

INNOVATION

NUMÉRO 18

NOVEMBRE 2003

TRANSP RT

BULLETIN SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE

<http://www.mtq.gouv.qc.ca/cqttt>



DOSSIER



RECHERCHE EN
SÉCURITÉ ROUTIÈRE

Québec 

DOSSIER

RECHERCHE EN SÉCURITÉ ROUTIÈRE

- HISTORIQUE DE LA RECHERCHE EN SÉCURITÉ ROUTIÈRE AU QUÉBEC 3
- IMPACTS SUR LA SÉCURITÉ ROUTIÈRE DES CONDITIONS D'ACCÈS À LA PROPRIÉTÉ RIVERAINE SUR LES ROUTES RURALES ET PÉRIURBAINES DU QUÉBEC 8
- RÉDUCTION DES COLLISIONS AVEC UN LAMPADAIRE ATTRIBUABLE À L'UTILISATION DE HAUTS MÂTS D'ÉCLAIRAGE AU CENTRE DE L'INFRASTRUCTURE : LE CAS DE L'AUTOROUTE 15 DANS LES LAURENTIDES 12

ENVIRONNEMENT

DES MARAIS ÉPURATEURS CONSTRUITS (MEC) POUR TRAITER DES EAUX DE RUISSELLEMENT DES AUTOROUTES : UNE EXPÉRIENCE QUÉBÉCOISE 18

ROUTES ET STRUCTURES L'IMPACT DES RESTRICTIONS DE CHARGE EN PÉRIODE DE DÉGEL 25

PARUTIONS RÉCENTES 32

CONGRÈS ET CONFÉRENCES 34

INNOVATION TRANSPORT est réalisé par le Centre québécois de transfert des technologies des transports et édité par la Direction des communications du ministère des Transports du Québec. Il est maintenant diffusé sur Internet à l'adresse suivante : <http://www.mtq.gouv.qc.ca/cqjtt>

Coordination : Gilles Boutin
 Révision linguistique : Direction des communications
 Supervision graphique : Jean-Pierre Tremblay
 Conception : Tandem Conception et Infographie inc.
 Impression : Transcontinental Québec
 Photogravure : Composition Orléans
 Pour obtenir de l'information supplémentaire, il suffit de s'adresser à :
 Ministère des Transports du Québec
 Direction de la recherche et de l'environnement
 700, boul. René-Lévesque Est, 21^e étage
 Québec (Québec), G1R 5H1
 Téléphone : (418) 643-4717
 Télécopieur : (418) 643-0345
 Courriel : gboutin@mtq.gouv.qc.ca

Dépôt légal
 Bibliothèque nationale du Québec
 ISSN - 1480-610X
 Tirage : 1200 exemplaires

LA RECHERCHE QUÉBÉCOISE EN SÉCURITÉ ROUTIÈRE

La recherche en sécurité routière a pris son véritable élan au cours des années 70 dans la plupart des pays développés, devant des bilans routiers de plus en plus catastrophiques. Les recherches alors menées ont débouché sur des normes de conception et de construction des infrastructures routières de plus en plus sécuritaires. Puis, petit à petit, cette recherche est devenue une préoccupation importante au ministère des Transports du Québec (MTQ) au début des années 80. Les travaux internes ont alors porté sur l'élaboration de guides et de normes pour la réalisation de routes plus sécuritaires dont la conception devait favoriser la sécurité des usagers.

En 1988, une réflexion est amorcée pour mieux structurer les efforts de recherche. En effet, le ministère des Transports participe alors, conjointement avec la Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ) et le Fonds pour la formation des chercheurs et l'aide à la recherche (FCAR), à l'Action concertée de soutien à la recherche en sécurité routière. L'Action concertée de 1990 à 1996 s'est déroulée en deux cycles de trois ans, et les partenaires (MTQ, SAAQ, FCAR) y ont investi 4,8 millions de dollars.

Cette initiative concertée vise les objectifs majeurs suivants : la formation d'équipes et d'expertises multidisciplinaires en sécurité routière et la réalisation de travaux de recherche portant sur les besoins définis par les partenaires. Les équipes retenues de l'Université Laval, de Sherbrooke et de Montréal réalisent 64 projets de recherche regroupés sous 14 thèmes, et près de 80 % des résultats de leurs travaux sont jugés directement utilisables. Ces résultats servent à améliorer les actions en sécurité routière, à définir des orientations et politiques et à préciser des interventions et des façons de faire.

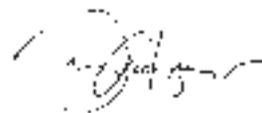
La Politique de sécurité dans les transports — volet routier (1995) propose 30 enjeux et 138 pistes d'action, et elle mentionne également des besoins de recherche. Dans ce contexte, le Ministère, la Société de l'assurance automobile du Québec, élaborent un nouveau Programme de recherche universitaire en sécurité routière couvrant les années 1996 à 1999, en appui à l'atteinte de l'objectif visé par la Politique.

Ce programme de recherche de 1,8 million de dollars administré par le Fonds FCAR est orienté vers des réponses aux besoins prioritaires qui se manifestent sur le réseau routier et vers une meilleure gestion des interventions en sécurité routière de manière à maximiser les bénéfices des investissements consentis. Vingt-cinq projets de recherche sont réalisés dans le contexte de ce programme.

La recherche en sécurité routière évolue actuellement selon une planification de cinq ans (de 1999 à 2004), sous forme d'actions concertées en partenariat avec la Société de l'assurance automobile du Québec et le Fonds québécois de recherche sur la nature et les technologies (anciennement le Fonds FCAR). Elle est soutenue dans ses orientations par la *Politique de sécurité dans les transports 2001-2005* et par le plan stratégique du Ministère. Quarante et un projets de recherche sont achevés, et certains sont encore en cours de réalisation dans ce programme.

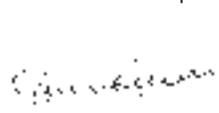
Récemment, les 29 et 30 avril 2003, l'Université Laval, tenait deux journées consacrées à la diffusion des résultats de recherche de ces projets. Le *Forum de transfert en sécurité routière*, sous le thème « Un savoir à partager », a attiré plus de 215 spécialistes en sécurité routière qui ont pu s'informer et partager leurs connaissances. Cette activité a été un franc succès, et le dossier spécial sur la recherche en sécurité routière au Québec qui vous est proposé dans les pages qui suivent en est le prolongement.

Le directeur de la recherche
et de l'environnement

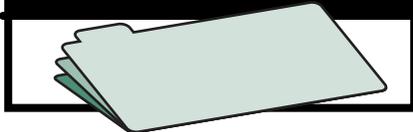


Daniel Hargreaves

Le directeur de
la sécurité en transport



Pierre Perron



HISTORIQUE DE LA RECHERCHE EN SÉCURITÉ ROUTIÈRE AU QUÉBEC

Léandre Bernier, Service de la sécurité dans les transports, MTQ

Diane-Michèle Potvin, Service de la coordination de la recherche et de l'innovation, MTQ

INTRODUCTION

Le ministère des Transports du Québec (MTQ) et la Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ) réalisent des recherches en sécurité routière dans le cadre de leurs mandats. Ces derniers sont à la fois complémentaires et inter-reliés et se reflètent dans leurs programmes de recherche et d'actions respectifs.

Le Ministère se concentre davantage sur la recherche-développement concernant les relations entre la sécurité routière, les infrastructures routières et l'environnement routier, c'est-à-dire la route et ses abords. Ces travaux portent sur le repérage des sites accidentogènes, la recherche des solutions optimales et des corrections à apporter (normes de construction et d'entretien, signalisation, etc.).

Par ailleurs, la Société se préoccupe de la promotion de la sécurité routière, du contrôle de l'accès des usagers au réseau routier (accès à la conduite) et de l'indemnisation des victimes des accidents; son objectif est de réduire les risques inhérents à l'usage de la route. Les travaux de recherche à la Société sont axés sur les facteurs humains (législation, sensibilisation, éducation, concertation), sur les normes relatives aux véhicules utilisés sur les routes et les soins à prodiguer aux victimes des accidents routiers.

Le Ministère et la Société se sont dotés en 1995 de la Politique de sécurité dans les transports - volet routier pour encadrer les actions en sécurité routière, dans le but d'assurer une plus grande homogénéité et efficacité et de guider les actions des organismes et partenaires concernés

par la sécurité routière (municipalités, santé publique, corps policiers, etc.). La recherche est l'un des moyens devant permettre d'atteindre l'objectif de réduction du nombre et de la gravité des accidents.

La recherche en sécurité routière a pris son élan au cours des années 70 dans la plupart des pays où des grands organismes nationaux ont développé des programmes de recherche structurés. Les chercheurs ont commencé à évaluer l'importance des mesures de sécurité sur les routes, comme, entre autres, le marquage des chaussées, la signalisation, l'éclairage, les normes de conception des glissières de sécurité et la fragilisation des obstacles. D'autres recherches ont porté sur la conception des véhicules, en particulier sur le contrôle des déformations en cas d'impact. Ces recherches ont débouché sur des décisions concernant des normes de plus en plus sécuritaires de conception et de construction des véhicules et des infrastructures routières.

La recherche en sécurité routière est devenue une préoccupation importante au Québec au début des années 80, et plusieurs projets ont démarré à cette époque. Au cours de la période de 1986 à 1996, le Ministère et la Société ont mené des programmes de recherche-développement à cet égard.

LA RECHERCHE DES ANNÉES 80

Le Ministère a complété pendant cette période des travaux de recherche-développement à l'interne avec l'aide de son personnel ou à forfait à l'extérieur, par les universités et des consul-

tants, au lieu de faire appel à un programme normé de recherche affecté à la sécurité routière. Les recherches étaient orientées essentiellement vers les besoins immédiats du Ministère concernant la conception et l'amélioration des infrastructures routières. En 1988 et 1989, le Ministère investit près de 0,6 million de dollars dans des travaux de recherche portant sur la définition d'interventions et de normes de sécurité.

La Société et le Fonds pour la formation de chercheurs et l'aide à la recherche (Fonds FCAR) poursuivent un programme de recherche en sécurité routière de 1986 à 1989; l'aide disponible annuellement s'élève alors à 200 000 \$. Ce programme de type action concertée soutient pendant cette période dix projets de recherche disciplinaire par le biais de subventions de 0,5 million de dollars. La participation de la Société et du Fonds FCAR s'élève respectivement à 75 % et 25 % des montants des subventions. Les travaux sont effectués par des chercheurs de l'Université de Montréal, de l'Université Laval, de l'Université de Sherbrooke, de l'Université du Québec à Rimouski, ainsi que par des départements de santé communautaire ou des hôpitaux.

Ce deuxième cycle du programme de recherche, bien qu'accessible à tous les chercheurs, soutient des travaux effectués par la majorité des chercheurs ayant participé au premier cycle du programme (1983-1986). Les approches dans les projets de recherche se différencient selon l'origine des propositions : milieux universitaire ou de la santé publique. Les recherches universitaires se caractérisent par une approche disciplinaire et une méthodologie plus

rigoureuse. Les connaissances développées sont plus significatives, mais les retombées des travaux se transforment plus difficilement en actions à court et à moyen terme. Par contre, les chercheurs des départements de santé communautaire orientent leurs travaux vers des problèmes perçus dans le milieu, et les retombées sont plus immédiates.

Ce programme de recherche permet l'émergence de nouveaux groupes de chercheurs, en plus de celui de l'Université de Montréal, et la création d'un potentiel de recherche pour ce qui est de la capacité et des connaissances. Les projets de recherche sont empreints d'une grande originalité. Toutefois, le fonctionnement de ce programme par projets entraîne un certain éparpillement des efforts et limite l'utilisation des résultats des travaux.

L'évaluation du programme amène à constater que la recherche en sécurité routière est plus vaste et devrait compter sur des disciplines diverses pour couvrir les multiples aspects comme le comportement humain, les facteurs d'accidents et l'évaluation des interventions.

Ce programme met en évidence le besoin de former des réseaux stables de recherche par un soutien à moyen terme, de restreindre les thèmes et sujets de recherche aux priorités des organismes, d'orienter la recherche en sécurité routière en fonction des programmations de travaux de recherche au lieu de projets relevant de l'initiative individuelle et de favoriser des recherches multidisciplinaires.

En parallèle à ces travaux, la Société soutient un programme de recherche portant sur les victimes de traumatisme crânien, en collaboration avec le Fonds de recherche en santé du Québec. Les projets étudient les aspects médicaux et de traitement de ces traumatismes tout en s'arrimant aux besoins prioritaires de la Société. La problématique des sujets de recherche disciplinaire est définie et bien délimitée, et les résultats attendus sont précisés. Ce programme vise à mieux comprendre les traumatismes, les méth-

odes d'intervention, les soins à apporter aux victimes d'accident et les méthodes de réadaptation. Il est poursuivi dans une deuxième phase et orienté vers les soins aux victimes et les normes médicales.

LA RECHERCHE AU COURS DES ANNÉES 90

La décennie des années 90 est marquée par une nouvelle approche et une intensification des efforts de recherche. Le Ministère et la Société se concertent pour mettre en œuvre un programme conjoint de recherche en sécurité routière. Ce programme est élaboré à partir des résultats obtenus des programmes et travaux complétés au cours des années précédentes et de l'expérience acquise, dans le but de faciliter la coordination des efforts entre les partenaires et le milieu de la recherche.

Cette nouvelle initiative, l'Action concertée de soutien à la recherche en sécurité routière, intègre les observations dégagées des programmes précédents : promouvoir une recherche pluridisciplinaire par la programmation de travaux de recherche au lieu de projets distincts, soutenir des équipes de manière à obtenir une masse critique de chercheurs provenant de plusieurs départements et institutions afin d'améliorer l'efficacité de la recherche et d'analyser toutes les causes des accidents ou l'ensemble des conditions accidentogènes comme les aspects humain (conducteur), mécanique (véhicule) et l'environnement routier.

La continuité de ces efforts de recherche-développement en sécurité routière par le soutien de recherches à moyen terme vise à assurer des résultats plus facilement assimilables par les partenaires, le Ministère et la Société, à stimuler la diffusion des connaissances auprès de tous les intervenants de manière à encourager leur utilisation et à orienter la recherche vers une meilleure intégration des aspects législatif, éducatif (usagers et autres intervenants) et de l'environnement routier (design des infrastructures routières).

Cette action concertée du Fonds FCAR, du Ministère et de la Société accorde un appui financier de 0,67 millions de dollars par année, en moyenne, lors du premier cycle 1990-1993 pour réaliser les programmes de recherche soumis par les trois équipes de chercheurs retenues : celles de l'Université Laval (GRIMES), de l'Université de Montréal (LST-CRT) et de l'Université de Sherbrooke (CORSUS). Le premier cycle triennal de l'Action concertée permet la réalisation de 27 projets de recherche regroupés sous 13 thèmes. Quarante chercheurs et autant d'étudiants participent alors aux travaux sur les sujets précisés à l'appel de propositions formulé par les partenaires, la Société et le Ministère.

L'Action concertée de soutien à la recherche en sécurité routière est reconduite pour un deuxième cycle de trois ans, 1993-1996, se terminant en juin 1996. Ce deuxième cycle s'appuie sur la même formule, avec des adaptations aux nouvelles conditions des partenaires et aux nouveaux sujets de recherche définis conjointement par le Ministère et la Société. Ce cycle vise à consolider les trois équipes de recherche déjà constituées et l'approche multidisciplinaire, à assurer la stabilité de l'expertise tout en augmentant le potentiel de recherche par la formation de chercheurs et d'experts, à favoriser la concertation entre les équipes et autres participants du milieu et à stimuler le développement de connaissances et leur diffusion auprès des intervenants en sécurité routière. Les partenaires soutiennent les trois équipes sélectionnées lors du premier cycle en attribuant 0,8 M\$ annuellement pour de nouveaux programmes de recherche. Trente-sept projets regroupés sous 14 thèmes sont réalisés. Pour cette phase, 41 chercheurs et 43 étudiants sont engagés dans l'accomplissement des travaux de recherche du deuxième cycle de l'Action concertée.

De plus, le Ministère réalise, à l'aide d'un investissement de 1,5 million de dollars pendant la période 1990-1995, des recherches internes et à forfait portant sur des sujets prioritaires à plus court terme ou il exécute des études avec

des partenaires externes (0,4 million). Aussi, plusieurs unités du Ministère effectuent des recherches dont l'une des préoccupations secondaires est la sécurité routière. Soulignons quelques projets : diagnostics régionaux de sécurité routière, développement de systèmes informatisés d'analyses de sécurité routière et de systèmes experts à base de connaissances, normes de distance de visibilité, attentes des usagers en matière de signalisation d'indication, éclairage routier, détection d'écoliers à proximité d'autobus scolaires, élaboration d'un guide d'application des dispositifs de signalisation, efficacité d'une traverse piétonnière en béton coloré, traitement d'intersections cyclables par un marquage particulier sur la chaussée, gestion de corridors autoroutiers, gestion des accès au réseau routier, systèmes météoroutiers pour l'entretien hivernal.

RESULTATS DE LA RECHERCHE

Une première évaluation de l'Action concertée est effectuée à l'automne 1992, après deux ans de travaux, afin d'adopter une position concernant la poursuite de celle-ci en un deuxième cycle. Cette évaluation est accomplie par chacun des partenaires. Globalement, les deux années écoulées de l'Action concertée ont apporté des résultats satisfaisants. Les performances réalisées à ce jour permettent d'amorcer une structuration de la recherche en sécurité routière (regroupement de chercheurs en équipes multidisciplinaires, prise en compte d'au moins deux aspects de la sécurité dans la plupart des projets). Toutefois, les acquis demeurent fragiles et un deuxième cycle est nécessaire pour renforcer la stabilité des équipes et favoriser le développement d'une concertation durable entre les chercheurs et les partenaires (diffusion des connaissances bien amorcée).

Pour sa part, le comité d'évaluation du Ministère formule des commentaires afin d'améliorer les impacts de l'Action concertée, notamment : inciter les chercheurs à se pencher sur les problèmes de sécurité reliés aux sites dan-

gereux, augmenter la participation des spécialistes du Ministère aux travaux de recherche par des échanges techniques et scientifiques plus fréquents afin d'assurer un meilleur transfert des résultats et guider davantage les chercheurs par la détermination de problématiques et de besoins (à cause de l'absence de politique en sécurité routière), accroître la présence de certaines disciplines comme le génie civil, la sociologie du comportement et la statistique. Ces remarques sont intégrées à l'appel de propositions du deuxième cycle de l'Action concertée 1993-1996.

À la suite du dépôt des rapports finaux des trois équipes et des documents afférents, la Société et le Ministère procèdent à une évaluation entière du premier cycle de l'Action concertée. Dans son ensemble, l'action permet la réalisation de projets en majorité conformes aux attentes. Également, les résultats des recherches sont utilisables à plus de 70 % dans l'immédiat ou à plus long terme par le Ministère, la Société ou par un autre organisme. Ils servent également d'éléments de réflexion lors de l'élaboration de la Politique de sécurité dans les transports - volet routier (1995-2000), en plus de préciser des pistes d'actions prometteuses.

Le deuxième cycle de l'Action concertée commence en juin 1993 et se poursuit jusqu'en juin 1996. Les rapports finaux des projets de recherche sont déposés à l'automne 1996. Conformément aux recommandations du comité d'évaluation du Ministère portant sur le premier cycle, un effort important est consacré à la participation des spécialistes à l'interne pour assurer le suivi des projets.

Plusieurs spécialistes entretiennent des échanges soutenus avec les chercheurs dans leur domaine respectif. Les chercheurs font état de leurs résultats à la communauté québécoise lors de congrès et de colloques. Aussi, ces travaux aident les partenaires et autres intervenants (corps policiers, services de santé, associations, municipalités) à préciser leurs actions en sécurité routière au Québec.

Plusieurs projets de recherche du premier cycle de l'Action concertée ont eu des impacts à la Société et au Ministère : la perception et la compréhension de la signalisation routière, la sécurité des personnes âgées comme usagers de la route, l'analyse des lieux à risque et le suivi de l'évolution des accidents de même que les systèmes d'aide à la conduite dans le camionnage. D'autres projets ont eu des retombées à plus long terme, comme les modèles d'évaluation des comportements de catégories d'usagers et d'évolution de la mobilité.

Le deuxième cycle apporte aussi des contributions importantes aux partenaires en matière d'avancement des connaissances et de pistes d'action : la vitesse affichée dans les courbes, la sécurité des voies auxiliaires, la sécurité en environnement urbain (axes routiers, vélos, méthodes d'évaluation), la signalisation et ses effets sur le comportement des conducteurs, les nouvelles normes pour l'obtention d'un permis de conduire, les conducteurs diabétiques, la signalisation numérique pour piétons, la sécurité routière et les comportements des conducteurs jeunes ou âgés (expérience de conduite, psychologie, performance) et les outils d'aide au conducteur de camion.

