

INNOVATION
TRANSP  **ORT**
BULLETIN SCIENTIFIQUE ET TECHNOLOGIQUE

Bulletin Innovation Transport

Numéro 32 • Février 2008



Table des matières

Mot de présentation, M. Claude Tremblay	3
Dossier : Les chaussées	
La gestion des risques de glissements de terrain dans les sols argileux au Québec, Denis Demers, Denis Robitaille, Janelle Potvin, Chantal Bilodeau et Clotilde Dupuis	5
Détermination du comportement mécanique des matériaux de chaussées souple au MTQ, Félix Doucet et Denis St-Laurent	19
L'auscultation des chaussées au MTQ, Martin Routhier et Guy Bergeron	28

Mot de présentation

La Direction du laboratoire des chaussées a pour mandat de fournir les services d'ingénierie dans le domaine des chaussées, de la géotechnique et de la géologie, et des matériaux d'infrastructures afin de soutenir les unités territoriales du ministère des Transports du Québec dans le cadre de la préparation et de la réalisation de projets d'infrastructures routières.

Les champs d'expertise couverts par la Direction vise à optimiser le choix des interventions, leur conception, leur mise en œuvre ainsi que leur évaluation. La Direction contribue également à mettre en valeur l'expertise technique ministérielle et québécoise sur le plan national et international en contribuant de façon active à la diffusion de recherches et de développements de techniques et de matériaux plus performants et à rendement plus élevé. De plus, la Direction produit des guides et des normes techniques, et d'autres documents techniques de vulgarisation, en plus d'offrir de la formation dans divers domaines se rattachant à son mandat.

En ce qui a trait aux chaussées, l'évaluation de l'état du réseau routier par la réalisation de relevés couvrant l'ensemble du réseau en lien avec le système de gestion des chaussées du Ministère se veut un domaine des plus stratégiques pour celui-ci afin d'offrir des outils d'aide à la décision fiables pour la planification des travaux d'entretien et de réfection des chaussées.

Le Service des chaussées traite également de domaines d'expertise de pointe tels le dimensionnement et la réhabilitation de chaussées souples et rigides, les effets du gel-dégel, les conséquences du trafic lourd, l'adhérence des chaussées, ainsi que l'évaluation des nouvelles techniques de réfection et de matériaux encadrée par un programme structuré de suivis de performance et d'évaluation du comportement des chaussées.

Le Service de la géotechnique et de la géologie étudie et analyse les sols et le roc sur lesquels reposent notre réseau routier et ses structures : détermination de la capacité portante pour les fondations, tassement et stabilité des remblais, stabilité des déblais, danger de glissements de terrain et d'éboulis, et construction sur tourbières. La résolution des problèmes liés à l'influence ou à la contamination des sols ou des puits, ainsi qu'aux vibrations causées par les sautages et le trafic routier font aussi partie de ses champs d'expertise.

De plus, le Service apporte son soutien au ministère de la Sécurité publique et au ministère des Affaires municipales et des Régions dans le domaine des glissements de terrain en réalisant la cartographie des zones à risques, en produisant des guides et des documents d'information, et en agissant en tant qu'expert dans les situations d'urgence.

Le Service des matériaux d'infrastructures fournit des services d'ingénierie des matériaux et des prestations d'essais de laboratoire. Il assure une expertise de pointe en laboratoire pour l'évaluation de la performance des matériaux afin de normaliser et d'optimiser leur utilisation. Le Service a également le mandat de déterminer les causes de contre-performance, de bonifier les matériaux d'évaluer de nouveaux produits et de fournir des valeurs de référence. Les principaux matériaux étudiés sont les enrobés, le béton de ciment, les liants hydrocarbonés, les granulats, les sols, la métallurgie et la peinture.

La détermination du comportement mécanique des matériaux de chaussée est un domaine d'expertise en développement dans ce service. Des méthodes d'essai pour la détermination de la rigidité des matériaux, soit en termes de module complexe pour les enrobés ou de module réversible pour les matériaux granulaires, ont été élaborées, et des banques de données sont en voie de réalisation. Des méthodes d'essai pour la détermination de la durée de vie des matériaux, en termes de résistance à la fatigue pour les enrobés ou de résistance à la déformation permanente pour les matériaux granulaires, sont également en cours de développement.

Cette information permettra au ministère des Transports d'effectuer le dimensionnement des chaussées selon une approche rationnelle, soit en tenant compte de la distribution des contraintes et des déformations dans la structure de chaussée, et de comparer les matériaux sur la base de leur performance anticipée à partir d'essais simulant leur sollicitation dans la chaussée.

Claude Tremblay, directeur

Direction du laboratoire des chaussées

La gestion des risques de glissements de terrain dans les sols argileux au Québec

Denis Demers, Denis Robitaille, Janelle Potvin
Ministère des Transports du Québec
Chantal Bilodeau
Ministère de la Sécurité publique
Clotilde Dupuis
Ministère des Affaires municipales et des Régions

INTRODUCTION

En raison de sa grande diversité d'environnements géologiques et de contextes géomorphologiques, le territoire de la province du Québec subit différents types de mouvements de terrain. L'inventaire des glissements de terrain consignés par le Service de la géotechnique et de la géologie du ministère des Transports du Québec (Ouellet et Fortin, 2008) indique qu'environ 80 % de ceux-ci sont concentrés à l'intérieur des limites d'invasion marine post-glaciaire (figure 1). Ces glissements surviennent très majoritairement dans des sols argileux.

