

INNOVATION TRANSPORT

BULLETIN SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE

Bulletin Innovation Transport

Numéro 27 • Juin 2006



Table des matières

Dossier : Systèmes de transport intelligent

Essai en service des technologies d'enregistreur de bord 5

Optimisation des messages graphiques utilisés pour l'information transmise sur les panneaux à messages variables (PMV) 17

Routes et structures

Formulation des enrobés à matrice de pierre (SMA) selon la formulation du Laboratoire des chaussées 25

Environnement

Méthode d'intervention de brise-vent végétal composé de plantes indigènes ou naturalisées florifères adapté au contexte autoroutier de la Montérégie et du Québec 32

Mot de présentation

La technologie au service de l'industrie du transport

La Direction du transport routier des marchandises (DTRM) du ministère des Transports du Québec est à l'écoute des préoccupations des usagers de la route. Conformément à ses mandats, elle est en relation constante avec les associations, les transporteurs, les expéditeurs, les fabricants, les centres de recherche et les autres administrations. Les questions de sécurité routière et de sécurité aux postes frontières, l'économie et la compétitivité dans les transports font partie de ses priorités.

Le recours à la recherche appliquée s'est avéré un moyen performant, notamment pour résoudre des problématiques, ou pour innover par le développement de nouvelles technologies ou par l'intégration de technologies existantes dans les processus déjà en place.

Dans la revue *Innovation Transport* d'octobre 2001, nous avons présenté un logiciel permettant d'analyser la stabilité des véhicules lourds. Ce logiciel, qui peut également servir à effectuer l'analyse des causes d'un accident, s'avère très utile lorsque nous établissons des normes techniques et réglementaires dans le but d'améliorer la sécurité des usagers de la route.

Par ailleurs, dans la revue *Innovation Transport* de juin 2004, nous avons présenté l'état d'avancement ainsi que les orientations technologiques pour un système intégré des permis spéciaux relativement au transport routier hors normes.

Les produits de ces travaux de recherche servent non seulement à améliorer les méthodes de travail de la DTRM dans l'accomplissement de ses mandats, mais ils sont souvent utiles directement à l'industrie du transport des marchandises.

Notre recherche portant sur l'utilisation de nouvelles technologies nous amène aujourd'hui à vous présenter un projet d'essai pilote sur la technologie des enregistreurs de bord et des technologies connexes afin de tester leur utilisation en service réel. Plusieurs aspects y sont traités, notamment l'évaluation de la capacité de ces technologies à améliorer la gestion des parcs de véhicules sous les angles de la sécurité, du respect des règlements et des activités de transport. On prévoit aussi évaluer les coûts et les avantages de leur utilisation, connaître l'attitude des utilisateurs à l'égard de ces dispositifs et déterminer les exigences minimales relatives au transport interprovincial et international.

La recherche d'un usage plus intégré et efficace des ordinateurs de bord en ce qui a trait à l'harmonisation de la réglementation et des technologies embarquées existantes constitue le point central d'innovation de ce projet.

Ce projet fait appel à la participation de plusieurs intervenants, dont Transports Canada, le ministère des Transports du Québec, la Société de l'assurance automobile du Québec, l'Association du camionnage du Québec, les transporteurs et les fabricants d'équipements.

Les résultats de ce projet déboucheront sur le développement d'un outil plus performant et intégré pour les transporteurs. Aussi, ils devraient fournir une information précieuse pour assister les décideurs dans la mise à jour de la réglementation en fonction de l'utilisation de ces technologies. Dans l'optique de l'harmonisation des règlements sur le transport routier des marchandises, ce projet revêt une portée nationale, voire internationale.

Nous espérons que le potentiel d'innovation de ce projet saura susciter votre intérêt.

Claude Larose, directeur

Direction du transport routier des marchandises

Essais en service des enregistreurs de bord, des cartes à puce et de la signature numérique

René Martel, ing., direction du transport routier.

Le présent article a pour but de faire connaître au public un projet de recherche sur les ordinateurs de bord et des technologies connexes. On y explique d'abord le contexte dans lequel est né le projet, sous le titre *Problématique*. Par la suite, les objectifs et les étapes de la réalisation du projet sont décrits, et les résultats, les conclusions et recommandations des deux phases déjà réalisées sont présentés. L'article se termine enfin par une brève réflexion sur la situation actuelle et un survol des actions à venir au cours des prochaines étapes.

PROBLÉMATIQUE

L'utilisation des technologies embarquées sur les véhicules lourds par les transporteurs vise d'abord, encore aujourd'hui, à répondre à des besoins de logistique et de gestion plutôt qu'à des besoins liés à la conformité réglementaire. Le degré d'intégration des applications est souvent faible, surtout en ce qui concerne le traitement des données. Plusieurs administrations s'interrogent sur l'opportunité de légiférer en ce qui a trait à l'utilisation de ces technologies pour améliorer la sécurité, notamment en ce qui concerne les heures de service pour les véhicules lourds.

Les technologies embarquées font partie du coffre à outils des systèmes de transport intelligents. Ces outils ont un grand potentiel en matière d'efficacité, de sécurité et d'environnement. Comme ils sont multifonctionnels, ils doivent être adaptés aux besoins ou aux applications auxquels ils sont destinés. Par contre, toutes les fonctionnalités possibles ne sont pas nécessairement offertes sur les produits qui existent sur le marché. Il y a aussi le fait que la méconnaissance du potentiel réel de ces outils peut avoir pour conséquence que de nouveaux besoins ou de nouvelles applications demeurent inconnus.

Ces dernières années, trois questions ont préoccupé les acteurs du domaine du transport routier et de la sécurité en ce qui concerne les technologies embarquées. Il s'agit du volet optimisation des activités et de la gestion dans les entreprises de transport, de l'aspect outil d'aide au maintien et au suivi de la conformité réglementaire pour les transporteurs au sein de leur entreprise et, enfin, de la façon dont ces technologies peuvent être utilisées pour le contrôle du respect de la réglementation. Il y a quelques années, des actions dans ce domaine ont été menées en collaboration entre l'Association du camionnage du Québec (ACQ), le ministère des Transports du Québec (MTQ), la Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ), Transports Canada (TC) et des transporteurs. Ces échanges ont permis de mieux cerner les divers problèmes qui se posent, notamment la faible utilisation de ces technologies, l'absence de certaines fonctionnalités qui fourniraient des outils

aux transporteurs pour se conformer à la réglementation et une méconnaissance des possibilités qu'offrent ces technologies pour les organismes chargés du contrôle du respect de la réglementation.

Cette collaboration entre les divers acteurs concernés a permis de préciser les besoins en matière de recherche et a suscité un intérêt commun pour la mise en oeuvre du projet intitulé *Essais en service des technologies d'enregistreurs de bord, de cartes à puce et de signatures numériques*.

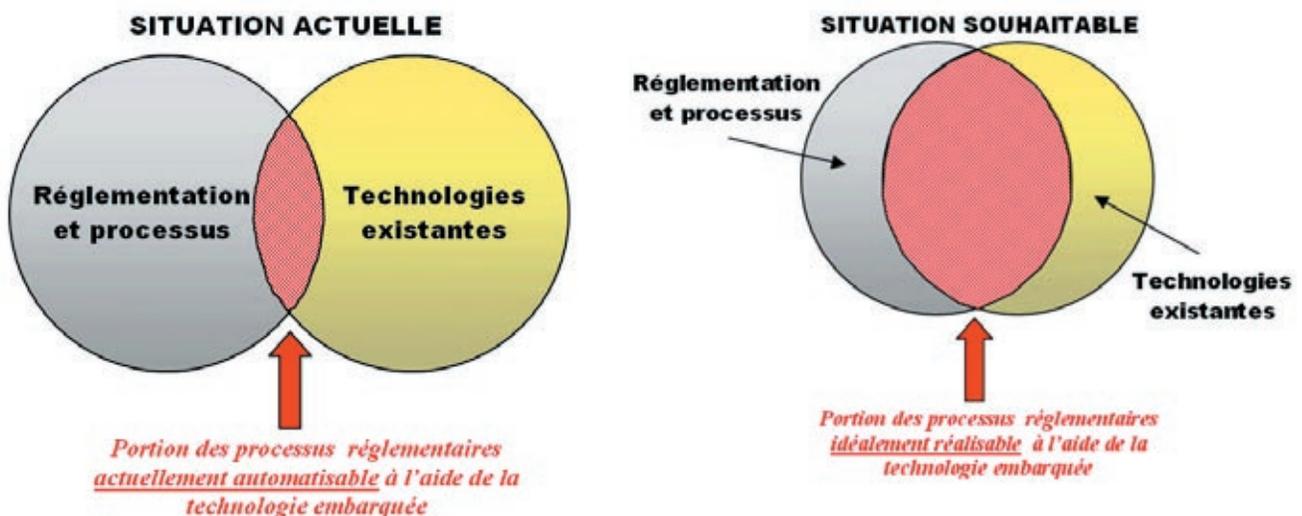
La firme de consultants Tecsalt, direction du transport, a été choisie pour la réalisation des phases 1 et 2. Il importe de préciser ici que les conclusions auxquelles arrive le consultant ou les opinions qu'il exprime, dont il sera fait mention dans les lignes qui suivent, ne représentent pas nécessairement le point de vue du Ministère ou du comité de direction du projet.

OBJECTIFS

Ce projet vise à effectuer un essai pilote de la technologie des enregistreurs de bord et des technologies connexes afin de tester leur utilisation en service réel, d'évaluer leur capacité à améliorer la gestion des parcs de véhicules sous les angles de la sécurité, du respect des règlements et des activités de transport, d'évaluer les coûts et les avantages de leur utilisation, de connaître l'attitude des utilisateurs à l'égard de ces dispositifs et de déterminer quelles sont les exigences minimales relatives au transport interprovincial et international. Le projet vise aussi à donner suite à la volonté d'évaluer l'usage des systèmes embarqués (ordinateurs de bord) exprimée dans l'entente Québec Ontario d'août 2000 sur l'harmonisation des charges et des dimensions des véhicules (réf. *Bulletin Info camionnage*).

Le projet devrait permettre un usage plus intégré et efficace des ordinateurs de bord, notamment en ce qui a trait à l'harmonisation entre la réglementation et les technologies embarquées existantes.

