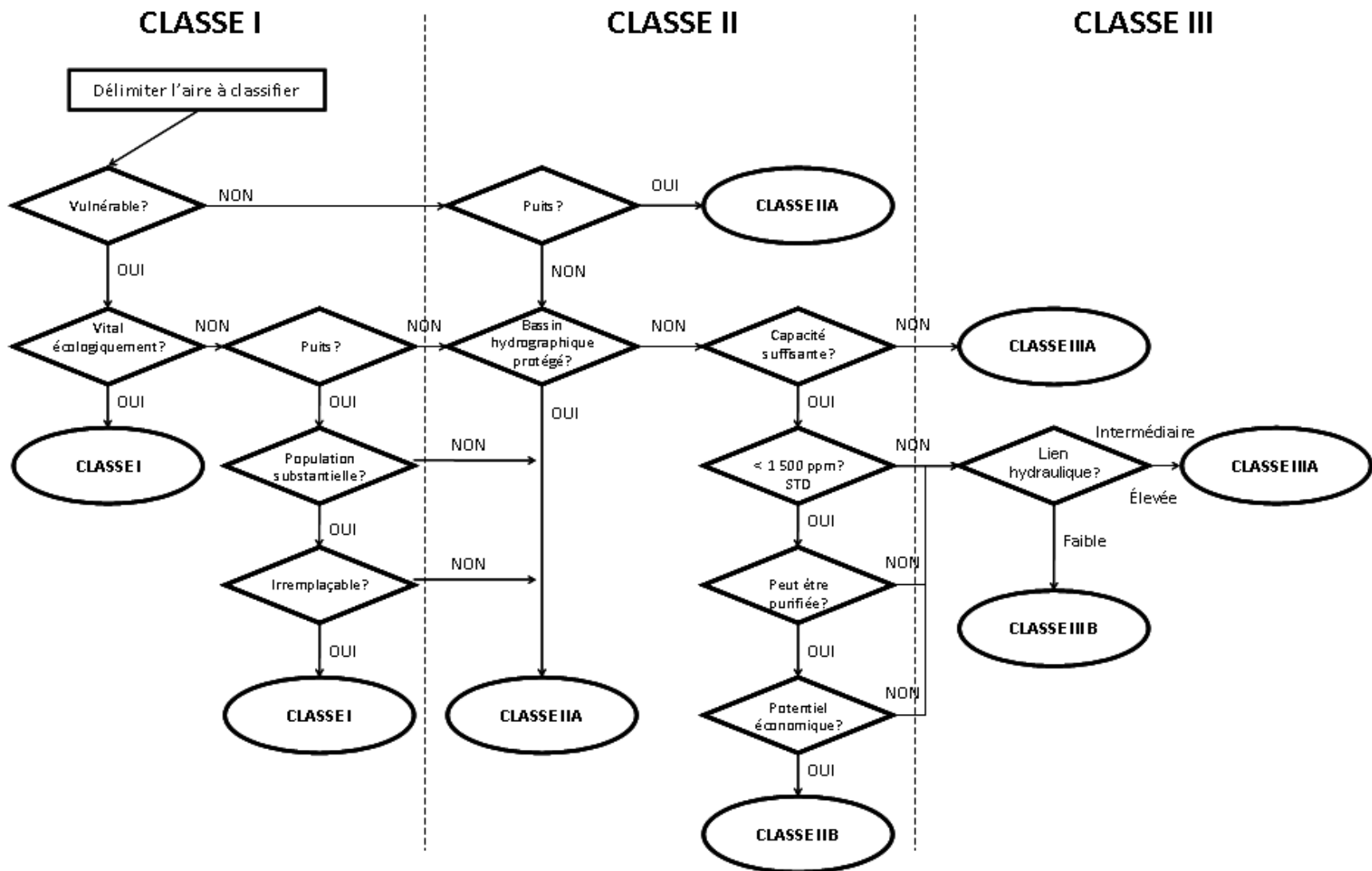


Figure 2.1 Procédure de classification des eaux souterraines. Tiré de MDDEP, 2002b.

2.1.3 Le Guide de mise en œuvre pour le code de pratique pour la gestion environnementale des sels de voirie

Le *Guide de mise en œuvre pour le code de pratique pour la gestion environnementale des sels de voirie* (Environnement Canada, 2004b) propose un outil d'identification et d'évaluation des zones vulnérables selon deux facteurs, soit : les principales caractéristiques à considérer et l'exposition aux risques. Le guide décrit également les conséquences probables pour chaque milieu décrit. Dans un premier temps, les caractéristiques d'une zone vulnérable relevées par Environnement Canada sont :

- les lacs et les étangs avec un faible taux de dilution et un long temps de rétention;
- les cours d'eau dans lesquels se draine un important réseau routier;
- les milieux humides d'importance provinciale;
- les petits lacs de profondeur moyenne;
- la végétation indigène ou cultivée sensible aux sels;
- les habitats du poisson, des oiseaux ou de toute espèce sauvage en péril;
- les réserves d'eau potable;
- les zones d'alimentation d'une nappe d'eau souterraine dont les caractéristiques lui donnent un degré de vulnérabilité élevé;
- les terres d'intérêt (terres utilisées à des fins agricoles, milieux humides, etc.);
- la topographie et la pédologie de certaines zones d'importance.

Dans un deuxième temps, l'exposition aux risques peut varier selon la proximité d'un cours d'eau, la catégorie des routes qui traversent la zone et la rigueur de l'hiver. Enfin, l'utilisation d'un système d'information géographique (SIG) est fortement recommandée par Environnement Canada. Cet outil de cartographie pourrait faciliter le repérage des zones vulnérables aux sels de voirie.

Il est à noter que l'annexe b du *Code de pratique pour la gestion environnementale des sels de voirie* présente des définitions détaillées qui peuvent être utiles à l'étape de l'identification des zones vulnérables (voir annexe 1).

2.1.4 Le principe de la charge totale et maximale journalière

Dans le cadre du projet de reconstruction de l'autoroute I-93, le Département des Transports du New Hampshire, aux États-Unis, a développé plusieurs méthodes afin de contrôler la qualité de l'eau de ruissellement lors d'intenses précipitations. En somme, ces méthodes sont sensiblement les mêmes que celles utilisées par le ministère des Transports du Québec sur le chantier de l'autoroute 75, entre Stoneham et Saguenay. Néanmoins, le New Hampshire Department of Environmental Services propose une nouvelle méthode pour contrôler les concentrations de chlorure dans les eaux de ruissellement, il s'agit du calcul de la charge totale et maximale journalière (TMDL). Cette méthode cherche à déterminer une série de caractéristiques à l'aide d'un suivi rapproché des concentrations de chlorure à l'intérieur du bassin versant. Une fois les concentrations naturelles établies, il s'agit de déterminer les seuils de toxicité pour les différents éléments de l'environnement et de mesurer la fréquence et l'intensité des dépassements de ces seuils. Par la suite les sources et les points sensibles sont identifiés pour que des mesures de protection spécifiques soient mises en place afin de respecter la TMDL. Un comité multidisciplinaire a été formé dans le but de promouvoir une solution régionale à la problématique des sels de voirie. (New Hampshire Department of Transportation (NHDOT), 2006)

Tableau 2.3 Avantages et inconvénients de la méthode TMDL

Avantages	Inconvénients
Approche par bassin versant qui tient compte des valeurs naturelles de chlorure sur le territoire	Requiert de nouvelles études et un important suivi des concentrations de chlorure, ce qui nécessite des ressources financières, techniques et logistiques.
Prend en considération les zones vulnérables	
Permet de mesurer l'impact direct de l'utilisation des sels de voirie sur l'environnement	
Favorise une approche concertée qui comprend entre autres le gouvernement, les municipalités et les administrations privées	
Comprend un suivi des mesures de protection mises en place pour vérifier l'efficacité	

2.1.5 Lignes directrices pour la qualité des eaux ambiantes face aux chlorures

Le ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique a développé une série de documents dans le but d'offrir des références pour l'évaluation des données sur l'eau, les sédiments ou le biote. Un de ces documents présente les lignes directrices concernant les concentrations de chlorure à respecter pour conserver la qualité de l'eau (voir tableau 2.4). Ces critères ont été établis en considérant la littérature scientifique, les lignes directrices d'autres juridictions ainsi que les caractéristiques naturelles de la Colombie-Britannique.

Tableau 2.4 Lignes directrices pour le chlorure

Usage de l'eau	Ligne directrice (mg chlorure/L)
Eau de consommation	250
Activités récréatives et esthétique	Aucun
Vie aquatique :	
Concentration maximale	600
Moyenne de concentration sur 30 jours	150
Écosystème marin	L'impact anthropique ne devrait pas causer d'augmentation supérieure à 10 % de chlorure dans les eaux marines et les estuaires par rapport aux concentrations naturelles attendues à ce moment et à cette profondeur.
Irrigation	100
Abreuvement du bétail	600
Faune et flore	600

Tiré de Nagpal *et al.*, 2003.

2.2 Les meilleures pratiques de gestion

Avant tout, plusieurs administrations publiques et privées ont déjà amorcé une réflexion sur leur gestion des sels de voirie. Certaines d'entre elles sont même passées à l'action en expérimentant diverses solutions selon l'approche suggérée par l'ATC : soit d'utiliser des produits pertinents, en quantité appropriée, au bon endroit et au bon moment (ATC, 1999). Ces nouvelles pratiques permettent de réduire les coûts associés à l'entretien hivernal tout en maintenant des niveaux de service et de sécurité impeccables. Par conséquent, elles améliorent également la performance environnementale de ces administrations.

Les bonnes pratiques de l'entretien routier sont regroupées dans diverses publications et, pour cette raison, ne seront pas détaillées en entier dans le présent document. Parmi les sources d'information d'intérêt, les *Synthèses des meilleures pratiques de gestion des sels de voirie* sont une série de neuf brochures disponibles gratuitement sur le site Internet de l'ATC (ATC, 2003a). Pour sa part, le *Guide d'élaboration d'un plan de gestion environnementale des sels de voirie* de la *Stratégie québécoise pour une gestion environnementale des sels de voirie* présente en annexe un tableau qui résume bien les meilleures pratiques proposées par l'ATC (Gouvernement du Québec, 2010b). Enfin, certaines pratiques de base méritent une attention particulière lorsqu'il est temps d'identifier des moyens pour réduire l'impact des sels de voirie. Dans les prochaines sections, il sera question des programmes de formation, de communication et de documentation, du calibrage des équipements, d'un grattage efficace de la chaussée et de l'utilisation des données météorologiques.

2.2.1 Les programmes de formation, de communication et de documentation

Pour une gestion efficiente des zones vulnérables aux sels de voirie, il est nécessaire de souligner l'importance des programmes de formation, de communication et même de documentation (Faith-Ell *et al.*, 2004). Plusieurs administrations du Québec et de l'Ontario ont d'ailleurs entrepris des initiatives en ce sens. Par exemple, le *Plan ministériel de gestion environnementale des sels de voirie* du MTQ démontre la présence de plusieurs formations tant sur le plan de l'approvisionnement, que de l'entreposage et de l'épandage des matériaux déglacant (MTQ, 2011a). De son côté, la région de Waterloo, en Ontario, a mis sur pied un programme d'accréditation intitulé *Smart About Salt* pour les entrepreneurs qui appliquent les bonnes pratiques (Région de Waterloo, s. d.). Ce programme encourage la compétition entre les entrepreneurs tout en améliorant leur performance sur le plan environnemental. Une fois reconnus, les participants se voient remettre des logos qui démontrent leur engagement dans une gestion environnementale des sels de voirie. La Ville de Sherbrooke, quant à elle, fait appel aux conducteurs afin qu'ils adaptent leur conduite en fonction des conditions hivernales (voir figure 2.2). Puis, plusieurs municipalités ont recours à des registres, des bilans ou encore des rapports d'audits afin de suivre l'évolution de leur plan de gestion. C'est le cas notamment de la Ville de Lévis qui regroupe l'ensemble de ces informations dans son rapport annuel de gestion des sels. Ce document leur permet un meilleur soutien de la part des élus lors des négociations pour l'année budgétaire suivante. Ainsi, ils sont en mesure d'améliorer

continuellement leurs pratiques d'entretien hivernal. Enfin, l'ensemble de ces approches a pour objectif d'éliminer la croyance populaire qui avance que « plus on en met, mieux c'est ». En intégrant les citoyens dans cette approche durable, les administrations s'assurent de leur compréhension et ils déresponsabilisent du même coup les opérateurs.



Figure 2.2 Sensibilisation auprès des citoyens de la Ville de Sherbrooke.
Tiré de Vermette, 2009.

2.2.2 Le calibrage des équipements

Malgré les efforts mis en place pour réduire les quantités de sels épandues, un mauvais calibrage des équipements pourrait avoir des conséquences néfastes pour l'environnement. Par exemple, les véhicules de déglacage sont de plus en plus équipés de contrôleurs d'épandage électroniques capables d'ajuster automatiquement la quantité de produits appliqués selon la vitesse du véhicule. Le calibrage annuel de ces équipements est donc essentiel pour s'assurer de la précision du dosage lors des opérations d'entretien hivernal. (MTQ, 2011; MTO, 2010).

2.2.3 Un grattage de qualité

L'utilisation de lames performantes lors du raclage de la chaussée réduit la quantité de fondant chimique nécessaire à l'atteinte du niveau de service. Parmi les types de lames disponibles, certains se démarquent en fonction des résultats attendus, c'est le cas par exemple des lames mobiles pour les routes principales et des lames à peigne pour les routes blanches (voir section 2.5).

Le système à lames mobiles permet d'épouser les reliefs de la chaussée et d'assurer un meilleur grattage. Pour ce faire, il est recommandé d'utiliser une vitesse maximale de 50 km/h. Autrement, il est fort probable d'occasionner une usure prématurée des lames. Les résultats des essais réalisés par le MTQ démontrent qu'il est possible de réduire de 50 % la quantité de neige restante sur la chaussée. De plus, entre 9,6 % et 14,7 % des quantités de sels nécessaires peuvent être soustraites, ce qui engendre une diminution des coûts d'entretien reliés à la corrosion des infrastructures et des véhicules. Ainsi, même en considérant un coût approximatif de 4 070 \$ pour l'installation de départ, il est possible d'envisager des économies significatives dès la première année d'utilisation. (Berger, 2010)

De son côté, les « lames à peigne » sont utilisées pour augmenter l'adhérence des véhicules en créant des encoches sur la neige. Cette technique laisse un fond de neige sur la route, c'est pourquoi elle est davantage utilisée pour entretenir les routes blanches (Fauché, 2011).

2.2.4 Les stations météorologiques

Depuis la fin des années 1990, le MTQ a débuté l'installation d'un réseau de stations météorologiques (SMR) permettant aux gestionnaires du réseau routier d'effectuer des choix éclairés avant et pendant un épisode de précipitation de neige (MTQ, 2010). En bordure de route ou installées à bord des véhicules de patrouilles, ces SMR sont munies de thermomètres infrarouges et de différents équipements qui fournissent une panoplie d'informations sur les conditions météorologiques ainsi que sur l'état de surface de la chaussée. En fonction du niveau de service recherché, ces informations aident le gestionnaire à appliquer la bonne quantité, du bon produit, au bon moment et au bon endroit (voir figure 2.3). Par exemple, la température de surface (T_s), la température de l'air (T_a), l'humidité relative (U) et le point de rosé (T_d) sont des données essentielles pour prévenir la formation de glace (Programme stratégique de recherche routière du Canada (C-SHRP), 2000; MTQ, 2006a). Aujourd'hui, ces équipements font partie des solutions éprouvées pour réduire les quantités de sels épanchés inutilement sur les routes (EPA, 2010; MTQ, 2010; MTO, 2010).



Figure 2.3 Stations météorologiques fixe et mobile au MTQ. Tiré du MTQ, 2006b.

2.3 Les produits alternatifs

Les recherches d'un produit alternatif au NaCl n'ont toujours pas donné de résultats satisfaisants à tous les points. Ainsi, les produits à base de chlorure demeurent les plus utilisés par les gestionnaires du réseau routier. Actuellement, les opportunités d'amélioration basées sur les meilleures pratiques de gestion permettent de réduire considérablement les quantités de sels épandues au cours d'un hiver pour atteindre un niveau de service déterminé. Toutefois, dans une vision à court ou à plus long terme, les avantages et les inconvénients de certains produits de remplacement méritent d'être étudiés (voir tableau 2.5). C'est le cas des abrasifs, des acétates, des alternatives organiques et de l'antidérapant Stop Gliss Bio.

2.3.1 Les abrasifs

En général, les produits abrasifs sont constitués d'un mélange de sable et de sels de voirie (5 %) (Environnement Canada et Santé Canada, 2001). En plus d'éliminer tous les impacts liés au sel et au chlorure, ils permettent de réduire considérablement les coûts liés à la corrosion des infrastructures et des véhicules. Au Québec, le ministère des Transports a étudié le cas du Lac à la Truite, près de Sainte-Agathe-des-Monts, où la

concentration de chlorure est passée de 12 mg/L en 1972, à 150 mg/L en 1979. Cette augmentation a été associée à l'entretien hivernal de l'autoroute 15, s'approchant parfois

Tableau 2.5 Sommaire des caractéristiques de certains produits de déglacage

Produits de déglacage	Température de service	Impact environnemental	Potentiel de corrosion	Impact financier associé au coût
Abrasif (mélange sable et sel)	En fonction du mélange	Moyen	Faible-Moyen	En fonction du mélange
Chlorure de sodium (NaCl)	- 7°C	Fort	Fort	Faible
Chlorure de sodium (NaCl) avec additif naturel	- 20°C	Moyen	Moyen	Faible
Chlorure de calcium (CaCl ₂)	- 23°C	Fort	Fort	Fort
Chlorure de magnésium (MgCl ₂)	- 15°C	Moyen	Moyen-Fort	Moyen
Chlorure de magnésium (MgCl ₂) avec additif naturel	- 35°C	Moyen	Moyen	Moyen
Chlorure de potassium (KCl)	- 4°C	Moyen	Fort	Moyen
Urée	- 4°C	Fort	Faible	Moyen
Acétate de calcium-magnésium (CMA)	- 7°C	Moyen	Faible	Fort
Acétate de potassium	- 26°C	Moyen	Faible	Fort

Modifié de RiverSides Stewardship Alliance et Sierra Legal Defense Fund, 2006, p. 33 et Salt Institute, 2004, p. 10.

jusqu'à 250 mètres du lac. Pour contrer cette problématique, le MTQ a remplacé les sels de voirie par des abrasifs. Depuis, une diminution des concentrations de chlorure dans le lac a été observée. (Environnement Canada et Santé Canada, 2001)

En contre partie, l'abrasif n'a pas le pouvoir d'agir comme fondant chimique et son utilisation n'est pas recommandée sur un réseau routier avec un trafic significatif, car la dispersion des particules aux abords des routes entrainerait des pertes trop importantes (Walker, 2005). De plus, une fois en solution, le sable peut contribuer à diminuer la qualité de l'eau, notamment en affectant la transparence et la turbidité, en plus d'augmenter la couche de sédiments au fond d'un lac. Ces effets pourraient nuire au succès reproducteur ainsi qu'à l'alimentation des espèces aquatiques (Asplund, 2000). Au printemps, la dispersion des abrasifs peut également entraîner des coûts supplémentaires dans l'entretien des réseaux d'égouts (MDDEP, 2002b). Enfin, certaines administrations utilisent

un mélange de sel et de sable dans une proportion 50/50, cette méthode devrait être évitée en raison des fonctions différentes des deux produits d'épandage, pouvant mener à une opposition de leur effet, donc à une diminution de l'efficacité du sel à titre de fondant (Walker, 2005).

Néanmoins, de plus en plus de municipalités utilisent des petites pierres en remplacement au sable. Plus facilement récupérable, la Ville de Sherbrooke affirme être en mesure de réutiliser 80 % de ces petites pierres l'année suivante (Ville de Sherbrooke, 2010). Considérés comme étant une matière résiduelle, ces abrasifs balayés devront être tamisés et la ville devra obtenir un certificat d'autorisation afin de valoriser cette matière, soit en la réutilisant comme abrasif, soit en l'utilisant comme matière de remplissage dans le cadre de projets routiers (Burelle, 2011).

