

INNOVATION
TRANSP  **ORT**
BULLETIN SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE

Bulletin Innovation Transport

Numéro 24 • Juin 2005



Table des matières

Dossier Environnement

Impact du dégel du pergélisol sur les infrastructures
de transport aérien et routier du MTQ au Nunavik 5

Les techniques géomatiques appliquées au suivi de l'érosion des berges
le long de la route 132 en Gaspésie 14

Architecture paysagère et sécurité routière

Gestion du bruit à proximité des chantiers routiers 23

Sécurité routière

Alternatives aux problèmes de sécurité aux arrêts d'autobus scolaire en milieu rural 38

Mot de présentation

Le défi de l'adaptation aux impacts des changements climatiques sur les infrastructures de transport

Il y a une dizaine d'années, on pouvait encore douter de la réalité des changements climatiques. Depuis, les incertitudes scientifiques s'estompent, le consensus autour du réchauffement du climat se renforce, et nous vivons les effets des changements climatiques. Le réchauffement du climat n'est plus une hypothèse scientifique dont la preuve est à faire, mais une réalité qui nous rattrape.

Aujourd'hui, la question qui se pose est plutôt : À quelle vitesse se produiront les modifications du climat, quels en seront les impacts et comment s'y adapter?

La région de l'Arctique québécois, au nord du 55e parallèle, couvre environ 20 % de la superficie du Québec et l'occupation de ce territoire nordique est côtière. La population (environ 10 000 personnes) est dispersée dans une quinzaine de villages situés en bordure de la baie d'Hudson, du Déroit d'Hudson et de la Baie d'Ungava. Ces communautés enclavées sont desservies par des infrastructures aéroportuaires toutes situées en bordure des côtes et sur le pergélisol, ce qui les rend vulnérables au réchauffement climatique.

La hausse des températures mesurée au Nunavik entraîne la fonte rapide du pergélisol et cause des dommages aux infrastructures de transport, le sol n'assurant plus leur stabilité. Les infrastructures aéroportuaires et leurs routes d'accès subissent déjà des déformations accélérées causées par la fonte du pergélisol.

C'est la région qui subira les plus importants changements en matière de climat et d'environnement principalement à cause de la fonte d'une partie du pergélisol.

Le ministère des Transports s'emploie à déterminer les impacts qu'aura la fonte du pergélisol sur les infrastructures routières et aéroportuaires du Nunavik. Ce projet de recherche vise à établir les meilleures méthodes d'investigation permettant de déterminer le comportement du pergélisol sous les infrastructures, d'identifier les pistes aéroportuaires et les routes d'accès risquant d'être détériorées par le dégel, d'évaluer la détérioration de ces infrastructures depuis leur construction et de prédire leur évolution, de préciser les types de revêtements susceptibles de résister le mieux au dégel, et d'élaborer des scénarios d'adaptation et d'entretien pour ces infrastructures

En Gaspésie, le phénomène des changements climatiques risque d'accroître la rapidité de l'érosion des côtes à proximité de la route 132. La route nationale qui ceinture la péninsule gaspésienne est, à plusieurs endroits, de plus en plus menacée. La fréquence et la récurrence des interventions de protection le long de la route sont de plus en plus élevées.

Le Ministère a donc mené un projet de recherche en partenariat basé sur l'utilisation de deux technologies novatrices en géomatique pour mieux comprendre et analyser les processus en cause, faciliter la planification des interventions et la prise de décision et assurer un meilleur suivi des sites en érosion. Les résultats d'analyse permettront de déterminer la vulnérabilité aux changements climatiques et à l'érosion côtière de la route nationale en Gaspésie, et d'élaborer des stratégies d'adaptation.

Il faut dès maintenant nous préparer à vivre les conséquences des modifications du climat. Retarder l'action aujourd'hui rendra l'adaptation plus difficile demain. Mais il faut d'abord bien comprendre les phénomènes pour pouvoir prendre les décisions et appliquer les mesures d'adaptation qui s'imposent.

Daniel Hargreaves, directeur

Ministère des Transports, Direction de la recherche et de l'environnement

Impact du dégel du pergélisol sur les infrastructures de transport aérien et routier du MTQ au Nunavik

Gilles Grondin, ing., MSc.A., chef, Secteur mécanique des sols, Ministère des Transports du Québec
Anick Guimond, géographe, M.Env., Coordination du Nord-du-Québec, Ministère des Transports du Québec
Guy Doré, ing., PH. D., professeur, département de Génie, Université Laval

INTRODUCTION

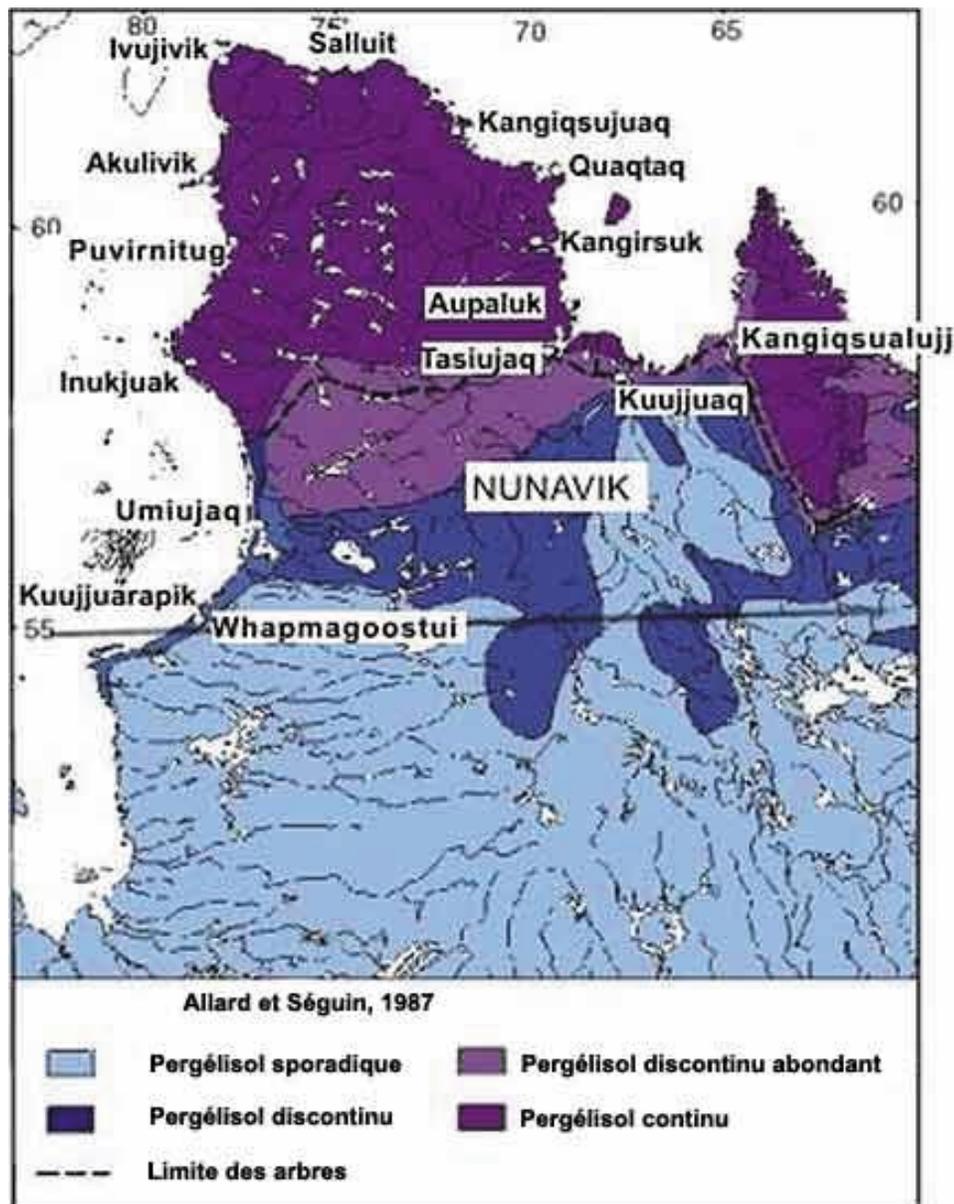
Le réchauffement climatique constaté depuis le début des années 90 dans le Nord-du-Québec engendre des répercussions importantes sur les infrastructures de transport, plus particulièrement celles qui sont construites sur le pergélisol. Les chercheurs scientifiques dans le domaine des changements climatiques prévoient unanimement que l'Arctique subira les effets les plus directs et les plus importants. La hausse de température observée depuis quelques années confirme cette tendance.

La partie la plus septentrionale du Québec est le Nunavik, situé entre le 55° et le 63° parallèle. Sur ce territoire, on retrouve 14 communautés inuites et une communauté crie, toutes côtières et enclavées, et desservies par des aéroports et des infrastructures maritimes. Les pistes d'atterrissage sont en gravier et la plupart mesurent 1067 m de longueur sur 44 m de largeur. Les routes d'accès qui relient le village à l'aéroport sont en gravier et seront toutes asphaltées d'ici 2009. Au total, on compte 21 km de route d'accès, dont la longueur varie d'une communauté à l'autre.

Le Nunavik est couvert de trois zones de pergélisol, soit le discontinu sporadique, le discontinu étendu et le continu (figure 1). L'ensemble des infrastructures aéroportuaires du Nunavik étant situé en bordure des côtes, elles sont construites sur des dépôts souvent fins et parfois à forte teneur en argile. Les sols fins, soient les silts, les argiles et les tills sont généralement riches en glace, donc très sensibles au réchauffement climatique. Les températures moyennes annuelles se situent habituellement aux environs de -22 °C en hiver et 10 °C en été dans le secteur de Kuujjuarapik, et de -25 °C en hiver et 8 °C en été dans le secteur de Salluit. Au début des années 90, la température du pergélisol à Salluit se situait autour de -6 °C et, en 1998, elle avait augmenté de près de deux degrés (Allard *et al.*, 1994, Allard 2002).

Le constat des dommages aux infrastructures aéroportuaires a amené le ministère des Transports du Québec à se pencher sérieusement sur ce problème. Un projet de recherche a alors été entrepris afin de relever les impacts actuels et prévisibles sur ces infrastructures en milieu nordique. Il vise également à proposer des scénarios d'adaptation pour les cas problématiques et à revoir la conception des pistes pour les projets futurs.

Figure 1 : Répartition du pergélisol au Québec



HISTORIQUE ET CRITÈRES DE CONCEPTION DES INFRASTRUCTURES AÉROPORTUAIRES

Les aéroports nordiques ont été construits entre 1884 et 1991. Au Québec, ces infrastructures ont été conçues en supposant un climat stable, donc construites en considérant que le pergélisol constituait une fondation stable. Les investigations préalables à la construction se sont le plus souvent limitées à sonder manuellement la couche active (mollisol) du pergélisol. Les concepteurs ont alors calculé les structures en fonction de limiter la profondeur du dégel à l'intérieur de la couche active avant la construction des pistes. Dans la plupart des cas, on a opté pour la construction de pistes en rem-

blai. Cette conception visait à faciliter l'entretien en hiver en réduisant les risques d'accumulation de neige sur la surface des pistes et à s'assurer que le dégel n'atteigne jamais le pergélisol ou même que la limite supérieure du pergélisol remonte dans le remblai. À cette époque, les impacts du drainage des pistes, de l'enneigement en bordure des remblais causé par le vent et par les opérations de déneigement n'avaient pas été considérés.

Sur quelques pistes, on a dû faire des déblais dans des sols fins et riches en glace. Le coût d'une protection efficace du pergélisol étant trop élevé, on a accepté de le laisser se détériorer en anticipant une stabilisation des tassements après quelques années. De l'isolant a été utilisé à un endroit où des déblais ont été effectués dans des sols gélifs. Or, le réchauffement climatique qui se poursuit n'assure plus la stabilité anticipée pour plusieurs infrastructures aéroportuaires au Nunavik. Parmi les douze pistes visitées en 2004, seulement deux ne présentaient aucune déformation : l'une a été entièrement construite sur le roc tandis que l'autre a été reprofilée en l'an 2000.

LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE AU NUNAVIK

Au Nunavik, depuis le milieu du XX^e siècle, la température a été relativement stable et même il y a eu un léger refroidissement entre les années 1950 et 1992. Ce refroidissement a varié de 0,025 °C à 0,036 °C par année. Cependant, depuis le début des années 90, plus particulièrement entre 1992 et 2000, le réchauffement a été très important, variant entre +3,2 °C (Kuujjuaq) et +4,2 °C (Inukjuak). Ce réchauffement a évidemment eu des répercussions sur la stabilité du pergélisol causant son dégel en profondeur à certains endroits. Par exemple, dans le village nordique de Tasiujaq, un câble à thermistance a été installé jusqu'à 5 m de profondeur sous la piste d'atterrissage afin de recueillir des données sur la température du pergélisol. Entre octobre 1999 et octobre 2004, le dégel du pergélisol a progressé de façon continue et il atteignait 1,65 m sous le remblai de la piste à l'été 2004, soit une progression de 0,5 m depuis 1993 (Allard *et al.*, 1994, Allard *et al.*, 2004).