Figures 1 et 2



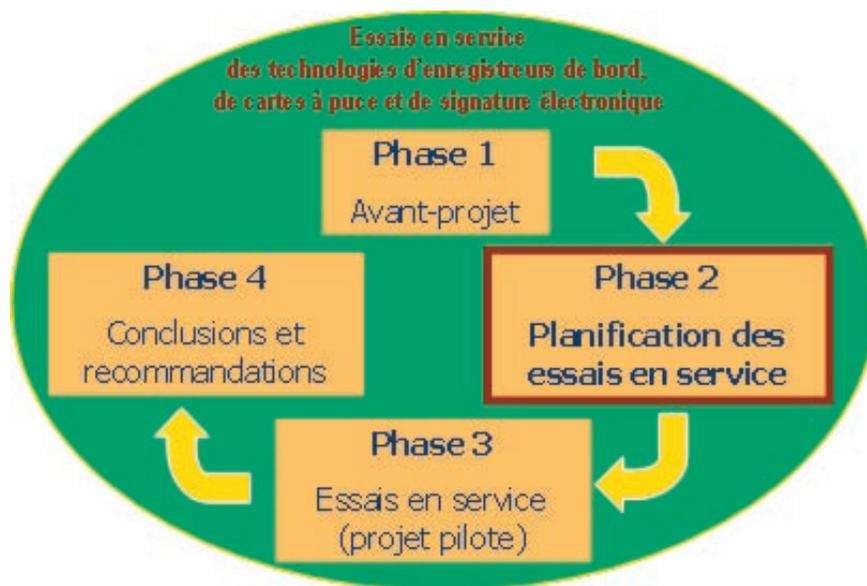
ÉTAPES DU PROJET

Ce projet comporte quatre phases : Avant-projet, Planification détaillée des essais en service, Essais en service et, enfin, Conclusions et recommandations (par rapport aux critères établis à la phase 2). Il a été mis sur pied, en partenariat, par Transports Canada, le MTQ, le ministère des Transports de l'Ontario et la SAAQ. Le *Federal Motor Carrier Safety Administration* (FMCSA) et l'Association du camionnage du Québec contribuent au projet en y apportant leur soutien.

RÉSULTATS DE LA PHASE 1

La phase 1 a consisté à élaborer un avant-projet détaillé pour la réalisation des essais en service, en effectuant les tâches suivantes : recensement des autres projets en cours ailleurs en Amérique du Nord; inventaire et examen des technologies et du matériel existants ainsi que des technologies émergentes prometteuses; recensement des utilisations possibles des enregistreurs de bord pour améliorer la sécurité, les activités de transport et la gestion des parcs de véhicules; préparation d'un plan provisoire des travaux.

Figure 3



L'analyse des technologies a consisté à évaluer un groupe restreint d'entreprises spécialisées dans le domaine des systèmes embarqués. Une grille multicritères a été conçue pour l'enquête menée auprès des fabricants. La classification des systèmes a été réalisée selon des critères de fonctionnalité regroupés par thèmes, entre autres : permis d'exploitant, dossier du véhicule, formation du conducteur, caractéristiques du véhicule, gestion des matières dangereuses, vérification journalière, gestion du processus douanier, des heures de service, de la vitesse, de la sécurité et du carburant, et autres fonctionnalités à valeur ajoutée.

Il est ressorti de ces évaluations que les appareils actuellement sur le marché comportent beaucoup d'éléments créés sur mesure pour les besoins des clients, mais que bien peu touchent à la vérification de la conformité aux règlements. Il s'ensuit donc que bien peu de systèmes offrent des fonctionnalités liées à la conformité. Cela ne veut toutefois pas dire que les fabricants ne peuvent pas modifier leurs systèmes pour y intégrer ces fonctionnalités, mais ils seraient sans doute plus motivés à le faire s'ils avaient le sentiment qu'il y a une demande réelle, suffisante pour justifier le coût d'adaptation de leurs équipements.

En ce qui concerne le recensement des projets, les recherches ont permis d'en découvrir bon nombre au Québec, au Canada, aux États-Unis et en Europe. Voici, à titre d'exemples, quelques informations qu'on a ainsi pu recueillir.

Aux États-Unis

- Très peu de projets de recherche ont été réalisés dans le domaine de la vérification de la conformité aux heures de service.
- La technologie était utilisée pour le contrôle des heures de service par seulement 3 % des camionneurs en 1997.
- Les recherches indiquent que les enregistreurs de bord pourraient être peu rentables pour les petites entreprises de camionnage. Il faut cependant préciser que cette conclusion est tirée d'une étude qui remonte à la fin des années 90.

Au Canada

- La technologie est peu utilisée pour le contrôle de la conformité à la réglementation.
- On accuserait un certain retard par rapport aux Américains et aux Européens en ce qui a trait au contrôle de la conformité à la réglementation à l'aide des nouvelles technologies.

Sur le plan de la commercialisation des systèmes, les fabricants feraient preuve d'une grande ignorance des règlements en vigueur dans le domaine du camionnage. Les systèmes qui étaient en cours d'élaboration au moment où les recherches ont été faites de même que ceux qui étaient déjà commercialisés répondaient plus souvent à des demandes particulières des transporteurs qu'à des besoins liés à la conformité aux règlements, d'où la grande diversité et le manque de standardisation.

Du point de vue des utilisateurs, les systèmes étaient encore perçus comme des formes d'intrusion dans la vie du camionneur. Il faut reconnaître que l'utilisation des données recueillies par l'appareil soulève de l'inquiétude. Il y a donc un besoin évident d'uniformisation. Il faut s'entendre sur les informations à recueillir, sur les procédés entourant leur manipulation ainsi que sur la façon de faire et les raisons pour lesquelles on doit disposer de telles informations.

Il existe une panoplie de systèmes utilisant des technologies différentes et des processus de télécommunication distincts dont les fonctionnalités sont assez disparates.

Plusieurs fabricants ont exprimé leur volonté de participer au projet pilote.

En Europe

- La situation en Europe est différente de celle que l'on connaît en Amérique du Nord. En effet, les Européens exigent depuis longtemps des entreprises qui exploitent des véhicules commerciaux qu'elles dotent leurs véhicules d'enregistreurs de bord. L'Union européenne (UE) a rendu les tachygraphes obligatoires au cours des années 80. La fabrication et l'utilisation de ces tachygraphes sont encadrées étroitement par un règlement.
- En 1998, l'arrivée des tachygraphes numériques a mené à l'instauration d'une nouvelle réglementation européenne et à la redéfinition du cadre légal. Cette réglementation a ouvert la voie au remplacement des tachygraphes mécaniques classiques par des enregistreurs de bord, qui devait s'appliquer au plus tard en 2001. L'UE a toutefois eu de la difficulté à mettre en place cette nouvelle réglementation. La date d'entrée en vigueur a été reportée plusieurs fois. Selon les dernières informations dont nous disposons, l'utilisation du tachygraphe électronique dans l'UE est devenue obligatoire pour les nouveaux véhicules le 1^{er} mai 2006.

PRINCIPALES CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE LA PHASE 1

Les enregistreurs de bord, les cartes à puce et les signatures numériques sont en plein essor, et les efforts déployés pour la diffusion de ces technologies embarquées s'inscrivent dans la perspective d'un immense marché potentiel.

Il est essentiel de préciser le cadre légal devant régir l'utilisation de ces technologies, afin d'en faire des outils de gestion permettant aussi le contrôle de la conformité à la réglementation.

Un accent particulier doit être mis sur les questions de sécurité.

L'identification des personnes, l'authentification des données ainsi que l'utilisation des cartes à puce (smart cards ou smart keys) manquent d'encadrement légal et opérationnel.

Il y a un besoin d'uniformisation, pour une meilleure compatibilité entre les technologies. Dans cette perspective, il faudrait définir quels paramètres doivent être enregistrés (heures de service, vitesse, poids et dimensions, vérifications mécaniques, identité du conducteur, etc.) et les intégrer aux données relatives à la gestion (gestion d'itinéraires, de parcs, etc.).

Il faudrait uniformiser la manière dont les données sont saisies, enregistrées et transmises, afin d'obtenir une certaine uniformité dans le type, le format et le contenu des rapports produits pour obtenir l'interopérabilité nécessaire.

On doit en arriver à mettre en place des systèmes modulaires, capables d'échanger entre eux.

Les administrations publiques doivent poursuivre leurs efforts de R&D dans le domaine et travailler de concert avec les fabricants et les exploitants. Des spécifications techniques doivent être définies pour assurer que les systèmes permettent le contrôle de la conformité aux règlements. La mise en place efficace et rapide de la réglementation relative à ces technologies permettrait aux fabricants de s'ajuster aux besoins qui seraient définis.

Il faut aller de l'avant avec la phase 2 du projet le plus rapidement possible afin de pouvoir commencer les essais en service le plus tôt possible. Il est important d'établir des spécifications techniques précises, pour être en mesure d'inviter, sur une base commune, tous les fabricants intéressés à se joindre au projet pilote, et leur permettre de modifier leurs équipements selon des exigences rigoureusement définies.

Finalement, il est essentiel d'assurer une veille technologique constante tout au long du projet, surtout pour suivre l'évolution de la situation en Europe et aux États-Unis dans le domaine des systèmes embarqués pour les véhicules commerciaux, afin de pouvoir demeurer à la fine pointe des développements en cours et modifier certains paramètres du projet au fur et à mesure, le cas échéant.

Pour en savoir davantage, consulter le rapport de la phase 1 de *Transports Canada*.

RÉSULTATS DE LA PHASE 2

La phase 2 consistait à effectuer la planification détaillée des essais en service qui doivent avoir lieu au cours de la troisième phase ainsi qu'à réaliser des tests de pré faisabilité (bêta-tests) sur certains équipements. En plus de la définition des orientations stratégiques en matière de conception, cette deuxième phase comportait le choix des partenaires (fabricants et transporteurs), les analyses économiques et juridiques ainsi que l'évaluation des technologies prometteuses associées à la réalisation des essais. On y a également procédé à la définition des paramètres d'analyse, des critères d'évaluation, des méthodes de suivi des parcs de véhicules qui participaient aux essais et des devis de performance des équipements pour les fabricants qui devaient participer à la réalisation de la phase 3.

Approche méthodologique

À la lumière des résultats de la première phase du projet, le consultant s'est d'abord penché sur la réglementation relative aux activités de camionnage. On a ensuite sélectionné les paramètres les plus pertinents, dans le but de déterminer si l'automatisation des processus qui y étaient associés pouvait être effectuée à l'aide d'ordinateurs de bord et de technologies connexes.

Ces paramètres sont :

- les heures de service;
- les inspections avant départ;
- les charges et dimensions;
- le transport des matières dangereuses;
- les permis spéciaux;
- la vitesse.

Dans le but de bien cerner ces paramètres, le consultant a préparé un diagramme logique (chapitre 8 du rapport de la phase 2) des processus impliqués pour chacun d'entre eux, et ce du point de vue de la conformité à la réglementation. Cette façon de faire a permis de trouver les points communs entre les tâches qui pourraient être exécutées à l'aide des ordinateurs de bord, dans l'intérêt des Administrations (conformité réglementaire), mais également des transporteurs, à qui ces techniques permettraient d'accroître leur efficacité.

Des consultations auprès des différents groupes concernés ont été réalisées, dans le but de raffiner les analyses et de confirmer la démarche. Ces consultations ont par ailleurs permis d'avoir une vision plus juste à la fois de la situation d'ensemble et des intérêts particuliers de ces groupes en ce qui a trait à ces nouvelles technologies. Une revue des études avantages – coûts réalisées dans le domaine des systèmes embarqués a en outre été effectuée afin d'évaluer le potentiel de rentabilité de ces technologies pour chacun des groupes concernés.

Une revue de la situation légale et juridique au Canada et aux États-Unis en matière d'ordinateurs de bord et de signature numérique a été effectuée dans le but de déterminer si l'utilisation de ces nouvelles technologies était « légalement réaliste ».

