

NOTE TO USERS

This reproduction is the best copy available.

UMI[®]

Département de géomatique appliquée
Faculté des lettres et sciences humaines
Université de Sherbrooke

Optimisation de la gestion de l'information météo-routière
pour le ministère des Transports du Québec - Direction de l'Estrie

Étienne Morin

Mémoire présenté pour l'obtention du grade de Maître ès sciences géographiques (M.Sc.),
cheminement géomatique appliquée

Décembre 2010

© Étienne Morin, 2010

I - 2478



Library and Archives
Canada

Published Heritage
Branch

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque et
Archives Canada

Direction du
Patrimoine de l'édition

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file *Votre référence*
ISBN: 978-0-494-79782-2
Our file *Notre référence*
ISBN: 978-0-494-79782-2

NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

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

AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

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

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.


Canada

Composition du jury

Optimisation de la gestion de l'information météo-routière
pour le ministère des Transports du Québec - Direction de l'Estrie

Étienne Morin

Ce mémoire a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Hardy Bengt Granberg, directeur de recherche

(Département de géomatique appliquée, faculté des lettres et sciences humaines)

Goze Bertin Béné, codirecteur de recherche

(Département de géomatique appliquée, faculté des lettres et sciences humaines)

Jérôme Théau, membre du jury

(Département de géomatique appliquée, faculté des lettres et sciences humaines)

Louis Ferland, membre du jury

(Direction de l'Estrie, ministère des Transports du Québec)

Résumé

De nombreuses données sont collectées par le ministère des Transports du Québec (MTQ) en rapport avec les activités d'entretien hivernal des routes, dans le but d'améliorer la gestion et les prises de décision. Le nombre et la diversité des données les rendent difficiles à exploiter pour mettre les événements météo routiers en rapport avec les ressources à déployer.

La finalité de cette recherche est de proposer un processus de mise en valeur des données multi sources collectées par le MTQ en Estrie, afin d'offrir des pistes d'amélioration de la prise des décisions ou de la gestion de l'entretien hivernal.

Une analyse des besoins des gestionnaires du MTQ en termes d'information météo routière est dans un premier temps effectuée, ainsi qu'un inventaire et des considérations sur le traitement des données pour leur validation et leur uniformisation. Une classification des risques météo-routiers est ensuite proposée afin d'explorer de façon optimale les données, et mettre au point à terme des processus pour leur mise en valeur selon les types de besoins exprimés.

Les résultats de la recherche établissent des relations entre les principales caractéristiques des événements météo routiers, leurs impacts sur la chaussée et le dimensionnement des opérations d'entretien routier hivernal. Les événements les plus marquants peuvent ainsi être détectés ce qui permet de les analyser avec une plus grande exhaustivité dans le but de prendre en considération les particularités régionales.

Cette recherche devrait apporter des éléments de réponse aux attentes des gestionnaires de Transports Québec pour leur souci d'évaluer les opérations d'entretien hivernal. Car, bien qu'étant une composante essentielle à l'optimisation de la gestion, le déploiement des ressources en fonction des caractéristiques des événements météo routiers est quelques fois difficile à mesurer. D'autre part, cette étude s'inscrit dans la volonté de rentabiliser la mise en place de technologies qui génère une imposante masse de données afin d'en soutirer des informations ou des connaissances conduisant à mettre en place des stratégies efficaces et qui s'inscrivent dans le contexte de transport durable.

Mots clefs : Viabilité hivernale, données météo-routières, risques routiers.

Table des matières

Résumé	ii
Table des matières	iii
Liste des figures	v
Liste des tableaux	vi
Liste des annexes	vi
Remerciements	vii
1 Contexte et connaissances sur la gestion de l'information météo-routière	1
1 1 Les impacts des aléas météorologiques sur le transport routier	1
1 2 Principales considérations en météo routière et viabilité hivernale	4
1 3 La nécessité d'une information météo-routière pertinente	5
1 4 La pertinence de l'information météo-routière	8
1 4 1 L'information météo-routière pour l'aide à la décision	8
1 4 2 L'information météo-routière pour l'aide à la gestion	11
1 4 3 L'information météo-routière destinée à l'usager de la route	14
1 5 Le cas particulier du ministère des Transports du Québec (MTQ) en Estrie	16
2 Objectifs d'une gestion optimisée de l'information météo-routière	20
2 1 Finalité et but de la recherche	20
2 2 Partir des données météo-routières pour aller vers l'information et les connaissances	21
3 Méthodologie proposée pour répondre aux besoins du MTQ en Estrie	23
3 1 Faits saillants des besoins pour la décision et la gestion	23
3 2 Considérations pour la synthèse des données météo-routières	26
3 3 Différenciation des situations météo-routières	27
3 4 Schéma méthodologique	30
4 Résultats du modèle conceptuel de gestion des données météo-routières	31
4 1 La synthèse des données météo-routières à disposition du MTQ-Estrie	31
4 1 1 Les données climatiques	31
4 1 2 Les données de condition routière	33
4 1 3 Les données de stations météo-routières fixes et mobiles	35
4 1 4 Les données collectées à bord des véhicules	39
4 1 5 Les données de consommation de matériaux d'épandage	41

4.2.	La préparation des données en vue d'une information pertinente.....	42
4.2.1.	Le regroupement des données	42
4.2.2.	La validation des données	43
4.2.3.	Dimension spatiale et temporelle des données	48
4.3.	L'analyse des données météo-routières par type de situation.....	50
4.3.1.	Les termes météo-routiers employés au MTQ.....	50
4.3.2.	Les risques météo-routiers en fonction des états de surface de la chaussée.....	53
4.4.	La caractérisation des événements météo-routiers.....	61
4.4.1.	Le repérage des événements météo-routières	61
4.4.2.	La combinaison des données météo-routières selon la typologie des risques.....	65
4.4.3.	L'impact des événements météo-routiers sur les opérations.....	66
5.	Discussions et conclusions.....	70
5.1.	Constats et limites de l'approche proposée.....	70
5.2.	Portée des résultats obtenus	71
5.3.	Conclusions.....	72
6.	Références.....	76

Liste des figures

Figure 1 : Architecture du système Clarus - Regroupement des données météo-routière en Amérique du Nord.....	10
Figure 2 : Composantes du système de gestion d'entretien hivernal suédois.....	13
Figure 3 : Vue du site Internet "Québec 511" pour les conditions routières.....	15
Figure 4 : Emplacement du territoire géré par la direction régionale du MTQ en Estrie.....	17
Figure 5 : Centres de services de la direction régionale du MTQ en Estrie.....	18
Figure 6 : Centre intégré de monitoring du MTQ - Estrie.....	23
Figure 7 : Cycle des actions en entretien hivernal (MTQ - Estrie).....	24
Figure 8 : Camion d'entretien hivernal du MTQ en opération.....	28
Figure 9 : Transformation des données météo-routières en information adaptée.....	30
Figure 10 : Répartition des stations météorologiques (MDDEP).....	32
Figure 11 : Terminologie des conditions routières hivernales du MTQ.....	34
Figure 12 : Station météo-routière le long de la route (St-Malo).....	36
Figure 13 : Emplacement des stations météo routières et date de mise en service.....	37
Figure 14 : Exemple d'équipement de mesure des stations météo-routières fixes du MTQ.....	38
Figure 15 : Véhicule de surveillance routière du MTQ - Estrie.....	40
Figure 16 : Validation des données de précipitations collectées par le capteur WIVIS (MTQ - Estrie, période hivernale 2009-2010).....	47
Figure 17 : Origine des principaux risques météo-routiers.....	54
Figure 18 : Risques météo-routiers liés aux précipitations.....	57
Figure 19 : Risques météo-routiers liés au refroidissement.....	57
Figure 20 : Risques météo-routiers liés aux phénomènes de condensation.....	59
Figure 21 : Risques météo-routiers liés aux événements de poudrière.....	60
Figure 22 : Catégories des données météo-routières à la disposition du MTQ.....	61
Figure 23 : Exemple d'enchaînement au cours d'un événement météo-routier.....	62
Figure 24 : Répartition des conditions routières pour chaque jour de décembre 2008 et chaque segment routier sous surveillance.....	64
Figure 25 : Combinaison des données météo-routières du MTQ-Estrie.....	65
Figure 26 : Événements météo-routiers impliquant une gestion d'urgence.....	67
Figure 27 : Événements météo-routiers avec impact significatif.....	68

Figure 28 : Événements météo-routiers ayant un impact modéré à nul	69
--	----

Liste des tableaux

Tableau 1 : Paramètres pour l'élaboration d'indices de rigueur hivernale dans plusieurs parties du Monde.....	29
Tableau 2 : Indications pour l'évaluation de la fiabilité des données météo-routières à disposition du ministère des Transports du Québec - Estrie.	44
Tableau 3 : Données manquantes pour les données de stations du MTQ (2008-2009).....	45
Tableau 4 : Fréquence et nombre des données météo-routières collectées	48

Liste des annexes

Annexe 1 : Exemple de représentations sur des périodes non ciblées	80
Annexe 2 : Paramètres disponibles pour les stations météo routières	84

Remerciements

Cette recherche n'aurait pas pu aboutir sans la contribution de plusieurs personnes du ministère des Transports du Québec qui me donnent l'occasion de réaliser des mandats dans un cadre professionnel depuis plusieurs années, et donc d'avoir un contact privilégié avec des décideurs du personnel opérationnel et des gestionnaires. Les conseils et l'expression des problématiques vécues m'ont permis d'effectuer une analyse des besoins propre à certaines entités du MTQ et ainsi d'avoir l'opportunité de proposer des solutions, d'une façon académique, tout en participant aux réflexions générales entamées depuis plusieurs années par le MTQ pour l'amélioration de l'entretien hivernal. D'autres personnes m'ont permis d'avoir accès aux données qui ont été utilisées dans cette recherche, et sans lesquelles il aurait été difficile de prendre conscience de la complexité de l'optimisation de l'exploitation des données météo routières tout en envisageant des alternatives réalistes et applicables aux préoccupations des décideurs et gestionnaires du MTQ.

Je remercie donc sincèrement et chaleureusement Serge Hamel, Jean-Claude Lacroix, Antoine Robitaille, Louis Ferland, Pierre Lambert, Yves Fournaise, Richard Charpentier, Anne Baril, Carol Chayer, Patrick Houle et Yves Berger.

Je remercie bien évidemment mon directeur, Hardy Bengt Granberg, et mon co-directeur de recherche, Goze Bertin Béné, pour la grande patience dont ils ont fait preuve à mon égard, et pour leurs précieux enseignements me permettant d'apprendre la démarche de chercheur.

Merci également à mon épouse, dont le support est constant et les conseils judicieux.

1. Contexte et connaissances sur la gestion de l'information météo-routière

1.1. Les impacts des aléas météorologiques sur le transport routier

Le transport routier constitue un vecteur économique très important en Amérique du Nord et a représenté pour l'année 2007, au Canada, plus de 28 milliards de dollars en recettes d'exploitation pour le transport de marchandises (Statistiques Canada, 2009). L'économie des transports routiers repose sur les activités directes (transport pour compte d'autrui et privé, messagerie), mais aussi et surtout sur des activités indirectes telles que, entre autres, l'acheminement des matières premières, des produits finis ou semi-finis, les échanges dans le cadre du commerce international, les services de transport par autobus, le déplacement des voitures particulières (Association des Transport du Canada, 1999).

Garantir la possibilité d'emprunter les routes de façon quasi normale en dépit des conditions météorologiques représente une volonté politique dans la majeure partie des pays nordiques, comme au Québec, de façon à altérer le moins possible les activités économiques et sociales. Parmi les stratégies de logistique, le modèle de production en "flux tendu" qui découle du principe de "juste à temps" (Office québécois de la langue française, 2007) est maintenant utilisé pour la gestion de beaucoup d'entreprises. Celles-ci réagissent aux contraintes liées au stockage de marchandises en produisant directement en fonction du volume de la demande selon des délais à respecter. Il en résulte des attentes croissantes concernant la gestion de la fluidité de la circulation quel que soient les conditions météorologiques. La pluie, le brouillard, la neige et la glace génèrent, en Amérique du Nord, des délais variables dans les transports routiers chaque année, ce qui a un impact socio-économique significatif. Il s'agit donc pour les gestionnaires des réseaux routiers de déployer les moyens nécessaires pour atténuer les impacts météorologiques sur la route, et permettre aux usagers de circuler dans des conditions de fluidité optimum.

Outre les délais que peuvent occasionner les mauvaises conditions météorologiques, ce sont aussi les pertes humaines et les blessures graves ou légères qui coûtent cher à la société. En 1999, le bilan routier au Québec fait état de plus de 42 000 victimes des accidents de la route, dont 515 décès (Société de l'assurance automobile du Québec, 2010). En altérant les

conditions d'adhérence sur la route ou de visibilité, les conditions météorologiques sont des facteurs aggravants qui, combinés à d'autres facteurs (vitesse, alcool, etc.) augmentent le risque d'accident, ou bien constituent des pièges pour les conducteurs (courbes, secteurs à l'ombre). Des coûts indirects importants résultent de ces accidents de la route en services d'urgence, en dommages matériels, en services médicaux et de réadaptation, en procédures devant les tribunaux, en administration des assurances (Maccubbin *et al.*, 2008).

Le ministère des Transports du Québec (MTQ) consacre beaucoup d'énergie et de ressources pour l'entretien des routes sous sa responsabilité en les maintenant, dans la mesure du possible, hors neige et hors glace, et en informant l'utilisateur de la route sur le niveau de risque à utiliser le réseau routier. Les ressources humaines, matérielles et financières qui y sont destinées sont importantes et le recours aux entrepreneurs du secteur privé se fait depuis de nombreuses années, en déléguant ainsi l'entretien de circuits d'importance et de longueur variables. Cependant, les exigences accrues d'entretien, reliées à une volonté politique mais également au niveau de la performance attendue par l'ensemble de la société, ont des conséquences sur les coûts monétaires. Cette conjoncture prédispose à une optimisation de l'entretien des routes en hiver et à l'accroissement de la demande d'outils de gestion afin de mieux faire correspondre le dimensionnement des ressources aux réels besoins et nécessités.

Les investissements pour le déploiement de technologies telles que l'implantation et l'exploitation de stations météo routières, ou de collecte de données issues d'équipements installés sur la flotte de véhicules du MTQ, sont importants et peuvent contribuer à l'amélioration des pratiques actuelles pour assurer la viabilité hivernale (Ye and Shi, 2009). Une récente étude coût-bénéfice réalisée par la *Research and Innovative Technology Administration* dans le contexte des STI confirme que les technologies en gestion d'information météo-routière permettent entre autres de donner une plus-value aux prévisions météorologiques et ainsi d'éviter des surplus de coûts directs et indirects reliés à l'entretien hivernal (Maccubbin *et al.*, 2008). L'entretien hivernal des routes est de plus en plus onéreux pour les organisations routières, publiques ou privées, compte tenu de l'augmentation des coûts des matériaux d'épandage, des hausses de prix du carburant et de la hausse de la qualité des services offerts aux usagers de la route (Berger, 2010) Le MTQ recherche depuis

plusieurs années déjà, en instaurant divers projets pilotes, différents moyens pour pallier à cet accroissement des coûts. Il exprime aussi de façon beaucoup plus prononcée qu'auparavant, le besoin de pouvoir exploiter les données qu'il collecte et dont il dispose en temps réel ou dans ses bases de données pour en extraire les informations pertinentes aux décisions à prendre sur le terrain et en termes de gestion.

Le concept de développement durable est également de plus en plus présent dans le domaine du transport routier ces dernières années (transport durable) et les sels de voirie utilisés entre autres pour l'entretien des routes en hiver ont été déclarés par Environnement Canada comme substances potentiellement nocives pour les écosystèmes d'eau douce, les sols, la faune et la flore. Même s'ils ne font pas l'objet de restrictions par une réglementation précise dans la loi canadienne sur la protection de l'environnement, un code de pratique pour la gestion des sels de voirie a été créé. Leur utilisation doit désormais être contrôlée, surtout pour les plus grands utilisateurs et la gestion responsable des sels de voiries est maintenant reliée à des considérations économiques mais aussi environnementales (Environnement Canada, 2009 et 2004). Une gestion responsable des sels de voirie fait appel à différentes composantes de l'organisation routière à l'intérieur et en dehors du cadre de l'entretien routier spécifiquement hivernal. Un important travail de l'association des transports du Canada (ATC) a été réalisé en collaboration avec 14 organismes pour produire des recommandations dans les 9 domaines suivants (Association des transports du Canada, 2003) :

- la mise en œuvre d'un plan de gestion;
- la formation du personnel;
- la conception des routes et des ponts;
- la gestion du drainage et des eaux de ruissellement;
- les caractéristiques des types de chaussée;
- la gestion de la végétation en bordure du réseau routier;
- la conception et les modes d'exploitation des centres d'entretien des routes;
- le stockage et l'élimination de la neige;
- le matériel et les technologies d'entretien hivernal des routes.

Cet inventaire met en contexte l'ampleur ainsi que l'étendue de la ramification de la gestion des sels de voirie et renforce ainsi le besoin de disposer d'informations et de connaissances appropriées pour les choix stratégiques des organisations routières.

1.2. Principales considérations en météo routière et viabilité hivernale

La météo routière est à la rencontre de deux milieux : la météorologie et l'environnement routier. Chacun d'entre eux regroupe un nombre important de paramètres qu'il est nécessaire de prendre en considération pour anticiper les événements ayant un impact pour la conduite des véhicules, soit en termes d'adhérence sur la chaussée, soit en ce qui a trait à la visibilité. Les événements météo routiers estivaux les plus fréquents sont les averses orageuses de grêle, les inondations suite à des pluies diluviennes, les brouillards. En hiver, au Québec, ce sont les accumulations de certains types de neige, les glaces routières et les périodes de vent qui peuvent être à l'origine de complications de la circulation routière, aussi bien du point de vue de la sécurité que de la fluidité de la circulation.

Le terme "viabilité hivernale" englobe, quant à lui, toutes les composantes du transport routier pour assurer la circulation des véhicules en période hivernale (Mercier, 2010). Le dictionnaire trilingue des Systèmes de transport intelligents définit la viabilité hivernale de la façon suivante (Bergeron, 2009) : "État des conditions de circulation routière résultant des actions et des dispositions prises par les divers intervenants pour adapter l'entretien de la chaussée aux phénomènes météorologiques hivernaux et assurer la sécurité des voyageurs. Note : La viabilité hivernale est un objectif qui s'inscrit dans le cadre plus large de la surveillance du réseau routier et des interventions qui en découlent. Ces interventions ont pour but le maintien ou le rétablissement de conditions de circulation satisfaisantes du point de vue de la sécurité des voyageurs, et elles contribuent à la continuité des activités économiques."

La météo routière correspond donc à la prise en considération des différents paramètres météorologiques et routiers, et sa complexité tient à au grand nombre de ces paramètres qui se combinent les uns aux autres pour générer des événements affectant les conditions de circulation. De plus, ces paramètres varient, de façon plus ou moins prononcée selon leurs caractéristiques, dans le temps et dans l'espace. C'est la raison pour laquelle il est impossible

d'anticiper un événement avec des informations imprécises ou dont l'évolution est mal connue. Le personnel chargé d'effectuer l'entretien routier s'efforce également de prendre en considération les spécificités de certains secteurs du réseau routier, en fonction des types d'événements, qui peuvent amplifier ou atténuer les facteurs responsables d'une glissade sur la chaussée ou d'une mauvaise visibilité. Aussi, il est difficile de généraliser le comportement des paramètres météo routiers sur d'importantes étendues géographiques, compte tenu du fait que chacun des secteurs peut avoir des particularités tant sur le plan du climat ou de l'environnement routier (géographie), que sur le plan des caractéristiques de la circulation (type et intensité du trafic). Actuellement, la sphère météo routière prend de l'expansion avec l'avènement des systèmes de transport intelligent (STI). Des solutions y sont envisagées pour améliorer la gestion de la circulation qui est sujette à des problématiques de plus en plus importantes. Une tendance actuelle identifie plus directement la météo routière à une composante majeure de la gestion de la circulation en Amérique du Nord (Cluett *et al.*, 2006).

Le traitement de l'information météo-routière est cependant complexe compte tenu de l'importance du volume des données collectées et emmagasinées dans les bases de données, et de la variété du type des données. Par exemple, la Direction de l'Estrie du MTQ exprime de plus en plus clairement le besoin de croiser des données climatiques avec ses différents registres : les conditions routières communiquées au public, les consommations de matériaux d'épandages sur la chaussée, les mesures enregistrées par des stations météo-routières en plusieurs points du réseau routier, les données de position et d'activité collectées sur l'ensemble des véhicules d'entretien.

1.3. La nécessité d'une information météo-routière pertinente

Le personnel d'une organisation routière qui est chargé de prendre des décisions pour effectuer des interventions sur le réseau routier, que celles-ci soient de nature préventive ou curative, s'appuie sur deux éléments principaux : les observations météo-routières présentes et leurs prévisions à court terme, tout en prenant en compte les variations qui peuvent être importantes entre les différents points du réseau routier à entretenir. Il est donc question d'avoir un portrait des changements de la situation météo-routière, le plus juste possible, dans l'espace, en intégrant les particularités du réseau routier qui peuvent être spécifiques selon le type de

situation météo-routière, et dans le temps, afin d'avoir la possibilité d'anticiper la dégradation trop importante des conditions de conduite d'un véhicule pour les usagers de la route (diminution de l'adhérence, enlèvement dans la neige, perte de visibilité).

Les observations météo-routières sont réalisées par différents moyens qui peuvent être complémentaires, en accédant à l'information météorologique fournie par plusieurs médias dont Internet constitue depuis quelques années de nombreuses sources, ou en effectuant une lecture d'instruments de mesure répartis sur le réseau routier et embarqués à bord des véhicules. Mais les observations primordiales sont collectées en effectuant une patrouille du réseau routier, seul moyen à l'heure actuelle pour mesurer l'impact des phénomènes météo-routiers. En effet, le personnel chargé de prendre des décisions d'intervention parcourt le réseau routier en privilégiant les points critiques ou représentatifs qui lui permettent de percevoir les entraves à la conduite d'un véhicule en fonction des conditions météo-routières. La patrouille du réseau routier constitue le meilleur moyen de prendre connaissance de l'état des conditions routières, mais fait appel à une solide expérience pour connaître les secteurs à surveiller en fonction du type de situation météo-routière, et ne permet pas d'avoir un portrait de la situation sur l'ensemble du territoire simultanément. En effet, le temps de se rendre d'un point à un autre, les conditions météo-routières continuent d'évoluer différemment selon les particularités locales des secteurs.

C'est pour cette raison que les organisations routières s'équipent, depuis plus d'une vingtaine d'années pour certaines d'entre elles, de systèmes d'information météo-routiers qui sont constitués par un assemblage de capteurs placés dans l'environnement routier (AIPCR, 2008). Des mesures sont effectuées périodiquement pour offrir quelques-uns des renseignements suivants :

- la température de l'air;
- l'humidité de l'air et une estimation de la température du point de rosée;
- la température de la surface de la chaussée et celle à différentes profondeurs dans la chaussée;
- la vitesse et la direction des vents;

- l'occurrence des précipitations, la détection du type de précipitation et de l'intensité;
- une image de la chaussée (en continu ou à intervalles réguliers);
- l'état de surface de la chaussée.