Évolution de la température du pergélisol au Nunavik

Lieu	Changement au XX ^e siècle		Changement années 1990	
	Taux (°C/a)	Changement	Taux (°C/a)	Changement
Kuujjuaq	-0,036	-4,7 à -6,2 °C 1953-1992	+0,32	-6,2 à -3,0 °C 1992-2000
Inukjuak	-0,025	-6,1 à -7,0 °C 1953-1992	+0,43	-8,0 à -3,8 °C 1992-2000
Kuujjuarapik	-0,025	-3,9 à -4,7 °C 1957-1992	+0,37	-5,0 à -1,5 °C 1992-2000

Données de température de Allard et Fortier, 2004

IMPACT DU DÉGEL DU PERGÉLISOL SUR LES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT

Il est maintenant connu que la construction d'infrastructures de transport dans des conditions de pergélisol affecte inmanquablement la stabilité du régime thermique du sol gelé, ce qui peut causer le dégel du pergélisol sur lequel est fondé l'ouvrage. Si le sol d'infrastructure est constitué de pergélisol riche en glace, son dégel entraînera une perte importante des capacités structurales et fonctionnelles de l'ouvrage. Par ailleurs, des ouvrages qui ont toujours été stables commencent maintenant à montrer des signes d'instabilité en raison du réchauffement climatique qui modifie la température du pergélisol.

La dégradation du pergélisol peut entraîner des affaissements et de l'instabilité dans les remblais routiers ou aéroportuaires. Les affaissements peuvent prendre plusieurs formes selon la distribution de la glace dans le sol et selon la géométrie du remblai.

La glace dans le pergélisol est rarement distribuée de façon homogène. On peut la trouver sous forme de glace massive d'épaisseur généralement importante et d'étendue plus ou moins limitée. Lorsqu'une telle masse de glace fond, le sol sus-jacent s'affaisse et forme d'importantes cavités appelées thermokarsts. Le pergélisol est par ailleurs généralement caractérisé par la présence de glace de ségrégation sous forme de lentilles dans le sol. La quantité, le volume et la distribution de ces lentilles varient considérablement selon le type de sol et le contexte géologique environnant.

Lorsqu'un remblai est construit sur un pergélisol contenant de la glace massive, on peut s'attendre à d'importants tassements localisés (figure 2). Lorsqu'il est construit sur un pergélisol riche en glace de ségrégation, la dégradation de ce dernier entraînera des tassements plus ou moins aléatoires qui se traduiront par la distorsion de la surface du remblai (figure 3).

Figure 2 : Affaissement d'un remblai routier dans un thermokarst en Alaska



Figure 3 : Distorsion de la surface d'une chaussée par la dégradation d'un pergélisol riche en glace



La géométrie des remblais routiers et aéroportuaires peut également être la cause de tassements différentiels lors de la dégradation du pergélisol. L'accumulation de neige en bordure des remblais tend à isoler les talus des remblais et à réduire le refroidissement du remblai à cet endroit en hiver. La température moyenne annuelle sous les talus tend donc à augmenter, causant ainsi la dégradation du pergélisol sous-jacent. Il en résulte un affaissement des épaulements du remblai souvent accompagné de fissurations (figure 4).

Figure 4 : Affaissement de l'épaulement d'un remblai routier en Alaska



Sur les pistes d'atterrissage et le chemin d'accès des aéroports du Nunavik, on observe présentement des affaissements localisés, le plus souvent en bordure des pistes, mais parfois sur toute la largeur de la piste ou de la route (figure 5). Ces affaissements ont été observés très souvent sur des remblais de faible épaisseur, mais également sur des remblais d'épaisseur importante (de 5 à 8 m). Parfois, les dépressions atteignent le milieu de la piste ou de la route et même traversent complètement ces dernières (figure 6). Ces dépressions ont été observées autant sur des pistes construites sur des tills que sur des sols fins d'origine fluviale ou marine.

Figure 5 : Affaissement en bordure de la piste d'Akulivik



L'aménagement des fossés au pied des talus de remblais et l'enneigement rapide de ces dépressions sous l'action des vents et des opérations de déneigement des pistes ont contribué à perturber le régime thermique du pergélisol à ces endroits et à accélérer son dégel. On observe donc, localement, des accumulations d'eau importantes dans les dépressions des fossés de drainage causées par la fonte de la glace du pergélisol. La stagnation d'eau dans ces dépressions constitue un apport additionnel de chaleur qui accélère le dégel du pergélisol et accentue les pentes des remblais, entraînant par la suite des instabilités de surface (figure 7).

Figure 6 : Affaissement sur toute la largeur de la route d'accès à la piste d'Umiujaq



Figure 7 : Accumulation d'eau accentuée par le dégel du pergélisol en bordure de piste à Salluit



Le réchauffement climatique a aussi causé des glissements de terrain dans le village de Salluit dans une zone d'argile marine dont les caractéristiques sont semblables à celles observées dans un secteur traversé par la route d'accès à l'aéroport. Puisque les surfaces asphaltées absorbent davantage la chaleur de la radiation solaire, les travaux d'asphaltage en cours des chemins municipaux et des routes d'accès aux aéroports accentueront ces problèmes dans les zones sensibles.

Ces dommages deviennent un important problème d'ingénierie pour les infrastructures de transport nordiques. Dans une perspective de développement durable et de réchauffement climatique accéléré, des investigations plus complètes sur la nature et l'épaisseur du pergélisol devront être réalisées dans la mesure où il faudrait apporter des modifications aux pistes actuelles (p. ex. : revêtement ou allongement de pistes). Il est évident que la conception actuelle des pistes n'est pas adaptée aux ouvrages revêtus. Des nouveaux critères de conception devront être élaborés et appliqués pour des développements futurs.

Plusieurs techniques visant à protéger les infrastructures sur pergélisol instable ont été conçues et expérimentées. Quelques-unes agissent sur le régime thermique sous le remblai de façon à le rendre plus stable (température plus froide), dont certaines visent à réduire la quantité de chaleur absorbée durant l'été et d'autres à maximiser l'extraction de chaleur durant l'hiver. L'isolation thermique et l'utilisation de surfaces réfléchissantes sont des exemples de la première catégorie d'approches, alors que les remblais à convection d'air et les thermosyphons (figure 8) constituent des techniques efficaces d'extraction de chaleur. On peut également accepter le fait que le pergélisol se dégradera et agira de façon à stabiliser mécaniquement le remblai pour résister aux mouvements du sol. Le renforcement des remblais à l'aide de géosynthétiques et l'utilisation de bermes sont des exemples de techniques utilisées à cet effet. D'autres ont pour but de réduire ou d'annuler les comportements problématiques anticipés du pergélisol avant la construction du remblai. On peut ainsi provoquer le dégel et la consolidation du sol, ou excaver et remplacer le pergélisol riche en glace avant la construction du remblai. Malheureusement, pour des raisons de coûts élevés, de difficulté d'entretien ou de sécurité, la plupart de ces techniques n'ont été utilisées que dans le cadre de projets expérimentaux.

Figure 8 : Route isolée à l'aide de thermosyphons en Alaska



LES CONSÉQUENCES

Tous les problèmes répertoriés ont un effet direct sur l'entretien des pistes d'atterrissage et des chemins d'accès ainsi que sur la sécurité des usagers. Les impacts engendrés (dépressions, affaissements, etc.) par le dégel du pergélisol sous les infrastructures de transport ont également pour effet d'augmenter la fréquence des rechargements localisés et du nivellement de pistes et chemins d'accès. Les interventions plus fréquentes ont évidemment eu pour effet d'augmenter les coûts d'entretien et de conservation à moyen et long terme. L'asphaltage des chemins d'accès aux aéroports, qui sera terminé d'ici à cinq ans, accélérera le dégel du pergélisol dans les zones sensibles sous les infrastructures et augmentera assurément l'entretien des chaussées. Étant donné le manque d'information sur la nature et les caractéristiques du pergélisol sous les pistes et chemins d'accès, il est impossible de prévoir la dégradation des infrastructures et de planifier les coûts d'entretien.

Le suivi des problèmes d'affaissement et l'entretien des chemins d'accès aux aéroports et des pistes plus fréquent et adapté sont essentiels pour assurer la sécurité des usagers et prévenir des incidents.

CONCLUSION

Le projet de recherche entrepris en 2004 a permis de faire l'évaluation du comportement des pistes depuis leur construction. Une revue de littérature des méthodes d'adaptation dans les régions nordiques du monde a été réalisée. Afin d'améliorer la connaissance concernant le bilan thermique du pergélisol au Nunavik, des thermistances installées au moment de la construction des pistes ont été remises en état et automatisées en 2004. Deux autres pistes seront instrumentées avec le même type de thermistances en 2005 et des plaques de tassement seront installées sur sept pistes. Une caractérisation sommaire du pergélisol (observation terrain et forage de 1 à 5 m) sur des sites aéroportuaires a été effectuée. Les pistes et les chemins d'accès les plus problématiques ont été répertoriés.

La collecte de données des thermistances devrait se poursuivre en continu en vue d'obtenir des données fiables pour les utiliser aux fins de simulation thermique. Au cours des deux prochaines années, une caractérisation plus approfondie des sites problématiques est souhaitée afin d'être mesure de prévoir le comportement des infrastructures. À cette fin, des échantillons non remaniés devront être prélevés afin de bien caractériser le pergélisol et de permettre la réalisation d'essais en laboratoire pour prédire le comportement au dégel. Par la suite, les sites présentant un risque élevé pour la sécurité des usagers (risque de glissements de terrain sous une route d'accès) et un potentiel de dégradation important pourront faire l'objet d'essais de technique d'adaptation afin prévenir le dégel du pergélisol. L'ensemble de ces données et études permettra d'établir de nouveaux critères de conception des infrastructures en milieu Arctique.

Les technologies géomatiques appliquées au suivi de l'érosion des berges le long de la route 132 en Gaspésie

Michel Michaud, Direction de la recherche et de l'environnement,
ministère des Transports du Québec

Nicolas Gignac, INRS - Eau, Terre et Environnement

1. CONTEXTE

L'érosion des côtes est un phénomène naturel inéluctable qui, amplifié par les activités anthropiques, menace les propriétés riveraines et les infrastructures publiques situées dans les endroits les plus vulnérables. Le ministère des Transports du Québec (MTQ) est confronté à cette problématique qui menace la pérennité de ses infrastructures routières, lesquelles sont souvent situées le long des côtes (Morneau et al., 2001). Ceci est particulièrement vrai en Gaspésie où, dans plusieurs localités, certaines portions de la route 132 ne sont qu'à une dizaine de mètres de la mer, d'un talus ou d'une falaise vive. De plus, le phénomène des changements climatiques risque d'influencer l'évolution du trait de côte de la péninsule gaspésienne et pourrait accélérer l'érosion des côtes à proximité de la route 132.

Auparavant, le MTQ utilisait les relevés d'arpentage comme principal mode d'acquisition de données pour faire l'analyse, l'évaluation et le suivi environnemental de ces sites en érosion menaçant la route 132. Cette méthode d'acquisition est coûteuse (environ 1500 \$/jour) et elle n'est pas appropriée pour mesurer rapidement de longs secteurs de côte (250 m/jour pour une équipe d'arpentage dans des conditions idéales) et un grand nombre de sites visés par le programme de protection des berges du MTQ. Une contrainte technique empêche aussi les arpenteurs de mesurer en continu les secteurs de côte difficiles d'accès, comme les falaises. Le Service du soutien technique (SST) de la Direction générale de Québec et de l'Est (DGQE) a lancé un projet novateur fusionnant la géomatique et l'observation de la Terre en vue d'améliorer les outils d'analyse de ces phénomènes d'érosion.