Les unités du Ministère participent également, souvent de façon indirecte mais non moins importante, aux efforts de recherche en sécurité routière par l'amélioration des normes concernant les infrastructures routières, par des méthodes pour assurer des surfaces de roulement adéquates en toutes saisons (adhérence, uni, entretien hivernal, etc.), la gestion de corridors autoroutiers et les systèmes météoroutiers.

Les travaux de recherche-développement en sécurité routière effectués par la communauté internationale permettent d'acquiescer une certitude : l'accident routier est un phénomène certes complexe, mais explicable. Il est donc possible de dégager des modèles de prédiction et d'intervention préaccident et postaccident. La recherche en sécurité routière doit reposer sur une approche

systemique et une analyse multifactorielle et faire intervenir de nombreuses disciplines (sciences humaines, médicales et cognitives, en plus des sciences en génie) et dimensions du système usager ou conducteur - véhicule - infrastructure routière (*Revue du Comité de la sécurité routière*, Francedit, Paris n°102, décembre 1995 - janvier 1996).

LA RECHERCHE EN SECURITE ROUTIERE APRES 1996

Le Ministère effectue, de 1995 à 1996, une réflexion en profondeur concernant ses besoins et méthodes en recherche-développement afin de dégager des orientations stratégiques et des priorités de recherche. Cette réflexion prend la forme de la Politique de sécurité dans les transports — volet routier. Les priorités sont encadrées par des principes, entre autres d'excellence, d'efficacité et de valorisation des résultats. Dans ce nouveau contexte, le Service de la sécurité dans les transports et le Service de la coordination de la recherche du Ministère de même que le Service des études et stratégies en sécurité routière de la Société de l'assurance automobile du Québec élaborent un programme de recherche en sécurité routière pour les prochaines années.

Le Programme de recherche universitaire en sécurité routière (volet 1996-1999) vient soutenir l'atteinte des objectifs de la Politique de sécurité dans les transports - volet routier. Précisément, le programme proposé a pour objectifs d'améliorer les connaissances dans le domaine du comportement des conducteurs, de la sécurité des véhicules et des infrastructures, de proposer, de développer et d'évaluer des outils, des méthodes et des options d'intervention susceptibles d'améliorer la sécurité routière au Québec.

Ce programme s'intègre dans les nouvelles orientations et les principes de la recherche-développement au Ministère et dans son plan d'action (premier choix stratégique). Ce programme d'une durée de 3 ans s'appuie sur les

besoins en recherche exprimés par les régions et les unités centrales. Il s'oriente aussi vers des considérations de bénéfices et de coûts (réduction du coût social des accidents, investissements dans les améliorations et corrections majeures apportées au réseau routier, etc.) et vers la valorisation à court terme des résultats des travaux de recherche assurant une rentabilisation accrue des investissements consentis. Les travaux de recherche visent également l'amélioration de nos façons de faire, entre autres par l'intégration des recherches en sécurité routière et de celles portant sur l'exploitation des routes.

Le choix des sujets de recherche retenus dans une première phase résulte de la consultation des directions territoriales et centrales et des spécialistes du Ministère. Ainsi, les sujets proposés le sont en réponse aux besoins déterminés par les unités, en relation avec les gains à obtenir grâce à l'amélioration du bilan routier et les dépenses majeures au Ministère. Les sujets de recherche concernent l'amélioration de la géométrie routière (profil longitudinal), les accotements et la largeur des voies de circulation, la conception d'outils d'analyse de la sécurité routière, la réduction de l'insécurité aux abords de route, la sécurité routière dans les zones urbanisées, l'impact des accès au réseau sur l'insécurité routière, la bonification de la signalisation horizontale, les impacts de la circulation des véhicules hors route sur la sécurité routière en relation avec le réseau routier, la relation entre l'éclairage routier et la sécurité et l'impact en sécurité routière de la conduite en période hivernale.

Un projet de recherche est élaboré pour chacun de ces sujets. La participation des unités du Ministère permet de bien définir chaque projet, lequel comprend la problématique, les besoins de recherche, l'utilisation des résultats au Ministère (ou à la Société), les objectifs des travaux, les résultats attendus (produits livrables) et des exigences particulières. Chaque projet s'appuie sur une analyse des références et de la documentation dans le domaine. Aussi, des mécanismes sont prévus pour assurer une valorisation immé-

diante des résultats, comme le suivi régulier des travaux par les principaux spécialistes intéressés de même que des rencontres des chercheurs avec les spécialistes du Ministère pour s'assurer du transfert des connaissances et de la diffusion des résultats de recherche.

Une fois ce programme terminé, la recherche en sécurité routière continue d'évoluer dans un cycle de cinq ans (1999-2004) sous forme d'actions concertées avec les mêmes partenaires, tout en conservant l'identité du Programme de recherche universitaire en sécurité routière qui l'a précédé. Ce programme dispose d'un budget de 5 millions de dollars sur cinq ans. Il poursuit les mêmes objectifs que son prédécesseur et s'appuie sur l'approche adoptée par la Politique de sécurité routière dans les transports 2001-2005, qui considère la collision comme la résultante d'une succession d'événements se produisant dans des circonstances précises pouvant mettre en jeu les quatre facteurs d'accident, soit la personne, le véhicule, l'environnement routier et l'environnement socio-économique. Au total, 41 projets de recherche seront réalisés grâce à ce programme.

Les objectifs spécifiques du programme sont de favoriser la concertation entre les chercheurs ainsi que le développement d'un réseau d'excellence en sécurité routière, de favoriser une prise en compte de la dimension multidisciplinaire de la sécurité routière, d'assurer le transfert des résultats et de mobiliser les ressources et les compétences scientifiques pour qu'elles contribuent à l'amélioration de la sécurité routière.

Les recherches menées dans le contexte du Programme de recherche universitaire en sécurité routière constituent non seulement un moyen essentiel pour conserver les acquis obtenus au cours des 20 dernières années, mais elles sont un moyen essentiel pour faire des gains dans des secteurs nouveaux où nous avons peu d'emprise, faute de connaissances.

Le Programme vient soutenir les préoccupations des usagers de la route en ce qui a trait à

leur comportement et celles concernant les améliorations apportées aux infrastructures routières. Il constitue un exemple de partenariat et de coordination en matière de recherche-développement puisqu'il existe depuis maintenant 13 ans grâce au travail soutenu de ses partenaires directs. Il intègre la collaboration de tous les intervenants en sécurité routière au Québec : chercheurs universitaires, spécialistes gouvernementaux, associations de transport, représentants des milieux policiers, coroners, étudiants et jeunes chercheurs en transport. Il tisse les liens de coopération, de formation et d'échange d'étudiants avec plusieurs organismes internationaux de transport :

- pour la formation d'étudiants à la maîtrise et au doctorat;
- pour un programme d'échange de chercheurs;
- pour la participation du Québec à la mise en place d'un réseau d'excellence en matière de sécurité routière avec l'Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité (INRETS) et d'autres partenaires internationaux.

Le Programme de recherche universitaire en sécurité routière constitue un moyen essentiel pour conserver les acquis; il est un moyen nécessaire pour réaliser des gains dans des nouveaux secteurs d'intervention; il est un moyen incontournable pour soutenir le développement de l'expertise en sécurité routière et il apparaît comme un moyen indispensable pour assurer la formation d'étudiants et la relève en sécurité routière.





IMPACTS SUR LA SÉCURITÉ ROUTIÈRE DES CONDITIONS D'ACCÈS À LA PROPRIÉTÉ RIVERAINE SUR LES ROUTES RURALES ET PÉRIURBAINES DU QUÉBEC

Louise Dussault, économiste, Direction de la sécurité en transport, MTQ

On assiste, depuis quelques décennies, à une diminution et à la perte de la fonction de nombreux tronçons du réseau routier supérieur québécois, tant en milieu urbain que rural, en raison d'un phénomène de prolifération des accès à la propriété riveraine le long des routes du réseau supérieur. Or, ce phénomène engendre une augmentation du nombre d'accidents en raison des interférences entre le trafic local et le trafic de transit. Devant cette problématique, le ministère des Transports du Québec (MTQ) a demandé à l'École Polytechnique de Montréal, par le biais du Fond de formation des chercheurs et d'aide à la recherche (FCAR), de réaliser une étude pour mieux connaître le problème de prolifération des accès riverains au Québec et d'analyser la relation entre les caractéristiques des accès et la sécurité routière. L'article présente une brève explication de la problématique de la gestion des accès, l'état de la connaissance du problème au Québec, les impacts des accès sur la sécurité et la méthode de calcul utilisée. Finalement, les résultats de l'étude permettent de faire certaines recommandations.

PROBLÉMATIQUE GLOBALE

Dans tous les réseaux routiers, il existe une hiérarchisation des routes selon que leur rôle principal est de permettre aux usagers d'accéder au réseau ou de transiter à travers celui-ci. Cette distinction de fonction n'est pas délimitée de manière absolue, et il existe en pratique une évolution continue des fonctions entre deux cas idéaux :

- la rue locale : accès illimité à la propriété riveraine, aucun trafic de transit et vitesse pratiquée faible;

- l'autoroute : aucune possibilité d'accès aux propriétés riveraines, trafic entièrement voué au transit et vitesse élevée.

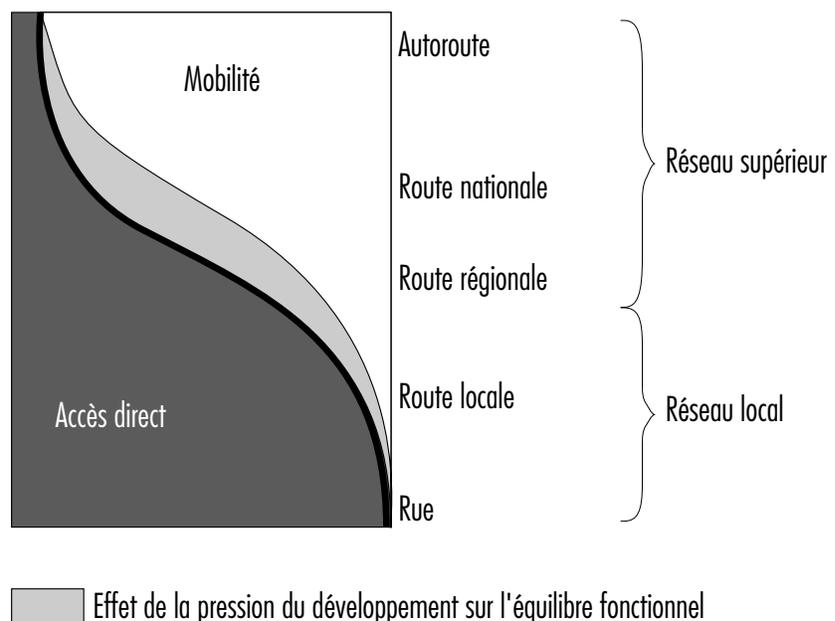
Le diagramme de la figure 1 décrit l'évolution de l'équilibre entre la fonction de transit (mobilité) et la fonction d'accessibilité selon la catégorie d'utilisation des routes. Pour chaque catégorie, un équilibre doit s'établir car les deux fonctions sont fondamentalement antagonistes : les aménagements d'accessibilité et le trafic local perturbent fortement le trafic de transit (à la fois en ce qui concerne la capacité et la sécurité), et réciproquement.

Idéalement, le réseau devrait être conçu de manière que, lors d'un trajet, un usager parcoure

l'ensemble des niveaux fonctionnels, partant par exemple d'une rue locale, transitant par une route nationale et aboutissant à la rue locale desservant sa destination. Une rue locale ne doit surtout pas déboucher sur une autoroute!

À moins d'exercer un contrôle direct et strict, l'équilibre fonctionnel décrit par cette figure est en perpétuelle évolution en raison de la pression exercée par la demande de développement sur les terrains adjacents aux routes. Les terrains adjacents aux axes routiers sont particulièrement intéressants pour y implanter de nouveaux développements, car il est facile de les relier au réseau à moindre coût. Cela se fait la plupart du temps par l'aménagement d'accès directs à la

Figure 1 : Équilibre entre la fonction d'accessibilité et la fonction de transit (Belzile, 2000 adapté de NJDOT, 1985 et FHWA *transmital 155*, 1974) ⁽¹⁾



route. Il en découle un déplacement de l'équilibre au détriment de la fonction de transit. Cette altération de la fonction de transit touche tout particulièrement les routes du réseau supérieur du ministère des Transports du Québec.

De nombreuses études, d'origines variées, ont montré que la prolifération des accès a un effet non négligeable sur la sécurité routière. Ici, le terme « accès » ne doit pas être confondu avec ceux de « carrefour » ou « intersection ». On définira par « accès » tous les aménagements permettant le passage direct de la route à une propriété riveraine. Par extension, on inclura aussi les intersections mineures avec des chemins ou des rues collectrices desservant des propriétés en arrière de la route, à condition que celles-ci aient bien un rôle de desserte, un débit modéré, et qu'il n'y ait pas de systèmes de contrôle sur la route principale tels que des arrêts ou des feux (on se situerait alors dans un contexte de carrefours).

Le problème des effets sur la sécurité des accès ainsi définis est d'une certaine manière comparable à celui des carrefours, car le danger vient de l'existence de conflits avec le trafic de transit. Le problème est cependant très différent dans la mesure où :

- les débits secondaires mis en jeu sont beaucoup plus faibles;
- la densité excessive des accès crée des phénomènes d'interaction entre accès;
- les accès sont souvent moins visibles, et donc moins attendus que les carrefours.

Plusieurs organismes de transport ont mis en place des politiques strictes de gestion des accès pour gérer la demande de développements le long des corridors routiers en limitant les effets sur la sécurité (et sur la capacité) des routes concernées. Ces politiques comprennent des mesures normatives variées. On pourra citer en exemple :

- mesures géométriques visant à limiter autant que possible le nombre de conflits potentiels;

- mesures urbanistiques destinées à éviter l'urbanisation linéaire le long des routes et à privilégier plutôt la construction de noyaux urbains reliés par un point unique à la route de transit;
- construction d'infrastructures collectrices et limitation des autorisations d'accès direct;
- classification fonctionnelle stricte des routes, et limitation des autorisations de construction d'accès selon la classe de la route et le type d'accès.

Le ministère des Transports du Québec devrait considérer l'élaboration d'une telle politique afin de conduire à une gestion complète et intégrée des corridors routiers. La présente étude pourrait servir de base à sa mise en œuvre.

CONNAISSANCE DU PROBLÈME AU QUÉBEC

L'étude se base entièrement sur des données québécoises et se concentre sur des routes rurales et périurbaines. Un échantillon de routes du réseau supérieur a été constitué afin d'obtenir des résultats moyens représentatifs et applicables à l'ensemble du Québec. La localisation et les caractéristiques des accès y ont été relevées et les accidents qui s'y sont produits au cours des cinq dernières années ont été recensés. De plus, l'étude prend en compte les accidents réellement attribuables à la présence d'un accès. Ainsi, on élimine les accidents survenus en raison des multiples autres causes possibles qui se superposent à ceux réellement attribuables aux accès.

L'analyse des relevés d'accès sur l'échantillon représentatif a montré que le phénomène de prolifération des accès a pris une ampleur importante sur les routes concernées par cette étude. On peut estimer que 50 % des routes rurales limitées à 80 et 90 km/h ont une densité d'accès telle que leur fonction de transit est vraisemblablement affectée (plus de 10 accès par km), et 20 % ont des densités d'accès relevant plus

d'une situation périurbaine que rurale. Environ 13 % des routes périurbaines limitées à 70 km/h se trouvent dans une situation où la prolifération des accès est telle que l'on peut parler de secteur urbanisé.

Dans toutes les régions du Québec, ce phénomène est majoritairement attribuable à la construction de résidences le long des axes routiers à l'extérieur des noyaux urbains. Les deux tiers des accès relevés le long des routes de transit desservent des résidences unifamiliales. D'autre part, on a constaté, selon les régions, qu'entre 30 et 90 % des accès à la propriété riveraine ne sont pas construits selon les normes du MTQ. Environ la moitié des commerces ne disposent pas d'un accès conforme.

IMPACT DES ACCÈS SUR LA SÉCURITÉ

Les études de corrélation entre les indicateurs de sécurité et la densité des accès ont permis de démontrer l'existence d'un lien de cause à effet entre accès et accidents dans le contexte de données québécoises.

Les augmentations moyennes des risques en fonction de la densité des accès et de la densité de chaque type d'accès ont montré que cet effet sur la sécurité n'est pas négligeable. On a ainsi estimé que globalement, sur l'ensemble du Québec, l'ajout d'un accès résidentiel par kilomètre augmentait en moyenne de près de 2,5 % le nombre des accidents attribuables aux accès. Ce chiffre passe à 7,9 % dans le cas des accès commerciaux de petite et moyenne surface et à 14,7 % dans le cas des intersections mineures et des commerces de grande surface.

L'analyse démontre que d'un point de vue macroscopique, le principal facteur déterminant le danger potentiel d'un accès est le type de terrain desservi puisqu'il influe sur le type d'utilisation des accès et la génération de débit. Cette conclusion est très importante dans la perspective de l'élaboration de normes de contrôle des accès : on sait à présent qu'il est indispensable qu'une

norme prene en compte le type d'utilisation des accès pour déterminer les autorisations à accorder et les modifications à apporter au réseau. Cette conclusion permet de faire le lien entre les problèmes relevant strictement de l'aménagement du réseau et ceux relevant de l'aménagement du territoire et de l'occupation des sols.

Cette étude a aussi mis en lumière plusieurs éléments démontrant l'importance de la nature et de la perception qui est faite du milieu traversé par la route, ainsi que de la perception qu'ont les conducteurs de la fonction de la route. On a vu que l'une des causes du danger des accès est l'ambiguïté liée à la fonction de la route : sur les segments ayant l'aspect de routes de transit (débit relativement faible associé à un faible nombre d'intersections et à un milieu rural) mais avec une utilisation de route locale semi-urbanisée, les effets marginaux des accès sont nettement plus élevés. Selon les chercheurs, cela justifie d'introduire dans la future politique sur la gestion des corridors routiers un volet visant à mettre en adéquation la perception de la route et sa nature réelle.

L'étude n'a pas permis de mettre en évidence l'effet de la largeur de la route ni celui de la conformité des accès aux normes géométriques du MTQ. Cela signifie qu'il n'y a pas d'effet statistiquement significatif de ces variables à une large échelle : il se peut parfaitement que localement, par exemple, un accès trop large entraîne des comportements très dangereux; ce type de problème n'est simplement pas suffisamment généralisé pour être visible sur une grande échelle.

METHODE DE CALCUL DE L'IMPACT DES ACCES SUR LA SECURITE

Les chercheurs ont conçu les outils suivants, utiles et simples, qui pourront être utilisés par le Ministère dans le contexte de la future politique sur les accès routiers.

- Le système de pondération des accès en fonction de leur type (1 pour les accès résidentiels et agricoles, 3 pour les accès à des commerces de petite et moyenne surface et 5,5 pour les intersections mineures non contrôlées par des feux et les accès à des commerces de grande surface) permet de calculer sur des tronçons de routes rurales des densités d'accès pondérées. Il s'agit là d'un indicateur efficace et simple d'utilisation pour cartographier la pression exercée par les accès sur un corridor et repérer les zones problématiques. Les valeurs trouvées valident celles proposées dans le projet de politique sur les accès routiers du MTQ (1997) ⁽²⁾.
- Les modèles statistiques de calcul du nombre d'accidents attribuables à la présence d'accès prévisibles donnent un autre moyen d'estimer cette pression sur un segment de route. Ils permettent en outre de procéder pour un segment donné à des études avantage-coût pour évaluer l'efficacité de mesures correctives ou préventives contre la prolifération des accès. Deux approches peuvent être utilisées : si l'on veut minimiser le nombre total d'accidents survenant aux accès, la fréquence prévisible moyenne des accidents est un indicateur intéressant; si l'objectif est plus de repérer les zones ayant des conditions d'accès particulièrement dangereuses, le taux d'accidents prévisible est un indicateur plus approprié.
- Les effets marginaux de l'ajout d'un accès, qui ont été calculés pour chaque type, pourraient servir de référence pour l'attribution de permis d'accès. Pour ce faire, il faudrait que le Ministère choisisse un seuil qui déterminera si l'effet d'un nouvel accès est acceptable.