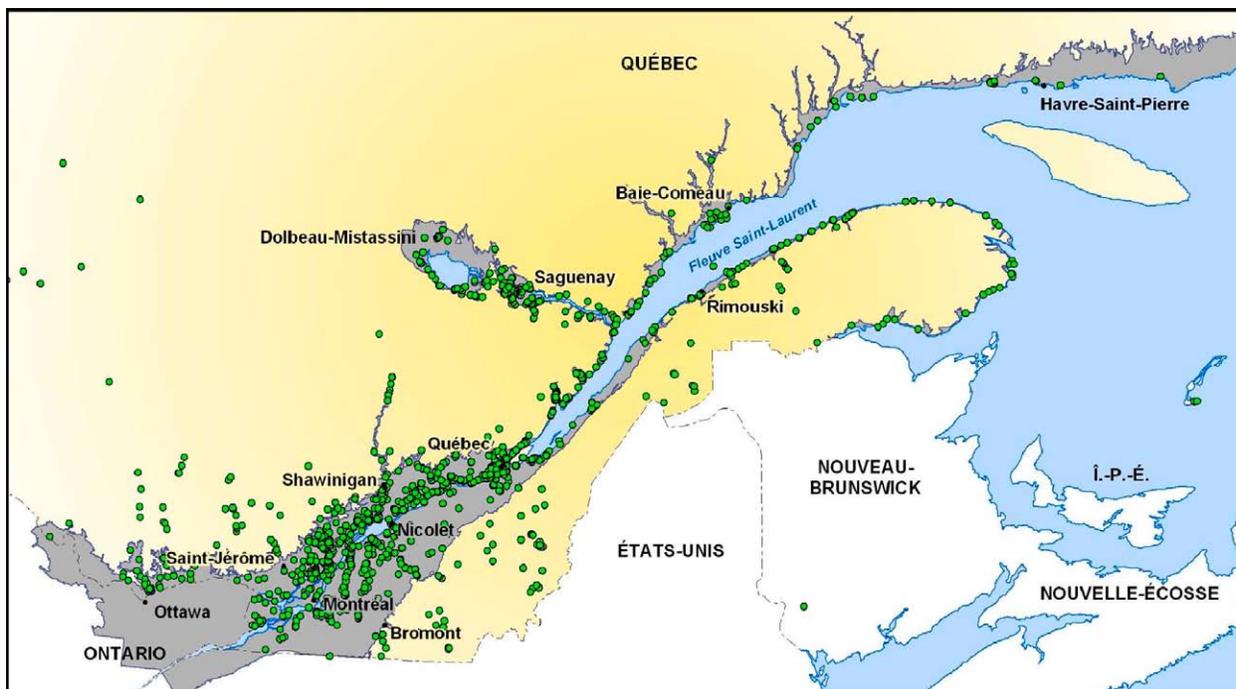


Figure 1 : Distribution des dépôts marins post-glaciaires (trame pleine grise) et répartition des données de l'inventaire des mouvements de terrain du MTQ (points verts)



Figure 2 : Exemple d'un glissement rotationnel profond typique dans des sols argileux, en bordure d'un cours d'eau, Maskinongé, 1990

Pour la plupart, ils se produisent sur les berges argileuses des cours d'eau et sont souvent provoqués par le sapement du pied des talus causé par l'érosion dans les méandres. Les cas de glissements rotationnels, superficiels ou profonds, sont très fréquents (Demers et autres, 1999a et b). Bien que la plupart soient de dimension de l'ordre de quelques dizaines de mètres, ils peuvent néanmoins être très dommageables pour les biens (figure 2) et les infrastructures (figure 3).



Figure 3 : Exemple d'un glissement rotationnel profond ayant endommagé les structures d'un pont, rivière Salvail, 2000

Ces glissements rotationnels constituent parfois l'amorce d'un mouvement rétrogressif qui engendre en quelques minutes des cicatrices gigantesques, que l'on appelle coulées argileuses (figure 4). Celles-ci peuvent atteindre des dimensions de plusieurs centaines de mètres et causer des pertes de vie et des dommages matériels considérables, comme ce fut le cas de Saint-Jean-Vianney en 1971 (Tavenas et autres, 1971).



Figure 4 : Exemple d'une petite coulée argileuse ayant endommagé une partie du centre-ville de Nicolet, en 1955

L'inventaire du MTQ révèle également que près de 40 % des glissements de terrain ayant fait l'objet d'une demande de soutien gouvernemental ont une cause de nature anthropique (Ouellet et autres, 2008). Pour ces cas, l'activité humaine a agi en tant que facteur déclencheur ou facteur aggravant. Les cas de remblais non contrôlés en sommet de talus (figure 5), les déblais en pied ainsi que les concentrations d'eau vers les pentes sont les causes d'origine humaine qui sont les plus fréquemment notées en territoire habité.

Puisque les glissements de terrain dans les sols argileux sont très fréquents (quelques centaines par année), qu'ils peuvent survenir dans les régions les plus densément habitées et conséquemment, qu'ils peuvent être très dommageables, le gouvernement québécois a revu son approche en matière de gestion des risques associée à cette problématique au cours des dernières années.

En raison de son expertise dans le domaine des glissements de terrain, le Service de la géotechnique et de la géologie du ministère des Transports a participé activement à l'élaboration de cette nouvelle approche, de concert avec ses partenaires du ministère de la Sécurité publique et du ministère des Affaires municipales et des Régions. Le présent article décrit les actions qui ont été entreprises et explique le mode de gestion qui a été mis au point afin de réduire le niveau de risque pour la population.



Figure 5 : Exemple d'un glissement de terrain récent déclenché par la mise en place en sommet de talus d'un remblai non contrôlé, à proximité d'une maison en construction. On voit au premier plan les matériaux de remblai sur lesquels repose le bouteur qui a été entraîné avec le mouvement des débris lors de la rupture.

HISTORIQUE

En modifiant sa Loi sur la Protection civile en 1964, le gouvernement du Québec s'est doté d'une première politique pour intervenir lors de sinistres naturels (Gouvernement du Québec, 2002). Cependant, ce n'est qu'à partir de la coulée argileuse qui fut catastrophique pour la municipalité de Saint-Jean-Vianney en 1971 qu'il a commencé à se doter d'outils et de politiques afin de mieux gérer les risques de glissements de terrain sur son territoire. Un premier programme de cartographie des zones exposées aux mouvements de terrain a donc débuté et a permis la réalisation de nombreuses cartes à l'échelle de 1/20 000 (Lebuis et autres, 1983; Rissmann et autres, 1985). Pour des raisons évidentes, les secteurs cartographiés concernaient surtout ceux sujets aux coulées argileuses.

Parallèlement à ces efforts de cartographie, une première politique de prévention des risques a été instaurée. Dans le cadre de la mise en œuvre de la Politique d'intervention en matière d'accidents naturels reliés à l'eau – PIANEAU, les citoyens affectés par des glissements de terrain ont pu bénéficier d'indemnités et un programme de prévention à coûts partagés a été mis en place. De nombreux travaux de stabilisation ont alors été entrepris à divers endroits, pour la plupart là où des signes d'instabilité apparaissaient (Bergeron et autres, 1981).