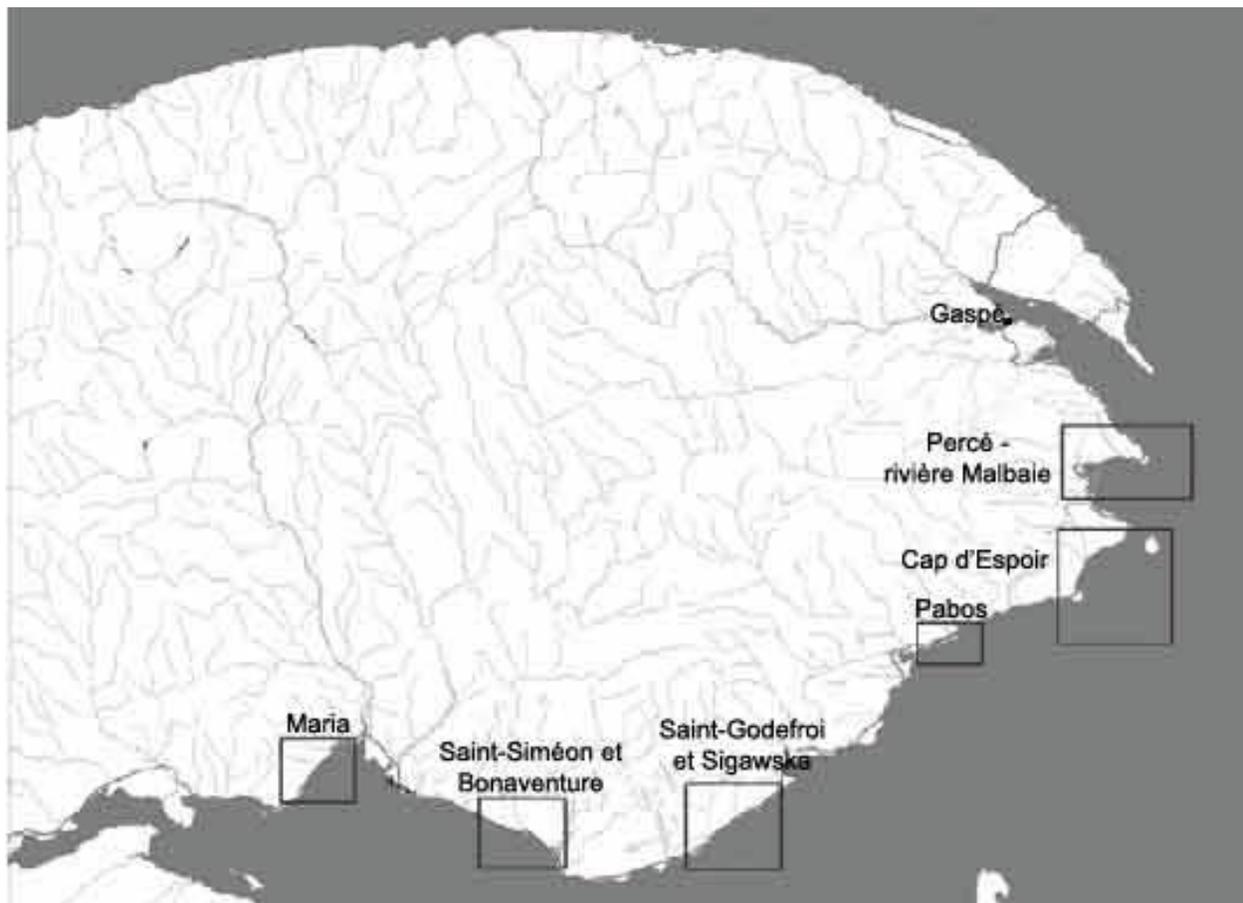
2. DESCRIPTION GÉNÉRALE DU PROJET

Le projet de recherche intitulé « Technologies géomatiques appliquées au suivi de l'érosion des berges le long de la route 132 en Gaspésie » a été développé en partenariat avec le Réseau GÉOIDE (1) (Réseau GÉOIDE, 2005). Il est basé sur une approche intégrée de la géomatique environnementale. Il vise l'acquisition de données par laser aéroporté et vidéogrammétrique (vue oblique et verticale) pour assurer un meilleur suivi spatio-temporel des sites en érosion. L'exploitation de cette couverture à fine résolution spatiale devrait être profitable pour le MTQ dans la réalisation d'études d'impact sur l'environnement. Ce projet de recherche et développement, étalé sur trois ans (de 2002 à 2005), comptait comme chercheur principal M. Bernard Long (Ph.D. en sédimentologie marine) de l'Institut national de la recherche scientifique - Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE). Ce dernier était appuyé dans ce projet par Vincent Tao de l'Université York à Toronto (titulaire de la Chaire du Canada

en géomatique) et Jacynthe Pouliot du Département des sciences géomatiques de l'Université Laval et par deux compagnies québécoises travaillant dans le domaine de la géomatique, soit Lasermap Image Plus (relevé laser) et GÉO-3D (vidéogrammétrie).

Les secteurs retenus par le MTQ pour le projet de recherche sont : Maria (8,9 km), Saint-Siméon (5,4 km), Bonaventure Ouest (4,4 km), Pabos (3,8 Km), Saint-Godefroi - Shigawake (8,1 km), Cap-d'Espoir (10,1 km), l'embouchure de la rivière Malbaie (7,8 km) et Percé (1,2 km), pour un total d'environ 50 kilomètres (figure 1) .

Figure 1 : Carte des secteurs du MTQ couverts par le projet de recherche



3. MÉTHODOLOGIE ET OBJECTIFS DE RECHERCHE

Dans ce projet, une série d'outils ont été utilisés simultanément lors des relevés aéroportés, soit la vidéogrammétrie, le système laser et une centrale inertielle. Ces mesures ont été complétées par une série de relevés au sol (points de contrôle, échantillonnage sédimentologique et géotechnique). Le projet avait pour objectif principal d'évaluer les performances (précisions absolue et relative) de deux technologies (laser et vidéogrammétrie) pour le suivi de l'érosion littorale en Gaspésie.

Cette recherche vise également à développer une nouvelle classe de fusion de données et de méthodes d'intégration applicables à la gestion du littoral le long de corridors spécifiques de relevés. Le projet a permis d'accélérer le transfert technologique entre les gouvernements, les industries de l'environnement et celles de la géomatique à travers une recherche multidisciplinaire (sédimentologie, géomatique, physique, géologie) et multisectorielle. De plus, les résultats d'analyse doivent permettre de déterminer la vulnérabilité au changement climatique et à l'érosion côtière des infrastructures situées le long de la baie des Chaleurs à partir de données aéroportées à très haute résolution (Long *et al.*, 2004).

4. DESCRIPTION DES TECHNOLOGIES

4.1 LIDAR

Le LIDAR (Light Detection And Ranging) est basé sur le principe des systèmes RADAR. Il utilise des impulsions de très courte longueur d'onde, proche de l'infrarouge, émises par un laser (Long *et al.*, 2004). Le LIDAR est considéré comme très fiable dans l'évaluation des distances à partir d'une plate-forme aérienne (figure 2). Il est habituellement équipé d'un système de détection visuelle. Cette option du système LIDAR permet de quantifier tous les points au sol en particulier ceux qui sont difficiles d'accès, comme les falaises. Il s'avère également très utile pour les applications qui demandent un haut degré de précision.

Figure 2 : Le LIDAR (figure adaptée de Long *et al.*, 2004)



Les données LIDAR obtenues par la compagnie Lasermap Image Plus sont utilisées pour dresser une cartographie tridimensionnelle du territoire (*Lasermap Image Plus*, 2005). Cette technologie permet de créer rapidement des modèles numériques de terrain (MNT) très détaillés et moins coûteux que les approches traditionnelles (relevé d'arpentage), surtout dans le cas de grands secteurs de côte (*Lasermap Image Plus*, 2005).

Pour ce projet en Gaspésie, deux relevés aéroportés ont été effectués, soit les 17 et 18 mai 2003 et les 6, 7 et 8 mai 2004. L'avion de type bimoteur Navajo a donc volé à une altitude de 800 m à marée basse et il a couvert un corridor de 400 m. L'espacement des points au sol a été de 30 cm le long du balayage et de 150 cm entre deux lignes de balayage (Long *et al.*, 2004).

Des MNT très précis ($\pm 0,15$ m) ont été réalisés pour chacune des zones à l'aide d'algorithmes développés par l'équipe de recherche. Ces MNT ont été analysés à l'aide d'un système d'information géographique (SIG), soit MapInfo 7.5 avec Vertical Mapper. La superposition de deux MNT, provenant d'années différentes, est utilisée pour produire les modèles numériques d'érosion (MNE) et pour établir des bilans sédimentaires. Les MNT permettent de produire des simulations d'élévation du niveau marin, des modèles de prévision des risques (MPR) et des profils de côte. À la suite de cette étape d'analyse spatiale des données d'élévation, une cartographie de la sensibilité du littoral à l'érosion côtière sera effectuée afin de repérer les zones les plus à risque et d'orienter les prises de décision.

Pour chaque relevé LIDAR, l'équipe de recherche a mesuré l'intensité du signal de retour du LIDAR et un nombre de paramètres géotechniques. Les mesures du signal LIDAR sont fonction de l'environnement du milieu et de sa teneur en eau. À partir de l'information provenant du signal LIDAR, un modèle numérique d'intensité (MNI) a été généré pour tous les secteurs du littoral couverts par le projet. Ce MNI n'exprime aucune valeur d'altitude; la représentation de cette couche d'information est obtenue par une gamme d'intensité de gris (de noir à blanc) reliée à la variation du signal laser.

L'équipe de recherche tente de développer une relation mathématique entre cette intensité moyenne du LIDAR et le rapport intensité tomographique / teneur en eau. Cette intensité tomographique varie en fonction de la minéralogie et de la granulométrie des sédiments, tandis que les variations du signal LIDAR dans un même environnement sont caractérisées par l'hétérogénéité du matériel au sol. Pour valider cette équation, plusieurs sorties sur le terrain ont été effectuées pour prélever des carottes et des échantillons de surface. Avec les outils de traitement d'images, il sera possible d'établir la classification du signal LIDAR pour définir des classes de matériel au sol, soit végétation, route, sédiment sec (haut de plage) ou sédiment humide (bas de plage), pour faire l'interprétation des secteurs constituant le littoral.

4.2 Vidéogrammétrie

La vidéogrammétrie est une technique d'acquisition et de mesure qui permet en deux passages de capturer des images en vues verticales et obliques (figure 3). Cette nouvelle technologie exploite la stéréorestoration pour la collecte de données à référence spatiale (x, y et z) à partir d'imagerie numérique de haute résolution. Le système CYCLOP-3D développé par la compagnie GÉO-3D de Longueuil est composé d'une caméra CCD numérique, de senseurs de navigation (GPS et centrale inertielle) et du logiciel d'acquisition d'images géoréférencées KRONOS (GÉO-3D, 2005).

Figure 3 : Séquences de vidéos obliques et verticales de falaise de Cap-d'Espoir

Vue verticale



Vue oblique

Dans le cadre de ce projet et ce, pour la première fois, GÉO-3D a effectué simultanément la prise d'imagerie numérique et le balayage laser. Les séquences verticales étaient donc capturées conjointement avec la centrale inertielle du système LIDAR. Cette étape de traitement des images a été améliorée, puisque les données de navigation ont été intégrées dans les informations de référence des images verticales. Avec cette approche, la précision des séquences verticales ne dépendait plus des problèmes de navigation, mais uniquement du système d'imagerie. Ce travail de traitement a été effectué au moyen du logiciel CYCLOP-3D Analyst qui offre un ensemble de fonctions de restitution

d'objets et de mesures basées sur des calculs photogrammétriques. Pour fusionner les deux systèmes (laser et vidéogrammétrie), l'équipe de recherche a fixé l'altitude de vol à 800 m au lieu de l'altitude de 150 m habituellement utilisée pour la prise de séquences vidéographiques. À la suite de ce changement, la compagnie GÉO-3D a effectué des modifications dans la caméra numérique qui avait une résolution (pixel) de 30 cm, et ce, pour les images verticales et obliques (Long *et al.*, 2003).

Durant la phase de géoréférence des mosaïques verticales des lignes de vol, GÉO-3D est parvenu à améliorer son nouveau logiciel CYCLOP-3D Mosaic. Ce logiciel a servi à produire automatiquement des mosaïques géoréférencées verticales (non-orthorectifiées) pour les secteurs où la route est située près de la mer (figure 4). Ces mosaïques ont été directement transférées dans un SIG (MapInfo) et utilisées pour la planification des projets d'intervention du MTQ.

Figure 4 : Mosaïque verticale géoréférencée d'une ligne de vol dans le secteur de Percé



De tous les projets que GÉO-3D a réalisés, les images verticales géoréférencées relevées pour ces zones littorales en Gaspésie sont probablement les plus précises et les mieux adaptées pour la création de mosaïques, parce qu'elles étaient prises à partir d'un avion (moins susceptibles d'être affectées par les mouvements de roulis, tangage et azimuth d'un hélicoptère), les lignes de vol étaient droites et les données de la centrale inertielle étaient intégrées aux images verticales (GÉO-3D, 2005). Selon les tests effectués par le MTQ et GÉO-3D, en planimétrie, la précision des mesures relatives des mosaïques verticales géoréférencées, après l'application d'une transformation géométrique et d'un rééchantillonnage, a pu atteindre près de 2,5 m dans un SIG.