Que l'on utilise les prévisions du modèle ou les densités pondérées, il faut noter que ces indi-

cateurs ne sont valables qu'entre deux intersections importantes et dans des zones ne contenant pas de générateur de trafic trop important. En effet, il s'agit de moyens conçus pour mesurer un phénomène continu : ils ne permettent pas de détecter des phénomènes ponctuels comme la présence d'un accès particulièrement important qui serait mal conçu. Ce type de problème n'est pas traitable à partir de données moyennes. Dans de tels cas, il est préférable de se reporter à des méthodes de traitement de problèmes de carrefours et de prendre en compte individuellement les commerces de grande surface et les industries lourdes. D'autre part, en cas de densité extrêmement faible des accès, il peut être préférable de traiter les accès isolés individuellement.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'objectif premier de cette étude n'était pas d'aboutir à un plan de correction des problèmes de sécurité posés par la prolifération des accès. Cependant, les résultats permettent aux chercheurs de recommander, parmi tous les correctifs suggérés dans la littérature, ceux qui sont les plus conformes aux problèmes observés sur les routes rurales et périurbaines du Québec.

Sur le réseau étudié, le principal facteur explicatif est la densité excessive des accès; les problèmes viennent donc principalement de l'existence de manœuvres d'entrée et de sortie interférant avec le trafic de transit. Certains indices obtenus de l'étude — par exemple, lorsque le débit de transit augmente, le danger aux accès diminue — laissent penser que ce problème est aggravé par une mauvaise perception de la fonction de la route. Si la route est avant tout perçue par les usagers comme ayant une fonction de transit, cela se traduit par une vigilance moindre, une vitesse supérieure, et donc des manœuvres inappropriées en cas de conflit avec un véhicule entrant ou sortant. Dès lors, les solutions consistent à adapter la fonction apparente (ou « offi-

cielle ») de la route à son utilisation réelle sont justifiées dans le cas du réseau étudié.

On pourrait ainsi réduire les vitesses maximales dans les zones à densité élevée des accès et parallèlement mettre en place des mesures urbanistiques permettant de bien signifier aux conducteurs qu'ils se trouvent dans une zone urbanisée. On adapte ainsi le comportement des conducteurs aux fortes densités des accès. D'ailleurs, de telles solutions sont intégrées au document sur les *Aménagements routiers dans la traversée des agglomérations* réalisé par le MTQ en 1997⁽³⁾. S'il est impossible de limiter la vitesse, ou si l'on ne souhaite pas pénaliser la fonction de transit de la route, il est nécessaire de s'intéresser aux mesures limitant la densité des accès. Les indicateurs développés dans cette étude sont alors très utiles pour fixer des seuils acceptables.

Les résultats de cette étude ne concernent cependant que le volet « sécurité » de la problématique. La capacité et les vitesses de transit sur les routes constituent l'autre aspect important du problème. De plus, le MTQ n'est pas la seule entité concernée par cette question. En particulier, des mesures visant à limiter le nombre des accès directs aux routes du réseau supérieur auraient un impact important sur le mode et sur les coûts de développement de certaines municipalités qui utilisent actuellement des routes du MTQ comme soutien principal de leur développement. Même si la sécurité est actuellement le critère de décision essentiel, tous les éléments du problème doivent être considérés.

Je recommande de prendre en compte les résultats de cette étude pour mettre en place une politique de gestion des corridors routiers qui vise non seulement la sécurité routière mais aussi la conservation de l'intégrité fonctionnelle de la route et le maintien d'une qualité de vie acceptable en bordure de la route.

NOTES

Cet article contient de grands extraits provenant du rapport suivant : Baass Karsten et al., *Analyse et quantification des impacts sur la sécurité des conditions d'accès à la propriété riveraine sur les routes rurales et périurbaines du Québec*, École Polytechnique, Université de Montréal, 2003.

Le texte n'engage que son auteur.

RÉFÉRENCES

(1) BELZILE, L. (2000). *Modélisation de l'impact des accès au réseau routier sur la sécurité routière et la vitesse prescrite. Le cas particulier de la route de ceinture de la Gaspésie*, rapport présenté à l'Université du Québec à Rimouski et étude réalisée dans le cadre du Plan de transport régional, Direction du Bas-Saint-Laurent-Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, 109 p.

(2) MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC, (1997). *Projet de politique sur les accès routiers*, ministère des Transports du Québec, Service des politiques d'exploitation, 48p.

(3) MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC, (1997), *Gestion des corridors routiers et aménagements routiers dans la traversée des agglomérations*, ministère des Transports du Québec, 128 p.



RÉDUCTION DES COLLISIONS AVEC UN LAMPADAIRE ATTRIBUABLE À L'UTILISATION DE HAUTS MÂTS D'ÉCLAIRAGE AU CENTRE DE L'INFRASTRUCTURE : LE CAS DE L'AUTOROUTE 15 DANS LES LAURENTIDES

Jean-François Bruneau, Coopératif de recherche en sécurité routière de l'Université de Sherbrooke
Denis-R. Morin, Coopératif de recherche en sécurité routière de l'Université de Sherbrooke

PROBLÉMATIQUE

L'éclairage complet d'une autoroute, en section continue, abaisse de façon significative le taux d'accidents nocturnes (CIE, 1992; Elvik, 1995). Au Québec, la réduction moyenne du taux d'accidents de l'ensemble des autoroutes est de l'ordre de 33 % (Bruneau et al., 2001). Cette tendance est vérifiable pour le total des accidents et pour les accidents avec dommages matériels seulement, mais la réduction du taux d'accidents corporels n'est pas valide selon la marge d'erreur.

Les lampadaires en bordure de route sont aussi des objets fixes dangereux dont il faut protéger l'automobiliste. Sur les autoroutes, la présence d'objets près des conducteurs s'avère problématique. Même s'il n'y a pas d'évidence sans équivoque que la vitesse pratiquée majore systématiquement le taux d'accidents (Navon, 2003), il demeure que pour une collision donnée, celle-ci devient plus grave à mesure que s'accroît la vitesse du véhicule accidenté. Comme le rapportent Bruneau *et al.* (1998), les autoroutes belges, entièrement éclairées et où la vitesse permise atteint 120 km/h, enregistrent des proportions importantes d'accidents graves et mortels, comparativement aux autoroutes québécoises où la vitesse maximale est de 100 km/h. Il faut dès lors compter sur la présence de rampes de sécurité et d'autres dispositifs de retenue qui protègent, la plupart du temps, les automobilistes des poteaux d'éclairage trop accessibles ou non fragilisés ou de tout autre danger potentiel lors

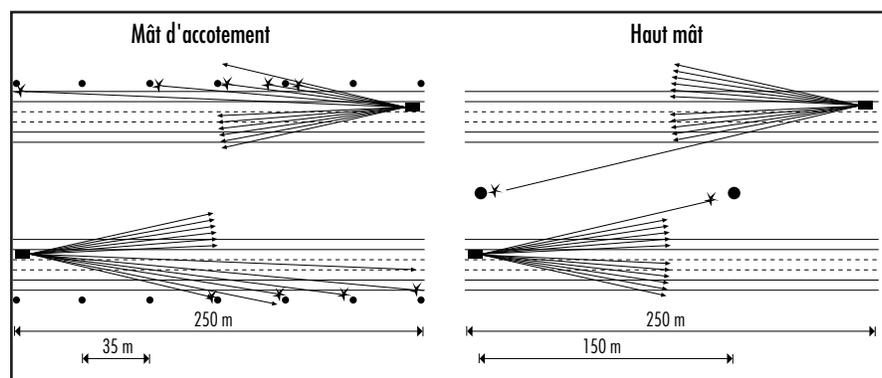
d'une sortie de route. L'éclairage complet de l'autoroute apporte des bénéfices de sécurité, mais la contribution du type de mât ou de la disposition des mâts entre eux et par rapport à la chaussée sont des phénomènes potentiellement influents, et encore inexplorés dans la littérature sur la base de tests statistiques.

Le nombre et la position des mâts d'éclairage déterminent en partie la probabilité pour un véhicule d'entrer en collision avec un mât lors d'une sortie de route. Sur une autoroute, les mâts sont soit placés à droite de l'accotement, soit dans le terre-plein. L'utilisation du centre de l'infrastructure permet d'éclairer simultanément les deux chaussées, à condition que celles-ci ne soient pas trop éloignées, mais cela est rarement une contrainte. Lorsque les chaussées sont séparées par un « jersey » ou un terre-plein très étroit, l'éclairage peut s'effectuer avec des mâts à deux potences. D'autre part, les hauts mâts requièrent un minimum d'espace pour être aménagés, mais ils projettent la lumière plus loin. Ils

élargissent le couloir éclairé et ils réduisent probablement l'effet de scintillement puisque les lampes sont loin des yeux des conducteurs. L'éclairage à droite de l'accotement demande un nombre élevé de mâts et/ou de rampes. À l'inverse, les hauts mâts sont très espacés, ce qui réduit considérablement la quantité d'unités utilisées, laissant présumer que les risques de collision avec un lampadaire sont réduits (figure 1). De façon objective, la probabilité d'une collision avec un mât est réduite, lors d'une sortie de route, s'il y a moins de mâts et si les mâts se trouvent loin du conducteur, deux caractéristiques spécifiques aux hauts mâts.

Si une baisse du taux d'accidents est potentiellement attribuable à une disposition spécifique des unités d'éclairage, la diminution doit s'observer indépendamment de la période du jour. Les lampadaires sont des objets permanents du réseau routier. Ils sont utiles la nuit, mais leur présence est un risque potentiel à toute heure du jour lorsqu'il est question de collision avec les

Figure 1 : Collisions théoriques avec les mâts d'éclairage lors des sorties de route



unités d'éclairage. Les accidents nocturnes sont donc comparables aux accidents de jour à cet égard. Les collisions que l'on cherche à éviter, par une disposition plus efficace des unités, se produisent avec un éclairage actif ou inutilisé. D'autre part, si l'on évaluait l'impact de la qualité de l'éclairage sur la réduction du taux d'accidents, une baisse du ratio nuit/jour du taux d'accidents serait à valider, car cela indiquerait une amélioration de la situation nocturne.

OBJECTIF

L'objectif de l'analyse consiste à évaluer, sur une autoroute entièrement éclairée, la capacité des hauts mâts, au centre du terre-plein, à réduire le nombre des accidents mettant en cause un lampadaire, en comparaison avec les mâts d'accotement conventionnels placés à droite des accotements.

HYPOTHÈSE

La première hypothèse va dans le sens de la théorie des collisions. Puisque les hauts mâts sont quatre fois moins nombreux que les mâts à droite des accotements, et qu'ils sont plus distants dans l'axe latéral du conducteur, ils sont susceptibles d'abaisser la part de collisions avec un lampadaire, peu importe si c'est de jour ou de nuit.

MÉTHODOLOGIE

La méthodologie se base sur une analyse des accidents avant et après le changement des mâts d'éclairage sur une section de 14,5 km de l'autoroute 15, entre Blainville et Saint-Jérôme. La principale fonction de ce tronçon d'autoroute est de relier Montréal à la banlieue, avec des volumes de circulation importants à la sortie de la métropole, avoisinant 100 000 véhicules par jour, jusqu'à un secteur où le DJMA (débit journalier moyen annuel) est de 44 000 véhicules par jour. La fin de la section éclairée de l'autoroute correspond au seuil limite recommandé par le Ministère des Transports du Québec (MTQ) (1998) pour installer un éclairage complet sur une autoroute, soit 40 000 véhicules par jour. Toutes les sections analysées possèdent trois voies de circulation dans chaque direction. La configuration des échangeurs autoroutiers est restée la même au cours des 11 années de l'étude. Il n'y a eu aucun changement important de nature à modifier la dynamique des accidents. Les dispositifs de retenue, tels les glissières et les garde-fous, sont restés installés aux mêmes endroits. L'infrastructure a été entretenue au fil des ans, et la seule modification importante a été le changement des mâts d'éclairage. Le caractère spécifique des travaux élimine la nécessité de recourir

à une pondération quelconque pour un paramètre problématique, ou qui affecte le taux d'accidents.

Lorsque les lampadaires sont situés à droite des accotements, la densité des unités d'éclairage équivaut à un mât tous les 30 à 35 mètres. Les hauts mâts, pour leur part, sont espacés de 150 mètres. Seulement 1 des 9 sections étudiées présente un espacement moyen de 200 m. Les hauts mâts nécessitent quatre fois moins d'unités d'éclairage que les lampadaires conventionnels, et ce, pour un même côté d'infrastructure. L'autre caractéristique déterminante est la distance latérale des mâts par rapport à la position du conducteur sur la chaussée. Les mâts d'accotement sont à 3,5 m de la ligne de rive de droite, ce qui est près des véhicules qui roulent dans la voie de droite. Les hauts mâts sont au contraire loin des conducteurs, à 15 m de la ligne de rive de gauche. La disposition des hauts mâts fournit un espace accru à tout véhicule qui quitte la chaussée, même quand la sortie de route s'effectue vers le terre-plein. Dans la section d'étude, le terre-plein mesure en moyenne 30 m de largeur, et les hauts mâts se trouvent toujours en son centre.

La banque de données d'accidents est constituée avec les fichiers du *Diagnostic de sécurité routière* (DSR-5086), qui combine le fichier d'accidents

Tableau 1 : Section d'études et découpage des périodes « avant » et « après »

N°	Route-tronçon-section	Chaînage	Long. (m)	Période « avant »	Période « après »	Jours Avant/Après
1	15-03-030	0+000 à 0+450	450	01-01-91 au 15-05-92	16-05-92 au 28-09-1993	501
2	15-03-030	5+950 à 7+200	1250	05-11-97 au 03-12-99	04-12-99 au 31-12-2001	759
3	15-03-030	7+900 à 8+600	700	28-08-96 au 30-04-99	01-05-99 au 31-12-2001	976
4	15-03-030 15-03-043	8+600 à 11+600 0+000 à 0+550	3550	04-09-94 au 03-05-98	04-05-98 au 31-12-2001	1338
5	15-03-043	0+550 à 4+400	3850	09-10-92 au 05-06-97	06-06-97 au 31-12-2001	1670
6	15-03-043	4+400 à 5+100	700	01-01-91 au 28-05-92	29-05-92 au 24-10-1993	514
7	15-03-061	1+330 à 2+930	1600	01-01-91 au 20-11-92	21-11-92 au 11-10-1994	690
8	15-03-061 15-03-080	2+930 à 4+040 0+000 à 0+610	1720	01-01-91 au 10-07-92	11-07-92 au 18-01-1994	557
9	15-03-080	0+610 à 1+310	700	05-11-97 au 03-12-99	04-12-99 au 31-12-2001	759

Tableau 2 : Accidents et volumes de circulation de nuit et de jour

Section	Mâts d'accotement (« avant »)						Hauts mâts (« après »)					
	Accidents totaux			Débit (DJMA/1000)			Accidents totaux			Débit (DJMA/1000)		
	Nuit	Jour	Total	Nuit	Jour	Total	Nuit	Jour	Total	Nuit	Jour	Total
1	8	7	15	22,1	89,9	112,0	5	11	16	22,1	89,9	112,0
2	4	10	14	18,3	74,7	93,0	7	7	14	18,7	76,3	95,0
3	22	43	65	17,9	73,1	91,0	14	24	38	18,7	76,3	95,0
4	55	87	142	15,9	64,6	80,5	61	95	156	15,9	64,6	80,5
5	90	138	228	13,8	56,2	70,0	93	112	205	15,0	61,0	76,0
6	22	19	41	12,7	51,9	64,6	8	17	25	13,8	56,2	70,0
7	15	33	48	12,0	48,7	60,7	17	25	42	12,9	52,6	65,5
8	22	25	47	11,2	45,6	56,8	22	32	54	12,0	49,0	61,0
9	6	11	17	8,3	33,7	42,0	12	13	25	8,7	35,3	44,0
Total	244	373	617				239	336	575			
Moyenne				14,7	59,8	74,5				15,3	62,4	77,7

accidents de la Société de l'assurance automobile du Québec avec la localisation des accidents sur le réseau routier du ministère des Transports du Québec (tableau 1). Les années conservées pour l'analyse sont comprises entre 1991 et 2001, inclusivement, même si chaque section utilise des années différentes selon la période de rénovation du système d'éclairage. Les dates de mise en chantier et de fin des travaux servent à distinguer les périodes « avant » et « après ». La durée des périodes est définie en fonction de la plus courte période observée, qui détermine le nombre de jours analysés avant et après. L'équivalence entre les deux périodes se base sur le plus petit dénominateur commun aux deux périodes. Puisque la rénovation du système d'éclairage se fait progressivement et que la période étudiée est d'une durée variable selon la section, chacune des 9 sections utilise un nombre de jours différent (tableau 2). L'étude relève un total de 1192 accidents, 617 dans la période « avant » et 575 dans la période « après » l'arrivée des hauts mâts.

Les sections qui utilisent un nombre trop élevé d'années avec des pourcentages d'accidents localisés différents de 100 % sont

retranchées, puisque la comparaison devient impossible. Deux sections sont ainsi éliminées afin d'éviter un biais qui favoriserait une des deux périodes comparées. Dans toute étude avant – après qui analyse une modification d'un élément de l'infrastructure routière, l'information doit correspondre de façon réciproque dans chaque période. Le découpage du nombre de jours doit être identique dans les deux périodes et les années utilisées doivent toutes révéler 100 % d'accidents localisés.

Le volume de circulation augmente légèrement après le changement des mâts d'éclairage; c'est un facteur de première importance dont il faut tenir compte (Elvik, 2002). La hausse de 4,2 % en cinq ans est cependant sans effet majeur. Le fait de rénover un système d'éclairage déjà en place ne modifie ni la nature, ni la fréquence des déplacements de nuit. L'accroissement annuel du trafic, autour de 1 % sur l'autoroute 15, est un changement normal. Si des transformations importantes avaient été apportées à l'infrastructure, telle l'introduction d'un éclairage dans une zone obscure, cela aurait eu l'effet contraire, soit de modifier substantielle-

ment le flux de circulation (Cobb, 1987), ce qui ne s'applique pas ici. Pour les 9 sections étudiées, le DJMA moyen est de 74 511 véhicules par jour avant le changement d'éclairage, et de 77 667 véhicules par jour après ce changement. Les années de DJMA disponibles pour les sections à l'étude sont comprises entre 1992 et 1999, incluant les comptages de 1995 et de 1996. Trois critères établissent le seuil d'inclusion ou de rejet d'une année d'observation de DJMA. Chaque DJMA utilisé pour calculer la moyenne d'une section doit provenir d'une année comprise à l'intérieur de la période d'étude. Si aucun DJMA n'est disponible à l'intérieur de la période d'étude, il est estimé de la façon suivante : l'estimation de la variation de la moyenne annuelle du DJMA est multipliée par le nombre d'années qui sépare le centre de la période d'étude de l'année la plus rapprochée. Lorsque le chaînage d'une section étudiée chevauche deux sections pour lesquelles le DJMA est comptabilisé séparément, le DJMA de référence est celui qui correspond à la plus grande partie de la section analysée.

La proportion nuit / jour du volume de circulation est établie en fonction des calendriers de lever et de coucher du soleil. Les jours où le lever et le coucher du soleil s'effectuent à des heures similaires sont regroupés en périodes homogènes. Ces plages horaires, qui délimitent la frontière entre la nuit et le jour, sont associées aux fichiers de débit du MTQ pour attribuer, heure par heure, le débit horaire de chaque journée complète du fichier. Le poste de comptage de Bellefeuille sert à évaluer, pour les années 1998 et 2000 (MTQ, 1996), la part annuelle de circulation de nuit et de jour. Selon les données obtenues, la nuit cumule 19,7 % de la circulation totale d'une journée. La proportion de la circulation de nuit est ensuite multipliée par le DJMA de chaque section d'étude pour définir le volume annuel de circulation de jour et le volume annuel de circulation de nuit, dans chaque section analysée.

Les données puisées sur le terrain incluent la localisation des lampadaires et différentes mesures effectuées sur place. Ces données sont rattachées à la base de données d'accidents en fonction des approches du système route – tronçon – section – chaînage.

Les taux d'accidents sont calculés pour chaque section selon leur longueur respective, selon la moyenne annuelle des accidents et selon le DJMA avant et après le changement des mâts d'éclairage. Le nombre des accidents est ensuite ventilé en fonction des principaux types d'accidents, afin de vérifier l'hypothèse. La contribution spécifique de chaque type d'accident est évaluée pour apprécier l'effet de la disposition des mâts sur la fréquence des collisions avec un lampadaire. La première hypothèse est validée si la fréquence des accidents, dans la catégorie « lampadaire », diminue en comparaison avec la tendance globale réunissant l'ensemble des autres types d'accidents. Un test de khi-carré est appliqué à une série de tableaux de contingence 2 X 2 où l'on confronte la période avant avec la période après pour chaque type d'accident en relation avec l'ensemble des autres accidents.