Tableau 2.6 Avantages et inconvénients des abrasifs

Avantages	Inconvénients
Moins de perte de sodium et de chlorure dans l'environnement	Accumulation de la neige sur la chaussée et réduction de la vitesse de circulation
Possibilité de récupération des abrasifs lors des opérations de balayage des rues ou par l'utilisation d'un bassin de sédimentation	Risque de détérioration des cours d'eau par ensablement et modification de la turbidité
Diminution des coûts d'entretien reliés à la corrosion des infrastructures et des véhicules	Risque de modification de la biodiversité aquatique étant donné l'impact sur la faune benthique
N'apporte pas d'humidité à la chaussée, donc réduit les risques de formation de glace	

2.3.2 Les acétates

Les produits à base d'acétate représentent les alternatives au sel de voirie les plus documentées pour leur réduction des impacts sur l'environnement. Cette réputation vient du fait que ce produit est une substance sans chlorure, biodégradable et sans aucun effet significatif sur l'environnement (Cain, 2004; ATC, 1999). Au contraire, les acétates peuvent augmenter la fertilité et la perméabilité de certains sols (*ibid.*). D'ailleurs, leur faible mobilité dans le sol ne leur permet pas d'atteindre les eaux souterraines ou de libérer des métaux lourds qui pourraient entraîner une contamination de la nappe aquifère (ATC, 1999). Contrairement aux autres produits de déglacement, les produits à base

d'acétate ne produisent pas de saumure et demeurent sur la chaussée (*ibid.*). Parmi les formules populaires, l'acétate de calcium-magnésium (CMA) et l'acétate de potassium seront discutés ci-dessous.

En raison de l'odeur de vinaigre qu'il dégage, le CMA a été utilisé en Scandinavie pour contrer un problème d'accidents de la route avec les cervidés (ATC, 1999). Son effet corrosif sur le métal et le béton serait beaucoup moins important que celui du NaCl (*ibid.*). Également, il serait aussi peu corrosif sur l'acier qu'une eau du robinet (National Research Council, 1991).

Cependant, le CMA présente également quelques désavantages. Son coût total d'application serait 7,5 fois supérieur à celui du NaCl (Cain, 2004) et sa disponibilité au Québec seraient les principaux obstacles à son utilisation (Bédard, 2011). Selon Cain, 2004, il serait profitable d'utiliser le CMA dans le cadre d'un projet hybride avec le NaCl. En effet, en alternant le produit épandu selon les conditions météorologiques, les coûts annuels seraient en moyenne 2,3 fois plus importants que l'unique utilisation du sel, mais cette technique permettrait de réduire les dommages aux infrastructures routières ainsi qu'à la faune et à la flore tout en assurant une sécurité aux usagers de la route (Cain, 2004). Par ailleurs, des études ont également signalé la possibilité que la décomposition de le CMA dans le milieu naturel puisse diminuer le niveau d'oxygène dissous des petits étangs et des cours d'eau à faible potentiel de dilution (Brenner et Horner, 1992; Salt Institute, 2004). En Nouvelle-Zélande, un projet de surveillance a été mis en place pour mesurer l'impact de l'utilisation de le CMA sur l'oxygène dissous des cours d'eau à proximité d'une route expérimentale. Après cinq années d'études, le rapport mentionne qu'il n'y a eu aucun effet significatif sur l'oxygène dissous, et ce, pour les cinq stations de suivi mises en place (Burkett et Gurr, 2004). Plusieurs états américains ont également utilisé le CMA sans aucun effet négatif apparent sur l'environnement (EPA, 2010). Malgré tout, il est préférable de faire preuve de précaution et de ne pas utiliser les produits d'acétate à proximité d'un cours d'eau à faible débit. Enfin, les méthodes et les équipements diffèrent légèrement de ceux utilisés pour les sels inorganiques de chlorure (Cain, 2004). D'autres études lui confèrent un potentiel d'irritation des bronches et de la peau (OCDE, 1989), mais ce danger pour la santé des employés serait réduit à la suite de l'arrivée des granules, moins volatiles, en remplacement de la poudre habituelle (ATC, 1999).

De son côté, bien qu'il représente également un produit biodégradable, sans chlorure et peu toxique pour l'environnement, l'acétate de potassium est un meilleur fondant chimique que le CMA (ATC, 1999). Sa température de service peut atteindre -26°C (RiverSides et Sierra Legal Defense Fund, 2006; ATC, 1999). Le ministère des Transports de l'Ontario (MTO) a utilisé ce produit déglaçant dans le cadre d'un projet d'arrosage automatique fixe (voir section 2.7.1) et le décrit comme étant un excellent produit chimique déglaçant (MTO, 2001). Toutefois, tout comme le CMA, l'acétate de potassium peut réduire les niveaux d'oxygène dissous lorsqu'il se décompose (ATC, 1999).

Tableau 2.7 Avantages et inconvénients des produits d'acétates

Avantages	Inconvénients
Élimination du sodium et du chlorure utilisés dans l'entretien hivernal	Approvisionnement coûteux et difficile au Québec
Réduction considérable des impacts sur l'environnement	Risque de chute des concentrations en oxygène dissous dans les plans et les cours d'eau caractérisés par un faible taux de dilution et un temps de séjour élevé
Diminution des coûts d'entretien reliés à la corrosion des infrastructures et des véhicules	Agit plus lentement que le sel
Ne fait pas fondre la neige, mais la rend pâteuse, ce qui facilite son enlèvement	

2.3.3 Les dérivés de sous-produits de l'agriculture

Certains produits organiques, notamment à base d'extrait de betteraves à sucre, ont fait l'objet d'expérimentations dans les dernières années. Toutefois, les aspects environnemental et esthétique (produit tachant et collant) de ces produits soulèvent bien des inquiétudes, notamment en raison du manque de connaissances relatives à une éventuelle augmentation de la concentration de phosphore dans les lacs et les cours d'eau. Bien que le MTQ expérimente présentement le jus de betterave mélangé au sel (Larouche, 2011), de récentes analyses en laboratoire démontrent que ce produit contient des concentrations de phosphore supérieures aux recommandations du Pacific Northwest Snowfithers (PNS) (Hamel, 2011). Enfin, le dossier des cyanobactéries au Québec demeure d'actualité et malgré les efforts déployés à ce jour, la situation est toujours problématique.

2.3.4 L'antidérapant Stop Gliss Bio

Le Stop Gliss Bio est une nouveauté européenne utilisée en Suisse et en France principalement sur les trottoirs. Le principe consiste à imprégner des plaquettes de bois d'un sel de voirie liquide afin que le produit puisse agir à la fois en tant qu'abrasif et fondant chimique (voir figure 2.4). Selon le fabricant, cet antidérapant écologique et biodégradable serait en mesure de relâcher graduellement les fondants chimiques rendant les trottoirs sécuritaires pour une durée de cinq jours. (Stop Gliss Bio, s. d.)

Bien que cette nouvelle alternative semble prometteuse à première vue, les conclusions d'un avis technique effectué par la France démontrent qu'il faut agir avec précaution dans ce dossier (Thiébaud, 2011). En effet, les résultats obtenus lors d'expérimentations mettent en doute la performance du produit à court et à moyen terme, en plus d'exprimer des préoccupations d'ordre technique, financière, environnementale et sociale. Avant de pouvoir se prononcer sur ce produit, il faudra donc attendre les résultats d'études et d'expérimentations objectives démontrant la compatibilité des plaquettes de bois avec le concept de développement durable.



Figure 2.4 Antidérapant Stop Gliss Bio. Tiré de Stop Gliss Bio, s. d.

2.4 Les stratégies d'intervention

Outre l'utilisation des produits alternatifs, différentes stratégies d'intervention peuvent être utilisées par le gestionnaire lors d'un épisode de précipitation (voir tableau 2.8). Les techniques de préhumidification du sel et d'antigivrage sont certainement les solutions à

envisager en attendant une meilleure connaissance des produits de remplacement et de leurs impacts.

Tableau 2.8 Stratégie d'intervention fréquemment utilisées

Stratégie d'intervention		NaCl	CaCl ₂	MgCl ₂	Acétate		Les dérivés de sous-produits de l'agriculture	Abratif
					CMA	KA		
Déglaçage	Solide seulement	P	P	P ¹	P	NA	NA	NA
	Liquide seulement	P	P	P	P	P	S	NA
	Solide préhumidifié	P; S	S	S	S	S	S	NA
Antigivrage	Solide seulement	P	P	P ¹	P ¹	NA	NA	NA
	Liquide seulement	P	P	P	P	P	S	NA
	Solide préhumidifié	P; S	S	S	S	S	S	NA
Abratif	Abratif seulement	NA	NA	NA	NA	NA	NA	P
	Abratif préhumidifié	S	S	S	S	S	S	P

Modifié de Transportation Research Board (TRB) (2007).

P : Matériel primaire

S : Matériel secondaire

¹ Utilisé moins fréquemment

NA : Non applicable

2.4.1 La préhumidification et l'antigivrage

La technique de préhumidification consiste à humidifier les grains de sel avant leur dispersion sur la chaussée. Cette technique peut se faire à partir de plusieurs liquides, principalement le chlorure de magnésium et le chlorure de sodium (Programme stratégique de recherche routière du Canada (C-SHRP), 2000). D'ailleurs, l'eau salée récupérée sur un CEMS constitue une belle opportunité pour la préhumidification du sel (MDDEP, 2010). La plupart du temps, un additif naturel est ajouté à la saumure pour augmenter la performance du sel et fournir des propriétés d'inhibiteur de la corrosion. Au MTQ, la technique de préhumidification a été traitée au début des années 1990 et les effets positifs observés à l'époque le sont toujours aujourd'hui. En effet, l'utilisation d'un agent de préhumidification offre plusieurs avantages tels que :

- la réduction des pertes de sel dans l'environnement causées par le vent et le rebondissement des fines, passant de 30 % à 4 % (ATC, 1999);
- une modification des températures de services passant de -7 °C jusqu'à -20 °C (MTQ, 2011);
- un temps de réaction plus court avant l'activation de l'effet de fondant du sel (ATC, 1999);
- l'augmenter la vitesse d'épandage (OCDE, 1989);
- la réduction des quantités de sels achetées et épandues (Dubois, 2011).

Toutefois, une étude a démontré qu'une utilisation importante de liquides de préhumidification contenant un additif naturel pourrait être responsable d'une augmentation des concentrations de phosphore, d'ammoniac et de matières organiques dans les cours d'eau à proximité et de contribuer par le fait même au développement des cyanobactéries (Colorado Department of Transportation, 2001).

Pour sa part, l'antigivrage est une technique visant à appliquer un produit sur la chaussée entre 3 et 24 heures avant l'arrivée d'une tempête (MTQ, 2010). Cette technique permet d'éviter la formation de glace noire. Pour ce faire, l'utilisation des données météorologiques est très importante. En Estrie, plusieurs municipalités utilisent déjà cette technique sur une base courante (MTQ, 2011).

La Ville de Kamloops en Colombie-Britannique a incorporé les techniques de préhumidification et d'antigivrage dans ses pratiques d'entretien hivernal pour augmenter la sécurité et pour répondre à une importante augmentation des demandes d'indemnisation. Après deux années d'expérimentation, le nombre d'accidents a diminué de 73 % sur la portion de route prétraitée alors qu'elle a augmenté de 84 % sur les voies de circulation non traitées (Programme stratégique de recherche routière du Canada (C-SHRP), 2000). En plus de la baisse des demandes d'indemnisation pour les accidents routiers, l'Insurance Corporation of British Columbia (ICBC) a prévu une réduction de 10 % des demandes d'indemnisation pour dommages causés aux pare-brises par le sable et le sel solide, un montant estimé à 6 millions de dollars (*ibid.*).

Par ailleurs, pour la technique de préhumidification comme pour l'antigivrage, le chlorure de magnésium liquide est le produit le plus performant (voir figure 2.5) (Dubé, 2010) et le moins dommageable pour l'environnement et les infrastructures routières en comparaison au chlorure de sodium et au chlorure de calcium (RiverSides et Sierra Legal Defense Fund, 2006).

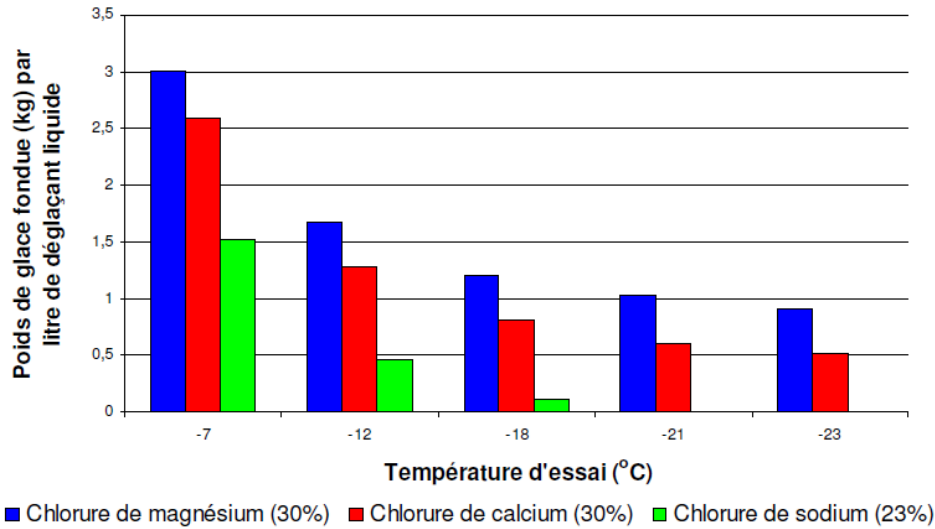


Figure 2.5 Performances des déglaçants liquides selon la température d'essai. Tiré de Dubé, 2010.

Enfin, en optimisant l'efficacité des produits de déglacage épandus, ces techniques permettent de réduire les taux d'application et donc les quantités de contaminants qui pénètrent dans l'environnement. En Ontario, le ministère des Transports affirme qu'il est possible de réduire de 20 % les quantités de sel épandues sans perte d'efficacité à l'aide de la technique de préhumidification (Environnement Canada, 2006). Comme la figure 2.6 le démontre, une étude réalisée au Montana a suggéré que cette réduction pourrait même atteindre 50 % de la charge originale (Transportation Research Board, 2007).

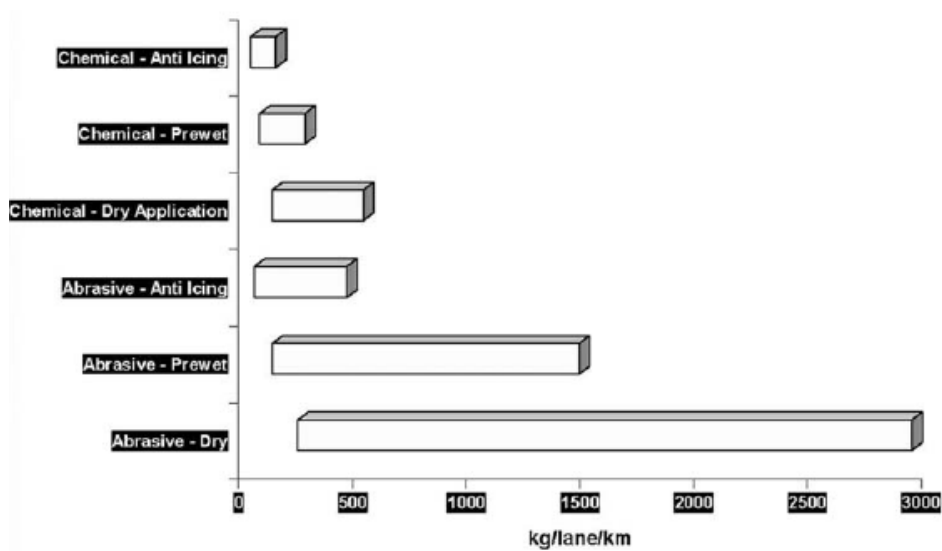


Figure 2.6 Comparaison des taux d'application pour différentes stratégies de gestion de la neige et de la glace. Tiré de Transportation Research Board (TRB), 2007.

Tableau 2.9 Avantages et inconvénients de la préhumidification et de l'antigivrage

Avantages	Inconvénients
Meilleure adhérence des grains de sel sur la chaussée	Adaptation nécessaire au niveau de l'entreposage
Réduction des taux de pose pour un même résultat	Adaptation nécessaire au niveau des équipements d'épandage et de leur calibration
Températures de services plus basses et déglçage plus rapide	Demande une certaine expertise pour déterminer le meilleur moment d'application et la quantité de sel nécessaire
Augmentation de la vitesse d'épandage	L'utilisation des stations météorologiques permet d'optimiser l'utilisation de l'antigivrage mais requiert du financement et une expertise supplémentaires

2.5 Les routes blanches

Dans le but de réduire l'impact sur l'environnement, plusieurs villes québécoises ont adopté le concept des routes blanches. Cette pratique consiste en une modification du niveau de service d'entretien afin d'éliminer l'utilisation des sels de voirie sur une route ou un tronçon de route à proximité des zones vulnérables. En fait, le chlorure de sodium est limité à 5 % d'un mélange avec un produit abrasif, soit le sable ou la petite pierre. Ce mélange est par la suite épandu uniquement aux endroits stratégiques comme les pentes, les courbes et sur une courte distance devant des arrêts routiers. Le concept des routes blanches est aujourd'hui élargi à celui des quartiers blancs. En plus des effets protecteurs pour l'environnement, cette nouvelle tendance s'accompagne d'une réduction des coûts associés à l'achat et au transport des matériaux d'épandage, une économie évaluée à 80 000 \$ pour la Ville de Saguenay (Tremblay, 2009). L'entretien des routes ou des quartiers blancs nécessite un programme de communication et de sensibilisation afin d'obtenir la collaboration des citoyens et des usagers de la route (voir figure 2.7). L'utilisation de la signalisation, des médias, des conférences de presse et toute autre campagne d'information permet une meilleure acceptabilité sociale (Vermette, 2009). Enfin, comme mentionné précédemment, les municipalités locales détiennent le pouvoir de réduire la vitesse d'une route, ce qui pourrait s'avérer être une mesure facilitant l'intégration des routes blanches (*Code de la sécurité routière*, articles 299 et 626).



Figure 2.7 Sensibilisation des usagers de la route dans le cadre d'un projet de route blanche. Tiré de Vermette, 2009.

Le bilan des expériences menées entre autres à Sherbrooke, Saguenay, Granby et à Roberval est positif. À Sherbrooke, 79 % des gens sont assez ou très satisfaits de la nouvelle procédure et disent que la fréquence de grattage et d'épandage est suffisante (Vermette, 2009). De plus, 80 % croient que la Ville devrait étendre la nouvelle pratique à l'ensemble du réseau à proximité des cours d'eau (*ibid.*). Enfin, pour la Ville de Saguenay, le concept de quartier blanc est « une mesure qui répond à la future obligation qu'auront les villes dans la gestion des abrasifs et matériaux fondants » (Tremblay, 2009).

Tableau 2.10 Avantages et inconvénients des routes blanches

Avantages	Inconvénients
Diminution des coûts d'approvisionnement en produit d'épandage	Requiert une adaptation de la conduite des usagers
Réduction de la quantité de matériau à balayer et à acheminer au lieu d'enfouissement technique chaque printemps	Peut générer quelques plaintes
Protection des ressources d'eau potable	
Diminution des impacts sur l'environnement	
Diminution des chances de dépôt de sable dans les puisards et les réseaux d'égout	
Environnement plus agréable pour les citoyens en période hivernale et amélioration de l'état des terrains au printemps	

2.6 La gestion durable des eaux de pluie

L'urbanisation de la société québécoise n'a pas seulement eu pour effet d'accroître les quantités de sels épandues annuellement, elle a également modifié les paramètres du ruissellement des eaux de pluie (voir figure 2.8). En effet, le développement du réseau routier, des aires de stationnement et des toitures imperméabilisées a pour effet d'augmenter la superficie de sol imperméabilisée jusqu'à une proportion variant de 75 à 100 % pour un quartier urbain densément peuplé (Federal interagency stream restoration working group, 1998). Alors que seulement 1 % de l'eau de pluie s'évacue sous forme de ruissellement dans un milieu naturel, 55 % de l'eau tombée dans un tel milieu urbain s'accumule, se déplace en prenant de la vitesse pour finalement rejoindre le cours d'eau le plus près (*ibid.*). Le reste des précipitations s'infiltrate dans le sol ou s'évacue par évapotranspiration dans une proportion de 15 % et 30 % respectivement (*ibid.*).