Pour ce qui est des images obliques, seules les données de positions (latitude, longitude, altitude) ont été intégrées dans le logiciel CYCLOP-3D, la centrale inertielle n'étant pas en opération durant la couverture oblique (GÉO-3D, 2005). Ces images ont surtout servi à l'analyse descriptive (visualiser la stratigraphie et les cicatrices de glissement, définir les processus d'érosion) des sites et n'ont donc pas été utilisées dans un SIG au MTQ.

5. RÉSULTATS ET PRODUITS DE LA RECHERCHE

Au terme de ce projet de recherche, plusieurs développements scientifiques et technologiques auront été accomplis, ce qui a permis autant au MTQ qu'à ses collaborateurs d'obtenir de nouveaux outils mieux adaptés pour l'analyse et le suivi des zones côtières où l'érosion menace la route 132.

Grâce à ce projet, la compagnie Lasermap Image Plus a amélioré la précision du laser et le filtrage automatique des données (extraction de la végétation et des constructions humaines), surtout en zone de pente abrupte (ex. : falaise). Le signal d'intensité du LIDAR pourrait servir à d'autres fins. Avec les outils de classification des images, les données LIDAR peuvent détecter les variations dans l'intensité du signal pour une nouvelle chaussée par rapport à une autre route en mauvaise condition. Les résultats de ces recherches ne sont pas encore détaillés, mais ils sont très prometteurs (Long *et al.*, 2003).

La compagnie GÉO-3D est toujours en phase de développement avec le logiciel CYCLOP-3D Mosaic et elle utilise les données recueillies dans le présent projet pour effectuer d'autres tests de fiabilité et de performance (GÉO-3D, 2005).

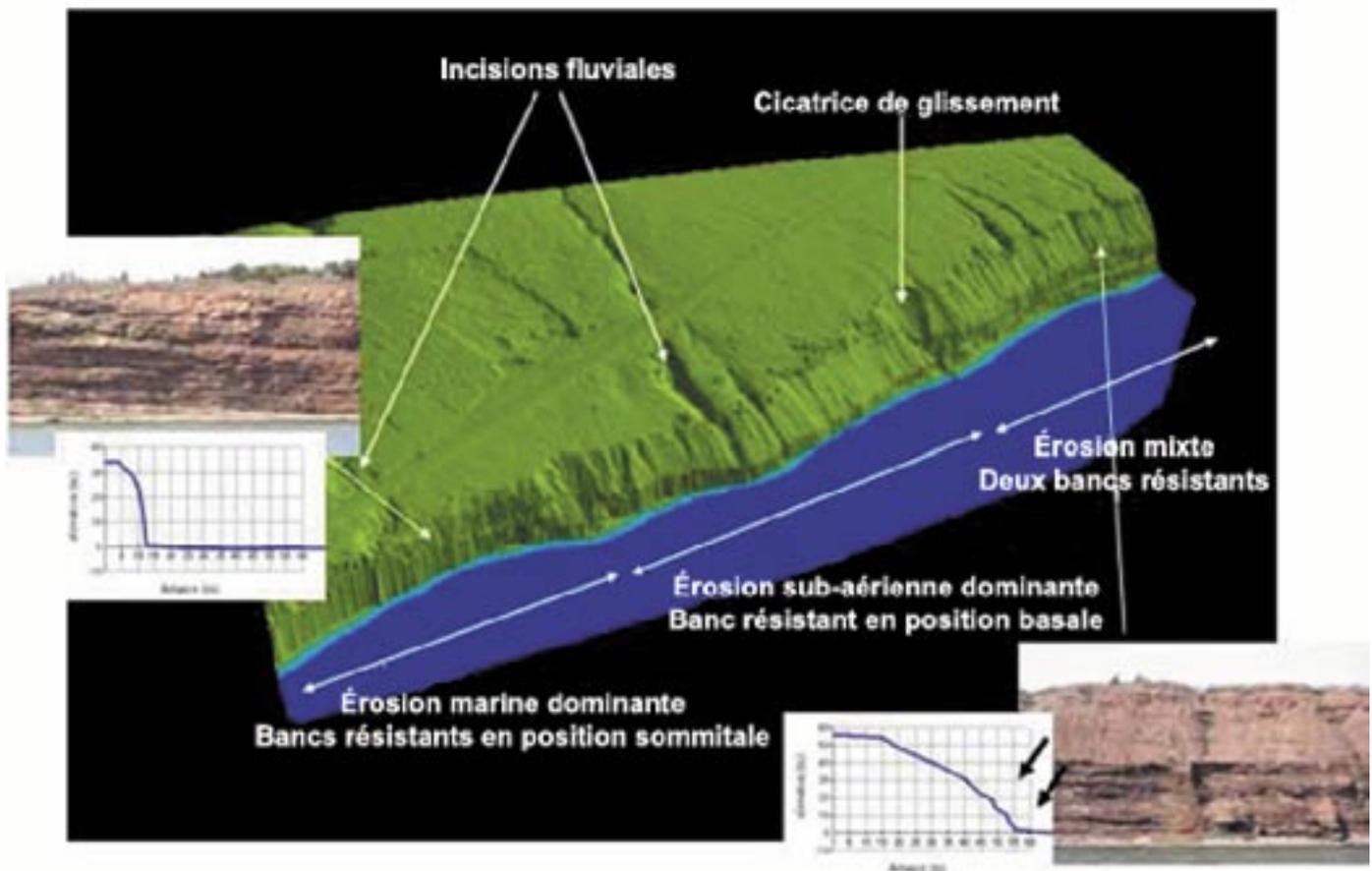
Le fait d'avoir fusionné dans le même survol le LIDAR et l'imagerie verticale a amélioré la précision des données cartographiques. Les différentes vues obliques et verticales à grande échelle en couleur ont permis une meilleure représentation 3D de l'état des lieux que ce qu'en donnaient les relevés conventionnels de photographie aérienne.

Les produits cartographiques obtenus présentent les taux de recul, les courbes de niveau au mètre, les sections d'arpentage superposées aux mosaïques, les profils de côte, les bilans sédimentaires et les modèles tridimensionnels en fusionnant le LIDAR et la vidéogrammétrie (figures 5 et 6).

Figure 5 : Modèle tridimensionnel d'une falaise de Cap-d'Espoir



**Figure 6 : Exemple d'analyse du secteur de Cap-d'Espoir
(figure adaptée de Long et al., 2004)**



Une base de données a également été développée pour regrouper dans un SIG toutes les informations tirées du terrain et des analyses en laboratoire. Cette phase d'intégration des données est en cours et a pour but de simplifier l'accès à l'ensemble de l'information par les différents utilisateurs.

Les principaux bénéfices sont : une nette amélioration des outils d'intervention et de planification des projets de protection des berges, un accès facile à des données précises pour des secteurs de côte difficiles d'accès pour la prise de mesures, une meilleure compréhension des processus d'érosion, une méthodologie d'acquisition de données moins coûteuse, rapide, très détaillée et plus efficace pour couvrir un grand territoire.

Toutes les données recueillies et analysées dans ce projet de recherche ont servi à différents projets de maîtrise et de doctorat d'étudiants autant à l'INRS-ETE à Québec, qu'aux départements des sciences géomatiques de l'Université Laval et de l'Université York à Toronto. Les premiers résultats des travaux de recherche ont déjà été présentés lors d'ateliers organisés par le Réseau GÉOIDE et dans trois congrès (Conférence canadienne sur le littoral, Ontario 2003; 29th International Conference on Coastal Engineering, Portugal, 2004; 32th International Geological Congress, Italie, 2004).

6. RÉFÉRENCES

GÉO-3D inc. GÉO-3D – *Accueil*, [en ligne]. [www.geo-3d.com/] (8 mars 2005)

Réseau GÉOIDE. *The GOLD System*, [en ligne]. [https://geoide.goldsystem.ca/internet/u_703_01.asp?id_projet=259] (7 mars 2005)

Lasermap Image Plus. *LASERMAP*, [en ligne]. [www.lasermap.com/] (8 mars 2005)

LONG, Bernard, Régis XHARDÉ, Maude BOUCHER, Hocine BOUHERAOUA et Déborah DRAI. *Applications géomatiques adaptées pour l'exploration des ressources et des risques naturels*, Québec, Université du Québec, INRS-centre Eau, Terre et Environnement (ETE), 2004, rapport d'étape, GÉOIDE #27, RES#LON, étude réalisée pour le ministère des Transports du Québec, 26 p. et annexes.

MORNEAU, François, Michel MICHAUD, Fabien LECOURS, Lucie CÔTÉ et Denis ROY. *Étude d'impact sur l'environnement – Projets de protection des berges le long de la route 132 autour de la péninsule gaspésienne*, gouvernement du Québec, ministère des Transports, 2001, 84 p. et annexes.

NOTE

1. Réseau du Centre d'excellence GÉOIDE : corporation légalement constituée ayant son siège social à l'Université Laval.

Architecture paysagère et sécurité routière Gestion du bruit à proximité des chantiers routiers

Line Gamache

Direction de l'Île-de-Montréal, Ministère des Transports du Québec

Les chantiers de construction ou de réfection routière sont un mal nécessaire afin d'assurer le développement du réseau routier ou son maintien en bon état. Sur le territoire de l'île de Montréal, compte tenu des débits routiers élevés, des mesures pour gérer la circulation pendant les travaux sont nécessaires afin de réduire les inconvénients causés aux usagers de la route. Plusieurs chantiers nécessitant la fermeture partielle ou totale d'une autoroute seront donc plus actifs la nuit afin de réduire l'impact sur la circulation. Ceci peut être une solution intéressante du point de vue de la gestion de la circulation, mais pour les riverains habitant à proximité des chantiers, l'impact du bruit sur la qualité de vie, particulièrement sur la qualité et la quantité de sommeil, peut être très important surtout si le chantier se prolonge pendant plusieurs semaines, voire des mois, dans le même secteur.

Considérant qu'une grande partie des autoroutes sur l'île de Montréal sont bordées de secteurs résidentiels, que le nombre de plaintes liées au bruit est croissant et que des travaux doivent parfois être arrêtés la nuit en raison de plaintes répétées, la Direction de l'île-de-Montréal du ministère des Transports du Québec a développé une approche pour gérer cette problématique. Cet article présente les principaux éléments de cette approche ainsi que les mesures d'atténuation mises en place et en développement.

1. HISTORIQUE

Le premier suivi acoustique réalisé dans le cadre de travaux routiers a été effectué en 1990 lors des travaux de réfection de l'autoroute métropolitaine à Montréal. Ce chantier impliquait des fermetures de voies et des travaux de jour et de nuit. Le but de ce suivi était de cerner la gêne sonore réelle ressentie par les riverains pendant les travaux et d'acquiescer une banque d'informations au sujet des niveaux sonores émis par les équipements. Ce projet a également permis d'effectuer une première prise de contact avec les entrepreneurs et les surveillants de chantier dans le but de les sensibiliser à la problématique. Pendant ce projet, quelques mesures d'atténuation ont été élaborées et testées en chantier.

Les résultats du suivi de 1990 ont contribué à l'élaboration de normes concernant la protection du milieu sonore à l'étape de la construction. Ces normes ont été publiées en 1996 par le ministère des Transports (1).

En 1998, les premières clauses au devis de l'entrepreneur concernant la gestion du bruit sont apparues et en 2002 la Direction de l'île-de-Montréal a élaboré et adopté un devis spécial consacré à la gestion du bruit. Depuis, tous les chantiers impliquant des travaux à proximité de secteurs

résidentiels sur l'île de Montréal comportent un devis spécifiant à l'entrepreneur les exigences concernant la gestion du bruit.

2. DEVIS DE GESTION DU BRUIT

Le contenu du devis de gestion du bruit varie d'un chantier à l'autre et est fonction du type d'opérations et d'équipements utilisés, de la durée des travaux, de la configuration de l'autoroute, de la période d'exécution des travaux (jour, nuit) et de la proximité des zones sensibles au bruit. De façon générale, le devis de gestion du bruit précise les obligations et exigences à respecter, soit :

- les niveaux sonores autorisés;
- l'assistance technique requise en chantier par une firme spécialisée en acoustique pour les chantiers d'importance;
- l'élaboration d'un programme de gestion du bruit comprenant un plan de suivi acoustique;
- les équipements et mesures d'atténuation obligatoires.

C'est au moment du dépôt du programme de gestion du bruit que le type et l'emplacement des mesures d'atténuation sont déterminés. Toutefois, certaines mesures d'atténuation peuvent être requises par le Ministère et exigées au devis.