Tableau 3 : Taux d'accidents selon le type de mât

Section	Taux d'accidents total			Taux d'accidents de jour			Taux d'accidents de nuit		
	Avant (a)	Après (b)	%var. (a-b)	Avant (a)	Après (b)	%var. (a-b)	Avant (a)	Après (b)	%var. (a-b)
1	1,61	1,01	+6,7	0,35	0,54	+57,1	0,59	0,63	-37,5
2	0,23	0,39	-2,1	0,14	0,10	-31,5	0,16	0,16	+71,3
3	1,80	1,09	+44,0	0,86	0,46	-46,5	1,05	0,59	-39,0
4	0,73	0,81	+9,9	0,28	0,31	+9,2	0,37	0,41	+10,9
5	1,02	0,97	-17,2	0,38	0,29	-25,2	0,51	0,42	-4,8
6	4,80	1,61	-43,7	1,02	0,84	-17,4	1,76	0,99	-66,4
7	1,14	1,19	-18,9	0,61	0,43	-29,8	0,72	0,58	+5,0
8	2,05	1,91	+7,0	0,57	0,68	+19,2	0,86	0,92	-6,9
9	1,36	2,61	+40,4	0,61	0,69	+12,8	0,76	1,07	+90,9
Total	1,33	1,25	-10,6	0,50	0,43	-13,6	0,66	0,59	-6,0

Tableau 4 : Types d'accidents avant et après le changement des mâts d'éclairage

Type d'accident	Accidents de nuit		Accidents de jour		Accidents totaux	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
Lampadaire / poteau	45	13	48	13	93	26
Garde-fou	29	23	22	22	51	45
Quitte chaussée	57	57	34	38	91	95
Collision véhicules	135	129	69	71	204	200
Autres	107	114	71	95	178	209
Total	373	336	244	239	617	575

RÉSULTATS

En considérant l'ensemble des accidents survenus sur le tronçon à l'étude, une baisse de 10,6 % du taux d'accidents total (incluant DMS (dommages matériels seulement) et corporels) est observée après la modification du système d'éclairage (tableau 3). Cette baisse n'est cependant pas significative, selon le test de « t » pratiqué sur les 9 différentes sections qui composent le segment étudié. La légère baisse du taux d'accidents total s'observe autant le jour (-13,6 %) que la nuit (-6,0 %). L'abaissement du taux total d'accidents, même non valide, fournit une première indication de la tendance globale et de l'effet du changement d'éclairage.

En isolant les collisions avec un lampadaire ou un poteau d'éclairage (code 7), le nombre d'accidents passe de 93 dans la période avant à 26 dans la période après, une réduction brute de 72 % qui est valide à $p < 0,01$ (tableau 4). Le

test de khi-carré est appliqué à la distribution des fréquences brutes d'accidents sans tenir compte du volume de circulation accru dans la période après. Il permet de vérifier si la fréquence d'un type d'accident particulier se trouve diminuée en comparaison avec la fréquence de tous les autres types d'accidents. D'autre part, la fréquence des accidents avec un dispositif de retenue est restée similaire, de même que la fréquence des sorties de route sans collision. Deux autres catégories de type d'accident obtiennent des tendances significatives selon le test statistique pratiqué sur la fréquence des accidents avant – après. Le nombre absolu des collisions entre deux véhicules diminue après le changement d'éclairage (204 à 200), mais cette baisse est relativement moins élevée que l'importante baisse du total des accidents (617 à 575). De même, la catégorie fourre-tout, incluant tous les autres types d'accidents, augmente un peu en absolu et de façon substantielle d'un point de vue relatif. Il y a donc

quelques éléments qui confirment que la diminution des collisions avec lampadaire est le seul véritable changement important dans la fréquence et la distribution des accidents après l'aménagement des hauts mâts d'éclairage. Le fait que la fréquence des accidents demeure basse ou à la baisse est aussi une preuve directe qu'il ne se produit pas un phénomène de compensation ou de transition vers d'autres types d'accidents après le changement d'éclairage, mais plutôt une réelle réduction de la fréquence absolue d'un seul type de collision.

Le taux d'accidents avec lampadaire passe de 0,11 à 0,03 accidents annuellement pour chaque million de véhicules par kilomètre d'autoroute, de la période avant à la période après. À titre indicatif, un test de « t » est pratiqué sur les résultats des 9 sections, et l'intervalle de confiance se chiffre à $p < 0,07$. Le seuil de 5 % est presque atteint, mais il faut reconnaître que ce test demeure sensible aux fluctuations de moyenne causées par la présence de petits nombres et de nombres plus substantiels dans la même série d'observations, ce qui est le cas ici. En fait, dans le contexte de l'étude, qui ne s'applique qu'à 14,5 km d'autoroute, le test de khi-carré est préférable au test de « t », car seules sont valables à titre de référence les valeurs agrégées, et non les valeurs séparées « par section ».

CONCLUSION

L'hypothèse de base est vérifiée. La probabilité de heurter un lampadaire lors d'une sortie de route est accrue en présence de mâts conventionnels à droite des accotements, en comparaison avec la présence de hauts mâts au centre du terre-plein. Les collisions avec un lampadaire diminuent le jour et la nuit avec les hauts mâts, et cette réduction est valide au test de khi-carré ($p < 0,01$), même en ne tenant pas compte du volume de circulation qui augmente de 4,2 % avec les hauts mâts. La disposition et l'emplacement des hauts mâts par rapport aux mâts placés

à droite des accotements produisent un effet bénéfique en réduisant le nombre absolu des collisions avec un mât d'éclairage.

Cette analyse compare deux méthodes d'intervention qui, *a priori*, se ressemblent sur le plan de la sécurité. Un système complet d'éclairage est un élément de sécurité qui a la propriété d'améliorer la situation nocturne et de réduire le bilan des accidents de nuit. Toutefois, il semble que la transition vers un système d'éclairage plus performant, comme l'éclairage avec des hauts mâts, procure davantage de retombées quant à la sécurité, car cela permet de réduire substantiellement les collisions avec les mâts d'éclairage, et ce, à toute heure du jour (24 heures).

RECOMMANDATIONS

L'abaissement du nombre des collisions avec un lampadaire en présence des hauts mâts est une preuve directe qu'en matière de sécurité ces derniers sont au moins égaux, voire supérieurs, aux mâts à droite des accotements. Lorsque cela est possible, l'installation des hauts mâts est recommandée sur les autoroutes. Non seulement ont-ils le potentiel de réduire les coûts d'entretien à moyen terme, mais ils réduisent de façon considérable et significative certains types d'accidents, comme ceux avec un lampadaire, sans affecter les autres types d'accidents.

Les futures recherches dans ce domaine doivent servir à valider la réduction du nombre des accidents enregistrés et à estimer avec plus de précision la variation globale du taux d'accidents. De nouveaux travaux sont requis pour augmenter le nombre de sections d'autoroutes étudiées, et ainsi permettre de valider les variations statistiques en se basant sur des taux d'accidents plus substantiels.

RÉFÉRENCES

BRUNEAU, J.-F., D.-R. MORIN, M. POULIOT (2001). « Safety of Motorway Lighting » *Transportation Research Record 1758, Transportation Research Board*, p. 1-5.

BRUNEAU, J.-F., M. POULIOT, D.-R. MORIN et I. THOMAS (1998). « Sécurité routière et éclairage routier (Road Safety and Highway Lighting) », *Routes / Roads*, 1 (297), Association mondiale de la Route, p. 25-36.

COBB, J. (1987). « Light on Motorway Accident Rates », *The Journal of the Institution of Highways and Transportation*, octobre 1987, p. 29-33.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE (1992). *Road Lighting as an Accident Countermeasure*, Commission Internationale de l'Éclairage (CIE), pub. no CIE 93, 117 p.

ELVIK, R. (1995). « Meta-Analysis of Evaluations of Public Lighting as Accident Countermeasure », *Transportation Research Record 1485*, Transportation Research Board, p. 112-123.

ELVIK, R. (2002). « The Importance of Confounding in Observational before-and-after Studies of Road Safety Measures », *Analysis and Prevention*, 34, p. 631-635.

FRIDSTROM, L., J. IFVER, S. INGEBRIGTSEN, R. KULMALA et L. KROGSGARD THOMSEN (1995). « Measuring the Contribution of Randomness, Exposure, Weather, and Daylight to the Variation in Road Accident Counts », *Accident Analysis and Prevention*, 27, p. 1-20.

KALLBERG, V.-P. (1994). « Accident Reducing Potential of Roadside Improvements. » *Proceedings of Seminar K. The 22nd European Transport Forum (The PTRC Summer Annual Meeting), Highways, University of Warwick, England, 12-16 septembre 1994*, PTRC Education and Research Services Ltd, p. 261-267.

MAK, K. K. (1995). « Safety Effects of Roadway Design Decisions - Roadside », *Transportation Research Record* 1512, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, USA, p. 16-21.

MICHIE, J. D. et M.E. BRONSTAD (1994). « Highway Guardrails: Safety Feature or Roadside Hazard ? », *Transportation Research Record* 1468, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, USA, p. 1-9.

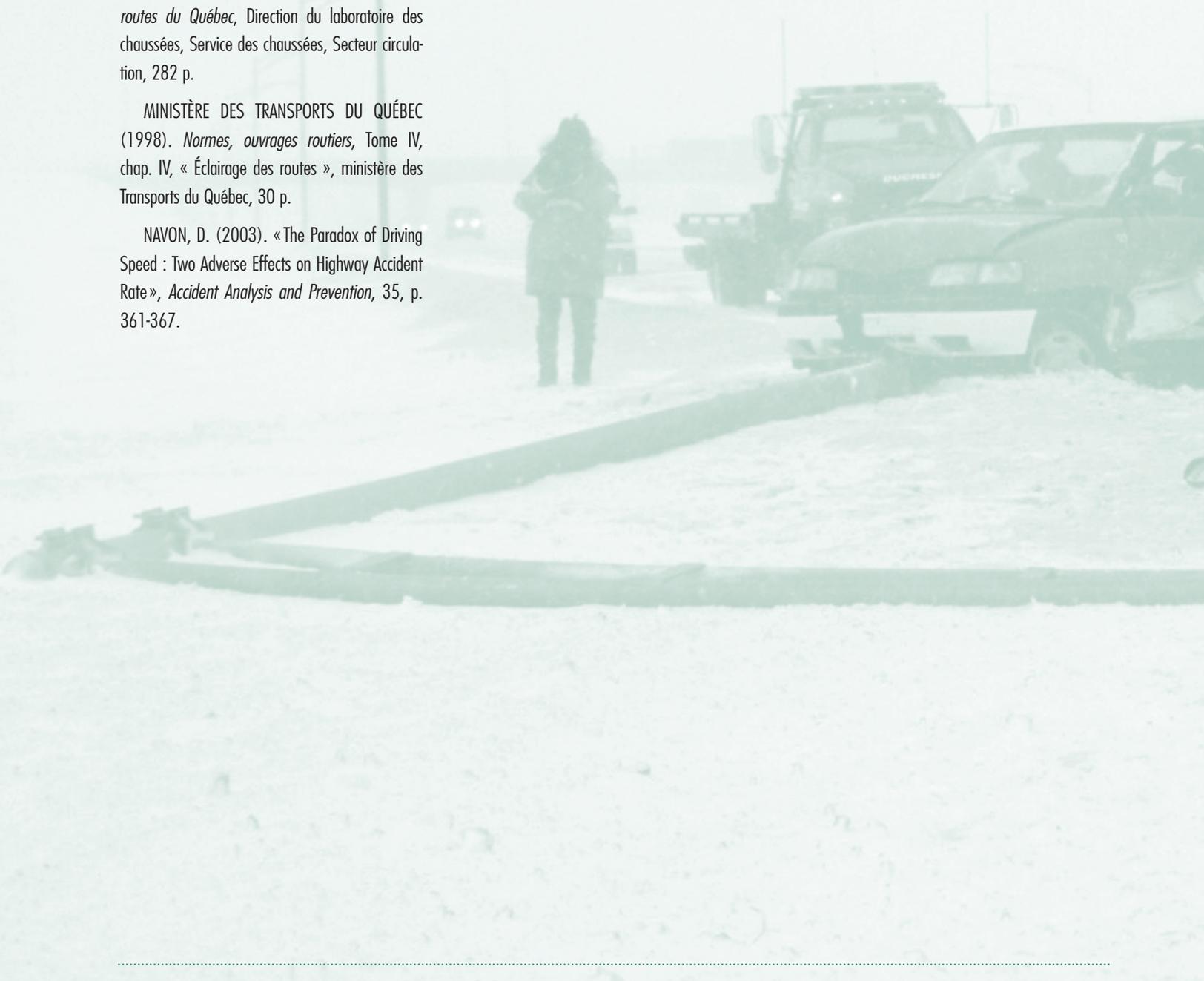
MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC (1996). *Recensement de la circulation sur les routes du Québec*, Direction du laboratoire des chaussées, Service des chaussées, Secteur circulation, 282 p.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC (1998). *Normes, ouvrages routiers*, Tome IV, chap. IV, « Éclairage des routes », ministère des Transports du Québec, 30 p.

NAVON, D. (2003). « The Paradox of Driving Speed : Two Adverse Effects on Highway Accident Rate », *Accident Analysis and Prevention*, 35, p. 361-367.

TROXEL, L. A., M. H. RAY, et J. F. CARNEY III (1994). *Accident Data Analysis of Side-Impact, Fixed-Object Collisions*, Federal Highway Administration, FHWA-RD-91-122, Vanderbilt University, Nashville, TN, USA, 102 p.

ZEGEER, C. V. (2001). « Setting Priorities for Reducing Utility Pole Crashes », 79th Annual Meeting of the Transportation Research Board, 9-13 janvier 2000, Washington, DC, USA, E-C030, *Transportation Research E-Circular*, p. 9-31.





DES MARAIS ÉPURATEURS CONSTRUITS (MEC) POUR TRAITER LES EAUX DE RUISSELLEMENT DES AUTOROUTES : UNE EXPÉRIENCE QUÉBÉCOISE

Jean-Baptiste Sérodes (Université Laval),

Annie Taillon (Les consultants en environnement Argus) et Jean-Pierre Beaumont (SEÉIM, MTQ)

INTRODUCTION

Le ministère des Transports du Québec (MTQ) a mandaté l'Université Laval afin de réaliser un projet de recherche qui a commencé en 1999. Ce projet visait à mettre en place une structure expérimentale permettant de tester la technique des marais épurateurs construits (MEC), dans le contexte climatique et hydrologique québécois, et à vérifier l'efficacité de marais linéaires créés à partir de l'aménagement des fossés existants le long des autoroutes pour le traitement des eaux de ruissellement issues de sources ponctuelles ou diffuses. Les résultats devaient permettre d'évaluer la fonction épuratrice des fossés autoroutiers déjà colonisés naturellement par des milieux humides et de préciser l'opportunité de valoriser de tels systèmes naturels ou construits dans le but de réduire la charge polluante attribuable à la circulation autoroutière. Le projet est maintenant terminé et le rapport de recherche de Sérodes et Taillon (2003) déposé dans les centres de documentation du ministère des Transports. Le but du présent article est de présenter le projet pilote et les résultats obtenus.

LOCALISATION ET MISE EN PLACE DU SITE EXPÉRIMENTAL

Le secteur d'étude est situé au carrefour de l'autoroute Jean-Lesage (autoroute 20) et de l'autoroute de l'Acier (autoroute 30) (figure 1) où, selon les données du MTQ (1998), les débits journaliers annuels moyens sont respectivement de 68 000 et 39 000 véhicules. La direction de l'écoulement des eaux de ruissellement des quatre coins du carrefour, qui apparaît sur la figure 1, permet de constater que le coin N.-E. est le plus

Figure 1 : Localisation du secteur d'étude et direction de l'écoulement des eaux

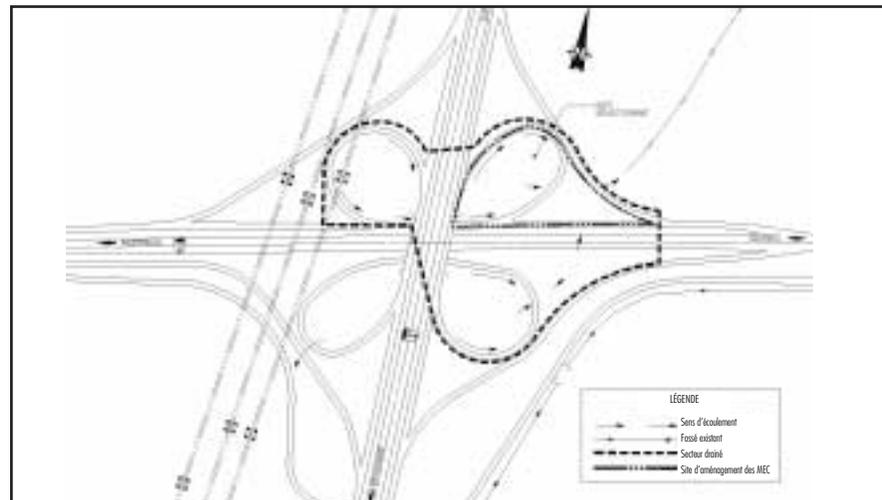
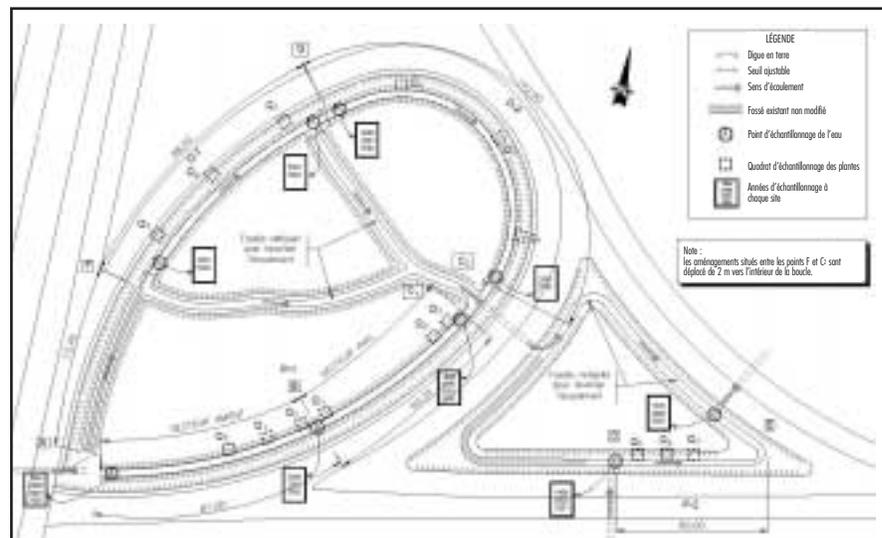


Figure 2 : Site expérimental avec sites et années d'échantillonnage



intéressant quant aux objectifs poursuivis puisque les coins N.-O. et S.-E. se réunissent pour une évacuation vers le nord en passant par le coin N.-E. et que ce dernier draine les trois quarts de la superficie du carrefour. En plus, les débits liquides devraient y être suffisants car des apports de types différents y ruissellent, soit deux apports

ponctuels (le tuyau d'arrivée drainant le coin N.-O. et le ponceau d'arrivée drainant le coin S.-E.) ainsi qu'un apport de type diffus provenant du coin N.-E. lui-même (figure 1).

L'essentiel du site expérimental est situé à l'intérieur de la boucle qu'empruntent les véhicules arrivant du sud par l'autoroute de

Tableau 1 : Description des installations mises en place

Identification du marais	Description
Marais AC	Ce marais traite l'apport ponctuel du point A. Il comporte deux parties. La partie amont (AB, longueur 61 m) est formée d'une fosse centrale de sédimentation (2,4 m) encadrée de deux bandes latérales de plantes mesurant chacune 1 mètre de largeur. Elle est suivie de la partie aval (BC, 80 m) constituée seulement d'une bande de végétation d'environ 3 m de largeur. Le marais AC au complet et la partie BC seule ont été étudiés comme deux marais distincts.
Marais DE	Ce marais traite l'apport ponctuel du point D. Il comporte un marais linéaire constitué d'une bande longitudinale de végétation de 3 m (DE, 40 m).
Marais FG	Ce marais traite l'apport diffus d'une partie du secteur N.-E. du carrefour. C'est une variante du marais AC en ce sens qu'il comporte une fosse de sédimentation mais une seule bande de végétation de 1,5 m (longueur de 98 m). La bande végétale est située du côté de l'apport diffus, ce qui impose à l'apport liquide une filtration par les plantes avant son évacuation par le fossé.
Marais GC	Ce marais traite l'apport diffus d'une autre partie du secteur N.-E. du carrefour (longueur de 142 m). Il ne comporte pas de fosse de sédimentation mais seulement une bande longitudinale de 3 m de végétation. L'étude comparée des marais FG et GC permettra d'évaluer l'impact de la fosse de sédimentation et sa justification dans le cas d'apports diffus.

l'Acier et se dirigeant vers Montréal en empruntant l'autoroute Jean-Lesage (figure 2). Les marais expérimentaux ont une forme linéaire, bien adaptée à l'espace disponible dans l'emprise des routes. Elle favorise un écoulement « piston » des eaux, ce qui évite les cheminement préférentiels, optimise l'utilisation de la surface aménagée et se prête bien aussi à un travail de nature expérimentale puisque, en échelonnant les points de mesure tout au long entre l'entrée et la sortie, il pourra être établi que telle longueur (ou surface) de marais est insuffisante ou, au contraire, excédentaire. Ainsi, des critères de dimensionnement pourront être proposés avec plus de justesse.