Par la suite, des devis de performance ont été préparés pour guider les fabricants dans la préparation de leurs équipements pour la réalisation de la phase 3 du projet (les essais en service proprement dits). Des rencontres ont été organisées avec les fabricants qui avaient accueilli favorablement les devis qui leur avaient été envoyés, afin d'effectuer des bêta-tests pour bien s'assurer de la performance des équipements existants, selon les exigences requises pour mener à bien les essais en service. Finalement, le consultant a préparé un plan de réalisation de la phase 3, comprenant la structure des activités.

Technologie

L'état actuel de la technologie des systèmes embarqués dans le domaine du camionnage est très variable.

Il existe une multitude de fonctionnalités répondant à des besoins particuliers, et très peu d'entre elles sont orientées vers la conformité réglementaire, car les besoins se font surtout sentir dans les domaines de la logistique et de la gestion des parcs de véhicules. On a observé que certains systèmes permettent de répondre assez bien aux besoins exprimés dans le cadre du projet, moyennant certaines modifications sur le plan de la programmation, alors que d'autres ne sont pas du tout orientés dans cette direction. Les devis de performance élaborés au cours de la phase 2 constituent un outil important pour l'appel et la sélection des participants aux essais de la phase 3.

Réglementation

Au Canada, le Québec a introduit dans sa **réglementation sur les matières dangereuses** (TMD) de 2002, à l'article 40, l'obligation d'installer un système d'enregistrement des vitesses permettant l'enregistrement de la date et de l'heure à laquelle la vitesse a été enregistrée sur les camions-citernes transportant des matières dangereuses. Cet article entrera en vigueur le 15 août 2006.

Toujours au Québec, le paragraphe 5 de l'article 3 du **Règlement sur le permis spécial de circulation d'un train routier** rend obligatoire l'installation sur les grands trains routiers (> 25 mètres) d'un appareil permettant de faire un suivi du comportement du conducteur. Les caractéristiques techniques de l'appareil sont les mêmes que celles de l'appareil décrit au paragraphe précédent.

Aux États-Unis, en ce qui concerne les heures de service, le département fédéral des transports a publié en 2002 un projet de règlement dans lequel il manifestait son intention d'imposer l'utilisation des systèmes embarqués, ou du carnet de bord électronique, pour les conducteurs faisant du transport sur certaines distances. Le projet avait soulevé l'ire de l'industrie et avait dû être mis de côté en avril 2003. Par ailleurs, la cour d'appel des États-Unis a rejeté la modification des heures de conduite et de service proposée par l'État fédéral et a envoyé le dossier à la FMSCA pour révision. Une nouvelle réglementation sur les heures de conduite a par la suite été adoptée, et l'utilisation des systèmes embarqués pour l'enregistrement des heures de conduite et de service est demeurée permise, mais n'a pas été imposée. Le FMSCA suit de très près les travaux du projet en cours.

Effet sur les normes du guide du CCATM pour les transporteurs routiers

Le Conseil canadien des administrateurs en transport motorisé (CCATM) a établi une série de normes ou de recommandations pour les transporteurs routiers, qui ont été réunies dans un document connu sous le nom de *Code Canadien de la sécurité ou National Safety Code* (NSC). Ce document est composé de seize normes, qui sont des critères de base que les provinces canadiennes utilisent pour élaborer leurs lois et règlements et auxquelles les transporteurs doivent se conformer.

Il est à noter que, en général, c'est le Conseil canadien des ministres des Transports qui adopte d'abord la norme et ensuite l'État fédéral élabore une loi ou un règlement. Ensuite, les provinces rédigent leur propre loi ou un règlement basé sur la loi fédérale.

Le but de ces normes est d'assurer une certaine uniformité dans l'application de la réglementation pour les véhicules lourds dans le pays, même si l'application de ces normes relève de la responsabilité des provinces et des territoires. Cependant, la réglementation du transport interprovincial relève de la compétence de l'État fédéral.

L'étude démontre que les ordinateurs de bord auraient une contribution positive pour douze (1,2, 4,6, 7,8, 9, 11, 12, 13, 14 et 15) des seize normes du *Code canadien de la sécurité* et neutre dans les autres cas (exemple : la norme 16, Formation en premiers soins).

Diagrammes logiques de flux d'information et devis de performance

C'est autour des six paramètres choisis précédemment que les diagrammes de flux d'information et les devis de performance ont été conçus.

Des tableaux (que l'on ne peut reproduire ici faute d'espace) ont été joints à ces diagrammes logiques pour fournir les commentaires qui se rapportent aux processus ou à des actions précises à

mener. Dans certains cas, ces tableaux proposent des applications prometteuses. Ils fournissent aussi un portrait de l'état (au moment de réalisation de l'étude) des technologies en matière de systèmes embarqués indiquant si la technologie existe et si elle est déjà utilisée ou non, par rapport aux besoins de conformité réglementaire définis dans les processus. L'échelle de ces tableaux indique également si la technologie n'est pas encore approuvée pour exécuter une fonction donnée requise dans le processus de conformité réglementaire.

Les devis de performance ont été préparés de manière à permettre aux fabricants d'ordinateurs de bord d'adapter leur technologie en vue de la réalisation des essais en service de la phase 3 du projet et de constituer l'ébauche d'un produit générique. Pour chacun des paramètres retenus, une liste des performances exigées a été établie pour chacune des tâches obligatoires devant être automatisées à l'aide des enregistreurs de bord.

Avant d'entreprendre les essais en service proprement dits (phase 3 du projet), des vérifications ont dû être faites auprès des fabricants d'équipements embarqués, afin de vérifier la performance des produits existants et de s'assurer que les fonctionnalités requises pour les besoins du projet étaient bel et bien offertes et si elles étaient opérationnelles. Pour réaliser ces tests de préféabilité, une sélection des fabricants et des équipements a été effectuée afin de ne retenir que les produits qui correspondaient bien aux exigences du projet. Les devis de performance ont été envoyés aux fabricants sélectionnés pour leur permettre de vérifier dans quelle mesure leurs équipements répondaient effectivement aux exigences. Chacun des fabricants ayant répondu à la demande et dont le produit était adapté aux essais en service prévus a été contacté une nouvelle fois dans le but d'organiser les bêta-tests, qui ont pris la forme d'une rencontre où on a effectué certaines vérifications à l'aide d'un système opérationnel.

La réalisation des tests de préféabilité a permis de confirmer non seulement la pertinence du projet en cours, mais aussi et surtout le fait que la technologie qui est actuellement sur le marché peut permettre de procéder aux essais en service prévus pour la phase 3.

Bien d'autres questions ont été abordées au cours de la phase 2, notamment l'analyse avantages – coûts, les aspects légaux ainsi que la structure de la phase 3. Pour ceux qui désirent en savoir plus, le rapport de la phase 2 sera bientôt sur le site internet du MTQ.

PRINCIPALES CONCLUSIONS DE LA PHASE 2

- Les systèmes embarqués et les technologies connexes ont atteint un stade d'avancement technique et technologique suffisant pour permettre des applications qui permettraient d'améliorer la conformité réglementaire des transporteurs routiers dans certaines de leurs activités quotidiennes, notamment en ce qui concerne les obligations relatives aux heures de conduite et de service, à la vérification avant départ, aux charges et dimensions, au transport des matières dangereuses, à la vitesse et aux permis spéciaux.
- La conformité réglementaire ne peut reposer uniquement sur les systèmes embarqués, mais ces technologies pourraient y contribuer de façon notable.

- Les études révèlent que l'utilisation adéquate des systèmes embarqués présente de nombreux avantages, que ce soit pour les transporteurs, les agences de réglementation ou la société en général, et ce grâce à une amélioration de la sécurité routière. En outre, les analyses avantages – coûts indiquent que l'installation de ces technologies à bord des véhicules commerciaux est rentable pour les exploitants lorsque les données collectées sont utilisées à bon escient.
- Dans le cas précis de la phase 3 du projet, les résultats de la phase 2 démontrent qu'on peut poursuivre les essais en service proprement dits, et qu'on doit le faire le plus rapidement possible.

RECOMMANDATIONS RELATIVES À LA PHASE 2 DU PROJET

À la lumière des conclusions de cette étude, le consultant recommande de réaliser les étapes suivantes dans les meilleurs délais :

- Transmettre aux fabricants de technologies embarquées intéressés le devis préparé à la phase 2, pour leur permettre d'adapter leurs produits aux exigences des essais en service le plus rapidement possible. Choisir les fabricants intéressés parmi les candidats volontaires et les appuyer dans leur démarche préparatoire, au besoin.
- Mettre en place les mécanismes de partenariat entre les différents groupes concernés en vue de la réalisation des essais, tant sur les plans administratif et politique qu'en ce qui a trait aux ressources humaines et financières.
- Limiter les essais en service à la mise en œuvre des six paramètres désignés comme prioritaires (heures de service, vérification avant départ, charges et dimensions, vitesse, transport des matières dangereuses et permis spéciaux).

PROCHAINES ÉTAPES

La réalisation de ce projet nous permettra d'avoir un portrait clair de la situation quant aux possibilités des systèmes embarqués sur les divers aspects mentionnés précédemment, notamment l'optimisation des activités et de la gestion dans les entreprises de transport, l'aspect outil d'aide au maintien et au suivi de la conformité réglementaire pour les transporteurs au sein de leur entreprise et, enfin, la façon dont ces technologies peuvent être utilisées pour le contrôle du respect de la réglementation. Ce tableau d'ensemble sera utile, entre autres, aux transporteurs, aux fabricants et aux législateurs, pour faire des choix plus éclairés en ce qui a trait à l'utilisation de ces outils, qui offrent de nombreuses possibilités.

Les règlements fédéral et québécois relatifs aux heures de service (HDS) permettent de recourir à des dispositifs d'enregistrement électroniques à la place des fiches papier pour consigner les données sur le conducteur et sur le véhicule. Certains s'interrogent toutefois sur l'opportunité de rendre obligatoire le recours à de tels dispositifs pour garantir la fiabilité et la validité des données colligées et diminuer la paperasse. Les gouvernements fédéral et provinciaux doivent se pencher

sur cette question. Devrait-on, par exemple, faire comme l'Union européenne et rendre obligatoires ces technologies et, si oui, pour quelles applications ? Ce projet fournira certainement des données essentielles à la réflexion.

Les étapes devant mener à la phase 3 sont en cours de réalisation. On est présentement à obtenir les approbations nécessaires pour permettre au MTQ et à la SAAQ de signer l'entente de collaboration avec les partenaires extérieurs au Québec. Le devis pour l'appel d'offres est réalisé à 90 %.

POSITION DU QUÉBEC ET DES AUTRES PROVINCES

Nous croyons que ce projet fournira de l'information indispensable pour permettre aux décideurs de prendre des décisions éclairées en ce qui a trait à la mise à jour de la réglementation en fonction de l'utilisation des systèmes embarqués (ordinateurs de bord et technologies connexes). Ce projet est d'intérêt national et international. Il contribuera entre autres à fournir des pistes de solution au problème, très actuel, du relevé des heures de conduite. Il servira aussi de vitrine pour ces technologies auprès de l'industrie du transport, notamment pour les non-spécialistes.