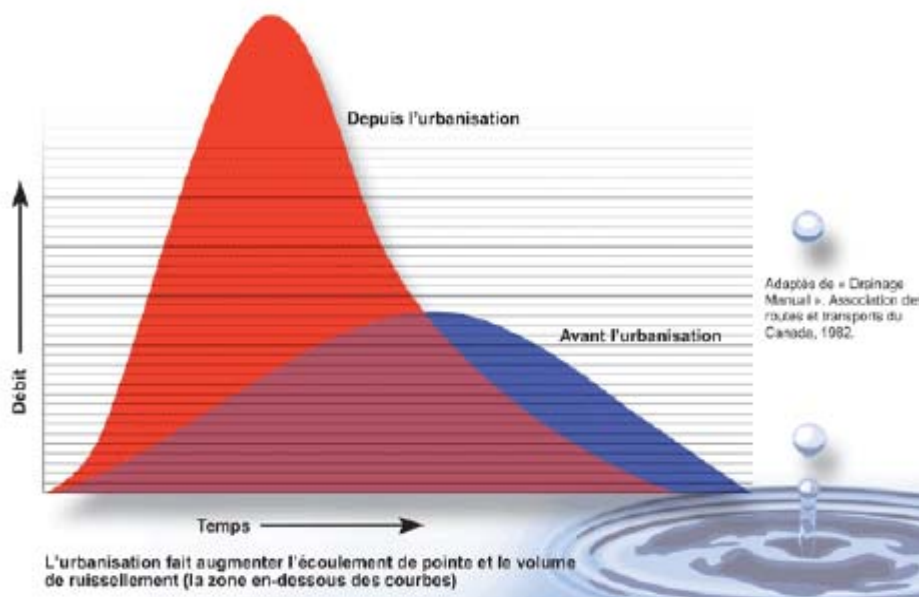


Figure 2.8 Effet de l'urbanisation sur le débit et le volume de ruissellement. Tiré de Prince, 2010.

Combinée à la modification des pentes, la compaction des sols et l'enlèvement des végétaux, l'augmentation de la surface imperméabilisée a de lourdes conséquences sur l'équilibre hydrologique d'une municipalité ou d'un bassin versant (Boucher, 2010). Par exemple, l'imperméabilisation de la surface du sol contribue à augmenter le risque d'inondation, d'érosion, de dommages aux réseaux d'aqueduc et d'égout, d'assèchement

des ressources d'eau potable, de pollution des cours d'eau, de perte de services écologiques et de biodiversité (*ibid.*).

Pour pallier cette problématique, la gestion durable des eaux de pluie propose plusieurs pratiques de gestion optimales (PGO) afin de contrôler le problème à la source, de gérer le transport des eaux de même que son évacuation. Les méthodes utilisées visent à diminuer la quantité d'eau de ruissellement, ralentir son débit et réduire sa charge polluante (Boucher, 2010). Elles regroupent entre autres : la plantation d'arbres, l'aménagement de fossés ou de noues engazonnées, le bassin de rétention ou d'infiltration et les marais filtrants (ATC, 1999; Gouvernement du Québec, s. d.). De plus, la gestion durable des eaux de pluie permettrait une économie variant de 15 à 80 % pour les coûts de construction en plus de celles réalisées au niveau de l'entretien et de la réparation des infrastructures (EPA, 2007). Enfin, il peut s'agir d'une opportunité pour améliorer la qualité de vie des citoyens en créant par exemple de nouvelles zones de détente, utilisées à priori à titre de bassin de rétention ou de marais filtrant.

Comme il a été mentionné précédemment, les sels de voirie sont très solubles dans l'eau et donc très mobiles dans l'environnement. Par conséquent, la majorité de ces méthodes ne peuvent empêcher ces contaminants d'atteindre les eaux de surface ou les eaux souterraines. Cependant, l'impact peut être réduit en retenant les eaux hautement chargées en sel, ce qui entraîne un décalage dans l'écoulement des sels de voirie en direction d'une zone vulnérable (ATC, 1999). Pour ce faire, la quantité d'eau et la vitesse des eaux de ruissellement doivent être contrôlées en favorisant l'infiltration de l'eau de pluie ou la rétention de l'eau de ruissellement.

Par ailleurs, selon le *Guide de gestion des eaux pluviales*, les sels de voirie sont un bon exemple de contaminant pouvant faire état de planification, de programmes et de réglementation afin de réduire les rejets dans les eaux pluviales (Boucher, 2010). Par exemple, la Ville de Québec a déjà introduit une limite d'épandage des sels de voirie dans les contrats avec les entrepreneurs afin de protéger les zones vulnérables (MTQ, 2010). Le guide propose plusieurs principes d'aménagement du territoire pour favoriser une gestion durable des eaux pluviales. Au niveau des routes résidentielles et des aires de stationnement, il est recommandé de :

- limiter la longueur et la largeur des routes résidentielles;

- limiter et même règlementer la superficie consacrée aux aires de stationnement;
- favoriser l'emploi d'un revêtement perméable ou poreux pour les aires de stationnement;
- lorsque possible, favoriser l'emploi des fossés engazonnés;
- promouvoir l'aménagement d'aires de stationnement multi-étagées;
- maximiser le traitement de l'eau de ruissellement par l'utilisation de la végétation.

Au Québec, le ministère des Transports a réglé quelques cas de contamination des réserves d'eau potable en contrôlant les débits provenant des autoroutes par l'imperméabilisation des fossés. Cette méthode permet d'acheminer les eaux de ruissellement, hautement chargé en sel, vers un endroit sécuritaire ou moins dommageable pour l'environnement (MTQ, 1999), elle est aujourd'hui utilisée comme méthode préventive dans certains projets routiers (Soucy, 2011). De plus, le MTQ et l'Université Laval mènent présentement un projet de recherche pour expérimenter un lit filtrant composé de matériaux absorbants naturels combiné à un marais épurateur spécialement conçu pour retenir les ions sodium et chlorure (Morteau *et al.*, 2006; Conseil de bassin du lac Saint-Augustin (CBLSA), 2010).

Tableau 2.11 Avantages et inconvénients de la gestion durable des eaux

Avantages	Inconvénients
Diminution des risques d'inondation et d'érosion	Coûts importants reliés à la mise en place et à l'entretien des installations
Protection des ressources d'eau potable	Rend plus difficile l'enlèvement de la neige
Diminution des impacts sur l'environnement et protection des services écologiques rendus par les milieux humides	Peut générer des plaintes (aires de stationnement inadéquates)
Diminution des coûts associés aux dommages aux infrastructures d'aqueduc et d'égout	L'utilisation des réseaux d'égouts doit tenir compte des limites de concentration fixées par la municipalité souvent de 1 500 mg/L de chlorure (MDDEP, 2002b)
Réduction des coûts de construction de 15 % à 80 %	Réduire l'accès pour les véhicules d'urgence et les camions d'incendie

2.7 Les autres méthodes

Plusieurs approches ont été développées jusqu'ici afin de tenter d'améliorer les pratiques d'entretien routier. Certaines d'entre elles ont connu du succès alors que d'autres nécessiteraient de toute évidence des améliorations. Cette section présente quelques-

unes de ces approches, soit : l'arrosage automatique fixe, la gestion des bancs de neige et la technologie des chaussées chauffantes.

2.7.1 L'arrosage automatique fixe

Les systèmes d'arrosage automatique fixe (Système Fast) sont constitués de gicleurs qui épandent un produit déglaçant liquide ou solide lorsque les conditions météorologiques le requièrent (voir figure 2.9). Ainsi, la combinaison de cette technologie avec celle des SMR est nécessaire pour une utilisation adéquate des produits de déglçage. Une fois en place, la combinaison de ces systèmes permet d'augmenter la sécurité de la route par une réponse immédiate avant la formation de givre à la surface de la chaussée. De plus, le système d'arrosage automatique permet de réduire le nombre de passages d'un camion chasse-neige, la quantité de produit épandu et donc le coût associé aux dommages des infrastructures. À la suite de nombreux accidents dans la bretelle reliant l'autoroute 401 à l'autoroute 416, le ministère des Transports de l'Ontario (MTO) a installé cette combinaison de nouvelles technologies en 2000. Selon les données diffusées en 2004, aucun accident associé aux conditions météorologiques n'a été répertorié depuis (Environnement Canada, 2004c). Le MTO a d'ailleurs étendu cette technologie à quatre autres emplacements (MTO, 2010). Une telle installation peut coûter approximativement 300 000 \$ en frais de conception, de construction et de mise en service en plus de 30 000 \$ en frais d'exploitation annuels (Environnement Canada, 2004c). Enfin, l'utilisation d'un tel système demeure à l'état d'expérimentation, mais semble représenter une avenue prometteuse.



Figure 2.9 Système d'arrosage automatique fixe (FAST). Tiré de MTO, 2001.

Tableau 2.12 Avantages et inconvénients du système d'arrosage automatique

Avantages	Inconvénients
Réaction immédiate lors de la détérioration des conditions météorologiques (augmente la sécurité)	Coûts importants reliés à la conception, à la mise en place et à l'entretien des installations
Réduction des retards attribuables aux problèmes de circulation	
Diminution de la quantité de sel épandu et donc de l'impact sur l'environnement et les infrastructures routières	
Diminution des coûts associés à l'entretien des infrastructures d'aqueduc et d'égout	
Réduction du nombre de passages du camion chasse-neige	

2.7.2 La gestion des bancs de neige

Certaines routes ou portions de route sont plus propices à l'accumulation de neige en raison des terrains avoisinants, d'une chaussée surélevée, d'un obstacle en bordure de la route, d'un manque d'espace pour l'entreposage de la neige ou pour d'autres raisons associées au relief en bordure de route. Il s'en suit généralement une formation de bancs de neige qui demande un entretien plus rigoureux, correspondant à une plus grande utilisation de sels de voirie. En analysant cette problématique, l'ATC a développé plusieurs méthodes de gestion qui sont présentées dans le *Guide de gestion des sels de voirie* (ATC, 1999). Avec l'approbation des propriétaires des terrains visés, l'utilisation d'un pare-neige par les municipalités serait la principale méthode à considérer. Constitué de végétaux ou de matériaux rigides, il permettrait de réduire les quantités de neige ou de glace sur la chaussée. Cependant, pour obtenir un pare-neige végétal de qualité, celui-ci doit être constitué de végétaux tolérants au sel (voir annexe 2). Enfin, l'installation de pare-neige peut avoir un impact non seulement sur les quantités de sels épandues, mais également sur le bruit et le déplacement des embruns salins vers les zones agricoles à proximité des routes (Suzuki *et al.*, s. d.). Le tableau ci-dessous présente les avantages et les inconvénients des pare-neige constitué de végétaux ou de matériaux rigides.

Tableau 2.13 Avantages et inconvénients des pare-neige végétaux et rigides

	Avantages	Inconvénients
Pare-neige rigide	Érigé et utilisé très rapidement	Coûts d'installation et d'entretien élevés
	Densité et hauteur fixes et connues	Durée de vie plus courte
	Peut facilement être modifié si la configuration ne répond pas au problème d'accumulation de neige	Les matériaux peuvent être corrodés par le sel (bien que la possibilité soit faible puisque la clôture se trouve du côté exposé au vent à une bonne distance de la chaussée)
	Peut être installé temporairement pendant les mois d'hiver	
	Peut être utilisé où la végétation est difficilement envisageable	
Pare-neige fait de végétaux	Les coûts de mise en place et d'entretien peuvent être facilement moins élevés que les autres types de barrières	La densité et la hauteur du pare-neige varient au fil de la croissance des végétaux et selon la force des vents, ce qui modifie la capacité de stockage de la neige
	Plus esthétique	Peut être touché par des maladies, des dommages occasionnés par les insectes et par d'autres facteurs environnementaux
	Augmente l'habitat des espèces sauvages	Peut être endommagé par le sel (bien que la possibilité soit faible puisque la clôture se trouve du côté contre le vent à une bonne distance de la chaussée)
	Durée de vie élevée	Demande une période de temps additionnel pour que les plantes soient bien prises et retiennent la quantité de neige nécessaire
	Peut constituer un écran visuel	
	Peut servir de brise-vent	
	Plus grande capacité de stockage de neige	

Modifié de ATC, 1999, p. 3-107.

2.7.3 Les chaussées chauffantes

Des systèmes de chauffage ont été développés et encastrés dans certaines chaussées sans toutefois connaître de succès significatif jusqu'ici. Cette technologie a pour objectif d'empêcher toute accumulation de neige ou formation de glace à la surface en utilisant un ensemble de tuyaux remplis de fluide ou de câbles de chauffage par résistance électrique. Certaines administrations américaines, dont le ministère des Transports du Minnesota, ont exploré la possibilité d'utiliser ces systèmes. Cependant, les coûts et la consommation d'énergie combinés à d'autres défis techniques, comme la proximité d'une source d'énergie suffisante, ne font pas de cette technologie une solution viable (F. Keranen, s. d.). Les coûts d'une telle installation seraient de 15 à 30 fois supérieurs à ceux de l'utilisation des sels de voirie (EPA, 1999).

3. L'ANALYSE ET LA COMPARAISON DES MÉTHODES DE GESTION

Ce chapitre analyse les différentes méthodes présentées ci-dessus afin de réduire l'impact des sels de voirie sur l'environnement. L'objectif est d'identifier celles qui sont actuellement recommandables et viables en fonction des trois dimensions du développement durable, soit : l'environnement, l'économie et le social. Cette analyse sera présentée en expliquant d'abord la méthodologie employée, suivie de l'interprétation des résultats obtenus. Elle ne tient pas compte des guides et des lignes directrices élaborées par les différentes administrations, car celles-ci seront toutes considérées dans la conception de l'outil présenté au chapitre 4.

3.1 Méthodologie

L'approche retenue est inspirée de la *Boussole bernoise du développement durable*, une méthode basée sur des estimations qualitatives cherchant à intégrer la notion de développement durable aux niveaux local et régional. La présente analyse a été réalisée à l'aide d'une grille développée essentiellement à partir de la structure proposée par l'Office de la coordination environnementale et de l'énergie du canton de Berne (OCEE), mais modifiée afin de convenir aux fins de la présente étude (OCEE, 2008). Cette grille comprend 13 catégories, soit 5 catégories environnementales, 5 économiques et 3 sociales, analysées selon 23 champs thématiques au total. La figure 3.1 présente les champs thématiques pour chaque catégorie. Pour leur part, les champs thématiques utilisés dans le cadre de cette analyse sont définis par plusieurs indicateurs. Regroupés par champs thématiques et par catégories, le tableau 3.1 présente la liste des indicateurs qui ont été considérés lors de l'attribution des cotes.

Basée sur les avantages et les inconvénients des méthodes présentées au chapitre 2, une cote de - 2 à + 2 a été attribuée pour chaque catégorie, représentant un impact positif ou négatif par rapport à l'utilisation du NaCl. Lorsqu'un champ thématique n'est pas considéré comme pertinent pour une méthode ou lorsque plusieurs indicateurs s'annulent, une cote de 0 peut lui être attribuée. Enfin, l'interprétation des données permettra de déterminer si les méthodes contribuent à la protection de l'environnement, à la conservation de la faune et de son habitat de même qu'au maintien des milieux aquatiques assurant une évolution normale de la biodiversité, tout en étant économiquement viables et socialement acceptables.

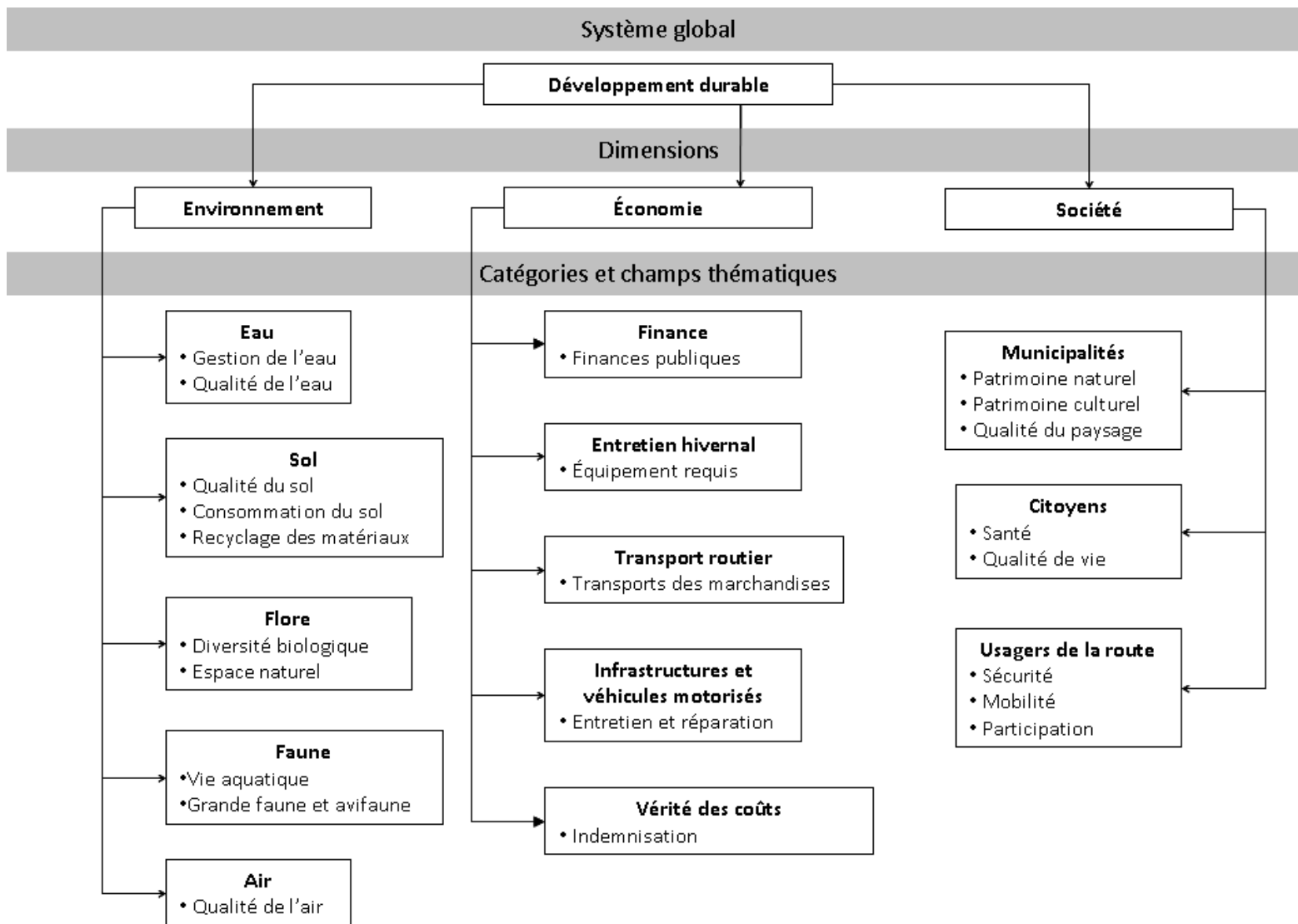


Figure 3.1 Structure hiérarchique du développement durable. Inspiré de l'OCEE, 2008.

Tableau 3.1 Catégories, champs thématique et indicateurs permettant l'analyse des méthodes de gestion des zones vulnérables

Dimensions	Catégories	Champs thématiques	Indicateurs	
Environnement	Eau	Gestion de l'eau	Diminution de la quantité d'eau de ruissellement	
		Qualité de l'eau	Diminution des concentrations de substances polluantes Diminution des concentrations de substances nutritives	
	Sol	Qualité du sol	Diminution des concentrations de substances polluantes Diminution du compactage du sol	
		Consommation du sol	Diminution de l'imperméabilisation du sol Diminution de l'érosion	
		Recyclage des matériaux	Augmentation de la part de matériaux recyclés ou récupérés	
	Flore	Diversité biologique	Amélioration des habitats des espèces rares et menacées Amélioration et protection préventive des habitats des espèces courantes Protection des cultures maraîchères et de la flore à proximité des routes	
		Espace naturel	Augmentation de la superficie des espaces à l'état naturel	
	Faune	Vie aquatique	Amélioration de la qualité des lacs et des cours d'eau comme habitat	
		Grande faune et avifaune	Diminution du risque d'accidents de la route et d'intoxication due aux sels	
	Air	Qualité de l'air	Diminution des embruns salins	
	Économie	Finance	Finances publiques	Promotion d'une utilisation efficace des fonds publics
		Entretien hivernal	Équipement requis	Coût associé aux investissements nouveaux Coût associé à l'exploitation des équipements
Transport routier		Transport des marchandises	Diminution des pertes économiques engendrées par le trafic	
Infrastructures routières et véhicules motorisés		Entretien et réparation	Diminution des coûts associés à la corrosion des infrastructures routières et des véhicules motorisés	
Vérité des coûts		Indemnisation	Diminution du nombre de réclamations pour des accidents routiers Diminution du nombre de réclamations pour des dommages au pare-brise	
Société	Municipalités	Patrimoine naturel	Promotion de la municipalité par le maintien d'un milieu naturel	
		Patrimoine culturel	Promotion de la culture des villages et des quartiers	
		Qualité du paysage	Amélioration de la qualité des paysages naturels	
	Citoyens	Santé	Amélioration de l'état de santé	
		Qualité de vie	Amélioration des espaces de détente Extension des zones à trafic ralenti	
	Usagers de la route	Sécurité	Augmentation du sentiment de sécurité de la population Diminution des accidents Amélioration des services en cas d'urgence Augmentation de la protection contre les catastrophes naturelles	
			Mobilité	Maintien de la mobilité des citoyens
			Participation	Promotion de l'engagement de la population locale

3.2 Interprétation des résultats

Les résultats présentés au tableau 3.2 démontrent la complexité d'identifier la meilleure alternative à l'utilisation des sels de voirie, car chaque option analysée présente des particularités qui, en fonction du type de zone vulnérable à protéger, peuvent être favorables ou défavorables. Ainsi, cette situation reflète bien la réalité devant laquelle se retrouve chaque gestionnaire responsable de l'entretien hivernal.