En se référant à la figure 2, on remarque que les arrivées ponctuelles sont situées au point A (drainage du secteur N.-O.) et au point D (drainage du secteur S.-E.). Quant aux sources diffuses, elles sont réparties tout autour de la boucle N.-E. Pour chacune des deux formes d'ap-

ports, deux types de marais linéaires ont été expérimentés, c'est-à-dire avec ou sans fosse de sédimentation. Notons que, conformément aux exigences du MTQ, un espace de deux mètres à partir du bas du talus a été respecté partout avant d'amorcer le début de coupe de l'excavation. Les travaux d'aménagement ont été réalisés du 10 au 22 novembre 1999. Le tableau 1 comprend une description détaillée des diverses installations mises en place et représentées dans cette figure.

À l'exutoire de la bretelle (site E), l'eau s'écoule dans un petit cours d'eau qui se jette dans le ruisseau du Cordon, lequel aboutit au fleuve Saint-Laurent. Tous les autres fossés présents sur le site sont demeurés dans leur état original, si ce n'est qu'un léger creusage a été nécessaire pour l'évacuation des eaux. Des structures de contrôle ont été construites aux diverses extrémités des marais. Il s'agit soit de seuils ajustables pour contrôler les niveaux d'eau, soit de seuils écrans pour empêcher tout échange entre les marais adja-

cents. En ce qui concerne les plantes des divers marais, il a été convenu que partout où les plantes d'origine auront été détruites par les travaux, la végétation nouvellement plantée sera constituée de typhas à feuilles étroites (*Typha angustifolia*) prélevés dans un banc donneur situé dans un échangeur voisin, suivant une densité de quatre typhas/m². Par contre, partout où les plantes d'origine repousseront, celles-ci seront conservées, qu'il s'agisse de typhas ou de phragmites. Certains secteurs ont aussi fait l'objet d'une densification de leur peuplement de typhas pour atteindre la densité requise.

MÉTHODOLOGIE D'ÉCHANTILLONNAGE ET D'ANALYSE

Les campagnes d'échantillonnage d'eau ont eu lieu dans des conditions de pluie. La première campagne a eu lieu en octobre 1999 et visait à caractériser le site original avant les travaux d'aménagement, mais également à déterminer si la période d'échantillonnage de l'eau (au début, à mi-pluie ou en fin de pluie) pouvait influencer sur les résultats. L'analyse début/mi/fin de pluie a montré si peu de différences dans les résultats que, l'année suivante, en 2000, les échantillonnages n'ont eu lieu qu'en début et fin de pluie, alors qu'en 2001 et 2002 ils ont plutôt été effectués en fin d'épisode.

Les échantillons ont été prélevés par immersion des contenants d'échantillonnage dans l'eau, en prenant garde de ne pas perturber les sédiments; l'ouverture des contenants était placée face au courant, à environ 60 % de la profondeur totale. Les échantillons ont été conservés à 4 °C, dans une glacière, durant leur transport au laboratoire.

Les sédiments de fond ont été récoltés à la truelle, sous la couche d'eau et de débris végétaux morts, sur une épaisseur n'excédant pas 5 cm. Les échantillons ont été conservés à 4 °C jusqu'à leur acheminement au laboratoire.

Afin d'implanter, de caractériser et de comparer la reprise végétale pour chaque section, trois quadrats d'un mètre carré ont été inventoriés à l'intérieur de chaque section afin de déterminer la hauteur moyenne des plants (évaluée visuellement), le nombre de tiges par mètre carré et le pourcentage de recouvrement selon l'échelle de Braun-Blanquet (1964). La position des quadrats a été choisie de manière à couvrir de façon représentative la densité des peuplements végétaux. Les quadrats ont par ailleurs été marqués à l'aide d'un ruban afin de les retracer d'une année à l'autre et d'éviter de prélever ultérieurement aux mêmes endroits. Aux fins de l'analyse chimique, un seul individu a été prélevé par quadrat, pour un total de trois plants prélevés par section. Les spécimens ont fait l'objet d'une attention particulière afin de les débarrasser de toute trace de sédiments (particulièrement dans la région du rhizome), et ainsi éviter les risques de contamination. Au laboratoire, les plants ont été séchés (à l'intérieur d'une étuve maintenue à 60 °C, pendant 24 heures), pesés, séparés en deux parties (tige et rhizome), puis broyés.

Les paramètres retenus au cours du projet de même que les méthodes utilisées pour toutes les analyses sont présentés dans Sérodes et Taillon (2003).

RÉSULTATS

Eau

L'analyse des résultats d'échantillonnage de l'eau porte sur les données amassées depuis 1999. Par souci d'uniformité, les données retenues pour cette analyse sont celles recueillies à la fin d'octobre ou au début de novembre de chaque année (1999 à 2002) (tableau 2).

La comparaison des moyennes des concentrations de 1999 à 2002 aux points d'échantillonnage représentant les apports diffus (F et G) et ponctuels (A et D) a permis de conclure que :

- les moyennes des apports en azote, phosphore, solides en suspension, de la conductivité et

des chlorures aux points d'apport diffus sont supérieures à celles des points d'apport ponctuels;

- le manganèse (formes totale et dissoute) ainsi que le zinc montrent, aux points d'apport diffus, des moyennes inférieures à celles des points d'apport ponctuels.

L'aménagement des marais a eu un effet positif sur la qualité de l'eau comparativement à la situation qui prévalait auparavant, comme l'a montré l'analyse des données brutes (tableau 2). En 1999 (avant l'aménagement), les apports n'étaient pas modifiés par les conditions existantes, donc aucune efficacité n'était observée. Après l'aménagement (en 2000), il y a eu diminution des concentrations pour les paramètres suivants : azote, phosphore, fer et manganèse. En 2001, la diminution demeure pour ces paramètres, auxquels s'ajoutent la conductivité, les chlorures et le zinc.

L'efficacité du rabattement s'est aussi améliorée avec le temps pour les chlorures, le chrome, le fer, le manganèse et le zinc, ainsi que le montre le tableau 3. Ce dernier, présente pour chaque marais les paramètres pour lesquels l'efficacité s'est accrue en fonction du temps, de même que ceux pour lesquels le temps n'a pas permis d'améliorer l'efficacité de rétention des marais.

Il appert que les marais DE et FG sont ceux qui ont accru leur efficacité de traitement avec le temps pour le plus grand nombre de paramètres (total de 7). Les chlorures, le chrome, le fer, le manganèse et le zinc y ont subi une épuration croissante. Le manganèse montre la même tendance pour les trois autres marais, voyant partout sa rétention s'améliorer avec le temps. Les principaux paramètres pour lesquels il n'y a pas eu (ou très peu) d'augmentation d'efficacité avec le temps dans tous les marais sont le plomb et le phosphore. Il est intéressant de noter que, plus le temps passe, plus l'efficacité des marais nouvellement aménagés à retenir les polluants s'étend à davantage de paramètres. Le marais GC

présente des données trop atypiques en 2002 pour nous permettre de formuler une conclusion quant à l'évolution de son efficacité dans le temps.

Pour les apports ponctuels, les marais de type AC ou BC présentent les taux d'enlèvement les plus élevés, suivis de AB pour les paramètres polluants, notamment le manganèse et le phosphore. Dans le cas des apports diffus, le marais GC s'avère plus efficace que FG. Il semble donc que les marais avec fosse latérale de sédimentation (marais FG) ne soient pas aussi performants que ceux comportant seulement une bande de végétation.

L'efficacité globale des six types de marais (AB, BC, AC, DE, FG, GC) a été établie en utilisant les données de 2000 et 2001 (le marais DE ayant été abandonné en 2002 à la suite des travaux du MTQ) présentées dans Sérodes et Taillon (2003). Pour chaque paramètre mesuré, on a classé les marais selon un ordre d'efficacité décroissante (tableau 4).

En accordant un poids à chaque marais en fonction de son occurrence aux différents rangs présentés au tableau 4 (6 points sont accordés à la première place et 1 point pour le sixième rang), on obtient la matrice suivante (tableau 5).

Il ressort que, globalement, pour tous les paramètres, le marais AC est le plus efficace, ce fait étant principalement attribuable à l'aménagement de sa partie BC. En ordre décroissant d'efficacité suivent les marais GC, DE, AB et FG. Rappelons que DE est un marais semblable à BC, mais sous-dimensionné par rapport à ce dernier. Il semble donc que l'aménagement de GC soit supérieur à celui du marais AB et semblable à celui du marais DE. Pour les marais à apport diffus, GC est supérieur à FG quant à son efficacité pour rabattre les polluants.

SÉDIMENTS

Les matières en suspension ayant décanté dans les marais à apport ponctuel présentent des

Tableau 2 : Résultats d'analyse de l'eau : données brutes (n = 3)

	A				D				E			
	1999	2000	2001	2002	1999	2000	2001	2002	1999	2000	2001	2002
Azote total Kjeldhal (mg/l N)	0,77	1,2	1,1	0,8	0,79	1,5	0,9	nd	0,93	1	1,6	nd
Phosphore total (mg/l P)	0,04	0,16	0,06	0,15	0,07	0,12	0,09	nd	0,05	0,04	0,11	nd
SS totaux (mg/l)	3	7	16	18	2	5	34	nd	4	6	52	nd
Conductivité (uS/cm)	2100	4300	5600	5100	1900	4600	7500	nd	1900	4400	5400	nd
Chlorures (mg/l Cl)	nd	1100	1600	2600	nd	1300	1900	nd	nd	1100	1200	nd
Chrome (mg/l Cr)	0,001	0,02	0,007	0,01	0,001	0,02	0,009	nd	0,001	0,02	0,008	nd
Cuivre (mg/l Cu)	0,01	0,01	0,011	0,01	0,009	0,01	0,03	nd	0,009	0,01	0,015	nd
Fer (mg/l Fe)	0,41	0,6	0,78	0,97	0,44	0,36	1,6	nd	0,5	0,29	0,08	nd
Manganèse (mg/l Mn)	0,05	0,11	0,32	0,12	0,14	0,11	0,49	nd	0,08	0,03	0,06	nd
Manganèse dissous (mg/l Mn)	nd	nd	0,13	0,09	nd	nd	0,4	nd	nd	nd	0,06	nd
Plomb (mg/l Pb)	0,001	0,05	0,005	0,05	0,001	0,05	0,016	nd	0,002	0,05	0,02	nd
Zinc (mg/l Zn)	0,04	0,04	0,049	0,03	0,02	0,01	0,033	nd	0,02	0,02	0,013	nd
C ₁₀ -C ₅₀ (ug/l)	nd	nd	100	200	nd	nd	100	nd	nd	nd	100	nd
	B				F				G1			
	1999	2000	2001	2002	1999	2000	2001	2002	1999	2000	2001	2002
Azote total Kjeldhal (mg/l N)	nd	1,2	0,9	0,5	nd	nd	0,7	1,4	nd	nd	0,9	1,5
Phosphore total (mg/l P)	nd	0,07	0,08	0,09	nd	nd	0,08	0,23	nd	nd	0,04	0,22
SS totaux (mg/l)	nd	12	16	11	nd	nd	4	31	nd	nd	8	29
Conductivité (uS/cm)	nd	3800	4500	4400	nd	nd	7400	5000	nd	nd	7100	4900
Chlorures (mg/l Cl)	nd	940	1200	2200	nd	nd	2100	2700	nd	nd	2100	2500
Chrome (mg/l Cr)	nd	0,02	0,013	0,01	nd	nd	0,002	0,01	nd	nd	0,003	0,01
Cuivre (mg/l Cu)	nd	0,01	0,01	0,01	nd	nd	0,012	0,01	nd	nd	0,01	0,01
Fer (mg/l Fe)	nd	0,59	0,67	0,89	nd	nd	0,12	2,1	nd	nd	0,27	2,4
Manganèse (mg/l Mn)	nd	0,07	0,15	0,05	nd	nd	0,03	0,1	nd	nd	0,07	0,06
Manganèse dissous (mg/l Mn)	nd	nd	0,13	0,04	nd	nd	0,01	0,06	nd	nd	0,02	0,02
Plomb (mg/l Pb)	nd	0,05	0,009	0,05	nd	nd	0,005	0,05	nd	nd	0,003	0,05
Zinc (mg/l Zn)	nd	0,07	0,157	0,05	nd	nd	0,009	0,01	nd	nd	0,011	0,01
C ₁₀ -C ₅₀ (ug/l)	nd	nd	100	230	nd	nd	100	120	nd	nd	100	120
	G2				C1				C2			
	1999	2000	2001	2002	1999	2000	2001	2002	1999	2000	2001	2002
Azote total Kjeldhal (mg/l N)	nd	1,3	1,4	1,3	0,76	0,8	0,8	0,7	nd	nd	1,3	1,7
Phosphore total (mg/l P)	nd	0,11	0,14	0,17	0,07	0,05	0,09	0,09	nd	nd	0,06	0,24
SS totaux (mg/l)	nd	33	8	13	24	5	20	24	nd	nd	11	26
Conductivité (uS/cm)	nd	6600	8000	5300	2000	3500	4200	4500	nd	nd	7000	4800
Chlorures (mg/l Cl)	nd	1800	2200	2700		860	1000	2100	nd	nd	1600	2400
Chrome (mg/l Cr)	nd	0,02	0,004	0,01	0,001	0,02	0,005	0,01	nd	nd	0,004	0,02
Cuivre (mg/l Cu)	nd	0,01	0,025	0,01	0,009	0,01	0,007	0,01	nd	nd	0,019	0,04
Fer (mg/l Fe)	nd	0,27	0,36	0,9	0,44	0,37	0,82	0,91	nd	nd	0,31	3,9
Manganèse (mg/l Mn)	nd	0,13	0,5	0,06	0,14	0,07	0,13	0,04	nd	nd	0,02	0,35
Manganèse dissous (mg/l Mn)	nd	nd	0,01	0,03	nd	nd	0,02	0,02	nd	nd	0,01	0,16
Plomb (mg/l Pb)	nd	0,05	0,004	0,05	0,001	0,05	0,005	0,05	nd	nd	0,005	0,05
Zinc (mg/l Zn)	nd	0,01	0,015	0,01	0,02	0,04	0,047	0,05	nd	nd	0,016	0,06
C ₁₀ -C ₅₀ (ug/l)	nd	nd	100	100	nd	nd	nd	150	nd	nd	100	140

Tableau 3 : Évolution dans le temps de l'efficacité des marais

Marais	Augmentation de l'efficacité avec le temps	Peu ou pas d'augmentation de l'efficacité avec le temps
AB	N, SS, Fe, Mn	P, Cond., Cl, Cr, Pb, Zn, C ₁₀ -C ₅₀
BC	Mn, Zn, C ₁₀ -C ₅₀	N, SS, Cond., Cl, Cr, Cu, Fe, Pb
AC	Cond., Cl, Mn, C ₁₀ -C ₅₀	N, P, SS, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn
DE	Cond., Cl, Cr, Cu, Fe, Mn, Zn	N, P, SS, Pb, C ₁₀ -C ₅₀
FG	N, SS, Cl, Cr, Fe, Mn, Zn	P, Cond., Cu, Pb, C ₁₀ -C ₅₀

Tableau 4 : Efficacité relative des marais, par paramètre

Paramètre	Ordre décroissant d'efficacité (rangs 1, 2, 3, 4, 5, 6)
N	AC>BC>AB>GC>FG>DE
P	FG=GC>DE>BC>AC>AB
SS	AB>BC>AC>GC>FG=DE
Conductivité	AC>AB>BC>GC=DE>FG
Cl	AC>AB>DE>BC>GC>FG
Cr	BC>AC>DE>GC>AB=FG
Cu	AC>DE>BC>GC>FG>AB
Fe	DE>AB>AC>BC=GC>FG
Mn	GC>DE>AC=AB>BC>FG
Pb	BC=FG>AC>GC>DE>AB
Zn	BC>DE>AC=FG=GC>AB
C ₁₀ -C ₅₀	AC>BC=FG=GC=DE>AB

Tableau 5 : Matrice classant les marais en fonction de leur efficacité

Marais	Rang						Score
	1	2	3	4	5	6	
AB	1	3	2	0	1	5	36
BC	3	3	2	3	1	0	52
AC	5	1	5	0	1	0	57
FG	2	0	2	0	3	5	31
GC	2	1	0	8	1	0	43
DE	1	3	3	1	2	2	42

concentrations généralement plus élevées en arsenic, cadmium, chrome, cuivre, manganèse, azote, phosphore, plomb et zinc que celles des marais à apport diffus (tableau 6). Les matières en suspension apportées par les eaux de ruissellement pendant la durée du projet de recherche (2000 à 2002) sont systématiquement plus riches que les sédiments de fond en azote, cadmium, étain, manganèse et zinc (tableau 7). Compte tenu que l'eau sortant des

marais est appauvrie en azote, phosphore, fer, manganèse et zinc, l'efficacité des marais à retenir divers éléments est donc particulièrement marquée pour l'azote, le manganèse et le zinc. On constate par ailleurs une accumulation d'arsenic, de phosphore et de matières organiques dans les sédiments de fond.

Étant donné qu'en règle générale les concentrations des métaux dans les sédiments de fond sont très inférieures aux critères restrictifs du

MENV (1999) ou d'Environnement Canada et du MENV (1992) relatifs à l'élimination des sédiments, il n'y a pas d'inquiétude à entretenir en ce qui a trait à l'entretien périodique des fossés, du moins à moyen terme. En ce qui concerne une augmentation de la contamination des sédiments de fond avec le temps ou une baisse des capacités épuratoires des marais, seule une étude de suivi s'étalant sur plusieurs années pourrait permettre de statuer sur ces questions.

Soulignons que les résultats des moyennes à tous les sites d'échantillonnage des concentrations des sédiments de fond ont montré en 1999 qu'à Boucherville les métaux dominants étaient le fer, le manganèse, le zinc, le chrome et le cuivre; cela illustre l'impact du remplacement du plomb par le manganèse dans l'essence. En 2001 et 2002, les moyennes des concentrations des matières sédimentées montrent la même tendance : fer dominant, suivi du zinc (en 2002) ou du manganèse (en 2001), le chrome venant en 4^e place et le plomb au 5^e rang.

PLANTES

La comparaison des capacités de phytoextraction des deux espèces de plantes (typhas et phragmites) présentes à la fois dans les marais AB et FG (tableau 8) montre que les typhas s'avèrent supérieurs aux phragmites pour retenir les métaux, surtout le sodium, le manganèse et le chrome, tandis que les phragmites supplantent les typhas pour le cuivre uniquement. Ces tendances sont corroborées par Scholes *et al.* (1998) qui ont également constaté la capacité des typhas à accumuler davantage le chrome et celle des phragmites à retenir le cuivre. Scholes *et al.* (1999) ont aussi mis en évidence une variation saisonnière des concentrations des métaux dans les tissus végétaux de phragmites et de typhas. Ils ont par ailleurs démontré que le typha contient de plus grandes concentrations de métaux que le phragmite au printemps et en été, alors qu'en automne et en hiver les concentrations de métaux sont supérieures chez le phragmite.