Toutes ces informations sont accessibles en temps quasi-réel, avec seulement quelques minutes de retard et permettent au personnel chargé de prendre des décisions d'intervention d'avoir une idée encore plus précise de la situation météo-routière d'un réseau routier. Ces stations fournissent des mesures représentatives du milieu routier mais certains facteurs environnementaux peuvent influencer les données pour certains paramètres comme le vent, l'humidité ou encore la température de surface selon l'emplacement de la sonde dans un secteur ombragé à certains moments de la journée. Deux guides ont été rédigés, un par la *Research and Innovative Technology Administration*, puis un autre par la *Standing International Road Weather Commission* afin d'établir des recommandations quant aux emplacements et aux équipements des stations météo-routières (Standing International Road Weather Commission, 2005), (Manfredi *et al.*, 2005). Les protocoles d'échange de données provenant des stations font également l'objet d'une norme, NTCIP 1204, dont la révision a récemment été faite en fonction des évolutions de la technologie dans le domaine (American Association of State Highway and Transportation Officials *et al.*, 2009).

L'information météo-routière est également constituée pour une large part des données de prévision météorologique. Il est nécessaire pour les organisations routières d'obtenir des indications sur l'évolution probable des paramètres de la situation météorologique (AIPCR, 2006). Parmi les axes de recherche les plus courants dans le domaine de l'entretien hivernal des routes, les projets qui ont trait à la météorologie et au climat sont considérés comme des plus importants. Une étude portant sur des organisations routières dans 17 pays d'Europe révèle que des travaux étaient toujours en cours pour tenter d'améliorer les prévisions météo-routières (COST 344, 2002). Les produits de prévision ne concernent pas uniquement l'intégration des paramètres atmosphériques et l'impact de leur variation sur les conditions routières, il s'agit également de prévoir de plus en plus précisément la température de la chaussée et d'intégrer les meilleurs types de modèles utilisés actuellement dans le domaine pour le bénéfice des organisations routières (NCAR, 2007). Des travaux ont par exemple été

conduits au Japon par le *Civil Engineering Research Institute for Cold Region* pour faire aboutir la prévision météo-routière jusqu'à l'anticipation des états de surface (Takahashi *et al.*, 2008). Un autre exemple de mise en place de système d'aide à la décision intégrant les prévisions météorologiques est le programme de recherche "*Pooled Fund MDSS*" qui, depuis 2002, conçoit des outils d'aide à la décision personnalisés pour différents états américains (Hart, 2008).

1.4. La pertinence de l'information météo-routière

1.4.1. L'information météo-routière pour l'aide à la décision

Les systèmes d'aide à la décision se sont actuellement développés dans beaucoup de pays dont la rigueur hivernal nécessite un entretien routier particulier. Une étude réalisée récemment met en valeur le fait que l'intégration de l'ensemble d'informations, et plus particulièrement celle des stations météo-routières installées en certains points du réseau routier, n'est pas toujours réalisée dans des outils de prise de décision (AIPCR 2006). Néanmoins, dans la majeure partie des cas, le système d'aide à la décision consiste en une interface sur laquelle sont affichées les mesures des différents paramètres météo-routiers en temps réel, sans qu'il y ait un traitement particulier des données pour aboutir à des informations ou des connaissances autres que la seule valeur des données météorologiques et routières. Un travail d'analyse est donc nécessaire de la part de l'utilisateur, ou d'avertissement sur la combinaison de valeurs pouvant mener à des conditions météo-routières à surveiller. En d'autres termes, disposer de données brutes de l'environnement routier est une première étape intéressante, mais être en mesure d'avoir une analyse instantanée et particulière aux besoins de l'organisation routière est une étape supplémentaire qui apporterait une réelle plus-value à l'utilisation des systèmes d'aide à la décision.

Plusieurs travaux de recherche sont actuellement en cours pour l'amélioration de l'information fournie au personnel chargé d'effectuer des opérations d'entretien hivernal. Depuis plusieurs années, des universités américaines ont entamé des projets dans le domaine de la prévision et des observations météo-routières (Johnson, 2004). Ceux-ci portent sur la modélisation des conditions météo-routières pour certaines situations (formation de givre sur la chaussée) ou pour des secteurs particuliers (terrain à relief complexe), l'interactivité des applications

destinées à fournir de l'information météo-routière, et l'accès à des réseaux d'informations météorologiques à fine échelle. D'autre part, l'importante initiative de recherche "*Pooled Fund MDSS*" depuis 2002 aux États-Unis, a été lancée dans le but de regrouper, de fusionner et d'améliorer les données météo-routières qui permettent de prendre de meilleures décisions (Hart, 2008). Des représentations des données d'observation et de prévision sont accessibles via un système d'information géographique placé sur une plateforme Web. L'agence fédérale des autoroutes américaines a lancé un vaste projet en parallèle afin d'offrir une information météo-routière validée, uniforme et exhaustive pour la prise de décision. Il s'agit de l'initiative "*Clarus*" dont la Figure 1 représente l'ensemble des éléments intégrés dans ce processus de collecte, de validation, de fusion et de documentation des données qui sont mises à la disposition d'environ 30 états américains et 3 provinces canadiennes à ce jour (FHWA, 2009). Sans entrer dans les détails, cette figure représente bien la complexité de la mise en place d'une architecture de données météo-routières qui combine plusieurs sources de données et de traitements afin de répondre à des besoins simples mais fondamentaux du personnel opérationnel (Cluett, 2007) :

- la connaissance du début et de la fin d'un événement météo-routier;
- le type de précipitation prévu, la quantité de précipitation;
- la prévision et la tendance de la température de la surface de la chaussée;
- la prévision et la tendance de la température de l'air;
- les écarts de prévision entre les différents secteurs du réseau routier;
- la stratégie d'entretien recommandée;
- les alertes avant et pendant l'événement météo-routier.

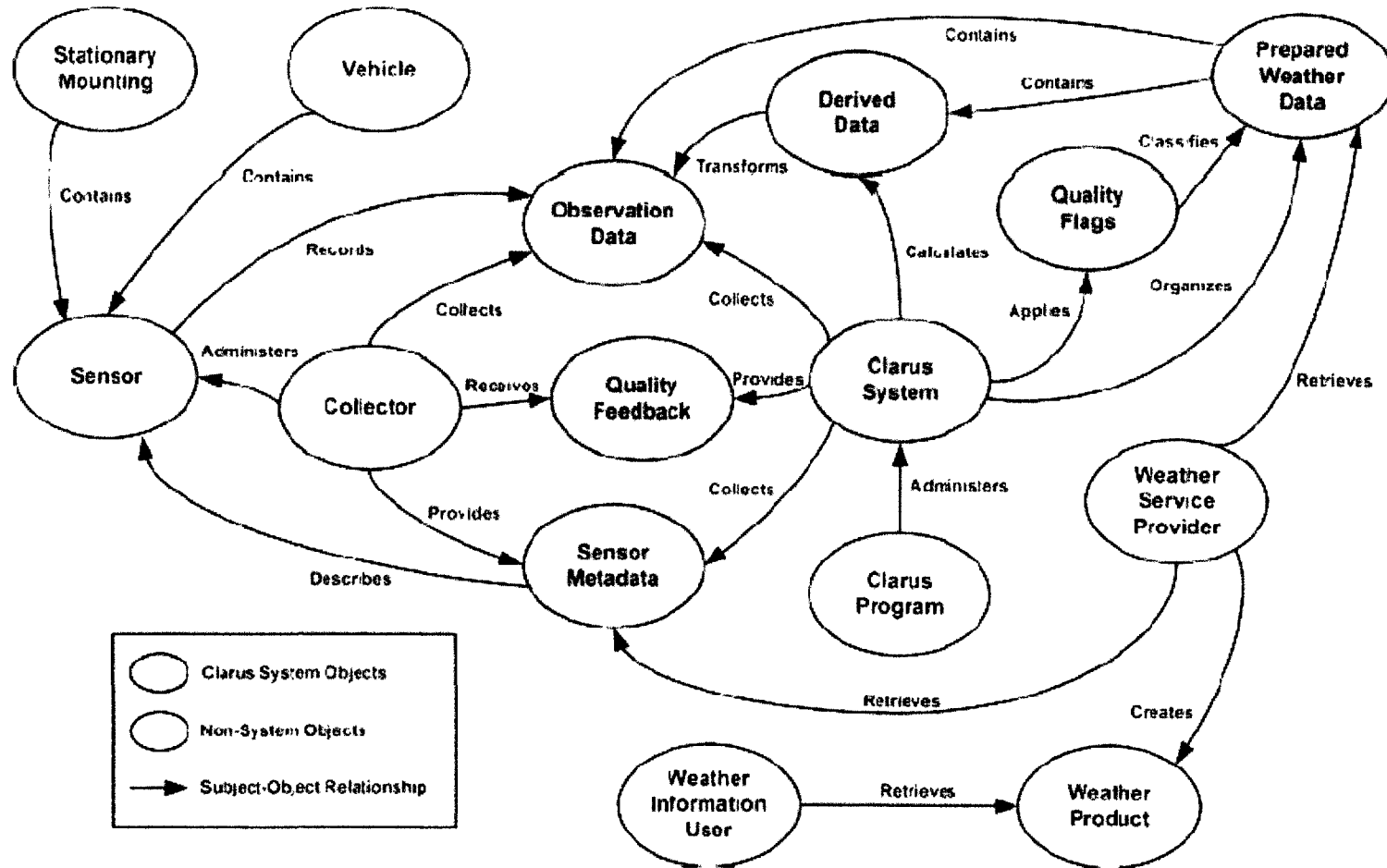


Figure 1 : Architecture du système Clarus - Regroupement des données météo-routière en Amérique du Nord
(Copyright © 2005 Mixon/Hill, Inc.)

Les observations météo-routières sont pour certaines organisations routières réalisées également par l'intermédiaire d'une flotte de véhicules instrumentés de capteurs permettant de connaître les principaux paramètres de l'environnement routier sur un itinéraire : température et humidité de l'air, température de surface de la chaussée. Des tests concluants ont également été réalisés pour se servir de données provenant de capteurs déjà présents dans les véhicules de particulier (Petty *et al.*, 2007). Ces informations normalement destinées à la gestion effectuée par les ordinateurs de bord des véhicules récents sont interceptées puis communiquées à une infrastructure installée au bord de la route pour ensuite servir à l'analyse des observations. L'utilisation des essuie-glaces renseigne par exemple sur l'occurrence des précipitations. On imagine aussi très facilement l'utilité d'avoir connaissance de l'activation des systèmes anti-dérapage des véhicules de particuliers pour l'optimisation des activités d'entretien hivernal ou pour le signalement à l'utilisateur de la route des sections dangereuses. Ce concept de communication des informations entre les véhicules, ou d'un véhicule à une infrastructure était jusqu'à récemment appelé "coopération véhicule-infrastructure" mais est maintenant qualifié du terme "IntelliDriveSM", dont l'usage fait l'objet de conditions de marque de service (AASHTO, 2009).

1.4.2. L'information météo-routière pour l'aide à la gestion

Le gestionnaire, chargé de préparer et de mettre en œuvre les ressources financières, humaines et matérielles nécessaires à l'atteinte des objectifs fixés par son organisation, doit avoir accès à une information spécifique à ses besoins. Une initiative de recherche, dans le cadre de la Coopération européenne dans le domaine de la recherche scientifique et technique (COST), a été menée pour donner des pistes d'amélioration pour la gestion de l'entretien hivernal sur les routes et ponts européens (COST 344). Il ressort de cette étude que les organisations routières ont tout intérêt à se constituer un système de gestion de l'entretien hivernal (COST 344, 2002).

Celui-ci devrait posséder plusieurs modules destinés à collecter et à partager les informations à propos :

- des transactions administratives;
- de la planification des circuits d'entretien hivernal;
- des systèmes d'information météo-routiers (données collectées par les capteurs);
- des systèmes d'appel du personnel opérationnel;
- du calendrier des actions et de leur documentation;
- de l'information délivrée aux usagers de la route;
- du suivi des actions.

L'étape de planification des opérations d'entretien hivernal, doit donc faire référence à des analyses de données des années antérieures de façon à optimiser les plans d'actions et les priorités selon les types d'événements météo-routiers, toujours dans le but d'assurer les meilleures conditions pour la fluidité de la circulation routière et minimiser les risques d'accidents routiers. Le modèle suédois, appelé "*Winter Model*" intègre tous les types d'actions et composantes qui interviennent directement ou indirectement sur l'entretien hivernal en Suède (Figure 2). La finalité de cet outil est de procurer des informations au gestionnaire quant aux impacts que peuvent avoir les stratégies d'entretien sur le plan financier, environnemental ou du point de vue de la sécurité routière. En ayant la possibilité de croiser des données de diverses sources, le gestionnaire peut alors mieux évaluer les conséquences de ses choix en termes de planification.

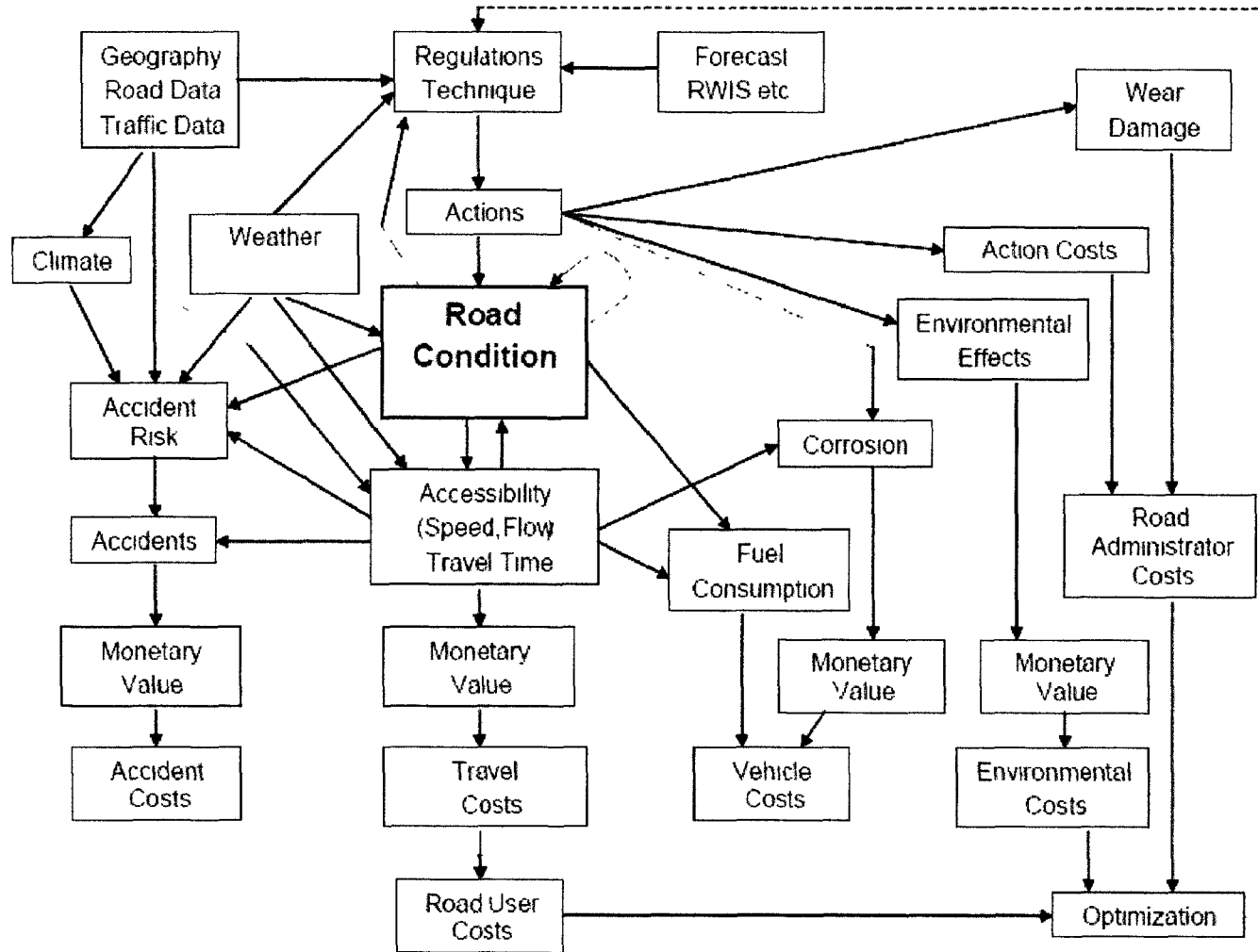


Figure 2 · Composantes du système de gestion d'entretien hivernal suédois

"Winter Model" (Wallman, 2004)

Le gestionnaire s'attend à disposer d'indicateurs lui permettant de favoriser une bonne préparation des ressources humaines, matérielles et financières ainsi que leur utilisation dans une optique d'efficacité et de respect de l'environnement. Parmi les différentes actions qui sont à entreprendre, il peut être amené à évaluer plusieurs facettes de l'entretien hivernal, comme par exemple :

- la rigueur d'une saison hivernale par rapport à une autre saison, ou en comparaison avec des normales saisonnières;
- l'importance des ressources déployées par les entreprises privées auxquelles est confié l'entretien hivernal d'une partie du réseau routier;
- l'enchaînement des événements au cours d'une situation météo routière anormalement importante;
- les circonstances d'un événement impliquant la sécurité routière des usagers de la route;
- le suivi de l'utilisation des ressources affectées pour une saison hivernale;
- la demande et la justification d'un budget prévu pour la réalisation de l'entretien routier au cours de la prochaine saison hivernale;
- le financement et l'implantation d'infrastructures pour la collecte de données météo routières supplémentaires dans des secteurs appropriés.

1.4.3. L'information météo-routière destinée à l'utilisateur de la route

Actuellement, le MTQ met à disposition des usagers de la route les informations relatives à son système de compilation des conditions routières. Ce système donne des indications sur le niveau de dégradation des conditions de la chaussée (selon le degré d'enneigement et de présence de glace) ainsi que sur le niveau de visibilité. Ces données seront décrites en détail dans la section 4.1.2 (Les données de condition routière).

Depuis octobre 2008, le MTQ a lancé le service 511 permettant de diffuser l'information des conditions routières, mais aussi celle des entraves à la circulation routière telles que les travaux ou les fermetures de routes qui peuvent être occasionnées, entre autres, par des incidents majeurs (Séguin *et al.*, 2008) Il est également possible de prendre connaissance des temps d'attente aux postes frontaliers et aux sites d'embarquement des traversiers, ainsi que d'avoir accès aux images de caméra de surveillance de la circulation (pour la région de Montréal, Québec, Trois-Rivières, Saguenay, et des postes frontaliers) La carte dynamique donne aussi la localisation des haltes routières et des radars fixes et mobiles, ou encore des caméras de surveillance aux feux rouges (Transport Québec, 2010) Le système de renseignement fonctionne avec un service téléphonique associé à la technologie "*Text to Speech*" (TTS) assurant ainsi une parfaite cohésion entre les informations diffusées simultanément par téléphone et sur le site Web Le site Web est, quant à lui, muni d'une carte dynamique et d'une version avec un mode d'affichage spécifique pour les assistants numériques de poche

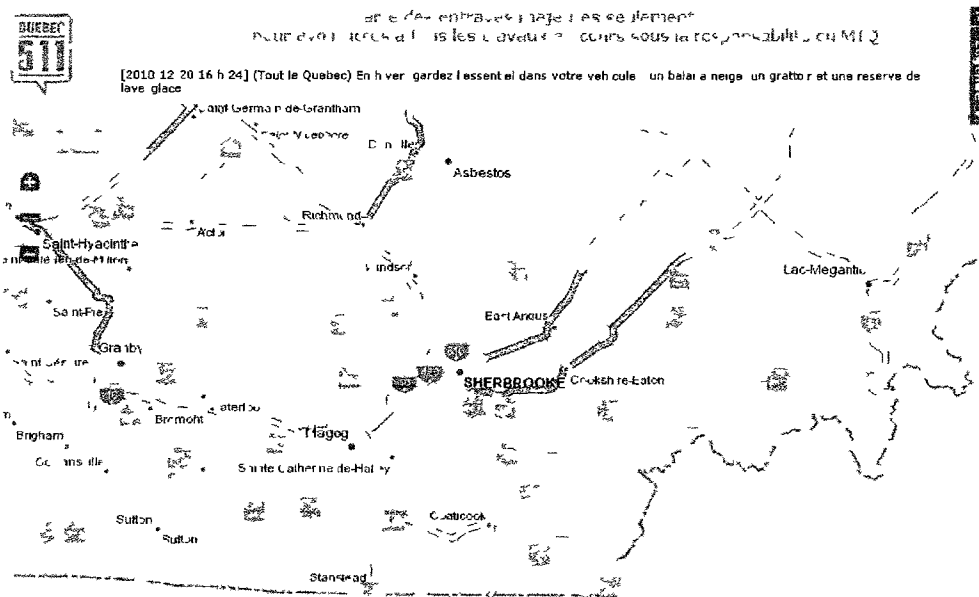


Figure 3 Vue du site Internet "Québec 511" pour les conditions routières

Les conditions routières actuellement communiquées à l'utilisateur de la route constituent une information à deux niveaux Le premier niveau indique si la circulation routière présente de

bonnes conditions, des conditions critiques, des conditions passables ou si le segment de réseau routier est fermé. Le second niveau d'information mentionne le degré d'enneigement, de présence de glace sur la chaussée, et l'état de la visibilité.

1.5. Le cas particulier du ministère des Transports du Québec (MTQ) en Estrie

La direction régionale de l'Estrie, qui est une des 18 directions du MTQ (Figure 4), collecte un ensemble de données, de différentes natures, pour la prise de décision, le suivi et la gestion de l'entretien hivernal du réseau routier sous sa responsabilité. La zone qui se rapporte à l'exploitation des données concerne l'ensemble du réseau routier de la région de l'Estrie. Ce territoire comprend 5 centres de services qui ont chacun la responsabilité d'entretenir un réseau routier d'une longueur variant entre 221 à 592 km (Figure 5). Le défi de la gestion de l'information est d'autant plus grand que la direction de l'Estrie est impliquée dans plusieurs projets de Systèmes de transport intelligents (STI). Elle possède actuellement un réseau de 9 stations météo routières, et a cumulé pour la période d'entretien hivernal 2007-2008 les données émises par 46 véhicules instrumentés de capteurs. Des informations sur les conditions routières sont collectées sur 19 tronçons routiers qui représentent les axes de circulation les plus fréquentés de la région. L'entretien hivernal des routes est effectué sur un total de 2 035 km. Une station d'Environnement Canada donne la possibilité d'avoir accès à un historique des données climatiques quotidiennes, et un réseau d'observateurs du ministère du développement durable de l'environnement et des parcs (MDDEP) collecte diverses informations sur 15 points répartis sur le territoire. Les données à disposition pour réaliser des analyses sont donc nombreuses et il est nécessaire d'évaluer le potentiel que possède chaque type de données, ou chaque combinaison de données, pour aboutir à des informations ou des connaissances pouvant être intégrées dans les systèmes d'aide à la décision ou les systèmes d'aide à la gestion.