Tableau 3.2 Analyse des méthodes de gestion des zones vulnérables selon les trois dimensions du développement durable

		Abrusif				Acétate				S-P de l'agriculture				Préhumid./ Antigivrage				Routes blanches			
Catégories		-2	-1	1	2	-2	-1	1	2	-2	-1	1	2	-2	-1	1	2	-2	-1	1	2
Environnement	Eau			■	■			■	■		■					■	■			■	■
	Sol			■	■			■	■			■	■			■	■			■	■
	Flore			■	■			■	■			■	■			■	■			■	■
	Faune			■				■				■				■				■	
	Air	■	■			■	■			■	■			■	■			■	■		
	Sous-total	4.5				5				2.5				4.5				6.5			
Économie	Finance			■				■			■					■				■	■
	Entretien hivernal					■	■				■			■	■					■	■
	Transport routier	■	■							■	■					■	■	■	■		
	Infrastructures rout.			■	■			■	■			■	■			■	■			■	■
	Indemnisation		■													■	■			■	■
	Sous-total	2				1.5				1				2				5			
Société	Municipalités			■				■												■	■
	Citoyens			■	■			■	■											■	■
	Usagers de la route		■								■				■			■	■		
	Sous-total	1				1.5				1				1				3			
Total	7.5				8				4.5				7.5				14.5				

		Gestion de l'eau				Arrosage automatique				Gestion de la neige				Chaussées chauffantes			
Catégories		-2	-1	1	2	-2	-1	1	2	-2	-1	1	2	-2	-1	1	2
Environnement	Eau			■	■			■				■					
	Sol			■	■			■				■					
	Flore			■	■			■				■					
	Faune			■				■				■					
	Air			■				■				■					
	Sous-total	5.5				2.5				2.5				10			
Économie	Finance			■				■						■	■		
	Entretien hivernal		■			■	■				■			■	■		
	Transport routier	■	■							■	■			■	■		
	Infrastructures rout.			■	■			■	■			■	■			■	■
	Indemnisation							■	■							■	■
	Sous-total	1.5				2				1.5				2			
Société	Municipalités			■							■					■	■
	Citoyens			■	■											■	■
	Usagers de la route							■	■		■					■	■
	Sous-total	2.5				2				0.5				5			
Total	9.5				6.5				4.5				17				

Légende Très négatif -2 ; Négatif -1 ; Neutre 0 ; Positif +1 ; Très positif +2

Les stratégies d'entretien hivernal soutenant l'approche des routes blanches et des chaussées chauffantes se distinguent par leur pointage, et ce, pour les trois sphères du développement durable. En effet, bien que les routes blanches réduisent la vitesse de circulation des usagers de la route, les commentaires obtenus soutiennent et encouragent même l'entretien de routes blanches. Du côté des chaussées chauffantes, il faut souligner que les coûts associés à la conception, à l'installation et à l'exploitation de cette technologie (demande d'énergie) en font une solution économiquement non viable. De plus, contrairement aux routes blanches, l'expérimentation des chaussées chauffantes n'a pas donné de résultats concluants jusqu'ici. Bref, malgré tous les avantages que promet la technologie des chaussées chauffantes, il faut oublier cette option pour le moment. Pour sa part, le concept des routes blanches et des quartiers blancs est accessible et très prometteur dans un avenir rapproché.

Par ailleurs, la gestion durable des eaux de pluie représente la deuxième méthode la plus prometteuse sur tous les points. Ce résultat s'explique par le fait que l'eau de ruissellement constitue le principal moyen de transport des sels de voirie. Sa gestion permet donc de réduire son volume, sa charge polluante et ses concentrations ponctuelles. En plus de réduire l'impact sur l'environnement, cette méthode permet d'évacuer les eaux de ruissellement qui pourraient rester emprisonnées dans les infrastructures routières et contribuer à augmenter les coûts de réparation et d'entretien engendrés par la corrosion. En raison des coûts importants pour modifier les infrastructures déjà en place, une municipalité pourrait décider d'implanter une gestion durable des eaux de pluie dès l'étape de planification d'un nouveau quartier. Ainsi, la municipalité s'assurerait d'éliminer tout risque pour la santé des citoyens lié aux sels de voirie et pourrait même améliorer leur qualité de vie par la création de nouvelles zones de détente, utilisées à priori à titre de bassin de rétention ou de marais filtrant par exemple. De plus, il a été démontré que l'intégration de la gestion durable des eaux de pluie dans les nouveaux projets de développement peut entraîner une réduction du coût total du projet.

Ensuite, plusieurs méthodes présentent des résultats semblables. C'est le cas des abrasifs et des acétates, des techniques de préhumidification et d'antigivrage ainsi que de l'arrosage automatique fixe. Pour ces méthodes, le cas par cas est l'approche à retenir. Il s'agit d'évaluer la problématique du territoire en comparaison aux solutions proposées par

ces différentes approches. Par exemple, les abrasifs et les acétates peuvent éliminer un problème de contamination de puits d'eau potable et réduire l'impact sur l'environnement alors que l'arrosage automatique peut réduire les dommages aux infrastructures routières et les pertes économiques engendrées par le trafic. Pour leur part, les techniques de préhumidification et d'antigivrage offrent un avantage général à tous les points de vue. Par conséquent, elles pourraient constituer la première étape à adopter si aucune problématique particulière n'est observée. Au niveau financier, l'arrosage automatique et les acétates sont des produits plus coûteux. C'est pourquoi une évaluation des coûts et des bénéfices propre à chaque administration devra être réalisée avant tout.

Selon Cain, 2004, il serait profitable d'utiliser le CMA dans le cadre d'un projet hybride avec le NaCl. En effet, en alternant le produit épandu selon les conditions météorologiques, les coûts annuels seraient en moyenne 2,3 fois plus importants que l'unique utilisation du sel, mais cette technique permettrait de réduire les dommages aux infrastructures routières ainsi qu'à la faune et à la flore tout en assurant une sécurité aux usagers de la route (Cain, 2004). Par ailleurs, de nombreux articles concernant le CMA proposent des conclusions contradictoires quant à leur effet sur l'oxygène dissout dans un cours d'eau. Seules d'autres expérimentations permettront d'approfondir les connaissances sur le sujet. Ainsi, il est préférable d'utiliser le principe de précaution du développement durable et de ne pas utiliser les produits d'acétate à proximité d'un cours d'eau à faible débit.

L'utilisation des sous-produits de l'agriculture et la gestion des bancs de neige représentent des méthodes qui améliorent la gestion des sels de voirie, tout en présentant certains inconvénients plus ou moins majeurs selon la situation. Dans un premier temps, le jus de betterave, ou tout autre produit naturel ajouté au sel pour augmenter son efficacité, présentent un risque important pour la conservation des lacs et des cours d'eau. Comme il s'agit actuellement d'une situation problématique au Québec où d'importants efforts sont déployés pour contrer la présence des cyanobactéries, il serait difficile de justifier l'usage d'un tel produit. Encore une fois, par mesure de précaution, il est préférable d'éviter tout usage des produits fortement chargés en phosphore à proximité d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau. Dans un deuxième temps, bien que la gestion des bancs de neige fournisse des avantages limités et incertains, elle peut s'avérer utile pour la protection d'un petit secteur, comme les zones vulnérables aux sels de voirie. Ses

inconvenients sont principalement au niveau des coûts d'entretien et de la qualité du paysage.

Enfin, rien n'empêche de combiner plusieurs de ces méthodes pour améliorer davantage la performance environnementale d'un entretien hivernal. Par exemple, il est possible d'utiliser de petites pierres comme abrasifs et d'effectuer une gestion durable des eaux de pluie afin de les récupérer avant leur rejet dans les cours d'eau. Également, en entretenant des routes blanches, la quantité d'abrasifs à récupérer sera beaucoup moins importante et les dommages à l'environnement presque nuls, sans parler des économies réalisées dans l'achat, le transport, le ramassage et l'entretien des réseaux d'égout. Une autre approche consisterait à gérer les eaux de drainage chargées en sel sur les CEMS afin de les récupérer et de les utiliser comme agent de préhumidification du sel solide. (MDDEP, 2010; ATC, 2003a; Fitch *et al.*, 2009).

3.2.1 Fiabilité des données

Malgré tous les efforts réalisés pour obtenir les résultats le plus près de la réalité, cette analyse peut présenter certaines faiblesses menant à des résultats discutables. Par exemple, bien qu'inspirée de la boussole bernoise du développement durable, cette méthodologie a été simplifiée pour faciliter l'analyse de chaque méthode et aucune pondération n'y a été apportée. De plus, alors que certaines méthodes nécessiteraient des études plus poussées, d'autres présentent parfois des résultats contradictoires. Néanmoins, les conclusions de la présente analyse sont représentatives de l'ensemble des avantages et des inconvenients, incluant les doutes d'ordre scientifique, en plus d'être concrètement applicables pour le Québec.

4. PROPOSITION D'UN OUTIL POUR LA GESTION DES ZONES VULNÉRABLES AUX SELS DE VOIRIE

Comme il n'existe aucun guide permettant aux municipalités d'effectuer une saine gestion des zones vulnérables aux sels de voirie, le prochain chapitre présente une démarche accessible qui pourrait être développée dans le cadre d'un guide d'accompagnement. Plus précisément, la démarche proposée pourrait éventuellement permettre aux municipalités d'identifier les zones vulnérables aux sels de voirie sur leur territoire, de les prioriser en fonction du degré de vulnérabilité et de la valeur du milieu, d'améliorer leur méthodes d'entretien et de mettre en place des mesures de protection supplémentaires en fonction de leurs ressources financières, techniques et organisationnelles.

Les informations utilisées ont été discutées précédemment. C'est pourquoi le texte fera couramment référence à des tableaux, des figures ou à des sections de l'essai pour éviter toute répétition.

4.1 Quels sont les impacts des sels de voirie?

Il est important d'établir les problématiques reliées à l'utilisation des sels de voirie afin de sensibiliser le lecteur à la cause. Les impacts des sels de voirie ont été décrits dans les sections 1.1 et 1.2.

4.2 Qu'est-ce qu'une zone vulnérable?

Selon la *Stratégie québécoise pour une gestion environnementale des sels de voirie*, une zone vulnérable se définit comme étant une « zone particulièrement sensible aux sels de voirie où des mesures supplémentaires peuvent s'avérer nécessaires pour atténuer leurs effets sur l'environnement » (Gouvernement du Québec, 2010). Cependant, il a été démontré à la section 1.2.2 que les infrastructures routières sont des zones sensibles aux sels de voirie qui augmentent considérablement les coûts reliés à l'entretien hivernal. Par conséquent, la définition d'une zone vulnérable devrait comprendre toute zone particulièrement sensible aux sels de voirie où des mesures supplémentaires peuvent s'avérer nécessaires pour atténuer leurs effets sur l'environnement et les infrastructures routières.

4.3 Une approche concertée

Il a été démontré que les municipalités n'ont pas souvent les ressources nécessaires pour effectuer une gestion des zones vulnérables aux sels de voirie (Stone *et al*, 2010). Les informations présentées aux sections 1.3 à 1.7 démontrent bien que cette responsabilité ne revient pas qu'aux municipalités. Par conséquent, cette tâche devrait faire l'objet d'un projet concerté, sous l'égide d'un comité de concertation, entre plusieurs acteurs dans le domaine de la gestion de l'environnement et des transports (voir tableau 4.1). Ce n'est que par une approche multidisciplinaire et une vision d'amélioration continue qu'il sera possible d'augmenter l'efficacité du processus afin de réduire, voire d'éliminer, l'impact des sels de voirie sur l'environnement et les infrastructures routières. En plus de la diffusion des connaissances et du soutien technique de la part des partenaires, une aide financière gouvernementale répondrait adéquatement aux besoins exprimés par les municipalités locales. En ce sens, deux options semblent être envisageables pour l'identification des zones vulnérables aux sels de voirie (voir section 4.4), soit : le financement d'une expertise régionale ou le financement des OBV. Il est à noter que les étapes de la priorisation des zones vulnérables et du choix des méthodes d'atténuation reviennent entièrement aux municipalités locales.

D'une part, à l'image du programme PAPA (programme d'aide à la prévention d'algues bleu-vert) et du Programme d'infrastructures Québec-Municipalités, le gouvernement du Québec pourrait envisager de mettre sur pied un programme d'aide financière à l'endroit des MRC. Cette initiative aurait comme avantage de permettre aux MRC d'acquérir l'expertise en matière de gestion des zones vulnérables aux sels de voirie et d'offrir cette expertise aux municipalités locales. De cette façon, l'aide financière pourrait être répartie entre les 89 MRC ainsi que les 2 communautés métropolitaines plutôt qu'aux 1 112 municipalités locales. De plus, en raison de leur mandat relatif au schéma d'aménagement et de développement (SAD), les MRC détiennent déjà l'expertise en géomatique et les SIG pour faciliter l'identification des zones vulnérables. D'autre part, une autre option serait d'accorder une aide financière plus importante aux OBV pour la validation des données disponibles ou la réalisation d'études sur le terrain. Ainsi, cette démarche supporterait le développement des OBV tout en contribuant à l'atteinte de leur mission, soit la gestion intégrée par bassin versant. Enfin, avec l'aide du comité de concertation, ils seraient en mesure d'identifier les zones vulnérables aux sels de voirie sur leur territoire.

Le tableau 4.1 résume certains rôles et responsabilités appuyant la participation de plusieurs acteurs selon les lois et règlements actuellement en vigueur. Ce tableau ne fournit pas une liste exhaustive, mais justifie la participation des principaux intervenants.

Tableau 4.1 Rôle et responsabilité des acteurs concernés par la gestion des zones vulnérables

Acteur	Rôle et responsabilité	Référence
Environnement Canada	Prendre des mesures préventives et correctives pour protéger, valoriser et rétablir l'environnement et préserver l'environnement, notamment la diversité biologique, et la santé humaine des risques d'effets nocifs de l'utilisation et du rejet de substances toxiques, de polluants et de déchets.	<i>Loi sur la protection de l'environnement (LCPE)</i> <i>Liste des substances d'intérêt prioritaire (LSIP)</i> <i>Code de pratique pour une gestion environnementale des sels de voirie</i>
	Prévenir la disparition des espèces sauvages du Canada notamment en favorisant la gestion des espèces préoccupantes.	<i>Loi sur les espèces en péril (LEP)</i>
	Protéger les eaux où vivent des poissons par l'interdiction de rejeter une substance nocive, ou d'en permettre le rejet.	<i>Loi sur les pêches</i>
	Protéger l'habitat des oiseaux migrateurs par la délivrance de permis.	<i>Loi sur la convention concernant les oiseaux migrateurs</i>
Comité directeur québécois (MTQ, MDDEP, MAMROT, UMQ et FQM)	Limiter les impacts sur l'environnement liés à l'utilisation des sels de voirie, soit tout fondant chimique composé de sels inorganiques de chlorure, avec ou sans sels de ferrocyanure.	<i>Stratégie québécoise pour une gestion environnementale des sels de voirie</i>
MDDEP	Protéger l'environnement contre tout contaminant encadré par un règlement du gouvernement ou qui est susceptible de causer du dommage ou de porter autrement préjudice à la qualité du sol, à la végétation, à la faune ou aux biens.	<i>Loi sur la qualité de l'environnement</i> <i>Règlement sur les lieux d'élimination de neige</i> <i>Règlement sur le captage des eaux souterraines</i>
MDDEP et MRNF	Assurer le maintien de la diversité biologique au Québec par l'identification et la protection des espèces fauniques (MRNF) et floristiques (MDDEP) menacées ou vulnérables.	<i>Loi sur les espèces menacées ou vulnérables</i>
MRNF	Assurer, dans une perspective de développement durable et de gestion intégrée, la conservation et la mise en valeur des ressources naturelles, dont la faune et son habitat, ainsi que des terres du domaine de l'État.	<i>Loi sur le ministère des ressources naturelles et de la faune</i> <i>Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune</i>
MRC	Identifier les zones où l'occupation du sol est soumise à des contraintes particulières pour des raisons de protection environnementale des rives, du littoral et des plaines inondables de même que les zones présentant pour la municipalité régionale de comté un intérêt d'ordre écologique.	<i>Loi sur l'aménagement et l'urbanisme</i> <i>Schéma d'aménagement et de développement (SAD)</i>
	Maintenir en vigueur, en tout temps, un énoncé de sa vision stratégique du développement culturel, économique, environnemental et social de son territoire.	
	Planifier les infrastructures routières dans un cadre de concertation avec les autres intervenants.	
Municipalité locale	Réaliser les actions qui permettront d'atteindre les objectifs de leur MRC respective.	<i>Loi sur l'aménagement et l'urbanisme</i> <i>Loi sur les compétences municipales</i> <i>Code de la sécurité routière</i>
	Gérer l'ensemble des voies publiques dont la gestion ne relève pas du gouvernement du Québec.	
OBV	Assurer une gestion d'ensemble des eaux de surface en tenant compte des écosystèmes en place et des interactions reliées aux activités naturelles et humaines à proximité.	<i>La Politique nationale de l'eau</i>
Le service de la police	Par l'application des lois et règlement, il contribue à favoriser une gestion environnementale des sels de voirie tout en maintenant la circulation et la sécurité des usagers de la route.	<i>Règlement sur l'utilisation de pneus conçus spécifiquement pour la conduite hivernale</i> <i>Règlement sur les normes de charges et de dimensions</i>

4.4 Comment identifier les zones vulnérables aux sels de voirie?

La référence aux outils disponibles et la validation sur le terrain sont les deux étapes qui permettent d'identifier les zones vulnérables. L'approche concertée et le programme d'aide financière devraient permettre de réaliser ces étapes rapidement. Malgré tout, il est estimé que ce processus pourrait durer entre une et deux années, selon la saison de démarrage et la disponibilité des acteurs.

4.4.1 Étape 1 : L'utilisation des données existantes

Environnement Canada a présenté des travaux qui rassemblent les différentes zones vulnérables identifiées au cours de nombreuses recherches. La section 2.1.3 présente un résumé de l'information contenue dans ces documents. Outre l'environnement, les infrastructures routières sont également des zones vulnérables qui doivent être considérées à cette étape. L'approche concertée facilitera grandement l'identification des zones vulnérables, car l'ensemble des inventaires, des cartes, des banques de données et des autres informations pertinentes sera mis à contribution. L'utilisation d'un SIG est fortement recommandée. D'ailleurs, le ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire a développé le système d'information et de gestion en aménagement du territoire (SIGAT), un outil qui pourrait facilement être utilisé dans le cadre de ce projet.

4.4.2 Étape 2 : La validation sur le terrain

Une fois les zones vulnérables identifiées à l'aide des données disponibles, il est possible que certaines d'entre elles requièrent une validation sur le terrain par des spécialistes. À ce moment, la qualité des résultats obtenus à l'étape 1 permet de réduire les coûts d'analyse et le temps nécessaire à la validation sur le terrain, contrairement à la démarche proposée par la TMDL (voir section 2.1.4). Ensuite, les mesures nécessaires doivent être prises par le comité de concertation. Il peut s'agir de simples observations sur le terrain, de quelques échantillonnages et d'analyses de l'eau et du sol, etc.