Le projet prévoit que les tests de mise en service seront réalisés dans deux provinces, pour des raisons d'efficacité et d'optimisation, mais il a une portée nationale, voire internationale, de par ses objectifs.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Martel, René ing. « *Essais en service des technologies d'enregistreur de bord, de cartes à puce et de signatures numériques* ». Présentation du projet à la réunion de la table de sécurité sur les transports 8 octobre 2002.

Martel, René ing. « *Essais en service des technologies d'enregistreur de bord, de cartes à puce et de signatures numériques* ». Présentation du projet à la réunion de la table de sécurité sur les transports, 5 décembre 2002.

Gysel, Jean-François ing. « *L'utilisation de systèmes embarqués dans l'industrie du camionnage* », Présentation du projet à la réunion de la table de sécurité sur les transports Montréal, 19 novembre 2001.

Gysel, Jean-François ing. Tecsalt. « *Rapport final Essais en service des technologies d'enregistreur de bord, de cartes à puce et de signatures numériques – Phase 2* », août 2005.

Gysel, Jean-François ing. Tecsalt. « *Rapport, Phase 1 : Étude préliminaire Essais en service des technologies d'enregistreur de bord, de cartes à puce et de signatures numériques – Phase 2* », mars 2002.

Martel, René ing. « *Essais en service des technologies d'enregistreur de bord, de cartes à puce et de signatures numériques* ». Présentation du projet à la réunion de la table de sécurité sur les transports, 5 décembre 2002.

Gysel, Jean-François ing. et Vincent, Benoît ing. « *L'utilisation de ordinateurs de bord et des technologies STI dans le domaine du camionnage : Situations au Québec et tendances mondiales* », 39^e congrès annuel de l'AQTR, Québec, 5 avril 2004.

Martel, René ing. « *Systèmes de transport intelligents Essais en service des technologies d'enregistreur de bord, de cartes à puces et de signatures numériques – Phase 2* ». Présentation du projet à la réunion de la table de sécurité sur les transports, 31 mars 2005.

Actes du colloque *Les systèmes de transport intelligents*, 19 novembre 2001, Montréal.

Règlement des États-Unis (US) sur l'usage des enregistreurs de bord pour les heures de conduite,

Part 395 : Hours of Service of Drivers: §395.15 Automatic on Board Recording Devices.

Huberts, Leo (unit B4) et Hardy, Yves (unit R2), Présentation « *Introduction of the Digital Tachograph* », Directorate -General for Energy and Trans.

Optimisation des messages et graphiques utilisés pour l'information transmise sur les panneaux à messages variables (PMV)

Stéphane Audet, ing., M. Ing., Direction de Laval–Mille-îles

INTRODUCTION

L'utilisation des panneaux à messages variables permet de communiquer de l'information aux usagers de la route, et ce, de façon dynamique. L'information qui est transmise à l'utilisateur devrait lui permettre d'adapter sa conduite aux conditions changeantes de la route en amont de la position du PMV, d'éviter une zone de travaux ou toute autre situation perturbant la circulation, ou lui indiquer à l'avance la mise en place de zones de travaux. Avec cet outil précieux, le Ministère peut donc respecter sa mission qui est « d'assurer, sur tout le territoire, la mobilité des personnes et des marchandises par des systèmes de transport efficaces et sécuritaires qui contribuent au développement durable du Québec ».

L'outil est de plus en plus utilisé sur le territoire de la province. Par contre, aucune règle ne permettait d'en uniformiser l'utilisation, que ce soit relativement aux messages affichés, à l'utilisation des pictogrammes ou au choix de l'emplacement des PMV pour en assurer une lecture optimale par les usagers de la route. La combinaison de ces facteurs a contribué à l'émergence de disparités dans l'utilisation des PMV d'une direction territoriale à l'autre. Cette différence aurait pu, si elle avait perduré, diminuer la confiance des usagers de la route dans les messages diffusés sur ces panneaux.

Une démarche de recherche visant à « améliorer la qualité de la diffusion de l'information sur les panneaux à messages variables (PMV), en tenant compte du point de vue du conducteur et des contraintes techniques liées à la signalisation des messages variables » a donc été entreprise. Un mandat à cet effet a été confié à un chercheur du milieu universitaire. Il consistait à :

- effectuer un relevé des pratiques et normes en vigueur relativement à l'utilisation des PMV dans le monde;
- proposer un ensemble de règles à appliquer lors de la création et l'affichage des messages, pictogrammes ou graphiques;
- concevoir une banque de pictogrammes pouvant être utilisés pour simplifier la présentation de l'information;
- élaborer des stratégies d'affichage à privilégier afin d'optimiser l'exploitation des PMV;
- réaliser une étude de validation auprès d'un échantillon d'usagers de la route de façon à vérifier la compréhension de certains termes utilisés dans ces messages et tester l'utilisation de pictogrammes pouvant être présentés sur les PMV;
- proposer une optimisation des règles de création de messages, des banques de messages et de pictogrammes, ainsi que des stratégies d'affichage.

PROJET DE RECHERCHE

Le projet de recherche a été amorcé au cours de l'année 2003 par M. Jacques Bergeron, Ph. D., professeur titulaire au Département de psychologie de l'Université de Montréal, directeur du Laboratoire de simulation de conduite, et chercheur affilié au Centre de recherche sur les transports de l'Université de Montréal. M. Bergeron était secondé par M. Martin Paquette, M. Sc., étudiant de 3^e cycle en psychologie, et assistant de recherche au Laboratoire de simulation de conduite.

Un comité de suivi du projet de recherche a aussi été formé au Ministère. Le mandat de ce comité consistait à encadrer le déroulement du projet et à jouer un rôle prépondérant dans les prises de décisions sur les orientations du projet. Ce comité réunissait des représentants de plusieurs unités du Ministère, dont le Centre de services de la gestion de la circulation (CSGC - Montréal), le Centre régional de la gestion de la circulation (CRGC - Québec) et le Service des technologies d'exploitation de la Direction du soutien à l'exploitation des infrastructures.

Dans un premier temps, l'équipe de recherche a réalisé un relevé des pratiques et des normes en vigueur au Canada et ailleurs dans le monde. Ce relevé a permis de mettre en évidence plusieurs informations intéressantes et de dégager des orientations nouvelles pour les autres étapes du projet de recherche.

Ensuite, une recension de la documentation sur les règles et stratégies à privilégier dans l'utilisation des PMV a été réalisée. La documentation consultée incluait les règles et normes préconisées par plusieurs exploitants de réseaux routiers autant en Amérique du Nord qu'en Europe, et surtout les travaux scientifiques qui ont porté sur les questions suivantes :

- contenu du message;
- utilisation de pictogrammes;
- format des caractères disponible pour l'affichage sur les PMV;
- espacement et contraste des caractères affichés sur les PMV;
- style des caractères disponible pour l'affichage sur les PMV;
- longueur des messages;
- messages bilingues;
- absence d'affichage;
- format d'affichage;
- emplacement d'un PMV.

Ensuite, une expérimentation a été effectuée dans le but de recueillir les perceptions d'un échantillon d'usagers de la route. Cette expérimentation visait à atteindre les objectifs suivants :

- Objectif 1 : Vérifier la compréhension de certains termes en usage actuellement au Québec dans l'affichage des informations sur les PMV.
- Objectif 2 : Tester l'utilisation éventuelle de pictogrammes pouvant être présentés sur les PMV, compte tenu des limites technologiques des panneaux disponibles sur les routes du Québec.

À la suite de la réalisation et de l'analyse des résultats de l'expérimentation auprès du groupe d'utilisateurs de la route, l'équipe de recherche a entrepris l'étape d'optimisation des règles et stratégies dans la création et l'affichage des messages des PMV. L'équipe a d'abord déterminé les règles à privilégier dans l'élaboration des messages et elle a ensuite élaboré des stratégies d'affichage des messages.

Dans un dernier temps, une banque de messages (messages textuels types, pictogrammes utilisés dans divers pays et pictogrammes testés dans le volet expérimental de la présente étude) a été préparée.

RAPPORT

En septembre 2005, l'équipe de recherche a déposé la version définitive du rapport après des travaux qui auront duré près de deux ans. Le rapport a permis de mettre en évidence les principales utilisations qui sont faites des PMV dans le monde, qui sont :

- informer, en temps réel, les usagers des conditions de circulation en aval;
 - sur l'autoroute ou la route où l'utilisateur circule;
 - sur une autre autoroute, route ou voie de circulation où l'utilisateur pourrait se rendre;
- suggérer une autre route plus rapide ou plus sécuritaire.

La plupart des exploitants de réseau routier affirment utiliser les PMV en tant que partie intégrante de systèmes sophistiqués de contrôle de la circulation. Ces systèmes sont composés de caméras de surveillance, de moniteurs qui diffusent de l'information sur la vitesse ou le débit de circulation, et de PMV.

Plusieurs exploitants de réseau routier sont unanimes à dire que les PMV devraient servir à conseiller l'utilisateur de la route sur les situations de circulation inattendues et sur les conditions de la route. Ils devraient donc être utilisés uniquement pour afficher de l'information sur la réglementation, des avertissements, ou des directives liées au contrôle de la circulation.

Il est aussi mentionné par plusieurs gestionnaires de PMV que ces derniers ne devraient pas être utilisés pour transmettre des messages d'information générale. Ainsi, des messages tels que « SOYEZ PRUDENTS » ou « CONDUISEZ PRUDEMMENT » ne devraient pas être transmis. Quand ils sont affichés fréquemment, ils ont pour effet, à long terme, de réduire l'intérêt des utilisateurs de la route pour les PMV et de les faire passer à côté d'informations plus importantes qui sont transmises par ce moyen de communication. Certains exploitants vont même jusqu'à préconiser que, lorsqu'aucune information spécifique n'a à être transmise aux utilisateurs de la route, les PMV devraient être éteints.

Il est important d'établir une priorité dans l'utilisation de PMV pour s'assurer que les messages importants et urgents sont communiqués clairement et rapidement. Voici les trois types de messages ainsi que l'ordre de priorités dans lequel ils devraient être affichés sur les PMV:

- Événements non planifiés liés à la circulation ou aux conditions inattendues de la route, telles que des accidents majeurs et les conditions atmosphériques défavorables;

- Les événements prévus nuisant à la circulation, tels que des fermetures et déviations de route en vue de défilés ou de travaux à venir;
- Recommandations générales sur la sécurité routière et la gestion de la circulation telles que : « À quelle vitesse conduisez-vous présentement? » ou « Gardez la gauche, sauf pour dépasser ».

Les exploitants de réseau routier qui utilisent des PMV ont, dans certains cas, établi une fonction et une intention pour chacune des trois lignes d'affichage des PMV. Ainsi, à titre d'exemple, un exploitant utilise les lignes d'affichage de la façon suivante :

- Ligne 1 : La première ligne sur tous les panneaux est employée pour décrire le type d'incident ou de situation inhabituelle.
- Ligne 2 : La deuxième ligne indique la localisation de l'incident ou de la congestion attribuable à un incident, ou tout autre événement inhabituel. Le message de cette ligne doit être le plus précis possible.
- Ligne 3 : La troisième ligne a pour but d'informer, de conseiller ou de diriger les automobilistes afin qu'ils adoptent le meilleur comportement possible dans la situation.