Source: Déclasse Service géographique du MTQ 2009

Figure 4 Emplacement du territoire géré par la direction régionale du MTQ en Estrie

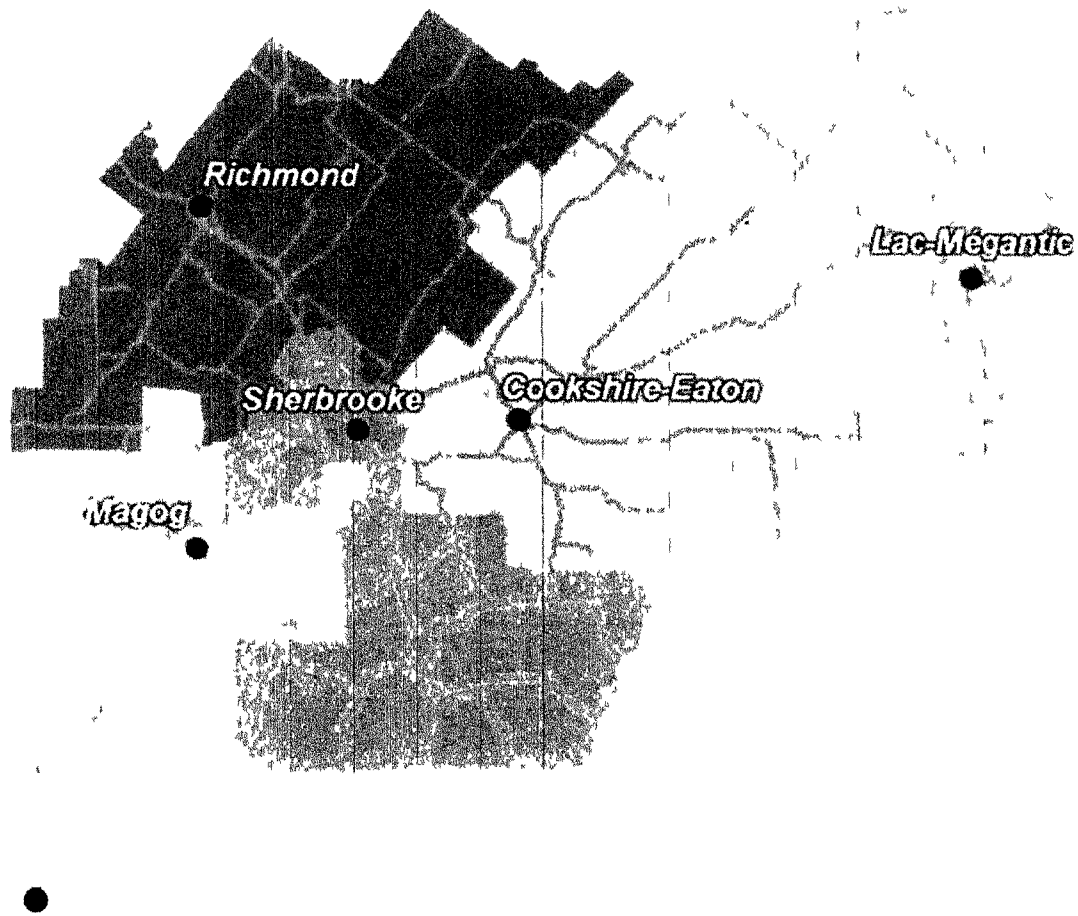


Figure 5 Centres de services de la direction régionale du MTQ en Estrie

Dans le contexte d'une utilisation des données météo routières en temps réel, et face à la collecte d'une importante masse de données, les réflexions au sein du MTQ se sont tournées vers la recommandation d'utiliser des alertes, pour signaler au personnel concerné l'atteinte de seuils prédéfinis ou la combinaison de facteurs propices à l'apparition d'événements météo routiers. Le principe consiste à recourir à une routine qui détecte la variation de données pour des plages particulières, configurées préalablement, et signale ainsi aux surveillants la nécessité de contrôler de façon approfondie les tendances des paramètres météo routiers uniquement lorsque la situation le requiert. Une telle approche permet d'optimiser les ressources affectées à la surveillance du réseau routier en dépit du volume important de données à analyser.

Le MTQ a également pris des initiatives pour exploiter les données météo-routières qu'il a collectées dans ses différents systèmes de façon à tirer des informations ou des connaissances dans le but de mieux planifier ses ressources et de mettre au point des schémas de décision pour les interventions en temps réel. L'utilisation de plusieurs formes de rapport et de rétrospective a conduit au constat suivant : les traitements et l'analyse des données météo routières doivent aboutir à des informations plus précises et ciblées et non à des généralités et des indicateurs basés sur des moyennes, et rapportés à des échelles de temps trop grandes. Sinon les informations qui en résultent ne donneront qu'une vision globale de la succession des événements météo routiers. Les comparaisons d'une période à une autre (qu'il s'agisse d'une saison, d'un mois, ou d'une quinzaine de jours) ne permettent pas de fournir des indications suffisamment précises pour comprendre l'enchaînement des opérations. Des exemples de représentation basée sur une vision globale se trouvent à l'annexe 1.

Depuis plusieurs années, les gestionnaires souhaitent regrouper et synthétiser l'information afin de mieux évaluer les coûts associés à l'entretien hivernal, tant au niveau des ressources en régie qu'au niveau des contrats octroyés aux autres intervenants en entretien hivernal (entreprises privées, municipalités). Les attentes des gestionnaires du MTQ se trouvent à différentes échelles de temps : à court terme pour l'amélioration des activités au cours de la saison d'entretien hivernal, à moyen terme pour obtenir des indicateurs permettant de mettre en place des modes de gestion adaptés aux réalités de l'entretien hivernal, et à long terme pour

contribuer à l'évolution et au transfert des connaissances en météo routière. Il est important de noter que les besoins du gestionnaire sont grandissants vis-à-vis des problèmes de relève dans le transport, et plus particulièrement pour les opérateurs et chauffeurs de camions lourds. Des démarches de compréhension et de valorisation du métier d'opérateur de véhicule de déneigement sont d'ailleurs organisées pour tenter d'attirer la main d'œuvre (Ouimet et Brown, 2008). Ces tendances du marché de l'emploi ont des impacts sur le recrutement de ces ressources spécialisées et sur le marché des appels d'offre pour lesquels la concurrence est moindre. De plus, le transport durable est un concept intégré dans toutes les activités du MTQ et l'effet des interventions d'entretien hivernal sur le milieu naturel est considéré avec attention.

2. Objectifs d'une gestion optimisée de l'information météo-routière

2.1. Finalité et but de la recherche

La recherche a pour finalité de contribuer à l'optimisation de la gestion l'information météo-routière tant sur le plan de l'aide à la décision et de la gestion des ressources pour l'entretien hivernal que sur le plan de l'information destinée aux usagers. La démarche correspond à la préoccupation de permettre la libre circulation des usagers de la route en toute sécurité et en utilisant des moyens qui respectent l'environnement (concept de transport durable). L'exploitation des données actuellement à la disposition du MTQ a en effet le potentiel d'améliorer la compréhension des phénomènes météo-routiers dans le but d'élaborer ou d'améliorer des outils d'aide à la décision et d'aide à la gestion. L'utilisation de ces outils permettra d'anticiper l'évolution des phénomènes météo-routiers et de communiquer les informations les plus à jour aux usagers.

Même si les travaux ne portent que sur une région particulière du Québec, les conclusions pourront globalement être appliquées à d'autres régions, car toutes les directions territoriales disposent des mêmes données, à l'exception des données collectées par la flotte de véhicules d'entretien. Des seuils et des règles qui tiennent compte des particularités régionales devront être cependant ajustés pour correspondre aux réalités locales.

Le but particulier de la recherche est de réaliser une analyse des besoins de la Direction de l'Estrée du MTQ, ainsi qu'une analyse des différents types de données qu'elle collecte actuellement. Il s'agit dans ce mémoire de proposer un type de gestion de l'information au sein de l'organisation du MTQ en Estrie, en se servant de données brutes issues de sources multiples. En effet, l'ensemble de ces données est déjà utilisé indépendamment dans le contexte des tâches courantes du MTQ, mais leur fusion et leur analyse pour des périodes ciblées mettront en valeur des informations et des connaissances pour une meilleure compréhension des phénomènes météo-routiers qui occasionnent des activités de la part du MTQ. Cette étape est indispensable pour prendre de meilleures décisions au moment des événements, pour mieux organiser, planifier et justifier les ressources nécessaires à l'atteinte des objectifs que se fixent les organisations routières en général.

2.2. Partir des données météo-routières pour aller vers l'information et les connaissances

Les données collectées par les différents systèmes d'information du MTQ constituent une matière première pour laquelle il est difficile d'y lire directement des informations. Le décideur ou le gestionnaire des ressources doit effectuer une série d'associations, utiliser plusieurs représentations s'il veut en tirer une information ou une connaissance qui lui permettra de se faire une idée précise de la situation météo-routière. Il est donc nécessaire d'identifier les principales attentes des décideurs et des gestionnaires du MTQ pour être en mesure de proposer des éléments d'information qui leur sont pertinents. La principale préoccupation de cette approche est donc de déterminer les faits saillants de l'analyse des besoins des gestionnaires et des décideurs du MTQ afin de mettre en valeur les questions fondamentales relatives à l'aide à la décision et à la gestion en entretien hivernal. Cette analyse doit évidemment être effectuée tout en intégrant les données actuellement disponibles au MTQ, afin de conserver une démarche d'optimisation et d'associer les solutions à des ensembles de données déjà existants. En effet, il n'est pas question ici de proposer des recommandations qui pourraient aboutir à des changements drastiques sur le mode actuel de collecte des données, et plus particulièrement sur les caractéristiques des équipements de mesure. L'analyse des besoins mettra en relief la complexité du domaine de l'entretien hivernal à partir des témoignages des experts et des intervenants du MTQ. Cette phase est primordiale

pour faire correspondre les caractéristiques de l'information issues du traitement des données aux éléments qui pourraient apporter une plus-value pour la décision et la gestion en entretien hivernal.

Les travaux de recherche se basent également sur l'hypothèse qu'en décomposant les événements météo-routiers en différents paramètres, selon des critères particuliers, et en termes d'impact sur la circulation routière, il est possible de mettre en valeur une combinaison de données qui fournira des informations ou des connaissances. Celles-ci pourront ainsi servir de base pour l'aide à la décision et la gestion des ressources, mais également pour informer spécifiquement l'utilisateur de la route des dangers actuels ou potentiels. Cette approche doit tenir compte des contraintes liées au mode actuel de collecte et de stockage des données dans l'organisation du MTQ.

À la lumière des constats et des pratiques actuelles dans le domaine de la météo-routière, les objectifs spécifiques de la recherche sont donc orientés de la façon suivante :

- Effectuer une synthèse des données météo-routière du MTQ en Estrie pour en faire l'inventaire et hiérarchiser les différents paramètres à utiliser.
- Trouver une dimension spatiale et temporelle commune à toutes les données afin d'établir une unité minimale géographique et une unité de temps correspondant à une information pertinente.
- Proposer une classification des événements météo-routiers dans le but d'identifier les situations météo-routières à risque et de les rattacher à plusieurs niveaux d'impact.
- Établir des liens entre les différentes données disponibles pour mettre en valeur des catégories de données qui aboutissent à des risques météo-routiers particuliers.

3. Méthodologie proposée pour répondre aux besoins du MTQ en Estrie

3.1. Faits saillants des besoins pour la décision et la gestion

L'ensemble des faits saillants de cette section ont été collectés au cours d'échanges avec le personnel du MTQ en Estrie, et sont également le fruit d'observations au cours de plusieurs années de réalisation de divers mandats pour le compte de cette Direction territoriale

La gestion de l'entretien hivernal du réseau routier, à la Direction du MTQ en Estrie, repose sur un cycle d'actions que le personnel opérationnel réalise avec le support du Centre intégré en monitoring (CIM) (Figure 6) Cette entité est au centre de l'organisation des interventions en collectant l'ensemble des données et en procurant des informations sur les événements météo-routiers



Figure 6 : Centre intégré de monitoring du MTQ - Estrie

La Figure 7 décrit les types d'action en fonction de l'échéance de l'événement-météo routier pour lesquelles le CIM doit effectuer une surveillance en se servant des informations météo-routières en temps réel. Ce processus démontre que la démarche du MTQ ne se limite pas seulement à déterminer l'arrivée des événements météorologiques (veille météo). Le CIM doit évaluer la possibilité de mesures d'atténuation pour d'éventuelles interventions préventives, contrôler la tendance des événements en cours même lorsque les opérations d'entretien ont débuté afin d'informer sur l'intensité de l'événement météo-routier initial. Enfin, les opérations font l'objet d'un suivi dans le but de prévenir l'occurrence de phénomènes susceptibles de compliquer les opérations en cours et de prolonger le retour à la normal des conditions de circulation routière, comme par exemple des vents de plus en plus importants ou un refroidissement notable. Il est donc important de décortiquer le déroulement des phénomènes météo-routiers et des actions d'entretien a posteriori de façon à procurer des moyens encore plus efficaces d'analyser rapidement les situations en temps réel.

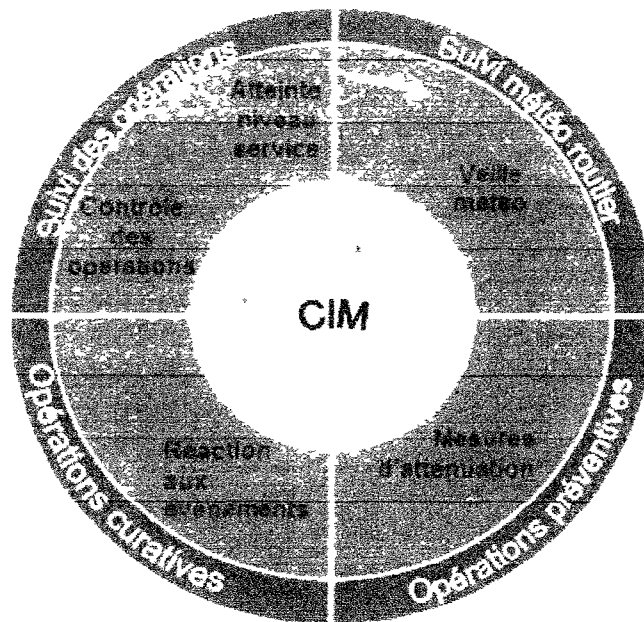


Figure 7 : Cycle des actions en entretien hivernal (MTQ - Estrie)

Par ailleurs, l'intégration des informations et des connaissances issues de l'analyse des données météo-routières s'effectue dans un contexte de formation du personnel. Le transfert des connaissances en prévision de la relève peut alors se faire avec de meilleurs outils de compréhension sur les phénomènes complexes de la météo routière. Depuis les dernières années, plusieurs initiatives ont été prises au MTQ, pour passer d'un mode de connaissance empirique à un mode technique, en établissant des relations entre les paramètres météorologiques et les phénomènes météo-routiers. Il n'en demeure pas moins que les efforts de formation doivent être continus et intégrer les modifications des pratiques de l'entretien hivernal, pour être en mesure de réaliser les interventions préventives ou curatives au bon moment, au bon endroit, à la bonne intensité et avec les bons moyens (Association des transports du Canada, 2003).

Le suivi météo routier est structuré sur le réseau d'informations météorologiques, et basé sur une meilleure connaissance des particularités locales du réseau routier de la région. Les préoccupations ne sont pas les mêmes d'un secteur à une autre et il est fréquent de constater des disparités quelquefois importantes sur le réseau routier selon le type d'événement météo routier. Afin de fournir des informations et des connaissances plus précises et d'améliorer les processus de surveillance, il est important de modéliser la détection des risques d'événements météo routiers selon des critères spatiaux à définir.

La prise de décision pour des interventions d'entretien hivernal doit être étayée avec des critères bien établis, dans le but de justifier et anticiper le dimensionnement des ressources ainsi que la préparation du matériel avant l'apparition des événements météo routiers. Une procédure plus précise supporterait le décideur, l'aiderait à hiérarchiser les risques, et prioriserait les interventions qu'il doit planifier sur le réseau routier en fonction des secteurs qui seront affectés en premier par les risques de glissement pour les actions curatives ou préventives, ou par les cas de mauvaises visibilité dans l'éventualité de fermetures de routes.

L'analyse des données pour les besoins de gestion nécessite également une méthode de détection des événements météo-routiers et plus particulièrement des indicateurs pour déterminer leur impact sur les conditions de circulation. Le gestionnaire du MTQ souhaite

disposer d'une représentation de l'intensité du déploiement de ses ressources, et mettre en perspective le type de situation météo-routière correspondante afin d'améliorer ses processus de gestion, et de mieux préparer ses ressources. Cette rétrospective s'applique après un événement météo-routier majeur, lorsqu'il souhaite faire le point au cours de la saison et à la fin de la saison pour effectuer un bilan général. Quelque soit la période d'étude, une pré-analyse doit être effectuée afin de cibler les événements les plus marquants. La méthode proposée dans cette recherche consiste à délimiter dans le temps les événements les plus marquants d'un point de vue météo-routier, et d'effectuer une analyse plus exhaustive en fonction du type d'événement météo routier qui a été ciblé. Cette démarche permet, d'une part, de conserver le maximum de détails des données uniquement pour les moments au cours desquels se déroule un événement pertinent, et d'autre part, de procurer des indicateurs à partir de données spécifiques selon les types de situations météo-routières.

3.2. Considérations pour la synthèse des données météo-routières

Les données météo-routières à considérer dans cette étude sont hétéroclites : elles se composent de mesures météorologiques, d'état de surface de la chaussée, de quantité de matériaux d'épandage utilisés, de position et de type d'activité. Les indications que chacune de ces données procurent font référence à un point fixe, un segment ou une localisation qui varie au cours du temps (plateforme mobile dans le cas du suivi des véhicules d'entretien). Un travail de description des données doit donc être effectué afin de synthétiser leur apport pour constituer une information et effectuer des liaisons avec d'autres types de données.

De plus l'ensemble des données multi-sources et indépendantes représente une masse importante de mesures dans un état brut. Des considérations particulières doivent être prises pour les réunir, être en mesure d'évaluer leur fiabilité et les formater avant même de les associer les unes aux autres pour les analyser. Les différents systèmes d'information dont elles sont issues ne sont pas reliés et des extractions indépendantes sont bien souvent nécessaires avant de pouvoir les regrouper.

3.3. Différenciation des situations météo-routières

Compte tenu des nombreux paramètres et de la complexité des phénomènes météo routiers, il est indispensable de mettre au point un processus d'analyse, plus précisément un modèle d'association des données selon les types d'événements météo routiers. Les données sont collectées en continu mais ne véhiculent pas la même pertinence pour le contenu de l'information. Les paramètres météorologiques ont des impacts fluctuant sur la glissance de la chaussée ou sur la détérioration de la visibilité. La méthode d'analyse choisie portera sur la détection d'événements météo-routiers significatifs et sur leur importance d'impact. La saison hivernale peut en effet être considérée comme une succession d'événements indépendants, espacés et distincts par leurs caractéristiques. Il est cependant nécessaire, pour ces événements ciblés, de disposer d'indicateurs suffisamment précis qui permettent d'effectuer les liens entre les caractéristiques météorologiques et routières, et les impacts en terme de conditions de circulation et d'interventions sur le réseau routier.

Des travaux ont été réalisé dans le sens de caractériser la rigueur des événements météo-routiers dans plusieurs pays concernés par une problématique de viabilité hivernale, mais dans le cadre d'une approche d'analyse globale. L'Association mondiale de la route (AIPCR) réfère à un classement des types de conditions hivernales utilisés dans ces pays (AIPCR, 2006) selon :

- la longueur et l'importance du gel pendant l'hiver;
- la fluctuation de la température de l'air autour de 0°C;
- la durée et l'intensité des chutes de neige;
- l'occurrence de verglas;
- la fréquence des brouillards givrants;
- la possibilité d'avalanches.

D'autre part, il existe des indices de rigueur hivernale qui servent aux organisations routières à améliorer la gestion de leurs ressources : le personnel, les véhicules d'opération d'entretien hivernal (Figure 8) et les matériaux d'épandage pour la fonte et l'augmentation de l'adhérence

sur les routes. Ces indices de rigueur hivernale ne sont pas universels et dépendent de variables spécifiques aux réalités climatiques et aux besoins de chacune de ces organisations routières. Cependant, les informations collectées pour établir les indices sont toujours relatives aux températures (de l'air, de la surface de la chaussée), aux précipitations et aux vents qui génèrent des situations de poudrière. Le Tableau 1 regroupe les principaux éléments retenus selon les pays (AIPCR, 2006, COST, 2002).

La démarche proposée dans ce mémoire consiste à intégrer les paramètres météo-routiers mais en les associant directement aux situations problématiques vécues par le personnel opérationnel du MTQ, et plus particulièrement aux états de surface qui font l'objet d'intervention pour améliorer l'adhérence des véhicules ou le dégagement des entraves (accumulations importantes de neige). À partir des types de risques identifiés, un processus d'analyse des données météo-routières fournira une information appropriée. Cette démarche permettra ainsi d'écarter la difficulté d'associer les variations d'un paramètre isolé à une atténuation ou une accentuation des événements météo-routiers.

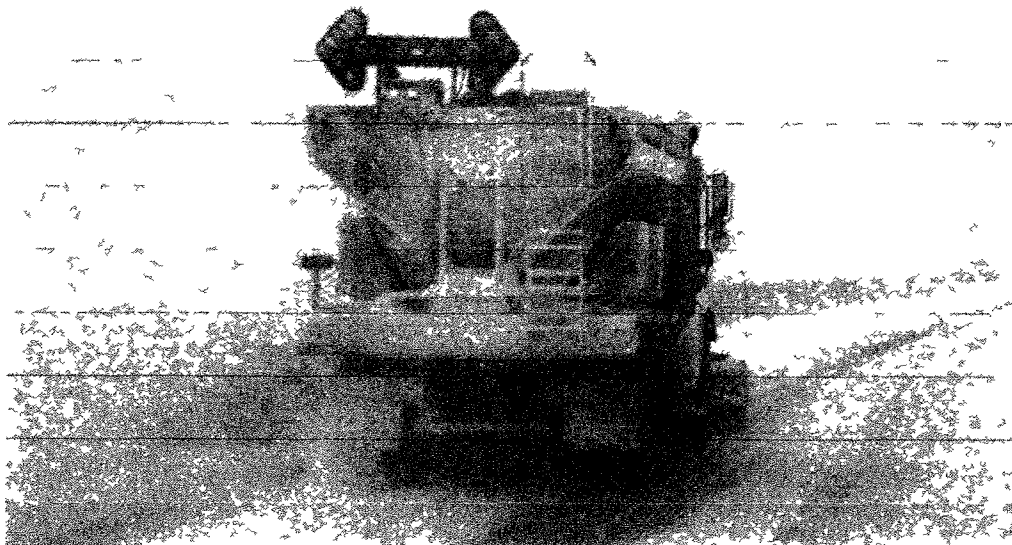


Figure 8 Camion d'entretien hivernal du MTQ en opération

Tableau 1 . Paramètres pour l'élaboration d'indices de rigueur hivernale dans plusieurs parties du Monde

	<i>Températures</i>	<i>Précipitations</i>	<i>Vents (poudrierie)</i>
<i>Belgique</i>	<i>Nombre de jour de gel à la surface de la route</i>	<i>Nombre de jours de neige avec température de surface < 0°C</i>	
<i>Allemagne</i>	<i>Fréquence des chutes de neige</i>		
<i>Danemark</i>	<i>Nombre de jour où la température de la surface de la route est < 0,5°C, < 0°C, et entre 0 et 0,5 °C</i>	<i>Nombre de jours avec chutes de neige de plus de 1 cm</i>	<i>Nombre de jours avec rafales de neige</i>
<i>États-Unis (Indiana)</i>	<i>Nombre de jours de gel</i>	<i>Nombre de jours de pluie verglaçante, importance des chutes de neige, épaisseur de la couche de neige, intensité ou durée de la tempête, température moyenne pendant les intempéries</i>	<i>Nombre de jours avec congères</i>
<i>États-Unis (Kansas et Minnesota)</i>	<i>Proportion de jours de gel, gammes de température, indice de température quotidienne</i>	<i>Moyenne de chute de neige quotidienne</i>	
<i>France</i>		<i>Nombre de jours de neige qui recouvre la route, nombre de jours de pluie verglaçante</i>	<i>Nombre de jours de neige ou de glace sur la route sans précipitation</i>
<i>Irlande</i>	<i>Moyenne des maximums de température, nombre de nuits avec gel du sol (ou de la surface de la chaussée)</i>	<i>Nombre de jours avec chutes de neige</i>	
<i>Suisse</i>	<i>Nombre de jours où la température de l'air est < 0°C, températures de l'air, minimum de la température de l'air</i>	<i>Nombre de jours avec chutes de neige, quantité de neige, quantité de précipitation, nombre de jours avec la route recouverte de neige</i>	
<i>Norvège</i>	<i>Données des systèmes d'information météo-routiers (précipitations, vent, variation de température autour de 0°C, humidité, etc)</i>		
<i>Suède</i>	<i>Données des systèmes d'information météo-routiers qui sont classées selon 8 situations</i>		

3.4. Schéma méthodologique

La Figure 9 reprend les principales étapes de la recherche identifiées dans la présente section (Méthodologie proposée pour répondre aux besoins du MTQ en Estrie) et oriente ainsi la présentation des résultats de la recherche.