4.5 Par où commencer?

Le degré de vulnérabilité et la valeur de la zone identifiée sont les deux facteurs qui aideront les gestionnaires à prioriser les zones vulnérables. Cette priorisation ne signifie

pas de protéger un lac au détriment d'un autre, mais bien d'utiliser une approche d'amélioration continue qui permettra, à court et à long terme, d'apporter des mesures de protection pour chaque zone vulnérable identifiée.

4.5.1 Étape 3 : Déterminer le degré de vulnérabilité

À partir des différents indicateurs d'impact établis et discutés tout au long de cet essai, il a été possible d'élaborer un tableau résumé qui a pour objectif de faciliter l'évaluation du degré de vulnérabilité d'un milieu (voir tableau 4.2). Lorsque plusieurs seuils existent et diffèrent, ceux recommandés par le gouvernement du Québec ont été priorisés, car ils tiennent compte des caractéristiques propres à l'environnement du Québec.

Les données provenant des études hydrogéologiques réalisées dans le cadre du *Règlement sur le captage des eaux souterraines* peuvent également aider à déterminer le degré de vulnérabilité d'une nappe aquifère. Bien que coûteux, ce type d'étude peut être utile lorsqu'aucune information n'est disponible et que des préoccupations sont soulevées.

4.5.2 Étape 4 : Déterminer la valeur du milieu naturel

Pour prioriser les zones vulnérables, il faut également connaître leur valeur à titre de milieu naturel. Le *Guide d'élaboration d'un plan de conservation des milieux humides* fournit des critères qui permettent d'attribuer cette valeur (MDDEP, 2008; voir annexe 3). Ceux-ci sont regroupés dans les sept dimensions suivantes : dimension spatiale, caractère exceptionnel, fragilité du milieu, dimension biotique, dimension hydrologique, dimension abiotique et dimension sociale. Les critères utilisés pour déterminer la valeur d'une zone vulnérable sont tirés de ce guide.

Pour sa part, l'évaluation de la ressource d'eau souterraine a été ajoutée et peut être réalisée à l'aide des outils de la section 2.1.2.

Tableau 4.2 Résumé des indicateurs d'impact environnemental

Critère d'évaluation	Composante	Seuil de vulnérabilité
Distance depuis la source	Autoroute à 4 voies (mètre)	<ul style="list-style-type: none"> Impact fort : < 30 Impact moyen : [30 - 80[Impact faible : [80 - 200[
	Route à 2 voies (mètre)	<ul style="list-style-type: none"> Zone d'impact: 35
	CEMS	<ul style="list-style-type: none"> <60 mètres d'un milieu humide <100 mètres de tout ouvrage de captage <50 mètres de la limite des inondations de récurrence de 2 ans ou de la ligne des hautes eaux d'un lac ou d'un cours d'eau à débit régulier ou intermittent <15 mètres d'une installation septique, à l'exception de celles qui se trouvent sur le site du centre
Source d'eau potable	Perméabilité du sol	<ul style="list-style-type: none"> Une perméabilité du sol de moyenne à élevée constitue un risque de contamination pour la nappe aquifère
	[Na]	<ul style="list-style-type: none"> Suivi des patients avec un régime hyposodique : 20 mg/L Propriétés organoleptiques ou esthétiques: 200 mg/L
	[Cl]	<ul style="list-style-type: none"> Propriétés organoleptiques ou esthétiques: 250 mg/L
	Charge totale annuel	<ul style="list-style-type: none"> On peut retrouver des concentrations de chlorure supérieures à 250 mg/L dans les eaux souterraines sous un réseau routier sujet à des charges annuelles de plus de 20 tonnes par kilomètre de route à 2 voies
Petits étangs et lacs	[Na]	<ul style="list-style-type: none"> 60 mg/L
	[Cl]	<ul style="list-style-type: none"> 105 mg/L
Eau de surface et vie aquatique	[Cl]	<ul style="list-style-type: none"> Toxicité aiguë : 860 mg/L Toxicité chronique : 230 mg/L
Sol et pédofaune	[Na]	<ul style="list-style-type: none"> 60 mg/L
	[Cl]	<ul style="list-style-type: none"> 90 mg/L
Couverture végétal	[Na]	<ul style="list-style-type: none"> 68 mg/L
	[Cl]	<ul style="list-style-type: none"> 215 mg/L
Zones agricoles sensibles (eau d'irrigation)	[Cl] pour les feuilles	<ul style="list-style-type: none"> 100-178 mg/L pour l'amande, l'abricot et la prune
		<ul style="list-style-type: none"> 178-355 mg/L pour le raisin, le poivron, la pomme de terre et la tomate
		<ul style="list-style-type: none"> 355-710 mg/L pour la luzerne, l'orge, le maïs et le concombre
		<ul style="list-style-type: none"> >710 mg/L pour le chou-fleur, le coton, le carthame, le sésame, le sorgho, la betterave à sucre et le tournesol
	[Cl] pour le porte-greffe	<ul style="list-style-type: none"> 180-600 mg/L pour les fruits à noyau (pêche, prune, etc.)
		<ul style="list-style-type: none"> 710-900 mg/L pour le raisin
[Cl] pour les cultivars	<ul style="list-style-type: none"> 110-180 mg/L pour la fraise 	
	<ul style="list-style-type: none"> 230-460 mg/L pour le raisin 	
	<ul style="list-style-type: none"> 250 mg/L pour la mûre de Boysen, la mûre sauvage et la framboise 	
Abreuvement du bétail	[Cl]	<ul style="list-style-type: none"> 600 mg/L
Faune et flore en général	[Cl]	<ul style="list-style-type: none"> 600 mg/L

4.5.3 Étape 5 : Prioriser la protection des zones vulnérables

Les évaluations du degré de vulnérabilité et de la valeur des zones vulnérables ont été rassemblées afin de former un outil de priorisation des zones vulnérables (voir tableau 4.3). L'outil est basé sur un total de 30 critères, répartis également entre les deux facteurs considérés. Dans ce tableau, la fragilité du milieu et la dimension abiotique ont été jointes aux critères d'évaluation du degré de vulnérabilité.

Tableau 4.3 Matrice de priorisation multicritères basée sur le degré de vulnérabilité et la valeur d'une zone vulnérable aux sels de voirie

	Critères d'évaluation	Faible (1 pt)	Modéré (2 pts)	Élevé (3 pts)
Degré de vulnérabilité de la zone	Distance depuis la source		X	
	Source d'eau potable	X		
	Petits étangs et lacs			
	Eau de surface et vie aquatique		X	
	Couverture végétale		X	
	Zone agricole sensible			
	Abreuvement du bétail			
	Faune et flore en général			
	Texture du sol	X		
	Direction d'écoulement et pente		X	
	Capacité de drainage			
	Fragmentation	X		
	Perturbation		X	
	Occupation terres hautes adjacentes			X
	Espèces exotiques envahissantes			X
	Sous-total	19/45		
Valeur de la zone	Présence d'EMV			
	Forme			
	Superficie		X	
	Connectivité naturel		X	
	Unicité de l'habitat		X	
	Rareté relative			
	Représentativité			X
	Richesse spécifique ou relative		X	
	Connectivité hydrologique			X
	Ressource d'eau souterraine	X		
	Capacité de rétention			X
	Position dans le réseau hydrique			X
	Valeur esthétique			X
	Activités récréatives			X
	Projet de conservation			X
	Sous-total	30/45		
	Total	49/90		

Pour chaque critère, une valeur faible (1 point), modérée (2 points) ou élevée (3 points) doit y être attribuée. Lorsque la valeur d'un critère est nulle, celui-ci n'est pas comptabilisé. Le tableau 4.3 a été complété à titre d'exemple, il illustre une situation fictive où la valeur de certains critères a été jugée nulle. Cette méthode permet donc au gestionnaire du territoire de comparer plusieurs zones vulnérables selon un critère spécifique, le degré de vulnérabilité, la valeur du milieu ou l'ensemble de ces deux facteurs et de leurs critères. L'utilisation de cet outil d'évaluation et de priorisation doit se baser sur les données recueillies précédemment et sur l'avis de spécialistes du territoire, capable d'interpréter l'information en tenant compte des caractéristiques de l'ensemble du territoire.

Pour donner plus de poids à un critère par rapport à un autre, il est possible d'ajouter une pondération à l'aide d'un facteur de multiplication. Cette pondération est laissée à la discrétion des gestionnaires et devrait être utilisée uniquement lorsque la justification est suffisante.

Un deuxième outil peut être utilisé pour la priorisation des zones vulnérables. Une fois le degré de vulnérabilité et la valeur de la zone établis, il est possible de se référer au tableau 4.4 pour évaluer l'intensité de l'impact. Pour ce faire, une valeur « Faible » indique un résultat entre 0 et 14, une valeur « Modérée » indique un résultat compris entre 15 et 29 alors qu'une valeur « Élevée » indique un résultat de 30 à 45.

Tableau 4.4 Matrice d'évaluation de l'intensité de l'impact des sels de voirie

Degré de vulnérabilité de la zone	Valeur de la zone			
	Règlementaire	Élevé	Modéré	Faible
Élevé	Contrainte	Intensité très forte	Intensité forte	Intensité moyenne
Modéré	Contrainte	Intensité forte	Intensité moyenne	Intensité faible
faible	Contrainte	Intensité moyenne	Intensité faible	Intensité faible

Modifié de Hydro-Québec, 1990, p. 218.

4.6 Choisir une méthode de protection

Les mesures de protection suivantes ont été décrites au chapitre 2 :

- entretien des routes blanches (changement du niveau de service);
- application des meilleures pratiques;
- utilisation d'un produit alternatif;
- changement de stratégie d'intervention (préhumidification et antigivrage);
- gestion durable des eaux de pluie;
- arrosage automatique (Système Fast);
- gestion des bancs de neige;
- mise en place des chaussées chauffantes.

Suite à l'analyse de ces méthode (voir chapitre 3), l'entretien des routes blanches se révèle être le meilleur choix lorsqu'il n'est pas essentiel d'appliquer du sel. Autrement, l'implantation des meilleures pratiques de gestion des sels de voirie est une étape primordiale avant de songer à des mesures de protection supplémentaires, comme l'utilisation des produits alternatifs, la gestion des eaux de pluie et des bancs de neige, etc.

Par ailleurs, la priorisation demeure un outil d'aide à la décision pour les gestionnaires du réseau routier, elle ne dresse pas un ordre incontestable d'exécution des travaux. Par conséquent, les mesures de protection qui nécessitent un effort négligeable et des coûts infimes pour une zone vulnérable en particulier peuvent être favorisées par rapport à une autre.

Enfin, comme cette démarche s'inscrit dans un processus de développement durable, certaines de ces méthodes proposent des avantages significatifs au niveau de la protection des infrastructures routières. Étant donné l'importance des coûts associés à la protection et à la réparation de ces infrastructures, il est essentiel que les administrations responsables tiennent compte de ce facteur dans leur gestion environnementale des sels de voirie. Toutefois, comme la décision de protéger ou non ces infrastructures est basée sur des enjeux politique, économique et social propre à chaque situation, elles n'ont pas été considérées dans le cadre de la présente démarche d'identification et de priorisation des zones vulnérables.

5. AUTRES RECOMMANDATIONS

Les recherches effectuées dans le cadre de cet essai ont révélé diverses lacunes touchant directement ou indirectement la gestion des zones vulnérables aux sels de voirie. Dans une vision stratégique et durable, il est donc recommandé d'améliorer les éléments complémentaires suivants : le savoir-faire en matière d'utilisation des sels de voirie et des données météorologiques, la connaissance au niveau des ressources du territoire québécois, la réglementation pour la protection de l'environnement, la sensibilisation des citoyens et des acteurs du domaine privé ainsi que la conception et le développement des nouvelles routes comme des nouveaux quartiers.

D'abord, il a été observé que l'utilisation des sels de voirie requiert une meilleure expertise en général pour arriver à utiliser le bon produit, en quantité appropriée, au bon endroit et au bon moment. En effet, plusieurs administrations fonctionnent présentement par essais et erreurs afin de trouver la meilleure méthode (taux de pose en fonction du niveau de service recherché, équipements et produits alternatifs) au point de vue économique, environnemental et social. Cependant, cette façon de faire ne fournit pas de résultats scientifiques et reproductibles. De plus, l'interprétation et l'utilisation des données provenant des SMR demeurent une tâche complexe qui demande une certaine expertise. Pour ces raisons, un projet de recherche universitaire impliquant plusieurs départements (génie civil, physique, chimie, météorologie, informatique, géomatique, etc.) pourrait permettre de développer l'expertise nécessaire en matière d'utilisation optimale des sels de voirie et des données provenant des SMR.

Ensuite, pour une gestion efficace des ressources, le gouvernement du Québec devra notamment mettre en place une stratégie permettant de diffuser et d'accroître les connaissances au niveau de la qualité des eaux souterraines. Présentement, le réseau de suivi des eaux souterraines du MDDEP permet d'accéder à certaines données. Bien qu'il comptabilise 152 stations de mesure, une grande partie de celles-ci ne contiennent pas les résultats d'analyses de la qualité de l'eau. Il serait donc souhaitable de développer ce réseau en incluant la totalité des données disponibles, dont celles fournies par le biais du RCES.

Par ailleurs, comme mentionnée dans le *Guide de gestion des eaux pluviales* (Boucher, 2010), la réglementation encadrant l'usage des sels de voirie devrait être développée, principalement en ce qui concerne l'aménagement et l'exploitation des CEMS. En effet, la décision administrative du MDDEP de ne pas exiger de certificat d'autorisation, en vertu de l'article 22 de la LQE, pour les activités d'entreposage des sels de voirie ne permet pas de s'assurer d'une gestion environnementale des sels de voirie à proximité d'une zone vulnérable. Une réglementation qui offre un meilleur encadrement en matière d'environnement et de protection des zones vulnérables aux sels de voirie serait également possible au sens de l'article 19 de la *Loi sur les compétences municipales*.

De plus, selon une étude réalisée par le Plymouth State University, au New Hampshire, approximativement 40 % du sel épandu proviendrait de l'entretien des trottoirs et des stationnements privés (Région de Waterloo, 2008). Par conséquent, les municipalités auraient avantage à sensibiliser la population et les propriétaires de stationnements d'envergure en vue de l'intégration de meilleures pratiques de gestion environnementale des sels de voirie. Avec le consentement des propriétaires, les municipalités pourraient même réglementer l'entretien des stationnements (*Loi sur les compétences municipales*, article 79).

Enfin, il est recommandé d'accorder une place plus importante à l'environnement et à l'utilisation ultérieure des sels de voirie dès l'étape de la planification et de la conception d'une nouvelle route ou d'un nouveau quartier. Sans parler des économies potentielles en début de projet, cette façon de faire évitera des coûts importants dans l'entretien et la réparation des infrastructures routières, mais également au niveau des mesures supplémentaires de protection de l'environnement, requises une fois le projet complété et les impacts sur l'environnement constatés.

CONCLUSION

Bien que plusieurs municipalités aient élaboré des politiques de protection et de conservation des milieux naturels de leur territoire, les sels de voirie ne figurent que très rarement sur la liste des contaminants considérés. Pourtant, il a été démontré que ses effets sur l'environnement et les infrastructures routières sont considérables, principalement dans les zones vulnérables aux sels de voirie. L'expansion du réseau routier combiné à l'imperméabilisation généralisée du sol et à la charge croissante de contaminants génèrent un important volume d'eau susceptible de causer de sérieux préjudices à l'environnement, aux biens matériels et à la qualité de vie des citoyens. Peu à peu, les gestionnaires du territoire de même que les citoyens envisagent de changer leurs habitudes de vie pour soutenir un développement durable. Face à la problématique des sels de voirie qui s'additionne à celles des matières en suspension, des cyanobactéries ou encore des inondations, la question à se poser est quand ce développement s'arrêtera-t-il? En effet, le Québec n'a plus le choix et devra modifier son approche face au développement urbain.

Aujourd'hui, les sels de voirie représentent plus que jamais un sujet de recherche populaire proposant de nouvelles technologies et de nouveaux produits alternatifs dans le but de réduire leurs impacts sur l'environnement et les infrastructures. Malgré tout, lorsque l'utilisation des sels de voirie est incontournable, l'intégration des meilleures pratiques développées par l'ATC il y a plusieurs années demeure la meilleure option pour les gestionnaires du réseau routier. En effet, l'utilisation de la bonne quantité, au bon moment et au bon endroit demeure la vision durable de la gestion des sels de voirie.

Le présent essai a permis d'analyser l'efficacité et la faisabilité de plusieurs méthodes d'optimisation ou de remplacement des sels de voirie selon des critères propres au développement durable. En ce sens, il a été constaté que tous les produits alternatifs, sans exception, présentent des impacts négatifs pouvant même aller jusqu'à accroître les impacts sur l'environnement. Par conséquent, le choix de la méthode d'atténuation des impacts doit être propre à chaque zone vulnérable. De plus, contrairement à ses concurrents, les impacts du chlorure de sodium (NaCl) sont très bien connus et documentés, c'est pourquoi il est généralement préférable de limiter son utilisation en fonction du niveau de service recherché et d'envisager des stratégies d'intervention telles

que la préhumidification et l'antigivrage permettant de réduire davantage les quantités épandues. Par ailleurs, la gestion durable des eaux de pluie s'intègre très bien dans un contexte de développement durable d'une municipalité. Si considérée dès la phase de conception, cette option pourrait permettre de protéger l'environnement et les infrastructures routières tout en réduisant les coûts de construction et d'exploitation d'un projet. Enfin, nulle méthode ne peut réduire l'impact des sels de voirie autant que celle qui fait fi de son utilisation, soit les routes blanches ou les quartiers blancs. Donnant l'impression d'un retour dans le temps, cette formule représente l'avenir de l'entretien hivernal des routes régionales, locales et collectrices.

Au Québec, bien que l'entretien du réseau routier en période hivernale relève principalement du MTQ et des municipalités locales, l'étude du contexte légal et réglementaire a démontré que de nombreux acteurs y ont un rôle et des responsabilités non négligeables. C'est pourquoi il est essentiel d'emprunter une approche concertée faisant appel aux divers paliers gouvernementaux, aux OBV, mais aussi aux organismes à but non lucratif et aux citoyens. Combiné à un programme d'aide financière pour les MRC ou les OBV, cette approche pourrait marquer le début d'une démarche de gestion des zones vulnérables aux sels de voirie, basée sur l'amélioration continue.

L'analyse des méthodes actuelles de gestion des sels de voirie a permis de développer un outil adapté au contexte municipal. D'un côté, la démarche présentée au chapitre 4 fournit aux gestionnaires des outils d'aide à la décision simples favorisant le développement durable de la société québécoise. D'un autre côté, les différentes méthodes de protection des zones vulnérables analysées au chapitre 3 forment une liste diversifiée d'alternatives applicables à une ou à plusieurs problématiques liées aux sels de voirie. Enfin, tous ces éléments pourraient faire l'objet d'un guide d'accompagnement pour un projet de gestion environnementale des zones vulnérables, à l'échelle d'un bassin versant.

Enfin, d'autres pistes d'amélioration de la gestion environnementale des sels de voirie sont à explorer. Le développement et le partage des connaissances au niveau des ressources naturelles du Québec, l'élaboration d'une réglementation plus sévère en matière d'environnement et la mise en œuvre de campagnes d'information et de sensibilisation auprès des citoyens en sont de bons exemples.