En plus, les messages transmis sur PMV doivent être conçus de manière à fournir suffisamment d'information aux automobilistes pour les encourager à prendre une décision face à des situations particulières sur la route. Si ce critère de conception n'est pas respecté, ils ignoreront probablement le message.

Deux phases d'affichage est le nombre maximal à considérer pour la transmission de messages sur PMV. Cela assure que la majorité des usagers auront la possibilité de lire un message durant le laps de temps que prend le véhicule pour approcher du PMV. Idéalement, un message devrait être conçu de telle manière qu'il soit possible pour l'usager de le lire à deux reprises s'il circule à la vitesse permise sur la section de route sur laquelle le PMV est installé. Pour s'en assurer, les concepteurs de messages de PMV ont la possibilité de modifier différents paramètres liés aux messages, dont le nombre de phases d'affichage, le nombre de mots à chacune des phases d'affichage et le temps alloué à l'affichage de chacune des phases nécessaires pour former le message en entier.

La tendance actuelle indique que plusieurs exploitants favorisent l'acquisition de PMV pouvant afficher plusieurs couleurs. Cette caractéristique permet notamment d'améliorer la perception des messages par les usagers, en particulier lorsque des pictogrammes sont affichés. La figure suivante illustre un PMV utilisant ce type de technologie.

Un autre des points importants qui ont été abordés dans le rapport de recherche est l'utilisation des pictogrammes pour transmettre de l'information aux usagers de la route. L'intérêt du pictogramme est qu'il ne nécessite pas l'usage d'une langue spécifique pour transmettre de l'information afin qu'elle soit comprise. Un autre avantage du pictogramme est que le message peut être compris plus rapidement et d'une distance plus grande comparativement à un message textuel.

Figure 1 : PMV couleur Motorway signal Mark 4 (Royaume-Uni)



ÉTUDE EXPÉRIMENTALE SUR LA PERCEPTION ET LA COMPRÉHENSION DES MESSAGES PAR LES USAGERS DE LA ROUTE

L'étape la plus importante du projet de recherche était celle qui consistait à vérifier certaines hypothèses auprès d'usagers de la route susceptibles d'être exposés à des messages transmis par PMV. Tel qu'il a été mentionné précédemment, l'étude expérimentale comportait deux objectifs. Dans un premier temps, on voulait vérifier la compréhension de certains termes utilisés sur les PMV au Québec. Dans un deuxième temps, on voulait tester l'utilisation éventuelle d'une plus grande variété de pictogrammes sur les PMV, en tenant compte des limites technologiques des panneaux disponibles sur les routes du Québec (la définition des images étant limitée par le nombre de pixels disponibles sur les PMV mobiles, qui constituent la majorité du parc de PMV disponibles).

Ainsi, l'équipe de recherche a pu vérifier que les termes utilisés pour la communication d'information sur les PMV étaient bien compris par les usagers. De plus, la compréhension des variantes de certains termes a aussi pu être évaluée de manière à tenter d'en identifier des nouveaux qui soient compris par la plupart des usagers de la route.

Le tableau 1 présente la liste des pictogrammes ayant été sélectionnés afin que leur utilisation sur des PMV soit validée par le groupe d'usagers de la route ayant pris part à l'étude. On y voit deux pictogrammes disponibles dans les banques de pictogrammes utilisées sur le réseau routier, un pictogramme proposé pour représenter les situations de congestion routière ainsi que trois propositions de pictogrammes représentant des situations d'accidents.

Les résultats de l'étude permettent de conclure que les deux pictogrammes existants (en signalisation traditionnelle), « zone de travaux » et « chaussée glissante », de même que le nouveau pictogramme « congestion routière » pourraient être utilisés avantageusement sur les PMV au Québec (autant les PMV fixes que les PMV mobiles). Ces trois pictogrammes sont bien reconnus par les usagers de la route, quels que soient leur catégorie d'âge, leur sexe ou leur expérience de conduite, qu'ils habitent la région de Montréal ou d'autres régions du Québec. Une campagne d'information devrait toutefois accompagner une éventuelle généralisation de leur utilisation. Cette campagne nous permettrait de bien associer ces pictogrammes aux conditions routières correspondantes.

En ce qui concerne les pictogrammes destinés à représenter un accident, aucun n'obtient un taux de reconnaissance suffisant pouvant justifier leur utilisation sur les PMV.

Tableau 1 : Description des pictogrammes et formats de représentation graphique utilisés dans les présentations informatiques

Ordre de présentation et description	Format continu	Format matriciel	Format continu	Format matriciel	Format continu	Format matriciel
Zone de travaux (existant)						
Congestion routière (nouveau)						
Accident – trois représentations proposées (nouveau)						
Chaussée glissante (existant)						

RECOMMANDATIONS DES CHERCHEURS

À la suite de la réalisation des étapes indiquées précédemment, l'équipe de recherche a formulé une série de recommandations qui ont servi de conclusion au projet de recherche. Ainsi, les recommandations du chercheur ont permis de faire le lien entre les étapes de recension des règles et stratégies privilégiées par les différents exploitants de PMV et les constatations liées à l'étape d'étude expérimentale sur la perception et la compréhension des messages par les usagers de la route.

Nous ne mentionnons ici que quelques-unes des nombreuses recommandations formulées dans le rapport.

Les premières recommandations portent sur le contenu des messages qui doivent être courts, utiles et exacts de manière à assurer la crédibilité du système. Il est aussi important d'établir un ordre de

priorité dans la diffusion des différents types de messages. Par exemple, les chercheurs proposent l'ordre suivant : les messages de danger en premier lieu, ensuite les messages de régulation et les messages informatifs pour terminer. Il est préférable d'utiliser un style personnel et l'impératif. Par exemple, il vaut mieux écrire « Conduisez prudemment » plutôt que « Conduire prudemment ».

Les messages devraient être formulés de manière à ne pas contenir plus de huit mots, sans compter les prépositions. La présentation d'un message doit idéalement être faite en une seule phase. Par contre, l'utilisation de deux phases représente le maximum à considérer afin de permettre sa lecture complète par un usager ayant une capacité de lecture moyenne.

Les PMV devraient être utilisés pour annoncer des conditions inhabituelles liées à la route. Quand aucune information utile n'a à être communiquée aux usagers de la route, les PMV devraient être éteints. Il est aussi recommandé de limiter la durée de diffusion de messages d'information à une période de deux semaines, de manière à ne pas diminuer l'intérêt des usagers de la route pour les PMV. En effet, il a été prouvé que la diffusion à répétition de messages généraux entraîne une baisse d'intérêt pour les messages diffusés et, de ce fait, ils sont susceptibles de rater des messages importants qui pourraient prendre la place des messages généraux.

NORMALISATION

Le *Plan d'action en matière de sécurité sur les sites de travaux routiers*, qui est mis à jour annuellement depuis 2001, a représenté une première étape dans la démarche de réglementation de l'utilisation des PMV mobiles au Québec.

Lors de sa révision de décembre 2004, un article traitant de l'utilisation des PMV mobiles dans le cadre de travaux routiers était ajouté au Tome V – Signalisation routière. Cet article comportait des recommandations d'ordre général sur l'utilisation des PMV mobiles dans un contexte de travaux routiers principalement.

Le *Tome V – Signalisation routière* a fait l'objet d'une mise à jour spéciale en mars 2006, visant à approfondir les exigences concernant l'utilisation des PMV. Cette mise à jour de la norme découle directement du projet de recherche faisant l'objet du présent article.

Au cours du processus de préparation du texte de la norme, les membres du comité de suivi du projet de recherche ont été mis à contribution pour apporter une variété de points de vue pratiques concernant l'utilisation des PMV.

La nouvelle norme sur les panneaux à messages variables constitue un regroupement d'éléments tirés des recommandations du rapport de recherche et des préoccupations des membres du comité. On y trouve donc un éventail de termes dont l'utilisation doit être privilégiée, des exemples d'utilisation des termes en question et des représentations de nombreux pictogrammes pouvant être utilisés sur les PMV.

Pour plus de détails sur le contenu de la nouvelle norme, vous pouvez consulter le bulletin *Info-Normes* du printemps 2006.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BERGERON, Jacques, et PAQUETTE, Martin. *Optimisation des messages et graphiques utilisés pour l'information transmise sur les panneaux à messages variables (PMV)*, Montréal, Université de Montréal, 2005, 167 p.

Ministère des Transports du Québec (1999). *Normes Tome V - Signalisation routière*, (mise à jour, 2006).

Ministère des Transports du Québec (2003b). *Guide territorial d'utilisation de PMVM*, Direction de Laval-Mille-Îles.

Formulation des enrobés à matrice de pierre (SMA) selon la formulation du Laboratoire des chaussées

Michel Paradis, ing. M. Sc., Service des matériaux d'infrastructures
Martin Routhier, ing. Jr, Service des matériaux d'infrastructures

INTRODUCTION

Les enrobés à matrice de pierre, *Stone Matrix Asphalt* (SMA), portent ce nom en raison de leur composition granulaire. Il s'agit d'un enrobé à granulométrie discontinue fabriqué à partir de deux classes granulaires, qui ne se chevauchent pas, et de filler. Essentiellement recherchés pour leur résistance à l'usure et à l'orniérage, ils ont été conçus en Allemagne en 1968, mais ils sont maintenant présents dans plus de 150 pays dans le monde.

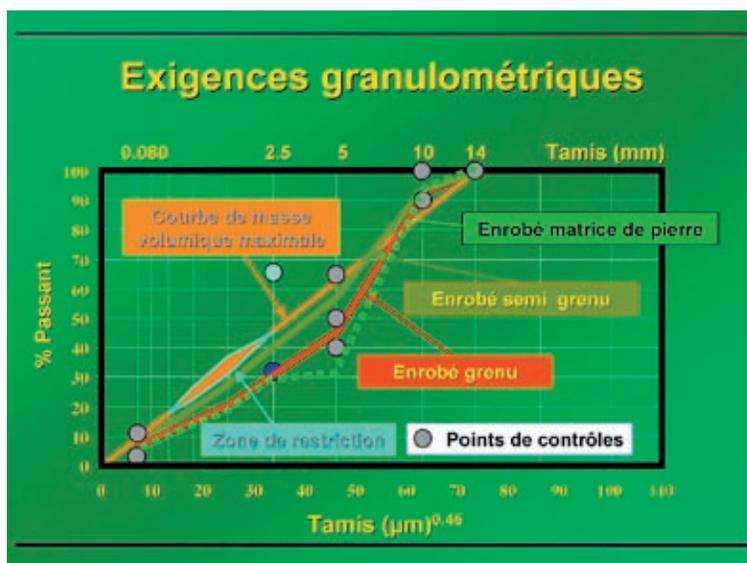
Au Québec, le premier enrobé à matrice de pierre a été mis en place en 1990, sur l'autoroute 20, à la hauteur de Villeroy. Environ 30 000 tonnes de Médiflex ont alors été posées. L'arrivée de nouveaux mélanges grenus et semi-grenus formulés à la presse à cisaillement giratoire (PCG) a cependant ralenti le développement des enrobés à matrice de pierre. La formulation d'enrobé à matrice de pierre a connu un nouvel essor depuis 2002. Une planche d'essai d'enrobé SMA formulé à la PCG a vu le jour en 2002 (autoroute 20), une en 2003 (autoroute 55) et une autre en 2004 (route 108). Un quatrième projet d'envergure est prévu pour la saison 2006 dans la région de Sherbrooke. De plus, deux autres planches d'essais de SMA avec bardeaux d'asphalte ont également été réalisées en 2002 dans la Direction de l'Ouest-de-la-Montérégie.