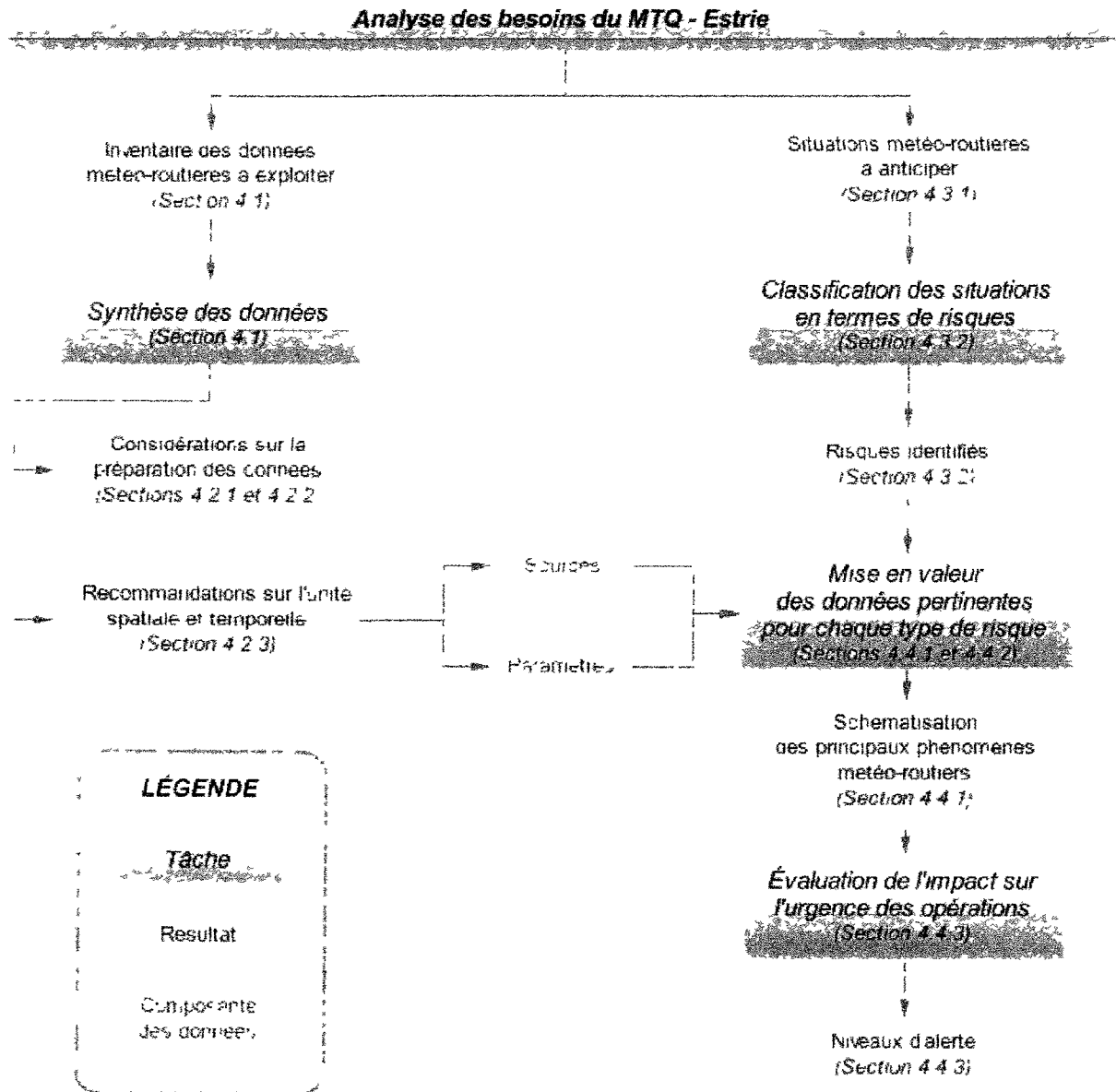


Figure 9 · Transformation des données météo-routières en information adaptée

4. Résultats du modèle conceptuel de gestion des données météo-routières

4.1. La synthèse des données météo-routières à disposition du MTQ-Estrie

4.1.1. Les données climatiques

Environnement Canada est la source officielle d'information météorologique au Canada et les archives nationales d'information et de données climatologiques sont accessibles sur Internet (Environnement Canada, 2009). Elles regroupent deux types de données :

- les données quotidiennes pour lesquelles la température de l'air (maximum, moyenne et minimum), la hauteur des précipitations totales ainsi que la vitesse et la direction de la rafale de vent maximum (le cas échéant) sont disponibles;
- les données horaires où la température de l'air, le point de rosée, l'humidité relative, la direction et la vitesse des vents, la visibilité, la pression atmosphérique, le refroidissement éolien et le temps sont indiquées.

Pour la région de l'Estrie, l'Aéroport de Sherbrooke est l'unique station météorologique qui procure l'intégralité des données. De plus, les hauteurs de précipitations totales fournissent une information simplifiée (tirée de l'équivalent en eau) compte tenu de l'absence d'un observateur qui effectue les relevés sur une table à neige.

Le recours à une autre ressource telle que le service d'Info-Climat du ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) permet d'avoir accès à des données de maximum et minimum de la température de l'air, ainsi qu'à des données de hauteur de précipitation en de nombreux points. Pour la région de l'Estrie, un réseau de 16 observateurs est réparti sur le territoire (Figure 10). La hauteur de neige et de pluie est mesurée manuellement ce qui lui confère une bonne qualité d'information, indépendamment de la quantité d'équivalent en eau qui varie selon le type de neige. Les données peuvent être envoyées dans un fichier plat par le service d'Info Climat, division du MDDEP, en défrayant un coût modique établi en fonction du nombre d'octets.

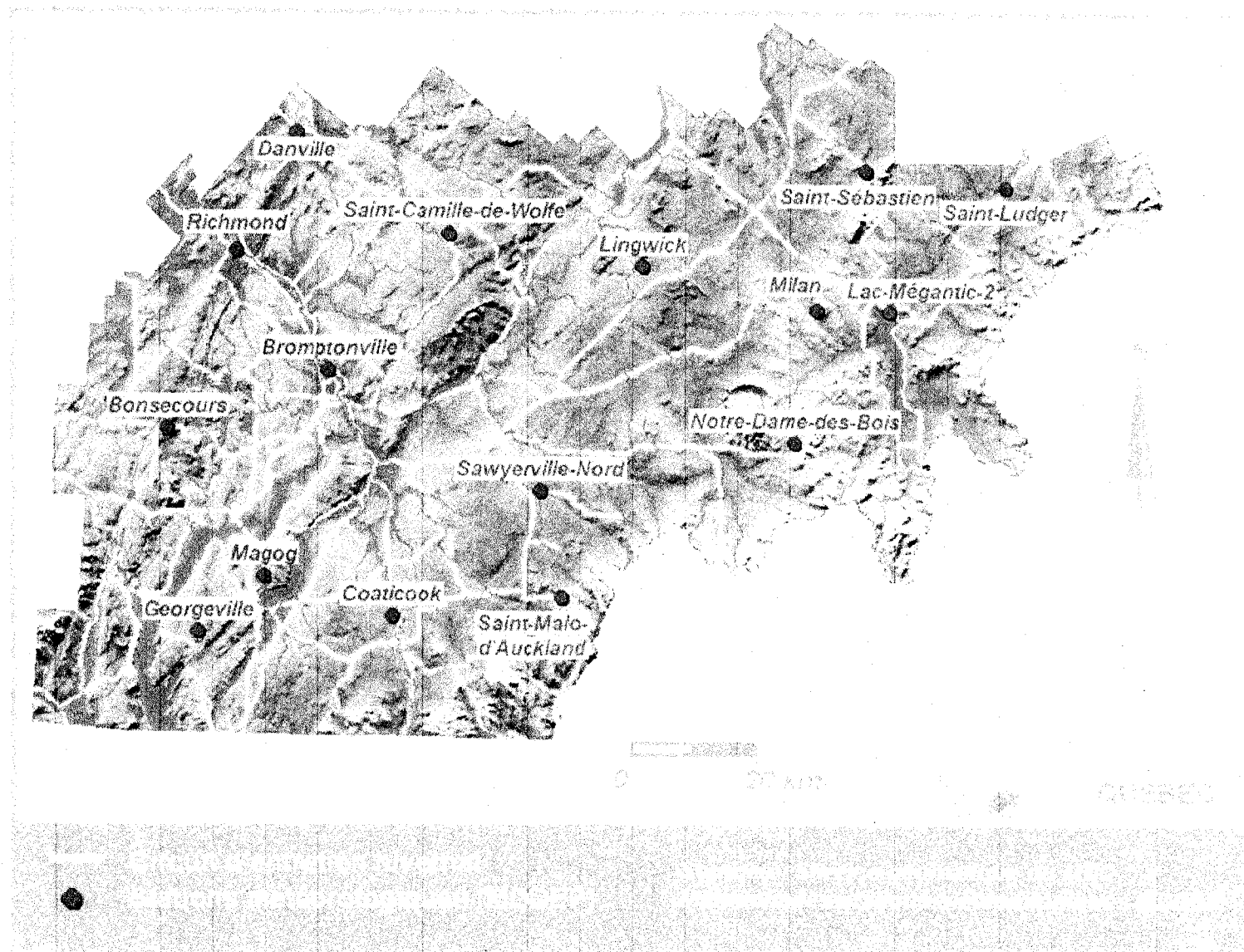


Figure 10 : Répartition des stations météorologiques (MDDEP)

4.1.2. Les données de condition routière

Le MTQ donne une information sur l'état de la chaussée et de la visibilité tout au cours de la période d'entretien hivernal à l'ensemble des usagers de la route. Plusieurs médias servent de relais à cette information, dont très récemment le service 511 qui met à la disposition du public une ligne téléphonique avec boîte vocale automatisée et un site Internet doté d'une carte dynamique (Transport Québec, 2008). L'utilisateur est donc informé selon une terminologie normalisée par le MTQ. Les termes employés servent à qualifier l'état de la chaussée et de la visibilité, à l'aide d'un cadre méthodologique précis (MTQ, 2004) :

- chaussée dégagée : la route est dégagée de glace ou de neige sauf peut-être sur le marquage routier;
- chaussée enneigée par endroit : la neige recouvre la route à certains endroits, partiellement ou complètement;
- chaussée glacée par endroit : la glace recouvre la route à certains endroits, partiellement ou complètement;
- chaussée partiellement enneigée : la neige recouvre la chaussée mais au moins deux bandes de roulements sont presque toujours dégagées;
- chaussée partiellement glacée : la glace recouvre la chaussée mais au moins deux bandes de roulements sont presque toujours dégagées;
- chaussée enneigée : sur une grande partie du trajet, la neige recouvre la route;
- chaussée glacée : sur une grande partie du trajet, la glace recouvre la route;
- bonne visibilité : il est possible de voir au-delà de 500 mètres;
- visibilité réduite : pour des endroits localisés ou sur l'ensemble du trajet, la visibilité est comprise entre 100 et 500 mètres;
- visibilité nulle par endroit : à certains points, la visibilité est inférieure à 100 mètres;
- visibilité nulle : sur l'ensemble du trajet, la visibilité est inférieure à 100 mètres.

Pour offrir une information de qualité comparable d'une région du Québec à une autre, les éléments d'évaluation des conditions de chaussée ou de visibilité à la disposition des

patrouilleurs sont encore plus précis et font référence à des seuils de pourcentage du tronçon de route évalué, des longueurs ou largeurs minimum, ou encore à des consignes relatives aux différents voies que peut comprendre une route (deuxième voie, voie d'accès, etc) Cette exhaustivité dans la méthode d'évaluation des conditions routières par le personnel qui effectue les patrouilles de surveillance assure une meilleure fiabilité de la donnée

L'information délivrée aux usagers de la route est simplifiée en utilisant le croisement des états de la chaussée et de la visibilité pour aboutir à quatre niveaux principaux associés à des slogans (Figure 11):

- bonne condition routière : "soyez prudent !"
- passable : "soyez vigilants et accordez-vous du temps !"
- critique : "si possible, reportez votre déplacement !"
- fermée : "désolé, ça ne passe pas !"

Chaussée \ Visibilité	Visibilité			
	BONNE	REDUITE	NULLE PAR ENDRROITS	NULLE
DÉGAGÉE	Passable	Passable	Critique	Critique
ENNEIGÉE PAR ENDRROITS	Passable	Passable	Critique	Critique
GLACÉE PAR ENDRROITS	Passable	Passable	Critique	Critique
PARTIELLEMENT ENNEIGÉE	Critique	Critique	Critique	Critique
PARTIELLEMENT GLACÉE*	Critique	Critique	Critique	Critique
ENNEIGÉE	Critique	Critique	Critique	Critique
GLACÉE	Critique	Critique	Critique	Critique
BARÉE	Fermée	Fermée	Fermée	Fermée

* ne pas fondre de neige d'urgence

Figure 11 : Terminologie des conditions routières hivernales du MTQ
(MTQ, 2004)

Le système utilisé au MTQ pour effectuer la compilation des informations alimente une base de données qu'il est possible d'interroger par des requêtes et ainsi disposer de l'historique pour l'analyse des conditions routières selon les périodes souhaitées. La base de données indique par date pour chaque changement d'état de chaussée ou de visibilité l'heure de début. En plus des changements d'état, la condition routière est indiquée sur une base régulière, deux fois par jour. Cette information est d'autant plus intéressante qu'elle permet de prendre directement connaissance de l'impact des événements météo routiers qui affectent la sécurité ou la fluidité de la circulation routière : la présence de neige ou de glace sur la chaussée, ou une visibilité altérée. Pour les autres types de données, les impacts sont évalués indirectement.

Une révision de la terminologie est actuellement en cours afin d'uniformiser les termes employés pour la description des conditions de circulation hivernales à travers le Canada (Baril, 2010). Des nuances ont été apportées notamment sur le type d'enneigement en précisant s'il s'agit de neige durcie qui n'a pas le même impact en termes d'adhérence. De plus, pour une chaussée dégagée, il sera dorénavant mentionné si celle-ci est sèche ou mouillée permettant d'évaluer ainsi le risque de congélation et de formation de glace. L'information de visibilité aurait également été revue car les perceptions varient d'une organisation routière à une autre.

4.1.3. Les données de stations météo-routières fixes et mobiles

La Direction du MTQ en Estrie a mis en place un réseau de stations météo-routières à partir de 2002, (Figure 12). Aujourd'hui dix stations météo-routières enregistrent des données toutes les 10 minutes. L'emplacement des stations (Figure 13) a été choisi soit en fonction de l'importance de la circulation routière sur des axes routiers stratégiques, soit en fonction de secteurs particuliers pour lesquels les événements météo routiers sont plus fréquents.

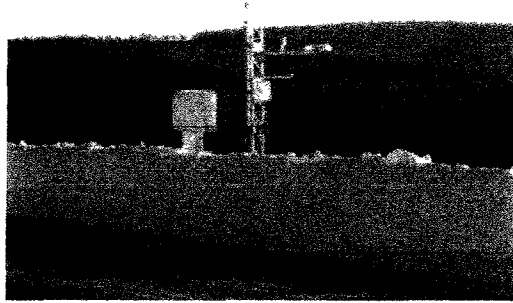


Figure 12 : Station météo-routière le long de la route (St-Malo)

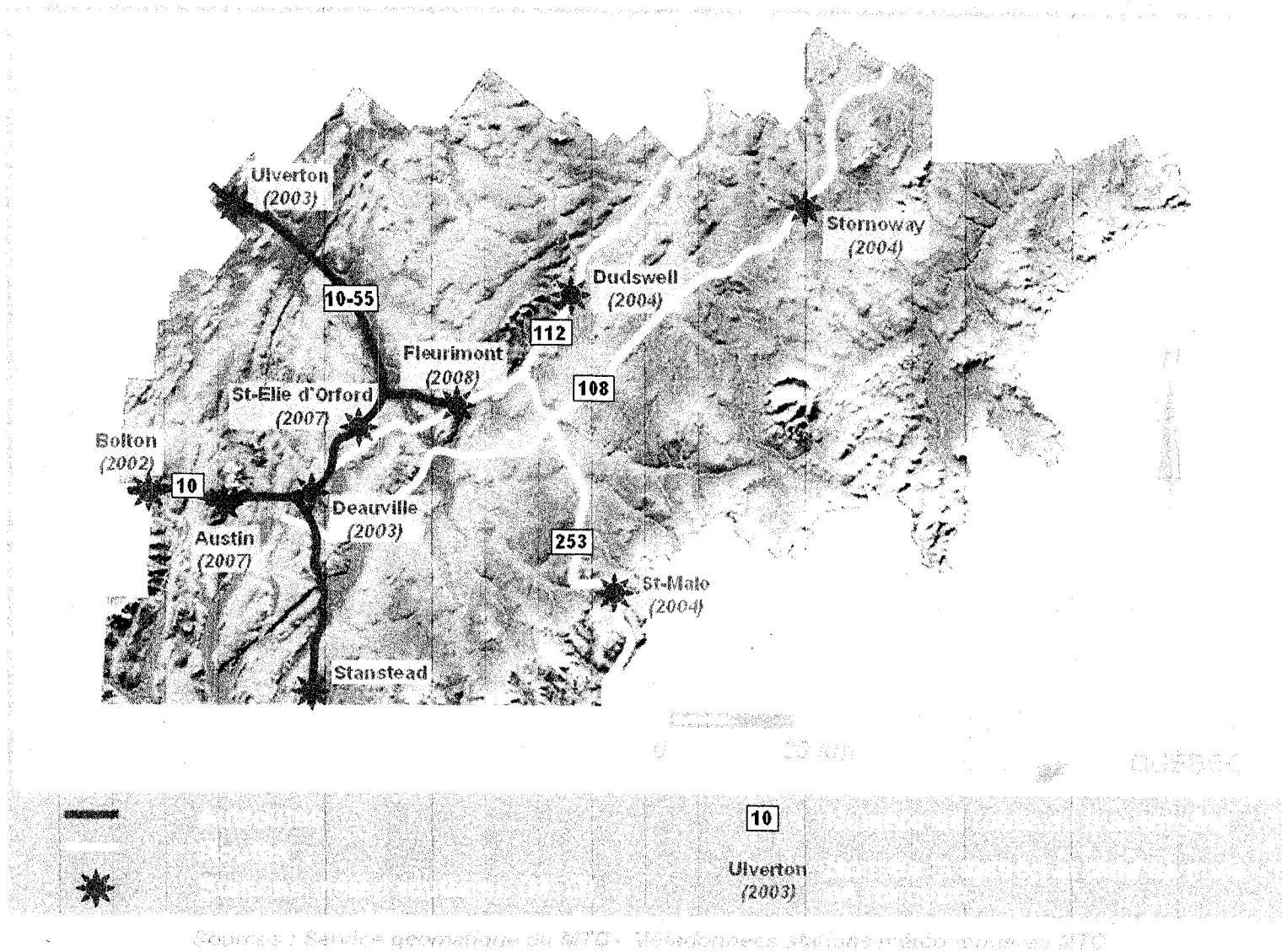


Figure 13 : Emplacement des stations météo routières et date de mise en service

Les stations météo routières collectent différents types de mesures pour obtenir une représentation de l'environnement à proximité de la chaussée : pression atmosphérique, température de l'air ambiant, humidité de l'air ambiant (Figure 14), température de surface de la chaussée, température à différentes profondeurs dans la chaussée, direction et vitesse du vent, détection des précipitations (Figure 14). Une seule station est dotée de capteurs additionnels pour la mesure de la hauteur de neige accumulée sur la chaussée ainsi que du bilan radiatif et pour la détection de l'état de surface. Trois stations à équipement limité (St-Elie d'Orford, Fleurimont et Austin) effectuent uniquement des mesures relatives à la température et à l'humidité de l'air, la température de la surface de la route et dans le corps de la chaussée.

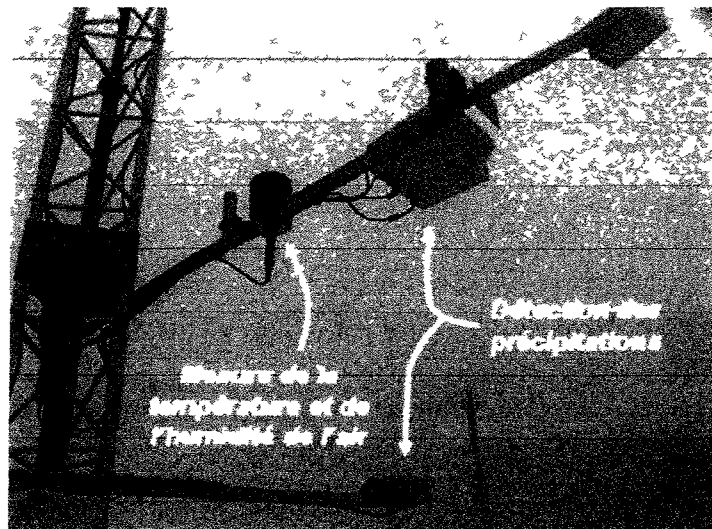


Figure 14 Exemple d'équipement de mesure des stations météo-routières fixes du MTQ

Les mesures génèrent des données directes ou indirectes, résultant de calculs à partir des premiers paramètres. Par exemple, la température du point de rosée est un paramètre calculé à partir de la température de l'air, de l'humidité relative de l'air et de la pression atmosphérique (Lapointe, 2008). Une liste fait état de l'ensemble des données disponibles sous forme de tableau à l'annexe 2.

L'analyse de l'ensemble des mesures effectuées aux stations météo-routières est complexe à cause du grand volume de données (celles-ci sont disponibles à un pas de temps de dix minutes 24 heures sur 24). Ces données sont d'une grande valeur puisqu'elles permettent d'identifier les paramètres à la source des événements météo-routiers. Entre autres, la représentation graphique des données sur une interface Intranet du MTQ permet d'avoir une bonne compréhension de l'évolution des mesures, et de faire des relations, par exemple, entre le comportement de la courbe de la température de la surface de la chaussée et les autres paramètres qui l'influencent (phénomènes de convection, de conduction ou de rayonnement). Les informations ou connaissances tirées des données des stations météo routières procurent d'excellents moyens didactiques puisqu'elles sont directement liés aux événements qui ont eu lieu dans la région concernée et sur un secteur du réseau routier en particulier. Mais ces données ont davantage de potentiel sur le plan de l'analyse en les combinant à d'autres sources d'information pour documenter, par exemple, les concepts théoriques du comportement thermique de la chaussée en fonction des propriétés de son environnement, élément de connaissance primordial pour la compréhension de l'impact des événements météo-routiers (Cluett and Jenq, 2007)

4.1.4. Les données collectées à bord des véhicules

Une variante mobile de station météo-routière a été conçue par le MTQ (Direction du soutien aux opérations) afin de permettre au personnel opérationnel d'évaluer l'environnement météo-routier au cours de ses déplacements en véhicule de patrouille (Figure 15). Cette initiative a été reconnue dans le milieu des Transports pour son esprit d'innovation et s'est fait récemment remettre le prix d'ingénierie en sécurité routière par l'Association des transports du Canada (Charrier, 2009). Dans une première version de station météo-routière mobile, des capteurs ont d'abord été installés à bord des véhicules du MTQ et ont pu servir d'aide à la décision par simple consultation d'un module d'affichage. Depuis que des moyens de plus en plus efficaces ont pu être mis en œuvre en termes de technologie de communication, la station météo-routière mobile est équipée d'un mini-ordinateur robuste assemblé par le MTQ. Celui-ci permet désormais de stocker les données de plusieurs façons grâce à l'architecture ouverte du système d'acquisition, sur lequel il est très facile de brancher n'importe quel type de capteurs, et de configurer une fréquence de collecte indépendante pour chaque capteur. Actuellement les

données suivantes sont collectées la température de l'air, la pression atmosphérique, l'humidité relative (et le calcul de la température du point de rosée), la température de surface de la chaussée et l'altitude



Figure 15 Véhicule de surveillance routière du MTQ - Estrie

Un deuxième système d'acquisition de données issues de capteurs sur plateforme mobile a été mis en place au MTQ depuis plusieurs années la communication véhiculaire de données (CVD) Il s'agit ici de données plus particulièrement opérationnelles et qui renseignent sur la localisation et le type d'activité en cours des véhicules d'entretien hivernal Les données sont mises à disposition sur une interface cartographique en temps réel qui offre ainsi la possibilité de prendre connaissance du déploiement des ressources sur le réseau routier à l'occasion d'un événement météo-routier Le niveau de l'information sur les activités d'entretien hivernal a considérablement augmenté et le volume des données collectées est gigantesque, particulièrement pour les données qui sont mesurées en temps réel (mesures toutes les 30 secondes ou à chaque changement) La quantité de données cumulées correspond environ à une moyenne de 90 000 enregistrements par camion et par saison hivernal, pour lesquels sont consignées plus d'une vingtaine de variables

Les CVD font référence d'une manière générale à plusieurs types d'informations :

- l'identification et la localisation des véhicules ainsi que l'heure du point de relevé;
- la vitesse et la direction du déplacement;
- l'environnement météo-routier (la température ambiante, la température de la surface de la chaussée, l'humidité de l'air, la pression atmosphérique);
- le type d'activité d'entretien hivernal en cours (déplacement, chasse-neige sur la chaussée, épandage de matériaux fondants ou abrasifs).

