

**VEILLE DES DERNIÈRES INNOVATIONS
DANS LE CONTEXTE DE LA VIABILITÉ HIVERNALE**

Goze Bertin Béné, Université de Sherbrooke
et
Étienne Morin, Université de Sherbrooke

Réalisé pour le compte du Ministère des Transports



Janvier 2011

La présente étude a été réalisée à la demande du ministère des Transports du Québec et a été financé par la Direction de la recherche et de l'environnement.

Les opinions exprimées dans le présent rapport n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et ne reflètent pas nécessairement les positions du ministère des Transports du Québec.

Collaborateurs

Goze Bertin Bénié, Université de Sherbrooke

Étienne Morin, Université de Sherbrooke

TABLE DES MATIÈRES

1 - SYNTHÈSE DES CONCLUSIONS ET DES RECOMMANDATIONS	1
2 - CONTEXTE GÉNÉRAL DE LA VIABILITÉ HIVERNALE	3
3 - ÉLÉMENTS DE CONVERGENCE ENTRE LA VIABILITÉ HIVERNALE ET LES SYSTÈMES DE TRANSPORT INTELLIGENTS	9
4 - DÉMARCHES ACTUELLES AU MTQ EN VIABILITÉ HIVERNALE	19
L'analyse des situations météo-routières.....	19
Des systèmes de collecte de données météo-routières	20
La gestion des ressources pour l'entretien hivernal.....	22
L'amélioration des messages destinés à l'usager de la route	23
5 - RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES SUR LA RECHERCHE EN VIABILITÉ HIVERNALE POUR LE QUÉBEC	25
6 - AXES DE DÉVELOPPEMENT SUGGÉRÉS POUR LA COLLECTE DES DONNÉES MÉTÉO-ROUTIÈRES	27
Amélioration de l'instrumentation des systèmes d'information	27
Optimisation de la collecte des données.....	32
Transmission des données selon les infrastructures existantes	33
Potentialité des réseaux de capteurs sans fil.....	35
Optimisation de l'utilisation des images de caméra pour la viabilité hivernale	37
L'entreposage et le forage des données météo-routières	41
7 - AXE DE DÉVELOPPEMENT SUGGÉRÉ POUR L'ANALYSE DES DONNÉES MÉTÉO-ROUTIÈRES	43
L'amélioration des systèmes d'aide à la décision	43
L'élaboration d'indicateurs pour la gestion de l'entretien hivernal	44
La mise à profit de la cartographie dynamique pour la gestion des ressources	46
Outils pour la planification des opérations d'entretien hivernal	48
Considérations sur la conception des interfaces à bord des véhicules	49

Utilisation des panneaux à message variable dans le contexte hivernal.....	51
Potentiel de l'information météo-routière pour la réduction des accidents routiers	53
Développement de la formation continue et de la formation diplômante	54
8 - RÉFÉRENCES.....	59

FIGURES

Figure 1 : Exemple de classification des STI selon la Research and Innovative Technology Administration (Maccubbin, 2008)	10
Figure 2 : Rôle du CIM (MTQ - Estrie).....	20
Figure 3 : Interface des observations et des prévisions réalisées aux stations du MTQ	21

TABLEAU

Tableau 1 : Liste des entités de l'architecture STI pouvant être en lien avec la viabilité hivernale	12
--	----

1 - SYNTHÈSE DES CONCLUSIONS ET DES RECOMMANDATIONS

Les organisations routières qui effectuent l'entretien du réseau routier assurent la fluidité de la circulation et favorisent directement ou indirectement la continuité des activités économiques et sociales. L'avènement des Systèmes de Transport Intelligents (STI) offre maintenant de nouvelles possibilités en termes de gestion de l'information, ce qui aura dans les prochaines années, des impacts sur les composantes du transport routier et sur nos façons de conduire.

Le contexte de la viabilité hivernale et la gestion de l'entretien routier hivernal se connectent de plus en plus avec les composantes des systèmes de transport intelligent depuis le déploiement d'infrastructures technologiques en raison de l'important volume de données généré. Les nouveaux projets peuvent maintenant être conduits dans un cadre de gestion approprié grâce à la récente version de l'architecture canadienne des STI.

Le MTQ a lancé depuis plusieurs années des initiatives visant à améliorer l'aide à la décision pour les opérations d'entretien par le déploiement d'un réseau de stations météo-routières, la centralisation de l'information météo-routière avec des centres de monitoring, la gestion des contrats confiés à des entités externes et la dissémination de l'information aux usagers de la route.

Les orientations de recherche sont selon la littérature très variées et ne se concentrent pas particulièrement sur un des aspects seulement du processus de cheminement de l'information du capteur vers l'usager. En réalité, les thèmes de recherches peuvent être organisés selon les différentes étapes qui permettent aux décideurs, aux gestionnaires ou aux conducteurs de bénéficier d'une information pertinente et adaptée à leurs besoins. Ainsi les champs de recherche suggérés selon la veille technologique qui a été effectuée sont les suivants :

- L'amélioration de l'instrumentation des systèmes d'information météo routiers.
- L'optimisation de la collecte des données.
- La transmission des données selon les infrastructures existantes.
- La potentialité des réseaux de capteurs sans fil.
- L'optimisation de l'utilisation des images de caméra pour la viabilité hivernale.
- L'entreposage et le forage des données météo-routières.
- L'amélioration d'indicateurs pour la gestion de l'entretien hivernal.
- La mise à profit de la cartographie dynamique pour la gestion des ressources.
- Les outils pour la planification des opérations d'entretien hivernal.

**VEILLE DES DERNIÈRES INNOVATIONS
DANS LE CONTEXTE DE LA VIABILITÉ HIVERNALE**

- Les considérations sur la conception des interfaces à bord des véhicules.
- L'utilisation des panneaux à message variable dans le contexte hivernal.
- Le potentiel de l'information météo-routière pour la réduction des accidents routiers.
- Le développement de la formation continue et de la formation diplômante.

Les progrès à venir concernent l'amélioration de l'efficacité des infrastructures technologiques actuellement en place, une meilleure préparation pour les futures installations et l'exploitation des données brutes pour aller davantage vers la réponse des besoins des utilisateurs plutôt qu'une simple collecte et qu'un entreposage des données. Celles-ci lorsqu'elles sont à l'état brut ne donnent pas d'information, et sont volumineuses.

La formation est un axe également important pour permettre aux utilisateurs, mais aussi aux professionnels du milieu des STI de maximiser, dans l'état de l'art, le potentiel des STI pour la viabilité hivernale.

2 - CONTEXTE GÉNÉRAL DE LA VIABILITÉ HIVERNALE

Le transport par la route est une composante essentielle de la vie de tous les jours pour la majorité des gens partout dans le monde. Il y a toujours une nécessité de se déplacer de son domicile à un lieu de travail, une école, un marché ou vers une autre localité. Il y a également une nécessité d'utiliser la route pour transporter les marchandises et les biens, surtout dans ce contexte où les échanges commerciaux deviennent de plus en plus abondants et libres. Il est crucial que l'ensemble de ces mouvements sur les routes se fassent de manière sécuritaire peu importe les conditions météorologiques et l'état des chaussées. Malheureusement, les routes sont dangereuses. Elles tuent et elles blessent de manière grave pour diverses raisons liées aux conducteurs et aux véhicules, à l'état des chaussées, à la signalisation et aux conditions météorologiques. En Amérique du nord, on enregistre plusieurs milliers de collisions par année et des milliers de blessés et de décès par accident. Ces statistiques alarmantes interpellent à la fois les autorités et les populations. Il est impératif de réunir les conditions nécessaires pour améliorer la sécurité sur les routes de manière substantielle.

La présence de mauvaises conditions météorologiques, notamment durant l'hiver, a un effet dramatique sur la sécurité routière et sur les délais (retard au travail, délais de livraison des marchandises, etc.). L'hiver est caractérisé par la présence de neige et la formation de glace sur les routes, mais aussi par des tempêtes et souvent des vents violents. Les pays qui sont sérieusement concernés sont obligés d'investir de manière significative dans la prévision des conditions météorologiques, de l'état des chaussées et dans la maintenance des routes afin de permettre des déplacements sécuritaires tout en réduisant les délais. Les dépenses annuelles liées à la maintenance des routes durant l'hiver s'élèvent à environ 10 milliards de dollars dans le monde (SIRWEC, 2008)¹. C'est colossal, mais ce n'est rien comparé aux bénéfices qu'on peut en tirer. Ces bénéfices sont estimés à huit fois les coûts investis, ce qui veut dire que pour chaque dollar investi on sauve environ huit dollars. Bien sûr les coûts et bénéfices varient selon les pays en fonction de la sévérité des saisons, des routes, et du volume du trafic. Par exemple, 40 % des dépenses mondiales annuelles en viabilité hivernale sont faites en Amérique du nord seulement.

Le Canada dépense annuellement plusieurs millions de dollars pour la sécurité sur ses routes. C'est un pays d'hiver par excellence, avec un hiver long et rude. C'est un très grand pays en termes de superficie (le 2^e au monde), qui s'étend d'un océan à l'autre. C'est aussi un pays avec un réseau routier très dense, presque totalement soumis aux aléas de l'hiver. À cela, il faut ajouter un parc automobile très important. Les routes sont cruciales dans les

¹ SIRWEC, 2008. Proceedings, 14th International Road Weather Conference, Prague, Czech Republic 14-16 May, 2008, www.sirwec.cz .

échanges commerciaux entre le Canada et les États-Unis (les plus importants entre deux pays au monde). La viabilité hivernale est donc un enjeu majeur au Canada, plus que partout ailleurs. Il est donc primordial de développer les meilleures solutions possibles pour maîtriser le processus.

La prévision des conditions météorologiques pose un défi important surtout pendant l'hiver. Les prévisions à moyen et long termes ne sont pas toujours fiables. L'interaction entre les variations des conditions météorologiques et l'état des chaussées n'est pas forcément bien maîtrisée jusqu'à présent (Petty and Mahoney, 2008)². Les routes sont caractérisées tout le long par des situations de microclimats dues à la variation du relief, la présence ou non de couvert végétal plus ou moins dense, la présence de cours d'eau, etc. Cette variabilité locale combinée au type de couverture et à l'état de la route influence l'état de la chaussée et met au défi les systèmes basés sur la collecte de données à partir de stations fixes. Dans le contexte actuel des changements climatiques, la variabilité des conditions routières devient plus aléatoire et difficile à maîtriser. Une meilleure assimilation des données météorologiques, environnementales (topographie, forêts, etc.) et des caractéristiques des routes s'impose afin de mieux prévoir l'état des chaussées.

De nombreux développements techniques ont été réalisés au cours des années. Les systèmes de positionnement par satellites enregistrent les positions en temps réel, ce qui permet un suivi le long des routes. Cependant, la caractérisation de l'état des surfaces à partir de capteurs passifs ou actifs demeure encore problématique. Les conditions de surface dont il s'agit sont l'asphalte humide, mouillé ou sec; la neige sèche, fondante ou dure; la glace sèche ou mouillée. Nombre de systèmes ont été développés pour mesurer entre autres la température des surfaces par radiométrie thermique.

Les premiers projets importants sur le développement de systèmes d'information sur la météo routière (SIMR) ont été initiés en Europe au début des années 80. Jusqu'au début des années 90, très peu d'écrits scientifiques étaient disponibles sur le sujet aux États-Unis et au Canada. La raison est que la recherche était principalement menée par des agences gouvernementales et les résultats étaient exploités à l'interne. Les rapports de recherche de Boselly III *et al.*³ présentent de manière concise le concept des SIMR⁴.

² Petty, K.R., Mahoney III, W.P., 2008. The U.S. federal highway administration winter road maintenance decision support system (MDSS): Recent enhancements & refinements. Proceedings, 14th International Road Weather Conference, Prague, Czech Republic, 14-16 May 2008.

³ Boselly III, S.E., Doore, G.S., Thornes, J.E., Ulberg, C., 1993a. Road weather information systems. Volume 1: Research Report. Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, 218p.

⁴ Boselly III, S.E., Doore, G.S., Ernest, D.D., 1993b. Road weather information systems. Volume 2: Implementation Guide. Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, 82p.

Ces systèmes comprennent :

- des capteurs météo pour mesurer la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse et la direction du vent et les précipitations;
- des capteurs pour mesurer l'état de la chaussée (température de la chaussée et sous la chaussée, état de la surface (mouillé, sec, humide, gelé, etc.), la quantité de produits chimiques sur la chaussée,...);
- les profils de température le long de la route, basés sur la radiométrie thermique;
- les prévisions du temps et autres données météo pertinentes;
- les systèmes de communication, de traitement et de diffusion de l'information.

La mise en place d'un tel système complexe nécessite des moyens financiers et technologiques importants. Elle pose un problème de standardisation des instruments de mesure et des méthodes d'observation, reconnu par la Commission sur les instruments et les méthodes d'observation de l'Organisation Météorologique Mondiale depuis 1994 (Pettifer and Terpstra, 1997)⁵.

Les systèmes SIMR sont une combinaison de technologies, de modèles, de systèmes de traitement avancé et de diffusion. Profitant des progrès réalisés dans ces différents domaines depuis la fin des années 80, les initiatives importantes développées en Europe, au Japon, aux États-Unis et au Canada donnent de plus en plus des résultats probants. Kuennen⁶ présente une synthèse des principales initiatives américaines (Clarus, Aurora, Clear Roads, etc.). Le programme Aurora, créé en 1996, regroupe les agences de transports de plusieurs états américains, de la Suède et de certaines provinces canadiennes comme le Québec et l'Ontario dans le but de mener des recherches conjointes en météorologie routière (Aurora, 2009)⁷. Le site WEB (<http://www.calccit.org/itsdecision/>) présente succinctement les systèmes disponibles dans plusieurs états américains, comme par exemple celui de l'état de Washington. Les provinces canadiennes sont également très actives en matière de SIMR (voir par exemple Buchanan et Gwartz⁸ pour l'Ontario). COOPERS (Co-operative Networks for Intelligent Road Safety), SAFESPOT

⁵ Pettifer, R.E.W., Terpstra, J., 1997. Road meteorological observations. Instruments and Observing Methods Report No.61, WMO, 21p.

⁶ Kuennen, T. (2006). High-Tech helps tame road-weather woes. Road Science, September 2006, 32-44.

⁷ Aurora, 2009. <http://www.aurora-program.org/>

⁸ Buchanan, F., Gwartz, S.E., 2005, Road weather information systems at the Ministry of Transportation, Ontario. Annual Conference of the Transportation Association of Canada, Calgary, Alberta.

(Co-operative vehicles and infrastructure for road safety) et IVSS (Intelligent Vehicle Safety Systems) sont des initiatives majeures de l'Europe en matière de transport intelligent (MTD, 2007)⁹ (<http://www.safespot-eu.org/>). Dans les années 90, le concept de SIMR était fondamentalement basé sur la collecte des données météorologiques courantes et des caractéristiques des chaussées à partir de stations fixes réparties le long des routes (Boselly *et al.*⁷, Gustavsson¹⁰). À la faveur des progrès technologiques en matière de télécommunication et du rôle important que joue l'industrie automobile dans le processus, le concept a évolué rapidement vers l'intégration véhicule et infrastructure. Ce transport dit intelligent implique une transmission à double sens à travers un réseau sans fil de l'information de véhicule à véhicule et de véhicule à infrastructure (Kuennen, 2006)¹¹. Comment les conditions hivernales sont-elles prises en compte dans un tel cadre intégrateur ?

Les travaux sur les conditions météorologiques en rapport avec le réseau routier et plus particulièrement ceux sur viabilité hivernale préoccupent l'ensemble des pays qui connaissent des climats rigoureux pouvant affecter l'état de leurs routes et le système de transport. Par exemple, l'hiver impose des situations où des décisions doivent être prises sur les traitements à faire compte tenu de l'état des routes (dénivellement, utilisation de produits chimiques sur les chaussées glissantes, fermeture de routes, etc.). Il impose également une attention particulière au niveau de la conduite automobile. Il est fort souhaitable pour le conducteur de savoir à l'avance l'existence de verglas sur les routes, de pluies ou de neige. Prévoir ces conditions nécessite des mesures météorologiques conventionnelles, mais également des données permettant de caractériser l'état des chaussées le long du parcours.

Au courant des quatre saisons et de manière spécifique durant l'hiver, les variations du temps et des conditions de surface sont très aléatoires. Dans ces conditions, les stations fixes sont certes importantes, mais la possibilité d'avoir des systèmes de mesures embarqués à bord des véhicules et capables de transmettre les données récoltées et leur position constituent un atout de taille. L'une des limitations des stations fixes provient du fait qu'elles donnent des mesures ponctuelles détaillées, mais ne peuvent pas montrer l'état des routes entre deux stations. Aux États-Unis, la FHWA a initié le développement d'un système d'aide à la décision sur la viabilité hivernale. Le prototype développé utilise les observations météorologiques courantes et les modèles de prévision numérique pour prédire l'état des routes sur un horizon de 48 heures. La version actuelle utilise le système METRo, un modèle de bilan d'énergie

⁹ MTD, 2007. Michigan Department of Transportation – International vehicle communications round table. Proceedings, International Vehicle Communications Summit, January 22, 2007, pp. 1-11.

¹⁰ Gustavsson, T., 1996. Application of a road weather information system. Proceedings, Snow and Ice Control Technology, 4th Symposium, Reno, Nevada, August 11-16, 1996, pp.121-124.

¹¹ Kuennen, T. (2006). High-Tech helps tame road-weather woes. Road Science, September 2006, 32-44.

d'Environnement Canada. Le développement d'un système similaire a été initié au Japon en 2004 et a produit un prototype en 2005 (Takahashi *et al.*, 2008)¹². D'autres exemples provenant de divers pays européens comme la Suisse, la Suède, la Russie et le Danemark, ont été présentés à la conférence internationale de SIRWEC à Prague en 2008 (www.sirwec.cz).

¹² Takahashi, N., Tokunaga, R.A., Asano, M., Ishikawa, N., 2008. Development and operation of the winter support system. Proceedings, 14th International Road Weather Conference, Prague, Czech Republic, 14-16 May 2008.