RÉFÉRENCES

- Asplund, R. T. (2000). The effects of motorized watercraft on aquatic ecosystems. In Wisconsin Department of Natural Resources. *Division of water*, [En ligne]. <http://dnr.wi.gov/org/water/fhp/papers/lakes.pdf> (Page consultée le 21 avril 2011).
- Association des Transports du Canada (ATC) (2003a). Synthèses des meilleures pratiques de gestion des sels de voirie. In ATC. *Association des Transport du Canada*. [En ligne]. <http://www.tac-atc.ca/francais/centredesressources/syntheses.cfm> (Page consultée le 21 février 2011).
- Association des Transports du Canada (ATC) (2003b). *Projet pilote portant sur les lois et règlements relatifs à l'environnement*. Ottawa, Association des Transports du Canada, 35 p.
- Association des Transports du Canada (ATC) (1999). Guide de gestion des sels de voirie. In ATC. *Association des Transport du Canada*. [En ligne]. <https://vws3.primus.ca/dev.tac-atc.ca/francais/librairie/produits.cfm?catid=18&subcatid=29&subcat=0#salt-f> (Page consultée le 21 février 2011).
- Banque du Canada (2011). Feuille de calcul de l'inflation. In Banque du Canada. *Taux et statistiques*, [En ligne]. http://www.bank-banque-canada.ca/fr/taux/inflation_calc-f.html (Page consultée le 6 mars 2011).
- Bédard, R. (2011). Discussion au sujet de l'acétate de calcium-magnesium (CMA). Communication orale. *Bilan de fin de saison de l'expérimentation Nitrous*, 24 mars 2011, Centre de service de Richmond, Richmond.
- Bédard, Y., Lafrance, M., Lavoie, C., Brisson, J, Debois, S. et Belzile, F. (2008). L'invasion du réseau autoutier du Québec par le roseau commun (*Phragmites Australis*). In ATC. *Association des Transport du Canada*. [En ligne]. <http://www.tac-atc.ca/english/resourcecentre/readingroom/conference/conf2008/docs/a3/Bedard.pdf> (Page consultée le 21 avril 2011).
- Berger, Y. (2010). *Étude sur les nouveaux modes de gestion en entretien hivernal*. Québec, ministère des Transports du Québec, 40 p
- Boucher, I. (2010). *La gestion durable des eaux de pluie, Guide de bonnes pratiques sur la planification territoriale et le développement durable*. Québec, ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire, coll. « Planification territoriale et développement durable », 118 p.
- Brenner, M.V., et Horner, R.R. (1992). Effects of calcium magnesium acetate (CMA) on dissolved oxygen in natural waters, *Conservation and Recycling*, n° 7, p. 239-365.
- Burelle, S. (2011). Discussion au sujet de la gestion des sels de voirie par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). Communication orale. *Entrevue téléphonique menée par Jean-Philippe Robitaille avec Suzanne*

Burelle, ingénieure à la direction des matières résiduelles et des lieux contaminés au MDDEP, 20 avril 2011, Québec.

Burkett, A. et Gurr, N. (2004). Icy Road Management with Calcium Magnesium Acetate to Meet Environmental and Customer Expectations in New Zealand. *Transportation Research Board*, Transportation Research Circular E-C063: Snow Removal and Ice Technology, p. 267-276.

Cain, N.P. (2004). *Analyse d'un programme hybride de déglacage – Alternative pratique au déglacage utilisant le chlorure de sodium*. Ontario, Végétation Cain inc., 23 p.

Cain, N.P., Hale, B., Berkelaar, E. et Morin, D. (2001). *Critical review of effects of NaCl and other road salts on terrestrial vegetation in Canada*. Rapport présenté au Groupe-ressource environnemental d'Environnement Canada chargé d'évaluer les sels de voirie inscrits sur la Liste des substances d'intérêt prioritaire de la LCPE, juillet 2001, Direction des substances existantes, Hull (Québec), Environnement Canada.

Centers for Disease Control and Prevention (2009). Americans consume too much salt. *In* CDC. *Centers for Disease Control and Prevention Press Release*, [En ligne]. <http://www.cdc.gov/media/pressrel/2009/r090326.htm> (Page consultée le 6 mars 2011).

Charbonneau, P. (2006). Sels de voirie: une utilisation nécessaire, mais lourde de conséquences. *Le naturaliste canadien*, vol. 130 n° 1, p. 75-81.

Code de la sécurité routière, L.R.Q., c. C-24.2

Colorado Department of Transportation (2001). Evaluation and Comparison of Three Chemical Deicers for Use in Colorado. Colorado, Colorado Department of Transportation Research Branch, 36 p.

Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) (2010). Bilan et évaluation des ressources canadiennes en eau souterraine, de leur gestion et des mécanismes et priorités de recherche. *In* CCME. *Conseil canadien des ministres de l'environnement. Publications*, [En ligne]. http://www.ccme.ca/assets/pdf/gw_phase1_smry_fr_1.1.pdf (Page consultée le 29 mars 2011).

Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) (s. d.). Chlorure. *In* CCME. *Conseil canadien des ministres de l'environnement. Tableau sommaire des recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*, [En ligne]. <http://st-ts.ccme.ca/?lang=fr&factsheet=28> (Page consultée le 04 mai 2011).

Conseil de bassin du lac Saint-Augustin (CBLSA) (2010). Gestion des eaux autoroutières. *In* CBLSA. *Eaux de ruissellement*, [En ligne]. <http://www.lacsaintaugustin.com/fr/protection/eaux-de-ruissellement/gestion-des-eaux-autoroutieres/> (Page consultée le 17 avril 2011).

Delisle, R. (2011). Effets des sels de voirie au lac à la Truite. Communication orale. *Entrevue menée par Jean-Philippe Robitaille avec Robert Delisle, biologiste à la*

Direction de l'environnement et de la recherche au ministère des Transports du Québec (MTQ), 17 février 2011, bureau de Robert Delisle, Québec.

- Dubé, M. (2010). Interaction des produits déglaçants et abrasifs & nouvelles technologies. Communication orale. *Présentation réalisée par l'entreprise Form-Éval dans le cadre de la Conférence neige 2010 de l'Association des travaux publics d'Amérique*, Québec.
- Dubois, J.F. (2011). Discussion au sujet de la méthode d'antigivrage. Communication orale. *Bilan de fin de saison de l'expérimentation Nitrous*, 24 mars 2011, Centre de service de Richmond, Richmond.
- Duchesne, J.F. (2011). Concentrations maximales de chlorure et de sodium. Communication orale. *Entrevue téléphonique menée par Jean-Philippe Robitaille avec Jean-François Duchesne, conseiller en santé et environnement pour la Direction régionale de santé publique de la Capitale Nationale*, 26 avril 2011, Québec.
- Dussault, C., Poulin, M., Ouellet, J.-P., Courtois, R., Laurian, M., Leblond, M., Fortin, J., Breton, L. et Jolicoeur, H. (2005) Existe-t-il des solutions à la problématique des accidents routiers impliquant la grande faune? *Le naturaliste canadien*, vol. 129 n° 1, p. 57-62.
- Environnement Canada (sous-pressé). Five year Review of Progress: code of practice for the environmental management of road salts. Ottawa, Environnement Canada, 69 p.
- Environnement Canada (2009). Réserve d'eau dans le monde. *In Environnement Canada. De l'eau – ici, là bas, partout de l'eau*, [En ligne]. <http://www.ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=Fr&n=C3BCB399-1> (Page consultée le 6 mars 2011).
- Environnement Canada (2006). Liste des initiatives, directives et programmes relatifs aux sels de voirie. *In Environnement Canada. Les sels de voirie. Réduire l'effet des sels de voirie sur l'environnement, sans affecter la sécurité routière*, [En ligne]. <http://www.ec.gc.ca/nopp/roadsalt/reports/fr/list.cfm1> (Page consultée le 3 avril 2011).
- Environnement Canada (2004a). *Code de pratique pour une gestion environnementale des sels de voirie*. Ottawa, Environnement Canada, 18 p.
- Environnement Canada (2004b). *Guide de mise en œuvre pour le code de pratique pour la gestion environnementale des sels de voirie*. Ottawa, Environnement Canada, 41 p.
- Environnement Canada (2004c). Étude de cas n°3 - Réduction d'accidents sur la bretelle reliant l'autoroute 401 et l'autoroute 416 en utilisant la technologie d'arrosage automatique fixe (FAST). *In Environnement Canada. Les sels de voirie. Réduire l'effet des sels de voirie sur l'environnement, sans affecter la sécurité routière*, [En ligne]. <http://www.ec.gc.ca/nopp/roadsalt/cStudies/fr/fast.cfm> (Page consultée le 18 avril 2011).

- Environnement Canada (2004d). *Meilleures pratiques de gestion des sels de voirie dans l'entretien des routes privées, des stationnements et des trottoirs*. Ottawa, Environnement Canada, 21 p.
- Environnement Canada et Santé Canada (2001). *Rapport d'évaluation de la liste des substances d'intérêt prioritaires - Sels de voirie*. Ottawa, Environnement Canada, 188 p.
- F. Keranen, P. (s. d.). *Dégivreurs de ponts automatiques pour une sécurité accrue et une diminution de l'utilisation du sel dans le Minnesota*. Minnesota, ministère des Transports du Minnesota, p. 505-517.
- Faith-Ell, C., Balfors, B. Et Folkeson, L. (2005). The application of environmental requirements in Swedish road maintenance contracts. *Journal of cleaner production* 14 (2006), p. 163-171.
- Faucher, M. (2011). Les différents types de lames utilisées pour le déneigement. Communication orale. *Entrevue menée par Jean-Philippe Robitaille avec Michel Faucher, coordonnateur des travaux publics à la Ville de Lévis*, 31 mars 2011, Salle Québec, Direction territoriale de la Capitale-Nationale (MTQ), Québec.
- Federal interagency stream restoration working group (1998). Stream corridor restoration: Principles, Processes, and Practices, *In* Natural Resource Conservation Service. *United States Department of Agriculture*. [En ligne]. http://www.nrcs.usda.gov/technical/stream_restoration/ (Page consultée le 17 avril 2011).
- Fitch, G.M., Oyanedel-Craver, V., Bartelt-Hunt, S.L., Fuller, M. Et Smith, J.A. (2009). Salt-water recycling for brine production at road-salt-storage facilities. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. vol. 28, n° 4, p. 565-575.
- Francoeur, L.-G. (2010). Le Canada incapable de gérer son eau. *Le Devoir*, 18 juin 2010, p. A10.
- Girard, J.-F. (2010). *La protection des milieux naturels par les municipalités: pouvoirs et arguments*. Sherbrooke, Université de Sherbrooke, Campus Sherbrooke, présentation dans le cadre du cours ENV 792 Valeur des écosystèmes et leur gestion, 12 novembre 2010.
- Gouvernement de la France. Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durable (MEDAD) (2007). *Chroniques routières - L'âge du pétrole*. France, ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durable, 274 p.
- Gouvernement du Québec (s. d.). Guide de gestion des eaux pluviales. *In* MDDEP. *Eaux usées*, [En ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/pluviales/guide.htm> (Page consultée le 17 avril 2011).
- Gouvernement du Québec (2010a). Stratégie québécoise pour une gestion environnementale des sels de voirie. *In* Gouvernement du Québec. *Choisissons la bonne voie – Gestion environnementale des sels de voirie*, [En ligne].

http://www.selsdevoirie.gouv.qc.ca/portal/page/portal/Librairie%20SV/publications/strat_gc_gestion_env_sels_voirie.pdf (Page consultée le 22 février 2011).

Gouvernement du Québec (2010b). Guide d'élaboration d'un plan de gestion environnementale des sels de voirie. In Gouvernement du Québec. *Étape 2 - Planification*, [En ligne].
http://www.selsdevoirie.gouv.qc.ca/portal/page/portal/Librairie%20SV/publications/sels_voirie_guide_elab_gestion.pdf (Page consultée le 22 février 2011).

Hamel, S. (2011). *Teneur en phosphore pour le chlorure de magnésium (DGLace100) et pour le jus de betterave*. Courrier électronique à Robert Delisle, adresse destinataire : Robert.Delisle@mtq.gouv.qc.ca

Hydro-Québec (1990). *Méthode d'évaluation environnementale lignes et postes - 1. Démarche d'évaluation environnementale, 2. Techniques et outils*. Montréal, Hydro-Québec, 321 p.

Johnson, J.T. (2002). Corrosion Costs of Motor Vehicles. In Technology Center Materials, Corrosion, Integrity. *Cost of Corrosion*, [En ligne].
<http://www.corrosioncost.com/transportation/motorvehicles/index.htm> (Page consultée le 14 mars 2011).

Jones, P.H., Jeffrey, B.A., Walter, P.K., et Hutchon, H. (1986). *Environmental impact of road salting – State of the art*. Ontario, ministère des Transports et des Communications, 53 p.

LeComte, F. (2009). Loi sur la qualité de l'environnement (L.R.Q., c. Q-2). Articles 1 à 31. Sherbrooke, Université de Sherbrooke, Campus Sherbrooke, présentation dans le cadre du cours ENV 762 Droit de l'environnement, automne 2009.

Loi sur les compétences municipales, L.R.Q., c. C-47.1

Loi sur la voirie, L.R.Q., c. V-9

Loi canadienne sur la protection de l'environnement, L.C., c. 33

Loi sur les espèces en péril, L.C. 2002, c. 29

Loi sur les pêches, SR, c. F-14

Loi sur la convention concernant les oiseaux migrateurs, L.C. 1994, c. 22

Loi sur le développement durable, L.R.Q., c. D-8.1.1

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

Loi sur le ministère des Ressources naturelles et de la Faune, L.R.Q., c. M-25.2

Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune, L.R.Q., c. C-61.1

Loi sur les espèces menacées ou vulnérables, L.R.Q., c. E-12.01

Loi sur l'aménagement et l'urbanisme, L.R.Q., c. A-19.1

Marsalek, J. (2003). Road salts in urban stormwater : an emerging issue in stormwater management in cold climates. *Water Science and Technologie*. vol. 48, n° 9, p. 61-70.

Mathieu, C. (1979). *Les effets du sel de déglacage sur la végétation arborescente et arbustive vivant en bordure du réseau routier principal du Québec occidental et central*. Québec, Université du Québec, 238 p.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) (2010). Guide relatif à l'aménagement et à l'exploitation d'un centre d'entreposage et de manutention des sels de voirie. In MDDEP. *Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. Les matières résiduelles. Neiges usées*, [En ligne]. http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/neiges_usees/guide-entreposage-selsvoirie.pdf (Page consultée le 8 avril 2011).

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) (2009). Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection. In MDDEP. *Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. Loi québécoise de l'eau*, [En ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/protection/index.htm> (Page consultée le 8 mars 2011).

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) (2008). Guide d'élaboration d'un plan de conservation des milieux humides. In MDDEP. *Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. Eau*, [En ligne]. http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/rives/Guide_plan.pdf (Page consultée le 08 mai 2011).

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) (2004). Gestion intégrée de l'eau par bassin versant. In MDDEP. *Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. Bassins versants*, [En ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/concepts.pdf> (Page consultée le 04 mai 2011).

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) (2002a). Politique nationale de l'eau. In MDDEP. *Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. La gestion intégrée de l'eau par bassin versant*, [En ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/index.htm> (Page consultée le 5 avril 2011).

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) (2002b). Guide d'aménagement des lieux d'élimination de neige et mise en oeuvre du Règlement sur les lieux d'élimination de neige. In MDDEP. *Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. Neiges usées*, [En ligne]. http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/neiges_usees/guide.htm (Page consultée le 11 avril 2011).

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) (2003). Portrait du territoire. In MRNF. *Ministère des Ressources naturelles et de la Faune. Le territoire*, [En

- ligne]. <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/territoire/portrait/index.jsp> (Page consultée le 04 mai 2011).
- Ministère des Transports de l'Ontario (MTO) (2010). Gestion du sel de voirie. *In* MTO. *Ministère des Transports de l'Ontario. Gestion routière*, [En ligne]. <http://www.mto.gov.on.ca/french/engineering/roadsalt.shtml> (Page consultée le 19 avril 2011).
- Ministère des Transports de l'Ontario (MTO) (2001). Antigivrage sur les structures à l'aide de la technologie d'arrosage automatique fixe (FAST). *In* MTO. *Ministère des Transports de l'Ontario. Gestion routière*, [En ligne]. http://www.mto.gov.on.ca/french/engineering/anti_ice/anti_ice.shtml (Page consultée le 18 avril 2011).
- Ministère des Transports de l'Ontario (MTO). Research and Development Branch (1991). *Highway De-Icers : Standards, Practice and Research in the Province of Ontario*, Ontario, ministère des Transports de l'Ontario, MAT-91-13, novembre 1991.
- Ministère des Transports du Québec (MTQ) (sous-presse). *Plan ministériel de gestion environnementale des sels de voirie 2011-2014 – Plan d'action 2011-2012*. Québec, ministère des Transports du Québec, 13 p.
- Ministère des Transports du Québec (MTQ) (2011). Plan ministériel de gestion environnementale des sels de voirie 2008-2011 – Bilan – Plan d'action 2009-2010. *In* MTQ, *Environnement*, [En ligne]. <http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/ministere/ministere/environnement> (Page consultée le 8 mars 2011).
- Ministère des Transports du Québec (MTQ) (2010). La gestion environnementale des sels de voirie – État de situation partiel. *In* MTQ. *Environnement*, [En ligne]. <http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/ministere/ministere/environnement> (Page consultée le 12 avril 2011).
- Ministère des Transports du Québec (MTQ) (2009a). *Stratégie de développement durable 2009-2013*. Québec, ministère des Transports du Québec, 76 p.
- Ministère des Transports du Québec (MTQ) (2009b). *Recueil d'information de gestion*. Québec, ministère des Transports du Québec, 61 p.
- Ministère des Transports du Québec (MTQ). Direction de l'Est de la Montérégie (2008). *Étude de l'impact des embruns salins sur les caractéristiques chimiques du sol situé à proximité d'une autoroute*. Québec, ministère des Transports du Québec, 28 p.
- Ministère des Transports du Québec (MTQ) (2006a). Le XII^e Congrès international de la viabilité hivernale de l'Association mondiale de la route (AIPCR). *Bulletin Innovation Transport*, n° 28, octobre 2006, 50 p.
- Ministère des Transport du Québec (MTQ). Direction du soutien à l'exploitation des infrastructures (2006b). Développement d'outils STI au MTQ pour l'entretien hivernal *In* Association québécoise du transport et des routes (AQTR). *Au cœur des transports*, [En ligne].

http://www.aqtr.gc.ca/documents/10_AllocutionsConferences/15_sept_SteveArsenault.pdf (Page consultée le 12 avril 2011).

Ministère des Transports du Québec (MTQ). Direction générale de Québec et de l'Est (1999). *Autoroute 40 – Cap-de-la-Madeleine : Étude de la contamination de la nappe aquifère par les sels déglaçants*. Québec, ministère des Transports du Québec, 91 p.

Ministère des Transports du Québec (MTQ). Direction des affaires juridiques (1995). *Fourniture de l'entrepôt de sel par l'entrepreneur*. Lettre à Monsieur Dominique Dubuc, adresse destinataire : 730, boulevard Charest Est, 5^e étage, Québec (Québec), G1K 3J7.

Morin, D. et Perchanok, M. (2000). *Road salt loadings in Canada*. Document complémentaire pour l'évaluation des sels de voirie inscrits sur la LSIP. Rapport présenté au Groupe-ressource environnemental d'Environnement Canada chargé d'évaluer les sels de voirie inscrits sur la Liste des substances d'intérêt prioritaire de la LCPE, mai 2000, Direction de l'évaluation des produits chimiques commerciaux, Hull (Québec), Environnement Canada, 85 p.

Morteau, B., Galvez-Cloutier, R. et Leroueil, S. (2006). *Développement d'une chaîne de traitement pour l'atténuation des contaminants provenant des produits d'entretien de l'autoroute Félix-Leclerc : lit filtrant et marais épurateur adapté*. Rapport technique 03605'2_06 présenté au ministère des Transports de Québec, 45 p.

Munck, I.A. (2010). Long-term impact of de-icing salts on tree health in the Lake Tahoe Basin: Environmental influences and interactions with insects and diseases. *Forest Ecology and Management*, July 2010, p. 1218-1229.

National Research Council (1991). *Highway deicing: comparing salt and calcium magnesium acetate*. Washington, Transportation Research Board Special, Report 235, 165 p.

New Hampshire Department of Transportation (NHDOT) (2006). Chloride surface water quality study. In NHDOT. *Environmental, water quality study*, [En ligne]. http://www.rebuilding93.com/documents/environmental/TMDL_Fact_Sheet_112206.pdf (Page consultée le 21 avril 2011).

Office de la coordination environnementale et de l'énergie (OCEE) (2008). La boussole bernoise du développement durable. Guide. In Canton de Berne. *Direction des travaux publics, des transports et de l'énergie*, [En ligne]. http://www.bve.be.ch/bve/fr/index/direktion/ueber-die-direktion/dossiers/nachhaltige_entwicklungne/nachhaltigkeitsbeurteilung/ne_berner_kompass.assetref/content/dam/documents/BVE/AUE/fr/aeue_ne_nhbc_excel_ne_kompass_leitfaden_f.PDF (Page consultée le 25 avril 2011).

Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE) (1989). *Réduction de l'utilisation des fondants dans l'entretien hivernal*. Paris, OCDE, Recherche en matière de routes et de transports routiers, 131 p.