Il est pertinent d'exploiter ce type de données dans le cadre d'une évaluation d'un événement météo-routier sur deux plans. Le premier pour ce qui est des informations relatives à l'environnement météo-routier notamment pour détecter des changements majeurs de valeurs pour certains paramètres météo-routiers d'un circuit d'entretien à un autre. Le deuxième permet quant à lui d'avoir des renseignements sur l'intensité des activités d'entretien, comme par exemple les durées de "grattage" de la chaussée (opérations de chasse-neige) ou d'épandage de matériaux fondants ou abrasifs (quantité par kilomètre, proportion de fondant par rapport aux abrasifs).

La disponibilité des données issues des CVD est tributaire de la certification des véhicules d'entretien hivernal. Cette procédure, qui consiste à déclarer conforme le fonctionnement et la précision des capteurs installés sur le véhicule, se répète au début de chaque saison d'entretien hivernal et prend un laps de temps pendant lequel les données ne sont pas collectées.

4.1.5. Les données de consommation de matériaux d'épandage

Chaque intervenant, la régie du MTQ ou les maîtres d'œuvre du MTQ, tient à jour un registre dans lequel il est fait état de la consommation des matériaux d'épandage, en dissociant les quantités de sel de voirie, et les abrasifs. Le MTQ centralise la collecte de ces informations par des bordereaux ou en mettant à disposition des intervenants un accès en ligne au système de saisie sur le registre des opérations hivernales (ROH). Ces données de consommation de matériaux d'épandage sont donc compilées pour l'intégralité des circuits d'entretien hivernal. Les quantités de matériaux d'épandage étaient jusqu'à récemment enregistrées par quinzaine.

Mais il est maintenant possible, pour de plus en plus de circuits d'entretien, d'avoir accès aux quantités consommées pour chaque journée. Le degré d'information est suffisamment détaillé pour intégrer cette donnée dans les analyses afin d'évaluer les efforts consentis par circuit d'entretien hivernal pour contrôler l'adhérence de la chaussée.

4.2. La préparation des données en vue d'une information pertinente

4.2.1. Le regroupement des données

L'ensemble des données météo-routière du MTQ doivent être triées, ordonnées et incrémentées pour les regrouper dans un format commun. La collecte et le regroupement des données constituent donc la première étape nécessaire, étant donné que chacune des sources n'utilise pas le même type d'application informatique. L'information sur l'origine des données est également consignée afin d'aviser l'utilisateur final sur leur degré de fiabilité.

Tout d'abord, le système de traitement de l'information pour les conditions routières est conçu pour collecter les états de la chaussée ou de la visibilité avec pour chaque changement et à deux reprises dans la journée, avec pour indications le tronçon routier concerné et l'heure de début. L'historique des données est accessible sur un site intranet du MTQ avec lequel il est possible de faire un "copier/coller" dans un tableur.

Pour les stations météo-routières, les données sont disponibles en temps réel sur une interface sur l'intranet du MTQ, et pour chaque station météo-routière, à la fin de chaque journée, les données compilées aux dix minutes sont placées dans une base de données sur le serveur du MTQ. Les données peuvent être exportées à partir d'un système de gestion de base de données vers une autre base de données.

Le système pour le registre des consommations de matériaux d'épandage dispose d'une interface sur le site intranet du MTQ qui offre la possibilité d'exporter les données vers le tableur.

Pour le système des CVD, plusieurs alternatives d'importation sont utilisées actuellement au MTQ, en fonction du volume de données à extraire. Des procédures offertes directement aux

utilisateurs devraient être disponibles bientôt.

Les données numériques fournies par le MDDEP pour les 16 stations surveillées par des observateurs, sont envoyées en format ".txt" à partir duquel il est possible de reconstituer une table de chiffres avec les entêtes correspondant selon l'ordre des données.

Enfin les données climatiques globales sont quant à elles disponibles sur le site Internet d'Environnement Canada (Environnement Canada, 2009), à partir duquel les données peuvent être transférées sur un tableur.

4.2.2. La validation des données

Les données du MTQ ont une fonction particulière dans l'organisation interne et n'impliquent pas systématiquement des validations approfondies dans le cadre de leur utilisation. Leur intégration dans une approche de gestion de l'information météo-routière fait appel à plusieurs traitements pour leur acquisition, compte tenu de leur lieu de stockage ou de leur format particulier. Une première évaluation de la fiabilité des données a été effectuée à partir des informations obtenues à propos de la collecte ou de la saisie des données. Ceci a été réalisé dans le but de constituer une documentation complète des sources de données et, le cas échéant, des avertissements aux lecteurs pour offrir la possibilité au décideur ou au gestionnaire de mieux interpréter les informations ou connaissances mises en valeur sur les supports visuels. Aussi, pour chaque type de données, le Tableau 2 résume les constats qui donnent des indications au lecteur sur le degré de fiabilité de l'information.

Tableau 2 : Indications pour l'évaluation de la fiabilité des données météo-routières à disposition du ministère des Transports du Québec - Estrie.

<i>Type de données</i>	<i>Collecte des données</i>
Conditions routières	Les responsables des patrouilles de surveillance indiquent la condition routière et suivent chaque année une formation pour la terminologie qu'ils emploieront. Des vérifications sont effectuées par du personnel indépendant pour assurer la qualité de l'information.
Données climatiques (Ministère du développement durable et des parcs)	Les données sont collectées par des observateurs deux fois par jour. La cohérence de l'ensemble des données est ensuite vérifiée par un spécialiste pour une approbation des données.
Données climatiques Environnement Canada	Les données sont collectées de façon automatisée puis suivent un processus de validation.
Stations météo routières du ministère des Transports du Québec (MTQ)	Les mesures suivent un premier processus de validation avant leur transmission vers le serveur. Les capteurs sont vérifiés et calibrés au début de chaque période d'entretien hivernal.
Consommations des matériaux d'épandage	La saisie de la quantité est estimée par l'opérateur à partir du nombre de godets du chargeur pour le chargement du camion. Les bordereaux sont ensuite saisis par le personnel administratif.
Communication véhiculaire de données	Les données sont transmises au fournisseur de données qui effectue des regroupements d'envoi vers les bases de données du MTQ.

La validation des données consiste avant tout à s'assurer que les enregistrements de la base de données ne contiennent pas de valeurs anormalement extrêmes. Il arrive en effet que ce phénomène se produise ponctuellement suite à une défaillance du capteur, de la communication, ou encore suite à des erreurs de saisie selon le type de données. Ces valeurs importantes influencent les calculs effectués pour l'utilisation d'indicateurs statistiques et peuvent facilement induire en erreur pour la détection d'événements météo routiers. La vérification de la continuité des mesures est un autre aspect de la validation des données car, pour certaines sources, l'absence de données pour une période trop importante, peut justifier leur rejet dans l'analyse. La première étape de la méthodologie utilisée consiste à effectuer un classement des valeurs moyennes pour la détection d'événements marquants ce qui nécessite donc une bonne fréquence des données tout au long de la saison d'entretien hivernal.

Le Tableau 3 donne un exemple de la validation du contenu de la base de données des stations météo-routières du MTQ. Pour la majorité des stations les différents paramètres ont un pourcentage de données manquantes faible. Cependant, l'intégralité des données est indisponible pour une station (St-Malo) pour l'ensemble des paramètres. La cause est un défaut de transfert des données entre deux entités du MTQ : les données sont existantes dans la base de données primaire du MTQ, mais manquantes au niveau régional. Ce traitement des données a donc eu l'avantage de détecter certains problèmes et d'améliorer les procédures en place pour un fonctionnement optimisé. Il s'agit là d'un point intéressant pour les organisations routières afin de maintenir le potentiel de leurs données pour leur future mise en valeur.

Tableau 3 Données manquantes pour les données de stations du MTQ (2008-2009)

	BOLTON	DEAUVILLE	DUDSWELL	STORNOWAY	ULVERTON	SAINT-MALO
Température de l'air	2%	2%	1%	0%	0%	100%
Humidité de l'air	2%	2%	1%	0%	0%	100%
Point de rosée	2%	2%	1%	0%	0%	100%
Pression	2%	2%	1%	0%	0%	100%
Température de surface	2%	2%	1%	0%	0%	100%
Température à -40 cm	2%	3%	1%	0%	100%	100%
Vitesse du vent	2%	2%	1%	0%	0%	100%
Direction du vent	2%	2%	1%	0%	0%	100%
Rafales	2%	2%	1%	0%	0%	100%
Type de précipitation	2%	3%	2%	1%	1%	100%
Visibilité	2%	3%	2%	1%	1%	100%

Un autre exemple de l'intérêt de la validation des données est fourni par la figure 16 avec un rapport entre les températures de l'air et les types de précipitations détectés par les capteurs en place sur les stations météo-routières du MTQ. Ce capteur, appelé WIVIS (Figure 14), fonctionne sur un principe optique et acoustique. Un faisceau est émis puis réfléchi dans un miroir vers un élément optique qui détermine les caractéristiques des particules. Une deuxième partie du capteur, orientée vers le ciel, reçoit les précipitations et analyse le bruit créé lorsqu'elles l'atteignent.

Le WIVIS tel qu'il a été configuré pour le MTQ est en mesure de déterminer 78 informations distinctes au sujet des précipitations. Pour la période d'entretien hivernal du réseau routier en 2008-2009, 29 informations distinctes ont été regroupées en 8 catégories : brume, brouillard, bruine, pluie, neige, granule de glace, orage, précipitation non déterminée. Bien que ce capteur soit très précis et est en mesure de fournir des informations de qualité, la mise en graphique des mesures effectuées pour la période 2008-2009 révèle des incohérences ou des interprétations difficiles à intégrer dans le contexte des événements météo-routiers

La Figure 16 met en valeur la répartition des précipitations en fonction de la température de l'air entre deux stations météo-routières situées à une vingtaine de kilomètres l'une de l'autre, et avec moins de 15 mètres d'altitude de différence. D'importantes disparités sont constatées :

- des détections de pluie bien inférieures pour la station de Deauville;
- des détections de neige plus nombreuses pour la station de Bolton;
- des détections de granule de glace inexistantes pour la station de Bolton et nombreuses pour la station de Deauville;
- des détections d'orage uniquement pour la station de Deauville;
- une proportion plus importante de précipitations non déterminées pour la station de Bolton.

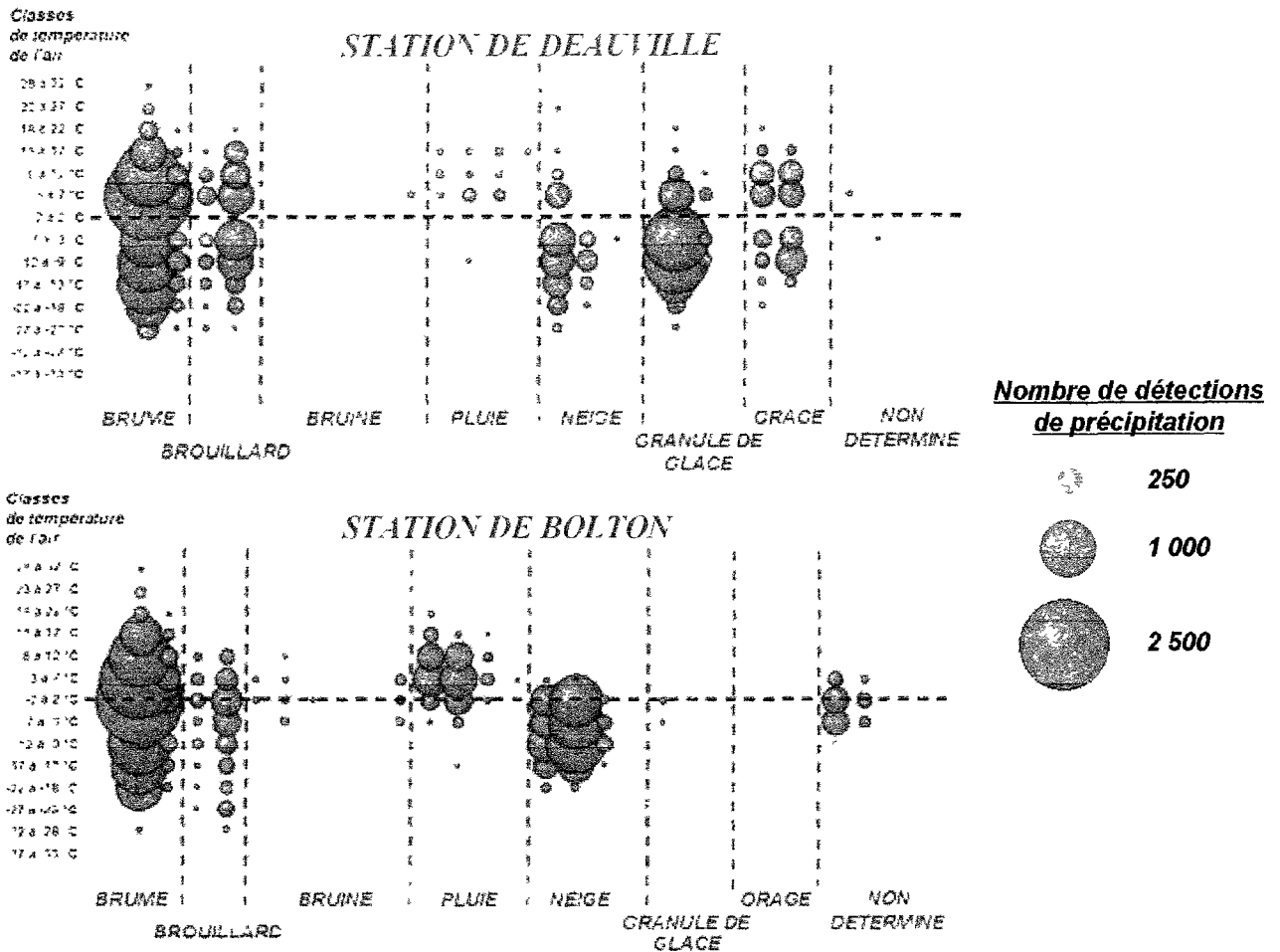


Figure 16 : Validation des données de précipitations collectées par le capteur WIVIS (MTQ - Estrie, période hivernale 2009-2010)

L'examen de la Figure 16 suscite quelques questions :

- les mesures fournies par un des deux capteurs sont-elles valides ?
- les différences de mesures peuvent-elles s'expliquer partiellement par une différence de conditions climatiques très limitées (microclimat) ?
- des interférences au cours du processus de mesures peuvent-elles expliquer ces différences alors que les capteurs ont fait l'objet tous les deux de calibrations régulières ?

Quoiqu'il en soit, le moyen de minimiser les impacts sur l'information tirée à partir des données météo-routières est de réduire les écarts de mesures en ayant recours à une

classification des principaux critères ayant une influence sur la dégradation des conditions de circulation routière, et de recourir à plusieurs sources de mesures pour en tirer une information valide. Dans le cas des précipitations, un croisement entre les données de stations météo-routières peut être réalisé avec les observations réalisées par le MDDEP (utilisation biquotidienne de "table à neige" pour la mesure des hauteurs).

4.2.3. Dimension spatiale et temporelle des données

Les données doivent ensuite être uniformisées pour établir des correspondances dans le temps, avec des incréments de temps communes, et dans l'espace, en ayant recours à des unités géographiques communes (Tableau 4). Leur combinaison devient alors possible pour réaliser une analyse globale et vérifier les premières hypothèses émises pour la compréhension des phénomènes météo-routiers mis en valeur dans l'analyse des besoins. Le volume de l'ensemble des données doit cependant être réduit de façon à faciliter le traitement pour une analyse globale et en rendant possible la comparaison des données dont les incréments sont différentes (Tableau 4).

Tableau 4 : Fréquence et nombre des données météo-routières collectées

<i>Type de données</i>	<i>Fréquence de la collecte</i>	<i>Nombre d'entités</i>
Conditions routières	Deux fois par jour et aux changements	19 tronçons routiers
Données climatiques MDDEP	Deux fois par jour	16 stations
Données climatiques Environnement Canada	Une fois par jour	1 station (aéroport de Sherbrooke)
Stations météo routières du MTQ	Toutes les 10 minutes	10 stations dont 3 fournissent une information partielle
Consommations des matériaux d'épandage	Une fois par jour	63 circuits d'entretien hivernal
Communication véhiculaire de données	Chaque 30 secondes lorsque le véhicule est en activité	Jusqu'à 28 véhicules pour les entreprises privées et jusqu'à 18 véhicules pour la régie du MTQ

Dans le cadre d'une mise en valeur des événements météo-routiers sur une longue période, comme par exemple l'ensemble de la saison d'entretien routier hivernal, des informations basées sur des indicateurs statistiques de mesures ramenées au mois, à la quinzaine ou à la semaine ne sont pas significatifs à l'échelle des événements météo-routiers et n'apportent pas d'information sur la nature de leurs impacts. En effet, s'ils procurent une information globale sur la consommation de matériaux d'épandage, il est difficile de savoir à quoi celle-ci correspond pour les événements météo-routiers en termes de nombre, de durée, d'intensité et d'impact sur la circulation routière. De plus, les phénomènes météo routiers, qui sont à l'origine d'événements occasionnant une glissade ou une moins bonne visibilité, dépendent d'une combinaison de facteurs qui sont difficilement repérables par des indicateurs statistiques portant sur plusieurs jours. Le traitement des données pour une période supérieure à une journée, à l'intérieur de laquelle les variables statistiques fournissent pourtant quelques indications, conduit obligatoirement à la réduction ou à la perte d'information.

L'utilisateur d'un système d'information météo-routier est toujours confronté au désir d'accéder à un niveau de détail suffisant pour la pertinence de l'information sans pour autant subir les conséquences néfastes du traitement de gigantesques bases de données. Les recommandations pour résoudre ce dilemme ne peuvent malheureusement pas être universelles et applicables à chaque problématique des organisations routières. Il est par exemple nécessaire d'avoir recours à des niveaux d'échelles de temps et d'espace emboîtés, pour lesquels le niveau d'agrégation des données est de plus en plus fin. Mais il est, avant tout, primordial d'établir un lien direct entre l'information issue du traitement des données et l'expression des besoins particuliers ou des réalités météo-routières spécifiques à chaque organisation routière. En effet, seuls quelques paramètres sont reliés à des types d'événements qui peuvent être ciblés et pour lesquels une région est plus sensible qu'une autre.

Aussi, les données à exploiter doivent, à un moment ou à un autre, être rattachées à une entité géographique. Seul un travail d'analyse spatiale approfondi peut répondre à la nécessité d'interpoler les données de sources ponctuelles qui sont essentielles à l'anticipation, la surveillance ou la compréhension des événements météo-routiers. Les dimensions spatiale et

temporelle des paramètres à intégrer compliquent le traitement des données météo-routières pour lesquelles un événement peut évoluer en une situation routière facilement gérable ou, au contraire, impliquant d'importantes ressources en durée ou en intensité. Un des moyens de satisfaire à ces exigences est de sélectionner les événements météo-routiers qui engendrent des situations difficiles à contrôler selon les régions, et de les considérer individuellement afin de les relier à des paramètres clefs et ainsi être en mesure de modéliser leur détection.

4.3. L'analyse des données météo-routières par type de situation

4.3.1. Les termes météo-routiers employés au MTQ

Des terminologies et des classifications sont actuellement utilisées pour être en mesure de qualifier les situations météo-routières au cours d'une période hivernale. Il est important de reprendre ces repères pour la gestion de l'information et structurer les différentes composantes entre elles de façon à communiquer efficacement avec l'utilisateur final : le décideur, pour une utilisation de l'information météo-routière en temps réel dans le but de mobiliser les ressources, et le gestionnaire, pour une mise en valeur de l'information météo-routière en ce qui a trait à la recherche de l'optimisation de la gestion des ressources.

D'un point de vue global, les événements météo-routiers hivernaux affectent la circulation routière de quatre façons :

- en faisant varier l'adhérence de la chaussée par la présence de différentes formes de glaces routières ou de transformations de la neige;
- en créant une entrave importante, empêchant la circulation routière, avec par exemple une accumulation très importante de neige à l'occasion de tempêtes ou dans des secteurs de poudrière;
- en affectant la visibilité, plus fréquemment au Québec durant des précipitations de forte intensité ou de phénomènes de poudrière, qu'au cours d'épisodes de brouillard;
- en perturbant la trajectoire de véhicule à l'occasion d'importantes rafales de vents latérales qui peuvent aller jusqu'à renverser des véhicules.

Deux classifications utilisées par le MTQ permettent de décrire la majeure partie de ces types

de situation météo-routière : la terminologie des conditions routières et la description des états de surface. Les conditions routières décrites dans la section 4.1.2. caractérisent la chaussée qui est soit dégagée, enneigée ou glacée (en précisant trois niveaux d'importance : complètement, partiellement ou par endroit), et la visibilité (bonne, réduite, nulle par endroit ou nulle). Ce type d'information est destiné au public, ce qui explique la simplification de cette représentation de l'impact des événements météo-routiers. La description des états de surface est quant à elle plus exhaustive et correspond à une terminologie destinée au personnel opérationnel. Elle fait davantage référence à la manifestation des différents types d'événement météo-routier. En voici une description basée sur les notions de formation du personnel (MTQ, 2004) :

- asphalté sec : l'adhérence de la chaussée est maximale;
- asphalté humide : la chaussée est foncée par la présence d'une très faible quantité d'eau;
- asphalté mouillé : un film d'eau recouvre la chaussée, un son caractéristique se fait entendre au passage des véhicules (les pneus projettent de fines gouttelettes);
- neige fraîche : de la neige fraîchement tombée recouvre la chaussée et n'a pas encore été transformé par le trafic routier;
- neige durcie : la neige s'est compactée sous l'action du trafic et présente une glissance plus importante que la neige fraîche;
- neige glacée : la chaussée est blanche et un film de glace recouvre de la neige durcie, ce qui augmente la glissance de la chaussée;
- neige folle : de la neige sèche se déplace sous l'action du vent ou au passage des véhicules, sans adhérer sur la surface de la chaussée;
- neige en sel : des granules de glace recouvrent la chaussée, ce qui rend d'autant plus difficile la circulation que l'épaisseur est importante;
- neige fondue : la neige est constituée d'une importante proportion d'eau, et ce mélange est évacué au passage des véhicules;
- glace noire : un mince film de glace recouvre la chaussée qui est alors peu adhérente;

- glace mouillée : une pellicule d'eau recouvre une épaisseur plus ou moins importante de glace, ce qui rend la chaussée extrêmement glissante;
- glace blanche : des cristaux de glace se sont formés par condensation de surface (givrage), ce qui fait perdre de l'adhérence; le compactage par le trafic routier accentue la glissance;
- verglas : une épaisseur plus ou moins importante de glace sèche recouvre la chaussée suite à des précipitations verglaçantes. La glissance de la chaussée est identique à celle de la glace noire.