**VEILLE DES DERNIÈRES INNOVATIONS
DANS LE CONTEXTE DE LA VIABILITÉ HIVERNALE**

3 - ÉLÉMENTS DE CONVERGENCE ENTRE LA VIABILITÉ HIVERNALE ET LES SYSTÈMES DE TRANSPORT INTELLIGENTS

Les **Systèmes de transport intelligents (STI)** sont basés sur la collecte, le traitement et la diffusion de l'information qui permet d'optimiser la gestion et l'exploitation des réseaux de transport ainsi que les services destinés aux usagers (Bergeron, 2009)¹³. Dans le secteur des transports terrestres, et particulièrement routiers, les projets intègrent depuis maintenant plusieurs années de tels systèmes pour procurer davantage d'information aux gestionnaires de réseaux routiers tout en offrant aux usagers un niveau de connaissance supérieur. Par exemple, l'implantation des panneaux à message variable permettent aux exploitants de réseaux routiers d'informer les conducteurs de véhicules sur des situations occasionnant des délais ou constituant un danger. Ces systèmes peuvent également intégrer des mesures mobiles, une évolution qui date déjà de plusieurs années : la localisation par position globale (GPS) a donc donné naissance à plusieurs générations de système d'information procurant la position en temps réel d'une flotte de véhicule en déplacement sur un territoire.

Afin d'avoir une vue d'ensemble des STI, nous présentons une classification élaborée par Maccubbin et al. (2008)¹⁴, axée sur les domaines d'applications ou les types de technologies employées. Cette classification permet d'évaluer les bénéfices des STI, propose de différencier l'intelligence des infrastructures de celle des véhicules, tout en considérant le contexte général des STI. La Figure 1 reprend ces éléments qui constituent la vision globale des principaux domaines d'application et des problématiques liées à la mise en place et à l'entretien d'une infrastructure technologique.

¹³ Bergeron, M. (2009) Vocabulaire trilingue des systèmes de transport intelligents. Gouvernement du Québec, 482 pages.

¹⁴ Maccubbin, R., B. Staples, F. Kabir, C. Lowrance, M. Mercer, B. Philips, S. Gordon (2008) Intelligent Transportation Systems - Benefits, costs, deployment, and lessons learned, 348 pages.

**VEILLE DES DERNIÈRES INNOVATIONS
DANS LE CONTEXTE DE LA VIABILITÉ HIVERNALE**

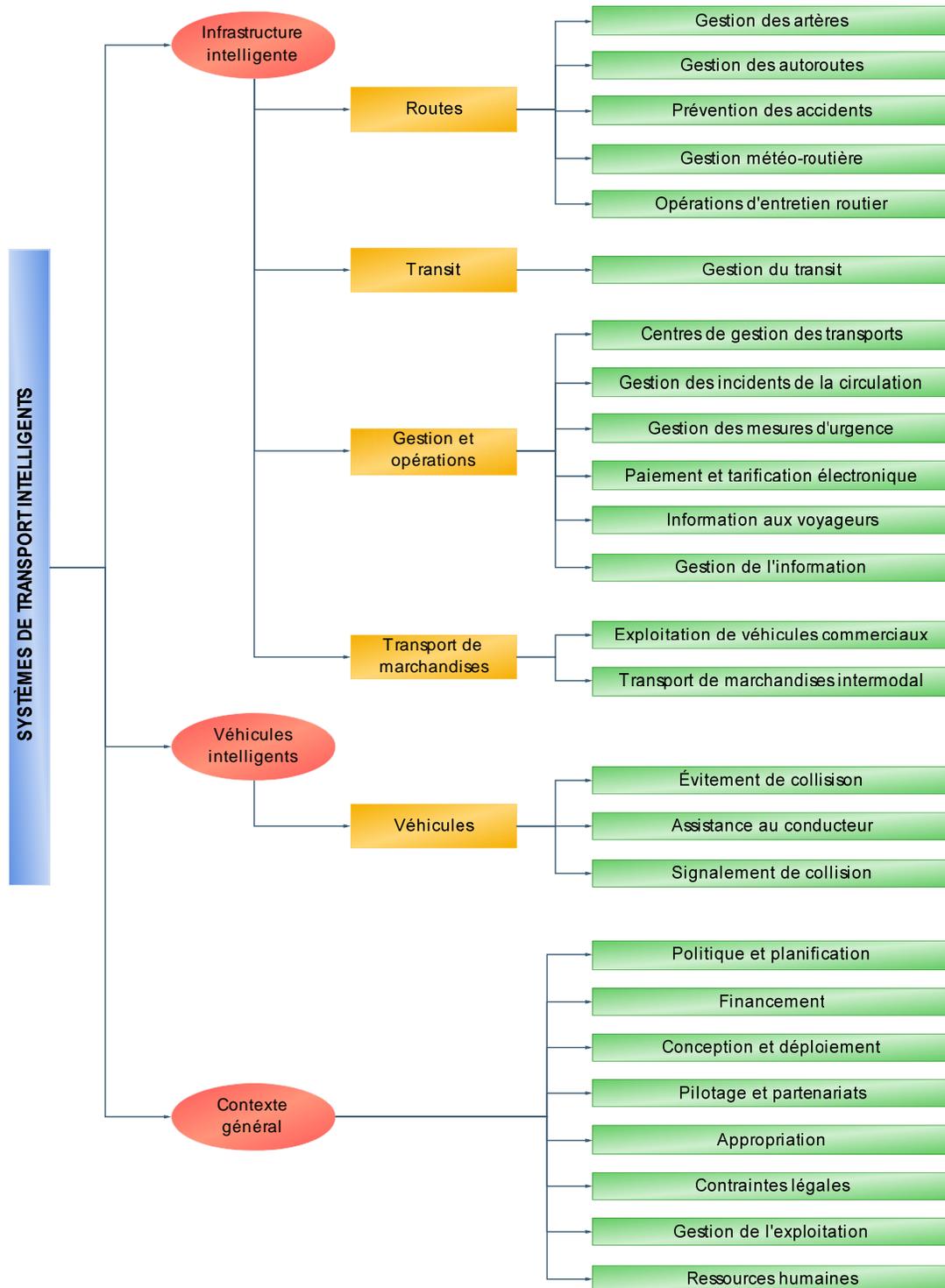


Figure 1 : Exemple de classification des STI selon la Research and Innovative Technology Administration (Maccubbin, 2008)

Toutefois, il faut souligner la difficulté de catégoriser parfois les composantes des STI car elles font appel à diverses facettes des transports. Les technologies de prévention des accidents par exemple s'appliquent aux endroits particulièrement dangereux de la route (courbes, intersections, rampes d'accès ou de sortie, secteurs de mauvaises visibilité), aux passages à niveaux (voie ferrée), aux pistes cyclables et aux traverses piétonnières, ainsi qu'aux secteurs propices à la proximité d'animaux sauvages : dans ce cas, les technologies des STI peuvent être différentes et adaptées aux environnements routiers, ferroviaires, piétonniers ou naturels bien qu'ils aient tous la même finalité, la prévention des accidents dans le transport. Aussi les risques d'accident évoluent dans le temps, selon les paramètres météorologiques qui peuvent, dans certains cas, aboutir à des conditions de mauvaise adhérence des pneumatiques sur la chaussée, ou encore à une mauvaise visibilité. Les déplacements des véhicules se font également dans diverses conditions telles que les STI peuvent apporter une partie d'information pertinente pour l'amélioration de la sécurité ou de la fluidité de la circulation routière.

La deuxième version de l'architecture canadienne des STI fournit également les outils nécessaires pour la normalisation, l'identification et la gestion de projet pour la mise en place d'infrastructures technologiques appliquées à gestion de l'entretien hivernal (Transports Canada, 2010)¹⁵. Même s'il est difficile d'associer directement, pour une prise en compte globale des projets, chacune des composantes de l'architecture STI, le tiers des principales entités peuvent avoir un lien avec la viabilité hivernale (Tableau 1). Ce constat renforce l'idée que les STI et la viabilité hivernale sont liés depuis longtemps. Ainsi l'ingénierie de systèmes nécessaire au déploiement de STI récemment mise à jour et diffusée dans l'ensemble des milieux professionnels impliqués procure une excellente base de gestion de projet pour les futures initiatives visant à améliorer la viabilité hivernale (Transports Canada, 2010)¹⁶.

¹⁵ Transports Canada (2010) Une architecture des systèmes de transport intelligents pour le Canada – version 2. <http://www.tc.gc.ca/innovation/sti/fra/architecture/menu.htm>

¹⁶ Transports Canada (2010) Orientation sur l'architecture régionale des STI – Développer, employer, et maintenir une architecture STI pour votre région, 178 p.

**Tableau 1 : Liste des entités de l'architecture STI
pouvant être en lien avec la viabilité hivernale**

Sous-système de gestion des données archivées
Administration de véhicule commercial
Sous-système de véhicule commercial
Gestion des urgences
Sous-système de véhicule d'urgence
Gestion de parc de véhicules et de marchandises
Fournisseur de services d'information
Véhicule d'entretien et de construction
Sous-système routier
Sous-système de surveillance de sécurité
Véhicule
Véhicule de base
Conducteur de véhicule commercial
Véhicule commercial de base
Systèmes de télécommunications pour l'information à l'intention des voyageurs
Conducteur
Systèmes de télécommunications d'urgence
Opérateur de système d'urgence
Environnement
Source de données sur l'emplacement
Médias
Autre gestion des urgences
Autre véhicule
Obstacles potentiels
Environnement routier
Environnement de zone de sécurité
Trafic
Voyageurs
Bureau météorologique national
Ministère des Transports
Systèmes des données archivées de l'utilisateur
Administrateur de données archivées
Autres sources de données
Autres systèmes routiers
Fournisseur de services météorologiques
Véhicule de base d'entretien et de construction

La **Coopération et l'Intégration Véhicule-Infrastructure** (CVI/IVI) offre d'intéressantes perspectives dans le cadre des STI pour améliorer la fluidité et la sécurité du réseau routier canadien, urbain et rural. Les véhicules sont ainsi reliés aux infrastructures routières ou aux autres véhicules, tout en utilisant les technologies de communication sans fil. Deux termes sont employés pour désigner cette approche : l'intégration véhicule-infrastructure (IVI) qui fonctionne aux États-Unis grâce à une fréquence spécialement dédiée à ce type de communication (5,9 GHz), et la coopération véhicule-infrastructure (CVI) qui utilise tout type de communication sans fil pour relayer l'information.

Dans le cadre d'une initiative appelée **IntelliDriveSM** consacrée aux technologies d'échange d'information de véhicule à véhicule et de véhicule à une infrastructure, un concept de traduction des données a été mis au point pour l'intégration des informations destinées aux météorologues ou aux usagers de la route (Drobot *et al.*, 2009)¹⁷. Les données brutes font l'objet de plusieurs étapes de traitements afin de donner une plus-value à l'information finale.

Les **Systèmes d'Information Météo Routiers (SIMR)** collectent quant à eux un ensemble de données, en temps réel ou en temps différé, sur les conditions météorologiques et l'environnement de la route. Ils nécessitent des capteurs installés sur des structures fixes à proximité des routes, ou directement sur les véhicules en déplacement sur le réseau routier. Quelques organisations routières, dont le ministère des Transports du Québec, ont récemment eu recours à des stations météo-routières mobiles (capteurs et systèmes d'acquisition embarqués à bord des véhicules de surveillance).

Dans le cadre des opérations d'entretien hivernal, à partir de 2000, les États-Unis, avec une entente entre le *National Center for Atmospheric Research (NCAR)* et la *Federal Highway Administration (FHWA)*, ont travaillé sur la mise au point d'un système de météorologie intelligent basé sur la logique floue en 1998 dans le cadre d'un projet à Hong Kong ([www.ral.ucar.edu/asr2001/L-intel wx sys.html](http://www.ral.ucar.edu/asr2001/L-intel_wx_sys.html)). Le Département des Transports de l'Indiana a pour sa part développé des outils permettant d'obtenir en temps réel une information, grâce à des capteurs et des GPS, sur la répartition des matériaux déglacants, la température de surface de la chaussée, l'activité des véhicules d'entretien et les conditions météo-routières en utilisant un réseau de communication sans fil à l'échelle de l'État, dans le cadre du projet Safe-T (McCullouch and Kang, 2007)¹⁸. Un autre modèle de SIMR mobile a été développé par l'Université d'État du Montana en utilisant différents types de capteurs pour la mesure de

¹⁷ Drobot, S., W. Mahoney, E. Schuler, G. Wiener, M. Chapman, P. Pisano, B. McKeever, A. Stern (2009) IntelliDriveSM Road Weather Research and Development: The vehicle data translator. Proceedings of the 2009 Intelligent Transportation Society of America Annual Conference, 1-3 June 2009, National Harbor, MD, 13 pages.

¹⁸ McCullouch, B., J. Lee, And W. Kang (2007) Proceedings of the 2007 Mid-Continent Transportation Research Symposium, Ames, Iowa, August 2007.

la température de surface de la chaussée, la mesure de la salinité et du point de congélation, et la détection de glace sur la chaussée (Shi *et al.*, 2006).

Les possibilités actuelles en termes d'équipement permettent, grâce à la présence de capteurs dans l'environnement routier, d'assurer un suivi des conditions routières et d'améliorer les prévisions des paramètres d'aide à la décision. Par exemple, pour ce qui concerne l'utilisation des sels de déglacage, il est de plus en plus facile de répondre aux quatre exigences énoncées dans les meilleures pratiques de gestion des sels de voirie (Association des transports du Canada, 2003)¹⁹ : l'application des bons matériaux, au bon endroit, au bon moment et en bonne quantité.

De plus en plus d'administrations routières utilisent des capteurs montés sur des flottes de véhicules pour acquérir des données liées à la météo routière (température de l'air, degré d'humidité, température de surface de la chaussée, niveau d'adhérence de la chaussée, etc.). Cette approche est opérationnelle pour le monitoring du réseau et la viabilité hivernale. De plus, avec l'omniprésence des systèmes de freinage assisté (et des mécanismes d'aide à la traction) fournis par les équipementiers du domaine automobile, il est tout à fait envisageable d'évaluer et d'enregistrer le niveau d'adhérence à l'intérieur des véhicules des usagers de la route. On peut donc penser avec l'avènement des CVI/IVI à une communication de ces données entre véhicules ou entre un véhicule et une infrastructure pour fournir des informations sur des activités opérationnelles réalisées et en cours de réalisation, des conditions de glissance sur la chaussée. Ces technologies opérationnelles sur les stations météo-routières mobiles vont très certainement offrir de bonnes perspectives pour l'amélioration des opérations d'entretien routier et pour l'amélioration de la sécurité des usagers de la route.

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 laquelle elle peut jouer un rôle déterminant pour la décision et la gestion de l'exploitation des infrastructures routières ou pour l'information à l'usager. 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)²⁰. 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;

¹⁹ Association des transports du Canada (2003) Synthèse des meilleures pratiques de gestion des sels de voirie, Ottawa, Canada.

²⁰ National Winter Maintenance Peer Exchange (2009) Final Report. Planning Committee. 110 pages.

- 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 diverses 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.

Bien que la météo routière ne soit pas exclusivement liée à la saison hivernale, la viabilité hivernale représente pour une part importante une problématique météo-routière pour la circulation routière dans bien des pays du monde : 25 pays sont actuellement membre de l'Association mondiale de la route (AICPR) et participent activement au partage de connaissance dans ce domaine d'expertise particulier. Dans un récent rapport faisant le point sur l'état des connaissances et des activités en viabilité hivernale (AIPCR, 2010)²¹, les recherches en cours visant à améliorer la circulation routière en période hivernale ont un lien direct avec l'utilisation des STI. Bien que les préoccupations des pays ne soient pas semblables compte tenu du contexte variable, les objectifs des recherches portent néanmoins principalement sur :

- la connaissance en temps réel du déplacement des véhicules d'entretien et de leur type d'activité;

²¹ Association mondiale de la route - A.I.P.C.R. (2010) Base de données sur la neige et le verglas. Comité technique B5 de l'A.I.P.C.R., 464 pages.

- la prise en compte de la répartition des variations de la température de la chaussée, en réalisant des empreintes thermiques du réseau routier pour les intégrer ensuite en intrant dans un système d'information géographique;
- la conception et l'amélioration d'un système d'aide à la décision qui permettent d'effectuer une fusion des données de prévision et d'observation pour ensuite délivrer une information pertinente pour la stratégie d'entretien du réseau routier;
- l'optimisation des modes de gestion en ayant recours aux technologies pour mieux contrôler et gérer les ressources à affecter tant en régie qu'à contrat avec les maîtres d'ouvrage;
- la maîtrise des épandages de matériaux (fondants ou abrasifs), et plus particulièrement sur leur répartition au moment de l'épandage, leur efficacité, leur capacité à rester sur la route, et les résidus qu'ils peuvent laisser sur la surface de la route;
- les impacts environnementaux de l'utilisation des matériaux d'épandage, lorsqu'ils font l'objet de manutention, de stockage ou d'épandage.

Pour chacun de ces points, une collecte de données est nécessaire et ce sont leur traitement, leur transformation en information ou en connaissance, par leur intégration dans un système d'aide à la décision ou à la gestion, qui permet de réaliser des avancées.

Aussi, des attentes sont manifestées pour disposer de mesures plus précises ou davantage adaptées aux besoins des équipes d'entretien routier. Plusieurs travaux actuels portent sur l'efficacité de la mesure d'adhérence en condition hivernale, ou encore sur les nouveaux types de capteurs moins contraignants à installer ou plus appropriés à l'environnement routier (Arsenault, 2010)²².

Depuis plusieurs décennies déjà, des organisations routières ont mis en place des systèmes d'information météo-routier en ayant recours à des stations de mesures fixes (AIPCR, 2008)²³. Pour la majorité des pays aux prises avec des conditions hivernales, ces stations effectuent des mesures depuis plus de 15 ans. Le réel défi n'est plus aujourd'hui de collecter un grand nombre de paramètres météo-routier mais plutôt d'effectuer un traitement efficace des nombreuses données afin de les partager sous un format normalisé ou de les intégrer dans un système d'information. La gestion de l'information météo-

²² Arsenault, S. (2010) Évaluation des équipements de mesure de l'adhérence en condition hivernale. Actes du congrès mondial de viabilité hivernale à Québec, Association mondiale de la route (A.I.P.C.R.) 12 pages.