Niveaux sonores autorisés

Les sources de bruit sur un chantier sont de nature variable. Il peut s'agir de sources fixes ou mobiles, par exemple alarmes de recul, outils pneumatiques ou hydrauliques et différents véhicules circulant sur le site. Le bruit général se compose du bruit produit par le fonctionnement des moteurs, des vibrations produites par les équipements, des différents déplacements et des bruits d'impacts divers. Considérant ces sources variées, il est difficile et peu pratique de fixer des seuils sonores pour chaque équipement ou type d'opération. L'approche adoptée consiste à fixer un seuil sonore à ne pas dépasser par période de la journée à proximité des zones sensibles au bruit, soit principalement les habitations, les écoles et les hôpitaux.

Les niveaux sonores maximaux spécifiés en bordure des chantiers où l'on trouve des zones sensibles au bruit sont indiqués ci-dessous. Ces seuils ont évolué au fil des ans, et ils tendent à diminuer au fur et à mesure que l'expertise et les mesures d'atténuation se développent. Les niveaux sonores autorisés représentent les limites à ne pas dépasser et ils sont mesurés à cinq mètres du bâtiment à protéger (habitation, école, hôpital).

Période	Niveau sonore autorisé en décibels A
Jour (de 7 h à 19 h)	75 décibels ou bruit ambiant avant les travaux, majoré de 5 décibels (le plus élevé des deux est le niveau retenu)
Soir (de 19 h à 22 h)	bruit ambiant avant les travaux, majoré de 5 décibels
Nuit (de 22 h à 7 h)	bruit ambiant avant les travaux, majoré de 5 décibels

Le niveau sonore autorisé est représenté par un indicateur (L10) qui prend en considération les bruits de pointe, qui se démarquent du bruit moyen. Le temps de mesure est 30 minutes.

Le bruit ambiant avant les travaux est représenté par un indicateur qui établit le niveau sonore moyen (Leq) mesuré sur une période minimale de 24 heures avant le début des travaux de construction. Le bruit ambiant est évalué pour le jour (de 7 h à 19 h), le soir (de 19 h à 22 h) et la nuit (de 22 h à 7 h).

Programme de gestion du bruit

Lorsqu'un chantier est situé à proximité de zones sensibles au bruit, un programme de gestion du bruit doit être élaboré et implanté. Ce programme est une exigence spécifiée au devis de l'entrepreneur. Ce dernier doit présenter au MTQ un programme qui explique la méthodologie qui sera utilisée pour effectuer les activités du chantier en conformité avec les niveaux sonores autorisés. Le programme comprend généralement ce qui suit :

- la description du secteur où les activités ont lieu;
- les niveaux sonores anticipés pendant les travaux;
- les mesures d'atténuation prévues ainsi que leur efficacité;
- la procédure de mise en place des mesures d'atténuation.

Afin de s'assurer que les niveaux sonores autorisés ne sont pas dépassés et que les mesures d'atténuation sont efficaces, un suivi acoustique est réalisé tout au long des travaux par l'entrepreneur et le surveillant de chantier. La fréquence et le nombre de relevés sonores sont fonction de la durée du chantier et de la proximité des zones résidentielles. Un chantier nécessitant des travaux de nuit fera généralement l'objet d'un suivi plus élaboré qu'un chantier où les travaux sont effectués de jour.

Le suivi acoustique implique également la réalisation de relevés sonores ayant pour but d'évaluer le bruit produit par les équipements et les outils utilisés sur le chantier afin de s'assurer qu'ils respectent les niveaux d'émission sonore spécifiés aux fiches techniques, qu'ils sont bien ajustés et que leur entretien est adéquat.

Dans le cas où les niveaux sonores s'avèrent plus élevés que les seuils autorisés, le Ministère fait parvenir à l'entrepreneur un avis l'informant de corriger la situation. Il peut s'agir également d'évaluer avec ce dernier la possibilité de mettre en place des mesures d'atténuation additionnelles. Dans les cas les plus graves, les mesures prises peuvent aller jusqu'à la suspension temporaire des travaux le temps de trouver une solution. Dans le cas où l'ensemble des mesures prévues au programme de suivi acoustique n'est pas mis en place, le Ministère peut imposer des amendes.

3. MESURES D'ATTÉNUATION

Les mesures d'atténuation qui ont été utilisées en chantier sont diverses. Ces mesures peuvent être appliquées à la source de bruit (équipements et outils), à la propagation du bruit entre la source et le récepteur ou concerner l'information (communication et sensibilisation).

3.1 Mesures d'atténuation appliquées à la source de bruit

Généralement ces mesures sont spécifiées au devis. Il peut s'agir d'exiger un modèle d'équipement plus silencieux, de restreindre l'utilisation d'un équipement à certaines périodes de la journée, d'exiger des équipements électriques en substitution à des équipements diesels ou hydrauliques ou d'utiliser des alarmes de recul à intensité variable. Par ailleurs, la modification des méthodes de travail, le choix d'une technique de démolition moins bruyante (par exemple l'utilisation d'une mâchoire plutôt que des marteaux pneumatiques) et la restriction de l'utilisation des freins moteurs peuvent contribuer à réduire le bruit tant pour les ouvriers que pour les riverains de l'autoroute. Plusieurs mesures de ce type ont été utilisées à ce jour sur divers chantiers; plus spécifiquement, voici quelques exemples de mesures appliquées à des marteaux hydrauliques.

Le marteau traditionnel (figure 1) est la version la plus bruyante de ce type d'équipement. Diverses méthodes ont été utilisées pour en diminuer le bruit. Lorsqu'il est recouvert d'un caisson comme le montre la figure 2, une réduction sonore d'environ 10 décibels par rapport à un marteau traditionnel est possible. De la même façon, un marteau fermé de fabrication plus récente (figure 3) permet d'obtenir des réductions sonores de 5 à 7 décibels selon les modèles.

Figure 1



Figure 2



Figure 3



Pour des travaux de courte durée, le marteau peut être recouvert d'une toile acoustique (figure 4) qui permet d'obtenir une réduction sonore d'environ 10 décibels. Cette méthode ne convient toutefois pas pour des travaux de longue durée puisque la toile se déchire à la suite des manipulations diverses.

Figure 4



3.2 Mesures d'atténuation appliquées à la propagation du bruit

Il s'agit essentiellement d'empêcher les ondes sonores d'atteindre les riverains. Pour ce faire, il peut être possible d'augmenter la distance entre la source de bruit et le récepteur ou, de façon plus courante, d'empêcher les ondes sonores de se propager en utilisant des enceintes acoustiques, des écrans antibruit ou des toiles acoustiques.

Les écrans antibruit temporaires permettent une réduction sonore de 10 à 15 décibels pour les habitations situées près des travaux. L'efficacité des murs antibruit varie en fonction de l'étage. Ainsi, le rez-de-chaussée et le premier étage sont les plus efficacement protégés du bruit, tandis que ce type de mesure perd de son efficacité pour les étages supérieurs. La hauteur de ce type d'écran est limitée actuellement à environ quatre mètres pour des raisons de sécurité, notamment à cause de la résistance aux charges de vent.

Généralement, ce type d'écran est constitué d'un assemblage de feuilles de contreplaqué, de laine minérale et d'un treillis métallique pour maintenir la laine en place. Le côté recouvert de laine minérale est placé vers la zone de travaux afin d'absorber le bruit. Ce type d'écran a été utilisé pour

entourer des zones de travaux (figure 5). Dans ce cas, les écrans sont fréquemment sécurisés à l'aide de glissières en béton temporaires.

Figure 5



Des écrans antibruit mobiles et des enceintes ont également été utilisés pour entourer une génératrice ou un compresseur ou ont été installés sur un chariot élévateur ou une nacelle pour suivre des équipements mobiles ou difficiles d'accès (figures 6 à 8).

Figure 6



Figure 7



Figure 8



En 2003, lors des travaux de réfection du tunnel Notre-Dame-de-Grâce de l'autoroute Décarie, des rideaux acoustiques ont été utilisés afin de fermer la zone des travaux. Une structure métallique a été installée aux extrémités du tunnel Notre-Dame-de-Grâce afin de mettre en place ce type de mesure (figures 9 et 10).

Figure 9**Figure 10**

Pendant le jour, les rideaux étaient relevés afin de permettre la circulation des véhicules. Ces rideaux étaient attachés à une structure métallique. Le sommet ainsi que les côtés de la structure ont été fermés à l'aide de contreplaqué afin de s'assurer de l'étanchéité de l'ensemble lorsque les rideaux étaient abaissés.

La nuit, lorsque l'autoroute Décarie était fermée à la circulation, les rideaux étaient abaissés manuellement ou à l'aide d'un treuil dans le cas des grandes toiles, ce qui permettait de fermer la zone de travail (figures 11 et 12). Des réductions sonores de 10 à 20 décibels ont été enregistrées. Il faut noter toutefois que pendant certains travaux, des sections de rideaux pouvaient rester levées afin de laisser le passage aux équipements. De plus, une attention particulière a dû être apportée à la ventilation du tunnel afin d'assurer la sécurité des ouvriers.

Figure 11**Figure 12**

3.3 Mesures d'atténuation concernant l'information

Ce type de mesure est utilisé afin de sensibiliser les travailleurs, d'informer la population au sujet des mesures d'atténuation du bruit mises en place et d'indiquer la façon de communiquer avec le MTQ.

En ce qui concerne les travailleurs, une formation sur la problématique de gestion du bruit s'adressant aux surintendants, aux ouvriers de même qu'aux surveillants de chantier est obligatoire au devis de l'entrepreneur.

Dans le cas de la population, plusieurs mesures ont été mises en place afin d'améliorer la communication avec cette dernière. Ainsi, il y a distribution d'un feuillet d'information avant le début des travaux (nature et durée des travaux, mesures d'atténuation mises en place, numéros de téléphone à composer pour formuler une plainte, etc.).

Un logo (figures 13 et 14) identifiant les mesures d'atténuation a été créé. Ce logo est appliqué sur les écrans antibruit temporaires ou les équipements comportant des améliorations acoustiques.

Figure 13



Figure 14



Figure 15



En périphérie du chantier, à la vue des citoyens, des panneaux (figure 15) indiquent les numéros de téléphone à composer pour formuler une plainte. Ce service est en fonction jour et nuit. Un opérateur prend note de la plainte et la relaie au chantier pour traitement en temps réel.

3.4 Mesures d'atténuation en développement

La gestion du bruit généré par les chantiers routiers est relativement récente au Québec. Il y a donc place pour la recherche et le développement de diverses mesures d'atténuation. Plusieurs projets de recherche ont été entrepris afin de développer des techniques et des équipements moins bruyants et d'élaborer des mesures d'atténuation efficaces. Des demandes ont également été faites auprès de fournisseurs afin d'identifier des modèles d'équipements moins bruyants. Des tests ont été réalisés en chantier avec de tels équipements, par exemple des marteaux hydrauliques munis d'un caisson

insonorisant. Un projet a permis de développer un prototype de silencieux pour les buses de jet de sable. Les tests effectués en chantier avec ce prototype ont donné des résultats prometteurs. Un travail est en cours avec l'École d'orthophonie et d'audiologie de l'Université de Montréal afin de réviser les seuils et les indicateurs de bruit utilisés de façon à mieux évaluer la gêne réellement perçue par la population résidant à proximité d'un chantier routier.

Plus spécifiquement, depuis 2003, deux projets ont permis d'expérimenter en chantier une mesure d'atténuation potentielle, soit l'ajout de masquage sonore, ainsi qu'un système de suivi acoustique automatisé.

Masquage sonore

Les niveaux sonores autorisés sont établis à partir du bruit ambiant existant avant les travaux de construction. De façon générale, ces niveaux correspondent au bruit ambiant plus 5 décibels. Cette augmentation de 5 décibels est perceptible par la population d'autant plus que le bruit de travaux de construction est généralement intermittent contrairement au bruit ambiant existant à proximité d'une autoroute très fréquentée. Bien qu'il s'agisse d'un impact sonore perceptible, compte tenu du caractère temporaire de ce type de travaux, il peut être jugé acceptable. Lorsque des travaux impliquent la fermeture complète d'une autoroute, la situation devient alors plus problématique. En effet, dans ce cas précis, le bruit ambiant sans travaux peut chuter de 10 à 20 décibels et la gêne ressentie par la population peut alors devenir importante même si les niveaux sonores autorisés sont respectés car la diminution du bruit ambiant met alors en évidence les bruits générés par les travaux.

Lors des travaux de réfection de l'autoroute Décarie en 2003, la circulation routière a été interrompue entre 22 h et 5 h tous les jours de semaine, et ce, pendant plusieurs mois. Pour le secteur résidentiel situé à proximité de l'autoroute, les niveaux de bruit ambiant sont passés de 75 à 55 décibels environ lors de la fermeture de l'autoroute. Cette diminution importante du bruit ambiant a mis en évidence les bruits générés par les travaux de réfection pendant la nuit. N'entendant plus le bruit continu et uniforme de la circulation sur l'autoroute, les riverains ont subi le passage d'un environnement sonore prévisible à un environnement constitué de bruits de construction imprévisibles et variables. Bien que les relevés sonores effectués pendant les travaux à proximité des habitations limitrophes à l'autoroute indiquaient que les niveaux de bruit étaient inférieurs aux seuils autorisés pendant cette période et que des mesures d'atténuation avaient été mises en place (silencieux, écrans antibruit, rideaux acoustiques, etc.), la nature des bruits résiduels en provenance du chantier pouvait altérer la qualité du sommeil de la population. Le MTQ a voulu explorer la possibilité de réduire la gêne ressentie par la population par l'introduction, dans le secteur résidentiel exposé, d'un fond sonore continu pouvant réduire l'émergence des bruits intermittents générés par les travaux de réfection ou les masquer en partie.