En 1979, deux lois importantes pour la gestion des risques ont été adoptées par le gouvernement québécois. La Loi sur la protection des personnes et des biens en cas de sinistre facilitait le soutien financier pour les personnes sinistrées. Cependant, cette loi ne prévoyait aucune indemnité gouvernementale pour des actions de prévention ou de préparation aux interventions (Gouvernement du Québec, 2002).

D'autre part, la Loi sur l'aménagement et l'urbanisme (L.R.Q., c. A-19.1) créait les municipalités régionales de comté (MRC), soit une entité responsable de l'aménagement du territoire, et les obligeait à élaborer un schéma d'aménagement et de développement (SAD). Parmi les responsabilités inhérentes à cette planification territoriale, les MRC devaient déterminer les zones soumises à diverses contraintes naturelles, dont les glissements de terrain, et établir des normes visant le contrôle de l'utilisation du sol dans ces zones; les municipalités locales devaient exercer ce contrôle par leurs documents d'urbanisme.

Au début des années 1980, le soutien financier pour le programme de cartographie des zones exposées aux glissements de terrain ainsi que celui du programme PIANEAU pour la réalisation de travaux préventifs ont été interrompus. Seul le soutien financier gouvernemental en cas de situation d'urgence a été maintenu, et un guide pour l'identification des zones sujettes aux mouvements de terrain a été produit (Bergeron, 1983).

Durant la même période, les MRC ont commencé à adopter leur premier SAD, en y incluant lorsque disponibles, des informations sur les zones sujettes à des risques naturels. Ainsi, l'ensemble des cartes de zonage du risque de glissements de terrain produites par le gouvernement a été intégré dans les SAD, ce qui obligeait les municipalités concernées à adopter des règlements afférents, en se basant sur un cadre normatif produit par le gouvernement (MAMR, 1982). Cependant, l'expérience de la mise en œuvre des schémas a démontré que l'échelle des cartes de zonage produites jusqu'alors constituait une entrave majeure à leur bonne utilisation. En effet, la décision de délivrer ou non un permis de construction pouvait être difficile, voire arbitraire.

Par ailleurs, plusieurs MRC ont fait des efforts notables en produisant leurs propres cartes de zonage. Cependant, cette tâche requérant des connaissances techniques très spécialisées, ces cartes se sont révélées difficilement utilisables (zones manquantes ou mal définies, limites imprécises, etc.). Certaines MRC ont préféré ne pas poursuivre dans cette voie, jugeant leurs responsabilités trop élevées pour leur niveau de compétences et les problèmes d'ordre légal possibles découlant d'un contrôle de l'utilisation du sol dans de telles zones.

Ces premières expériences vécues par les municipalités régionales et locales concernant la prise en compte des zones de contraintes naturelles ont amené, au début des années 1990, de nombreuses questions au gouvernement et une demande pour un soutien plus assidu et plus adapté de sa part.

Au milieu des années 1990, le Québec a connu deux sinistres majeurs touchant de très grandes superficies et beaucoup de population. En 1996, des pluies diluviennes se sont abattues sur la région du Saguenay–Lac-Saint-Jean, et à un moindre degré sur celles de la Mauricie et de la Côte-Nord. En plus des inondations et des crues violentes qui ont perturbé de nombreux cours d'eau (Nicolet et autres, 1997), plus de 1000 glissements de terrain sont survenus en moins de 36 heures dans ces régions (Demers et autres, 1999). Un de ceux-ci a été fatal pour deux jeunes enfants enfouis sous des débris (Perron, 1997, Bouchard et autres, 2008). Le Service de la géotechnique et de la géologie du ministère des Transports a alors été mandaté pour effectuer des cartes de zones exposées aux glissements de terrain pour cinq municipalités parmi les plus touchées (Gouvernement du Québec, 2005).

En janvier 1998, une tempête de verglas a affecté un immense territoire dans le sud-ouest du Québec et provoqué, entre autres dommages majeurs, des pannes d'électricité. À un certain moment donné, environ la moitié de la population québécoise a été privée de courant électrique, en période de grand froid.

Ces deux sinistres majeurs ont constitué l'amorce d'une révision en profondeur de la gestion gouvernementale des risques naturels. Une nouvelle Loi sur la sécurité civile a finalement été adoptée en 2001. Celle-ci définit des responsabilités pour les différents niveaux d'intervenants concernés lors des sinistres (citoyens, municipalités et gouvernement) et s'appuie entre autres sur les éléments suivants (Gouvernement du Québec, 2002) :

- la prise de conscience des risques de sinistre existants;
- la nécessité de se prémunir et de se préparer face à ces risques;
- l'importance d'investir des ressources humaines et financières à cette fin;
- la responsabilisation de chacun à l'égard de ces risques.

C'est sur la base de cette nouvelle approche que le modèle récent de gestion des risques de glissements de terrain dans les sols argileux a été élaboré, et ce, après de nombreuses consultations auprès des différents intervenants gouvernementaux et municipaux. Les paragraphes suivants décrivent ce nouveau modèle.

LA POLITIQUE ACTUELLE

La Loi sur la sécurité civile interpelle tant les citoyens, les entreprises, les municipalités que le gouvernement. Elle vise les objectifs suivants (Gouvernement du Québec, 2002) :

- Réduire la vulnérabilité de la société québécoise face aux sinistres naturels ou technologiques.
- Favoriser l'application d'une approche de gestion des risques de sinistre en mettant en place des mesures de prévention, de préparation, d'intervention et de rétablissement. Cette approche conduit à une meilleure connaissance des risques.
- Sensibiliser et responsabiliser les citoyens, les entreprises, les municipalités ainsi que le gouvernement en fonction de leur niveau respectif de responsabilité face aux risques de sinistre ou aux conséquences des sinistres.
- Optimiser l'utilisation des ressources humaines, matérielles, financières et informationnelles consacrées à la sécurité civile par les municipalités et par le gouvernement.
- Permettre d'indemniser les sinistrés de façon adéquate et équitable.