²³ Association mondiale de la route - A.I.P.C.R. (2008) Les systèmes d'aide à l'entretien hivernal et l'échange d'informations. Comité technique AIPCR C3.4 Viabilité hivernale, 89 pages.

routière est au cœur des améliorations des connaissances, des processus et des politiques de gestion en entretien hivernal. Une 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). De tels investissements en STI contribuent à éviter des ralentissements trop importants de la circulation routière et à accroître le niveau de sécurité routière. La pluie, le brouillard, la neige et la glace génèreraient plusieurs centaines heures de délais dans les transports routiers chaque année qui ont un impact socio-économique significatif. Mais, en plus des pertes humaines ou des blessures graves qu'ils peuvent causer, ce sont surtout les accidents provoqués par les mauvaises conditions d'adhérence ou de visibilité qui occasionnent d'importants coûts financiers : en services d'urgence, en dommages matériels, en services médicaux et de réadaptation, en procédures devant les tribunaux, en administration des assurances. La *Research and Innovative Technology Administration* regroupe les bénéfices du déploiement des STI pour la gestion météo-routière selon 4 aspects :

- **les prévisions météo, la veille météo et la surveillance du réseau routier** : une connaissance plus précise des situations météorologiques et de leurs impacts en termes de conditions de circulation favorise une meilleure sécurité et permet d'utiliser les ressources d'entretien routier avec une meilleure efficacité.
- **La dissémination des informations** : Internet est le medium le plus utilisé et la satisfaction des usagers de la route est significative lorsque les informations sont suffisantes pour influencer la préparation des trajets pour éviter des délais trop importants;
- **Le contrôle de la circulation routière** : les STI aide à fournir des informations relatives aux fermetures de route au gestionnaire qui prend la décision ou aux usagers qui doivent emprunter un autre itinéraire, et permet de gérer la dangerosité de la circulation et les ralentissements trop importants ;
- **Les activités d'entretien en réaction aux situations** : les délais d'intervention sont plus rapides compte tenu de l'information plus précise que procurent les STI, et davantage de possibilités de stratégie s'offrent au gestionnaire du réseau routier, comme les opérations préventives et une utilisation plus appropriée des matériaux fondants et abrasifs.

**VEILLE DES DERNIÈRES INNOVATIONS
DANS LE CONTEXTE DE LA VIABILITÉ HIVERNALE**

4 - DÉMARCHES ACTUELLES AU MTQ EN VIABILITÉ HIVERNALE

Le MTQ a mis en place plusieurs types de projets pilote dans le contexte particulier de la viabilité hivernale et des STI dans le but d'améliorer la gestion des ressources. Les initiatives les plus importantes s'articulent autour de 4 thèmes.

L'analyse des situations météo-routières

Les **Centre intégrés de monitoring (CIM)** dans lesquelles une gestion particulière de l'information météo-routière est effectuée. Ces entités sont au centre de l'organisation des interventions en collectant l'ensemble des données et en procurant des informations sur les événements météo-routiers. La Figure 2 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. En plus de 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 notoire. Les phénomènes météo-routiers et des actions d'entretien a posteriori sont donc analysés de façon à procurer des moyens encore plus efficaces d'appréhender rapidement les situations en temps réel.

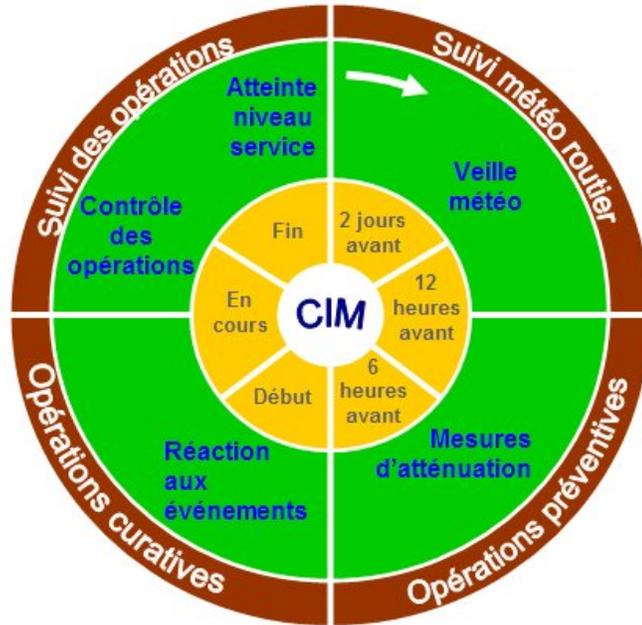


Figure 2 : Rôle du CIM (MTQ - Estrie)

Des systèmes de collecte de données météo-routières

Le système de **Décision en viabilité hivernale (DVH)** a été mis en place depuis une dizaine d'année avec aujourd'hui près de 50 stations météo-routières fixes réparties dans 15 directions régionales du MTQ. Ces infrastructures 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, température de surface de la chaussée, température à différentes profondeur dans la chaussée, direction et vitesse du vent, détection des précipitations. Certaines stations sont dotées 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. Des tests ont également été effectués avec des stations à équipement limité qui 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. L'ensemble des données est consultable sur une interface regroupant les observations faites pour chacune des stations ainsi que les prévisions météorologiques (

Figure 3).

**VEILLE DES DERNIÈRES INNOVATIONS
DANS LE CONTEXTE DE LA VIABILITÉ HIVERNALE**

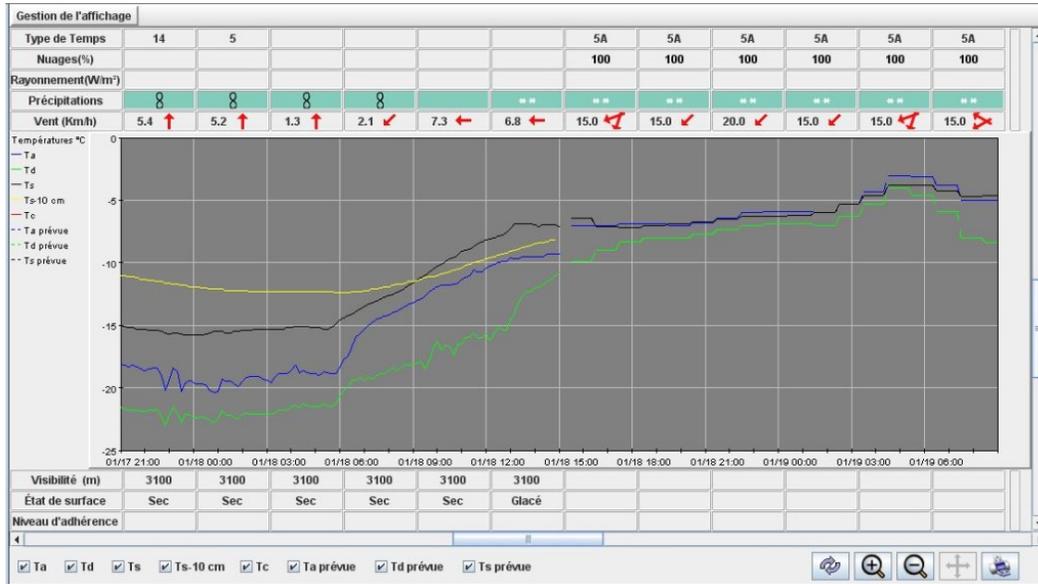


Figure 3 : Interface des observations et des prévisions réalisées aux stations du MTQ

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. 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)²⁴. 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,

²⁴ Charrier, F. (2009) Les stations météo-routières mobiles, une technologie novatrice et efficace. L'Équipe Intranet Transport Québec, 2 p.

l'humidité relative (et le calcul de la température du point de rosée), la température de surface de la chaussée et l'altitude.

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. Les données sont mesurées en temps réel (mesures toutes les 30 secondes ou à chaque changement). La quantité de données cumulée correspond environ à une moyenne de 90 000 enregistrements par camion et saison hivernal, pour lesquels sont consignées plus d'une vingtaine de variables.

Les CVD font référence 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).

La gestion des ressources pour l'entretien hivernal

Le MTQ vise également à contrer l'augmentation du coût des contrats de maîtrise d'ouvrage donnés à des intervenants extérieurs et qui augmentent de façon notoire depuis quelques années. Une proportion importante de cette forme de gestion, 82 % des activités d'entretien hivernal, nécessite d'utiliser le potentiel de l'information météo-routière afin d'ajuster des modes de gestion appropriés et assurer une meilleure rentabilité tant en maintenant un niveau de services de qualité aux citoyens (Berger et Arsenault, 2010)²⁵.

Une nouvelle réflexion s'amorcent actuellement pour la valorisation des données météo-routières afin d'établir des correspondances entre les différents types de mesures compilées et de capitaliser les informations

²⁵ Berger, Y. et Arsenault, S. (2010) Évaluation de 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 (A.I.P.C.R.) 12 p.

pertinentes pour la gestion des ressources impliquées dans l'entretien hivernal (Hamel, 2010)²⁶.

L'amélioration des messages destinés à l'utilisateur de la route

Le MTQ offre depuis plus de 40 ans des informations sur les conditions de circulation en hiver. De récents travaux dans le cadre d'une concertation entre les différentes provinces du Canada a abouti à l'uniformisation des termes utilisés pour la description des conditions routières dans un langage simple et efficace.

L'ensemble de ces démarches pour lesquelles des initiatives datent de presque 10 années est favorable au développement de la recherche selon les approches actuelles et les outils maintenant disponibles dans le but d'optimiser les activités du MTQ en viabilité hivernale.

²⁶ Hamel, S. (2010) Des solutions innovatrices pour la gestion de la viabilité hivernale. Actes du congrès mondial de viabilité hivernale à Québec, Association mondiale de la route (A.I.P.C.R.) 10 p.

**VEILLE DES DERNIÈRES INNOVATIONS
DANS LE CONTEXTE DE LA VIABILITÉ HIVERNALE**

5 - RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES SUR LA RECHERCHE EN VIABILITÉ HIVERNALE POUR LE QUÉBEC

Afin de faire référence aux nombreux bénéfices et à l'état de l'art dans les différents secteurs de la météo-routière de plus en plus combinée aux STI, plusieurs axes de recherche peuvent alors être envisagés. Les recherches appliquées à mener pourraient être classées selon le cheminement d'une donnée vers l'aboutissement à une information pertinente et adaptée au type d'utilisateur :

- la collecte des données;
- la transmission des données;
- le stockage des données;
- l'aide à la décision;
- l'aide à la gestion;
- la diffusion de l'information au conducteur;
- la formation du milieu professionnel et de personnel hautement qualifié.

Mais au travers de chacun de ses axes de recherche, les portées des travaux devraient être orientées selon divers types d'utilisation de l'information correspondant aux besoins à combler.

Suivi météo-routier : les travaux consisteraient à valider les prévisions météorologiques avec les différentes sources d'observation et à anticiper les phénomènes météo-routiers en évaluant les impacts des événements météorologiques sur la chaussée. Nous considérons ici tout élément d'information permettant d'avoir une meilleure représentation des paramètres qui entrent en jeu dans les phénomènes météo-routiers.

Déroulement des opérations d'entretien routier : les recherches porteraient sur les différentes interventions sur le réseau routier pour offrir de bonnes conditions de circulation tout au long de l'année et plus particulièrement en hiver (viabilité hivernale), assurer l'entretien et le renouvellement des éléments de signalisation (panneaux, feux de circulation) ainsi que la réalisation du marquage (signalisation horizontale). Cette portée comprend les aspects de planification, de réalisation et de suivi des opérations.

Surveillance du réseau routier : ces activités visent à connaître les anomalies sur un réseau routier en vue de prendre des mesures temporaires, corriger la situation ou apporter des améliorations. Il s'agit par exemple des informations qui ont trait à des panneaux de signalisation renversés, des glissières de sécurité endommagées, des sections de route glissantes ou non déneigées, etc. La gestion des plaintes ou des demandes de services formulées par les usagers de la route entrent dans cette portée, de même que les décisions de fermeture de route et de déviation.

Gestion des urgences : cette portée comprend les activités ayant un lien avec la gestion de crise pour des événements météorologiques ponctuels qui ont un impact dans le domaine des transports, ou encore l'ensemble des informations pertinentes au maintien des services essentiels tels que les services de santé, les services d'incendie et les services de police, dans des conditions météo-routières particulières.

Dissémination d'information au conducteur : cette partie concerne également l'ensemble du processus d'acquisition, de transmission et de gestion de l'information météo-routière mais qui est spécialement dédiée à l'usager de la route, et plus particulièrement au conducteur. Pour cette portée, l'aide à la gestion fait référence à la faculté de gérer l'information sans nuire à la conduite sécuritaire du véhicule. La diffusion de l'information comprend la préoccupation de délivrer un message clair et efficace. Une préoccupation du Centre a trait à la perception des usagers de tout ce processus d'échange d'informations de véhicule à véhicule. La portée correspond à l'axe de recherche sociale du Centre d'expertise.

6 - AXES DE DÉVELOPPEMENT SUGGÉRÉS POUR LA COLLECTE DES DONNÉES MÉTÉO-ROUTIÈRES

Amélioration de l'instrumentation des systèmes d'information

La collecte des données météo-routières a d'abord été et continue d'être réalisée par des stations météo-routières fixes, en plusieurs points réseau routiers. Les pratiques sont assez communes d'un pays à l'autre du point de vue de l'utilisation des capteurs et de l'emplacement des stations. Deux guides, un provenant de la *Federal Highway Administration* et l'autre du *Standing International Road Weather Commission* fournissent les informations quant aux possibilités des mesures effectuées par les stations, aux précautions pour leur installation, ainsi que sur la signification des mesures dans le contexte des observations et des prévisions météo-routières (Standing International Road Weather Commission, 2005)²⁷, (Manfredi, 2005)²⁸.

Le principe de collecte de données météo-routières à bord des véhicules s'effectue déjà afin de fournir les conditions exactes dans un environnement routier. Un ensemble de capteurs est ainsi installé sur les véhicules dans le but d'obtenir diverses mesures associées à la localisation qui sont en général : la température de l'air, le degré d'humidité (ainsi que la température du point de rosée), la pression atmosphérique, et la température de la surface de la chaussée. Le Ministère des Transports du Québec a lui-même développé un ensemble d'acquisition, de stockage et de transmission des données qui comprenait en plus les données d'altitude. Selon les besoins exprimés et les ressources disponibles, d'autres paramètres peuvent être mesurés à partir de ces stations météo-routières mobiles (Shi et al, 2006)²⁹ : la détection du point de congélation sur la surface d'une chaussée mouillée et la mesure de salinité par collecte des éclaboussures près de la surface de la route. Le recours à des capteurs multi-spectraux ouvre aussi la voie à plusieurs alternatives pour prendre une mesure de la température de la surface en différents points de la chaussée, déterminer l'état de la surface de la chaussée. Ce sont ces mêmes

²⁷ Standing International Road Weather Commission - S.I.R.W.E.C. (2005) RWIS Web Guide. In <http://www.sirwec.org/>, S.I.R.W.E.C., All contents of this site © 1985-2010, http://www.sirwec.org/documents/rwis_web_guide.pdf, 83 pages.

²⁸ 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 pages.

²⁹ Shi, X., C. Strong, R. Larson, D. Kack, E. Cuelho, N. El Ferradi, A. Seshadri, K. O'Keefe, L. Fay (2006) Vehicle-Based Technologies for Winter Maintenance: The State of the Practice. Western Transportation Institute, College of Engineering, Montana State University, Bozeman, 129 pages.

technologies qui sont utilisées pour l'évitement des collisions entre les véhicules de déneigement et les obstacles difficilement visibles à cause des équipements.

La collecte des données peut également être réalisée à bord des véhicules de particuliers, sans ajout de capteurs spécifiques additionnels, compte tenu de l'instrumentation de base des récentes automobiles. Une étude américaine a prouvé qu'il était possible d'utiliser les données des ordinateurs de bord qui stockent la température de l'air et la pression atmosphérique pour optimiser les systèmes d'injection (Petty et al., 2007)³⁰. Le déclenchement des essuie-glaces donne aussi de très bonnes indications sur l'occurrence des précipitations (activation des essuie-glaces) et sur leurs intensités (vitesse du balayement des essuie-glaces). La vitesse des véhicules est également une donnée renseignant dans certaines circonstances sur le manque de visibilité, et plusieurs véhicules disposent également de détecteur de présence d'eau sur le pare-brise pour le déclenchement et la régulation automatique de la vitesse des essuie-glaces.

Bien que ces données soient très intéressantes, elles ne disposent pas d'un degré de fiabilité constant et leur nombre très important nécessite un processus de traitement et de mise à profit des informations très efficace. Pour ces raisons, dans le cadre d'une initiative appelée *IntelliDrive*SM consacrée aux technologies d'échange d'information de véhicule à véhicule et de véhicule à une infrastructure, un concept de traduction des données a été mis au point pour l'intégration des informations destinées aux météorologues ou aux usagers de la route (Drobot et al., 2009)³¹. Les données brutes font l'objet de plusieurs étapes de traitements afin de donner une plus-value à l'information finale. Les données collectées sont décomposées selon leur origine géographiques et le type de paramètre, sont ensuite passées dans un filtre qui les valeurs incohérentes, la vitesse du véhicule, etc. pour pondérer leur fiabilité, suivent un processus de validation avec différents types de tests permettant de déterminer leur fiabilité, puis aboutissent à un traitement statistique afin de disposer des variables finales et des valeurs indirectes calculées à partir des mesures et de données auxiliaires.

Parmi les dernières innovations, l'intérêt des organisations routières est tourné vers l'information du niveau d'adhérence de la chaussée, mesurée directement à partir de capteurs, soit calculés en fonction de paramètres tels que l'état de la surface de la chaussée. Le Ministère des Transports a procédé à une étude

³⁰ Petty, K., W. Mahoney (2007) Weather Applications and Products Enabled Through Vehicle Infrastructure Integration: Feasibility and Concept Development Study. National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, 116 pages.

³¹ Drobot, S., W. Mahoney, E. Schuler, G. Wiener, M. Chapman, P. Pisano, B. McKeever, A. Stern (2009) *IntelliDrive*SM Road Weather Research and Development: The vehicle data translator. Proceedings of the 2009 Intelligent Transportation Society of America Annual Conference, 1-3 June 2009, National Harbor, MD, 13 pages.

comparative de différentes roues d'essai qui fournissent des indicateurs de glissances (Arsenault, 2010)³². L'un de ces appareils a également fait l'objet d'une recherche pour la classification des valeurs de mesures selon plusieurs modèles de classification dans le but de caractériser l'état d'un tronçon routier en termes d'adhérence (Feng, 2010)³³. Les mesures d'adhérence actuellement présentent certaines limites qui dépendent du type de fonctionnement des appareils (roue d'essai soumise à un freinage partiel ou à une force latérale). À l'exception des décéléromètres qui nécessitent un freinage brusque pour établir un indice d'adhérence, les appareils de mesure continue sont encombrants (roue d'essai à l'arrière du véhicule), leur entretien régulier est nécessaire, et leur prix est assez conséquent.