Un projet d'expérimentation a été mis sur pied par la Direction de l'île-de-Montréal, en collaboration avec une équipe de spécialistes de l'École d'orthophonie et d'audiologie de l'Université de Montréal. Dans un premier temps, des séances d'écoute ont permis de déterminer quels étaient les bruits les plus dérangeants émanant du chantier et d'identifier des sons masquants jugés intéressants. Les simulations en laboratoire ont permis d'identifier deux fonds sonores efficaces pour masquer le bruit des travaux routiers, soit des bruits de vagues (océan) et de chutes d'eau (chute constante). Ces sons

ont été notamment privilégiés parmi des bruits de croassement de grenouilles, de pluie et de bruissements de feuilles.

La deuxième partie de l'expérience a consisté à effectuer des tests pendant une dizaine de nuits à proximité du chantier. En collaboration avec une firme de sonorisation, on a installé un système de diffusion sonore à deux endroits différents dans le quadrilatère pour une période totale de 15 nuits en septembre et octobre 2003. Le système de diffusion était constitué d'une unité de quatre enceintes acoustiques d'un mètre de hauteur installées dans la baie arrière d'un camion (figure 16).

Figure 16



Diffusés de 22 h à 5 h, les sons retenus étaient généralement ajustés à un volume de 10 décibels de plus que les niveaux de bruit produits par les travaux routiers. Une deuxième partie de l'expérimentation visait aussi la diffusion de ces fonds sonores masquants à l'intérieur des chambres à coucher des citoyens participants, à l'aide de lecteurs de disque compact. Pour recueillir leur perception sur l'efficacité de ces mesures, on a invité les résidents habitant dans le secteur à l'étude à remplir un questionnaire à cet effet.

L'analyse des commentaires recueillis auprès des résidents a fait ressortir les points suivants. Le fond sonore « océan » a globalement été apprécié. Il a été jugé efficace pour atténuer le bruit et utile pour réduire la gêne ressentie lors de l'exposition au bruit des travaux de réfection de l'autoroute. Le jugement des participants ne semble pas influencé par le mode de diffusion (extérieur ou intérieur), les niveaux d'appréciation et d'utilité atteignant les mêmes proportions (plus de

80 %). Le fond sonore « chute constante » a globalement été considéré comme dérangeant, une proportion non négligeable de sujets ayant jugé la diffusion inutile ou nuisible ou ayant stoppé la diffusion intérieure pour les mêmes raisons. Ce fond sonore a été jugé plutôt inefficace pour atténuer le bruit de même qu'inutile ou même nuisible pour réduire la gêne ressentie lors de l'exposition au bruit des travaux de réfection de l'autoroute. Toutefois, en ce qui concerne le fond sonore « chute constante », trop peu de participants se sont prononcés sur la diffusion extérieure pour que des conclusions valides puissent être tirées de cette partie de l'expérience.

Bien que les conditions de réalisation de la diffusion dans l'environnement aient pu être limitées par des conditions climatiques relativement froides, les résultats mettent en évidence le bénéfice de cette approche dans la réduction de la gêne ressentie, particulièrement en ce qui a trait aux effets du bruit sur la détérioration de la qualité du sommeil. Des deux fonds sonores étudiés lors de la phase de diffusion, le son « océan » a été davantage apprécié par les participants à l'étude avec un niveau d'appréciation de plus de 80 %, autant pour sa qualité subjective agréable que pour son utilité globale à réduire le sentiment de gêne.

En ce qui concerne la faisabilité technique, l'application de l'approche de diffusion dans l'environnement a rencontré un certain nombre d'obstacles. Le nombre élevé de sources sonores nécessaires pour assurer la couverture complète et uniforme d'un secteur résidentiel affecté par le bruit provenant de travaux de réfection est un des facteurs limitants. À la suite de cette première expérimentation, il est apparu nécessaire de développer un système de sonorisation permettant d'automatiser certaines opérations et ainsi de réduire les coûts de cette mesure d'atténuation. Par ailleurs, d'autres expériences sont nécessaires afin de préciser les dimensions acoustiques (niveau global, spectre, signature temporelle) et non acoustiques (contexte, culture, émotions) qui permettent de mieux définir le caractère agréable des fonds sonores.

Une deuxième expérimentation a été réalisée en 2004 lors de la réfection du pont d'étagement Roi-René de l'autoroute 40 dans l'arrondissement Anjou. Lors de cette expérimentation, des sons masquants supplémentaires ont été testés. Dans l'ensemble, il s'agit de bruits d'eau (océan, chute, clapotement) jugés favorablement lors des séances d'écoute. Cette expérience s'est déroulée sur plusieurs mois. Afin de sonoriser adéquatement le secteur résidentiel, d'automatiser certaines opérations et de réduire le personnel requis, des enceintes acoustiques ont été installées sur une vingtaine de lampadaires ceinturant le secteur résidentiel (figure 17). Un système permettant de mesurer à distance le niveau sonore ambiant et de contrôler la diffusion du système de masquage a été développé, ce qui a permis de réduire le nombre d'interventions sur le terrain. À ce jour, les résultats finaux de l'expérimentation de 2004 ne sont pas complètement traités. Il semble toutefois que cette mesure d'atténuation ait été moins appréciée par les riverains que lors des travaux de réfection de l'autoroute Décarie. Dans le cas de l'autoroute 40, il faut souligner que les travaux ont été moins intensifs la nuit et que les fermetures complètes de l'autoroute ont été peu fréquentes. Les résultats mitigés peuvent donc être en partie liés à ces faits.

Figure 17



D'autres expérimentations seront réalisées au cours des prochaines années afin de déterminer les conditions nécessaires pour l'utilisation de cette mesure d'atténuation. Actuellement, les chantiers où une fermeture totale de l'autoroute la nuit est requise pour une longue période combinée à des travaux intensifs la nuit à proximité de zones résidentielles semblent correspondre aux sites les plus propices.

Système de suivi acoustique automatisé

Afin de s'assurer que les niveaux sonores autorisés ne sont pas dépassés et que les mesures d'atténuation sont efficaces, un suivi acoustique est réalisé tout au long des travaux par l'entrepreneur et le surveillant de chantier. La fréquence et le nombre de relevés sonores sont établis en fonction de la durée du chantier et de la proximité des zones résidentielles. Généralement, pour réaliser ce suivi, un technicien effectue des relevés sonores d'environ 30 minutes sur différents sites et à différents moments de la journée. Cette façon de procéder permet de repérer des dépassements des niveaux sonores autorisés et d'ajuster ou d'ajouter certaines mesures d'atténuation si nécessaire. Il n'est toutefois pas possible de dresser un portrait d'ensemble de l'environnement sonore à proximité d'un chantier ou de connaître en tout temps les dépassements des niveaux sonores autorisés car cela nécessiterait du personnel affecté à cette tâche en continu – jour et nuit – et entraînerait des coûts importants.

Lors des travaux de réfection des ponts d'étagement Henri-Bourassa de l'autoroute 40 dans l'est de l'île de Montréal en 2004, le MTQ a mandaté une firme-conseil en bruit communautaire afin de mettre en place quatre stations automatisées de mesure des niveaux sonores dans le cadre d'un projet pilote s'échelonnant sur une période de cinq mois. L'objectif principal de ce projet était d'obtenir en temps réel et en continu les niveaux sonores mesurés en bordure des zones résidentielles situées à proximité des travaux et de valider les outils d'accompagnement et les méthodes développées par cette firme. Le site d'expérimentation ceinturait le chantier de réfection des ponts d'étagement du boulevard Henri-Bourassa qui traverse l'autoroute 40. Ce chantier était en fonction en continu – jour et nuit – et il a débuté en mai 2004 pour se terminer en novembre de la même année.

Quatre stations automatisées de mesure des niveaux sonores ont été installées à la fin mai à proximité des habitations les plus rapprochées de la zone des travaux, soit approximativement entre 5 et 10 mètres des bâtiments résidentiels. Le système mis en place comprenait quatre stations d'acquisition, dont trois stations esclave et une station maître reliées entre elles par des radios-modems. Chacune d'entre elles fonctionnait en continu pendant 24 heures, en autonomie complète grâce à des piles et à l'énergie solaire. La station maître était reliée à Internet par un modem cellulaire. Chaque station possédait un sonomètre Larson-Davis modèle 820 de type 1 ainsi qu'une protection environnementale pour le microphone qui inclut une mousse anti-vent et une protection contre les oiseaux. Le micro employé était de type « champ libre » et il était situé à l'extérieur du boîtier afin d'éviter toute réverbération. Chaque station était munie d'un boîtier de 30 cm x 40 cm x 25 cm avec panneaux solaires intégrés pour permettre une portabilité accrue (figure 18). Les stations ont été installées sur des lampadaires ou divers poteaux (Bell, soutien de corde à linge).

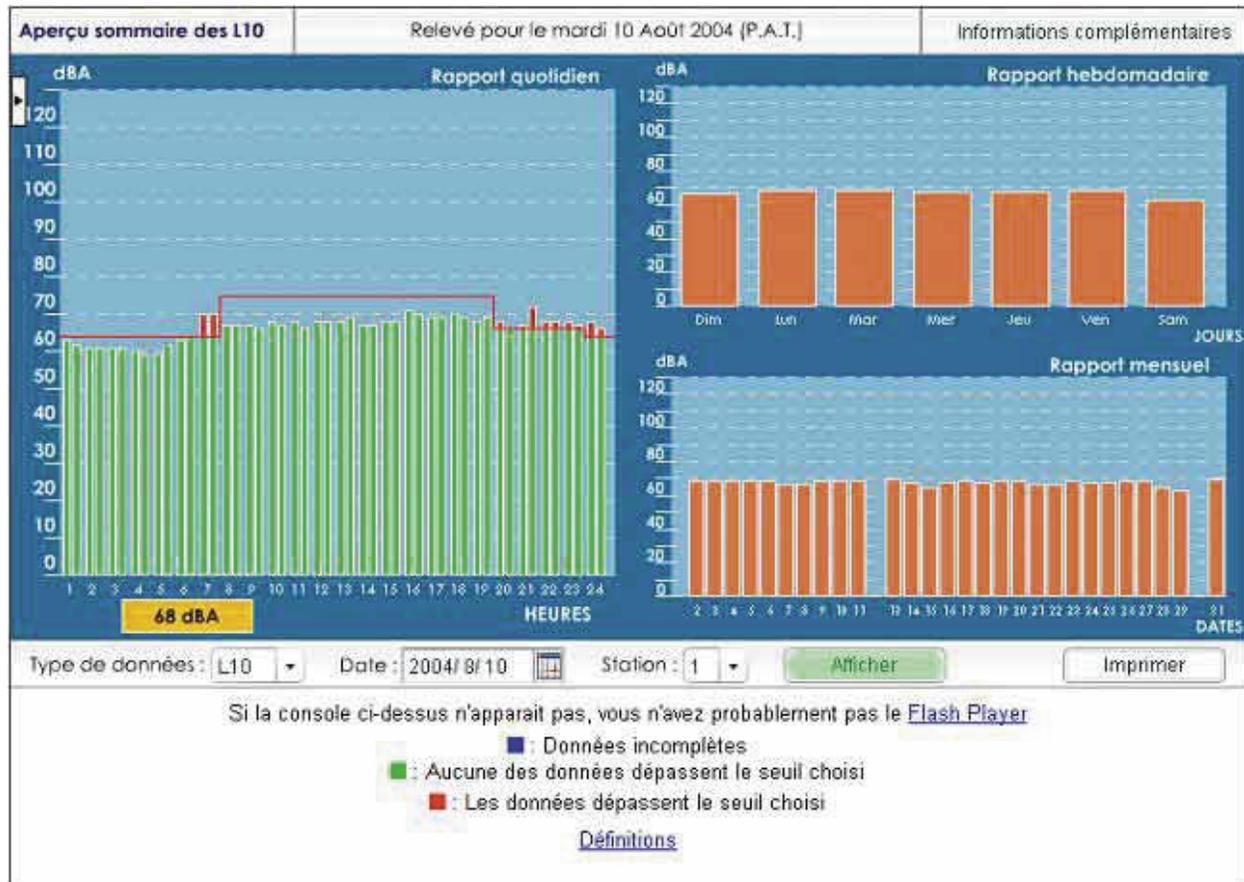
Figure 18



L'acquisition des données s'effectuait en continu pendant 24 heures. À un intervalle de temps variable, la station maître effectuait des requêtes aux stations esclave afin de recueillir les données, puis elle les transmettait au serveur de la firme par Internet.