CARACTÉRISTIQUES INTRINSÈQUES DES ENROBÉS À MATRICE DE PIERRE

L'enrobé à matrice de pierre est un enrobé à granulométrie discontinue, ayant une forte proportion (65 – 75 %) de granulats grossiers > 5mm, une forte teneur en bitume (5,5 – 7 %), un fort pourcentage passant au tamis 80 μ m (8,0 – 11,0 %) et un ajout de fibres minérales (1 %) ou de cellulose. Au Québec, l'enrobé à matrice de pierre est fabriqué avec des fibres d'amiante. Il diffère des enrobés grenus et semi-grenus par sa discontinuité. Il est habituellement constitué des classes granulaires 0 – 2,5 mm et 5 – 10 mm, alors que l'enrobé grenu à l'amiante (EGA-10) est constitué des classes granulaires 0 – 5 mm et 5 – 10 mm.

La figure 1 illustre bien les différences granulométriques entre l'enrobé à matrice de pierre et les enrobés grenus et semi-grenus, tandis que le tableau 1 représente les exigences granulométriques du SMA, telles qu'elles sont spécifiées dans la norme 4202 « Enrobés à chaud formulés selon la méthode de formulation du Laboratoire des chaussées ». La forte présence de granulats grossiers maximise les contacts entre les gros granulats, ce qui résulte en un excellent squelette minéral. Ce squelette permet donc une meilleure répartition des charges appliquées sur l'enrobé.

Figure 1 : Comparaison entre les SMA et les différents enrobés utilisés au MTQ



Toutes ces caractéristiques procurent à l'enrobé à matrice de pierre une excellente résistance à l'orniérage, une bonne texture de surface (résistance à la glissance), une flexibilité à basse température (résistance à la fissuration thermique) et une durée de vie plus longue (de 30 à 50 % supérieure aux autres enrobés). L'enrobé à matrice de pierre est également moins sensible à la ségrégation en raison de sa forte composition en pierre.

Tableau 1 : Exigence granulométrique de l'enrobé à matrice de pierre

Fuseau granulométrique SMA-10	
14mm	100
10 mm	90 - 100
5 mm	25 - 35
2,5 mm	20 - 30
80 um	8 - 11

Selon les observations des utilisateurs de ce type d'enrobé et selon la littérature, les enrobés à matrice de pierre coûteraient, en moyenne, 30 % de plus qu'un enrobé traditionnel. Ces coûts supérieurs sont dus, en autres, à la forte teneur en bitume de l'enrobé, à la présence de fibres d'amiante et à la production de la classe granulaire 0 - 2,5 mm. Par contre, la possibilité de poser ce type d'enrobé en couche plus mince (25 mm) et sa durée de vie supérieure peuvent compenser une partie des coûts supplémentaires.

RÉSISTANCE À L'ORNIÉRAGE

L'essai à l'orniéreur réalisé au laboratoire du Secteur Enrobés est le principal moyen par lequel le Ministère s'assure de la bonne résistance à l'orniérage des enrobés.

Figure 2 : Orniéreur de type LCPC tel qu'il est utilisé au Ministère.



L'orniéreur permet de vérifier en laboratoire la capacité des revêtements bitumineux à résister aux déformations du type orniérage-fluage. Tous les enrobés formulés pour un usage sur les routes fortement sollicitées doivent être soumis à l'essai à l'orniéreur. Pour un enrobé utilisé en couche de surface, le critère de résistance à l'orniéreur doit être inférieur à 20 % à 3 000 cycles. Un cycle correspond à un aller-retour d'une charge roulante équipé d'un pneumatique. La performance remarquable des enrobés à matrice de pierre permet toutefois de resserrer le critère de résistance à l'orniérage à 10 % pour 3 000 cycles. Le tableau suivant compare les critères de résistance à l'orniérage pour un enrobé à matrice de pierre et un enrobé standard.

RÉSISTANCE À LA FATIGUE ET AU VIEILLISSEMENT

Tableau 2 : Critères de résistance à l'orniérage

Type d'enrobé utilisé en couche de surface	Ornière exprimée en % de l'épaisseur de l'éprouvette	
	1 000 cycles	3 000 cycles
standard	10	20
SMA	-	10

Le phénomène de fatigue d'un matériau se caractérise par sa rupture après l'application répétée d'un grand nombre de sollicitations (1). Notons que l'amplitude des sollicitations doit être inférieure à la résistance instantanée du matériau. De façon générale, un enrobé riche en bitume aura une meilleure résistance à la fatigue et au vieillissement qu'un enrobé pauvre en bitume. Les enrobés à matrice de pierre ayant une proportion en bitume sensiblement supérieure à celle des enrobés standards, ils ont une meilleure résistance à la fatigue et au vieillissement que les enrobés standards.

Cette caractéristique lui permet également une meilleure flexibilité à basse température (résistance à la fissuration thermique) ainsi qu'une durée de vie plus longue.

PLANCHE D'ESSAI – AUTOROUTE 20

Une planche d'essai a été réalisée en 2002 au kilomètre 359 sur l'autoroute 20 en direction est, à Berthier-sur-Mer. La formule visée de l'enrobé est présentée au tableau 3. Deux classes granulaires (0 - 2,5 mm et 5 - 10 mm) ont été utilisées pour cette formule. Les chiffres entre parenthèses représentent la formule réellement produite et posée au chantier. Les résultats des différents essais à l'orniéreur par le Ministère et l'École de technologie supérieure (ETS) (sur des échantillons d'enrobé recueillis en chantier et reconstitués en laboratoire) sur ce mélange se trouvent au tableau 4.

Tableau 3 : Formule de l'enrobé à matrice de pierre (aut. 20)

Tamis (mm)	% passant	Caractéristiques	
14	100 (100)	% bitume PG-58-28	6,95 %
10	94 (92)	% fibres	1 %
5	33 (34)	Vbe	14,4 %
2,5	29 (31)	Dmm	2,443
1,25	19 (22)	Vides à la PCG	
0,630	14 (17)	10 girations	15,6
0,315	11 (13)	60 girations	4,9
0,080	7,0 (8,1)	200 girations	2,1

Tableau 4 : Résistance à l'orniérage de l'enrobé SMA (aut. 20)

Nombre de cycles	Chantier (% ornières)		Laboratoires (% ornières)
	MTQ	LUCREB	LUCREB
1 000	4,9	4,7	6,1
3 000	5,5	5,6	6,6
10 000	6,0	6,2	8,8

La planche d'essai a été réalisée sur une chaussée existante très fissurée, un enrobé de type MB-12.5, enrobé formulé par la méthode Marshall et largement utilisé dans le début des années 90. Au total, environ 350 tonnes d'enrobé à matrice de pierre ont été mis en place sur une épaisseur moyenne de 30 mm. Avant la pose du SMA, la surface existante a été planée, corrigée avec un enrobé de type EB-10C et enduit d'une couche de liant d'accrochage.

La mise en place de l'enrobé à matrice de pierre a été facile, la pose s'est faite à l'aide de deux finisseurs (aucun joint froid) et de deux rouleaux compacteurs. Une compacité moyenne de 94,1 % a été obtenue. Un suivi de comportement d'une section de 150 m est actuellement en cours au Service des chaussées du Ministère. Une section équivalente faite avec un enrobé additionné de fibres d'amiante de type EGA-10 sert de témoin.

Après un an de service, aucune dégradation majeure n'est apparue sur les planches. Les taux de fissuration avant les travaux étaient tous deux de 0,64 m/m². Trois ans et demi après les travaux, la planche de SMA montre un taux de fissuration de 0,29 m/m² et la planche témoin (EGA-10), un taux légèrement inférieur, soit 0,27 m/m².

Des mesures de l'IRI (Indice international de rugosité) ont également été prises. Ce paramètre développé par la Banque Mondiale en 1982 sert à mesurer le confort de roulement sur une échelle de 0 à 12. Plus l'indice croît, plus le roulement est cahoteux. Les IRI mesurés après trois ans et demi de service pour les planches de SMA et de l'EGA se situent autour de 1,5, ce qui correspond à une qualité de roulement confortable à plus de 120 km/h.

Photo 2 : Travaux sur l'autoroute 20



Photo 3 : Texture de l'enrobé SMA



PLANCHE D'ESSAI – AUTOROUTE 55

Une deuxième planche d'essai avec enrobés à matrice de pierre a été réalisée en juillet 2003, au kilomètre 88 sur l'autoroute 55, à Melbourne Canton, près de Richmond, en Estrie. La formulation de l'enrobé a été réalisée par l'ETS, et le mélange a été posé sur une longueur d'environ 200 m. Cependant, l'enrobé a été produit avec 1,3 % de fibres d'amiante et a été mis en place

à 40 mm d'épaisseur, ce qui ne correspond pas tout à fait aux spécifications propres à un SMA. Des contraintes de chantier sont à l'origine de ces modifications. L'enrobé de type EGA-10 a aussi été utilisé comme enrobé témoin.

Après trois ans et demi de service, aucune ornière n'a été enregistrée. De plus, aucune nouvelle fissure n'est apparue. Des mesures de la profondeur moyenne de profil (PMP) ont également été enregistrées avec l'appareil TM2. L'indice, exprimé en millimètres, donne une appréciation du niveau de texturation de la chaussée. Le PMP se situe autour de 0,7 mm pour la planche de SMA et autour de 0,5 mm pour la planche témoin (EGA). D'un point de vue sécuritaire, il s'agit de résultats tout à fait convenables, quoique le SMA présente une texture un peu plus accentuée comparativement au EGA-10.

PLANCHE D'ESSAI – ROUTE 108

Cette troisième planche d'essai a été réalisée en 2004 sur la route 108, à Cookshire. Elle comporte deux sections fabriquées avec un enrobé de type SMA ainsi qu'une section témoin fabriquée avec un enrobé de type EGA-10. En tout, l'enrobé de type SMA a été posé sur une longueur de 5 km avec une épaisseur de pose de 37 mm.

Après un an et demi de service, la première section de la planche d'enrobé SMA présente un taux de fissuration de 0,11 m/m², alors que la planche témoin présente un taux de 0,12 m/m². L'état de la chaussée avant les travaux était à peu près semblable. En ce qui concerne la deuxième section de la planche d'essai d'enrobé SMA, elle présente un taux de fissuration de 0,05 m/m². Ce taux de fissuration relativement bas provient du fait que la chaussée a fait l'objet d'un retraitement en place avant la pose de l'enrobé SMA. Cette intervention détruit le patron de fissuration, ce qui diminue les risques de remontée d'anciennes fissures.