Du point de vue de l'évaluation des états de surface, le recours à la télédétection est une voie de plus en plus envisagée. Des capteurs existent depuis peu sur le marché en utilisant un capteur actif qui analyse le rayonnement réfléchi et détermine ainsi la présence d'eau, de glace ou de neige (Bridge, 2008)³⁴. Le traitement d'images numériques est également une perspective dans laquelle sont évaluées les différences de valeurs des pixels en fonction d'un éclairage constant et à l'aide d'algorithmes d'interprétation. Dans cet esprit des premiers résultats ont été obtenus pour différencier l'état de la chaussée sèche et mouillée à partir d'images du canal visible (de type photographique) et qui ont été confirmés par l'utilisation d'un capteur multi-spectral (Marchetti et Claverie, 2010)³⁵. D'autres travaux ont été réalisés avec une caméra installée à bord d'un véhicule dans le but de déterminer le taux de couverture de neige sur une chaussée, toujours à partir du traitement d'images numériques du canal visible et d'un modèle de classification : route complètement dégagé, complètement enneigée ou dégagée dans les traces de roues (Omer, 2010). Les résultats ont été concluants à partir d'équipement peu coûteux.

La combinaison du traitement d'images numériques avec l'utilisation de certaines fréquences électromagnétiques est prometteuse puisqu'elle permettrait de distinguer en plus des états de surface composés exclusivement

³² Arsenault, S. (2010) Évaluation des équipements de mesure de l'adhérence en condition hivernale. Actes du congrès mondial de viabilité hivernale à Québec, Association mondiale de la route (A.I.P.C.R.) 12 pages.

³³ Feng, F., L. Fu (2010) Classification de l'état de surface des routes en hiver fondée sur la mesure du frottement continu. Actes du congrès mondial de viabilité hivernale à Québec, Association mondiale de la route (A.I.P.C.R.) 13 pages.

³⁴ Bridge P. (2008) Noninvasive Road Weather Sensors. Proceedings of the Seventh International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology, Transportation Research Board, Indianapolis, Indian, 9 pages.

³⁵ Marchetti, M., R. Claverie (2010) Discrimination des états de surface de chaussée par extraction de données d'images. Actes du congrès mondial de viabilité hivernale à Québec, Association mondiale de la route (A.I.P.C.R.) 8 pages.

ou partiellement d'eau, de glace et de neige. Aussi, la convergence de plusieurs types de mesures est également une alternative à explorer notamment en considérant le traitement d'images numérique et les mesures d'un capteur acoustique dans le but de discriminer des états de surface difficile à départager avec un seul principe de détection.

La caractérisation de l'état de la chaussée demeure encore un problème complexe. Sur le plan logistique, il y a une obligation d'utiliser des instruments légers pouvant s'installer facilement à bord des véhicules et capables d'opérer dans les dures conditions de l'hiver. Les instruments utilisés comprennent entre autres des capteurs de mesure de la température de la chaussée, des systèmes de détection de la glace, du gel, des capteurs de mesure de salinité, des capteurs radar, laser, des caméras et des capteurs multispectraux (SIRWEC, 2009)³⁶. La plupart de ces instruments s'utilisent pour la détection des conditions environnementales ou de l'état de la surface des chaussées.

Les radars et les caméras détectent en plus des obstacles. La température de surface, particulièrement importante en viabilité hivernale est mesurée à l'aide de la radiométrie infrarouge thermique est utilisée à cette fin (Boselly III et al., 1993; Royer et al., 2006)³⁷. Les conditions de nébulosité affectent les mesures de température et la détection de l'état de surface de la chaussée. Quand la couverture nuageuse est forte, les températures du ciel, de l'air et de la surface sont presque identiques. Il devient alors difficile de différencier les états de surface dans ces conditions.

L'utilisation des micro-ondes pour la détection de l'état des surfaces est une avenue qui n'a pas encore été suffisamment exploitée, même si les premiers essais datent des années 90 (Tapkan *et al.*, 1996)³⁸. Les micro-ondes sont très sensibles à la présence de l'eau, de la neige et de la glace sur une surface, comme le démontrent d'ailleurs les travaux de ces auteurs qui ont porté sur des fréquences de 26,5 à 40 GHz. Les micro-ondes passives ont fait l'objet de très peu de travaux, malgré leur potentiel encore plus élevé. Il faut admettre que jusqu'à très récemment il n'existait pas de radiomètre micro-onde léger et portable pouvant être facilement installé sur des véhicules. Par ailleurs, des progrès importants ont été faits ces dernières dans le développement de capteurs. La compagnie finlandaise Vaisala joue un rôle de leader dans la commercialisation d'équipements de pointe comme le système laser DSC111 pour la détection du verglas routier ou le système multicapteurs DRS511 permettant de mesurer une diversité de variables liées à l'état de la chaussée (<http://www.vaisala.com/>). De nombreux instruments récents, en

³⁶ SIRWEC, 2009. A guide to road weather systems. www.sirwec.org/en/rwis_web_guide.pdf

³⁷ Royer, A., Cliche, P., Pichevar, R., Carrier, D., Pancrati, O., 2006. Projet Viabilité hivernale 2005-2006 pour le Ministère des transports du Québec. Rapport, 17p.

³⁸ Tapkan, B.I., Yoakum-Stover, S., Kubichek, R.F., 1996. Active microwave remote sensing of road surface conditions, Proceedings, Snow and Ice Control Technology, 4th Symposium, Reno, Nevada, August 11-16, 1996, pp.73-80.

attente de brevets, sont partiellement présentés sur Internet. Ils sont dédiés principalement à la mesure de la température de la chaussée ou de l'englacement.

Dans un contexte d'intégration véhicule-infrastructure, les mesures issues des stations fixes ou de capteurs installés à bord de véhicules de patrouille ou de déneigement, ne constituent qu'une partie de l'information (Petty et Mahoney III, 2007)³⁹. Les véhicules eux-mêmes doivent être considérés comme des sources de données inestimables, pouvant compléter les autres données dans le processus de prise de décisions. Les véhicules sont équipés de systèmes d'essuie-glaces, de freins antiblocages et de plus en plus d'indicateurs de patinage. L'industrie automobile continue à innover et à équiper les véhicules de systèmes d'assistance à la conduite fort utiles. Ainsi, Continental Corporation annonçait récemment la disponibilité très prochaine d'un système de mesure de verglas routier et de transmission de l'information utilisant une série de microcapteurs pour la mesure de la température de la chaussée (Continental, 2009). L'activation d'un système d'essuie-glaces ou du système de freins antiblocages peut informer sur la présence de conditions pluvieuses, de neige ou de brouillard. La prise en compte de telles informations en conjonction avec les mesures des autres capteurs et des mesures météorologiques pourrait conduire à des prises de décisions plus éclairées. Cependant, comme le soulignent ces auteurs, dans leur rapport, la qualité et la quantité des données, la standardisation des méthodes de collecte, ainsi que la fréquence de réception sont autant de facteurs qui méritent d'être maîtrisés pour être exploitables dans un contexte de SIMR. Ces données une fois filtrées et mises en forme pourraient être utilisées pour améliorer les prévisions des modèles météorologiques, sous réserve de leur acceptation par la communauté des sciences atmosphériques.

En considérant l'ensemble de ces sources de données (stations fixes le long des routes, capteurs à bord de véhicules de patrouille ou de déneigement, véhicules individuels équipés de systèmes de transmission), on comprend très vite le défi que poseront le traitement et l'extraction d'informations pertinentes (Chapman et Thornes, 2006)⁴⁰. Il ne s'agit pas seulement de déduire l'état actuel des routes, il faut savoir également prédire. Dans ce sens de nombreux travaux utilisent les prévisions du temps en conjonction avec les mesures pour prédire l'état des routes (voir par exemple Brown *et al.*, 2008)⁴¹. Des méthodes de fusion ou d'assimilation de données sont nécessaires pour profiter de ces

³⁹ Petty, K.R., Mahoney III, W.P., 2007. Weather applications and products enabled through vehicle infrastructure integration (VII) – Feasibility and Concept Development Study. Technical Report No FHWA-HOP-07-084, National Center for Atmospheric Research, USA, 120p.

⁴⁰ Chapman, L., Thornes, J.E., 2006, A geomatics based road surface temperature prediction model. *Science of the Total Environment*, 360, 68-80.

⁴¹ Brown, A., Jackson, S., Murkin, P., Sheridan, P., Skea, A., Smith, S., Veal, A., Vosper, S., 2008. Proceedings, 14th International Road Weather Conference, Prague, Czech Republic, 14-16 May 2008.

données multisources entachées d'incertitudes. Fujiwara *et al.* (1996)⁴² ont intégré les filtres de Kalman et les réseaux de neurones pour pouvoir prédire l'état d'englacement des routes. D'autres exemples pertinents montrant la complexité de l'exploitation commune de ces données ont été présentés à la conférence de SIRWEC (2008)⁴³ à Prague.

En résumé, le développement de systèmes de transport intelligent d'abord et avant tout un enjeu de sécurité, mais c'est aussi un enjeu économique important. La plupart des technologies et des systèmes en développement ne sont pas matures, ou ils sont simplement au stade conceptuel. La recherche a un grand rôle à jouer dans l'ensemble du processus. La viabilité hivernale nécessite des mesures plus fiables, en tout temps, et leurs liens avec l'état de la chaussée. La qualité des données issues des véhicules eux-mêmes (exemple essuie-glaces) pendant l'hiver, la fusion des données ainsi que l'utilisation des modèles de prévisions du temps demeurent des aspects de recherche importants.

Optimisation de la collecte des données

La collecte de données et la technologie de communication seront les composantes clés pour un futur système de gestion météo-routière. L'information portant sur les conditions de l'environnement routier peut être collectée par des véhicules en mouvement ou par une infrastructure fixe. Un défi majeur qui est apparu naturellement avec l'émergence des applications pour les réseaux de capteurs est l'échantillonnage des données, leur stockage et leur transmission selon la spécificité de l'application comme dans le cadre du suivi météo-routier ou la mise à disposition de messages de sécurité destinés à l'usager de la route.

Actuellement, les données sont régulièrement collectées par les différents capteurs dans les véhicules ou sur les infrastructures. Elles sont également transmises et occasionnellement stockées pour une utilisation ultérieure. Bien souvent, les données collectées sont brutes et ne peuvent être directement utilisées dans les applications. D'où la nécessité de les prétraiter afin qu'elles puissent être directement utilisées dans les applications. Par exemple, une collecte périodique réalisée sur les capteurs peut créer un volume important de données qui ne peuvent être facilement stockées et traitées. La compression des données peut aider à réduire la fréquence de collecte tout en gardant une continuité du signal. Néanmoins, différentes applications peuvent utiliser différents techniques d'agrégation de données. Cette approche consiste à

⁴² Fujiwara, T., Nakatsuji, T., Onodera, Y., Hagiwara, T., 1996. Predicting slipperiness of road surface in winter with a neural-Kalman filter. Proceedings, Snow and Ice Control Technology, 4th Symposium, Reno, Nevada, August 11-16, 1996, pp.85-91.

⁴³ SIRWEC, 2008. Proceedings, 14th International Road Weather Conference, Prague, Czech Republic 14-16 May, 2008, www.sirwec.cz.

poser la question suivante : quelles sont les meilleures techniques d'échantillonnage et de traitement pour la collecte et le stockage de données à l'intérieur des véhicules et avec les infrastructures à des points fixes ?

Un autre défi est de déterminer comment intégrer les stratégies de communication avec la collecte de données et les techniques d'échantillonnage. Les données collectées et échantillonnées par les capteurs n'ont pas seulement besoin d'être prétraitées sur place, mais elles doivent aussi être communiquées et fédérées quand cela est nécessaire dans un type de distribution aussi bien pour correspondre aux fonctionnalités des applications spécifiques que pour être partagées pour l'information destinées aux véhicules pour les conditions routières, ou encore pour l'information envoyée aux centres de surveillance responsables d'un secteur délimité.

Les difficultés de traitement et de stockage des données doivent être considérées comme des problèmes de distribution impliquant les possibilités en termes de communication. Quels sont alors les meilleurs modèles d'intégration des données à court et moyen termes à propos de la collecte de données et des possibilités de traitement dans les véhicules et avec les infrastructures fixes ? Quand les données issues des différents capteurs doivent-elles être communiquées à l'extérieur du véhicule ? Cette dernière question réfère par exemple, pour le positionnement, aux considérations sur la vie privée qui doivent être prévues lorsqu'il s'agit de véhicules de particuliers. Les prochaines recherches devraient s'attacher à déterminer les meilleurs concepts, algorithmes et techniques pour la communication de données issues de capteurs qui ne présentent pas de danger pour la vie privée des particuliers.

Transmission des données selon les infrastructures existantes

La radiocommunication est un élément essentiel des systèmes de transports intelligents (STI). Dans le domaine d'application particulier de la viabilité hivernale, cette radiocommunication permet la transmission des données numériques récoltées par des stations météo fixes ou par des véhicules équipés de capteurs (e.g. capteurs de température) qui sillonnent un réseau routier donné. À l'heure actuelle, les stations météo et les véhicules du Ministère des Transports du Québec (MTQ) utilisent une infrastructure de téléphonie cellulaire pour la transmission des données numériques. Une infrastructure de radiocommunication FM distincte est employée pour la communication vocale avec les conducteurs des véhicules.

Le gouvernement du Québec s'apprête à faire migrer l'ensemble des services de radiocommunication de ses ministères et organismes sur une infrastructure nommée RENIR – RÉseau National Intégré de Radiocommunications. Sous la responsabilité du Centre de services partagés du Québec (CSPQ), le RENIR est un réseau de radiocommunication conforme à la norme P25

(Telecommunications Industry Association, 1998)⁴⁴. En principe, le RENIR permettra la radiocommunication sur toutes les routes numérotées au Québec, incluant une distance de 100 m de chaque côté de celles-ci. En plus de permettre la radiocommunication en mode conventionnel, le RENIR permettra la communication simultanée de signaux vocaux et de données numériques. Aussi, le RENIR offrira une utilisation efficace du spectre radio par assignation dynamique des fréquences. Surtout, le RENIR permettra la gestion de communications de groupe étant donné son caractère numérique qui rend possible ce genre de fonction.

La migration des services de radiocommunication du MTQ vers le RENIR constitue une opportunité de recherche et développement d'une plateforme radio conforme à la norme P25 au sein du Centre d'Expertise en Systèmes de Transports Intelligents (CESTI). Cette plateforme pourra gérer la transmission de données numériques provenant des stations météo et des capteurs que l'on retrouve sur les véhicules du MTQ. La communication vocale avec les conducteurs pourra être prise en charge par cette même plateforme, procurant ainsi un plus grand degré d'intégration.

Le domaine de la radio réalisée par logiciel (RRL) est en effervescence depuis le début des années 90 (Lackey et Upmal, 1995)⁴⁵. On entend par RRL une radio dont un maximum de fonctions (translation en fréquence, modulation/démodulation, cryptage, etc.) sont réalisées dans le domaine numérique et sont, de surcroît, configurables par mise à jour logicielle. Au fur et à mesure que les technologies des convertisseurs analogique/numérique et des processeurs de signaux numériques avancent, le traitement dans le domaine numérique s'approche de plus en plus de l'antenne de la radio. Les avantages de la RRL sont multiples :

- possibilité d'utiliser une même plateforme matérielle universelle large bande pour plusieurs types de radiocommunications;
- configuration à la demande des fonctions de la radio;
- interopérabilité accrue.

Une percée importante dans le domaine de la RRL fut le développement d'une architecture logicielle normalisée au sein du groupe « Joint Tactical Radio System » de l'armée des États-Unis. Cette architecture, nommée Software Communication Architecture (SCA), est en fait un système d'exploitation permettant d'abstraire la plateforme matérielle de la radio par rapport au logiciel réalisant une application radio donnée (Joint Tactical Radio System

⁴⁴ Telecommunications Industry Association, « Project 25 FMA Common Air Interface New Technology Standards Project Digital Radio Technical Standards », Arlington: Telecommunications Industry Association, 1998. TIA/EIA102. BAAA.

⁴⁵ Lackey, R.J. et Upmal, D.W., « Speakeasy: The Military Software Radio », IEEE Communications Magazine, mai 1995, pp. 5661.

Standards, 2006)⁴⁶. Ainsi, une même application radio pourrait tourner sur diverses plateformes matérielles, pour autant qu'un système d'exploitation conforme à l'architecture SCA soit présent sur ces plateformes.

L'architecture SCA est maintenant valorisée dans le domaine civil par, entre autres, les efforts du Software Defined Radio Forum (SDR Forum; www.sdrforum.org). Le SDR Forum est un organisme industriel sans but lucratif faisant la promotion des nouvelles technologies que nous retrouverons dans les systèmes radio de l'avenir. En 2001, le SDR Forum a mandaté le Centre de recherches sur les communications Canada (CRC) pour le développement d'une toute première réalisation de l'architecture SCA dans le domaine civil.

Au-delà du développement d'applications radio ou d'applications pour des problèmes spécifiques tels ceux du MTQ en viabilité hivernale, la disponibilité d'une plateforme de radiocommunication basée sur la RRL ouvre la porte à la recherche dans le domaine émergent de la radio cognitive (Fette, 2006)⁴⁷ et de l'informatique diffuse (Dhingra et Arora, 2008)⁴⁸. La radio cognitive permet au système de radiocommunication de sonder de manière autonome son environnement électromagnétique pour utiliser à son avantage les ressources momentanément disponibles. L'informatique diffuse, quant à elle, permet à un système informatique de s'adapter à un contexte évolutif qu'il ausculte par l'entremise d'une multitude de capteurs de nature souvent différente et répartis. Une plateforme de radiocommunication P25 basée sur la RRL serait un élément central d'un effort ultérieur de recherche visant à mettre à profit la radio cognitive et l'informatique diffuse dans le domaine des systèmes de transports intelligents.

Potentialité des réseaux de capteurs sans fil

Suite à certains événements (tels que des tempêtes ou des accidents), il est parfois indispensable d'avoir un système d'intervention rapide afin de sécuriser les routes. Par exemple, cette nécessité d'intervention est criante lorsque les conditions hivernales rendent les routes du Québec difficiles et parfois dangereuses pour la circulation. Un des objectifs essentiels du système à développer sera de transmettre des informations pertinentes à des services compétents et aux automobilistes. Les services compétents pourront alors décider et entreprendre des actions nécessaires pour sécuriser les routes. Les automobilistes, quant à eux, prendront des décisions qui minimiseront les

⁴⁶ Joint Tactical Radio System Standards, « Software Communication Architecture Specification », version 2.2.2, 15 mai 2006, 126 p.