Le surveillant de chantier pouvait alors visualiser en direct les niveaux sonores des quatre stations à partir d'un programme de visualisation qui se connectait au serveur. La station maître possédait une fonction d'enregistrement qui s'activait lors de dépassements sonores importants par rapport au bruit ambiant. Les données recueillies étaient disponibles et ajoutées à chaque jour sur le site Internet. Elles étaient accessibles au moyen d'une console de visualisation située sur une page Internet sécurisée qui permettait de visualiser les niveaux sonores de la journée choisie, de la semaine et du mois. Dans la section « rapport quotidien », on retrouvait 48 bandes représentant les niveaux sonores de chaque demi-heure de la journée (figure 19). Les paramètres de visualisation étaient modifiables par l'utilisateur.

Figure 19



Afin de permettre une autonomie complète des systèmes, d'importants efforts de conceptualisation et d'amélioration liés à la miniaturisation ainsi qu'à la consommation d'énergie ont été réalisés durant le projet. Un gain énergétique permet d'accroître le potentiel d'interventions requis sur différents chantiers en offrant la possibilité d'intégrer plus de fonctions dans une même station (par exemple la mesure du niveau sonore, l'enregistrement d'extraits sonores dépassant les seuils, la concentration de poussières, etc.). Celles-ci pourraient être disponibles sur la console de visualisation, ce qui répondrait aux besoins exprimés.

Dans l'ensemble, le projet pilote a permis d'obtenir des informations fiables en continu, et ce, sans l'intervention d'un opérateur sur le terrain. L'intérêt de ce système de suivi est qu'il permet de visualiser en temps réel et en tout temps l'état de l'environnement sonore à proximité d'un chantier, et ce, à partir de tout ordinateur ayant une connexion Internet. Il est donc plus facile pour le surveillant de s'assurer du respect des seuils sonores autorisés. L'analyse des données recueillies permet également de repérer facilement les opérations les plus bruyantes et de connaître la durée des dépassements le cas échéant. Le système testé a démontré beaucoup d'autonomie et de fiabilité au cours du projet pilote. La possibilité de visualiser en tout temps l'état de l'environnement sonore à proximité d'un chantier est un atout majeur lorsqu'il s'agit de traiter les plaintes formulées par la population ou de les prévenir. D'autres installations de ce système de suivi acoustique sont planifiées pour des chantiers de réfection routière qui seront réalisés en 2005.

4. CONCLUSION

La gestion du bruit aux abords des chantiers routiers est nécessaire afin de prévenir ou de réduire les inconvénients subis par la population.

La mise en place d'une gestion du bruit implique toutefois certaines contraintes. Par exemple, lors de travaux de nuit, l'horaire des fermetures de voie limite généralement le temps de travail et la mise en place ou la présence des mesures d'atténuation peut causer, dans certains cas, des retards dans l'exécution des travaux. Les mesures d'atténuation qui requièrent l'action d'un ouvrier peuvent être difficiles à maintenir, soit par manque d'espace ou parce qu'elles peuvent entraîner une baisse de productivité. Dans tous les cas, la réduction du bruit à la source est préférable car elle permet de protéger les ouvriers et la population et elle implique moins de manipulation.

Dans l'ensemble, ces difficultés sont surmontables. Depuis l'apparition des premières clauses au devis de l'entrepreneur en 1998, beaucoup de progrès a été réalisé. Des recherches en cours et à venir permettront un perfectionnement dans ce domaine.

NOTE

1. TRANSPORTS QUÉBEC, *Tome II – Construction routière*, chapitre 9, « L'environnement à l'étape de la construction », Québec, Publications du Québec, 1996.

Alternatives aux problèmes de sécurité aux arrêts d'autobus scolaire en milieu rural

Jean-François Bruneau et Denis-R. Morin

Coopératif de recherche en sécurité routière de l'Université de Sherbrooke

REMERCIEMENTS

Le Coopératif de recherche en sécurité routière de l'Université de Sherbrooke remercie le Fonds de recherche sur la nature et les technologies, le ministère des Transports du Québec et la Société de l'assurance automobile du Québec, pour la subvention accordée dans le cadre du programme Action concertée en sécurité routière.

PROBLÉMATIQUE

Les autobus scolaires doivent s'immobiliser à plusieurs endroits sur le réseau routier afin de faire monter et descendre les écoliers face à leur domicile, ou à tout autre point d'arrêt d'autobus scolaire. La localisation des points d'arrêt est planifiée par les intervenants scolaires (régisseur, transporteur, chauffeur) et les arrêts qui attirent l'attention du ministère des Transports du Québec (MTQ) sont ceux effectués en milieu rural, sur le réseau routier supérieur, et où la visibilité est parfois insuffisante. Le MTQ (2003a) détaille abondamment dans les normes de conception routière les divers types de visibilités requises sur les routes. La distance de visibilité requise équivaut à la distance longitudinale sur la route que parcourt le conducteur entre l'instant où il aperçoit un obstacle et celui où il s'immobilise complètement devant cet obstacle. La distance de visibilité s'accroît donc à mesure qu'augmente la vitesse pratiquée. De façon générale, un conducteur qui manque de visibilité pour juger d'une scène routière est mal préparé pour effectuer sa manœuvre. Il subit donc un « effet de surprise ». Puisqu'il en découle un accroissement du risque d'accident, le respect de la distance de visibilité requise est un enjeu de taille parmi les objectifs de sécurité du transport scolaire.

En milieu rural, le manque de visibilité est essentiellement lié à la géométrie de la route (figure 1) et à la qualité de l'entretien des abords de route (figure 2), ce qui en fait un problème de nature générale. Toutefois, il existe une dynamique propre aux arrêts d'autobus scolaires. Premièrement, l'autobus scolaire a la propension d'accumuler des véhicules dans son sillage. D'après un relevé des véhicules ayant percuté un autobus scolaire, en Estrie et en Abitibi-Témiscamingue au cours des dix dernières années (Bruneau et Morin, 2004a), 5 des 16 cas observés (31 %) impliquaient une file de véhicules immobilisée ou en ralentissement derrière l'autobus. La file de véhicules est complexe car elle vient modifier les données sur la visibilité requise. D'une part, le point d'arrêt se déplace en direction du conducteur, et, d'autre part, ce point critique devient mobile, contrairement à un autobus immobile. En temps normal, la visibilité requise se mesure à partir du pare-chocs de l'autobus, mais cette cible,

en présence d'une file de véhicules, équivaut plutôt à la fin de la file. Puisque le point critique, la cible, se déplace vers le conducteur, le danger n'est pas à l'arrêt, comme dans la théorie, mais à 50 m, voire 100 m en amont de l'arrêt, selon la longueur de la file de véhicules.

Figure 1 : Visibilité disponible vers l'arrêt

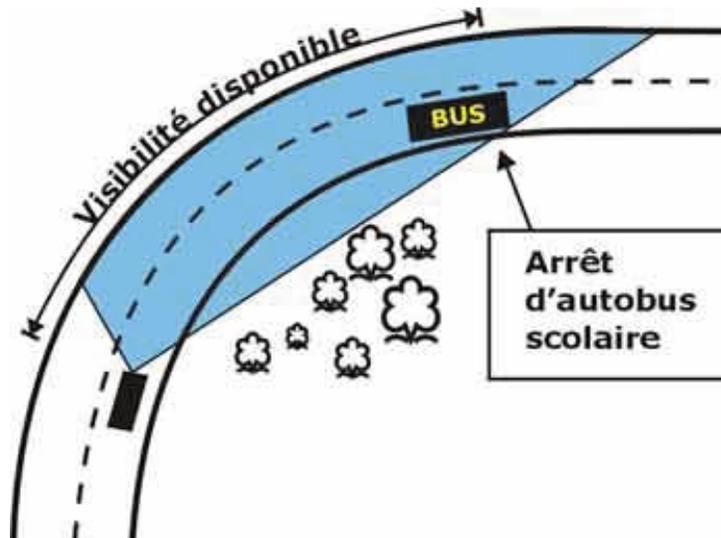


Figure 2 : Visibilité réduite à 50 m vers l'arrêt



Sur un autre plan, on peut aussi considérer comme particulier le risque de gravité accru lorsque se produit une collision avec un autobus scolaire, considérant la hauteur et la géométrie de ce véhicule, ou encore lorsqu'un piéton est happé. Le risque de gravité est en tout temps élevé lorsqu'un camion lourd est impliqué, et cela a même un impact important sur le transport scolaire dans la mesure où les poids lourds sont concernés par la distance de visibilité requise. Un camion lourd, surtout chargé, requiert une distance de visibilité accrue pour s'arrêter, par comparaison avec un véhicule léger ou même un véhicule utilitaire, car le camion accumule une plus grande inertie.

Le risque est toujours présent lorsqu'un autobus effectue un arrêt, mais sur le réseau rural et péri-urbain du MTQ, la gravité potentielle des blessures est accrue par l'importance de la vitesse affichée (80-90 km/h), et conséquemment, des vitesses pratiquées. L'écolier court des risques non seulement lorsqu'il monte dans l'autobus ou en descend, mais aussi lorsqu'il attend sur le bord de la chaussée. Le risque est plus élevé encore pour un écolier qui traverse la route, qui attend en bordure de la chaussée ou qui monte dans l'autobus ou en débarque. Il peut être heurté par l'autobus ou par un autre véhicule qui ne respecte pas l'arrêt; il y a aussi des cas plus rares, où l'accident est attribuable au comportement « imprévisible » de l'écolier.

Par ailleurs, même si une signalisation escamotable installée sur l'autobus réclame l'arrêt obligatoire et complet du trafic (bras d'arrêt et feux rouges intermittents), les infractions sur l'arrêt sont encore fréquentes. Les infractions dues au non-respect de la signalisation sont nombreuses, surtout sur les routes à fort débit et à quatre voies de circulation. Au Québec, selon un sondage effectué auprès des régisseurs de transport (Bruneau et Morin, 2004a), chaque autobus serait dépassé illégalement au moins une fois par jour, et ce, même en milieu rural.

Que ce soit à la suite d'une plainte ou d'un rapport écrit provenant d'un parent, d'un chauffeur ou d'un autre intervenant, la mise à jour d'un problème de sécurité mérite que les intervenants se mobilisent pour envisager des solutions viables. Des options s'offrent aux décideurs pour leur permettre d'assurer une sécurité accrue aux écoliers et aux autres usagers de la route, et l'objectif de ce document est de présenter quelques solutions.

LES OPTIONS DISPONIBLES

Pour contourner le problème d'une visibilité réduite ou chercher des choix viables, il faut sans aucun doute orienter la réflexion en mettant à contribution l'ensemble des intervenants : MTQ, commission scolaire, municipalité, transporteur, chauffeurs, parents, écoliers. À chacun incombe sa part d'actions pour accroître la sécurité. Les municipalités et le MTQ ont un rôle à jouer en concertation avec les régisseurs afin de trouver des terrains d'entente. Cette démarche peut porter par exemple sur des travaux d'aménagement ou d'entretien particulier, tel un trottoir dans une zone de développement résidentiel ou d'étalement périurbain, ou encore l'élagage des végétaux aux abords de la route, etc. La sécurité des usagers est une priorité pour tout le monde et les solutions alternatives demandent l'harmonisation et la collaboration de tous les intervenants.

Le constat d'un problème de sécurité à un arrêt d'autobus scolaire fait naître tout un questionnement dont la phase d'aboutissement est la proposition et l'application de solutions alternatives à la présence des risques observés. Peut-on localiser l'arrêt ailleurs? Est-il réaliste de procéder à un remaniement

de parcours pour éviter de faire traverser l'écolier à un endroit dangereux? Faut-il demander aux parents de reconduire leur enfant à l'école? En fait, il faut constamment se rappeler les priorités retenues et se demander objectivement quel est le plus bas niveau de risque acceptable.

Il existe une différence fondamentale entre deux grandes catégories de problèmes : les problèmes légers ou modérés, et les problèmes notoires, qui méritent une attention particulière. Lorsque les problèmes de sécurité sont d'importance réduite, les décideurs choisiront d'appliquer des solutions simples et moins drastiques sur le fonctionnement du transport scolaire. Toutefois, à partir d'un certain seuil, certaines mesures d'intervention s'avèrent inefficaces ou non adaptées aux contraintes observées, et d'autres solutions plus sévères peuvent être appliquées, comme le refus d'autoriser un arrêt d'autobus scolaire à un endroit spécifique. Voici un ensemble de mesures possibles :

- utilisation du panneau « signal avancé d'arrêt d'autobus scolaire » (SAAAS);
- relocalisation de l'arrêt;
- utilisation du transport alternatif;
- supervision d'un adulte à l'arrêt;
- localisation de l'arrêt d'autobus dans une cour privée.