Tableau 6 : Qualité des matières en suspension sédimentées en 2001 et 2002 par rapport aux sédiments de fond (n = 3)

Paramètres	Sédiments de fond 1999 (avant l'aménagement)					Matières en suspension sédimentées en 2001					Matières en suspension sédimentées en 2002				
	Marais AB	Marais BC (1)	Marais DE	Marais FG (2)	Marais GC (3)	Marais AB	Marais BC (1)	Marais DE	Marais FG (2)	Marais GC (3)	Marais AB	Marais BC (1)	Marais DE	Marais FG (2)	Marais GC (3)
Azote total Kjeldhal (mg/kg N)	970	3200	2100	790	1500	3400	3700	nd	2700	2600	3400	6100	nd	2100	3200
Phosphore total (mg/kg P)	670	2000	1400	730	1100	850	860	nd	750	770	930	1100	nd	780	820
Perte au feu (%)	9,8	14	11,9	8,1	10,5	12	9,6	nd	7,1	5,9	12	19	nd	7	10
Arsenic extractible (mg/kg As)	4,6	3,5	4,2	3,4	3,7	3,3	3,4	nd	2,3	3,4	3,9	3,9	nd	3	3,1
Cadmium extractible (mg/kg Cd)	0,6	0,4	0,6	<0,2	0,3	0,83	0,62	nd	0,27	0,13	1,1	1,3	nd	0,1	0,36
Chrome extractible (mg/kg Cr)	51	93	93	110	98	120	100	nd	78	110	153	163	nd	147	117
Cuivre extractible (mg/kg Cu)	49	56	64	51	56	110	67	nd	45	52	130	110	nd	58	64
Étain (mg/kg Sn)	10	10	7	10	10	< 3	< 3	nd	< 3	< 3	23	17	nd	20	21
Fer extractible (mg/kg Fe)	31000	33000	47000	52000	34000	35000	33000	nd	22000	32000	33000	31000	nd	37000	41000
Manganèse extractible (mg/kg Mn)	310	560	730	570	410	650	580	nd	670	480	620	580	nd	780	860
Nickel extractible (mg/kg Ni)	32	49	53	59	63	50	54	nd	58	43	55	59	nd	63	61
Plomb extractible (mg/kg Pb)	120	92	210	20	48	180	100	nd	19	22	220	200	nd	22	55
Zinc extractible (mg/kg Zn)	270	490	280	110	150	960	640	nd	150	140	1200	1100	nd	130	430
Huiles et graisses totales (mg/kg)	2600	1100	6400	<100	1900	2700*	760*	nd	< 450*	< 350*	1700	1500	nd	<100	280

* En 2001, l'analyse a porté sur les hydrocarbures C₁₀-C₅₀.

ND : non disponible

(1) C1 a été échantillonné

(2) G1 a été échantillonné

(3) G2 et C2 ont été échantillonnés

Les marais AB, BC et DE sont à apport ponctuel, tandis que les FG et GC sont à apport diffus.

Tableau 7 : Composition des matières en suspension ayant décanté dans les marais comparativement aux sédiments de fond présents sur le site avant l'aménagement

Marais	Concentrations supérieures aux sédiments de fond	Concentrations équivalentes ou variables	Concentrations inférieures
AB	N, P, matière organique, Cd, Cr, Cu, Sn, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn	—	As
BC	N, Cd, Cu, Sn, Ni, Pb, Zn, H et G	As, Fe, Mn	P, matière organique
DE	-	-	-
FG	N, Cd, Mn, Zn	P, Cr, Cu, Sn, Ni, Pb, H et G	Matière organique, As, Fe
GC	N, Cr, Sn, Fe, Mn, Zn	Cd, Cu, Pb	P, matière organique, As, Ni, H et G

Tableau 8 Capacité d'extraction relative des végétaux (typhas et phragmites)

Paramètre	Typha versus Phragmite (T vs P)
P	T=P
Cd	T=P
Cr	T>P
Cu	P>>T
Fe	T=P
Mn	T>>P
Ni	T=P
Pb	T=P
Na	T>>>>P
Zn	T=P

CONCLUSION

Le type de fossé avec végétation présent naturellement dans les échangeurs et le long des autoroutes du Québec n'a que peu d'efficacité pour assurer la rétention des polluants présents dans les eaux de ruissellement. Ainsi, l'approche expérimentale utilisée, soit celle de conserver la forme linéaire des fossés en place, a permis d'évaluer la performance de plusieurs types de marais soumis à des apports diffus ou ponctuels d'eaux de ruissellement. Les aménagements de marais linéaires sont moins coûteux que des infrastructures creusées de grandes dimensions. Ils ont l'avantage de bien s'intégrer dans le paysage et de ne pas créer de discontinuité trop visible. De plus, ils sont efficaces sur le plan de l'assainissement des effluents routiers. Les marais constitués d'une bande de végétation sont particulièrement efficaces pour retenir les contaminants en solution, notamment le manganèse, l'azote et même les sels de déglacage.

En règle générale, dans les aménagements, il y a tout intérêt à favoriser le typha plutôt que le phragmite, d'autant que ce dernier est très envahissant. Il ressort clairement de l'analyse du contenu en métal de ces deux plantes qu'elles ont des aptitudes très différentes à retenir et à assimiler ces éléments. En effet, l'absorption de sodium et de manganèse, les deux métaux sol-

ubles les plus présents dans l'eau de ruissellement, confère au typha des capacités épuratoires très supérieures à celles du phragmite, ce dernier ne manifestant qu'une aptitude à retenir le cuivre. Pour les autres éléments (notamment le phosphore) et les autres métaux, la capacité de rétention des deux plantes est équivalente. Le fait que le typha soit plus tolérant que le phragmite à la présence continue d'une profondeur d'eau de 10 à 20 cm (Fleurbec 1987) peut favoriser l'utilisation du typha, à condition de placer, lors de l'aménagement, des seuils rudimentaires assurant cette présence d'eau en période humide.

La présence d'une fosse de sédimentation se justifie seulement dans les cas d'apports ponctuels où l'eau est susceptible de véhiculer des quantités importantes de matières en suspension et de sable provenant de l'érosion de terrains dénudés. Dans ces cas, la fosse doit être aménagée pour permettre son entretien avec de la machinerie. À la lumière des résultats de ce projet, il appert que les fossés naturels déjà colonisés devraient être préservés et qu'en plus on devrait, chaque fois que cela est possible, les élargir et en densifier la végétation par plantation de typhas, au besoin.

À la conception du présent projet, une largeur expérimentale de trois mètres a été choisie pour l'aménagement des bandes de végétation pour les marais à écoulement longitudinal. Rien cependant ne permet de conclure que cette largeur est optimale pour l'épuration des eaux de ruissellement autoroutières. Il serait pertinent de poursuivre la recherche en ce sens afin d'en arriver à proposer des largeurs de fossés adaptées aux diverses contraintes locales comme : la superficie du bassin versant, le type d'apport (ponctuel ou diffus), les débits, la longueur d'autoroute considérée, etc. L'application de ce concept devra être conciliable avec les normes de construction en vigueur de façon à implanter de nouveaux aménagements épuratoires tout en assurant un bon écoulement des eaux de ruissellement. Il va

de soi que la mise en place de bandes riveraines de végétation devra être intégrée dès la conception dans le cas de tronçons de routes nouvelles ou en réfection.

BIBLIOGRAPHIE

- BRAUN-BLANQUET, J., 1964. *Pflanzensoziologie : Grundzüge der Vegetationskunde*, 3^e éd., Springer-Verlag, Vienne, xiv-865 p.
- ENVIRONNEMENT CANADA (CENTRE SAINT-LAURENT) ET MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC, 1992. *Critères intérimaires pour l'évaluation de la qualité des sédiments du Saint-Laurent*, 23 p.
- FLEURBEC, 1987. *Plantes sauvages des lacs, rivières et tourbières : guide d'identification Fleurbec*, Saint-Augustin, Qué., Fleurbec éditeur, 399 p.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC, 1999. *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*, Les Publications du Québec, VIII-124 p.
- MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC, 1994. *Normes, ouvrages routiers*, tome VI « Entretien », dernière mise à jour 2002-05-15, s. p.
- MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC, 1998. *Débit de circulation journalier moyen annuel 1995*, cartes produites par le Service de la géomatique et de la cartographie, échelles multiples.
- SCHOLES, L., R.B.E. SCHUTES, D.M. REVITT, M. FORSHAW et D. PURCHASE, 1998. « The Treatment of Metals in Urban Runoff by Constructed Wetlands », *The Science of the Total Environment*, 214 : 211-219.
- SÉRODES, Jean-Baptiste et Annie TAILLON, 2003. *Traitement des eaux de ruissellement des autoroutes par marais épurateurs construits*, xi-p.68, 2 annexes.



L'IMPACT DES RESTRICTIONS DE CHARGE EN PÉRIODE DE DÉGEL

Denis Saint-Laurent, ing. M.Sc., Service des chaussées

Gervais Corbin, ing., Service de la normalisation technique

INTRODUCTION

Il est reconnu mondialement que les conditions climatiques influent de manière importante sur le comportement des chaussées. La capacité des chaussées à supporter les camions lourds est particulièrement critique durant la période de dégel printanier où les sols et fondations sont humides ou imbibés d'eau.

Le ministère des Transports du Québec (MTQ) impose chaque année des restrictions à la masse des véhicules durant le dégel afin de protéger le patrimoine routier. Ces restrictions varient de 6 à 20 % des charges normalement admises selon le type d'essieu.

Elles sont annoncées par arrêté public dans la *Gazette officielle du Québec*, avec l'indication des dates et des zones où la circulation des véhicules est restreinte. Le ministre des Transports peut devancer ou retarder le début ou la fin de la période de dégel en fonction des conditions climatiques prévalant chaque année. Les décisions sont prises à partir des lectures d'environ 90 gélomètres ayant permis à la base d'établir trois zones climatiques respectant les principaux axes de déplacement est-ouest (figure 1).

Les restrictions de charge en période de dégel (RCD) sont appliquées dès que le dégel atteint une profondeur moyenne de 300 mm et sont levées cinq semaines après qu'il a atteint une profondeur de 900 mm. Les dates varient légèrement d'une année à l'autre et correspondent approximativement à ce qui suit :

Zone 1 : 15 mars au 12 mai – 58 jours (8,3 semaines)

Zone 2 : 21 mars au 19 mai – 59 jours (8,4 semaines)

Figure 1 : Zones d'application des restrictions de charge au dégel (RCD)



Zone 3 : 24 mars au 25 mai – 62 jours (8,9 semaines)

Les paramètres associés aux RCD sont basés sur des critères empiriques et leur impact n'a jamais fait l'objet d'une évaluation technico-économique très détaillée. Une étude a récemment été effectuée pour tenter de répondre aux questions les plus fréquentes et évaluer l'impact de ces restrictions. Les impacts économiques associés au maintien ou à la levée des RCD ont été évalués en comparant les deux aspects suivants :

- l'économie de l'industrie ayant recours au transport routier des marchandises;
- les coûts applicables au maintien sur les routes d'un niveau d'efficacité équivalant à la situation actuelle.

IMPACTS SUR L'ÉCONOMIE DE L'INDUSTRIE RELIÉE AU CAMIONNAGE

Les restrictions de charge en période de dégel ont un impact sur les coûts de transport par camion

et probablement sur la position concurrentielle des entreprises québécoises. La firme CAMTECH Consultants inc. a reçu le mandat de réaliser une étude visant à évaluer les impacts des RCD sur l'économie de l'industrie reliée au camionnage et s'est associée au Groupe Conseil GENIVAR pour réaliser l'étude (1).

Les objectifs sont : de recueillir les points de vue des transporteurs et des expéditeurs pour ce qui est des impacts sur les coûts, la logistique ainsi que leur position concurrentielle; de quantifier les coûts de camionnage attribuables aux RCD; de déterminer les principaux secteurs d'activité économique affectés; d'évaluer ces impacts selon les segments de marché; d'estimer le tonnage des marchandises visées par les restrictions de charge, de même que les configurations de véhicules correspondantes.

Enquête qualitative

Une enquête qualitative à l'aide de questionnaires et de groupes de discussions a été réalisée pour déterminer la nature des impacts des RCD sur les entreprises québécoises, évaluer certains

problèmes et obtenir des informations spécifiques à des industries, configurations ou marchandises particulières.

Les questionnaires écrits ont été transmis par les associations sectorielles d'affaires à plus de 600 expéditeurs et transporteurs. Un total de 45 questionnaires ont été remplis par des transporteurs pour compte d'autrui et 6 questionnaires par les expéditeurs ou transporteurs pour compte propre. Les réponses portent sur un parc de 2434 véhicules, soit 2,3 % du parc québécois total et 10 % de celui du transport pour compte d'autrui. Ces réponses ne peuvent être assimilées à un échantillon représentatif au sens statistique. De plus, les répondants se trouvent parmi les entreprises les plus touchées.

Des informations utiles ont quand même été obtenues. L'enquête a permis d'établir, par exemple, qu'une grande partie (84 %) des entreprises répondantes se sont dites affectées par la réglementation des charges en période de dégel. Globalement, 82 % des entreprises interrogées ont indiqué qu'elles effectuaient des expéditions plus nombreuses pour livrer un tonnage équivalent ou semblable à celui de la période normale. Un peu moins du tiers (31 %) disent utiliser une configuration spécifique différente en période de dégel. Les semi-remorques à 4 essieux sont souvent achetées et utilisées en raison des RCD. Dans la plupart des cas (93 %), les expéditeurs n'effectuent pas d'entreposage, les coûts étant trop élevés. Dans certains secteurs où les produits sont indivisibles, comme les métaux, la réduction réelle de charge payante est plus importante que la diminution de la charge maximale. Dans certains marchés de grandes entreprises, la charge maximale en période de dégel est la charge transportée à l'année. Ainsi, pour ces cas, le coût du transport est réparti uniformément sur l'ensemble des livraisons au cours de l'année. Enfin, plusieurs ont indiqué que le contrôle routier devrait être resserré afin de favoriser une saine concurrence à l'intérieur de l'industrie du camionnage.

Estimation des impacts sur l'industrie

Un modèle a été développé pour l'estimation

de l'impact, global et subdivisé. Le modèle s'appuie, d'une part, sur l'estimation du nombre de déplacements supplémentaires occasionnés pour les différentes configurations les plus affectées et, d'autre part, sur le coût moyen de tels déplacements supplémentaires. Les principales sources de données comprennent la Société d'assurance automobile du Québec, les données de l'enquête du Conseil canadien des administrateurs en transport motorisé (CCATM) réalisée en 1995, Statistique Canada, les résultats du modèle de Trimac, les estimations de Gonthier quant au parc de véhicules, les marchés, les types de transporteurs et les coûts à partir de différentes sources et finalement l'Institut de la statistique du Québec (ISQ) et des données d'autres sources comme Couture et Forêts Québec.

Le modèle de Camtech/Génivar inclut ces différents éléments : la longueur du déplacement; les coûts variables qui dépendent de celle-ci, soit le coût et l'amortissement du véhicule, les intérêts, le salaire du chauffeur pendant le roulement, le coût du carburant, l'usure des pneus, l'entretien et l'assurance; les coûts fixes, soit le salaire du chauffeur pendant le chargement et le déchargement, le coût fixe d'entretien, l'immatriculation, l'administration et les frais généraux; et finalement les bénéfices, selon un ratio d'exploitation de 95 %.

Le marché du camionnage au Québec était estimé à 7,5 milliards de dollars pour l'année de référence 1997, dont 4,0 milliards pour le compte propre et 3,5 milliards pour le compte d'autrui. Les grands transporteurs occupent les trois quarts du marché du transport pour le compte d'autrui. L'activité du camionnage représenterait ainsi 2,2 % du produit intérieur brut (PIB) du Québec.

Les industries produisant les marchandises les plus denses sont les plus affectées par la réglementation de charges en vigueur pendant le dégel. L'industrie du bois et du papier est la plus affectée, suivie ou devancée dans plusieurs cas par les aliments et les boissons (plus précisément les boissons). Les bois et le papier comptent pour 30 % des déplacements à charge maximale, alors que les

aliments et les boissons représentent 20 % des déplacements à charge maximale en période normale.

Les entreprises dont les activités sont principalement axées sur l'exploitation des matières premières tendent à être les plus pénalisées. D'une part, la production consiste en des matières pondéreuses comme le bois, le minerai et les métaux. D'autre part, ces transporteurs doivent parfois traverser plusieurs zones, voyageant beaucoup dans l'axe nord-sud, ce qui peut rallonger la période effective de restriction jusqu'à dix semaines.

L'étude a pris en compte des facteurs de saisonnalité, c'est-à-dire comment la demande des industries utilisatrices de transport varie en période de dégel par rapport au reste de l'année. Il appert que le transport du vrac fonctionne en période de dégel à 16 % de son niveau de la période normale, alors que pour le transport du bois en longueur les volumes moyens transportés en période de dégel représentent 42 % des volumes moyens en période normale. Les livraisons de l'industrie forestière sont sensiblement plus élevées en période de dégel qu'en période normale. Pour la période de mars à mai, la valeur des expéditions de produits du bois est de 9,8 % supérieure à la moyenne mensuelle alors que celle du papier est de 3,4 % supérieure, ce qui résulte en un surplus de l'ordre de 5,8 % pour le bois et le papier. La valeur des expéditions de produits chimiques est plus élevée de 5,9 % en période de dégel par rapport à un mois moyen de l'année.

Le coût annuel des RCD est estimé à 40,3 M\$ pour l'année de référence 1997. Ce coût correspond à l'impact de l'augmentation du nombre de déplacements déterminé à l'aide du modèle ainsi qu'à la compensation pour le transport du lait et le transport hors norme (2,7 M\$) dont les coûts ont été évalués hors modèle. Il n'inclut pas l'effet des indivisibles, ni les effets sur les chargements en période normale qui doivent s'ajuster sur la période de dégel. L'impact sur le transport urbain n'est pas entièrement inclus mais son effet est marginal. Le coût annuel des RCD comprend l'effet saisonnier de

la demande, ce qui a pour conséquence de réduire les estimations combinées de 9,2 M\$. Les restrictions affectent principalement les marchés intraprovincial interurbain (30 %), interprovincial (45 %) et international (25 %).

Deux configurations, les camions à 5 et 6 essieux, sont particulièrement touchées en raison du plus grand nombre de camions de ce type et de la proportion de déplacements concernés. Ces deux configurations représentent chacune environ un tiers du coût total. Trois groupes de marchandises se voient attribuer les deux tiers du coût total : les aliments et boissons (8,7 M\$), le bois et papier (8,4 M\$), les métaux (4,1 M\$). Pour les métaux et autres produits indivisibles, l'impact des restrictions pourrait être sous-estimé.

L'impact de 2,7 M\$ sur le transport hors normes est important compte tenu qu'il représente 6,7 % de l'impact total estimé et que la proportion du transport hors normes dans l'activité globale du transport routier est minime. Les coûts supplémentaires découlant de la période de dégel dans ce secteur d'activité sont divisés en trois parties : machinerie lourde, grues et véhicules indivisibles et coût d'achat des permis spéciaux. L'estimation concerne uniquement les coûts supplémentaires engendrés par la réglementation différente en période de dégel. Le coût pour la machinerie lourde est estimé à 1,6 M\$ tandis qu'il est de 1,1 M\$ pour les grues.

L'impact global estimé représente 0,7 % du marché annuel québécois du camionnage et 3,7 % du chiffre d'affaires de cette industrie en période de dégel.

L'AGRESSIVITÉ DU TRAFIC LOURD

Le modèle de trafic lourd servant de base à l'étude des chaussées a été décrit dans un bulletin précédent (2). Il tient compte du fait qu'environ un quart seulement des déplacements se font à la limite de la charge maximale permise par groupe d'essieux.

Les RCD actuelles se traduisent par une agressivité moyenne par camion de 22 % inférieure à ce qu'elle est durant la période dite normale de l'été et de l'automne. Ces RCD (6 à 20% de la masse selon le type d'essieu) conduisent à la même réduction d'agressivité qu'une restriction de l'ordre de 15% appliquée à tous les essieux. Il s'avère aussi que le nombre de déplacements (camions-kilomètres) est d'environ 20,5 % plus faible durant cette période. On trouve très peu de camions à benne basculante étant donné que les travaux de déneigement sont terminés, tandis que les chantiers de construction ne sont pas encore démarrés. La résultante entre ces deux composantes (charges et nombre de camions) se traduit par une agressivité moyenne journalière en période de dégel équivalente à seulement 60 % de celle de la période normale.

On peut dire qu'une éventuelle abolition des RCD ramènerait l'agressivité moyenne par camion à un niveau similaire à celui de la période normale, mais le modèle ne permet pas de prévoir l'effet sur le nombre de déplacements. L'enquête auprès des transporteurs (1) indique cependant que l'abolition des restrictions de charge se traduirait par une diminution du nombre de déplacements de l'ordre de 7 % puisque les camions pourraient transporter plus de marchandises. En combinant l'effet des masses par essieu avec celui du nombre de déplacements, l'abolition des RCD se traduirait par une augmentation de l'agressivité journalière de l'ordre de 19 % durant les 8 à 9 semaines concernées. Cette valeur doit être ajustée à 18 % pour les routes municipales, considérant que la proportion des camions semi-remorques ne représente que 17,5 % de l'ensemble des camions, comparativement à 70 % sur les routes du MTQ.