⁴⁷ Fette, B., « Cognitive Radio Technology », Elsevier, 2006, 622 p.

⁴⁸ Dhingra, V. et Arora, A., « Pervasive Computing : Paradigm for New Era Computing », 1st International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, 2008.

tracas causés par les conditions routières. Illustrons dans ce qui suit les différents points qui viennent d'être abordés.

Les informations pertinentes à transmettre peuvent par exemple être : des images, la température, l'humidité, la présence et l'épaisseur de glace ou de neige. Les services compétents qui reçoivent ces informations peuvent alors décider d'actions à entreprendre, par exemple : les lieux où il faut mettre du sel, les catégories et quantités de sel à mettre, ou arrêter la circulation sur un tronçon de route. Les services compétents peuvent aussi décider d'informer et de conseiller les automobilistes, pour leur permettre entre autres d'éviter certains tronçons de routes. Plus précisément, on peut envisager une structure où les informations peuvent être envoyées à un CDC, un DEM et un TA. Un centre de décision et de contrôle (CDC) reçoit et analyse les informations reçues, décide d'actions à entreprendre et les transmet à un DEM et/ou à un TA. Un décideur et exécutant mobile (DEM) reçoit des informations à partir desquelles il peut décider d'actions à entreprendre; il reçoit aussi des actions décidées du CDC et les exécute. Un tableau d'affichage (TA) reçoit des informations du CDC et les affiche pour les conducteurs.

Un réseau de communication est nécessaire afin de transmettre les informations mesurées par des capteurs. Afin de ne pas nécessiter d'infrastructure de communications, une solution est d'utiliser un réseau ad hoc reliant les capteurs de mesures, communément appelé réseau de capteurs sans fil (RCSF). On est alors confronté à plusieurs problèmes, en particulier la limitation en énergie des capteurs du RCSF. Par conséquent, des protocoles et algorithmes trop gourmands en énergie ne peuvent pas être utilisés.

Nous utiliserons plusieurs types de capteurs, par exemple de température et d'humidité. Mais nous nous attarderons sur les capteurs visuels (c'est à dire les informations transmises sont des images), qui présentent des défis scientifiques importants. En effet, les algorithmes de compression d'images, tels que JPEG et JPEG2000, ne peuvent pas être utilisés car ils sont trop gourmands en calcul et mémoire, donc en énergie. Une problématique importante est alors le développement d'algorithmes alternatifs consommant moins d'énergie.

Les capteurs visuels sont ceux qui présentent vraisemblablement le plus de défis scientifiques, en raison de la grande quantité de données transmises alors que des contraintes énergétiques doivent être respectées. Les réseaux de capteurs visuels (RCV) sont de plus en plus utilisés dans plusieurs types d'applications, telles que la vidéo-surveillance ou la détection et le suivi d'objets (Mammeri, Khoumsi, Ziou et Hadjou, 2008-a)⁴⁹. Un capteur visuel

⁴⁹ Mammeri, A., A. Khoumsi, D. Ziou, B. Hadjou (2008-a). Modeling and Adapting JPEG to the Energy Requirements of Visual Sensor Networks. First International Workshop on Sensor Networks (SN), in Conjunction with ICCCN. Virgin Islands, USA, August 2008.

(CV) traite une quantité importante d'informations qui ont besoin d'être compressées en utilisant des standards tels que JPEG ou JPEG2000. Ces standards sont trop gourmands en énergie et ne peuvent par conséquent pas être utilisés tels quels dans les RCV, ces derniers étant limités en énergie.

La transmission d'images dans les RCV est étudiée dans plusieurs travaux (Chiasserini et Magli, 2002; Pekheryev, Sahinoglu et Bhatti, 2005). Chiasserini et Magli (2002)⁵⁰ ont étudié la consommation d'énergie et la qualité d'image dans les réseaux de vidéo-surveillance sans fil. Pekheryev, Sahinoglu et Bhatti (2005)⁵¹ ont montré la faisabilité de la transmission d'images JPEG à travers des noeuds ZigBee. Taylor and Dey (2001)⁵² ainsi que Bracamonte, Ansorge, et Pellandini (1996) ont exploité la propriété de tassement d'énergie de la DCT (Discrete Cosine Transform) dans le but de respecter des contraintes de consommation d'énergie.

Optimisation de l'utilisation des images de caméra pour la viabilité hivernale

La sécurité routière dépend fortement des conditions météorologiques. Des événements tels que les tempêtes de neige ou les orages peuvent, à des degrés divers, réduire la visibilité des automobilistes ou l'adhérence des pneus des véhicules sur la chaussée. Ces conditions routières sont difficiles à prévoir et augmentent les risques d'accident avec des conséquences humaines et matérielles qui peuvent se révéler coûteuses. Un conducteur reconnaît principalement les conditions de la surface routière par sa perception des sons, des vibrations, des couleurs, des formes et des reflets (Kuno et Sugiura, 1999)⁵³. Même en étant capable de détecter certaines conditions dangereuses, le conducteur peut difficilement les anticiper. Ces informations sont également primordiales pour le personnel en charge de l'entretien de ce réseau.

Les événements météorologiques étant souvent ponctuels dans le temps et dans l'espace, leur prédiction comporte un niveau relatif d'incertitude. Actuellement, la détection des conditions routières est très inégale au niveau

⁵⁰ Chiasserini, C. and E. Magli. Energy consumption and image quality in wireless video-surveillance networks. 13th IEEE Intern. Symp. on Personal, Indoor & Mobile Radio Comm. (PIMRC), pp. 2357–2361, Sept. 2002.

⁵¹ Pekheryev, P.O.G., Z. Sahinoglu and G. Bhatti. Image transmission over IEEE 802.15.4 and ZigBee networks. In Proc. of the IEEE Intern. Symp. on Circuits and Systems (ISCAS), pages 23 – 26, May 2005.

⁵² Taylor, C. and S. Dey. Adaptive image compression for wireless multimedia communication. IEEE Intern. Conf. on Communication, 6:1925–1929, June 2001.

⁵³ Kuno, T., Sugiura, H. (1999) Detection of Road Conditions with CCD Cameras Mounted on a Vehicle. Systems and Computers in Japan 30: 88-99.

spatial. Certains pays et régions disposent d'appareillages permettant d'évaluer les conditions de circulation. Cependant, cette évaluation, principalement concentrée au niveau des grandes villes, concerne davantage l'évaluation de la congestion routière et s'effectue majoritairement de manière visuelle (Kido *et al.*, 2002)⁵⁴. Sur le plan temporel, cette évaluation est également très inégale en allant de la détection visuelle immédiate (ex. : surveillant routier qui visionne une image vidéo) à l'affichage différé des conditions routières sur un site Internet grand public (ex. : usager qui consulte l'état de la chaussée). De plus, comme le soulignent ces auteurs, les détecteurs développés et commercialisés jusqu'à maintenant sont généralement coûteux, relativement lourds à installer et leur efficacité n'est pas éprouvée. Il existe donc actuellement un manque de solution flexible, abordable afin de caractériser l'état de la route en temps réel.

Parallèlement à cela, les réseaux routiers dans le monde sont dotés d'un nombre croissant de caméras vidéo afin de détecter la congestion routière ou les événements météorologiques (Kido *et al.* 2002). Les États-Unis comptent notamment plus de 4000 caméras vidéo affectées au réseau routier (Hallowell *et al.* 2005)⁵⁵. Cependant, l'information est traitée la plupart du temps visuellement par des opérateurs et échappe souvent à leur surveillance (Hallowell *et al.* 2005). Ces données représentent donc une quantité importante d'informations non traitées et non utilisées qui pourraient être utiles. Il est notamment nécessaire de développer des algorithmes afin d'automatiser l'extraction d'information reliée aux événements météorologiques routiers (Hallowell *et al.* 2005). De plus, certains moyens de détection relativement peu coûteux sont sous-utilisés malgré un potentiel intéressant (Kubo *et al.* 2006). L'étude acoustique du contact entre les pneus et la route fournit notamment une information pertinente sur l'état de la chaussée et ne nécessite qu'un dispositif d'enregistrement et de traitement de données sonores.

L'imagerie vidéo est relativement répandue dans les applications liées au transport routier (Kuno et Sugiura 1999, Yamada *et al.* 2001, Koseki *et al.* 2002, Bas 2007)^{56 57}. Le tableau 1 résume ses utilisations classées en quatre catégories selon l'objet de l'étude. Chaque élément de ce tableau fait actuellement l'objet de recherches visant à développer des systèmes de transport intelligents. Le présent projet s'inscrit dans ce cadre et concerne particulièrement les éléments apparaissant en caractères gras.

⁵⁴ Kido, H., Masaoka, H., Ota, Y., Bianli, L. (2002) Gestion du réseau routier en hiver à l'aide de caméras CCTV. Proceedings of the WRA, Winter Road Congress, Sapporo, Japon, 10 p

⁵⁵ Hallowell, R.G., Matthews, M.P., Pisano, P.A. (2005) Automated Extraction of Weather Variables from Camera Imagery. Proceedings of the Mid-Continent Transportation Research Symposium, Ames IA, 13p.

⁵⁶ Yamada, M., Ueda, K., Horiba, I., Sugie, N. (2001) Discrimination of the Road Condition Towards Understanding of Vehicle Driving Environments. IEEE T Intell Transp 2: 26-30.

⁵⁷ Koseki, Y. Aizawa, T., Saito, A. (2002) Évaluation des paramètres de la circulation du détecteur de véhicules vidéo par temps neigeux. Proceedings of the WRA, International Winter Road Congress, Sapporo, Japon, 8 p.

L'étude des conditions routières à l'aide de caméras vidéo vise à détecter les éléments critiques pour la sécurité des usagers de la route. On peut classer ces éléments en deux catégories selon qu'ils visent la chaussée ou l'environnement. En ce qui concerne la chaussée, les méthodes développées jusqu'à présent visent à détecter des éléments tels que la glace, la neige, l'eau, les mélanges eau-neige sur la chaussée. Les principaux traitements d'image développés portent sur :

- l'analyse spectrale dans le domaine visible (Sugimura *et al.*, 2006)⁵⁸;
- l'analyse statistique d'une image (Takeichi *et al.*, 2002)⁵⁹;
- l'analyse contextuelle (Kuno et Sugiura, 1999);
- le traitement de données issues de caméra infrarouge (Kuno et Sugiura, 1999);
- le traitement basé sur la différence de polarisation de la lumière (Yamada *et al.*, 2001);
- l'analyse du reflet de la chaussée (Kuno et Sugiura 1999).

En ce qui concerne l'environnement, l'utilisation des images vidéo vise principalement à obtenir de l'information sur la visibilité, qui constitue un élément critique à une conduite sécuritaire en cas de tempête de neige ou d'orage par exemple. Les principaux traitements d'images utilisés dans ce cas portent sur :

- l'étude de l'intensité de la précipitation nivale par la mesure des changements de texture des images (Miura et Ito, 2002)⁶⁰;
- la caractérisation de la visibilité par l'analyse des changements de détection de repères fixes (Hallowell *et al.*, 2005).

Certaines études intègrent ces deux aspects afin de raffiner la détection de conditions dangereuses. Même en absence de précipitation neigeuse par exemple, la conduite peut être rendue dangereuse par un temps venteux qui souffle la neige sur la route, diminuant la visibilité et rendant la chaussée

⁵⁸ Sugimura, A., Murata, F., Yoshida, K. (2006) Recherche fondamentale sur la discrimination entre états de surfaces routières à partir d'images. Proceedings of the WRA, International Winter Road Congress, Turin, Italy, 12 p.

⁵⁹ Takeichi, K., Hirakouchi, Y., Kamiura, M., Uozumi, J., Itoh, N. (2002) Méthodes d'analyse de l'état des chaussées en hiver par traitement d'images. Proceedings of WRA, International Winter Road Congress, Sapporo, Japon, 12 p.

⁶⁰ Miura, N., Ito, Y. (2002) Développement des instruments de mesure pour la précipitation nivale: fondé sur la technologie de traitement des images. Proceedings of WRA, International Winter Road Congress, Sapporo, Japon, 10 p.

glissante. La combinaison et le recoupement d'informations (incluant des paramètres météorologiques tels que la température) permettent ainsi de préciser les conditions existantes (Yamada *et al.* 2001).

On peut considérer deux type d'usage de caméras vidéo, soit : les caméras fixes installées sur des infrastructures routières (ex : viaducs, pylônes) et les caméras embarquées à bord de véhicules (ex. : véhicules récréatifs, véhicules d'entretien). L'utilisation de ces types de caméras à été explorée, chacune présentant des caractéristiques, des atouts et des limites différents. Dans la mesure où ces deux approches présentent des intérêts complémentaires et disposent d'équipements relativement fiables et abordables, elles seront toutes les deux explorées dans ce projet.

L'état de la surface des routes peut également être étudié grâce à de propriétés acoustiques. En effet, le son provoqué par le contact entre les pneus d'un véhicule et la surface de la chaussée dépend de plusieurs facteurs, incluant l'état de la surface de la route. Ce domaine d'étude s'est développé en parallèle avec le développement de l'industrie automobile et vise notamment à réduire ou contrôler la pollution sonore liée à la circulation routière (Sandberg 2001 ⁶¹, Sandbger et Ejsmont 2002 ⁶², Hanson et al. 2004 ⁶³, Anfosso-Lédée et Pichaud 2007 ⁶⁴). L'utilisation des propriétés acoustiques du contact pneu/route en lien avec les conditions météorologiques est relativement nouvelle et encore peu explorée (Kubo *et al.* 2006). Le principe de cette approche consiste à isoler la variabilité de ces sons liés aux conditions de la surface des autres facteurs et de développer des signatures sonores propres à une route glacée, enneigée, mouillée ou sèche (Kubo *et al.* 2006). Cette approche est très prometteuse car relativement simple et abordable mais présente des défis notamment en lien avec :

- la présence de sons parasites (ex: vent, réverbération liée au relief),
- l'élimination des sons provenant de la voie de circulation opposée,
- la variabilité des sons liés au type de véhicule (ex: camion, moto, voiture),
- la variabilité des sons liés au type de pneu (ex: pneu hiver/été, structure, marque),

⁶¹ Sandberg, U. (2001) Tyre/road noise – Myths and realities. Proceedings of The 2001 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering. The Hague, Pays-Bas, 22 p.

⁶² Sandberg, U., Ejsmont, J. A. (2002) Tyre/Road Noise Reference Book. Informex, 616 p.

⁶³ Hanson, D.I., James, R.S., NeSmith, C. (2004) Tire/pavement noise study. National Center for Asphalt Technology, Auburn University, Alabama, 44 p.

⁶⁴ Anfosso-Lédée, F., Pichaud, Y. (2007) Temperature effect on tyre-road noise. Applied acoustics 68: 1-16.

- la variabilité des sons liés au type de revêtement (ex: type d'asphalte, usure).

L'analyse des sons s'effectue en se basant sur trois caractéristiques principales : la distribution de fréquence, la distribution de pression acoustique et la durée des sons (Kubo *et al.* 2006). Les études sur le contrôle de la pollution sonore ont conduit à la création de standards de mesures appliqués notamment en Europe et en Amérique du Nord (Hanson *et al.* 2004).

L'entreposage et le forage des données météo-routières

L'un des objectifs visés est de créer des règles/procédures permettant de prendre des décisions optimales de l'épandage des sels/abrasifs en fonction des conditions météo, des localités (segments de route) des considérations de la sécurité routière, de l'économie et de la protection d'environnement. Ces règles/procédures feront partie d'un système de recommandation que nous allons développer pour aider les opérateurs / contrôleurs humains dans différentes situations. Leur création / développement sera réalisée par une synthèse des connaissances courante dans la pratique et par l'enrichissement par le forage des données historiques.

Pour utiliser les données de différentes sources efficacement dans la prédiction des conditions routières et pour optimiser l'épandage des sels et abrasifs (considération de la sécurité routière et de la protection d'environnement), il faut pouvoir représenter, de façon explicite et précise, les relations entre les conditions routières par segment, les critères d'épandage et les données climatiques (observations météo et mesures des capteurs dans les véhicules d'entretien). Or, cette tâche est d'autant plus difficile que les différents facteurs de ces relations ne sont pas toujours bien caractérisés (ex. : manque de mesure numérique permettant de déterminer si un épandage est à la fois sécuritaire et environnemental). Les données brutes ne peuvent pas être utilisées directement dans l'établissement de ces relations mathématiques car elles sont de types trop variés, ne sont pas toutes informatives; pour des raisons techniques ou humaines, elles ne sont pas toujours complètes.

Les modèles régressifs pourraient être exploités pour développer des règles et procédures de prédiction. Nous développons le modèle de la relation entre le facteur à prédire et les facteurs influents (souvent présumés être « linéaires » ou « linéaires généralisés » dans la pratique) en utilisant des techniques de forage de données. L'utilisation des modèles régressifs nécessite des nettoyages des données, des regroupements et des résumés des données, des mesures de similitudes entre des données de sources variées. Des méthodes devraient être mises au point dans le but d'extraire des événements significatifs (patrons) dans les données massives (ex. : forage de séquences) et d'utiliser des approches de segmentation et de classification pour identifier des patrons représentatifs pour établir des relations entre eux, ainsi qu'entre

les facteurs à prédire et les données (ou variables des données) massives. Il est important dans ce contexte de ne pas se limiter à des systèmes généraux et à un modèle (statistique) de relation entre le facteur à prédire et les facteurs influents. L'axe de travail à privilégier est de porter les recherches appliquées sur les données détaillées en adoptant des approches plus orientées données. Cela permettra d'exploiter la complémentarité avec les modèles régressifs également.

7 - AXE DE DÉVELOPPEMENT SUGGÉRÉ POUR L'ANALYSE DES DONNÉES MÉTÉO-ROUTIÈRES

L'amélioration des systèmes d'aide à la décision

Dans le contexte des organisations routières, l'élaboration d'un système d'aide à la décision destiné à renseigner sur la tendance des différents types de phénomène météo-routier doit être basée sur un ensemble de données pour fournir des informations multitemporelles (passé, présent et futur) (Hart, 2008)⁶⁵. Il est également important de prendre en compte les ressources disponibles au moment des événements si des recommandations sur les opérations à effectuer sont à inclure dans le système d'aide à la décision. Il est donc nécessaire de prévoir pour le traitement de l'information l'intégration des données de sources différentes, selon leur échelle de temps, et en plus d'avertir le personnel chargé d'effectuer une surveillance de lui suggérer une procédure bien précise des tâches qu'il a à accomplir. Cette intégration de données fait appel aux outils de modélisation analytique (approche de recherche opérationnelle, processus d'optimisation, modélisation spatiale, modélisation temporelle, etc.).