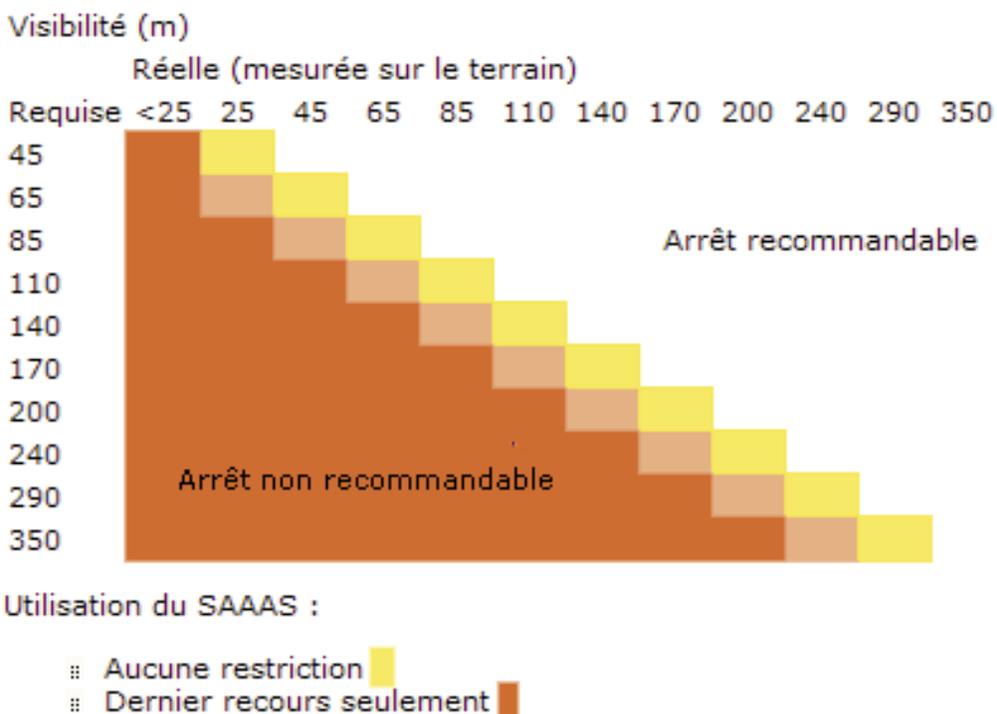
Utilisation du panneau « signal avancé d'arrêt d'autobus scolaire »

Dans les cas où la visibilité est déficiente, le MTQ (2003b) 3 installe, à la demande de la commission scolaire, un panneau de préavis d'arrêt d'autobus scolaire : le signal avancé d'arrêt d'autobus scolaire (SAAAS). Le SAAAS est un panneau de danger comportant un pictogramme montrant un autobus scolaire, sur lequel des feux intermittents d'arrêt fonctionnent, et à côté duquel se trouvent des écoliers (figure 3). Cette symbolique, qui évoque la présence potentielle d'un autobus scolaire immobilisé, pour faire monter ou descendre des écoliers, est accompagnée d'un panneau de distance (ex. : 230 m). On propose à la figure 4 un barème de choix quant à l'utilisation du SAAAS qui tient compte de la visibilité disponible et de celle qui est requise.

Figure 3 : Panneau de danger SAAAS (D-260) et panneau de distance (D-220-P)



Figure 4 : Choix d'effectuer l'arrêt selon la visibilité disponible



Réalisation : Coopératif de recherche en sécurité routière de l'Université de Sherbrooke, 2004.

Le SAAAS serait plus ou moins bien compris par les conducteurs (Paquette et De Guise, 1993). Son peu d'efficacité s'expliquerait par la banalisation du panneau. Présent sur la route au moins dix mois par année, l'avertissement de danger n'est valable que pour une trentaine de secondes le matin, et une autre trentaine de secondes l'après-midi. En fait, la plupart des conducteurs, et particulièrement ceux qui côtoient des autobus dans leur trajet quotidien, feront attention et seront préparés aux arrêts d'autobus scolaires s'ils savent qu'ils circulent à l'heure du transport scolaire. On peut alors se demander si la solution idéale, pour contrer les problèmes importants de visibilité, passe par l'utilisation d'une signalisation plus accrochante, avec clignotants par exemple, qui fonctionnerait de façon ponctuelle à certains moments de la journée.

La localisation du panneau SAAAS est importante. Le SAAAS doit se démarquer des autres panneaux de danger et son éloignement par rapport à l'arrêt doit être optimal. Situé trop près, il n'avertit pas à temps; placé trop loin, il voit son efficacité décroître. Un conducteur peut s'attendre à rencontrer la situation illustrée sur le SAAAS pendant un certain laps de temps seulement, car à partir d'un moment donné, il n'escompte plus le danger. Le panneau placé trop loin provoque une rupture du fil conducteur qui doit exister entre le panneau et le danger lui-même.

Relocalisation de l'arrêt

Il est parfois possible d'atteindre la distance de visibilité requise ou d'augmenter un peu la visibilité disponible en déplaçant l'arrêt en aval ou en amont du lieu conventionnel, qui est par défaut face à

l'entrée privée. Si un écolier peut accéder à la rue ailleurs sur le terrain de sa maison ou sur un terrain adjacent, et si les parents bénéficient d'un accord avec les voisins, l'arrêt peut être placé à un endroit où la visibilité est meilleure. Il faut dans ce cas rechercher des solutions spécifiques, de concert avec la municipalité, par exemple l'utilisation d'une servitude ou l'obtention d'une dérogation pour aménager un élément d'infrastructure qui permettrait de régler un problème de relocalisation (ex. : ponceau, petite entrée, etc.). Et puisque les cas d'insécurité soulevés sont tous différents, un dialogue avec la municipalité ne peut être que bénéfique, surtout compte tenu de l'expertise technique et de la connaissance du terrain apportées par les services municipaux.

Une des options envisagées par le régisseur, lorsqu'un danger important est décelé à l'arrêt, consiste à changer la localisation de l'arrêt, si cela est faisable. Le MTQ (2003b) recommande effectivement, dans ses normes, qu'avant d'installer un panneau SAAAS on prenne tous les moyens pour « atteindre la distance de visibilité en déplaçant l'arrêt d'autobus scolaire en amont ou en aval sur une distance de 150 m ». Cette pratique est cependant à déconseiller en milieu rural, car il n'y a pas de trottoir pour permettre le déplacement des écoliers le long de la route. L'écolier ne devrait pas marcher le long d'un chemin public, à moins que certaines conditions exceptionnelles le permettent (ex. : cul-de-sac, route très peu achalandée, supervision des parents, etc.). Parfois, il est possible de relocaliser l'arrêt et de réduire la portée du problème de visibilité, en faisant par exemple passer l'écolier plus loin sur le terrain ou sur celui de ses voisins, si cela est possible.

Utilisation du transport alternatif

Le transport alternatif effectué à l'aide d'un véhicule officiellement affecté au transport scolaire, mais qui n'est pas nécessairement un autobus (fourgonnette, berline ou autre), est utilisé sur une base sporadique. Parmi les situations à risque qui justifient l'utilisation du transport alternatif, il y a entre autres :

- visibilité très réduite (courbe et/ou pente);
- intersection à vitesse élevée;
- intersection comportant plus de deux rues;
- intersection avec « cédez le passage »;
- endroit où un autobus peut difficilement circuler;
- endroit très isolé des autres parcours;
- chemin montagneux : berlines 4 x 4;
- travaux routiers;
- problème de comportement chez l'écolier.

Supervision par un adulte à l'arrêt

La supervision d'un écolier par un adulte à l'arrêt est une avenue intéressante. Toutefois, elle peut s'avérer impossible à appliquer, car parfois le risque est tout aussi élevé pour le parent qui accompagne que pour l'adolescent ou l'écolier en bas âge. D'autre part, un adulte qui supervise un écolier à l'arrêt se voit contraint de respecter un horaire très strict, et cette mesure le place dans une situation délicate, car il devient responsable, en quelque sorte, de la sécurité de l'écolier à l'extérieur de l'autobus.

Localisation de l'arrêt d'autobus dans une cour privée

Enfin, si la route est dangereuse et que l'entrée de cour est suffisamment dégagée pour permettre l'accès à un autobus scolaire, sans manœuvre compliquée, on peut envisager de faire entrer l'autobus sur la propriété des parents concernés.

Recommandations relatives à la planification des points d'arrêt

Les arrêts d'autobus scolaire qui sont effectués de façon répétitive, sur de courtes distances, sont problématiques en tout temps, mais ils le sont davantage si leur nombre est de trois ou plus et surtout s'ils sont effectués sur des routes achalandées. Les arrêts très rapprochés devraient être évités s'il est possible de garantir autrement le même niveau de sécurité. La solution peut être de regrouper les écoliers de maisons voisines en un seul point d'arrêt, s'il y a un trottoir pour permettre leur déplacement, car la circulation en bordure de la route pose un problème de sécurité en milieu rural.

La traversée de la route, dans bien des cas, peut se faire sans problème en raison de l'achalandage réduit et de la visibilité suffisante. Voici les situations où la traversée de la route à l'arrêt est toutefois déconseillée :

- manque de visibilité (végétation, courbe et pente);
- nombre de voies de circulation élevé (trois, quatre, ou davantage);
- volume de circulation élevé (boulevard, route régionale ou nationale);
- écolier du primaire (12 ans et moins);
- intersection avec signalisation.

Le critère dissuasif le plus important pour interdire la traversée est le manque de visibilité. Idéalement, la traversée devrait être permise dans les seuls cas où la visibilité est adéquate. Il est également déconseillé de traverser plus de deux voies de circulation si le débit est élevé ou s'il y a une signalisation particulière près de l'arrêt, par exemple un panneau « cédez le passage » en direction de l'arrêt, car l'attention du conducteur est alors dirigée dans le mauvais sens. L'âge de l'écolier est un critère que plusieurs régisseurs soulignent comme important dans la planification des traversées. Ainsi, on laisse les plus jeunes traverser si l'environnement routier est jugé très sécuritaire, ou s'il y a supervision d'un adulte. Cependant, c'est la notion de responsabilité qui devrait primer sur celle de l'âge de l'écolier, mais encore faudrait-il pouvoir évaluer adéquatement le caractère « responsable » d'un écolier. La vitesse affichée, même si elle détermine la distance de visibilité requise, est une variable qui devrait être considérée toujours en parallèle avec d'autres paramètres, quant au choix de laisser ou non l'écolier traverser. Par exemple, la traversée d'un chemin où la vitesse permise est de 70 km/h et qui accueille 200 véhicules par jour est probablement moins à risque que la traversée d'une route à quatre voies non divisées qui draine 25 000 véhicules par jour et où la vitesse permise est de seulement 50 km/h.

Emplacement de l'entrée privée

On assume généralement que la géométrie de la route influence la visibilité disponible à l'arrêt, mais on peut aussi admettre que l'emplacement de l'entrée privée est en partie responsable du manque de visibilité, car il détermine la position de l'arrêt. Les propriétaires ne sont pas tenus de respecter les dégagements en fonction des distances de visibilité routière pour leur entrée privée, mais ils gagneraient, à tout le moins dans le cas des nouvelles constructions, à aménager l'entrée à un endroit adéquat pour la visibilité, qu'il y ait ou non transport d'écoliers.

RÉFÉRENCES

- BRUNEAU, J.-F., et D.-R. MORIN (2004a). *La sécurité aux arrêts d'autobus scolaire en milieu rural*. Rapport final. Coopératif de recherche en sécurité routière de l'Université de Sherbrooke, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 111 p.
- BRUNEAU, J.-F., et D.-R. MORIN (2004b). *Évaluation de la sécurité aux arrêts d'autobus scolaire en milieu rural. Rapport final*. Coopératif de recherche en sécurité routière de l'Université de Sherbrooke, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 24 p.
- MINISTÈRE DES TRANSPORTS (2003a). *Tome I – Conception routière*, chapitre 7 « Distance de visibilité ». Ministère des Transports du Québec, Québec, 23 p.
- MINISTÈRE DES TRANSPORTS (2003b). *Tome V – Signalisation routière*, chapitre 3 « Danger ». Ministère des Transports du Québec, Québec, 37 p.
- PAQUETTE, G., et J. DE GUISE (1993). *Estimation de la compréhension de la signalisation routière du Québec*. Les recherches du GRIMES, Groupe de recherche interdisciplinaire mobilité et sécurité, R 93/4, Université Laval, Québec, 52 p.