Dans le domaine des glissements de terrain, qui surviennent pour la plupart de façon subite au Québec, l'accent est mis d'une part sur la prévention et d'autre part sur le soutien aux sinistrés.

Cependant, c'est sur le plan de la gestion globale des risques, et particulièrement sur celui de la prévention, que les actions gouvernementales se concentrent. L'organigramme de la figure 6 montre l'ensemble des actions entreprises en partenariat avec les autorités municipales et les citoyens.

En se basant sur le principe qu'il faut d'abord connaître les dangers qui peuvent menacer les personnes et les biens, un programme de cartographie des zones sujettes aux glissements de terrain a été amorcé en 2003. Bien qu'il survienne des mouvements de terrain dans divers types de matériaux naturels, l'accent a été mis sur les secteurs sujets aux glissements dans les sols argileux

pour différentes raisons. Premièrement, parce qu'ils sont de loin les plus fréquents sur le territoire. Deuxièmement, parce qu'ils surviennent dans les zones où la densité de population est la plus élevée. Finalement, parce l'homogénéité des sols argileux et des conditions de terrain permet plus facilement une généralisation de la méthodologie et des règlements applicables.

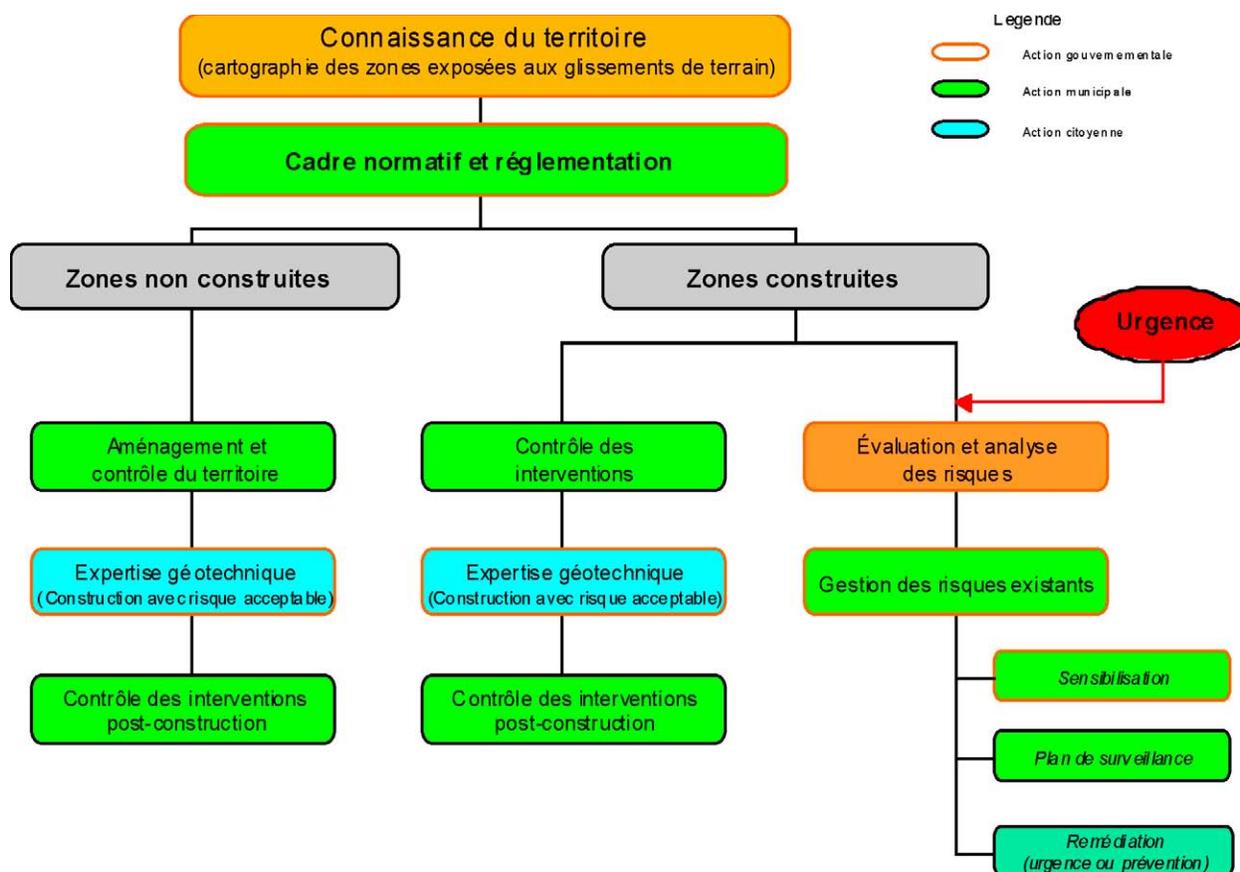


Figure 6 : Organigramme montrant le plan de gestion global des risques de glissements de terrain dans les sols argileux au Québec

Après de nombreuses consultations auprès des principaux utilisateurs des cartes de zonage que sont les municipalités, il a été décidé de produire des cartes sur la base d'échelle de 1/5000 et d'une autre de 1/2000 en milieu fortement urbanisé (Robitaille et autres, 2002). Ces échelles facilitent leur travail ainsi que celui des professionnels engagés dans les transactions immobilières (notaires et arpenteurs-géomètres notamment).

Pour un même territoire, plusieurs niveaux d'informations sont superposés et sont rapportés sur des cartes différentes. Dans un premier temps, toutes les informations de base, telles la nature des sols, la géométrie des pentes, la présence de cicatrices de glissements de terrain anciens et récents, les zones en érosion en bordure des cours d'eau, ainsi que la localisation des forages et sondages utilisés pour la cartographie, sont indiquées sur une première carte appelée « carte de documenta- tion ».

Ces informations de base sont ensuite compilées et analysées afin de produire, principalement à l'intention des géotechniciens, un deuxième type de carte, appelée « carte de susceptibilité aux glissements de terrain ». Les classes inscrites sur ces cartes représentent, selon le type de sol, le type de glissement appréhendé et le niveau de susceptibilité (fig. 7).