Un système d'aide à la décision comprend plusieurs composantes, et une architecture modulaire favorise l'évolution indépendante de chacune d'elles, l'ajout ou la suppression d'éléments sans avoir à remettre en cause les autres composantes (Petty, 2008)⁶⁶. Il faut préciser que les données à prendre en considération ne sont pas toujours issues de capteurs sur plateforme fixe ou mobile au niveau régional. Dans le cadre du suivi météo-routier par exemple, les images provenant des radars et satellites météorologiques, ainsi que le résultat de différents modèles de prévision doivent être analysés. La nature même des données permet de définir des modules distincts : les prévisions météorologiques, les données sous forme d'images matricielles, les données issues d'infrastructures au bord de la route, les données issues de plateformes mobiles.

Par ailleurs, un type de données particulièrement prometteur concerne la gestion de l'information potentiellement disponible dans chacun des véhicules

⁶⁵ Hart, R., J. Mewes, B. Hershey, L. Osborne, D. Huft (2008). An Overview of Implementation and Deployment of the Pooled Fund Study Maintenance Decision Support System, Seventh international symposium on snow removal and ice control technology, Indianapolis, p 229-239.

⁶⁶ Petty, K., W. Mahoney, J. Cowie, A. Dumont, William Myers (2008). Providing Winter Road Maintenance Guidance – An Update of the Federal Highway Administration Maintenance Decision Support System, National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, USA, 120 p.

relativement récents en circulation sur le réseau routier (Petty, 2007)⁶⁷. En effet, la récupération des données provenant de l'anti-blocage, l'anti-dérapage, l'utilisation des essuie-glaces, la température de l'air extérieur, etc. constituent des données brutes, qui grâce à leur multitude et leur rafraîchissement constant permettraient de collecter des observations météo-routières pouvant servir à améliorer les produits de prévision météo-routière et la qualité de l'information transmise aux usagers de la route.

L'outil d'aide à la décision doit fournir des informations et le message communiqué doit faire l'objet d'une précision suffisante et sans équivoque (Drobot, 2008)⁶⁸ et (Kajiva, 2008)⁶⁹. Cette préoccupation est d'autant plus importante qu'elle représente la finalité des travaux réalisés dans cette recherche et que l'étude de la perception de l'information ainsi qu'une enquête auprès d'un panel d'usagers de la route fera l'objet d'une recherche à part entière.

Une intégration des paramètres environnementaux qui peuvent avoir une influence sur les pertes de contrôle offre également une avenue en termes d'optimisation de l'information délivrée à l'utilisateur de la route (Gallenne, 2008)⁷⁰. Il est en effet envisageable d'effectuer une analyse de la géométrie du réseau routier et de localiser les endroits du réseau routier, qui combinés à des particularités météo-routières, peuvent occasionner des accidents de la route (Kajiva, 2008).

L'élaboration d'indicateurs pour la gestion de l'entretien hivernal

Les éléments bibliographiques suivants constituent une synthèse des principaux éléments clés relativement à l'intelligence géospatiale et la viabilité hivernale. Ils sont présentés en vrac et à titre indicatif seulement. Une multitude de références bibliographiques pourraient être proposées pour chacun des éléments de la liste ci-dessous. Une revue la plus exhaustive possible sera effectuée lors de la première année du projet.

⁶⁷ Petty, K., W. Mahoney (2007). Weather Application and Products Enabled Through Vehicle Infrastructure Integration, National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, USA, 120 p.

⁶⁸ Drobot, S. (2008). Driving Decisions Related to the Colorado Front Range Winter Storm December 20-21 2006, Seventh international symposium on snow removal and ice control technology, Indianapolis, p 597-607.

⁶⁹ Kajiva, Y., M. Yasuaki, T. Matsushima (2008). A Study on the Expression of Winter Road Information and its Effects on Drivers' Travel Decision Making, Seventh international symposium on snow removal and ice control technology, Indianapolis, p 586-596.

⁷⁰ Gallenne, M.-L., Y. Goyat, M.T. Do, R. Bremond (2008). SARI : Automatic Road Condition Monitoring to Provide Information to Drivers and Road Managers - Tools for Diagnosis, 15th World Congress on Intelligent Transport Systems, New-York, United States, 12 p.

Un système de gestion de l'entretien routier peut être subdivisé en plusieurs sections dont les principales sont en rapport avec les informations de nature administrative, la planification des circuits, l'information météo-routière, l'appel des ressources humaines pendant les événements météo-routiers, la documentation et la consignation des actions d'entretien, l'information aux usagers de la route et le suivi l'ensemble des actions (Burtwell, 2002)⁷¹. Les systèmes informatiques ont considérablement amélioré la gestion de ces sous-ensembles depuis les années 80, ce qui a abouti à l'utilisation de nombreuses applications, dont la connexion et la réunification représentent aujourd'hui un défi. Le potentiel de la géomatique peut offrir une simplification de la manipulation de ces données en termes de gestion de bases de données, d'optimisation de supports visuels et de convivialité des interfaces.

La mesure de la performance des activités d'entretien est un outil très pertinent dans le cadre de la gestion des ressources, et trois types d'information sont à prendre en considération : les intrants qui correspondent aux conditions environnementales et à la disponibilité des ressources, les extrants qui regroupent l'ensemble des actions effectuées pour réaliser l'entretien routier, puis le résultat qui comprend la satisfaction des usagers de la route et le retour à des conditions normales de circulation (Maze, 2008)⁷². Utiliser des données fiables et pertinentes est primordial pour être capable de traiter l'information de manière efficace et atteindre les objectifs de la recherche.

Une autre voie d'exploration pour quantifier l'impact des événements routiers versus les ressources à déployer est l'introduction de la dimension des risques d'accidents. Le « Winter Model » conçu pour l'amélioration des opérations d'entretien hivernal en Suède, intègre cette notion dans le modèle de risque d'accident (Wallman, 2006)⁷³.

Cependant, le niveau d'analyse est confronté à l'exhaustivité de l'information disponible, même à l'état brut, de l'évaluation des opérations, de la clarté des exigences, de la stratégie ainsi que des procédures de l'administration routière en termes de surveillance des opérations d'entretien gérées en son sein ou données à contrat aux entreprises privées. La Scandinavie est en avance dans ce domaine, et des experts en Norvège ont pu réaliser des travaux approfondis dans ce sens (Resen-Fellie, 2006)⁷⁴ et (Leland, 2006)⁷⁵.

⁷¹ Burtwell, M., G. Öberg (2002). Improvement to Snow and Ice Control on European Roads and Bridge, Documentation for the final seminar COST 344, Ljubljana, Slovenia, 189 p.

⁷² Maze, H., C. Albrecht, D. Kroeger (2008). Performance Measures for Snow and Ice Control Operations, Seventh international symposium on snow removal and ice control technology, Indianapolis, United States, p 625-637.

⁷³ Wallman, C.G. (2006). Le Winter Model - Un Système de Management de l'Entretien des Routes en Hiver, XIIe Congrès International de la Viabilité Hivernale, Turin, Italie, 12p.

⁷⁴ Resen-Fellie, O. P., J. Dahlen (2006). Système de Surveillance des Contrats de Performance, XIIème Congrès International de la Viabilité Hivernale, Turin, Italie, 11 p.

Enfin, les récentes technologies permettant de collecter des données à partir des véhicules d'entretien fournissent un niveau d'information supérieur. Mais il est intéressant de diriger cette approche vers les véhicules des usagers de la route à des fins d'évaluation de la fluidité de la circulation routière. En effet, des tests ont été réalisés avec une flotte de taxis dans la ville de Sapporo au Japon, ce qui a permis de faire une meilleure évaluation de la dynamique de la circulation routière, et ainsi fournir un intrant supplémentaire aux systèmes d'aide à la gestion quant à l'efficacité des opérations d'entretien routier face aux événements météo routiers (Takahashi, 2006)⁷⁶.

La mise à profit de la cartographie dynamique pour la gestion des ressources

Les gestionnaires ont besoin de bilans pour effectuer un suivi de leur ressources et à plusieurs échelles de temps : après un événement, régulièrement au fil de la période d'entretien, à la fin de la période d'entretien. Il leur est important également de disposer d'indicateurs pour la préparation de leurs ressources et afin de planifier les dépenses d'une période d'entretien à une autre, ou encore dans le but de justifier l'ampleur des moyens dont ils souhaiteraient disposer.

Un outil de cartographie par Internet nécessite non seulement une base de données mais aussi un système pour diffuser l'information conservée dans la base. L'outil de diffusion est une sorte d'interface qui fait le lien entre les données et l'outil de visualisation. La mise en place d'un outil de WebGIS nécessite de considérer les services qui seront utilisés pour le transfert des données à référence spatiale. Ces services doivent être mis en place au niveau du serveur et doivent être reconnus par le client WEB. L'utilisation de services facilite le développement de nouveaux outils pour la consultation des données. Les données peuvent être consultées de la même manière grâce aux services WEB. Les services WEB évitent l'imposition d'un outil et permettent à l'utilisateur d'utiliser son propre outil.

Actuellement les services WEB les plus répandus proposés par l'OGC (Open GIS Consortium) parmi tant d'autres sont le WMS (WEB Map Service) et WFS (WEB Feature Service). Le WMS permet de retourner rapidement sous la forme d'une image la carte qui répond aux critères d'une requête spatiale. Les

⁷⁵ Leland, T., J. Berg (2006). Les Appels d'Offres et la Gestion des Contrats pour les Activités Opérationnelles en Hiver en Norvège, XIIème Congrès International de la Viabilité Hivernale, Turin, Italie, 5 p.

⁷⁶ Takahashi, N., K. Munehiro, M. Asano (2006). Technique d'Étude avec des Données en Provenance de "Véhicules Flottants" de la Circulation dans les Régions Froides et Enneigées - Expérience de Sapporo avec les Données GPS de Taxis, XIIème Congrès International de la Viabilité Hivernale, Turin, Italie, 8 p.

serveurs WMS sont très populaires car ils permettent de diffuser très rapidement et de manière sécuritaire des données aussi bien matricielles que vectorielles. Le principe du WFS n'est plus de retourner une image mais plutôt des entités géographiques. Un serveur WFS permet de diffuser facilement les données dans leur format original et permet leur utilisation dans un outil SIG. Basé sur la même approche que le WFS, le WFS-T ajoute un volet transactionnel qui permet à l'utilisateur d'éditer le contenu de la base de données. Le WFS-T (WEB Feature Service Transactional) permet à un usager identifié d'ajouter, de modifier et de détruire des entités géographiques conservées sur un serveur.

le GeoRSS (Geographically Encoded Objects for Really Simple Syndication feeds) permet la synchronisation du contenu des pages WEB. Le principe du GeoRSS est de publier simplement les changements d'un site WEB par l'intermédiaire d'un lien (« feed ») direct avec les utilisateurs. Les internautes peuvent ainsi recevoir les changements concernant ce site sans avoir nécessairement besoin de le consulter. Le GeoRSS permet aussi d'effectuer la géosynchronisation des bases de données à référence spatiale. L'idée est de permettre à l'administrateur d'une base de données (BD) de publier rapidement les dernières modifications de la BD. Non seulement le GeoRSS permet de transmettre la description de la modification mais aussi la nouvelle entité géographique. Dans un système dit « collaboratif », le GeoRSS peut apporter une solution intéressante pour faciliter l'échange d'informations. À ce sujet, des chercheurs de l'équipe ont contribué à la création du GSS (Geosynchronization Service) en voie de devenir une nouvelle norme OGC.

Les clients WEB sont très populaires parce qu'un simple navigateur permet d'accéder aux fonctions du SIG. Cette approche est basée sur le principe que tous les usagers du WEB utilisent un navigateur. En intégrant l'outil de consultation du SIG dans un site WEB, on considère que celui-ci sera plus facile d'usage. De plus, l'outil se trouvant sur un serveur distant, il sera plus facile de le mettre à jour. En effet, le client aura toujours accès à la version de l'outil installée sur le serveur. Il n'est plus nécessaire d'envoyer des mises à jour aux usagers et de refaire une installation de l'outil à chaque amélioration. Cependant, ces outils sont tributaires en général des capacités d'Internet et surtout des langages utilisés pour développer les sites WEB (HTML, Javascript, PHP). Voirin et Béné (2008)⁷⁷ ont fait une revue bibliographique exhaustive sur le sujet pour le compte de l'Agence spatiale canadienne.

Jusqu'à maintenant, les services WEB se focalisaient sur la diffusion et la distribution des données; or le besoin d'offrir des traitements des données en ligne devient de plus en plus important. Les données ont des tailles de plus en plus importantes, ce qui peut entraîner des problèmes au niveau des traitements sur les ordinateurs personnels. Par conséquent, la centralisation

⁷⁷ Voirin, Y. et G.B. Béné (2008). SIG WEB pour les bases de données géoscientifiques planétaires et terrestres : la Lune, Mars et les sites analogues terrestres. Rapport de Géoimage Solutions Inc. pour l'Agence spatiale canadienne. 55 p.

du traitement des données, surtout quand il s'agit des interventions dans le suivi des opérations de sécurité et de maintenance routière, devient une nécessité. L'utilisation d'un service de WPS (WEB Processing Service) permet de transmettre sur un serveur de traitement, les données à traiter ainsi que tous les paramètres du traitement (Voirin et Bénié, 2008). L'outil de consultation doit uniquement gérer l'affichage du résultat. Le principal avantage est d'avoir une panoplie de traitements centralisée sur un serveur et qui est disponible à tous les usagers autorisés. L'utilisateur a donc accès à des librairies de traitements qui sont maintenues à jour par les administrateurs du serveur. Par ailleurs, les serveurs disposent en général de ressources matérielles plus optimisées pour les traitements de données. On peut citer l'exemple récent d'une démonstration avec le client uDig des possibilités du WPS (Schaeffer et Lemmen, 2007)⁷⁸.

Outils pour la planification des opérations d'entretien hivernal

Pour planifier les opérations de déneigement, les gestionnaires utilisent des données territoriales et historiques et des normes de service. Toutefois, la mise en œuvre des activités planifiées dépend en grande partie des ressources disponibles au moment d'exécuter les opérations. En fait, une gestion en temps réel devient souvent nécessaire pour ajuster les opérations en fonction des conditions routières, prévisions météo, produits d'entretien utilisés et disponibles, et suivi de la main-d'œuvre. Les nouvelles technologies informationnelles, telles que les GPS embarqués, permettent d'obtenir en temps réel une quantité importante de données opérationnelles traduisant les activités réalisées et les ressources utilisées pour la viabilité hivernale. À terme, l'utilisation de ces données contribuera à l'amélioration des méthodes de planification et de pilotage en temps réel.

Plusieurs méthodes ont été développées pour le routage des véhicules pour le déglacage. Ces méthodes peuvent être classées en quatre catégories : les méthodes exactes, les méthodes constructives, les méthodes composites et les métaheuristiques. Les métaheuristiques représentent clairement la tendance des dix dernières années. Les recherches à envisager devraient davantage considérer l'aspect dynamique des besoins à satisfaire. À ce jour, le problème de routage des véhicules pour le déglacage a surtout été étudié dans la littérature en tant que problème statique, où toutes les données sont supposées connues à l'avance. Cependant, les aspects dynamiques de ce problème sont importants en pratique. Dans le problème dynamique, une nouvelle donnée peut modifier la solution courante qui est en cours d'exécution, ce qui demande des temps de réponse très courts.

⁷⁸ Schaeffer, B. et Lemmen, R., 2007, An integrated client for Web Processing Services - Upgrading uDig with Processing power, The annual Free and Open Source Software for Geospatial (FOSS4G), 24 - 27 septembre 2007.

Considérations sur la conception des interfaces à bord des véhicules

Des données météo routières collectées par le MTQ en Estrie sont présentement disponibles et servent pour le moment à une transmission en temps réel pour faire connaître aux décideurs et gestionnaires le positionnement des véhicules, leur vitesse, le type d'activité, ainsi que certains éléments de l'environnement (température de l'air, température de surface de la chaussée, humidité de l'air, altitude). Les informations ne sont pas directement transmises au conducteur du véhicule d'entretien. En revanche, il n'est pas exclu que certains systèmes de traitement de l'information soient prochainement conçus pour assister l'opérateur qui effectue actuellement de façon complètement autonome les manœuvres de déneigement (manipulation du chasse-neige en avant, du chasse-neige latéral), de l'intensité de l'épandage (constitué de fondant et ou abrasif) et de répartition de l'épandage (andain à droite ou à gauche, ou fonctionnement d'un tourniquet pour un épandage plus dispersé à droite ou à gauche). Il pourrait en effet être utile que certains usagers de la route puissent avoir accès à ce type d'information à l'intérieur de son véhicule. Cela pourrait s'adresser aux catégories d'usagers suivants :

- l'opérateur qui pourrait avoir à composer avec un outil d'aide à l'entretien des routes (consignes pour des secteurs demandant un traitement particulier);
- le patrouilleur qui doit prendre en considération certains paramètres pour sa décision ou ses rapports, tout en parcourant les secteurs routiers qu'il tente d'évaluer;
- l'usager de la route, particulier ou professionnel, qui disposerait d'une information sur une infrastructure au bord de la route, ou à l'intérieur de son véhicule.

Pour rendre ces informations accessibles aux usagers de la route à bord de leur véhicule, il faut créer une interface qui soit facile d'utilisation, tout en cherchant à minimiser l'effet de distraction qu'elle peut engendrer. Dans une présentation faite tout récemment par Rudy-Brown (2008)⁷⁹, dans le cadre d'un atelier organisé par Transports Canada, on insiste clairement sur l'importance de la compatibilité des systèmes embarqués d'information avec la conduite, afin de s'assurer que les gens soient en mesure d'utiliser l'information. La section suivante fait état de quelques éléments des écrits existants sur la conduite automobile et le système d'informations.