- Prince, M. (2010). *La gestion des eaux de ruissellement en milieu urbain*. Sherbrooke, Université de Sherbrooke, Campus Sherbrooke, présentation dans le cadre du cours ENV 757 Gestion de l'eau, 23 mars 2010.
- Programme stratégique de recherche routière du Canada (C-SHRP) (2000). In Programme stratégique de recherche routière du Canada. *Publications*, [En ligne]. <http://www.cshrp.org/products/brief-20f.pdf> (Page consultée le 12 avril 2011).
- Région de Waterloo (2008). *The Unsavoury Sting of Salt. Be Good To Your Water Fact Sheet*. Ontario, Region of Waterloo, 2 p.
- Région de Waterloo (s. d.). Smart about salt. In Region of Waterloo. *Smart about salt*, [En ligne]. <http://www.region.waterloo.on.ca/web/region.nsf/97dfc347666efede85256e590071a3d4/e74acd6b51af98e1852577ae00615f41!OpenDocument> (Page consultée le 8 mars 2011).
- Règlement sur les habitats fauniques*, L.R.Q., c. C-61.1, r. 18
- Règlement sur les lieux d'élimination de neige*, L.R.Q., c. Q-2, r-15.1
- Règlement sur l'utilisation de pneus conçus spécifiquement pour la conduite hivernale*, L.R.Q., c. C-24.2
- Règlement sur le captage des eaux souterraines*, L.R.Q., c. Q-2, r.1.3
- Règlement sur les normes de charges et de dimensions*, L.R.Q., c. C-24.2, r. 1.02
- RiverSides Stewardship Alliance et Sierra Legal Defense Fund (2006). A low-salt diet for Ontario's roads and rivers. Toronto, RiverSides Stewardship Alliance et Sierra Legal Defense Fund, 40 p.
- Salt Institute (2004). *Highway Salt And Our Environment*, Virginia, Salt Institute, 27 p.
- Santé Canada (2009). Santé de l'environnement et du milieu de travail – Le sodium. In Santé Canada. *Santé Canada*, [En ligne]. <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semb/pubs/water-eau/sodium/index-fra.php#Effets> (Page consultée le 6 mars 2011).
- Scott, W.S. et Wylie, N.O. (1980). The environmental effects of snow dumping : A literature review. *Journal of Environmental Management*, Vol. 10, p. 219-240.
- Shi, X. (2009). Evaluation of alternative anti-icing and deicing compounds using sodium chloride and magnesium chloride as baseline deicers – Phase 1, Colorado, Colorado department of transportation – DTD applied research and innovation branch, 270 p.
- Shi, X. (2005). *The Use of Road Salts for Highway Winter Maintenance : An Asset Management Perspective*, Montana, Western Transportation Institute, 8 p.
- Soucy, D. (2011). Contamination des puits d'eau potable au Québec. Communication orale. *Entrevue téléphonique menée par Jean-Philippe Robitaille avec Daniel Soucy, ingénieur la Direction du laboratoire des chaussées au ministère des Transports du Québec (MTQ)*, 21 avril 2011, Québec.

- Stone, M., Emelko, M.B., Marsalek, J., Price, J.S., Rudolph, D.L., Saini, H. et Tighe, S.L. (2010) Assessing the efficacy of current road salt management programs. *In* Université de Waterloo. *University of Waterloo*, [En ligne]. <http://environment.uwaterloo.ca/geography/faculty/mstone/RoadSaltFinalReport20Aug272010.pdf> (Page consultée le 17 mars 2011).
- Stop Gliss Bio (s. d.). *Stop Gliss Bio*, [En ligne]. <http://www.stopglissbio.com/accueil.htm> (Page consultée le 13 mai 2011).
- St-Pierre, G. (2011). Une alternative efficace et écologique au sel de voirie. *Le Droit*, 6 février, p. 11.
- Suzuki, S., Kubo, R. et Yoshie S. (s. d.). *Considérations environnementales concernant l'application d'agents chimiques anti-verglas*. Japan, Japan Highway Public Corporation, 8 p.
- Thiébaut, T. (29 avril 2011). *Antidérapant hivernal 100 % écologique Stop Gliss Bio*. Courrier électronique à Robert Delisle, adresse destinataire : Robert.Delisle@mtq.gouv.qc.ca
- Transportation Research Board (TRB) (2007). Guidelines for the Selection of Snow and Ice Control Materials to Mitigate Environmental Impacts - NCHRP report 577. *In* Transportation Research Board. *Transportation Research Board. Blurbs*, [En ligne]. http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_577.pdf (Page consultée le 21 mars 2011).
- Tremblay, C. (2009). Les Quartiers blancs un plus pour l'environnement – Ville de Saguenay. *In* ATC. *Association des Transport du Canada*. [En ligne]. <http://www.aqtr.qc.ca/documents/Activites/CarolTremblay.pdf> (Page consultée le 17 avril 2011).
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (2010). *Source water protection practices bulletin - Managing highway deicing to prevent contamination of drinking water*. Washington, United States Environmental Protection Agency, 9 p.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (2007). *Reducing stormwater costs through low impact development (LID) strategies and practices*. Washington, United States Environmental Protection Agency, 30 p.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (1999). *Minimizing Effects from Highway Deicing*. Washington, United States Environmental Protection Agency, 8 p.
- U.S. Geological Survey (USGS) et Agence de l'Eau Artois-Picardie (2011). Le cycle de l'eau. *In* USGS. *Georgia Water Science Center*, [En ligne]. <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclefrench.html> (Page consultée le 28 mars 2011)
- Vermette, Y. (2009). La viabilité hivernale et le développement durable – Ville de Sherbrooke. *In* ATC. *Association des Transport du Canada*. [En ligne]. <http://www.aqtr.qc.ca/documents/Activites/YVermette.pdf> (Page consultée le 17 avril 2011).

- Ville de Sherbrooke (2010). Un entretien routier hivernal plus durable. In Ville de Sherbrooke. Service de l'entretien et de *la voirie*, [En ligne]. http://www.ville.sherbrooke.qc.ca/webconcepteur/web/VilledeSherbrooke/fr/services/entretienvoirie/service.prt?svcid=VS_PAGE_GENERIQUE_CATEGORIES32&iddoc=127902&page=details.jsp (Page consultée le 21 mars 2011).
- Vitaliano, D. (1992). Economic Assessment of the Social Costs of Highway Salting and the Efficiency of Substituting a New Deicing Material. *Journal of Policy Analysis and Management*, Vol. 11, n° 3, p. 397-418.
- Walker, D. (2005). The truth about sand and salt for winter maintenance, *Salt and highway deicing*. Vol. 42, n° 2, pages 1-4.
- Wegner, W. et Yaggi, M. (2001). Environmental impacts of road salt and alternatives in the New York City watershed. *Stormwater*, July/August, p. 24-31.

BIBLIOGRAPHIE

- Bridgman, J., Allen, D. et Beach, H. (2005). *Spatial model of areas vulnerable to road salt application*, Cap Breton Highlands National Park, Parcs Canada, 25 p.
- Couillard, L. et Grondin, P. (1992). La végétation des milieux humides du Québec. Québec, Les Publications du Québec, 400 p.
- Environnement Canada (2006). Activités d'entretien routier hivernal et usage du sel de voirie au Canada : Abrégé des indicateurs de coûts et avantages. In Environnement Canada. *Les sels de voirie. Réduire l'effet des sels de voirie sur l'environnement, sans affecter la sécurité routière*, [En ligne]. <http://www.ec.gc.ca/nopp/roadsalt/reports/fr/winter.cfm> (Page consultée le 21 avril 2011).
- Jacques Whitford Environment Limited (2004). *Projet n° NSD18412 - Salt vulnerability study*, Nouvelle-Écosse, Département des transports et des travaux publiques, 18 p.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) (2002). Critères de qualité de l'eau de surface au Québec. Sodium. In MDDEP. *Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. Eau de surface - Protection*, [En ligne]. http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/details.asp?code=S0418 (Page consultée le 6 mars 2011).
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) (2002). Critères de qualité de l'eau de surface au Québec. Chlorure. In MDDEP. *Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. Eau de surface - Protection*, [En ligne]. http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/details.asp?code=S0118 (Page consultée le 6 mars 2011).
- Ministère de l'Environnement de l'Ontario (2006). Technical Support Document for Ontario Drinking Water Standards, Objectives and Guidelines. In Ministère de l'Environnement de l'Ontario. *Ontario Ministry of the Environment*, [En ligne]. http://www.ene.gov.on.ca/stdprodconsume/groups/lr/@ene/@resources/documents/resource/std01_079707.pdf (Page consultée le 6 mars 2011).
- Morin, D., Snodgrass, W., Brown, J. et Arp., P.A. (2000). *Impacts evaluation of road salt loadings on soils and surface waters*. Documentation complémentaire pour l'évaluation des sels de voirie inscrits sur la LSIP. Rapport présenté au Groupe-ressource environnemental d'Environnement Canada chargé d'évaluer les sels de voirie inscrits sur la Liste des substances d'intérêt prioritaire de la LCPE, juin 2000, Direction de l'évaluation des produits chimiques commerciaux, Hull (Québec), Environnement Canada, 76 p.
- Pollock, S.J. (1992). Remediating highway deicing salt contamination of public and private water supplies in Massachusetts. *Resources, Conservation and Recycling*, n° 7, p. 7-24.

Règlement sur les espèces fauniques menacées ou vulnérables et leurs habitats, L.R.Q.,
c. E-12.01, r.0.2.3.

Règlement sur les espèces floristiques menacées ou vulnérables et leurs habitats, L.R.Q.,
c. E-12.01, r. 0.4.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (2008). Les processus naturels caractérisant les grands lacs. *In* U.S. Environmental protection agency. *Great Lakes*. [En ligne]. <http://www.epa.gov/glnpo/atlas/glat-chap2-f.html#Ruissellement%20de%20surface> (Page consultée le 8 mars 2011).

ANNEXE 1

**CONSEILS POUR L'IDENTIFICATION DES ZONES VULNÉRABLES AUX SELS DE
VOIRIE**

(Texte intégral, provenant d'Environnement Canada, 2004a, annexe b)

Lors de l'identification des zones vulnérables, les organisations devraient examiner :

1. les zones qui se drainent dans des plans d'eau, tels que :

- a) les lacs et les étangs caractérisés par une faible capacité de dilution et un long temps de séjour des substances introduites;
- b) les cours d'eau qui subissent les effets cumulés de réseaux routiers denses;
- c) les milieux humides d'importance provinciale bordant les routes,

où l'introduction de sels de voirie pourrait fortement augmenter la concentration de chlorure dans l'eau, au point de présenter des risques de dommages graves ou irréversibles à l'environnement;

2. les zones qui se drainent dans de petits lacs de profondeur moyenne où l'introduction de sels de voirie pourrait créer des strates de salinité différente de l'eau et ainsi nuire au mélange vertical normal de l'eau (conditions méromictiques);

3. les zones où l'introduction de sels de voirie pourrait augmenter la concentration de chlorure après mélange à des niveaux pouvant affecter le poisson ou son habitat;

4. les zones voisines d'une végétation native ou agricole sensible aux sels, où l'introduction de sels de voirie pourrait entraîner une diminution marquée de la floraison et de la fructification des espèces sensibles ainsi que de graves dommages au feuillage, aux pousses et aux racines, ou une réduction de la croissance, de la germination et de l'établissement des jeunes plants due aux fortes concentrations de chlorure et de sodium dans le sol ou à la dispersion de ces substances dans l'air;

5. les zones où l'introduction de sels de voirie pourrait nuire à l'intégrité d'un cycle biologique (par exemple, frayères ou lieux de reproduction, aires d'alevinage ou d'élevage, aires d'alimentation et haltes migratoires d'oiseaux);

6. les zones où l'introduction de sels de voirie pourrait dégrader un habitat nécessaire à la survie ou au rétablissement d'une espèce sauvage dont le nom figure sur la Liste des espèces en péril (annexe 1 de la *Loi sur les espèces en péril*) et considéré comme habitat

essentiel dans la stratégie de rétablissement ou le plan d'action relatif à cette espèce établi en vertu de cette loi;

7. les zones qui se drainent vers des sources d'eau potable (eaux de surface ou eaux souterraines, incluant les puits) où l'introduction de sels de voirie fait augmenter la concentration de chlorure dans l'eau au point de rendre cette eau inutilisable comme source d'eau potable, en tenant dûment compte des concentrations ambiantes de chlorure et des autres sources possibles de chlorure;

8. les zones qui se drainent dans des zones d'alimentation d'une nappe d'eau souterraine, ou avec une nappe exposée ou proche de la surface, dont les sols sont moyennement à fortement perméables (par exemple, sable et gravier moyens à grossiers) et où l'introduction de sels de voirie pourrait fortement augmenter la concentration de chlorure dans les eaux souterraines, au point de présenter des risques de dommages graves ou irréversibles à l'environnement.

ANNEXE 2

LISTE DES ESPÈCES VÉGÉTALES TOLÉRANTES AU SEL

(Texte intégral, provenant de l'ATC, 1999, annexe b)

Tableau Liste des espèces végétales tolérantes au sel

Espèces locales

Arbres feuillus

Maronnier d'Inde
Bouleau jaune
Bouleau à papier
Bouleau gris
Bouleau flexible
Frêne blanc
Frêne noir
Frêne vert
Février épineux
Mélèze laricin
Sapin blanc d'Amérique
Mûrier rouge
Chêne rouge
Chêne blanc
Chêne à gros fruits
Peuplier baumier
Peuplier deltoïde
Peuplier faux-tremble
Peuplier à grandes dents
Saule noir

Lianes et arbustes feuillus

Amélanchier alnifolié
Amélanchier du Canada
Cerisier à grappe
Douce-amère
Aubépine
Millepertuis
Chalef changeant
Hamamélis de Virginie
Cirier de Pennsylvanie
Vigne vierge commune
Bois à sept écorces
Potentille
Cerisier de Pennsylvanie
Cerisier de Virginie
Sumac vinaigrier
Saule décoloré
Sureau
Shépherdie du Canada
Symphorine
Bleuet cultivé
Viorne

Plantes à feuilles persistantes

Pin gris
Épinette blanche
Genévrier

Aesculus glabra
Betula alleghaniensis
Betula papyrifera
Betula populifolia
Betula lenta
Fraxinus americana
Fraxinus nigra
Fraxinus pennsylvanica
Gleditsia triacanthos
Larix laricina
Liriodendron tulipifera
Morus rubra
Quercus rubra
Quercus alba
Quercus macrocarpa
Populus balsamifera
Populus deltoides
Populus tremuloides
Populus grandidentata
Salix nigra

Amelanchier alnifolia
Amelanchier Canadensis
Aronia sp.
Celastrus scandens
Hawthorn sp.
Hypericum kalmianum
Elaeagnus commutate
Hamamelis virginiana
Myrica pennsylvanica
Parthenocissus quinquefolia
Physocarpus opulifolius
Potentilla fruticosa
Prunus pennsylvanica
Prunus virginiana
Rhus typhina
Salix discolor
Sambucus canadensis
Sheperdia canadensis
Symphoricarpos albus
Vaccinium corymbosum
Viburnum dentatum

Pinus banksiana
Picea glauca
Juniperus sp.

Espèces exotiques

Arbres feuillus

Érable de Norvège
Marronnier d'Inde
Ailante glanduleux
Bouleau blanc d'Europe
Noisetier de Turquie
Ginko biloba
Noyer
Peuplier blanc
Peuplier noir
Poirier
Chêne pédonculé
Robinier
Sorbier
Lilas japonais
Orme de Sibérie
Orme blanc
Orme chinois

Lianes et arbustes feuillus

Caragan
Épine-vinette
Cotonéaster
Genêt
Olivier de Bohême
Forsythia
Nerpun
Chèvrefeuille
Syringa
Nerpun commun
Nerpun bourdaine
Groseillier des Alpes
Rosier rugosa rustique
Saule blanc
Sorbaire à feuilles de sorbier
Lilas commun

Plantes à feuilles persistantes

Pin mugo
Pin noir d'Autriche
Épinette du Colorado
Épinette bleue du Colorado

**Acer platanoides*
Aesculus hippocastanum
**Ailanthus altissima*
**Betula pendula*
Corylus colurna
Ginko boloba
Juglans regia
**Populus alba*
Populus nigra ' *Italica* '
Pyrus sp.
Quercus robar
**Robinia pseudoacacia*
Sorbus sp.
Syringa reticulata
Ulmus pumila
Ulmus glabra
Ulmus parvifolia

Caragana arborescens
**Berberis vulgaris*
Cotoneaster sp.
**Cytisus sp.*
**Elaeagnus angustifolia*
Forsythia ovata
Hippophae rhamnoides
**Lonicera sp.*
Philadelphus coronarius
**Rhamnus cathartica*
**Rhamnus frangula*
Ribes alpinum
Rosa rugosa
Salix alba
Sorbaria sorbifolia
Syringa vulgaris

Pinus mugo
Pinus nigra
Picea pungens
Picea pungens ' *glauca* '

* Ces espèces sont considérées comme des plantes exotiques envahissantes et des menaces potentielles pour les plantes locales. Quand c'est possible, il faut utiliser des plantes de remplacement non envahissantes.

ANNEXE 3

**CRITÈRES DE CARACTÉRISATION PROPOSÉS DANS LE GUIDE D'ÉLABORATION
D'UN PLAN DE CONSERVATION DES MILIEUX HUMIDES**

(Texte intégral, provenant de MDDEP, 2008)

Dimension spatiale

Le rôle et les fonctions des milieux humides sont largement influencés par la superficie qu'ils occupent, par leur forme ou par leur position dans le réseau des espaces naturels. Par exemple, un grand marais riverain longeant, sur plusieurs centaines de mètres, le cours d'une rivière ne jouera pas le même rôle qu'un marais situé à l'embouchure d'un lac. De la même manière, à superficies égales, l'effet de bordure lié à la dynamique des écotones influencera différemment la composition d'un marécage selon que son contour est sinueux et oblong ou qu'il est rond. Ainsi, certains critères peuvent aujourd'hui être aisément documentés à l'aide d'une bonne cartographie numérique et des logiciels de géomatique offrant des fonctions d'analyse spatiale. L'organisation spatiale ou la trame des milieux naturels peut être documentée à l'aide des critères suivants :

Superficie

La superficie (en hectares) des principales classes d'occupation des sols (forêt, friche arbustive, friche herbacée, prairie, etc.) et des principales classes de milieu humide (marais, marécage, tourbière, étang, herbier aquatique) doit être considérée. Dans le cas des milieux humides composés, ce critère correspond à la somme de la superficie de chacun des types de milieux humides qui le composent (exemple : un marais de 2 hectares bordé d'un marécage de 3 hectares composent un milieu humide de 5 hectares). En ce qui concerne les mosaïques de milieux humides, c'est la superficie de l'ensemble des milieux humides distants de moins de 30 mètres et couvrant plus de 50 % de la superficie totale qui doit être considérée.

Connectivité à d'autres milieux naturels

La connectivité à d'autres milieux naturels peut être évaluée de plusieurs manières en fonction des analyses spatiales disponibles. La plus connue consiste à évaluer le pourcentage de milieu naturel (%) dans une bande tampon de 30 mètres ou de 100 mètres autour des milieux humides. Elle peut aussi être évaluée de manière qualitative à partir de l'interprétation de photos aériennes.

Forme du milieu humide

La forme influence le fonctionnement et l'intégrité des milieux naturels. Par exemple, un marécage de forme régulière offre un minimum d'habitats de lisière et un maximum d'habitats intérieurs. Plus le rapport lisière/superficie est élevé, plus le marécage peut

subvenir aux besoins des espèces sauvages qui sont adaptées aux conditions des habitats intérieurs (McHattie *et al.*, 2004). Ainsi, à superficies égales, les marécages présentant une forme ronde sont généralement moins touchés par l'effet de bordure que les milieux ayant un périmètre très sinueux ou plus frangé. L'effet de bordure favorise une certaine fragmentation du milieu.

Type de milieu humide

Le type de milieu humide indique le rôle et la composition générale de l'écosystème. Il existe plusieurs typologies plus ou moins détaillées des milieux humides. La détermination des types de milieux est souvent dictée par les sources de données utilisées (voir l'annexe 1 – Tableau de comparaison des classes de milieux humides représentés par diverses sources de données). Nous recommandons que la typologie minimale permette au moins de distinguer les marais, les marécages, les tourbières et les étangs afin de se conformer aux spécifications du document *Fiche d'identification et de délimitation des milieux aquatiques, humides et riverains*.