La description des états de surface procure donc des informations sur le niveau de glissance, qui n'est pas pris en considération dans la terminologie des conditions routières, abstraction faite de la distinction entre la neige et la glace. En effet, l'adhérence n'est pas identique pour la glace mouillée, la glace noire et la glace blanche, ou encore pour la neige fraîche, la neige durcie, la neige fondue. De plus, une adhérence similaire peut être constatée entre la neige glacée et la glace noire (Direction du laboratoire des chaussées, 2008).

D'autre part, certains états de surface sont générés par des circonstances météo-routières caractéristiques pour lesquelles des liens peuvent alors être faits. Par exemple, la glace noire peut être due à l'atteinte du point de congélation d'une pellicule d'eau. La surface de la chaussée est d'abord à l'état "asphalte mouillée" pour différentes raisons : la fonte de neige ou de glace par le soleil ou l'action d'un agent fondant, une pluie sur la chaussée à température positive, une condensation de surface en eau. Puis, la surface de la chaussée perd ensuite de la chaleur, sa température passe en dessous du point de congélation (environ 0°C sans la présence de contaminant, ou à des températures négatives en présence d'agent fondant) et la fine pellicule d'eau se transforme en glace noire. Dans ce cas, c'est donc le refroidissement de la chaussée qui est directement en lien avec la glace noire.

Les conditions routières, quant à elles, donnent des indications sur la continuité de l'enneigement ou sur celle de la présence de glace sur un secteur de route, combiné ou non à une dégradation de la visibilité. Les deux classifications du MTQ présentent donc des

éléments d'informations complémentaires qu'il est intéressant d'intégrer dans une démarche d'identification des événements météo-routiers qui pourraient alors, par leur analyse, améliorer leur compréhension et leur impact sur les opérations d'entretien hivernal. C'est par la constitution d'une nomenclature des événements météo-routiers que l'approche proposée permettra une meilleure gestion de l'information météo-routière.

4.3.2. Les risques météo-routiers en fonction des états de surface de la chaussée

La Figure 17 regroupe les principaux états de surface qui suscitent la surveillance accrue du réseau routier ou les interventions pour modifier les conditions routières. Quatre catégories de risques météo-routiers sont considérées : les situations météo-routières en lien avec des précipitations, un refroidissement, des épisodes de poudrierie ou encore des phénomènes de condensation. Il est important de noter qu'une chaussée mouillée, soit parce que la température de surface est positive ou parce que la présence d'un agent fondant baisse le point de congélation, représente toujours un risque en hiver, celui d'une transformation en glace. Celle-ci s'effectue soit parce que la température de la surface de la chaussée atteint le point de congélation, soit parce que la saumure qui recouvre la chaussée se dilue et n'est plus assez concentrée en agent fondant pour maintenir la chaussée à l'état mouillé.

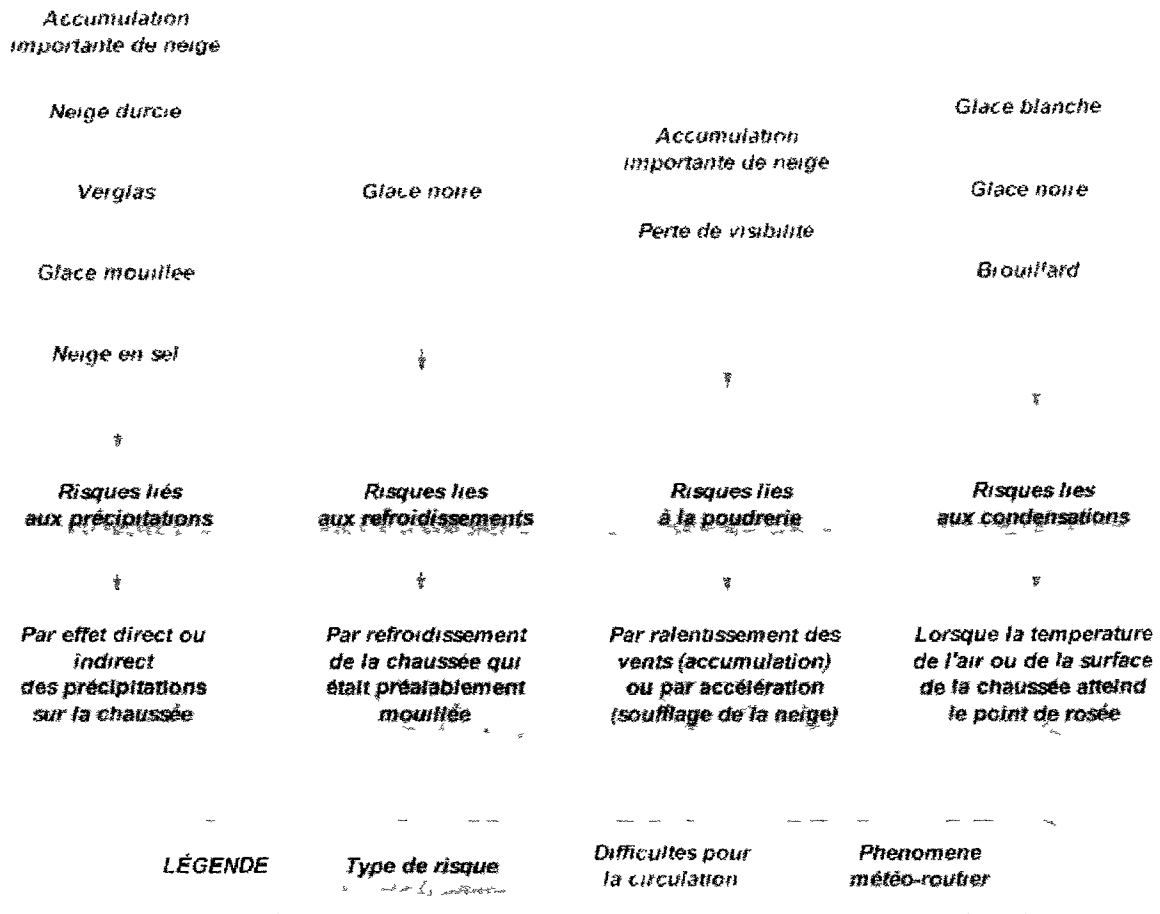


Figure 17 : Origine des principaux risques météo-routiers.

Le simple fait de distinguer ces catégories aide à mieux différencier les nombreux événements qui surviennent au cours d'une période d'entretien hivernal, tant du point de vue de l'aide à la décision que pour l'aide à la gestion. En temps réel, la surveillance météo-routière, et plus particulièrement l'analyse des conditions météorologiques, peut s'articuler autour de cette classification pour investiguer et structurer un arbre décisionnel dont l'objectif est d'évaluer les probabilités de situations à risque. Les facteurs intervenant dans l'évaluation des risques sont les suivants

- précipitations : la nébulosité, le type, la quantité, et la durée des précipitations, les probabilités de précipitation (perturbation ou averses),

- refroidissement : les tendances de la température de l'air, la nébulosité pour la période nocturne;
- poudrerie : le type de surface du couvert nival, la vitesse et la direction des vents;
- condensation de surface : la tendance de la température du point de rosée en fonction de la température de la surface de la chaussée en différents points du réseau routier.

Sur le plan de l'aide à la gestion, l'information à mettre en valeur pour la dimension météo-routière est le rapport entre les types d'événements et les ressources déployées pour améliorer la fluidité et la sécurité du réseau routier. Dans ce cadre également, la séparation des risques associés aux précipitations, aux refroidissements, aux épisodes de poudrerie et aux phénomènes de condensation permet d'isoler les critères propres à chacun de ces risques. Pour en faire l'analyse ou pour simplement être en mesure de les identifier, il convient de comprendre quelles sont les combinaisons possibles entre les différentes variables qui aboutissent à des situations dont le niveau d'impact n'est pas toujours le même.

La Figure 18 représente le lien entre les types de précipitation et les états de surface pour lesquels une intervention d'entretien est requise. Il n'est cependant pas suffisant qu'un de ces types de précipitation se concrétise, car des facteurs aggravants doivent être présents pour que la situation météo-routière soit réellement dégradée. Les différents points ci-dessous résument la combinaison de paramètres qui conduisent à la nécessité d'effectuer des opérations d'entretien sur le réseau routier :

- La pluie : lorsque des précipitations sous forme de pluie surviennent alors que la surface de la chaussée est à température négative, l'eau se transforme en glace relativement lentement en étant constamment recouverte d'une pellicule d'eau. Ce type de glace routière appelé glace mouillée est une glace lubrifiée qui est extrêmement glissante. Cette situation est fréquente lorsqu'un redoux se produit après une succession de journées très froides.

- La neige : les précipitations de neige occasionnent véritablement une gêne pour la circulation routière lorsqu'elles sont humides et se compactent facilement par le trafic routier. La neige fraîche se transforme alors en neige durcie dont la glissance est plus grande. D'autre part, lorsque les accumulations de neige, indépendamment du type de neige, sont rapides et trop importantes, elles constituent une entrave à la circulation dans laquelle s'enlisent des véhicules.
- La pluie verglaçante : les gouttelettes de pluie sont en état de surfusion (liquides mais à température négative) et dès qu'elles épousent une surface, elles se transforment en glace. La chaussée devient donc très rapidement glissante. Le phénomène est d'autant plus imparable que l'intensité des précipitations est forte. Deux types de situation peuvent survenir avec soit une transition des types de précipitation qui débute en neige et finit en pluie, ou le contraire. Cette transition connue lorsque les températures de l'air oscillent entre des valeurs positives et négatives, occasionne quelquefois des précipitations mixtes (grésil, neige roulée, verglas), mais leurs quantités sont rarement importantes et ne concernent que certains secteurs du réseau routier. En revanche, des systèmes de perturbation particuliers, en présence d'une masse d'air chaude en altitude, peuvent occasionner d'importantes accumulations, d'autant plus si le système est quasi-stationnaire, sur des secteurs beaucoup plus élargis (cas de la crise du verglas en 1998 au Québec).
- Le grésil : Ce type de précipitation n'entraîne pas véritablement de glissance sur la chaussée, mais plutôt une entrave qui rend la circulation difficile si une accumulation importante s'est faite. L'état de surface est alors très comparable à celui de la neige en sel qui correspond plus exactement à une fonte partielle de la neige puis à un regel sous forme de granules de glace.

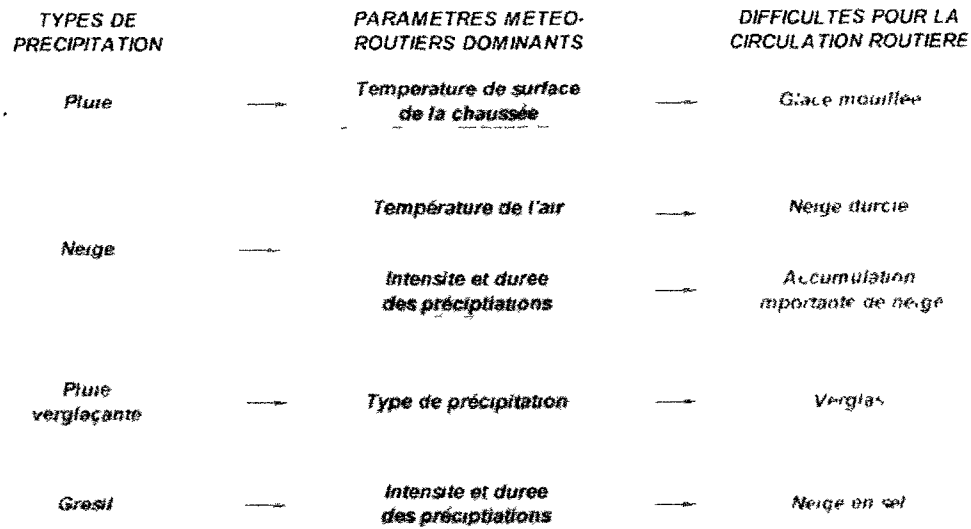


Figure 18 : Risques météo-routiers liés aux précipitations

Le risque de refroidissement de la surface de la chaussée peut quant à lui être suffisamment significatif dans deux situations (Figure 19). L'arrivée de masse d'air froide (advection) provoque une perte de chaleur de la surface de la chaussée par phénomène de convection d'autant plus rapide que l'écart de température est important. Les vents suffisamment forts, parce qu'ils renouvellent plus rapidement la masse d'air froide au-dessus de la surface de la chaussée, accélèrent alors la perte de chaleur. Si la chaussée est mouillée (film d'eau ou de saumure), de la glace noire se forme, d'abord aux endroits du réseau routier qui refroidissent plus vite (sur les ponts, dans les secteurs ombragés qui sont plus froids).

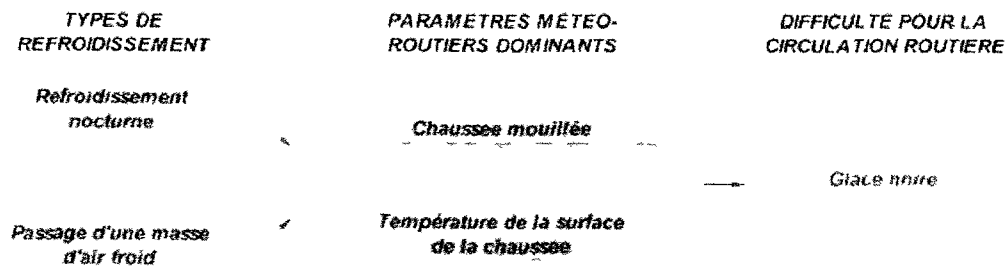


Figure 19 : Risques météo-routiers liés au refroidissement

Aussi, dans la majeure partie des situations, la surface de la chaussée se refroidit également en période nocturne. L'intensité de ce refroidissement dépend de la couverture nuageuse qui, lorsqu'elle est inexistante, maximise les pertes de chaleur par rayonnement infrarouge. En revanche, si le ciel devient couvert ou qu'un brouillard se forme, le rayonnement infrarouge est bloqué et la température de la surface de la chaussée est constante.

Les risques de condensation sur la surface de la chaussée et de condensation dans l'air s'effectuent respectivement lorsque la température de la surface de la chaussée est inférieure à la température du point de rosée, et lorsque la température de l'air atteint celle du point de rosée et que l'humidité absolue de l'air continue d'augmenter. Pour les condensations de surface trois scénarios sont envisageables :

- la température de surface de la chaussée est positive : la chaussée devient alors mouillée, ce qui ne nécessite pas d'intervention, mais suppose une surveillance accrue pour les risques de refroidissement de la chaussée;
- la température de surface de la chaussée est négative, mais un agent fondant se trouve sur la surface : la chaussée est mouillée par une saumure qui se transformera en glace noire en cas de refroidissement jusqu'au point de congélation ou de la baisse trop importante de concentration de l'agent fondant (dilution);
- la température de la surface de la chaussée est négative et dépourvue d'agent fondant : un givrage de la chaussée s'effectue, formant une glace blanche (Figure 20).

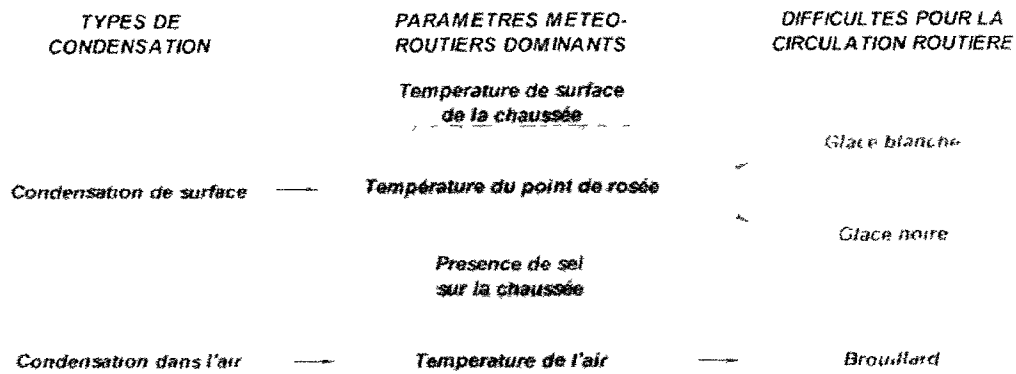


Figure 20 : Risques météo-routiers liés aux phénomènes de condensation

Pour les condensations qui s'effectuent dans l'air, les brouillards se forment par une combinaison d'apport d'humidité plus ou moins important et de refroidissement. Ces situations ne nécessitent pas véritablement d'intervention si ce n'est d'hypothétiques fermetures de route pour des cas de visibilité nulle.

Enfin, les risques d'événements de poudrierie ont lieu lorsque la surface du couvert nival est recouverte de neige fraîche et sèche. Certaines situations comme le gel de la surface du couvert nival suivi par un dépôt de neige sèche peuvent accentuer les risques de poudrierie, en favorisant le déplacement de la neige sur une surface glissante.

Les épisodes de poudrierie significatifs sont causés par des vents forts et persistants (Figure 21), et dépendent grandement des secteurs exposés aux vents selon leur direction. Les risques associés à la poudrierie concernent la visibilité qui peut justifier la fermeture de sections de route, mais aussi l'état de la chaussée. Des accumulations de neige soufflée se font aux endroits où le vent perd de la vitesse et où l'apport de neige est suffisant, ce qui constitue une entrave à la circulation qui peut prendre des proportions importantes et nécessiter le recours à une machinerie équipée d'un souffleur. D'autre part, lorsque la surface de la chaussée est recouverte d'agent fondant, la neige soufflée adhère à la route, fond, puis dilue la saumure en diminuant progressivement sa concentration jusqu'à la formation de glace noire.

<i>TYPES DE POUDRERIE</i>	<i>PARAMETRES MÉTÉO- ROUTIERS DOMINANTS</i>	<i>DIFFICULTES POUR LA CIRCULATION ROUTIERE</i>
	<i>Ralentissement ponctuel des vents</i>	<i>Accumulation importante de neige</i>
<i>Vents forts suite a une précipitation de neige</i>	<i>Chaussée mouillée</i>	<i>Glace noire</i>
	<i>Présence de sel sur la chaussée</i>	
	<i>Direction et persistance des vents</i>	
<i>Vents forts pendant une précipitation de neige</i>	<i>Persistance des vents</i>	<i>Porte de visibilité</i>

Figure 21 : Risques météo-routiers liés aux événements de poudrerie.

4.4. La caractérisation des événements météo-routiers

4.4.1. Le repérage des événements météo-routières

Les différentes données disponibles au MTQ peuvent être regroupées en trois catégories distinctes qui donnent une dimension particulière à l'évaluation de l'importance d'un événement météo-routier (Figure 22)

- les **événements météo-routiers** caractérisés par les données renseignant sur les paramètres de l'environnement météo-routier,
- les **impacts sur la chaussée** qui correspondent aux conditions routières (chaussée et visibilité),
- les **interventions d'entretien** qui donnent des indications sur le déploiement des ressources pour l'atteinte des objectifs fixés par l'organisation routière

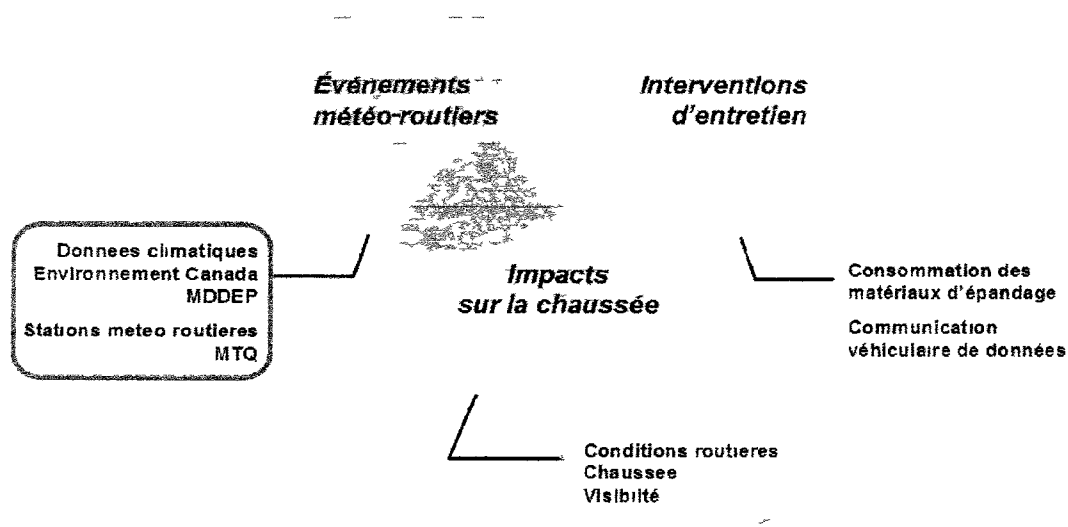


Figure 22 Catégories des données météo-routières à la disposition du MTQ

C'est la confrontation et l'analyse de ces trois catégories qui procurent des informations ou des connaissances complètes sur la gestion de l'entretien hivernal. Comprendre les interactions entre les paramètres météo-routiers et les impacts sur la chaussée contribuent à mieux organiser le suivi météo-routier et à favoriser un meilleur contexte pour la prise de décision. Il

est alors envisageable de faire des corrélations entre ces deux types de données et de commencer à modéliser les états de surface en fonction d'intrants météo-routiers (paramètres météorologiques, caractéristiques de l'environnement routier, données sur le trafic routier)

Un événement météo-routier peut être repéré à partir des données météorologiques (précipitations, épisodes de vents forts, refroidissement notable, etc), des données des conditions routières (période pendant laquelle la route était enneigée, glacée, etc), ou encore des données d'opération (début des interventions jusqu'à l'atteinte d'un niveau de service). Dans l'approche proposée, la délimitation d'un événement météo-routier prend en compte les trois types de données. Ainsi pour l'exemple représenté (Figure 23), une succession de deux événements météo-routiers (causés par des précipitations suivies d'un refroidissement par exemple) a eu des conséquences sur les conditions routières qui se sont dégradées après le début du premier phénomène météorologique (t_2). Les opérations ont débuté, quant à elles, avant le début de l'événement météo et avant la dégradation des conditions routières (intervention préventive en t_0) et se sont terminées après le retour à la normale des conditions routières (nettoyage des emprises jusqu'en t_7). Lorsqu'il s'agit exclusivement d'interventions curatives, les opérations commencent après la dégradation des conditions routières (après t_2)

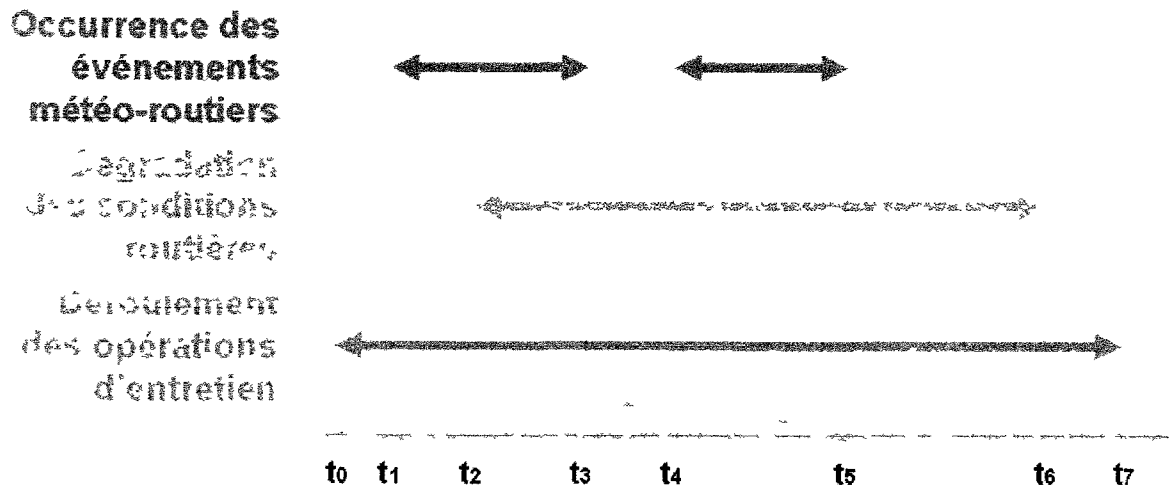


Figure 23 Exemple d'enchaînement au cours d'un événement météo-routier

Les événements météo-routiers sont plus facilement repérables lorsque les données de conditions routières sont exploitées. En effet, ce type de données représente directement l'impact des situations météo-routières sur la chaussée qui peuvent affecter la circulation routière en termes de fluidité et de sécurité. L'historique des conditions routières du MTQ signale la présence de neige ou de glace sur la chaussée et lorsque la visibilité est altérée, il est judicieux de se servir de ces indications plutôt que de construire tout de suite des hypothèses sur la combinaison des paramètres météo-routiers. Ceux-ci peuvent être explorés dans un second temps pour rendre l'information encore plus précise et l'associer à un état de surface de la chaussée.