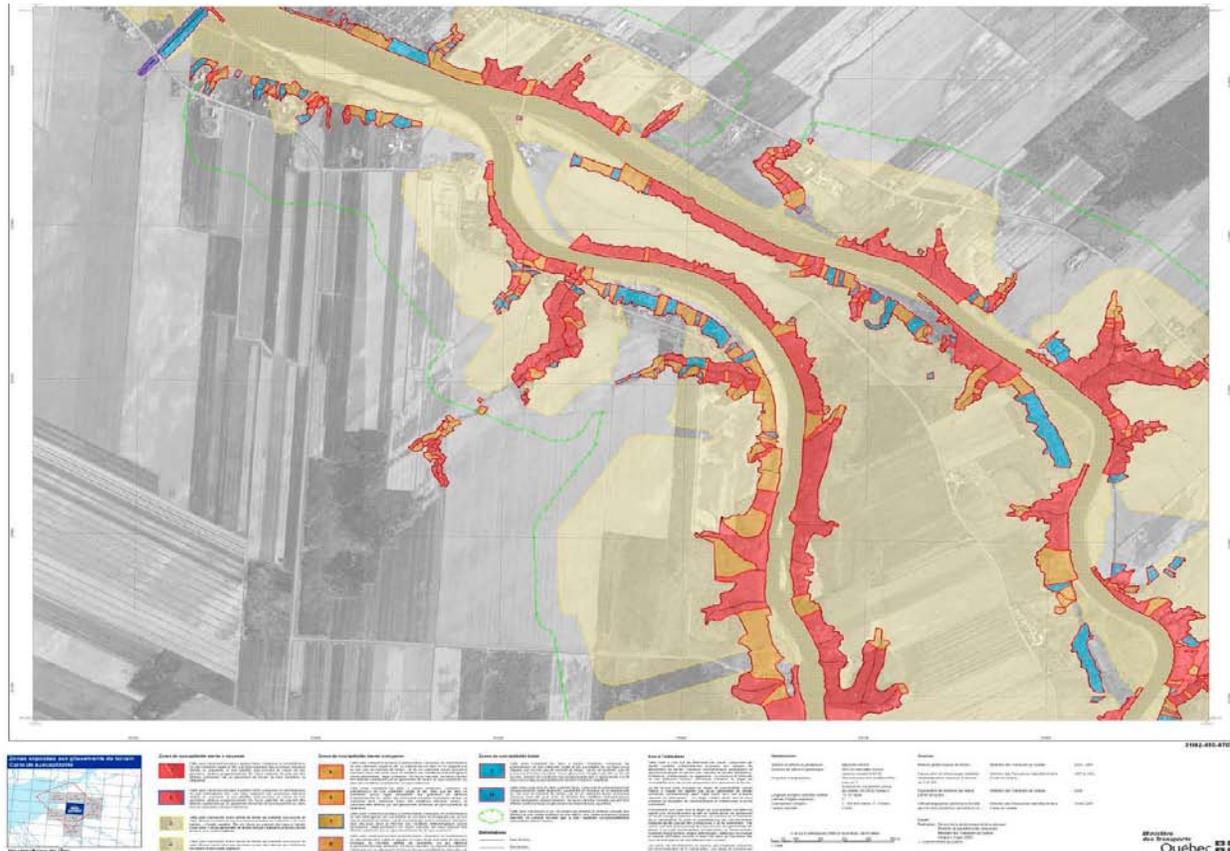


Figure 7 : Exemple d'une carte de susceptibilité aux glissements de terrain.

Un troisième type de carte, appelée « carte des contraintes », est préparé spécifiquement pour les municipalités. Les différentes classes de susceptibilité sont alors regroupées afin d'obtenir des zones où seront appliquées les mêmes règles à l'échelle du Québec. Disponibles en version numérique, ces cartes peuvent donc être consultées à de plus petites échelles pour avoir une vision d'ensemble du territoire.

Finalement, une analyse plus fine est réalisée afin de produire, pour les secteurs habités, des cartes de risques (fig. 8). L'ensemble de ces cartes, qui constitue la première étape du plan global de gestion, permet l'acquisition d'une connaissance détaillée du territoire, laquelle rend possible la réalisation d'interventions prévues aux autres niveaux du cadre de gestion des risques.

La deuxième étape du cadre de gestion (fig. 6) a consisté à définir et à faire appliquer des normes pour les éventuelles interventions dans les zones cartographiées. Le gouvernement québécois a défini, avec la collaboration du personnel technique des municipalités, un cadre normatif qui doit être intégré dans les outils d'aménagement et d'urbanisme de ces instances. Ce cadre définit pour chacune des classes inscrites sur les cartes de contraintes des règles à appliquer selon différents types d'interventions (Gouvernement du Québec, 2004).