Caractère exceptionnel

Le caractère exceptionnel fait généralement référence à la présence d'espèces ou d'habitats uniques à l'échelle locale, régionale ou nationale, où l'on trouve des occurrences d'espèces menacées ou vulnérables à la limite de leur aire de répartition. Une tourbière présentant une composition unique de communautés naturelles dans une région donnée pourrait aussi être considérée comme ayant un caractère exceptionnel. Généralement, le caractère exceptionnel des occurrences d'espèces menacées ou vulnérables est suivi et analysé en vertu de la Loi sur les espèces menacées ou vulnérables. Le caractère exceptionnel des milieux naturels peut être documenté à l'aide des critères suivants :

Présence d'espèces menacées ou vulnérables désignées ou susceptibles d'être ainsi désignées (EMV)

La présence d'espèces menacées ou vulnérables, animales ou végétales, accroît la valeur de conservation d'un milieu humide. Les EMV sont aussi généralement de bonnes espèces indicatrices de communautés végétales ayant atteint une certaine maturité. Pour ces raisons, les écosystèmes abritant des occurrences viables d'espèces à statut précaire devraient être conservés. Les milieux humides pourront alors être qualifiés relativement à

la présence-absence d'occurrences d'espèces d'intérêt, mais aussi relativement à la qualité d'occurrence, grâce aux données du Centre de données sur le patrimoine naturel du Québec (CDPNQ) et aux relevés de terrain.

L'inventaire des plantes rares pose un immense défi sur le territoire québécois. Le CDPNQ compile les inventaires des botanistes au fur et à mesure de leur réalisation et des territoires couverts. L'état des connaissances demeure toutefois parcellaire pour les territoires qui n'ont pas encore fait l'objet de recherches par des botanistes expérimentés. Ainsi, il est recommandé de considérer que la présence de ces espèces augmente la valeur écologique d'un milieu, plutôt que d'être la seule variable retenue pour en caractériser le caractère exceptionnel. Bien qu'il s'agisse d'un bon indicateur, la présence d'EMV ne doit pas être la seule variable utilisée.

Unicité de l'habitat faunique ou floristique

L'unicité vise à mettre en évidence les communautés naturelles qui apparaissent les plus rares. Ce critère peut se caractériser par le stade successional ou par l'âge avancé de certains peuplements. Par exemple, alors qu'un peuplement de jeunes peupliers amorçant la colonisation d'un site dégradé est fréquent, une prûcheraie mature l'est beaucoup moins. Elle témoigne d'un haut degré d'adaptation au territoire. Vu les pressions de développement observées sur le territoire, ces communautés sont maintenant considérées comme rares. Elles mériteraient de faire l'objet d'un intérêt particulier.

Rareté relative

Ce critère fait référence au type de milieu humide et à sa présence sur un territoire donné. Un type de milieu humide devenu rare sur un territoire donné devrait faire l'objet d'une priorité de conservation. On devrait tenter de préserver le plus grand nombre de variétés de fonctions offertes par les milieux humides. Ainsi, la dernière tourbière d'un bassin versant joue un rôle extrêmement important, même lorsqu'elle présente un certain état de dégradation. Concernant les territoires qui ont déjà subi de fortes pertes de superficies en milieux humides, la rareté des milieux humides devrait être établie sur une base historique. Ainsi, la proportion des milieux humides à protéger sur ces territoires sera plus élevée que sur des territoires ayant subi moins de pertes.

Critères relatifs à la pérennité et à l'intégrité

Dans la perspective où l'on souhaite désigner des écosystèmes prioritaires pour la conservation, l'état, la fragilité et l'ampleur des pressions sur les écosystèmes naturels constituent des informations essentielles. On cherche notamment à déterminer le degré de détérioration des milieux humides qui pourrait porter atteinte à sa pérennité. Par exemple, il est préférable pour une municipalité de concentrer ses efforts de conservation sur les écosystèmes viables dont la pérennité est assurée, lors que certains milieux qui sont assez dégradés pourraient nécessiter des efforts de restauration. Pour leur part, les milieux de moindre intérêt, qui ont perdu leur intégrité, gagneraient à être mis en valeur comme partie « naturelle » à des projets de développement.

Dans d'autres cas, l'ampleur des pressions de développement à la périphérie de milieux d'intérêt (par exemple un milieu rare comme un marécage à érablière argentée mature, un marais hôte d'une population unique de sagittaire à sépales dressés ou un complexe d'étangs temporaires utilisés comme sites de reproduction par la rainette faux-grillon de l'Ouest, une espèce désignée vulnérable) pourrait justifier une certaine urgence d'agir pour en assurer la conservation. Le plan de conservation permettra alors d'établir les priorités et les moyens de protection adaptés. La fragilité des milieux naturels et l'ampleur des pressions qu'ils subissent peuvent être documentés à l'aide des critères suivants :

Perturbations

Plusieurs types de perturbations peuvent être documentés facilement à partir des cartes existantes ou de l'interprétation de photos aériennes. La densité de sentiers ou de chemins à l'hectare (m/ha) est l'un des critères les plus couramment utilisés. Dans certains cas, les superficies de coupes forestières (%) ou la densité du drainage artificiel (m/ha) peuvent s'avérer de judicieux indicateurs de l'ampleur des perturbations subies par un écosystème.

Occupation des terres hautes adjacentes

Pour qualifier la pression de développement, une municipalité peut procéder de manière qualitative en repérant les projets de développement connus ou en analysant les changements de zonage prévus dans le plan d'urbanisme. Il est possible de procéder à des analyses cartographiques considérant l'inverse de la connectivité aux autres milieux

naturels. Il s'agit alors d'évaluer le pourcentage de milieu cultivé ou développé (%) dans une bande tampon de 30 mètres ou de 100 mètres autour des milieux humides.

La nature de la zone tampon entourant un milieu humide conditionne souvent sa pérennité et joue un rôle important sur la diversité du milieu. Ainsi, on considère qu'un milieu humide situé dans un environnement naturel présente davantage d'intérêt qu'un milieu enclavé en contexte anthropique et ses chances de subsister dans le temps sont plus grandes. Ainsi, la composition de la zone tampon aux alentours du milieu humide conditionne son intégrité et sa pérennité.

Fragmentation

La fragmentation est souvent comparée à tort à la densité du réseau routier qui contribue à des pertes de milieux humides et à l'isolement d'un certain nombre de fragments. Le MDDEP considère plutôt la fragmentation comme la division du milieu naturel en différents fragments, créée par les routes, les chemins et les corridors de transport d'énergie modifiant le fonctionnement biologique et hydrologique du milieu. La fragmentation peut être évaluée en comptant le nombre de fragments issus du milieu humide initial (figure 12). Idéalement, il faut aussi considérer la superficie relative de chacun des fragments.



Figure 12 – L'impact de la fragmentation

Source : Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs

Un milieu présentant un grand nombre de fragments de tailles identiques sera considéré comme plus fortement perturbé qu'un milieu présentant de petits fragments résiduels autour d'un grand fragment au coeur du milieu humide. Ainsi, les critères possibles pour caractériser la fragmentation seraient la proportion résiduelle du milieu humide par rapport à la superficie initiale, le nombre de fragments générés et le pourcentage de la superficie initiale du milieu que représente le plus grand des fragments résiduels.

Espèces exotiques envahissantes

Les espèces exotiques envahissantes¹⁹ comprennent les espèces qui, à cause de l'activité anthropique, se sont propagées au-delà de leur aire de répartition naturelle dans de nouvelles régions. Elles s'immiscent dans de nouveaux habitats et les envahissent, leur population croissant parfois hors de tout contrôle. L'introduction d'espèces exotiques dans un écosystème peut avoir une incidence sur les espèces qui s'y trouvent, sur des habitats importants ou sur l'écosystème lui-même. On s'inquiète lorsque celle-ci entraîne des modifications indésirables au système, soit en réduisant ou en éliminant des populations d'espèces indigènes, soit en modifiant le fonctionnement de l'écosystème, ce qui entraîne une perte de biodiversité. Lorsqu'elles prolifèrent dans un milieu, elles témoignent généralement de perturbations anthropiques, qui sont à l'origine de leur implantation dans un écosystème. Ce critère peut être relevé simplement en indiquant la présence ou l'absence ou, dans des cas plus graves, en évaluant l'ampleur du phénomène (par observation sur le terrain ou par pourcentage de superficie).

Dimension biotique

La dimension biotique fait référence à la caractérisation des éléments fauniques et floristiques du milieu naturel. Les facteurs biotiques représentent l'ensemble des interactions du vivant sur le vivant dans un écosystème. Une bonne caractérisation de la dimension biotique nécessite des inventaires sur le terrain et demande généralement davantage de ressources. Elle est immanquablement tributaire de la qualité des inventaires, qu'ils soient qualitatifs ou quantitatifs. Cependant, les données qu'elle permet de compiler sont essentielles pour bien évaluer un milieu naturel et comprendre sa dynamique d'évolution. Les critères qui suivent permettent de documenter les ressources biologiques que l'on trouve sur un site donné et qui se seraient adaptées aux conditions physiques particulières ou qui ont su tirer profit de la configuration des milieux naturels. La dimension biotique peut donc être documentée à l'aide des critères suivants :

Représentativité

La représentativité vise à comparer la composition floristique d'un milieu naturel à celle de la communauté typique à laquelle il appartient. Elle aide à mesurer à quel point un écosystème est représentatif de ceux que l'on trouve généralement sur un territoire donné. Par exemple, la tremblaie à épinette noire est plus représentative de la composition forestière de l'Abitibi que la prûcheraie ou la pinède blanche. Le long du Saint-Laurent, il

en va de même pour l'érablière argentée, qui est bien représentative des sites mal drainés du littoral du fleuve.

Richesse spécifique ou relative (diversité)

La diversité des milieux humides a un rapport direct avec la richesse spécifique ou relative, en espèces ou en habitats. Plus le nombre d'habitats est élevé, plus il y a des niches écologiques et plus le milieu est apte à supporter plusieurs espèces. La diversité spécifique ou écologique d'un milieu humide se mesure généralement à la composition floristique et à la structure des communautés naturelles qu'on y trouve (figure 13). Ainsi, la diversité tient compte de l'hétérogénéité spatiale selon un axe horizontal (identification de plusieurs espèces ou habitats au niveau du sol = composition) et la structure traduit l'hétérogénéité selon un axe vertical (organisation des strates = structure).

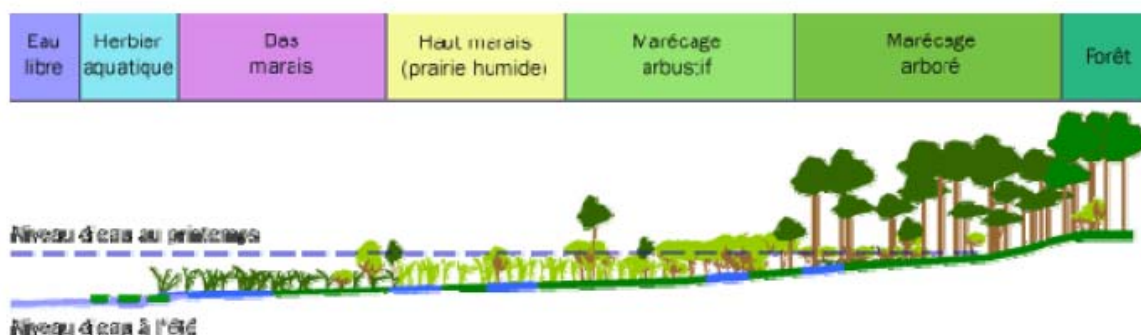


Figure 13 – Illustration de la notion de composition d'un milieu humide

Source : Adaptée de MDDEP, 2007

À superficies égales, il est raisonnable de considérer qu'un milieu abritant une plus grande diversité de types de milieux humides offre un potentiel de niches écologiques supérieur et, par le fait même, supporte une plus grande diversité biologique. Les tourbières ombrotrophes (communément appelées « bogs ») font exception, puisqu'elles ne sont alimentées en eau que par les pluies, pauvres en éléments minéraux, et sont caractérisées par une faible diversité en nombre d'espèces.

Dimension hydrologique

Les conditions de drainage associées aux milieux humides et leur rôle dans le fonctionnement hydrologique du territoire méritent une attention particulière. Chaque type de milieu humide agit à sa manière dans le processus d'écoulement des eaux et/ou de

recharge des nappes phréatiques. Afin de caractériser ce rôle et d'en comprendre le fonctionnement, il importe de distinguer la configuration de drainage, la connectivité avec d'autres milieux humides ou aquatiques et la position qu'un milieu occupe dans un bassin versant donné. Parmi les multiples critères qui permettent de documenter la dimension hydrologique, les plus courants sont les suivants :

Connectivité hydrologique

La connectivité du milieu humide au réseau hydrographique de surface est un indice de pérennité pour ce milieu, garantissant les conditions hydrologiques nécessaires à son maintien. Ce critère est évalué par la densité de cours d'eau intermittents et permanents en périphérie du milieu humide (généralement dans une zone tampon de 30 mètres). Il est possible d'évaluer la connectivité hydrologique par des analyses géomatiques effectuées entre le milieu humide et les cours d'eau de la BDTQ. Les validations de terrain pourraient révéler la présence de cours d'eau non cartographiés. Ces observations devraient être prises en compte dans la documentation relative à la connectivité hydrologique.

Capacité de rétention – capacité de filtration – profondeur de tourbe

Ce critère présente beaucoup d'intérêt puisqu'il caractérise l'une des principales fonctions d'un milieu humide. Il n'est cependant pas facile à évaluer car la présence de l'eau évolue selon les saisons, rendant ainsi la caractérisation des conditions hydriques assez délicate. Il existe plusieurs manières de documenter ce critère. Ainsi, il pourrait être utile d'observer le pourcentage d'eau libre à une saison donnée (par exemple au début du printemps) ou de considérer la qualité du drainage, la présence de plantes aquatiques ou de plantes préférant des conditions de sols humides (Labrecque et Sager, 2007; voir l'annexe 1) ainsi que la profondeur de tourbe dans le cas particulier des tourbières.

Position dans le réseau hydrographique

Le rôle et la fonction première d'un milieu humide varient selon le type de milieu et sa position dans le réseau hydrographique d'un bassin versant. Par exemple, une tourbière en tête de bassin versant ne joue pas le même rôle hydrologique qu'un marais riverain à l'embouchure d'une rivière. En fait, ces milieux peuvent difficilement être comparés.

La classification du réseau hydrographique permet de hiérarchiser les cours d'eau, les lacs et les milieux humides dans le réseau hydrographique en attribuant à chacun une

valeur qui indique sa position dans le bassin versant. La plus connue est la classification de l'ordre de Strahler, où le calcul de la valeur de chaque élément du réseau se fait selon la méthode suivante : tout drain qui n'a pas d'affluent se voit attribuer la valeur 1, puis un drain d'ordre n+1 est issu de la confluence de deux drains d'ordre n. Elle permet d'indiquer la position d'un milieu humide relié au réseau hydrographique et de mieux connaître l'influence de l'environnement d'écoulement.

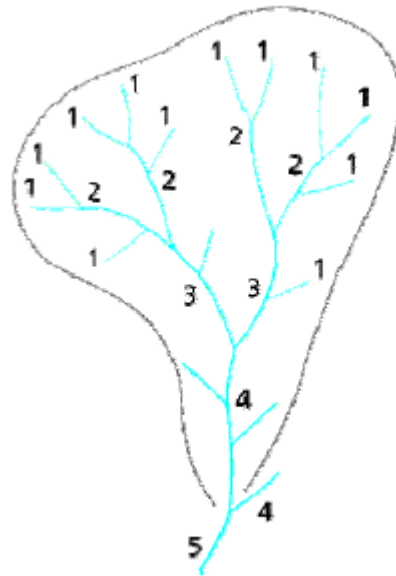


Figure 14 – Exemple de classification de Strahler

Source : Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs

Dimension abiotique

La fragilité des composantes physiques influence elle aussi la nature, la qualité et la pérennité des habitats. Ainsi, les sols organiques et les sols submergés sont considérés comme plus sensibles à la dégradation. Le drainage et la texture influencent la sensibilité des sols à la compaction, à l'érosion et à la présence de l'eau. Ces conditions sont déterminantes pour le développement de certaines espèces fauniques et floristiques.

Drainage

Au Canada, le drainage fait l'objet d'une classification établie depuis plus de 30 ans. Elle rend compte de manière globale de la vitesse à laquelle l'eau percole dans le sol. Dans les régions tempérées, le système canadien de classification des sols distingue 7 classes de drainage répondant à un ensemble de critères, tels que la provenance de l'eau du sol,

les caractéristiques du dépôt et de la topographie et des caractéristiques du sol (texture, horizons, marques telles que mouchetures ou gleyification, etc.).

Bien qu'elle fasse souvent l'objet de regroupements, la qualification du drainage devrait suivre les mêmes normes. Elle s'exprime en 7 classes : 0 – Drainage excessif; 1 – Drainage rapide; 2 – Bon drainage; 3 – Drainage modéré; 4 – Drainage imparfait; 5 – Mauvais drainage; 6 – Très mauvais drainage. Les classes de drainage 5 et 6 sont considérées comme des sols humides (Lafond *et al.*, 1992).

Texture des sols

La texture du sol correspond à la granulométrie des particules minérales inférieures à 2 millimètres. On distingue 3 types de particules minérales selon leur taille : les argiles sont les plus fines, les limons sont de taille moyenne et les sables sont les plus grosses. Ces particules minérales sont agglomérées entre elles grâce notamment à la matière organique. Chaque sol possède des proportions d'argiles, de limons et de sables qui lui sont propres et qui sont exprimées par la texture. Cette dernière donne des indications sur les caractéristiques importantes d'un sol comme sa résistance physique, sa capacité de rétention et sa richesse chimique.

Les textures de sols plus fines sont physiquement plus fragiles et particulièrement sensibles à l'érosion et à la compaction. Ainsi, les sols argileux et les sols limono-argileux sont plus susceptibles d'imperméabiliser un site et de favoriser l'accumulation de matière organique.

Dimension sociale

De prime abord, la dimension sociale a peu à voir avec l'analyse du rôle et des fonctions écologiques des milieux humides. Bien que la dimension sociale intervienne rarement dans l'évaluation de l'acceptabilité environnementale, elle pourrait prendre une plus grande importance dans les années à venir. Étant donné que la conscience environnementale des collectivités augmente, la valeur sociale accrue accordée aux milieux humides influe de plus en plus sur la conception et le déroulement des projets de développement. Certaines municipalités proactives devront prendre en compte cette dimension dans l'évaluation de la valeur des milieux humides. Il s'agit d'un facteur de plus en plus déterminant, dont les municipalités peuvent tirer avantage. La valorisation

collective de certains milieux naturels n'est pas étrangère à la popularité grandissante du concept de paysage. Il existe plusieurs approches d'analyse des paysages qui seraient susceptibles d'aider à caractériser la valorisation collective de ces écosystèmes (Paquette *et al.*, 2008; Dakin, 2003; Domon *et al.*, 2000). Nous énumérons ici quelques pistes pour permettre d'apprécier l'intérêt dont certains milieux pourraient faire l'objet.

Attrait esthétique et paysages valorisés

Les représentations artistiques, comme des photographies anciennes ou actuelles, des toiles de paysage ou des descriptions littéraires qui s'attardent à un site particulier, constituent des marques de valorisation. On compte de beaux exemples parmi les toiles des peintres paysagistes québécois comme Marc-Aurèle de Foy Suzor-Côté (*Baie de Saint-Fulgence au Saguenay*) ou Tex Lecor (*Parc Mont-Tremblant*, qui représente un marais riverain du lac Tremblant). L'objet de ces valorisations n'est cependant pas qu'esthétique. D'autres territoires comme la tourbière du Tea Field dans le Haut-Saint-Laurent font l'objet d'une grande attention pour des raisons historiques (Bouchard et Jean, 2001; Domon et Bouchard, 2007). Des recherches sur Internet, dans les sociétés historiques ou aux archives nationales du Québec sont susceptibles, dans certains cas, de confirmer l'attrait esthétique ou la valeur attribuée à un écosystème.

Activités récréatives

L'existence d'activités récréatives organisées, à faible impact environnemental, comme un club d'ornithologie, est généralement révélatrice de l'intérêt porté par des utilisateurs à un site naturel. De même, la présence de sentiers balisés ou d'une signalisation formelle confirme qu'il y a d'autres activités qui exploitent les qualités d'un milieu. Les marais du Lac-Saint-Charles, près de Québec, ou le marais de la Rivière-aux-Cerises, à Magog, sont d'excellents exemples.

Projets de conservation

De manière similaire mais plus marquée, un site qui fait déjà l'objet de projets de conservation ou de démarches par un groupe organisé devrait être considéré comme ayant une valeur sociale importante. Le boisé du Tremblay à Longueuil ou le parc de la Rivière-des-Mille-Iles à Laval, avec son programme d'intendance environnementale, et l'association de conservation du corridor appalachien (ACA) en Estrie sont de bons exemples.