L'apparition de nouvelles technologies de communication électroniques dans les véhicules (camions ou automobiles) fait apparaître un nouveau champ d'études qui est celui de l'interface humain-ordinateur, dans le cas particulier des contraintes que peuvent exercer ces appareils sur les capacités

⁷⁹ Rudy-Brown, C. (2008). Human factors issues associated with Vehicle-Infrastructure Integration. ITS Canada: VII Workshop. Transports Canada.

perceptuelles et attentionnelles des conductrices et des conducteurs (Burnett, 2008)⁸⁰. On n'a qu'à penser aux différents débats entourant l'utilisation du cellulaire au volant et, plus récemment, l'usage du GPS dans les véhicules (Hole, 2006)⁸¹. C'est ainsi que le paradoxe de ces systèmes informatisés de communication ressort. D'une part, ils sont sensés fournir une assistance ou une information pertinente à la conduite, d'autre part, ils peuvent créer de la distraction. Si dans le cas du téléphone cellulaire, comme l'indiquent Forster et Lavie (2008)⁸², la distraction créée par cet appareil constitue une distraction non pertinente à la tâche en cours (conduire un véhicule), l'usage du GPS ou d'un système d'information météo routier mobile peut provoquer des distractions dites pertinentes à la tâche, simplement en créant une surcharge de l'attention.

Le design des interfaces qui fournissent des informations pertinentes aux automobilistes ou aux camionneurs devient donc très important. Par exemple, Reed-Jones, Trick et Matthews (2008)⁸³ ont établi que pour qu'un système embarqué ne produise pas un niveau inacceptable de distraction, il faut que sa manipulation ou sa consultation ne dépasse pas une certaine durée. Or, les résultats de leur recherche montrent bien que plus le temps passé ou l'attention doit être fixée sur l'appareil, plus on détecte de déviations de la route dans une tâche réalisée sur simulateur. Pour leur part, Chiang, Brooks et Weir (2004)⁸⁴ ont étudié spécifiquement l'usage du GPS dans une tâche réelle de conduite en mesurant spécifiquement le temps passé à regarder l'écran du GPS au moyen d'un appareil de détection du mouvement des yeux. Ils ont montré que les gens arrivaient, dans le cadre de leur étude, à utiliser le GPS en même temps qu'ils conduisaient en alternant au plan du regard entre la tâche de conduite et l'écran du GPS. Il semble donc que certaines interfaces puissent être utilisées efficacement.

Un point important à mentionner concernant le traitement des systèmes embarqués est que la limite attentionnelle de l'utilisateur peut également être influencée par l'âge. Il est en effet bien connu que la capacité à porter attention simultanément à plusieurs choses en qui diminue avec l'âge influence les

⁸⁰ Burnett, G. (2008). Designing and evaluating in-car user-interfaces, in J. Lumsden (Ed.) Handbook of research on user interface design and evaluation for mobile technology (218-236). Hershey.

⁸¹ Hole, G. (2007). The Psychology of Driving. N.J. Erlbaum.

⁸² Forster, S., Lavie N. (2008). Failures to ignore entirely irrelevant distractors: the role of load. Journal of Experimental Psychology: Applied, 14, 73-83.

⁸³ Reed-Jones, J., Trick, L.M., Matthews, M. (2008). Testing assumptions implicit in the use of the 15-second rule as an early predictor of whether an in-vehicle device produces unacceptable levels of distraction. Accident analysis & Prevention, 40, 628-634.

⁸⁴ Chiang, D.P., Brooks, A.M., Weir, D.H. (2004). On the highway measures of driver glance behaviour with an example automobile navigation system. Applied Ergonomics, 35, 215-223.

capacités à conduire (Eby *et al.*, 1998)⁸⁵. Cela va d'ailleurs avec des taux d'accidents plus élevés par kilomètres parcourus par les automobilistes âgés comparés aux automobilistes plus jeunes (Evans, 1991⁸⁶; Janke, 1994⁸⁷; Eby *et al.*, 1998). Il est donc logique de déduire que l'âge de l'automobiliste aura un impact certain sur l'utilisation de stratégies embarquées. En effet, plus la personne est âgée plus les perturbations attentionnelles peuvent jouer au détriment de la performance.

Utilisation des panneaux à message variable dans le contexte hivernal

Comme on s'en doute, les risques d'accidents routiers sont nettement plus élevés en hiver et dépendent notamment de l'état de la chaussée. À titre indicatif, en Finlande, les risques d'accidents avec blessés sont neuf fois supérieurs sur les routes enneigées et vingt fois plus élevés sur les surfaces glacées par comparaison aux routes sèches et dégagées (Rämä, 2001)⁸⁸. En Norvège, ces risques sont 2,5 fois plus élevés sur les chaussées enneigées ou glacées.

En dépit des efforts considérables déployés par les organismes de transport en vue d'entretenir le réseau routier, des délais subsistent entre la détection de l'état des routes et les opérations d'entretien, contribuant à accroître les risques d'accidents. Au cours de ce délai, les centres de contrôle sont généralement au fait de l'état des routes et détiennent une information sur les conditions locales et en temps réel qu'il serait utile de communiquer aux conducteurs de manière efficiente et rapide. Aussi, le recours à des panneaux à message variable permettant de relayer ces informations représente un moyen de prévention des accidents routiers.

Dans un avenir rapproché, le développement des nouvelles technologies permet d'envisager que les informations météo-routières pourront être transmises de véhicule à véhicule ou de véhicule à infrastructure. Toutefois, ces applications sont possibles dans la mesure où le parc automobile est récent et comporte des systèmes intelligents. Or, selon une récente enquête menée par Ressources naturelles Canada, plus du tiers des véhicules (toutes catégories confondues) au Canada sont âgés de plus de 10 ans (Ressources

⁸⁵ Eby, D.W., Trombley, D.A., Molnar, L.J. & Shope, J.T. (1998). The assessment of older drivers's capabilities: a review of the literature. University of Michigan Transportation Research Institute.

⁸⁶ Evans, L. (1991). Traffic Safety and the Driver. New York: Van Nostrand Reinhold.

⁸⁷ Janke, M.K. (1994) Age-related disabilities that may impair driving and their assessment. Literature review. California Department of Motor Vehicles, national Highway Taraffic Safety Administration.

⁸⁸ Rämä, P. (2001). Effects of weather-controlled variable message signing on driver behaviour. Technical Research Centre of Finland, VTT Publications, 55p.

naturelles Canada, 2009)⁸⁹. Cela constitue une limitation sérieuse au déploiement d'une assistance météo-routière accessible à l'ensemble des conducteurs. À juste titre, les panneaux à message variable constituent une alternative avantageuse.

Les panneaux à message variable (PMV) ne sont pas de conception récente. Avec les années, ils ont connu de nombreuses améliorations. Il suffit de penser aux systèmes de collecte de données, de communication et au contrôle partiel des panneaux. Plus récemment, ils ont été couplés à des stations de mesures automatiques destinées à colliger les données météorologiques.

Les PMV servent à plusieurs usages. Conçus pour alerter ou informer les usagers de la route, leur application s'est étendue à la gestion et au contrôle de la circulation. Il suffit de penser aux informations fournies aux conducteurs sur l'intensité de la circulation, la présence d'accidents, la fermeture de voies d'accès, le temps de parcours, la proposition de trajets alternatifs ou la limite de vitesse recommandée. La littérature est relativement abondante à ce propos.

D'autres travaux portent sur les modifications de limites de vitesse au moyen des PMV. Ce genre de système a été déployé en Angleterre, aux Pays-Bas, aux États-Unis, en Allemagne, en Australie et en Nouvelle-Zélande. Il semble que la réduction de la vitesse moyenne et de la variance (écart-type) soient parmi les effets positifs des PMV, contribuant à diminuer les risques d'accidents. Plusieurs études longitudinales leur associent une baisse considérable du nombre de collisions (de 20 à 30 %) et de leur gravité (Ulfarsson *et al.*, 2005⁹⁰; Papageorgiou *et al.*, 2008⁹¹). Certains travaux portent également sur le fait que les PMV constituent une technologie favorisant le respect des limites de vitesse (Corben, 2001)⁹².

De façon plus spécifique, des recherches ont été menées en vue d'évaluer l'effet des PMV associés aux conditions météo-routières. Ces travaux combinent l'apport des PMV à l'abaissement des limites de vitesse à la lumière des conditions de route (Rämä, 2001). Globalement, les résultats révèlent que

⁸⁹ Ressources naturelles Canada (2009) 2007- L'enquête sur les véhicules du Canada, rapport sommaire. Publications Écoénergie, Ressources naturelles Canada, 55p.

⁹⁰ Ulfarsson G.F., V.N. Shankar, P. Vu (2005). The effects of variable message and speed limits signs on mean speeds and speed deviation. dans *International Journal of Vehicule Information and Communication Systems*, vol.1, No.1-2, pp.69-87.

⁹¹ Papageorgiou, M., E. Kosmatopoulos, I. Papamichail, I. (2008). Effects of variable speed limits on motorway traffic flow. dans *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board*, no 2047, pp.37-48.

⁹² Corben, B., M. Lenné, M. Regan, T. Triggs (2001). Technology to enhance speed limit compliance. *Road Safety Research, Policing and Education Conference Proceedinds*, Canberra, Australie, 6p.

les PMV sont efficaces afin d'accroître la sécurité, particulièrement lorsque les conditions météo-routières sont difficiles. La vitesse (moyenne) des conducteurs décroît et on assiste à une uniformisation de la distribution des vitesses (réduction de l'écart-type), ce qui contribue à diminuer les risques d'accidents. L'effet des PMV perdure sur une longue distance bien au-delà de leur emplacement. Le mode d'affichage (continu ou clignotant) affecte aussi le comportement. Ainsi, les messages clignotants attirent davantage l'attention des usagers et contribuent à réduire les écarts-types de vitesse. Par ailleurs, l'ampleur de la réduction de la vitesse moyenne et de l'écart-type dépend des conditions météorologiques. Plus les conditions sont rudes, plus la baisse est importante. À titre indicatif, cette baisse atteint près de 15 km/h (Lind, 2007)⁹³. Il s'agit d'une diminution supérieure à la vitesse qu'adoptent spontanément les usagers de la route en saison hivernale. Aucun effet nuisible ou pervers lié à l'usage des PMV n'a été constaté sur le comportement des conducteurs. Enfin, le respect des limites recommandées s'accroît avec la détérioration des conditions météo-routière.

Potentiel de l'information météo-routière pour la réduction des accidents routiers

Le domaine de l'entretien routier d'hiver a été largement exploré à date principalement par les auteurs des pays scandinaves, des chercheurs américains des États nordiques et du Canada. À ce niveau, une méta-analyse d'Elvik *et al.* (2004)⁹⁴ établit à partir de sources scientifiques solides et nombreuses, l'effet de l'entretien hivernal sur la circulation des véhicules et de la sécurité de leurs occupants. Ces auteurs incluent comme mesures d'entretien hivernal, l'élimination de la neige et de la glace sur les chaussées, l'usage d'abrasifs et de déglaçants, des techniques organisationnelles de préparation au mauvais temps, le rehaussement des standards d'entretien et l'utilisation de mesures pare-vents.

Comment ces diverses mesures peuvent-elles contribuer à augmenter la sécurité des utilisateurs du réseau ? Selon ces auteurs, les mesures suivantes contribuent directement à réduire, en pourcentage, le nombre d'accidents :

- Relever les standards d'entretien :
 - moins 12 % des accidents avec blessés,
 - moins 30 % des accidents /dommages matériels;
- Utiliser des fondants :
 - moins 15% des accidents avec blessés,
 - moins 19 % des accidents /dommages matériels;

⁹³ Lind, G. (2007). Weather and traffic controlled variable speed limits in Sweden. I2TERN Conference, Aalborg, Danemark, 20 juin, 5p.

⁹⁴ Elvik, R. et V. Truls (2004). The Handbook of Road Safety Measures. Chapt 2.6 Winter Maintenance of Roads. Elsevier, Amsterdam, pp. 428-439.

- Arrêter d'utiliser des fondants :
 - plus 12 % des accidents avec blessés,
 - plus 1 % des accidents /dommages matériels.
- Utiliser des abrasifs : moins 62 % de tout type d'accident

Ces quelques chiffres démontrent que des mesures, dites classiques, augmentent efficacement et considérablement la sécurité des usagers des réseaux routiers.

L'entretien hivernal a aussi un rôle sur la mobilité des citoyens. Si le but de l'entretien des routes est d'y faire disparaître la neige et la glace afin d'assurer une circulation plus sécuritaire des véhicules, en assurant une traction supérieure des roues, globalement ceci conduit à un double effet. On permet aux citoyens, aux dispensateurs de services publics et aux biens et marchandises de circuler, mais aussi de le faire avec moins de perte de temps. À ce niveau, Elvik *et al.* (2004), à partir d'études scientifiques, établissent que, sans un entretien efficace, on constate que le volume de circulation diminue de 1 à 5 % sur une période initiale de 24 heures post mauvais temps. Par ailleurs, les techniques d'entretien comme l'enlèvement de la neige de la chaussée, le sablage et l'utilisation de déglaçants augmentent respectivement les vitesses des véhicules de 2 à 7 km/h, 2,4 km/h et de 5 km/h en moyenne selon ces divers moyens. Donc la perte de temps pour circuler ou livrer des biens est réduite, ce qui contribue au développement économique et social. Plus récemment, Cypra (2008)⁹⁵ évalue à 50 % la diminution de capacité du réseau routier à accueillir des volumes de circulation lors de chutes de neige majeures.

Développement de la formation continue et de la formation diplômante

La formation, qu'elle soit professionnelle ou académique, est le moteur du développement des domaines spécialisés et dépasse la simple fonction d'accroissement des connaissances techniques. Un projet de recherche norvégien est actuellement en cours au sein de l'Administration nationale des routes publiques norvégiennes, afin de répondre à 5 objectifs dans le secteur de l'entretien des routes (Larsen, 2010)⁹⁶:

- Favoriser le recrutement en rehaussant l'image du secteur d'activité auprès des jeunes;

⁹⁵ Cypra, T. (2008). Comprehensive Winter Maintenance Management System to Increase Road Safety and Traffic Flow. Transportation Research Circular E-C126: Surface Transportation Weather; Snow and Ice Control, p.128.

⁹⁶ Larsen. O. (2010) Développement des compétences en matière d'exploitation et d'entretien des routes. Actes du congrès mondial de viabilité hivernale à Québec, Association mondiale de la route (A.I.P.C.R.), 8 pages.

- Constituer un bassin de spécialistes pour optimiser l'utilisation des équipements de recherche;
- Faire suffisamment de progrès en recherche et développement afin d'inclure des clauses spécifiquement technologique dans les contrats de maîtrise d'ouvrage;
- Effectuer un transfert d'expertise entre tous les acteurs du domaine;
- Accroître les connaissances techniques à tous les niveaux;

Cette initiative norvégienne s'inscrit dans un contexte d'une absence de relève de plus en plus marquée, et de perte des connaissances de part la mise en place de nombreux contrats d'entretien routier d'une durée de 5 ans depuis 2003 et pour lesquelles l'expérience acquise n'est pas toujours conservée. En effet, le phénomène de rotation des entreprises a pour résultat de remettre à zéro la connaissance des particularités locales du secteur d'entretien qui perdurait lorsque l'administration publique en avait la responsabilité d'entretien.

Cette préoccupation est également présente en Amérique du Nord et particulièrement pour l'entretien routier hivernal compte tenu des nombreuses contraintes : les horaires de travail sont atypiques et irréguliers et la compétition avec d'autres secteurs d'activité oriente les candidats potentiels vers d'autres types de poste. Cette réflexion est actuellement menée au sein de la communauté des Transports au Québec, avec notamment une partie du 3ème congrès national de viabilité hivernale en 2009 de l'Association québécoise des transports et des routes (AQTR) qui était consacré à ce sujet.

Plusieurs initiatives américaines sont envisagées pour pallier à la difficulté de maintenir le personnel spécialisé en entretien hivernal et favoriser une expertise élevée et constante. Les principaux acteurs dans les départements de transport américains ont identifiés des besoins importants à combler en matière de formation professionnelle afin d'assurer une uniformité dans les décisions à prendre en entretien hivernal (National Winter Maintenance Peer Exchange, 2009)⁹⁷. Il est absolument nécessaire de mettre à la disposition des employés des modules de formation spécifiques accompagnés de procédures pour la mise en application des notions dans leur cadre de travail et répondre aux besoins particuliers du personnel. De plus, la complexité de la météo routière oblige à faire appel à des notions avancées pour gérer les prévisions météorologiques quelquefois contradictoires et avoir recours à l'interprétation de plusieurs sources de données d'observation.

⁹⁷ National Winter Maintenance Peer Exchange (2009) Final Report. Planning Committee. 110 pages.

Des solutions sont proposées en utilisant les technologies de l'information notamment en utilisant le Web 2.0 avec une version de type Wiki de la météo-routière (États-Unis). Le Danemark pour sa part a récemment développé un programme de formation pour comprendre les principes de la météo routière et utiliser adéquatement les systèmes d'information météo-routiers (Brodersen, 2010)⁹⁸. Un logiciel spécialement élaboré permet de placer l'apprenant dans une situation réelle, propose des exercices d'application des notions théoriques et comptabilise le score pour permettre ensuite un récapitulatif de la formation.

Cependant le développement d'une formation est particulièrement complexe dans un domaine comme la météo-routière car les notions font appel à des éléments techniques, des acquis sur les particularités locales et des connaissances tacites, que constitue le savoir-faire du personnel d'expérience qui n'a jamais eu à formaliser cette expertise. Le contenu doit faire l'objet d'une importante réflexion mais l'intégration des apprentissages et leur évolution dans les différents milieux de travail doivent être stratégiquement élaborées.

L'organisme de formation de l'AQTR, TransForm⁹⁹, et l'UQAM, avec son département d'éducation et formation spécialisées, seraient de précieux partenaires pour analyser les besoins du milieu et proposer un cadre spécial d'apprentissage. Au Québec, Transform propose une formation de base, d'une journée, en météo routière. Le MTQ a conçu et utilise une formation de plusieurs modules pour les concepts de météo routière qu'il lui arrive de proposer aux services policiers, entrepreneurs privés et aux municipalités de certaines régions. Au Nouveau Brunswick, University of New Brunswick¹⁰⁰ offre un cours sur les STI au sujet de l'architecture canadienne des STI et sur les différents domaines d'application. STI Canada¹⁰¹ propose quelques éléments sur l'éducation et la formation sur ce sujet.