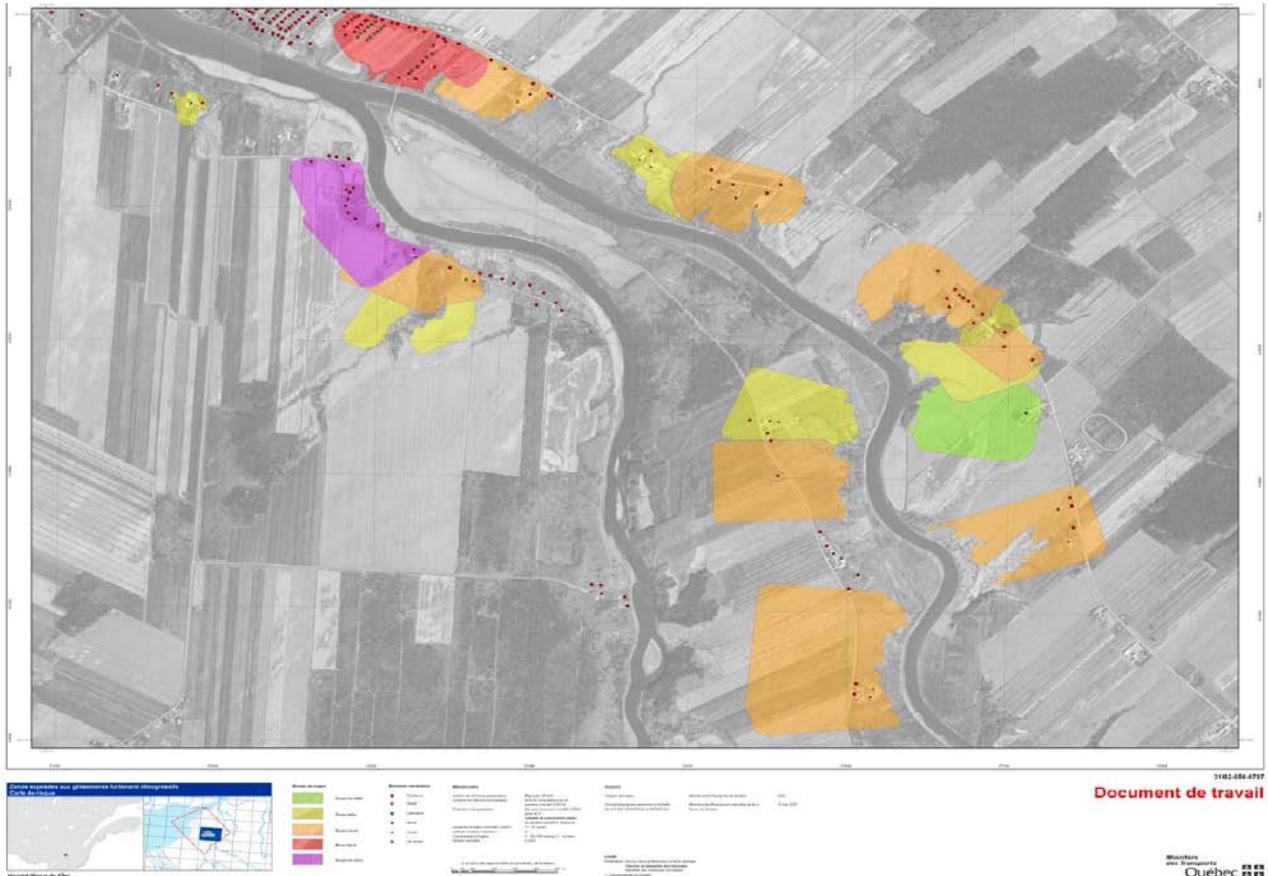


Figure 8 : Exemple d'une carte de risque pour les dangers de coulée argileuse

Le cadre de gestion est mis en place, à partir de la cartographie et de l'application du cadre normatif, selon l'occupation du territoire. C'est à cette troisième étape que le plan de gestion se divise en trois branches (fig. 6).

Premièrement, pour les terrains non construits, l'application du plan de gestion des risques se résume à contrôler l'occupation du territoire et à en planifier l'aménagement (branche de gauche de l'organigramme de la figure 6). Si une intervention réglementée est prévue à l'intérieur d'un secteur zoné, celle-ci doit faire au préalable l'objet d'un avis par un géotechnicien qui vérifiera la stabilité initiale des lieux et l'influence de l'intervention projetée, afin d'assurer la sécurité du demandeur et de ses voisins, en réalisant au besoin des travaux. L'avis du géotechnicien doit

permettre aussi d'établir les restrictions nécessaires pour assurer à long terme la sécurité des lieux et le contrôle des interventions post-construction. Cette approche permet d'occuper les zones sujettes aux glissements sans augmenter le risque.

Deuxièmement, pour les terrains déjà construits et situés dans les zones sujettes aux glissements de terrain, l'application du plan se divise en deux embranchements. Dans un premier temps (la branche centrale de l'organigramme de la fig. 6), il importe de contrôler les pratiques humaines qui ont une influence néfaste sur la stabilité des pentes, comme on le constate dans environ 40 % des cas traités. Ainsi, toute une série d'interventions sont réglementées et doivent faire l'objet d'une expertise géotechnique au préalable. Comme dans le cas des nouvelles constructions, on s'assure ainsi d'occuper les zones sujettes aux glissements sans augmenter le risque.

Dans les deux situations mentionnées dans les deux paragraphes précédents, la réduction du niveau de risque, ou à tout le moins son maintien, peut être obtenue par le contrôle de l'utilisation du territoire et l'application de règlements, en empêchant de nouvelles constructions et en évitant les mauvaises pratiques.

Cependant, pour les terrains déjà construits et situés dans les zones sujettes aux glissements de terrain, les risques peuvent être déjà à des niveaux inacceptables, requérant alors des interventions immédiates ou à court terme. Dans ces situations, il convient d'évaluer le niveau de risque encouru pour les personnes et les biens (la branche de droite de l'organigramme de la figure 6). On procède alors à une évaluation et à une analyse des risques à un niveau régional, soit pour l'ensemble du territoire d'une municipalité, soit pour un bassin versant d'un cours d'eau majeur. Pour les régions faisant l'objet d'une cartographie gouvernementale, cet exercice est réalisé par le gouvernement. La méthode se base essentiellement sur l'inventaire des glissements de terrain réalisé lors de la cartographie et permet de définir quantitativement un aléa (par exemple, la probabilité d'avoir une coulée argileuse d'une certaine dimension). L'approche régionale permet de déterminer des coefficients qui prendront en compte les particularités spécifiques d'un site par rapport à un autre voisin afin de moduler l'aléa pour chaque zone habitée. Cette méthode, qui fera l'objet d'une publication prochainement, permet de produire pour un type de danger donné (par exemple, les coulées argileuses), une carte d'intensité du niveau de risque qui tient compte des impacts d'un éventuel glissement sur les personnes et les biens.

La carte de risque montrée à la figure 8 définit cinq classes : risque très faible, faible, moyen, élevé et très élevé. Même si les valeurs obtenues sont basées en partie sur un jugement d'expert, elles permettent néanmoins aux décideurs municipaux et gouvernementaux de faire plus facilement des choix sur la façon de gérer les risques sur ce territoire. Les expériences récentes dans quelques régions ont permis de définir trois types d'actions pour gérer ces risques. La première consiste à informer la population concernée, à l'occasion de rencontres publiques, de la situation, des actions qui seront entreprises par les autorités et du rôle que les citoyens peuvent jouer pour réduire ces risques, notamment par la conscientisation quant aux mauvaises pratiques, mais aussi par la vigilance concernant l'apparition de signes avant-coureurs d'instabilité.