Finalement, la construction d'une nouvelle planche d'essai d'environ 6 km est prévue à l'été 2006 près de Sherbrooke.

CONCLUSION

L'enrobé à matrice de pierre est un enrobé de plus en plus utilisé dans le monde. Il est d'usage fréquent en Europe, et son implantation en Amérique du Nord est rapide. Le Ministère a relativement peu utilisé d'enrobé à matrice de pierre sur son réseau routier jusqu'à présent. Trois planches d'essai ont été réalisées de 2002 à 2004, pour un tonnage total d'environ 7 000 tonnes.

À ce jour, d'excellents résultats ont été mesurés en laboratoire et leur performance en chantier est excellente. D'ailleurs, l'usage de l'enrobé SMA est maintenant courant dans la norme 4 202 du Ministère. Une planche d'essai est prévue pour 2006 et, selon les comportements notés, les enrobés à matrice de pierre devraient se tailler une place importante parmi les constructions neuves et les reconstructions sur le réseau routier québécois.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Boutin , L., P. Langlois et M. Paradis, *Enrobé à matrice de pierre*, Bulletin Info-DLC, Ministère des Transports du Québec, janvier 2004.

Langlois , P. *Enrobés : Formulation selon la méthode LC*, Ministère des Transports du Québec, 2005, 111 p.

Perraton , D., B. Hassan, H. Di Benedetto et M. Paradis. *Évaluation de la résistance à la fatigue des enrobés bitumineux fondée sur l'évolution de l'endommagement du matériau en cours d'essai : aspects fondamentaux et application à l'enrobé à matrice de pierre*, [En ligne] (8 octobre 2003)

Perraton , D., et M. Meunier. *Formulation d'enrobés SMA – Application sur planches d'essai*, Rapport soumis au ministère des Transports du Québec, novembre 2004, 92 p.

NOTE

- 1 PERRATON, Daniel et al. *Évaluation de la résistance à la fatigue des enrobés bitumineux fondée sur l'évolution de l'endommagement du matériau en cours d'essai : aspects fondamentaux et application à l'enrobé à matrice de pierre*, Canada, CNRC, 2003.

Méthode d'intervention de brise-vent végétal composé de plantes indigènes ou naturalisées florifères, adapté au contexte autoroutier de la Montérégie et du Québec

Guy Bédard, architecte paysagiste, direction de l'Est-de-la-Montérégie.

CONTEXTE DE LA MONTÉRÉGIE

Le réseau routier de la Montérégie se situe dans une région dont le relief est généralement plat et où les grandes cultures ont créé de vastes espaces ouverts, sans obstacle. Ces conditions exposent le réseau à des conditions hivernales de poudrierie, causant à plusieurs endroits des chaussées glacées et la perte de visibilité.

À ce contexte géographique s'ajoutent des particularités atmosphériques hivernales qui distinguent davantage la Montérégie des autres régions du Québec où se pratiquent de grandes cultures, soit de plus faibles précipitations de neige, des périodes de redoux et du verglas. Ces conditions limitent la quantité de neige disponible pour créer le phénomène de poudrierie et la quantité totale d'accumulation à contenir par le brise-vent.

Ces éléments ont induit une conception de brise-vent orientée davantage vers une fonction de trappe à neige que d'obstacle permettant la chute de neige en aval. Cette approche permet en général de localiser le brise-vent à l'intérieur d'une emprise routière de plus de 70 mètres, en considérant également les échangeurs.

RECHERCHE

L'objectif ultime d'un brise-vent pour le Ministère est d'augmenter la sécurité sur le réseau routier en période hivernale. La recherche, entreprise en 2001, définit quant à elle quatre principaux objectifs :

- Développer un concept de brise-vent végétal adapté à la problématique particulière du territoire de la Montérégie et devant être réalisé dans l'emprise d'une autoroute;
- Répertorier et tester la performance des végétaux dans le contexte d'un brise-vent de type trappe à neige et adaptés à l'environnement des abords de route;
- Rehausser la qualité du paysage autoroutier par l'emploi de plantes florifères variées;
- S'inscrire dans la philosophie de nouvelle gestion écologique.

La recherche comportait deux phases : la revue de littérature et des recommandations de végétaux, ainsi qu'une phase expérimentale où seraient réalisés deux brise-vent dans des contextes différents de l'autoroute 20, soit une section linéaire et une boucle d'échangeur. On nomme ces planches d'essais « dispositifs expérimentaux ».

Le mandat de recherche a été attribué par appel d'offres public, puisqu'aucune université ne nous semblait offrir l'expertise requise. La firme Planification et aménagement Éco-Design a été retenue. À titre de mandataire, elle devait porter son attention sur tous les aspects liés aux végétaux (documentation, recommandation et typologie de plantation, assistance à la surveillance et suivi estival), alors que la Direction de l'Est-de-la-Montérégie devait préparer les plans et devis pour l'appel d'offres, collaborer à la surveillance des travaux et assurer le suivi des conditions hivernales pendant deux ans.

REVUE DE LITTÉRATURE

L'utilisation des végétaux comme brise-vent se fait majoritairement en milieu agricole, dans l'objectif de déposer la neige dans les champs ou de contrôler les pertes de sols arables. Des observations européennes démontrent toutefois la capacité des arbustes en massif de provoquer d'importantes accumulations de neige. Ce constat a également été fait le long de certains axes routiers au Québec.

Les plantes herbacées ont quant à elles été peu utilisées. En 1971, Greb et Black ont réalisé une étude sur le blé dans le but de vérifier s'il pouvait retenir la neige dans les champs. Leurs observations les amènent à tirer des conclusions positives de l'emploi de cette plante dont la disposition, en plusieurs haies successives de faibles largeurs, vise le dépôt de la neige après l'obstacle.

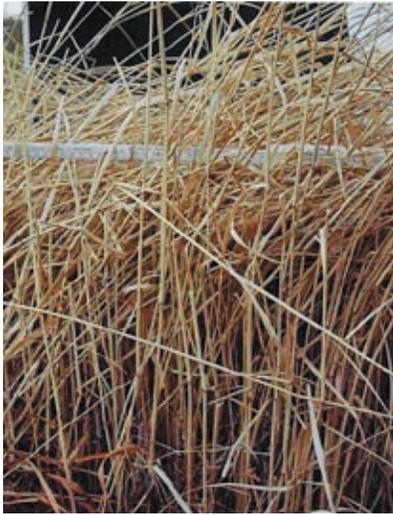
D'autres essais de rétention de neige ont été réalisés à proximité d'une autoroute en Iowa, par l'ensemencement de grandes surfaces composées de deux bandes contigües de graminées hautes et de prairie fleurie basse avec graminées, pour un total de 30 mètres de large et de 800 mètres de long. Le potentiel de certaines variétés a été constaté, mais plusieurs facteurs rendent le résultat mitigé.

Un des principaux constats quant à la composition de brise-vent avec des végétaux réside dans la difficulté d'évaluer la porosité finale obtenue. Cette dernière variera dans le temps, en fonction de la croissance des végétaux, particulièrement en ce qui a trait aux arbustes.

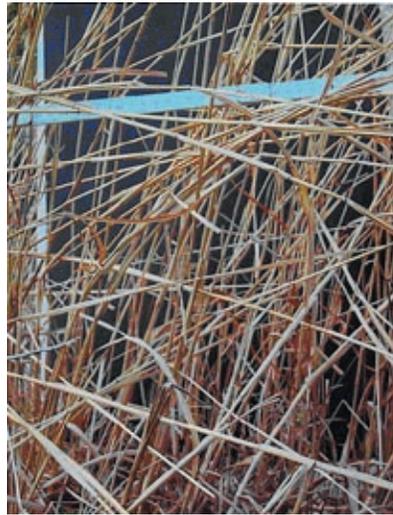
OBSERVATIONS MENÉES À OKA PAR LES CHERCHEURS

Les chercheurs observent depuis 1985 l'efficacité des graminées à retenir la neige, dans la région d'Oka, ce qui mène à l'utilisation de certaines espèces comme clôtures à neige vivantes. On tente d'établir la densité des tiges en saison morte afin d'évaluer la porosité de différentes variétés.

Comparaison visuelle de la densité des tiges de graminées



Panicum virgatum 'Strictum'



Miscanthus sacchariflorus



Coreopsis tripteris

L'observation de massifs de graminées ornementales plantés à des fins d'aménagement paysager dans les emprises d'autoroutes en Montérégie avait permis d'en arriver à des conclusions du même ordre, soit que ce type de végétaux offrent la densité et la rigidité nécessaire pour jouer le rôle d'obstacle à la neige.

Des suivis sont également réalisés sur des massifs de quenouilles aux abords du lac des Deux Montagnes, dans la Grande Baie, en eau peu profonde. Les conditions géographiques et climatiques s'apparentent à celles de la Montérégie. La densité des feuilles se maintenant sur la tige provoque le dépôt de la neige à l'intérieur des groupements et des accumulations en aval.

Exemple de la capacité des quenouilles de capter la neige



SÉLECTION DE VÉGÉTAUX POUR LES DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX

Les principaux critères de sélection pour identifier les végétaux potentiels sont les suivants :

- Être rustique dans la zone de rusticité 4;
- Offrir un maintien des tiges ou des branches en période hivernale et une densité dès le niveau du sol, afin d'assurer un degré de porosité optimal;
- Posséder une croissance vigoureuse, afin de favoriser l'établissement rapide du brise-vent;
- Avoir une facilité de reproduction en pépinière, afin d'être accessibles rapidement à des coûts raisonnables;
- Présenter une floraison ayant un degré de visibilité intéressant, voire excellent, afin de rendre le brise-vent attrayant;
- Croître à une hauteur minimale de 1 mètre;
- Pouvoir s'adapter aux conditions de croissance dans une emprise autoroutière.