IMPACTS SUR LA DÉTÉRIORATION DES CHAUSSÉES

L'étude sur la détérioration des chaussées (3) s'est faite en se basant sur les données d'agressivité du trafic lourd, sur la littérature interna-

tionale, sur l'observation du comportement de sections de chaussées témoins, sur l'analyse théorique étalonnée à partir d'essais de déflexion ainsi que sur les informations disponibles dans les inventaires routiers du MTQ et, dans une certaine mesure, des municipalités.

Revue de la littérature

Toutes les agences routières du monde reconnaissent l'importance de l'affaiblissement des chaussées au dégel et lui attribuent la majeure partie de la détérioration structurale observée. Un grand nombre d'agences imposent des RCD. Aucune ne dispose cependant d'une étude coût-avantage complète, à l'exception de la Norvège qui a présenté les résultats d'une étude très détaillée en 1998 (4). Cela s'explique par la complexité du sujet et le manque de connaissances théoriques ou d'outils appropriés pour mener à bien une telle étude d'impact.

Aux États-Unis, on peut souligner certains travaux exploratoires de l'État de Washington sur lesquels s'appuie la FHWA (Federal Highway Administration) pour suggérer des ajustements de la durée de vie des chaussées. L'État du Minnesota investit beaucoup dans la recherche en mécanique des chaussées et a démarré récemment une nouvelle étude détaillée sur l'impact des RCD.

Un certain nombre d'études indiquent que les dommages durant le dégel printanier représentent environ 30 à 85 % de l'ensemble des dommages qui se produisent durant l'année (5, 6, 7, 8, 9, 10).

Observation de la dégradation de sections témoins (suivis de performance)

L'évolution durant trois années de la fissuration en pistes de roues (attribuable au trafic lourd) est présentée pour deux sections de l'autoroute 10 à la Figure 2 (11).

**Figure 2 : Suivi des dommages saisonniers liés au trafic lourd
Autoroute 10, Fleurimont**

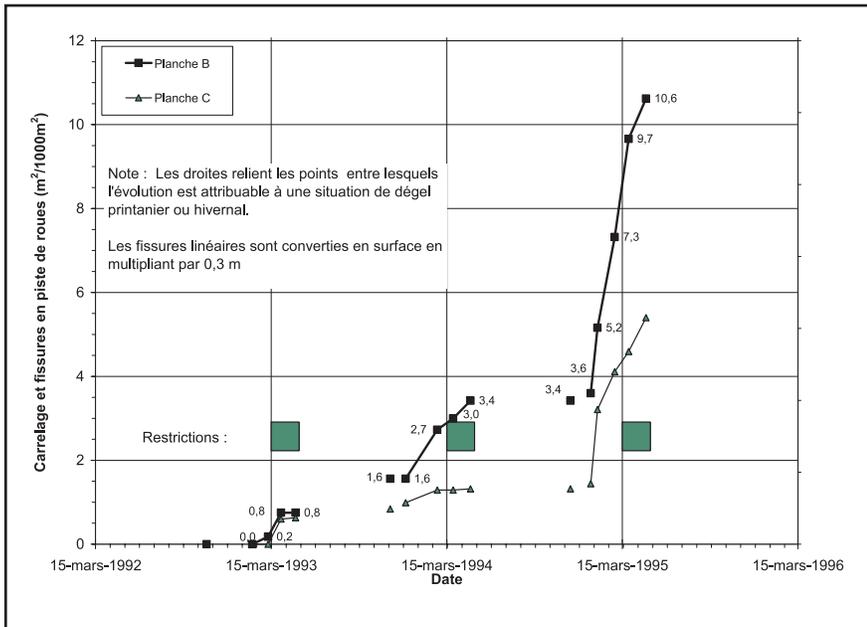
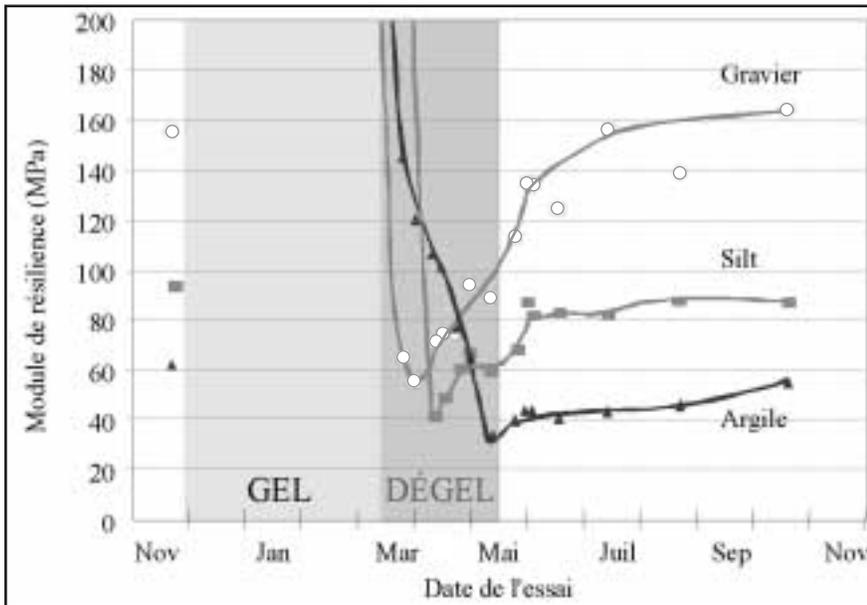


Figure 3 : Variation saisonnière du module des sols et fondations



On peut déduire le dommage printanier de la façon suivante :

Équation 1

$$D_p = \frac{\text{Dommages en période de dégel}}{\text{Dommages totaux}} \approx \frac{\text{Fissuration attribuable au dégel}}{\text{Fissuration totale}}$$

Ces données indiquent qu'environ 35 % des dommages survenus en trois ans ont eu lieu durant la période de restriction printanière et que 56% sont survenus durant des épisodes de dégel qui se sont produits en hiver.

Pour la route 161, à Saints-Martyrs-Canadiens, Doré et Savard (12) indiquent que la fissuration par fatigue visible à la surface évolue 15 fois plus rapi-

dement au dégel que durant l'été, et que les dommages survenus pendant le printemps, l'hiver et l'été sont de 42, 49 et 9 % respectivement

Simulation théorique du comportement structural

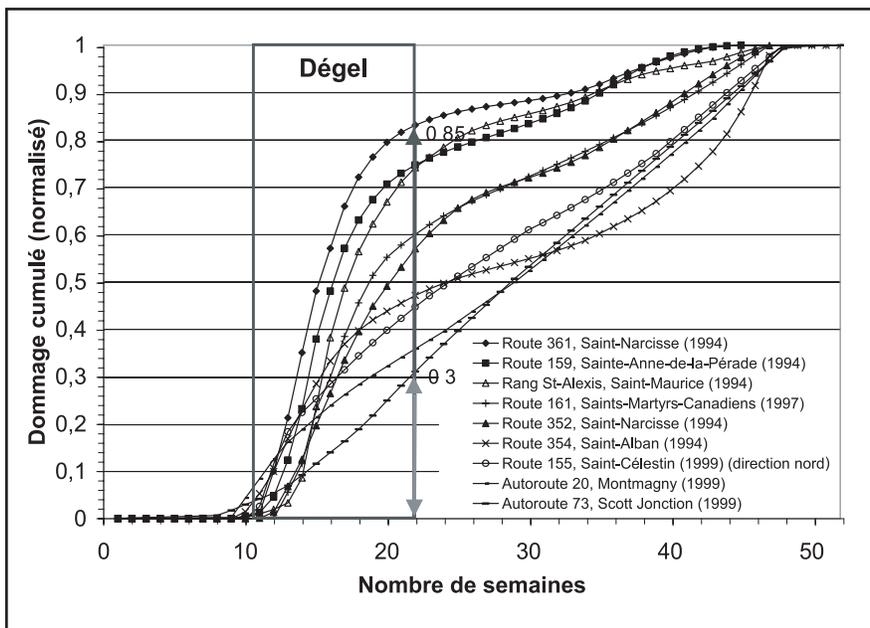
Neufs sites témoins d'une longueur de 150 m, avec un revêtement en enrobé bitumineux de 90 à 210 mm, ont été utilisés pour cette analyse. Les cinq premiers sites ont été choisis et étudiés dans le contexte d'un projet de maîtrise réalisé à l'Université Laval (13). L'analyse des relevés au deflectomètre FWD des quatre derniers sites a été effectuée dans le contexte d'un projet de maîtrise analogue réalisé à l'Université de Sherbrooke (14).

Des relevés de déflexion ont été réalisés périodiquement durant une année, à raison de 2 à 5 relevés par mois durant le dégel et de quelques relevés espacés au cours de la période normale. La figure 3 montre le profil du module de résilience des sols et fondations calculé à rebours à partir des essais de déflexion FWD effectués sur le site témoin du rang Saint-Alexis.

La seconde étape de l'analyse consiste à déterminer l'endommagement structural à l'aide de simulations théoriques. Une approche analytico-empirique basée sur la théorie de l'élasticité et des équations de prévision de l'apparition de fissures de fatigue et d'ornières a été adaptée à cette fin. L'étude a été réalisée pour différents scénarios de restrictions de charges, aussi bien en ce qui concerne l'agressivité des charges journalières que la durée des restrictions. À titre d'exemple, la figure 4 illustre l'ensemble des simulations réalisées pour le cas d'un profil d'agressivité uniforme durant toute l'année.

Il faut noter qu'il y a des effets importants associés aux changements de propriétés des enrobés bitumineux en fonction de la température. Lorsque la température de l'enrobé passe de 40 °C à 0 °C, son module de résilience est augmenté par un facteur 10. En contrepartie, il devient plus " vitreux " ou plus fragile. Ces effets ont été considérés dans les simulations.

Figure 4 : Simulation des dommages structuraux sur les sites témoins



Les simulations ont été simplifiées à un point de calcul pour chaque semaine de l'année, considérant la température moyenne (basée sur 30 années de statistiques météorologiques) régnant chaque semaine. Il n'y a donc pas de dégel d'hiver dans ces simulations. Un exercice de simulation plus détaillé a été effectué séparément en calculant les dommages pour chaque intervalle où la température change de 2 °C et en incluant des épisodes de dégel partiel (14). Il a été conclu que la simplification hebdomadaire est un compromis raisonnable et que les épisodes de dégel hivernaux constituent une variable pouvant fluctuer considérablement d'une année à l'autre.

Le dommage calculé durant la période de dégel est de l'ordre de 30 % à 85 % du dommage total annuel pour un trafic d'intensité égale durant toute l'année. La plage se trouve entre 18 % et 72 % lorsqu'on tient compte du fait que le trafic journalier en période de dégel ne représente que 60 % de l'agressivité journalière en période normale. Ces valeurs sont compatibles avec les indications de la littérature et des relevés visuels.

On voit que les chaussées présentant moins de 40 % d'endommagement printanier se détériorent à peu près aussi rapidement durant l'été et l'au-

tomne que durant le dégel. On peut dire que de telles structures de chaussées sont insensibles au dégel.

La simulation permet aussi d'évaluer une espérance de durée de vie structurale exprimée en nombre de passages de camions ou d'essieux standard admissibles. La valeur intéressante est le pourcentage d'écart de durée de vie obtenu entre les simulations associées à deux scénarios de trafic donnés. On a ensuite constaté que le pourcentage de perte de durée de vie associé à un relâchement des RCD est égal au pourcentage d'augmentation des agressivités multiplié par la portion du dommage attribuée à cette période. La simulation théorique est aussi utile pour certaines études paramétriques, par exemple celles portant sur l'influence de la durée des restrictions ou l'influence des propriétés mécaniques de l'enrobé bitumineux et des autres couches.

Un autre constat important réside dans le fait que le dommage printanier est fonction des propriétés de la chaussée et du sol de support. Les sols les plus sensibles au gel, soit les silts et argiles, sont aussi les plus faibles mécaniquement. Cela implique que la sensibilité ou l'endommagement printanier peut aussi être corrélé avec un

indice de déflexion DIM mesuré au cours d'un seul relevé d'été (figure 5). Les résultats indiqués correspondent cette fois aux simulations faites pour la situation actuelle avec une agressivité printanière à 60 % de la valeur normale.

Estimation des coûts de maintien des chaussées

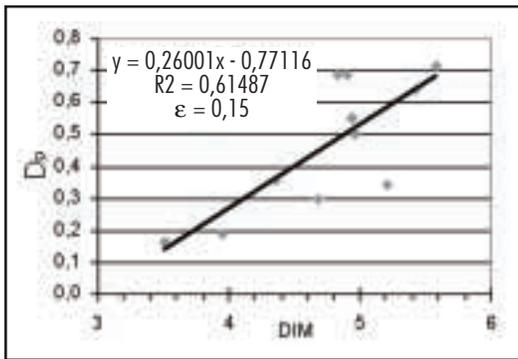
Le MTQ possède un inventaire de données de portance comprenant 80 000 mesures au déflectomètre *dynaflect*, relevées principalement de 1986 à 1988 sur près de la moitié (15 000 km) de son réseau routier. Cet inventaire a été jugé suffisamment représentatif pour les besoins de la présente étude. Les données d'inventaires similaires fournies par quelques municipalités (518 km au total) ont aussi été utilisées pour élargir la portée de l'évaluation à l'ensemble du Québec.

La figure 5 a été utilisée pour déterminer l'endommagement printanier moyen des routes du Québec en fonction de l'indice de déflexion moyen. Le pourcentage de perte de durée de vie associé à l'abolition des RCD est aussi indiqué (tableau 1). Il faut noter que les valeurs extrêmes d'endommagement printanier ont été confinées à l'intérieur d'une plage de 0,3 à 0,85 pour se conformer aux valeurs présentes dans l'ensemble de la littérature et des sites de référence.

Si on prend l'exemple des routes nationales, la perte de durée de vie sera de l'ordre de 12 % (0,19 multiplié par 0,63) si on abolit les RCD. Il faudra donc rénover 12 % de routes nationales en plus par année et ajuster le dimensionnement pour supporter un trafic lourd de 19 % plus agressif. La perte de durée de vie augmentera donc les coûts de 12 %, tandis que l'ajustement du dimensionnement a un impact de moins de 1 %.

Si on considère qu'un kilomètre de route nationale coûte en moyenne 10 000 \$ par année, on évalue l'impact annuel des RCD à 1300 \$ par kilomètre, ou 11,5 M\$/an en considérant que le réseau comprend 8843 km de routes nationales après exclusion des quelque 1100 km qui se

Figure 5 : Corrélation entre le dommage printanier D_p et l'indice de déflexion DIM



détériorent d'eux-mêmes sous l'effet du gel (et ce, même en l'absence de trafic lourd).

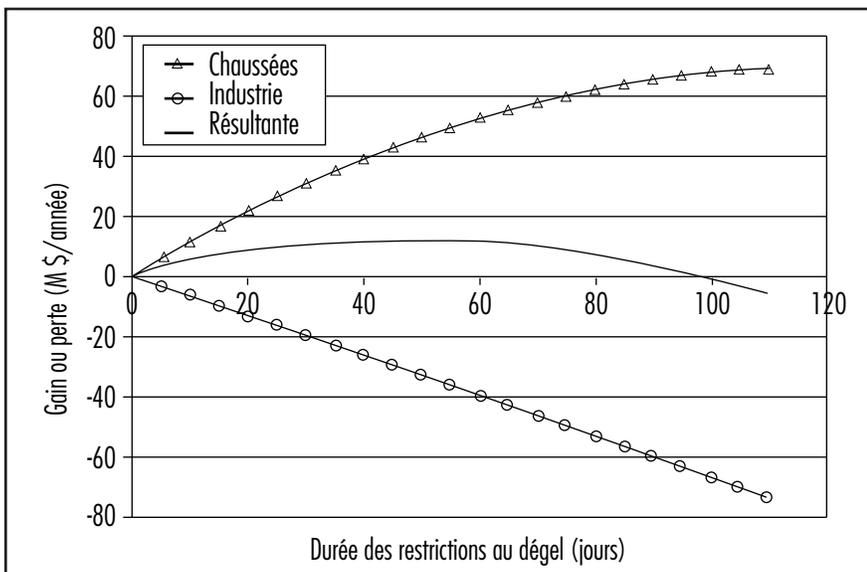
L'impact total d'une levée des restrictions est ainsi estimé à 51,4 millions de dollars par année pour l'ensemble des routes du Québec. Cela comprend 24,4 millions pour les routes du MTQ et un montant de 27 millions pour les routes municipales. Les 24,4 millions ainsi économisés pour les routes du MTQ

représentent 12,8 % du budget octroyé pour la conservation des chaussées en 2000-2001. Il faut noter que les montants retenus ne comprennent pas de facteurs de sécurité puisqu'on vise l'estimation la plus impartiale possible par respect pour les intérêts de l'industrie et des transporteurs.

RÉSULTATS COMBINÉS

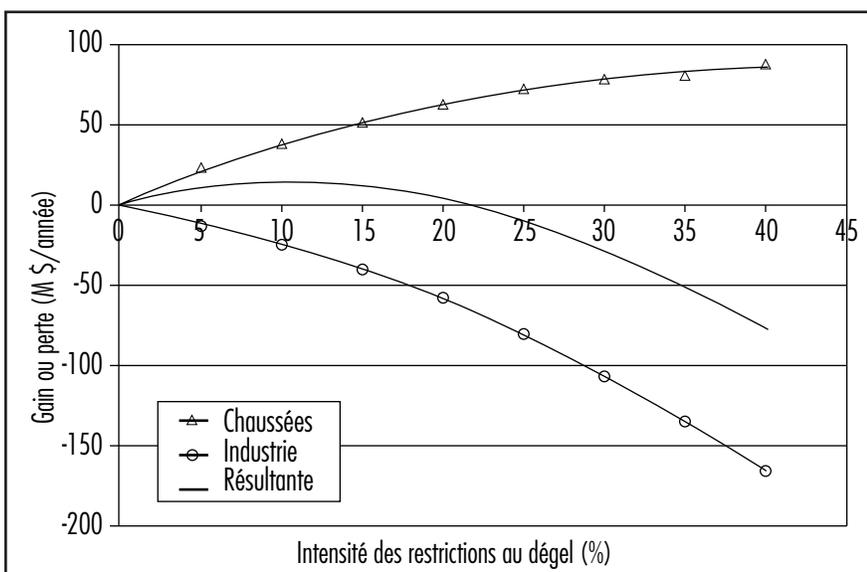
La figure 6 présente l'impact de la durée des RCD sur l'ensemble des industries et des routes du Québec, ainsi que la résultante provenant de la superposition des deux courbes. Les 60 jours de restriction actuellement en vigueur permettent de réduire les principales pertes en ce qui concerne les chaussées et d'atteindre une résultante sur le sommet de la parabole, qu'on peut juger optimale tout en étant du côté sécuritaire pour la préservation des chaussées. Le résultat est similaire lorsqu'on regarde l'intensité des restrictions (figure 7), qui se trouve encore une fois optimal et du côté sécuritaire (15 %).

Figure 6 : Impact en fonction de la durée des restrictions



Une optimisation accrue du bilan des gains et des pertes nécessiterait l'allègement de l'intensité des RCD sur les routes les plus fortes et une augmentation sur les routes les plus faibles. Cela engendrerait, par contre, des dispositions relativement complexes et difficiles à bien appliquer sur les plans de la réglementation et du contrôle des charges

Figure 7 : Impact en fonction de l'intensité des restrictions



CONCLUSION

L'étude indique que 63 % à 78 % des dommages sont causés par le trafic lourd sur les chaussées souples (37 % sur les autoroutes) pendant les deux mois de l'année visés par une restriction des charges au dégel. Ces dommages se produisent avec les restrictions actuelles de 15 % et seraient plus élevés dans l'éventualité d'un relâchement de la réglementation.

La levée des RCD actuelles augmenterait l'agressivité printanière journalière du trafic de 19 % en moyenne. Le maintien des RCD permet de prolonger la durée de vie moyenne des chaussées de

Tableau 1 : Dommages structuraux associés au dégel sur les routes du Québec

Classe de route	km	Indice de déflexion (DIM)	Dommages printaniers	
			Trafic constant	Restrictions actuelles
Autoroutes	3701	4,37	0,46	0,37
Nationales	9958	5,29	0,72	0,63
Régionales	5785	5,57	0,80	0,71
Collectrices	7987	5,82	0,87	0,78
Municipales	41 125	5,61	0,81	0,74

8 à 15 % selon le type de route. Ce pourcentage se reflète directement dans le coût de conservation des chaussées. Le coût relié à l'abolition des restrictions a été évalué à 51,4 millions par année.

L'imposition de RCD a des impacts sur la compétitivité de l'industrie du camionnage, qui occupe elle aussi une place importante dans la société. Cet impact a été évalué à 40,3 millions par année.