Quelques exemples américains pourraient être notés :

- ITS Institute (University of Minnesota)¹⁰².
- CITE (Consortium d'Universités dont fait partie l'University of Maryland)¹⁰³ offre des formations sur plusieurs aspects des STI et sur la météo routière.

⁹⁸ Brodersen, S. (2010) The Danish RWIS education programme. Proceedings of 2010 Standing International Road Weather Commission (S.I.R.W.E.C.) Congress in Quebec. 4 pages.

⁹⁹ TransForm : <http://www.aqtr.qc.ca/cgi-cs/cs.waframe.content?topic=31534&lang=1>

¹⁰⁰ Nouveau-Brunswick : <http://www.unb.ca/transpo/description.php>

¹⁰¹ STI Canada : www.itscanada.ca/francais/educationcommittee/index.htm

¹⁰² ITS Institute : <http://www.its.umn.edu/>

¹⁰³ CITE : <http://www.citeconsortium.org/purpose.html>

- RITA (Peer to peer program)¹⁰⁴ : partage de connaissances avec des implantations de STI réussies, et assistance pour les projets.

Les besoins de formation identifiés jusqu'à présent portent sur les éléments suivants :

- Intégration des normes existantes dans le domaine des STI et de la météo-routière tel que la norme NTCIP 1204, qui en est à sa troisième version et établit les protocoles d'échange de données pour les systèmes d'information météo-routiers, ou encore la connaissance et l'utilisation des normes de la WMO (World Meteorology Organisation), ainsi que le Canadian Mark-up Meteorological Language.
- Utilisation, les précautions et l'entretien des dernières technologies d'acquisition de données.
- Ingénierie de système dans le cadre de l'intégration des infrastructures de collecte et de transmission des données météo-routières.
- Stockage de données.
- Approche systémique et la gouvernance de l'information routière.
- Différentes alternatives et associations de technologies de communication, ainsi que la connaissance des protocoles d'échange de données.
- Sécurité et approche cognitive (professionnels de la météo routière, conducteurs, gestionnaire des STI, etc.).

¹⁰⁴ RITA : <http://www.its.dot.gov/peer/index.htm>

**VEILLE DES DERNIÈRES INNOVATIONS
DANS LE CONTEXTE DE LA VIABILITÉ HIVERNALE**

8 - RÉFÉRENCES

Anfosso-Lédée, F., Pichaud, Y. (2007) Temperature effect on tyre-road noise. *Applied acoustics* 68: 1-16.

Arsenault, S. (2010) Évaluation des équipements de mesure de l'adhérence en condition hivernale. Actes du congrès mondial de viabilité hivernale à Québec, Association mondiale de la route (A.I.P.C.R.) 12 pages.

Association mondiale de la route - A.I.P.C.R. (2010) Base de données sur la neige et le verglas. Comité technique B5 de l'A.I.P.C.R., 464 pages.

Association mondiale de la route - A.I.P.C.R. (2008) Les systèmes d'aide à l'entretien hivernal et l'échange d'informations. Comité technique AIPCR C3.4 Viabilité hivernale, 89 pages.

Association des Transports du Canada (2009) Prix d'ingénierie en sécurité routière 2008. Congrès annuel de Vancouver (Colombie Britannique), 8 pages.

Association des transports du Canada (2003) Synthèse des meilleures pratiques de gestion des sels de voirie, Ottawa, Canada.

Berger, Y. et Arsenault, S. (2010) Évaluation de 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 (A.I.P.C.R.) 12 p.

Bergeron, M. (2009) Vocabulaire trilingue des systèmes de transport intelligents. Gouvernement du Québec, 482 pages.

Bridge P. (2008) Noninvasive Road Weather Sensors. Proceedings of the Seventh International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology, Transportation Research Board, Indianapolis, Indian, 9 pages.

Brodersen, S. (2010) The Danish RWIS education programme. Proceedings of 2010 Standing International Road Weather Commission (S.I.R.W.E.C.) Congress in Quebec. 4 pages.

Brown, A., Jackson, S., Murkin, P., Sheridan, P., Skea, A., Smith, S., Veal, A., Vosper, S., 2008. Proceedings, 14th International Road Weather Conference, Prague, Czech Republic, 14-16 May 2008.

Burnett, G. (2008). Designing and evaluating in-car user-interfaces, in J. Lumsden (Ed.) Handbook of research on user interface design and evaluation for mobile technology (218-236). Hershey.

Burtwell, M., G. Öberg (2002). Improvement to Snow and Ice Control on European Roads and Bridge, Documentation for the final seminar COST 344, Ljubljana, Slovenia, 189 p.

Chapman, L., Thornes, J.E., 2006, A geomatics based road surface temperature prediction model. *Science of the Total Environment*, 360, 68-80.

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

Chiang, D.P., Brooks, A.M., Weir, D.H. (2004). On the highway measures of driver glance behaviour with an example automobile navigation system. *Applied Ergonomics*, 35, 215-223.

Chiasserini, C. and E. Magli. Energy consumption and image quality in wireless video-surveillance networks. 13th IEEE Intern. Symp. on Personal, Indoor & Mobile Radio Comm. (PIMRC), pp. 2357–2361, Sept. 2002.

CITE : <http://www.citeconsortium.org/purpose.html>

Corben, B., M. Lenné, M. Regan, T. Triggs (2001). Technology to enhance speed limit compliance. Road Safety Research, Policing and Education Conference Proceedinds, Canberra, Australie, 6p.

Cypra, T. (2008). Comprehensive Winter Maintenance Management System to Increase Road Safety and Traffic Flow. *Transportation Research Circular E-C126: Surface Transportation Weather; Snow and Ice Control*, p.128.

Dhingra, V. et Arora, A., « Pervasive Computing : Paradigm for New Era Computing », 1st International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, 2008.

Drobot, S., W. Mahoney, E. Schuler, G. Wiener, M. Chapman, P. Pisano, B. McKeever, A. Stern (2009) IntelliDriveSM Road Waether Research and Development: The vehicle data translator. Proceedings of the 2009 Intelligent Transportation Society of America Annual Conference, 1-3 June 2009, National Harbor, MD, 13 pages.

Drobot, S. (2008). Driving Decisions Related to the Colorado Front Range Winter Storm December 20-21 2006, Seventh international symposium on snow removal and ice control technology, Indianapolis, p 597-607.

Eby, D.W., Trombley, D.A., Molnar, L.J. & Shope, J.T. (1998). The assessment of older drivers's capabilities: a review of the literature. University of Michigan Transportation Research Institute.

Elvik, R. et V. Truls (2004). The Handbook of Road Safety Measures. Chapt 2.6 Winter Maintenance of Roads. Elsevier, Amsterdam, pp. 428-439.

Evans, L. (1991). Traffic Safety and the Driver. New York: Van Nostrand Reinhold.

Feng, F., L. Fu (2010) Classification de l'état de surface des routes en hiver fondée sur la mesure du frottement continu. Actes du congrès mondial de viabilité hivernale à Québec, Association mondiale de la route (A.I.P.C.R.) 13 pages.

Fette, B., « Cognitive Radio Technology », Elsevier, 2006, 622 p.

Fujiwara, T., Nakatsuji, T., Onodera, Y., Hagiwara, T., 1996. Predicting slipperiness of road surface in winter with a neural-Kalman filter. Proceedings, Snow and Ice Control Technology, 4th Symposium, Reno, Nevada, August 11-16, 1996, pp.85-91.

Forster, S., Lavie N. (2008). Failures to ignore entirely irrelevant distractors: the role of load. Journal of Experimental Psychology: Applied, 14, 73-83.

Gallenne, M.-L., Y. Goyat, M.T. Do, R. Bremond (2008). SARI : Automatic Road Condition Monitoring to Provide Information to Drivers and Road Managers - Tools for Diagnosis, 15th World Congress on Intelligent Transport Systems, New-York, United States, 12 p.

Hallowell, R.G., Matthews, M.P., Pisano, P.A. (2005) Automated Extraction of Weather Variables from Camera Imagery. Proceedings of the Mid-Continent Transportation Research Symposium, Ames IA, 13p.

Hamel, S. (2010) Des solutions innovatrices pour la gestion de la viabilité hivernale. Actes du congrès mondial de viabilité hivernale à Québec, Association mondiale de la route (A.I.P.C.R.) 10 p.

Hart, R., J. Mewes, B. Hershey, L. Osborne, D. Huft (2008). An Overview of Implementation and Deployment of the Pooled Fund Study Maintenance Decision Support System, Seventh international symposium on snow removal and ice control technology, Indianapolis, p 229-239.

Hole, G. (2007). The Psychology of Driving. N.J. Erlbaum.

ITS Institute : <http://www.its.umn.edu/>

Janke, M.K. (1994) Age-related disabilities that may impair driving and their assessment. Literature review. California Department of Motor Vehicles, national Highway Traffic Safety Administration.

Joint Tactical Radio System Standards, « Software Communication Architecture Specification », version 2.2.2, 15 mai 2006, 126 p.

Kajiva, Y., M. Yasuaki, T. Matsushima (2008). A Study on the Expression of Winter Road Information and its Effects on Drivers' Travel Decision Making, Seventh international symposium on snow removal and ice control technology, Indianapolis, p 586-596.

Kido, H., Masaoka, H., Ota, Y., Bianli, L. (2002) Gestion du réseau routier en hiver à l'aide de caméras CCTV. Proceedings of the WRA, Winter Road Congress, Sapporo, Japon, 10 p

Koseki, Y. Aizawa, T., Saito, A. (2002) Évaluation des paramètres de la circulation du détecteur de véhicules video par temps neigeux. Proceedings of the WRA, International Winter Road Congress, Sapporo, Japon, 8 p.

Lackey, R.J. et Upmal, D.W., « Speakeasy: The Military Software Radio », IEEE Communications Magazine, mai 1995, pp. 5661.

Larsen. O. (2010) Développement des compétences en matière d'exploitation et d'entretien des routes. Actes du congrès mondial de viabilité hivernale à Québec, Association mondiale de la route (A.I.P.C.R.), 8 pages.

Leland, T., J. Berg (2006). Les Appels d'Offres et la Gestion des Contrats pour les Activités Opérationnelles en Hiver en Norvège, XIIème Congrès International de la Viabilité Hivernale, Turin, Italie, 5 p.

Lind, G. (2007). Weather and traffic controlled variable speed limits in Sweden. I2TERN Conference, Aalborg, Danemark, 20 juin, 5p.

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

Mammeri, A., A. Khoumsi, D. Ziou, B. Hadjou (2008-a). Modeling and Adapting JPEG to the Energy Requirements of Visual Sensor Networks. First International Workshop on Sensor Networks (SN), in Conjunction with ICCCN. Virgin Islands, USA, August 2008.

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 pages.

Marchetti, M., R. Claverie (2010) Discrimination des états de surface de chaussée par extraction de données d'images. Actes du congrès mondial de viabilité hivernale à Québec, Association mondiale de la route (A.I.P.C.R.) 8 pages.

Maze, H., C. Albrecht, D. Kroeger (2008). Performance Measures for Snow and Ice Control Operations, Seventh international symposium on snow removal and ice control technology, Indianapolis, United States, p 625-637.

McCullouch, B., J. Lee, And W. Kang (2007) Proceedings of the 2007 Mid-Continent Transportation Research Symposium, Ames, Iowa, August 2007.

Miura, N., Ito, Y. (2002) Développement des instruments de mesure pour la précipitation nivale: fondé sur la technologie de traitement des images. Proceedings of WRA, International Winter Road Congress, Sapporo, Japon, 10 p.

National Winter Maintenance Peer Exchange (2009) Final Report. Planning Committee. 110 pages.

Nouveau-Brunswick : <http://www.unb.ca/transpo/description.php>

Omer R., L. Fu (2010) An Automatic Image Recognition System for Winter Road Surface Condition Classification. Conférences et réunion générale annuelles, Ottawa. 9 pages.

Papageorgiou, M., E. Kosmatopoulos, I. Papamichail, I. (2008). Effects of variable speed limits on motorway traffic flow. dans Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board, no 2047, pp.37-48.

Pekheryev, P.O.G., Z. Sahinoglu and G. Bhatti. Image transmission over IEEE 802.15.4 and ZigBee networks. In Proc. of the IEEE Intern. Symp. on Circuits and Systems (ISCAS), pages 23 – 26, May 2005.

Petty, K., W. Mahoney, J. Cowie, A. Dumont, Willian Myers (2008). Providing Winter Road Maintenance Guidance – An Update of the Federal Highway Administration Maintenance Decision Support System, National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, USA, 120 p.

Petty, K.R., Mahoney III, W.P., 2007. Weather applications and products enabled through vehicle infrastructure integration (VII) – Feasibility and Concept Development Study. Technical Report No FHWA-HOP-07-084, National Center for Atmospheric Research, USA, 120p.

Rämä, P. (2001). Effects of weather-controlled variable message signing on driver behaviour. Technical Research Centre of Finland, VTT Publications, 55p.

Reed-Jones, J., Trick, L.M., Matthews, M. (2008). Testing assumptions implicit in the use of the 15-second rule as an early predictor of whether an in-vehicle device produces unacceptable levels of distraction. Accident analysis & Prevention, 40, 628-634.

Resen-Fellie, O. P., J. Dahlen (2006). Système de Surveillance des Contrats de Performance, XII^{ème} Congrès International de la Viabilité Hivernale, Turin, Italie, 11 p.

Ressources naturelles Canada (2009) 2007- L'enquête sur les véhicules du Canada, rapport sommaire. Publications Écoénergie, Ressources naturelles Canada, 55p.

RITA : <http://www.its.dot.gov/peer/index.htm>

Royer, A., Cliche, P., Pichevar, R., Carrier, D., Pancrati, O., 2006. Projet Viabilité hivernale 2005-2006 pour le Ministère des transports du Québec. Rapport, 17p.

Rudy-Brown, C. (2008). Human factors issues associated with Vehicle-Infrastructure Integration. ITS Canada: VII Workshop. Transports Canada.

Sandberg, U. (2001) Tyre/road noise – Myths and realities. Proceedings of The 2001 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering. The Hague, Pays-Bas, 22 p.

Sandberg, U., Ejsmont, J. A. (2002) Tyre/Road Noise Reference Book. Informex, 616 p.

1 Hanson, D.I., James, R.S., NeSmith, C. (2004) Tire/pavement noise study. National Center for Asphalt Technology, Auburn University, Alabama, 44 p.

Schaeffer, B. et Lemmen, R., 2007, An integrated client for Web Processing Services - Upgrading uDig with Processing power, The annual Free and Open Source Software for Geospatial (FOSS4G), 24 - 27 septembre 2007.

Shi, X., C. Strong, R. Larson, D. Kack, E. Cuelho, N. El Ferradi, A. Seshadri, K. O'Keefe, L. Fay (2006) Vehicle-Based Technologies for Winter Maintenance: The State of the Practice. Western Transportation Institute, College of Engineering, Montana State University, Bozeman, 129 pages.

Standing International Road Weather Commission - SIRWEC, 2009. A guide to road weather systems. www.sirwec.org/en/rwis_web_guide.pdf

Standing International Road Weather Commission - SIRWEC, 2008. Proceedings, 14th International Road Weather Conference, Prague, Czech Republic 14-16 May, 2008, www.sirwec.cz.

Standing International Road Weather Commission – SIRWEC (2005) RWIS Web Guide. In <http://www.sirwec.org/>, S.I.R.W.E.C., All contents of this site © 1985-2010, http://www.sirwec.org/documents/rwis_web_guide.pdf, 83 pages.

STI Canada : www.itscanada.ca/francais/educationcommittee/index.htm

Sugimura, A., Murata, F., Yoshida, K. (2006) Recherche fondamentale sur la discrimination entre états de surfaces routières à partir d'images. Proceedings of the WRA, International Winter Road Congress, Turin, Italy, 12 p.

Takahashi, N., K. Munehiro, M. Asano (2006). Technique d'Étude avec des Données en Provenance de "Véhicules Flottants" de la Circulation dans les Régions Froides et Enneigées - Expérience de Sapporo avec les Données GPS de Taxis, XIIème Congrès International de la Viabilité Hivernale, Turin, Italie, 8 p.

Takeichi, K., Hirakouchi, Y., Kamiura, M., Uozumi, J., Itoh, N. (2002) Méthodes d'analyse de l'état des chaussées en hiver par traitement d'images. Proceedings of WRA, International Winter Road Congress, Sapporo, Japon, 12 p.

Tapkan, B.I., Yoakum-Stover, S., Kubichek, R.F., 1996. Active microwave remote sensing of road surface conditions, Proceedings, Snow and Ice Control Technology, 4th Symposium, Reno, Nevada, August 11-16, 1996, pp.73-80.

Taylor, C. and S. Dey. Adaptive image compression for wireless multimedia communication. IEEE Intern. Conf. on Communication, 6:1925–1929, June 2001.

1 Kuno, T., Sugiura, H. (1999) Detection of Road Conditions with CCD Cameras Mounted on a Vehicle. Systems and Computers in Japan 30: 88-99.

Telecommunications Industry Association, « Project 25 FMA Common Air Interface New Technology Standards Project Digital Radio Technical Standards », Arlington: Telecommunications Industry Association, 1998. TIA/EIA102. BAAA.

TransForm : <http://www.aqtr.qc.ca/cgi-cs/cs.waframe.content?topic=31534&lang=1>

Transports Canada (2010) Une architecture des systèmes de transport intelligents pour le Canada – version 2.
<http://www.tc.gc.ca/innovation/sti/fra/architecture/menu.htm>

Transports Canada (2010) Orientation sur l'architecture régionale des STI – Développer, employer, et maintenir une architecture STI pour votre région, 178 p.

Ulfarsson G.F., V.N. Shankar, P. Vu (2005). The effects of variable message and speed limits signs on mean speeds and speed deviation. dans International Journal of Vehicule Information and Communication Systems, vol.1, No.1-2, pp.69-87.

Voirin, Y. et G.B. Bénié (2008). SIG WEB pour les bases de données géoscientifiques planétaires et terrestres : la Lune, Mars et les sites analogues terrestres. Rapport de Géoimage Solutions Inc. pour l'Agence spatiale canadienne. 55 p.

Wallman, C.G. (2006). Le Winter Model - Un Système de Management de l'Entretien des Routes en Hiver, XIIe Congrès International de la Viabilité Hivernale, Turin, Italie, 12p.

Yamada, M., Ueda, K., Horiba, I., Sugie, N. (2001) Discrimination of the Road Condition Towards Understanding of Vehicle Driving Environments. IEEE T Intell Transp 2: 26-30.