Le deuxième type d'action pour gérer les risques consiste à établir des plans de surveillance des zones sujettes aux glissements de façon naturelle. À titre d'exemple, au Saguenay, certains talus au

piéd desquels sont construites des résidences font l'objet d'inspections afin de détecter les signes imminents de danger, selon un calendrier qui dépend du niveau de risque. Cependant, l'utilisation de systèmes d'alarme est rarement appropriée dans les sols argileux québécois car le niveau de déformation avant rupture est trop faible et la vitesse du glissement trop rapide pour pouvoir intervenir à temps.

Finalement, pour gérer les cas où le niveau de risque est trop élevé et pour les cas où des mesures de surveillance ne permettent pas de réduire le risque à un niveau jugé acceptable régionalement, il convient de prendre des actions rapidement pour diminuer le niveau de risque. Dans bien des cas, le déplacement des biens menacés s'avère la solution la plus facile et la moins coûteuse. Autrement, des travaux de stabilisation ou de confortement doivent être entrepris. Après une analyse des solutions envisageables, le gouvernement peut offrir un soutien financier à la municipalité couvrant de 50 à 75 % du coût de l'intervention.

L'organigramme de la figure 6 montre aussi comment sont traitées les situations d'urgence (ovale à l'extrême droite). Lorsqu'une telle situation survient, les intervenants de première ligne (responsables des mesures d'urgence des municipalités et conseillers en sécurité civile du ministère de la Sécurité publique) évaluent la situation et font appel, au besoin, aux experts en géotechnique du ministère des Transports. Une première évaluation des risques est alors réalisée, laquelle peut conduire aux mêmes trois types d'actions que décrites dans le paragraphe précédent. Des programmes généraux et spécifiques d'assistance financière sont destinés à aider les personnes et les entreprises qui ont subi des préjudices ainsi que les municipalités qui ont engagé des dépenses pour le déploiement de mesures d'urgence ou pour la réfection de leurs biens essentiels endommagés à la suite d'un sinistre. Ces programmes d'aide financière visent à compenser les besoins de première nécessité et à indemniser les bénéficiaires des autres dommages, conformément à ce qui est prévu à la Loi sur la sécurité civile. À titre d'exemple, un citoyen dont la résidence est menacée, ou endommagée par un glissement de terrain, aurait droit à un montant d'argent équivalent à l'évaluation municipale (terrain et résidence) jusqu'à concurrence de 100 000 \$, soit pour la réalisation de travaux de stabilisation, pour le déplacement de sa résidence ou pour la quitter définitivement.

LES EXPERTISES GÉOTECHNIQUES

Une des bases fondamentales du système de gestion repose sur les expertises géotechniques. En effet, chacune des interventions interdites dans les zones de contraintes relatives aux glissements de terrain peut être permise à la condition expresse qu'une expertise géotechnique répondant à des exigences précises soit présentée à l'appui d'une demande de permis ou de certificat. Celle-ci doit conclure sur la stabilité actuelle du site et/ou sur l'influence de l'intervention projetée sur celle-ci. De plus, elle doit contenir, au besoin, des recommandations sur les travaux requis pour assurer la stabilité du site et les mesures préventives pour la maintenir. Il y a quatre familles d'exigences quant au contenu de l'expertise géotechnique, lesquelles sont fonction du niveau de vulnérabilité (personnes et biens) des constructions ou de leurs coûts.

L'expérience des trente dernières années a démontré que les études géotechniques concernant la stabilité d'un talus peuvent donner des résultats très variables selon l'auteur. Afin de standardiser les résultats et de faciliter la compréhension pour le responsable qui doit délivrer un permis sur la

base d'un tel rapport, le gouvernement québécois a préparé un guide qui établit des balises à suivre par le géotechnicien qui réalisera l'étude (Lefebvre et autres, 2008).

Un cours spécialisé accompagnera éventuellement le guide. Le gouvernement examine actuellement la possibilité de mettre en place un registre contenant les noms des ingénieurs habilités à produire de telles études, considérant les conséquences potentielles sur la vie des personnes concernées par les résultats de celles-ci.

CONCLUSION

L'approche globale en matière de gestion des risques naturels décrite précédemment permet de réduire significativement les risques liés au danger de glissements de terrain au Québec. Son efficacité par rapport à la situation qui prévalait auparavant repose sur la présence d'une meilleure assise juridique encadrant les actions requises et sur un suivi et un soutien plus soutenus de la part du gouvernement auprès du milieu municipal. Les programmes de cartographie et le soutien financier prévu pour réaliser des interventions préventives constituent également une preuve tangible de l'importance qu'accorde le gouvernement à cette problématique. Ces actions ont donc un effet d'entraînement majeur sur l'action à l'échelle municipale.

L'ensemble des actions précédemment décrites forme un tout et l'application de chacune de ces composantes est essentielle au succès de l'approche québécoise.

Certains aspects sont encore à explorer et à développer, particulièrement le suivi sur le plan légal de toutes les actions et transactions concernant un lot situé dans une zone à risque. De plus, l'information et la sensibilisation des différents intervenants et de la population représentent une tâche continue, en raison de la complexité de la problématique, des mouvements de personnel et du grand nombre de personnes touchées par cette problématique.

Finalement, le plus grand défi est de produire le plus rapidement possible les cartes de zonage qui permettent d'identifier les secteurs présentant des dangers sur un territoire. Sans cette connaissance essentielle, il est pratiquement impossible d'avoir un programme de gestion des risques. Diverses expérimentations sont donc en cours afin de produire plus rapidement à l'échelle de 1/5000 des cartes dont les zones sont délimitées de façon suffisamment précise pour être utilisables en pratique par les autorités municipales.