La Figure 24 donne une image de la répartition des conditions routières pour chaque jour de décembre 2008 et pour chacun des segments routiers (numérotés de 400 à 418) pour lesquels ces données sont compilées. Les couleurs affichées correspondent à un élément de condition routière qui a été réalisé pendant au moins 5 heures dans la journée afin d'éliminer les conditions ayant peu d'impacts. Plusieurs informations ressortent de ces illustrations :

- l'ensemble du réseau routier a été enneigé les 17, 24 et 30 décembre;
- la présence de glace sur le réseau routier est beaucoup moins fréquente que l'enneigement, et le segment 400 semble connaître une récurrence plus importante que l'ensemble des autres segments;
- le 21 décembre a été une date pour laquelle la visibilité réduite était généralisée à l'ensemble du réseau routier;
- la première quinzaine du mois de décembre a connu plusieurs événements météo-routiers significatifs mais non généralisés à l'ensemble du réseau routier, et avec quelques fois des sections glacées, ou avec une visibilité réduite.

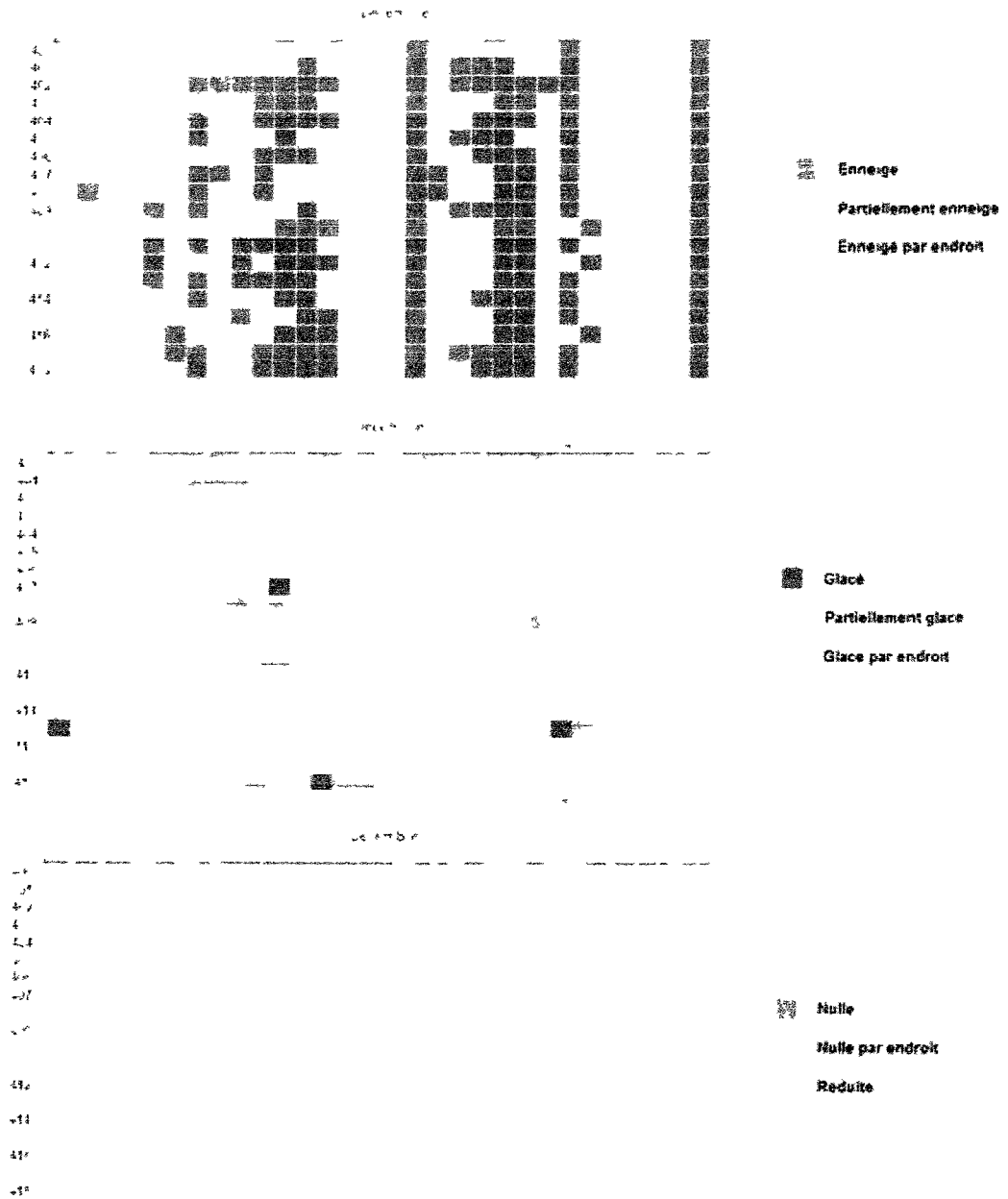


Figure 24 Répartition des conditions routières pour chaque jour de décembre 2008 et chaque segment routier sous surveillance

4.4.2. La combinaison des données météo-routières selon la typologie des risques

Compte tenu de la difficulté de regrouper l'ensemble des données pour les lier les unes aux autres à des fins d'analyse (Section 4.2.3 intitulée "Dimension spatiale et temporelle des données"), le processus de traitement des données proposé consiste à exploiter les données à deux niveaux temporels différents (Figure 25)

- quotidien pour être en mesure de repérer les événements météo-routiers les plus significatifs en utilisant les données renseignant sur les activités d'entretien routier et, ou, les mentions de conditions routières disponibles en historique
- horaires afin d'établir précisément les caractéristiques de l'événement météo-routier à partir des données de stations météo-routières et des critères et des seuils établis en fonction des types de risques météo-routiers

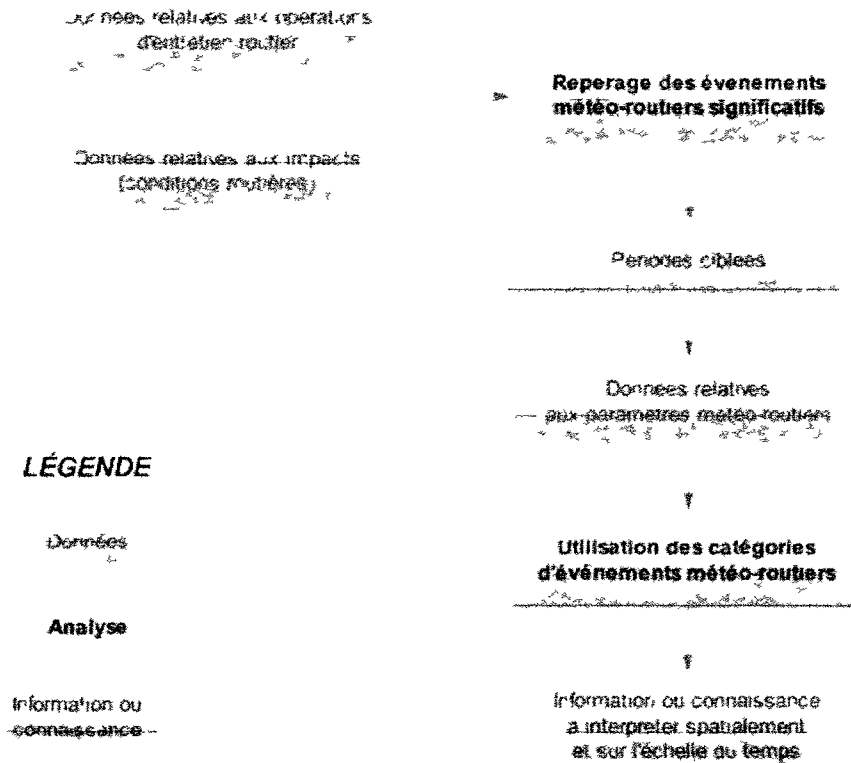


Figure 25 Combinaison des données météo-routières du MTQ-Estrie

4.4.3. L'impact des événements météo-routiers sur les opérations

L'observation des données météo-routières, ainsi que la prise en compte des éléments de décision exprimés par le personnel opérationnel du MTQ, mènent à considérer une typologie des événements météo-routiers à trois niveaux d'impact pour les opérations d'entretien en période hivernale :

- la gestion des situations d'urgence pour lesquelles l'ensemble du réseau routier est affecté par des conditions routières sévères et qui remettent en cause la libre circulation des personnes, des biens et des services;
- la gestion des impacts significatifs sur le réseau routier, pour laquelle des décisions doivent être prises afin de limiter des situations dangereuses ponctuelles ou des situations relativement dangereuses généralisées;
- la gestion des impacts modérés à nuls sur le réseau routier, pour laquelle des interventions mineures sont effectuées afin d'éviter des situations dangereuses ponctuelles et limitées dans le temps.

Les figures Figure 26 à Figure 28 détaillent les principaux types d'événements météo-routiers pour ces trois catégories d'impact.

Les différentes formes de glace routière qui peuvent être généralisées et qui sont associées à un niveau d'adhérence de la chaussée très bas font partie de la gestion d'urgence (Figure 26) en entretien hivernal :

- la glace mouillée, la plus glissante qui est recouverte d'une pellicule d'eau, ce qui la rend excessivement dangereuse;
- le verglas, qui a la propriété de se former sur toutes les surfaces qu'il rencontre, et qui peut être la conséquence de systèmes météorologiques stationnaires et donc durables (crise du verglas de 1998 au Québec);
- la glace noire, qui se forme progressivement sur le réseau routier caractérisé d'abord par un état de surface mouillé, et s'étend progressivement sur le territoire en fonction de l'atteinte du point de congélation.

Dans cette catégorie de gestion d'urgence, peuvent être incluses les accumulations de neige sur la chaussée dues à la poudrière généralisée et accentuée dans certains secteurs vulnérables. Elles peuvent conduire à des situations pour lesquelles les camions de déneigement ne sont plus assez puissants pour l'action de leur chasse-neige (nécessité alors de recourir à de la machinerie lourde : souffleur, pelles).

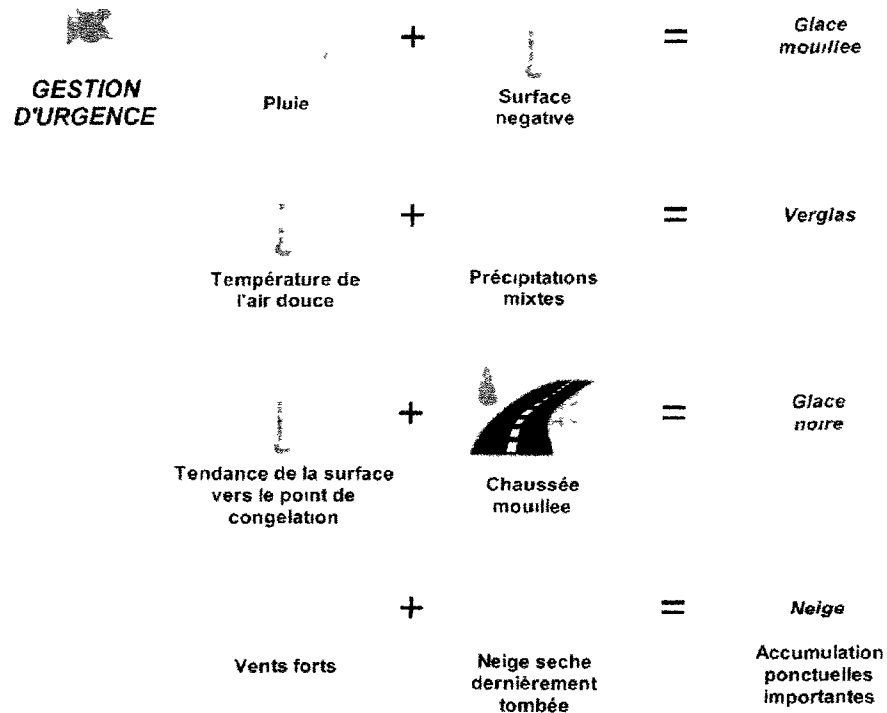


Figure 26 : Événements météo-routiers impliquant une gestion d'urgence

Les impacts significatifs (Figure 27) sont causés par des situations météo-routières dangereuses mais pour lesquelles les événements météo-routiers ne sont pas toujours généralisés ou durables. Pour les cas de verglas généralement connus par exemple, il s'agit de transitions entre des précipitations qui ont débuté en neige et se terminent en pluie, ou l'inverse. Les hivers plus doux génèrent de plus en plus ce type de situation qu'il est difficile de prévoir, et donc inconfortable du point de vue de la prise de décision (pour des opérations

curatives). Les épisodes de verglas peuvent en effet être très courts ou encore localisés seulement dans certains secteurs du réseau routier, mais en générant tout de même des situations de glissance à corriger.

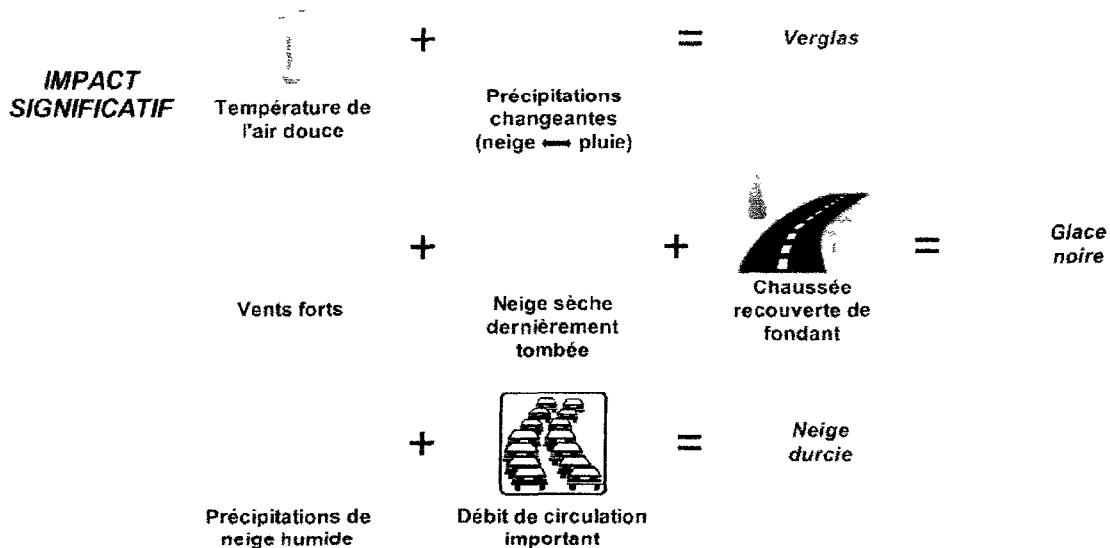


Figure 27 : Événements météo-routiers avec impact significatif.

Pour la glace noire, ce sont les secteurs suivants qui sont concernés :

- les plus propices au refroidissement (structures);
- ceux qui demeurent mouillés à l'occasion d'un refroidissement;
- les secteurs de poudrierie pour lesquels une quantité de sel se trouve sur la chaussée (sel résiduel, saumure) et qui aboutit à une dilution jusqu'au point de congélation.

Enfin, les situations de neige durcie sont occasionnées de façon différenciée sur le réseau routier par le débit de circulation du secteur et le type de circulation qui peuvent alors aggraver le phénomène et rendre la route glissante et dangereuse pour la circulation routière.

Finalement, les impacts modérés à nuls (Figure 28) peuvent être occasionnés par des situations

ponctuelles ou très limitées dans le temps, à tel point que des opérations curatives ne soient pas nécessaires :

- situation de neige folle, avec une neige sèche en chute, ou due à un épisode léger de poudrerie, qui se déplace au passage des véhicules ou sous l'action du vent sur une chaussée froide, sèche et dépourvue de sel résiduel;
- situation de glace blanche, provenant d'un phénomène de condensation sur la surface de la chaussée à température négative et dépourvue de sel résiduel.

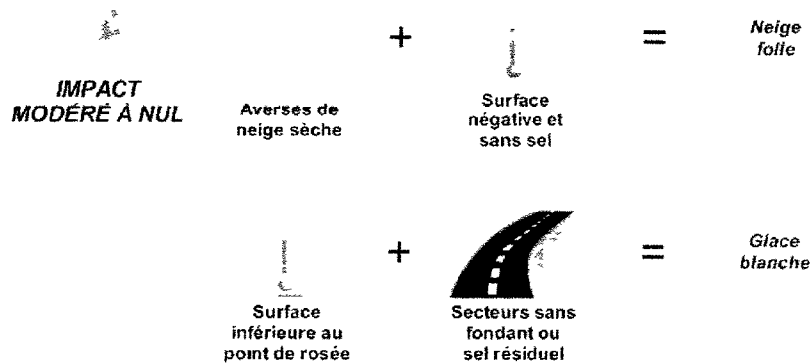


Figure 28 : Événements météo-routiers ayant un impact modéré à nul.

5. Discussions et conclusions

5.1. Constats et limites de l'approche proposée

Les données (conditions routières, stations météo-routières du MTQ, capteurs de la flotte de véhicules du MTQ, registre des matériaux d'épandage, ainsi que stations d'Environnement Canada et du MDDEP) ne sont pas actuellement combinées les unes aux autres. Chacune de ces sources possède un nombre d'entités qui multiplie le volume des données, ce qui les rend encore plus difficiles à exploiter.

L'approche choisie permet de cibler les événements météo-routiers les plus remarquables et tente ainsi de mettre en valeur les moments où les ressources (humaines et matérielles) sont les plus sollicitées. Cependant, certaines situations météo-routières moins impressionnantes peuvent, lorsqu'elles sont récurrentes, occasionner des dépenses importantes. Le temps doux, avec une température oscillant entre les valeurs positives et négatives le jour et la nuit, oblige à effectuer des opérations d'entretien pour éviter la formation de glaces routières. Ces situations sont courantes lorsque les hivers sont moins rigoureux mais elles nécessitent autant d'efforts à consentir pour le déploiement des ressources que des grosses tempêtes de neiges occasionnelles. Cette particularité ne serait pas détectée facilement par l'approche envisagée dans la recherche. De même, certains événements météo-routiers sont très localisés et peuvent constituer de réels dangers pour l'usager de la route. Les formations de glaces blanches ou de glaces noires peuvent n'apparaître que dans des secteurs très ponctuels sur le réseau routier, et ne seraient pas pris en considération dans la démarche globale d'analyse des événements météo routiers.

Compte tenu de l'ampleur du territoire de la région de l'Estrie, il serait intéressant d'effectuer des regroupements d'entités spatiales (stations météorologiques du MDDEP, circuits d'entretien, tronçon de conditions routières) qui présentent des caractéristiques identiques selon les types d'événements météo-routiers, et pour lesquels l'analyse des données météo-routières serait nuancée. Il pourrait être alors élaboré une modélisation des impacts sur la chaussée et de l'ampleur des ressources pour les interventions d'entretien en fonction des paramètres caractérisant les événements météo-routiers.

Aussi, la fiabilité des données est la base d'une bonne qualité des informations. L'évaluation de la cohérence des données est plus difficile à effectuer pour les sources provenant des consommations de fondants et d'abrasifs, ainsi que pour les activités des véhicules d'entretien hivernal. Les quantités sont actuellement estimées de façon approximative et des écarts subsistent quelquefois entre les enregistrements fournis par les opérateurs et les inventaires réalisés dans entrepôts de matériaux. Des travaux complémentaires pourraient porter sur le croisement de données et une évaluation approfondie de l'exactitude de ces types de données.

5.2. Portée des résultats obtenus

Pour atteindre les objectifs de la recherche, il a été nécessaire d'élaborer un processus d'analyse des données en fonction de l'ensemble des critères qui entrent en jeu dans la genèse, l'évolution et la fin des différents types d'événements météo-routiers. Après avoir précisé la signification des paramètres utilisés, et leur degré d'importance dans les situations météo-routières qui occasionnent des risques ou des ralentissements à la circulation routière, l'élaboration de processus d'analyse adaptés à chaque type de situation devrait fournir aux décideurs et aux gestionnaires les moyens d'optimiser l'exploitation des données météo-routières collectées par le ministère des Transports du Québec.

La collecte des données a été de plus en plus importante au MTQ depuis l'avènement des CVD et continue de l'être par la généralisation de certaines pratiques testées dans le cadre de projets pilotes. Par exemple, la division de la direction des télécommunications du Centre des services partagés du Québec procède actuellement à l'installation de routeurs véhiculaires permettant de connecter un ordinateur et un ensemble de sondes sur un véhicule. Cet équipement sert à transmettre ou recevoir en temps réel des données selon diverses possibilités de réseau de télécommunication. Les manufacturiers proposent de plus en plus des capteurs intelligents qui disposent d'une mémoire intégrée et quelquefois de composants ayant des capacités de transmission de données. La future collecte de données supplémentaire devrait faire l'objet d'une réflexion pour optimiser la dimension des bases de données en établissant le type de variable et sa fréquence la plus appropriée en fonction de chaque paramètre mesuré.

Le progrès technologique des dernières années a fait avancer les solutions en termes d'acquisition et de transmission des données. Les prochains défis sont de traiter les données cumulées dans les bases de données de plus en plus volumineuses, et d'optimiser, en temps réel ou par l'analyse après les événements, la recherche d'informations et de connaissances judicieuses. Le forage de données est une discipline qui relève ce défi en ayant recours à plusieurs méthodes d'analyse automatisée et, ou, dirigée pour être en mesure de tirer profit des volumes très important de données.

Le sujet de cette recherche s'inscrit dans une simple démarche d'organisation des données mais dont les problématiques sont en lien avec les prochaines préoccupations pour la gestion et l'aide à la décision en entretien hivernal. Les résultats pourraient être mis à profit pour structurer une analyse de besoins encore plus exhaustive permettant de modéliser des processus de forage de données. Un secteur de recherche se profile actuellement pour assurer la correspondance des besoins des gestionnaires et décideurs des organisations routières (publiques ou privées) avec le potentiel des données qui, lorsqu'elles sont combinées ensemble, en dépit d'une fiabilité moyenne ou d'une fréquence inégale, peuvent offrir des informations et connaissances mises en valeur par des supports visuels appropriés.