On admet que certaines chaussées sont suffisamment portantes pour se passer de restrictions au dégel, mais la gestion de charges légales différentes selon les routes n'est présentement pas jugée réalisable. Pour l'instant, les RCD actuelles sont jugées appropriées et raisonnables pour l'ensemble du Québec. Le Ministère reste ouvert à la considération d'autres solutions à mesure que de nouvelles données significatives deviennent disponibles.

Les décisions concernant les RCD peuvent désormais se référer à la comparaison monétaire des avantages de ces restrictions pour préserver le réseau routier par rapport aux inconvénients qu'elles représentent pour l'industrie liée au camionnage.

RÉFÉRENCES

(1) CAMTECH/GÉNIVAR (2001). *Étude d'impact des restrictions de charge en période de dégel sur l'économie du Québec*, Camtech Consultants inc., Groupe conseil Génivar, pour le ministère des Transports du Québec, Saint-

Nicolas/Montréal, version finale, 105 pages (référence MTQ : 1430-99-AC01), 31 mars 2001.

(2) PROPHÈTE, F. (2002). « Évaluation de l'agressivité du trafic lourd sur les chaussées », Innovation Transport, *Bulletin scientifique et technique*, numéro 14, décembre 2002. p. 28-32. (<http://www.mtq.gouv.qc.ca/cqttf>)

(3) SAINT-LAURENT, D. *Étude d'impact des restrictions de charges sur les chaussées en période de dégel*, dossier 238 (31) 99, Service des chaussées, ministère des Transports du Québec, 5 mars 2003, 66 pages.

(4) REFSDAL, G. (1998). *The Lifting of Axle Load Restrictions during Spring Thaw : a Norwegian Experiment*, 5th International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields, Trondheim, Norvège.

(5) PAINTER, L.J. (1965). « Analysis of AASHO Road Test Asphalt Pavement Data by the Asphalt Institute », *Highway Research Record*, n° 71, p. 15-38.

(6) WHITE, T.D. et B.J. COREE (1990). *Threshold Pavement Thickness to Survive Spring Thaw*, 3rd International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields, Trondheim, Norvège.

(7) ALLEN, W., R.L. BERG et S. BIGL (1990). « Prediction of Damage to Flexible Pavements in Seasonal Frost Areas », *Transportation Research Record*, Washington, n° 1286.

(8) SIMONSEN, E., V.C. JANOO et U. ISACSSON (1997). « Prediction of Pavement Response during Freezing and Thawing Using Finite Element Approach », *Journal of Cold Regions Engineering*, New York, vol. 11, n° 4.

(9) KESTLER, M.A, S.L. NIEZGODA et S.-I. NAM (1999). *Seasonal Variations in Pavement Strength and Moisture*, réunion annuelle du FWD User's Group, Santa-Barbara, Californie.

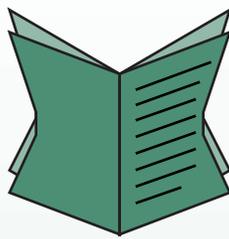
(10) RAAD, L., E. JOHNSON, D. BUSH et S. SABOUNDJIAN (1998). *Parks Highway Restriction Field Data Analysis : a Case Study*, Transportation Research Board, Washington, preprint n° 980997.

(11) LOIGNON B., et Y. SAVARD (1996). *Évaluation de la performance. Rapport préliminaire. Fissuration thermique et accotement revêtu ou gravelé, autoroute 10, municipalité de Fleurimont*, Service des chaussées, ministère des Transports du Québec, N/dossier 0010-03-110 (31) 96.

(12) DORÉ, G. et Y. SAVARD (1998). *Analysis of Seasonal Pavement Deterioration*, Transportation Research Board, Washington, preprint n° 981046.

(13) SAINT-LAURENT, D. et M. ROY (1995). *Évaluation structurale de chaussées souples dans un contexte climatique nordique*, rapport GCS-95-05 (mémoire de maîtrise), Département de génie civil, Université Laval, Québec.

(14) FERNANDEZ, J.M.L. (2000). *Évaluation de l'endommagement saisonnier de quatre chaussées*, mémoire de maîtrise, sous la direction de C. Lupien, Université de Sherbrooke, Département de génie civil.



La circulation des véhicules lourds sur le réseau routier municipal,

4^e édition

Ministère des Transports du Québec

La présente publication concerne la circulation des véhicules lourds sur un chemin public, tel qu'il est défini dans le *Code de la sécurité routière*, et dont l'entretien est la responsabilité d'une municipalité.

Elle constitue une mise à jour de la politique intitulée *La circulation des véhicules lourds sur le réseau routier municipal*, parue en 1997.

Les objectifs du présent document sont les suivants :

- faire connaître aux municipalités les critères sur lesquels s'appuie le ministre des Transports pour les autoriser à interdire l'accès à certaines catégories de véhicules routiers sur quelques tronçons de routes du réseau routier municipal;
- faire connaître aux municipalités les véhicules routiers qui doivent être visés par les interdictions de circuler ainsi que les exceptions autorisées pour la livraison locale;
- faire connaître aux municipalités les règles administratives à respecter pour soumettre les demandes d'approbation des règlements interdisant la circulation;
- rappeler aux municipalités les types de panneaux réglementaires pour signaler de façon appropriée les interdictions de circuler sur un chemin public;
- faire connaître aux municipalités les règles relatives à la limitation des charges sur un pont ainsi qu'à la limitation de la longueur et des charges des véhicules routiers qui circulent sur les chemins publics;
- assurer l'accès à un réseau routier permettant la libre circulation des marchandises et le développement des activités économiques québécoises, tout en tenant compte de la sécurité du public et de la tranquillité des citoyens;
- préserver l'aspect fonctionnel et sécuritaire du réseau routier.

Ainsi, le document permet aux gestionnaires du réseau routier municipal qui désirent prohiber la circulation des camions sur les chemins de leur municipalité d'harmoniser leur réglementation avec les restrictions gouvernementales afin de mieux assurer la circulation des marchandises sur l'ensemble du territoire québécois.

Impacts des changements démographiques sur le bilan routier au Québec, 2002-2015

François Tardif

Société de l'assurance automobile du Québec

Le présent document vise à évaluer les impacts des changements démographiques sur le bilan routier au Québec, pour la période 2002 à 2015.

Les projections démontrent que la structure selon l'âge de la population aura un impact positif sur la sécurité routière. Cependant, sans intervention visant à améliorer le bilan routier, l'impact de l'augmentation du nombre de titulaires de permis de conduire annulerait l'impact positif de l'âge et il en résulterait une augmentation du nombre de conducteurs mis en cause dans un accident sur nos routes.

Bien que ces tendances à long terme doivent faire l'objet d'une attention constante, il ne faut pas négliger l'existence d'un taux de natalité plus élevé durant les années 1989 à 1993. Cet accroissement des naissances au Québec entraînera une augmentation du nombre de jeunes titulaires de permis de conduire. En l'absence de stratégies particulières, le nombre de jeunes conducteurs de 16 à 19 ans mis en cause dans un accident atteindra son maximum vers 2009.

Même si, en valeur absolue, le nombre de conducteurs de sexe masculin mis en cause dans un accident demeurera beaucoup plus élevé que celui des titulaires de sexe féminin, la plus forte augmentation des taux de titularisation chez les femmes entraînera une augmentation du nombre de conductrices victimes ou responsables d'un accident.

Nul doute que l'amélioration du bilan routier des jeunes conducteurs doit demeurer une priorité. Toutefois, dans un contexte de vieillissement de la population, l'accroissement du risque d'accident associé aux personnes âgées mérite que l'on s'attarde davantage à la création de stratégies propres à ce groupe de conducteurs.

Il ressort donc de cette évaluation que deux groupes devront retenir particulièrement notre attention : les jeunes et les conducteurs âgés.

Étude numérique du coefficient de consolidation/gonflement sur trois sites d'argile du Québec

Jean-François Laflamme et Serge Leroueil

Université Laval, Département de génie civil

Rapport présenté au ministère des Transports du Québec

L'instabilité des excavations temporaires dans les dépôts argileux peut entraîner divers problèmes majeurs, tant à l'égard de la sécurité des travailleurs que sur le plan économique.

Dans le contexte d'un projet de recherche sur le dimensionnement temporaire des excavations, deux excavations dans l'argile ont été étudiées en détail dans le but de mieux comprendre le comportement de l'argile lors d'une excavation et de proposer une approche générale pour le dimensionnement de ces ouvrages.

La présente étude se situe dans la continuité de ce projet. L'un des objectifs visés est de confirmer que le coefficient de consolidation-gonflement établi sur la base d'un module de cisaillement à petites déformations et d'une conductivité hydraulique représentative des conditions in-situ contrôle bien le comportement en consolidation des massifs argileux.

La méthode de détermination du coefficient de consolidation-gonflement dans le cas des deux excavations mentionnées ci-dessus n'ayant pas encore été suffisamment testée, on a procédé à l'étude de trois nouveaux cas dont deux constructions de remblais afin de valider ou d'infirmer cette méthode.

Le rapport se divise comme suit :

Le chapitre 2 présente la méthodologie générale suivie par chacune des analyses, de même que le modèle constitutif du sol choisi.

Le chapitre 3 porte sur l'analyse du site de Maskinongé. On a utilisé le suivi piézométrique détaillé pour imposer la variation de la nappe phréatique dans le temps. Cela a permis une comparaison des pressions interstitielles mesurées et calculées en profondeur et d'évaluer un coefficient de consolidation-gonflement représentatif pour ce site.

Le chapitre 4 concerne l'étude numérique du remblai de Berthierville. On y décrit l'augmentation des pressions interstitielles calculées en fonction du temps

écoulé lors de la simulation numérique et on fait la comparaison de ces résultats avec les données mesurées sur le terrain lors de la construction du remblai. Cela a permis d'évaluer un coefficient de consolidation-gonflement représentatif pour ce site.

Le chapitre 5 présente l'analyse numérique des remblais construits sur le site de Saint-Alban. Les pressions interstitielles calculées lors des simulations ont été comparées à celles mesurées sur le terrain, comme cela a été le cas pour l'étude présentée au chapitre 4.

Enfin, le chapitre 6 présente les conclusions de l'étude ainsi que des recommandations pratiques.

Performance à long terme des sections de chaussées isolées avec du polystyrène ou de la sciure de bois - Site expérimental de Saints-Martyrs-Canadiens (phase II)

Sylvain Juneau et Guy Doré

Université Laval, Département de génie civil

Rapport présenté au ministère des Transports du Québec

Le projet expérimental de Saints-Martyrs-Canadiens (SMC) se divise en deux phases.

La présente étude constitue la phase II du projet. Elle consiste en un suivi à long terme de trois des sections expérimentales de la phase I pour une période allant de 1999 à 2002, dont deux sections isolées, l'une avec du polystyrène et l'autre avec de la sciure de bois, et une section témoin, non isolée. Il s'agit d'observer et d'analyser la performance à long terme et les comportements thermique et structural de ces sections pour confirmer ou ajuster les tendances observées lors des trois premières années du suivi expérimental (phase I). Par ailleurs, l'aspect économique de la question de l'isolation des chaussées est abordé par le biais d'une analyse bénéfices-coûts.

Les principales conclusions du projet sont les suivantes :

- l'efficacité thermique et mécanique du polystyrène extrudé a été clairement démontrée dans le contexte du projet;

- l'efficacité thermique et mécanique de la chaussée isolée avec de la sciure de bois a été établie pour les routes à faible volume de circulation. Il est recommandé que la limite d'application de la technique d'isolation soit validée sur d'autres sections expérimentales ou, mieux encore, dans le contexte de projets pilotes;

- la résistance de la sciure de bois et du polystyrène à la dégradation à long terme a été vérifiée, et il appert que dans le site de Saints-Martyrs-Canadiens, après huit années, ces matériaux conservent totalement leur intégrité physique;

- les essais mécaniques ont permis d'établir que, contrairement au cas de la section témoin, le sol d'infrastructure des sections isolées ne subit pas de déformations mesurables lors du passage d'une charge standard (4082 kg). Cela implique, par ailleurs, des déformations permanentes concentrées dans les couches d'isolants;

- les essais mécaniques ont aussi permis d'établir l'ordre de grandeur des valeurs de modules élastiques en place des matériaux constituant les différentes sections;

- la conductivité thermique des matériaux isolants n'a pu être vérifiée de façon directe. Il a toutefois été établi que cette dernière n'a pas varié significativement depuis le début du projet, tant dans le cas du polystyrène que dans celui de la sciure de bois;

- dans le contexte de l'expérience de SMC, seule l'isolation au polystyrène est avantageuse, avec un rapport bénéfices-coûts de l'ordre de 145 %. Par ailleurs, on doit considérer avec réserve le rapport bénéfices-coûts établi pour l'isolation de chaussée avec de la sciure de bois, soit 100 %.

récentes

Parutions

CONGRÈS CONFÉRENCES

Activité	Lieu et date	Organisation	Renseignement
International Symposium on Road Pricing	Du 19 au 22 novembre 2003 Key Biscayne, Floride	TRB	Claire Felbinger Tél. : +1 202 334 2934 Télec. : +1 202 334 2003 Courriel : cfelbinger@nas.edu Internet : http://www4.nationalacademies.org/trb/calendar.nsf
14 ^e Super conférence sur la construction	Du 26 au 27 novembre 2003 Montréal, Québec	Institut canadien	Tél. : 1-877-246-4832 Télec. : 1-877-927-1563 Internet : www.InstitutCanadien.com
Colloque de l'AQTR sur les évaluations en sécurité routière. <i>L'évaluation... un réflexe?</i>	Le 27 novembre 2003 Saint-Hyacinthe, Québec	Association québécoise du transport et des routes (AQTR)	Marc-André Lavigne Tél. : (514) 523-6444, poste 320 Télec. : (514) 523-2666 Courriel : malavigne@aqtr.qc.ca Internet : http://www.aqtr.qc.ca/evenements/evenements.html#ancre1347092
Colloque sur les expertises en conception et réhabilitation de chaussée, point de mire sur les travaux de la Direction du Laboratoire de chaussées du MTQ	Le 2 décembre 2003 Drummondville	Association québécoise du transport et des routes (AQTR)	Marc-André Lavigne Tél. : (514) 523-6444, poste 320 Télec. : (514) 523-2666 Courriel : malavigne@aqtr.qc.ca Internet : http://www.aqtr.qc.ca/evenements/evenements.html#ancre1347092
GÉOdiffusion 2003 : Congrès annuel sur le Web-mapping et les solutions MapInfo	Du 2 au 4 décembre 2003 Québec, Québec	GÉOdiffusion	Denise Saulnier Tél. : (418) 647-1555; 1 888 440 1627 Télec. : (418) 647-1666 Courriel : info@geodiffusion.com Internet : http://www.geodiffusion.com
Les mercredis de l'AMT : « Réaménager les municipalités pour favoriser les modes de transport actifs »	Le 10 décembre 2003 Montréal, Québec	Agence métropolitaine de transport	Daniel Ancil Tél. : (514) 287-2464 poste 4682 Courriel : dancil@amt.qc.ca Internet : http://www.ouq.qc.ca/documents/merc_amt.pdf
83 ^e Congrès annuel du Transportation Research Board	Du 11 au 15 janvier 2004 Washington, États-Unis	Transportation Research Board	Linda Karson Tél. : (301) 694-5243 Télec. : (301) 694-5124 Courriel : LKarson@NAS.EDU Internet : http://www.trb.org/trb/meeting
Campagne de sécurité sur le transport scolaire	Du 3 au 14 février 2004	ATEQ (Association du transport écolier du Québec)	Tél. : (418) 622-6544 Télec. : (418) 622-6595 Courriel : srobitaille@ateq.qc.ca Internet : http://ateq.qc.ca
SAE 2004 World Congress	Du 8 au 11 mars 2004 Detroit, États-Unis	SAE International	Tél. : 1-724-772-8537 Télec. : 1-724-776-0210 Courriel : exhibitions@sae.org Internet : http://www.sae.org/congress

Activité	Lieu et date	Organisation	Renseignement
8 th International Symposium on Heavy Vehicle Weights and Dimensions : Loads, Roads and the Information Highway	Du 14 au 18 mars 2004 Pretoria, Afrique du Sud	CSIR Transportek	Paul Nordengen Télec. : +27-12-841-4044 Courriel : pnordengen@csir.co.za Internet : http://www.8ishvwd.co.za
World of Asphalt 2004 Show and Conference	Du 15 au 18 mars 2004 Nashville, Tennessee, USA	National Asphalt Pavement Association	Internet : http://www.worldofasphalt.com
2 ^e Conférence européenne sur la gestion des routes et du patrimoine	Du 22 au 24 mars 2004 Berlin, Allemagne	BAST (Federal Highway Research Institute), FGSV, ISE	Tél. : +49-221-93583-0 Télec. : +49-221-93583-73 Courriel : koeln@fgsv.de Internet : http://www.fgsv.de
ITE 2004 : Technical Conference and Exhibit of the Institute of Transportation Engineers on Intersection Safety, Achieving Solutions through Partnerships	Du 28 au 31 mars 2004 Irvine, Californie	Institute of Transportation Engineers (ITE)	M. Saglam Tél. : +1-202-289-0222, poste 136 Télec. : +1 202-289-7722 Courriel : msaglam@ite.org Internet : www.ite.org/meetcon
39 ^e Congrès annuel de l'AQTR : « Transport et défis d'aujourd'hui. De la discussion jaillit la lumière »	Du 4 au 6 avril 2004 Québec, Québec	Association québécoise du transport et des routes (AQTR)	Marc-André Lavigne Tél. : (514) 523-6444, poste 320 Télec. : (514) 523-2666 Courriel : malavigne@aqtr.qc.ca Internet : http://www.aqtr.qc.ca/congres/appecong_2004.html
Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering	Du 13 au 17 avril 2004 New York, États-Unis	University of Missouri, Natural Hazard Mitigation Institute, TRB	G.P. Jayaprakash Tél. : +1 202 334 2934 Télec. : +1 202 334 2003 Courriel : LKarson@NAS.EDU Internet : http://www4.nationalacademies.org/trb/calendar.nsf
12 th International Conference on Road Transport Information and Control	Du 20 au 22 avril 2004 Londres, Royaume-Uni	Institute of Electrical Engineers (IEE)	Tél. : +44-1438-765647 Télec. : +44-1438-767291 Courriel : rtic2004@iee.org.uk Internet : http://conference.iee.org/RTIC
11 ^e congrès mondial de l'association CODATU « Comment rendre les transports urbains plus attractifs? »	Du 22 au 24 avril 2004 Bucarest, Roumanie	CODATU (Coopération pour le développement et l'amélioration des transports urbains et périurbains)	Tél. : 33 (0)4 78 62 23 09 Télec. : 33 (0)4 78 62 32 99 Courriel : codatu.bucarest@wanadoo.fr Internet : www.codatu.org
Fifth International Conference on Cracking in Pavements : Risk, Assessment and Prevention	Du 5 au 8 mai 2004 Limoges, France	TRB	Frank Lisle Tél. : +1 202 334 2934 Télec. : +1 202 334 2003 Courriel : LKarson@NAS.EDU Internet : http://www4.nationalacademies.org/trb/calendar.nsf
72 ^e Congrès de l'Acfas : «La société des savoirs»	Du 10 au 14 mai 2004 Montréal, Québec	Association francophone pour le savoir (ACFAS); UQAM	Tél. : (514) 849-0045 Télec. : (514) 849-5558 Courriel : congres@acfas.ca Internet : http://www.acfas.ca/congres
3 ^e Congrès Euraspalt & Eurobitume	Du 12 au 14 mai 2004 Vienne, Autriche	European Asphalt Pavement Association (EAPA) et Eurobitume	Euraspalt & Eurobitume Congress Secretariat Tél. : +31.346.266868 Télec. : +31.346.263505 Courriel : info@eecongress.org Internet : http://www.eecongress.org

INNOVATION TRANSPORT

Le bulletin scientifique et technologique INNOVATION TRANSPORT s'adresse au personnel du ministère des Transports et à tout partenaire des secteurs public et privé qui s'intéresse à ce domaine.

Il est le reflet des grands secteurs du transport au Québec : le transport des personnes, le transport des marchandises, les infrastructures et l'innovation. Il traite des enjeux importants, présente des projets de recherche en cours de réalisation ou terminés, de même que de l'information corporative.

INNOVATION TRANSPORT entend diffuser les résultats de travaux de spécialistes et d'expérimentations, les comptes rendus des activités de veille et de transfert technologique, ainsi que des activités réalisées pour garantir le maintien d'une expertise de pointe.

Les textes publiés dans le bulletin INNOVATION TRANSPORT reflètent uniquement le point de vue de leurs auteurs et n'engagent en rien le ministère des Transports.