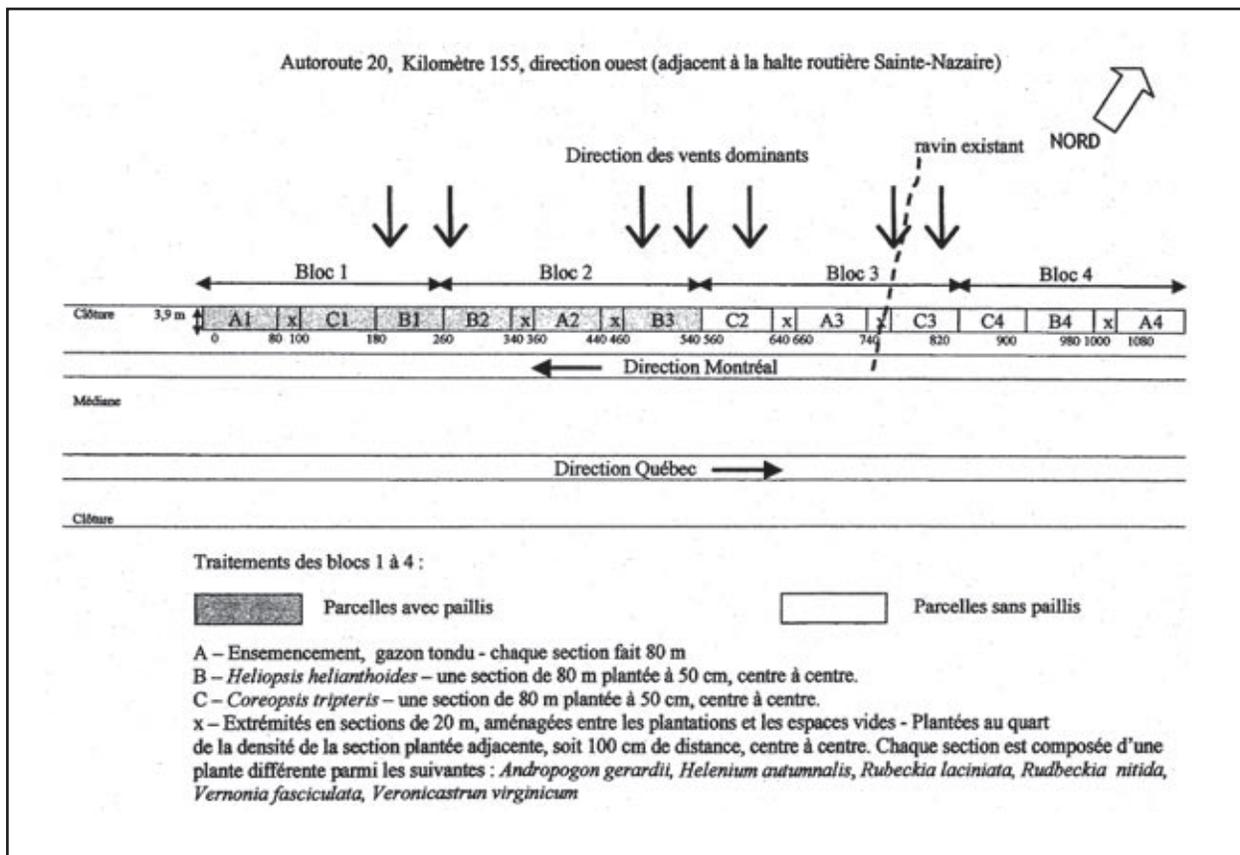
Une recherche préliminaire a permis de relever un total de 57 plantes, soit 14 arbustes, 34 fleurs vivaces et 9 types de graminées, qui ont par la suite fait l'objet d'une analyse plus détaillée. Des tableaux descriptifs font état de l'ensemble des aspects couverts, regroupés en deux thèmes, soit les considérations fonctionnelles et les composants esthétiques.

Le budget disponible pour la réalisation des dispositifs expérimentaux ne permettant les tests que sur un nombre limité de plantes, la recherche a porté principalement sur la catégorie des plantes herbacées. Le survol des recherches antérieures ayant démontré l'efficacité des haies brise-vent composées d'arbustes et de graminées, l'acquisition de connaissances s'avérait plus importante avec cette catégorie de végétaux.

DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX ET LA PLANTATION

Avec l'aide du Centre de services de Saint-Hyacinthe et de M. Jules Gilbert, la Direction de l'Est-de-la-Montérégie a identifié deux secteurs de l'autoroute 20 pour implanter les dispositifs expérimentaux. Ces deux sites représentent des cas types de problématique hivernale liée à la poudrière, où l'entretien d'hiver est plus soutenu.

Un dispositif expérimental linéaire est implanté à Sainte-Hélène de Bagot, près de la sortie 157 de l'autoroute 20. Les plantes sont adossées à la clôture d'emprise. Les vents dominants proviennent des champs cultivés.

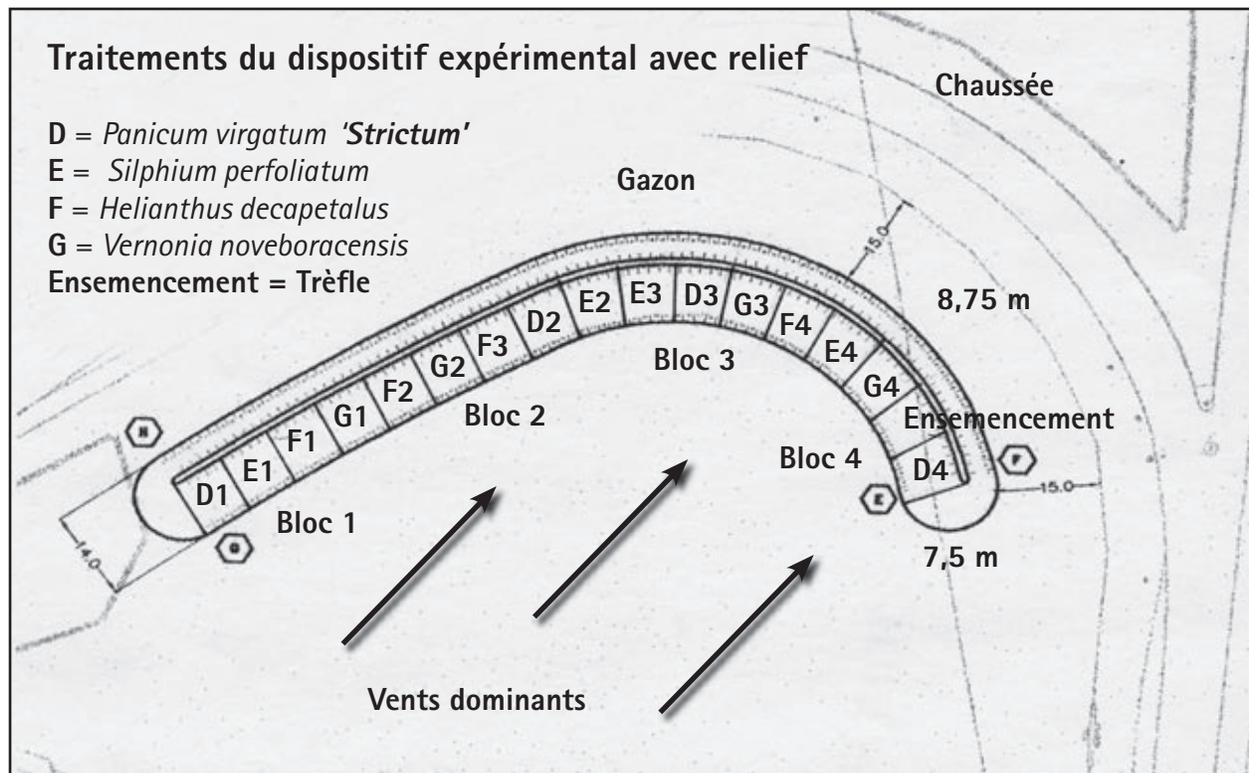


Coreopsis tripteris



Heliopsis helianthoides

Le deuxième dispositif expérimental se situe dans la boucle sud-est de l'échangeur 123 du même axe routier. Dans ce second cas, des matériaux excédentaires résultant d'opérations de nettoyage de fossé ont également permis de profiler une butte, qui jouera un rôle dans le contrôle du transport de la neige. Les végétaux ont été disposés sur le versant intérieur du monticule, en amont de la direction des vents.



Helianthus decapetalus



Silphium perfoliatum



Vernonia noveboracensis



Panicum virgatum

La plantation a été réalisée au mois de septembre 2002 par un entrepreneur paysager. Des analyses ont révélé que le sol était de bonne qualité et qu'un amendement de compost permettrait de combler les quelques déficiences constatées.

Pour assurer le plus de rigueur possible aux résultats de recherche, une attention particulière a porté sur l'exécution des travaux de plantation : mise en terre, distribution uniforme, fertilisation et arrosage. Un entretien de deux ans est prévu au contrat.



Dispositif expérimental linéaire



Dispositif expérimental avec relief

RÉCOLTE DES DONNÉES

Les données observées au cours des deux années de suivi ont porté sur la performance des espèces et la neige captée par les dispositifs.

La croissance des végétaux s'attarde aux aspects suivants :

- de tiges penchées;
- de maladies et de parasites;
- de dommages causés par le chlorure de sodium (NaCl);
- la facilité des tiges à passer à travers le paillis;
- d'anomalies;
- de la hauteur et du diamètre de la couronne de chaque variété.

Après deux années de croissance, le *Silphium perfoliatum* a la meilleure performance. Sa taille est atteinte sans difficulté, les surfaces sont recouvertes à 100 % et le développement architectural des plants est excellent, les tiges ne sont que légèrement penchées.

Les espèces suivantes ont également bien performé : *Heliopsis helianthoides*, *Coreopsis tripteris*, *Panicum virgatum 'Stricyum'*, *Helianthus decapetalus*.



Dispositif linéaire – Coreopsis tripteris



Dispositif avec relief – Silphium perfoliatum

La **hauteur de la neige** sera évaluée principalement en aval des bandes de plantation, mais un suivi sera effectué pour évaluer la rétention à l'intérieur des surfaces plantées. Des piquets sont placés à intervalles réguliers et gradués pour mesurer les accumulations de neige.



Dispositif linéaire



Dispositif avec relief

CONCLUSION

Cette recherche a démontré que certaines plantes florifères peuvent être utilisées efficacement comme brise-vent hivernal. L'attrait visuel représentait également un des aspects étudiés dans cette recherche. À ce titre, plusieurs variétés se sont bien adaptées à l'environnement routier et ont produit des résultats impressionnants par la densité de leurs floraisons et de leurs couleurs. Le tableau qui suit présente les résultats pour chacune des variétés testées.

Les connaissances acquises au cours de cette recherche permettent de considérer de nouvelles variétés de végétaux dans la composition mixte que doit avoir un brise-vent de type trappe à neige. Cette mixité de catégorie de végétaux (arbrisseaux, arbustes, graminées ornementaux et vivaces herbacées) facilite l'établissement de la porosité recherchée, permet au brise-vent de s'adapter aux variations du climat et assure une mise en valeur des abords de route pendant les saisons plus chaudes.

Usage recommandé de végétaux

Plantes testées (*sans paillis)	Usage		Remarques
	Brise-vent	Mise en valeur	
DISPOSITIF LINÉAIRE			
<i>Heliopsis helianthoides</i>	À valider	Excellente	Tiges droites et cassantes
<i>Coreopsis tripteris</i>	Acceptable	Excellente	Tiges droites
<i>Andropogon gerardii</i>	Non	Excellente	Tiges droites
<i>Helenium autumnale</i>	Non	Non	Taux de mortalité élevé la première année seulement
<i>Rudbeckia laciniata</i>	Non	Non	Taux de mortalité élevé la première année seulement
<i>Rudbeckia nitida</i> *	Non	Bonne	Tiges penchées
<i>Vernonia fasciculata</i> *	Non	Non	Plants supprimé par les mauvaises herbes
<i>Veronicastrum virginicum</i> *	Non	Non	Taux de mortalité élevé. Plants supprimés par les mauvaises herbes
DISPOSITIF AVEC RELIEF			
<i>Panicum virgatum</i> "Strictum"	Potentiel	Excellente	Tiges penchées
<i>Silphium perfoliatum</i>	Non	Excellente	Tiges cassées
<i>Helianthus decapetalus</i>	Potentiel	Excellente	Tiges droites
<i>Vernonia noveboracensis</i>	Non	Non	Taux de mortalité élevé la première année seulement