5.3. Conclusions

Le forage des données représente un domaine très prometteur pour l'entretien hivernal car il s'agit d'une discipline basée sur l'analyse des besoins de l'utilisateur final aussi complexe soit elle, de l'utilisation d'algorithmes pour modéliser ces besoins et de l'extraction des données appropriées selon les conditions et restrictions qui ont été établies. Le tri et la recherche des données constituent en effet une grande difficulté si l'on tient compte de la multiplicité des sources de données, de leur spécificité et de leur indépendance.

De plus, la météo routière fait référence à des phénomènes complexes et pour lesquels de simples règles ne peuvent s'appliquer. Les paramètres se combinent les uns aux autres pour représenter des risques météo routiers variables selon les moments de l'année ou de la journée, selon les particularités locales de l'environnement routier, selon les caractéristiques du trafic routier, et selon bien d'autres éléments encore, en fonction du type d'événement routier qui

pourrait occasionner une perte d'adhérence sur la chaussée ou une dégradation de la visibilité.

Le forage de données correspond à ce qui pourrait être appelé un traitement de données modulable et automatisé qui est régit par des requêtes très élaborées. Il serait ensuite possible d'alimenter, avec le fruit de la combinaison d'un ensemble de données d'origines variées, des systèmes d'aide à la décision ou d'aide à la gestion qui fournissent à l'utilisateur final une série d'informations et de connaissances propres à ses besoins.

L'ampleur et la localisation des phénomènes météo-routiers dépendent de l'environnement météo-routier. Aussi, les travaux d'analyse spatiale sur le réseau routier pourraient apporter des intrants très pertinents à mettre en rapport avec les données collectées. Il serait possible de modéliser les impacts des événements météo-routiers sur les réseaux routiers en fonction des caractéristiques de leur environnement routier, et d'améliorer ainsi l'anticipation des risques de glissance ou de détérioration de la visibilité.

Les informations ou les connaissances issues du traitement et de l'analyse des données sont ensuite communiquées à des usagers pour leur permettre de prendre de meilleures décisions, et dont la finalité est d'assurer la fluidité et la sécurité des déplacements sur l'ensemble du réseau routier. Il est d'autant plus fondamental de cibler les besoins des utilisateurs pour le traitement des données météo-routières, que le partage de l'information devrait se développer dans les prochaines années. Effectivement, à l'heure d'une forte expansion des systèmes d'aide à la navigation, il est de plus en plus question de donner des indications précises aux usagers de la route, également pour l'information météo-routière.

Un des plus grands manques pour l'analyse des informations, à l'occasion du bilan des opérations d'entretien hivernal par exemple, est de ne pas disposer d'un indicateur pour prendre en considération l'intensité des événements météo-routiers ou bien la rigueur d'une saison d'entretien hivernal. Aussi, pour un même événement météo-routier, il est reconnu que les différents secteurs d'un réseau routier ne posent pas les mêmes problématiques et ne génèrent pas les mêmes difficultés d'entretien. L'élaboration d'un tel indicateur aurait la faculté d'intégrer l'ensemble des paramètres qui ont le plus d'importance dans une région donnée, mais

idéalement dans l'ensemble de la province du Québec, voire dans l'ensemble du Canada ou de tous les pays concernés par les phénomènes météo-routiers, pour ainsi avoir la possibilité de mesurer l'effet des bonnes pratiques en entretien hivernal à l'échelle nationale et internationale. Disposer d'un indicateur pour la difficulté d'entretien hivernal permettrait de mieux encadrer le suivi de la performance des opérations préventives et curatives, et d'être à même de juger de l'adoption d'une bonne stratégie d'intervention de la part du maître d'œuvre (en régie ou à contrat). D'un point de vue de la justification des moyens nécessaires à l'entretien hivernal, il pourrait être plus facile de répartir équitablement les ressources entre les différentes entités d'une organisation routière.

La dimension particulière de la météo routière, dont la thématique consiste à évaluer l'impact des situations météorologiques sur les conditions de circulation routière, s'entrecroisent avec plusieurs sphères des STI dans lesquelles elle peut jouer un rôle déterminant pour la décision et la gestion de l'exploitation des infrastructures routières ou pour l'information à l'utilisateur. Pas moins de 27 types de besoins en recherche ont été récemment identifiés, aux États-Unis, par un comité spécial réunissant les principaux acteurs américains en entretien hivernal des réseaux routiers (National Winter Maintenance Peer Exchange, 2009). Ceux-ci peuvent être répartis dans 7 thèmes de recherche :

- Le déploiement et l'entretien de systèmes d'information météo-routiers ou de systèmes d'aide à la décision;
- L'amélioration de certains types de capteurs;
- La collecte de données sur des plateformes mobiles;
- Le développement d'indices pour faciliter la gestion des ressources;
- Les formations et le développement de la connaissance des meilleures pratiques;
- Les améliorations sur les conditions d'utilisation du matériel et des matériaux;
- La gestion des ressources humaines pour maintenir un intérêt de la relève de la main d'œuvre;

Parmi les nombreux sujets de recherche pour lesquelles des attentes sont clairement et

unanimement exprimées au sein de divers départements des transports et agences américaines, la moitié concerne directement les STI sur le plan de la mise en place de systèmes d'information météo-routiers et de systèmes d'aide à la décision. Il est question de répondre à des besoins tant en termes de critères de déploiement des infrastructures technologiques, qu'au niveau de l'amélioration des capteurs et de la collecte des données. De plus, un quart des besoins en recherche a un rapport indirect avec les STI, en faisant davantage référence à des questions de transmission du savoir ou d'augmentation du niveau de connaissance pour l'amélioration des pratiques d'entretien hivernal. Hors les connaissances pour répondre à la nécessité d'informer les gestionnaires et l'ensemble du personnel dépend du traitement des données emmagasinées par les STI. En ayant été traitées, elles fournissent alors des renseignements précis et permettent de mieux comprendre les impacts des situations météorologiques sur les réseaux routiers, ou encore de mesurer l'efficacité des activités d'entretien.

6. Références

American Association of State Highway and Transportation Officials (2009) IntelliDriveSM Statégic Plan 2009, 29 p.

American Association of State Highway and Transportation Officials, Institute of Transportation Engineers and National Electrical Manufacturers Association (2009) National Transportation Communications for ITS Protocol - Environmental Sensor Station Interface Protocol, 366 p.

Association mondiale de la route - AIPCR (2008) Les systèmes d'aide à l'entretien hivernal et l'échange d'informations. Rapport du comité technique de l'Association mondiale de la route 3.4 viabilité hivernale, 89 p.

Association mondiale de la route - AIPCR (2006) Base de données sur la neige et le verglas. Comité technique AIPCR 3.4 Viabilité hivernale, 203 p.

Association des transports du Canada (1999) Guide de gestion des sels de voirie (NaCl) de l'ATC. Chapitre 1 : Transport, économie et qualité de vie au Canada, 38 p.

Baril, A. (2010) Information aux citoyens - Conditions routières en période hivernale - Nouvelle terminologie. Congrès sur la viabilité hivernale de l'Association québécoise des transports et des routes, Sherbrooke, 25 pages.

Berger, Y. (2010) Évaluation des nouveaux modes de gestion en entretien hivernal au ministère des Transports du Québec. Actes du congrès mondial de viabilité hivernale à Québec, Association mondiale de la route, 12 p.

Bergeron, M. (2009) Vocabulaire trilingue des Systèmes de transport intelligents. Bibliothèque et Archives nationales du Québec, © Gouvernement du Québec, 482 p.

Charrier, F. (2009) Les stations météo-routières mobiles, une technologie novatrice et efficace. L'Équipe Intranet Transport Québec, 2 p.

Cluett, C. and Jenq, J. (2007) A case of study of the maintenance decision support system in Maine. United States Department of Transportation - Research and Innovative Technology Administration, 43 p.

Cluett, C., Kitchener, F., Shank, D., Osborne, L. and Conger, S. (2006) Integration of emergency and weather elements into transportation management centers, Federal Highway Administration, United States department of transportation, 105 p.

COST 344 (2002) Improvements to snow and ice control on European roads and bridges. Documentation for the final seminar COST 344 (Ljubljana, Slovenia), European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research, 189 p.

Direction du laboratoire des chaussées (2008) Évaluation des caractéristiques techniques et potentielles comparatives de différents appareils de mesure de l'adhérence en période hivernale. Ministère des Transports du Québec, recherche et développement en sécurité routière en période hivernale, 117 pages.

Environnement Canada (2009) Archives nationales d'information et de données climatologiques, gouvernement du Canada http://www.climate.weatheroffice.ec.gc.ca/climateData/canada_f.html [consulté le 15 décembre 2010].

Environnement Canada (2009) Les sels de voirie, *in* Environnement Canada, gouvernement du Canada.

Environnement Canada (2004) Code de pratique pour la gestion environnementale des sels de voirie. Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999), Environnement Canada, 18 p.

Federal Highway Administration (2005) Clarus Weather System Design - High Level System Requirements Specification. Prepared by Mixon/Hill, Inc., Overland Park, Kansas, 39 p.

Hart, R., Mewes, J., Hershey, B., Osborne, L. and Huft, D. (2008) An Overview of Implementation and Deployment of the Pooled Fund Study Maintenance Decision Support System. p 229-239, *in* Transportation Research Board (éd.) Surface transportation weather and snow removal and ice control technology. Seventh international symposium on snow removal and ice control technology, Indianapolis, Indiana, 607 p.

Johnson, V., Koracin, D., Gallus, W., Fitzjarrald, D. R., Knight, P. and Horel John (2004) Collaborative research on road weather observations and predictions by Universities, State Departments of Transportation and National Weather Service forecast offices. Federal Highway Administration, 61 p.

Lapointe, C. (2008) Communication personnelle. Direction du soutien aux opérations, ministère des Transports du Québec, Québec.

Maccubbin, R., Staples B., Kabir F., Lowrance C., Mercer M., Philips B. and Gordon S. (2008) Intelligent Transportation Systems - Benefits, costs, deployment, and lessons learned, 348 p.

Manfredi, J., T. Walters, G. Wilke, L. Osborne, R. Hart, T. Incrocci, T. Schmitt (2005) Road Weather Information System Environmental Sensor Station Siting Guidelines. U.S Department of Transportation, Federal Highway Administration, 46 p.

Mercier, R.-P. (2010) Faisons-nous de la véritable "viabilité hivernale" au Québec ? Routes et Transports - Spécial neige, Volume 10, Numéro 1, Hiver 2010, 3 p.

Ministère des Transports du Québec (2004) Viabilité hivernale - Les conditions routières, Document de référence, bibliothèque nationale du Québec, 41 p.

Ministère des Transport du Québec (2004) Modules de formation en météo-routière. Direction du soutien aux opérations. Cahiers du participants et diaporamas.

National Center for Atmospheric Research (2007) A Comparison of Road Temperature Models: FASST, METRo, and SNThERM. Prepared for National Center for Atmospheric Research, Research Applications Laboratory, Boulder, Colorado, USA, 24 p.

National Center for Atmospheric Research (2006) Maintenance Decision Support System - Functional specifications, template and procurement guidance. Prepared for the Federal Highway Administration, 41 p.

National Winter Maintenance Peer Exchange (2009) Final Report. Planning Committee, Madison, Wisconsin on August 25-26 2009, 110 p.

Office québécois de la langue française (2007) La logistique : de l'économie à la terminologie. Lexiques et vocabulaires, glossaires thématiques, 40 p.

Ouimet, C. et Brown, M. (2008) Enquête sur les opérateurs de camion de déneigement et de déglçage. Routes et Transports - Spécial neige, Volume 10, Numéro 1, Hiver 2010, 4 p.

Petty, K. R., Mahoney, W. P. (2007) Weather applications and products enabled through vehicle infrastructure integration - Feasibility and concept study. Federal Highway Administration, 121 p.

Séguin, J. et Béland, F. (2008), Québec 511 Info transports : un nouveau service d'information au public voyageur. Géo Info Chroniques du Québec géographique. Novembre 2008, 3p.

Société de l'assurance automobile du Québec (2010) Bilan routier 2009. Publication du gouvernement du Québec, 26 p.

Standing International Road Weather Commission (2005) RWIS Web Guide dans <http://www.sirwec.org> [consulté le 15 décembre 2010]. SIRWEC © 1985-2010, http://www.sirwec.org/documents/rwis_web_guide.pdf 83 p.

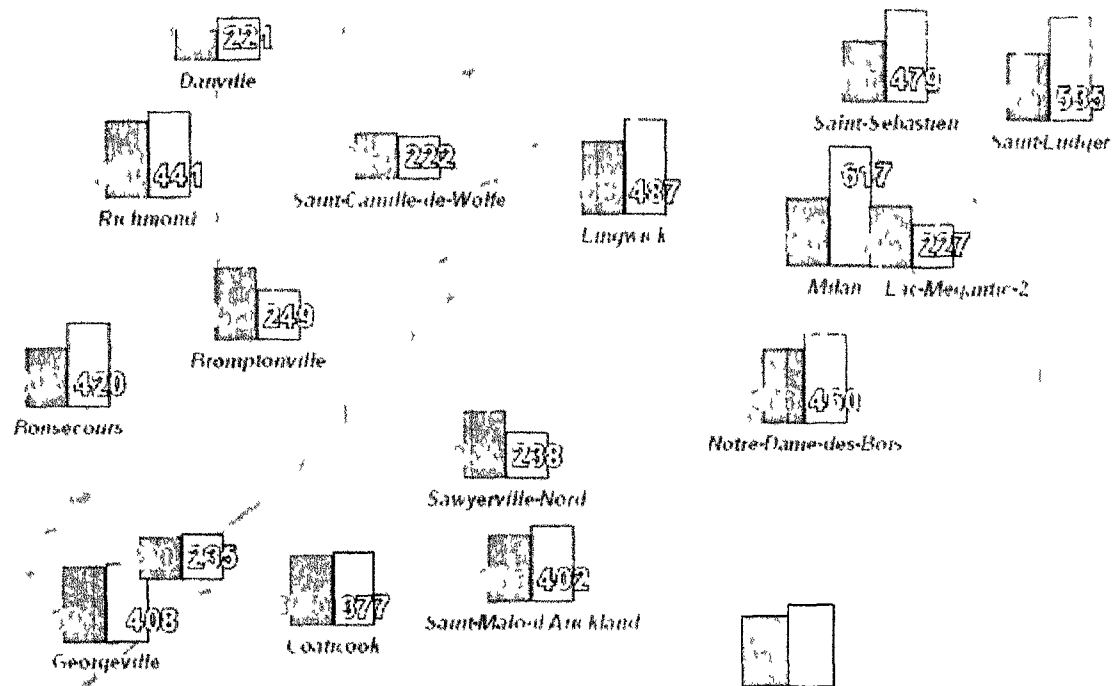
Statistiques Canada (2009 Mars) Transport routier de marchandises pour compte d'autrui, statistiques d'exploitation, <http://www40.statcan.gc.ca/l02/cst01/trade28a-fra.htm> [consulté le 15 décembre 2010].

Takahashi, N., Tounaga, R. A., and Asano, M. (2008) Development of Winter Maintenance Support System. p 215-228, *in* Transportation Research Board (éd.) Surface transportation weather and snow removal and ice control technology. Seventh international symposium on snow removal and ice control technology, Indianapolis, Indiana, 607 p.

Transport Québec (2010) Québec 511 dans Info Transports, gouvernement du Québec, état du réseau routier en direct, © Gouvernement du Québec, <http://www.quebec511.gouv.qc.ca/fr/index.asp> [consulté le 15 décembre 2010].

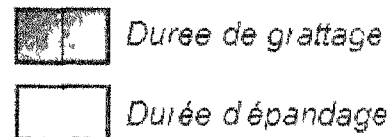
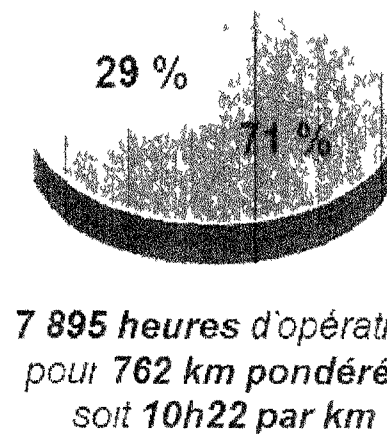
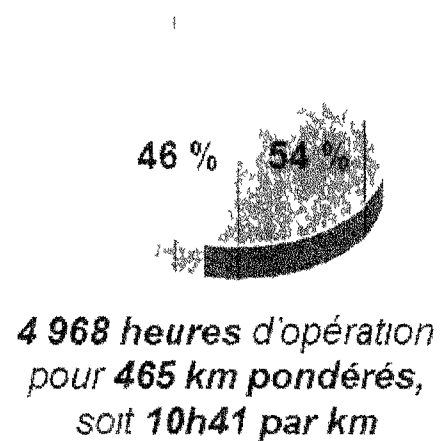
Wallman, G.-C. (2004) Winter Weather: Information, Models, and Data Quality. p 83-94, *in* Transportation Research Board (éd.) Surface transportation weather and snow removal and ice control technology. Sixth international symposium on snow removal and ice control technology, Spokane, Washington, 676 p.

Ye, Z. and Shi, X. (2009) Cost-Benefit Analysis of the Pooled-Fund Maintenance Decision Support System - Case Studies. 2009: Presentations from the 12th AASHTO Maintenance Management Conference, Transportation Research Boards, 15p.

Annexes 1 : Exemples de représentation sur des périodes *non* ciblées**CUMUL DES PRÉCIPITATIONS (PLUIE ET NEIGE)**du 1^{ER} NOVEMBRE 2007 AU 31 MARS 2008

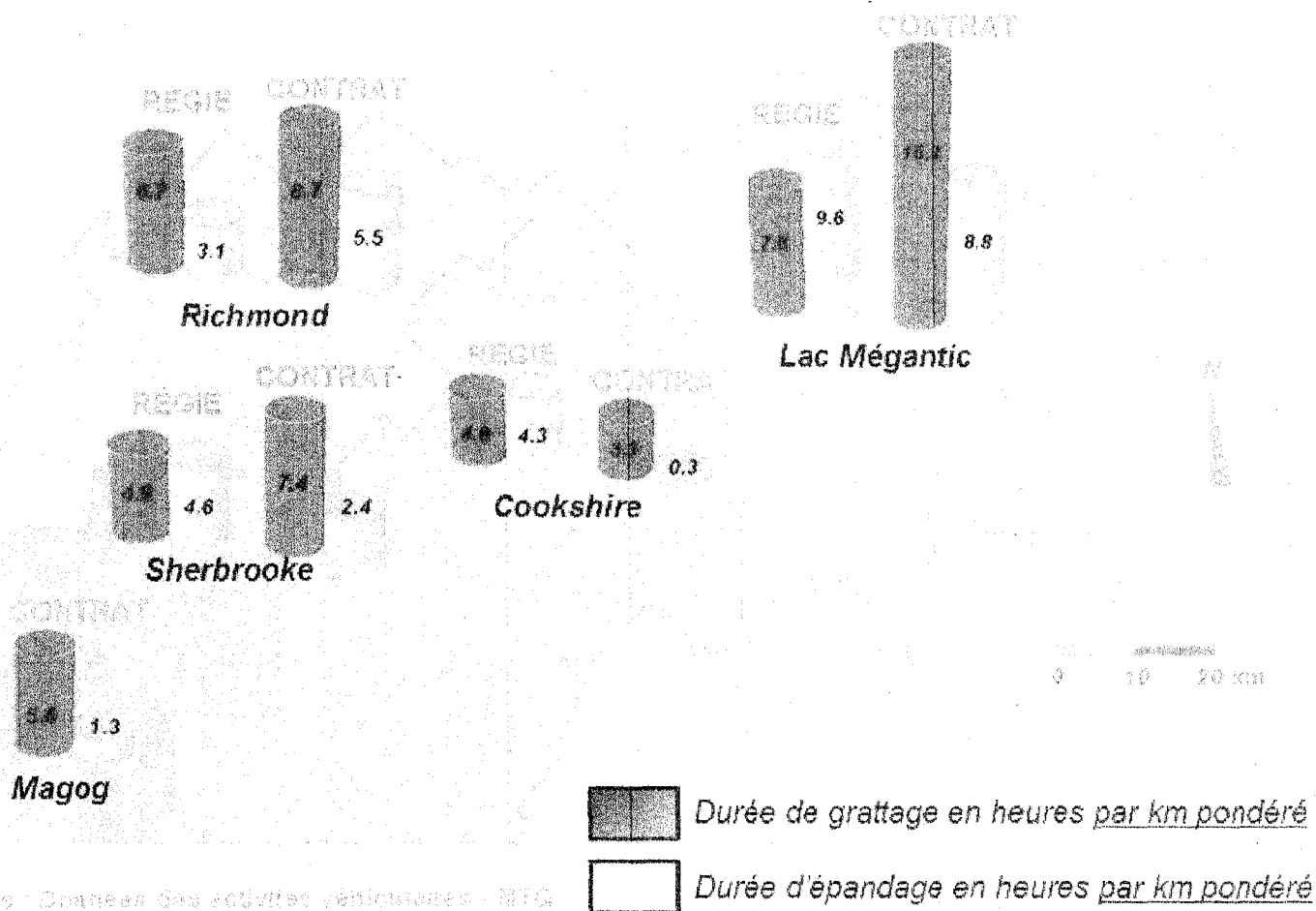
DURÉE D'OPÉRATIONS (PROPORTION GRATTAGE / ÉPANDAGE)

Pour l'ensemble de la Direction de l'Estrie – Saison 2007-2008



DURÉE D'OPÉRATIONS (PROPORTION GRATTAGE / ÉPANDAGE)

Pour chaque centre de services – Saison 2007-2008



Annexe 2 : Paramètres disponibles pour les stations météo routières

MTQ - Stations météo routières fixes (6 stations complètes et 2 stations partielles*)	
Nom station - Code station - Longitude - Latitude - Altitude	
Année - Mois - Jours - Heures - Minutes (tous les 10 minutes)	
<i>AirTemp_1min</i>	Moy temp. air `
<i>RH_1min</i>	Moy. Humidite relative
<i>DewPcInt_1min</i>	Moy temp. point de rosee
<i>MMTemp_Avg</i>	Moy. temp surface de la chaussée `
<i>TPTemp1_Avg</i>	Moy. temp. 5 cm de profondeur `
<i>TPTemp2_Avg</i>	Moy temp 10 cm de profondeur `
<i>TPTemp3_Avg</i>	Moy. temp. 20 cm de profondeur `
<i>TPTemp4_Avg</i>	Moy. temp. 30 cm de profondeur
<i>TPTemp5_Avg</i>	Moy temp. 40 cm de profondeur
<i>TPTemp6_Avg</i>	Moy. temp. 60 cm de profondeur `
<i>TPTemp7_Avg</i>	Moy temp. 90 cm de profondeur `
<i>TPTemp8_Avg</i>	Moy. temp. 150 cm de profondeur `
<i>TPTemp9_Avg</i>	Moy. temp. 200 cm de profondeur `
<i>TPTemp10_Avg</i>	Moy temp. 300 cm de profondeur `
<i>Dir</i>	Moy. vectorielle direction vent
<i>WindSpd1</i>	Vitesse vent fin des 10 minutes
<i>WindSpd1_Max</i>	Maximum vitesse vent
<i>Sca_Spd</i>	Moy scalaire vitesse vent
<i>Vct_Spd</i>	Moy. vectorielle vitesse vent
<i>WindDir1</i>	Direction vent fin des 10 minutes
<i>WindDir1_SMM</i>	Direction vent au max de la vitesse
<i>BaroPress_1min</i>	Pression atmosphérique
<i>Visibility</i>	Visibilité
<i>Wcode_Pres</i>	Type de précipitation