REMERCIEMENTS

Cette publication a été autorisée par les autorités ministérielles des auteurs concernés. Ces derniers tiennent à remercier tous leurs nombreux collègues qui ont participé aux discussions et à l'élaboration de cette nouvelle approche.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BERGERON, 1983. *Notes relatives à la délimitation des zones exposées aux mouvements de terrain dans le cadre des schémas d'aménagement des MRC. Rapport interne*, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service du contrôle et de l'aménagement miniers, Québec, 21 p.
- BERGERON R., DESFORGES P., LEBUIS J., MACKAY P., MARANDA R., ROBERT J.-M., ROULEAU S., THIBAUT G., 1981. *Projet d'une politique d'intervention pour les zones exposées aux mouvements de terrain*. Ministère de l'Environnement du Québec et ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Rapport conjoint, avril 1981, 105 p.
- BOUCHARD R., MICHAUD V., DEMERS D., 2008. « Le glissement de la rue McNicoll, 20 juillet 1996, Saguenay, Québec : causes et conséquences », compte rendu de la 4^e Conférence canadienne sur les géorisques, Québec, mai 2008.
- DEMERS D., LEROUÉIL S., D'ASTOUS J., 1999a. « Investigation of a landslide in Maskinongé, Québec ». *Revue canadienne de géotechnique*, vol. 36 (6), p. 1001-1014.
- DEMERS D., POTVIN J., ROBITAILLE D., 1999b. *Gestion des risques de glissement de terrain liés aux pluies des 19 et 20 juillet 1996 au Saguenay-Lac-Saint-Jean. Rapport soumis au Bureau de reconstruction et de relance du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Ministère des Transports du Québec*.
- Gouvernement du Québec, 2002. *La sécurité civile, une responsabilité partagée – Présentation et synthèse de la Loi sur la sécurité civile*. Gouvernement du Québec, 34 p. (accessible en ligne à l'adresse : www.msp.gouv.qc.ca/secivile/smi/presentation_synthese.pdf).
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, 2004. *Cartographie des zones exposées aux glissements de terrain dans les dépôts meubles – Guide d'utilisation des cartes de zones de contraintes et d'application du cadre normatif*. Gouvernement du Québec, 63 p. (accessible en ligne à l'adresse www.msp.gouv.qc.ca/secivile/secivile.asp?txtSection=publications).
- LEBUIS J., ROBERT J.M. et RISSMANN P., 1983. « Regional mapping of landslide hazard in Québec ». *Symposium on slopes on soft clays*, Linköping, Suède, rapport no 17, Swedish Geotechnical Institute, p. 205-262.
- LEFEBVRE G., DEMERS D., LEROUÉIL S., ROBITAILLE D., 2008. « Évaluation de la stabilité des talus argileux : moins de calcul et plus d'observation », compte rendu de la 4^e Conférence canadienne sur les géorisques, Québec, mai 2008.
- NICOLET R., ROY L., ARÈS R., DUFOUR J., MARINIER G., MORIN G., 1997. *Commission scientifique et technique sur la gestion des barrages*. Rapport soumis au ministère du Conseil exécutif, Gouvernement du Québec.
- MAMR 1982. *Muni-Express*. Publication du ministère des Affaires municipales et des Régions.

- OUELLET D., FORTIN A., PARADIS S, DEMERS D., 2008. « Développement d'un portail informatique pour l'accès à des bases de données géotechniques », comptes rendu de la 4^e Conférence canadienne sur les géorisques, Québec, mai 2008.
- PERRON G., 1998. *Rapport d'enquête concernant le décès de Mathieu et Andréa Paquet-Garceau*. Rapport d'enquête du Coroner A-11368 & 113669. Gouvernement du Québec, 80 p.
- RISSMANN P., ALLARD J.D. et LEBUIS J., 1985. *Zones exposées aux mouvements de terrain le long de la rivière Yamaska, entre Yamaska et Saint-Hyacinthe*. Rapport DV 83-04, ministère des Ressources naturelles du Québec, 68 p., 3 cartes.
- ROBITAILLE D., DEMERS D., POTVIN, J., PELLERIN F., 2002. « Mapping of landslide-prone areas in the Saguenay region, Quebec, Canada ». Proceedings of the International Conference on Instability – Planning and Management, Ventnor, Isle of Wight, UK, 20-23 May 2002.
- TAVENAS F., CHAGNON J.Y. et LA ROCHELLE P., 1971. « The Saint-Jean-Vianney landslide: observations and eyewitnesses accounts ». *Revue canadienne de géotechnique*, vol. 8 (3), p. 463-478.

Détermination du comportement mécanique des matériaux de chaussée souple au MTQ

Félix Doucet, ing., M. Sc. A., Service des matériaux d'infrastructures, Laboratoire des chaussées
Denis St-Laurent, ing., M. Sc., Service des chaussées, Laboratoire des chaussées

INTRODUCTION

Le dimensionnement des structures de chaussée est généralement effectué à l'aide de modèles empiriques, déterminés à partir d'observations sur des chaussées en service ou expérimentales [AASHTO 1993, MTQ 2006]. Par ailleurs, il est possible de déterminer le comportement mécanique des matériaux de chaussée en laboratoire, afin de dimensionner les structures de chaussée selon une approche rationnelle [LCPC et SETRA 1994, NCHRP 1-37A]. Ce type d'approche consiste à calculer la distribution des contraintes et des déformations dans la chaussée selon la rigidité des matériaux, afin d'évaluer la durée de vie de la chaussée selon la résistance à l'endommagement des matériaux, en fonction du climat et du trafic.

L'objectif de cet article est de présenter la démarche du ministère des Transports du Québec (MTQ) dans le domaine de la détermination du comportement mécanique des matériaux de chaussée. Le besoin d'évaluer les matériaux en fonction de leur performance en laboratoire et de dimensionner les chaussées en recourant à une approche rationnelle plutôt qu'empirique est également discuté. Les essais pour déterminer la rigidité et la résistance à l'endommagement des enrobés et des matériaux granulaires sont décrits brièvement et des références sont indiquées lorsque des informations additionnelles sont disponibles.

CONTEXTE

La gestion d'un réseau routier vieillissant dans un contexte de rationalisation des dépenses amène le MTQ à s'intéresser aux développements techniques lui permettant d'optimiser la gestion des ressources et des interventions. La détermination du comportement mécanique des matériaux de chaussée, combinée à une analyse rationnelle du comportement de la chaussée, vise à anticiper la performance d'un produit avant son utilisation sur la route, à optimiser l'utilisation des ressources disponibles par des choix plus judicieux parmi les variantes envisageables, à estimer le préjudice en cas de non-conformité et à valider les exigences sur les matériaux et leur utilisation. Une gestion des interventions basée sur une analyse du coût de cycle de vie nécessite l'évaluation de la durée de vie des différents scénarios d'intervention.

En réponse à ses besoins, le ministère des Transports du Québec a acquis en 1992 un équipement pour déterminer le module réversible et la résistance à la déformation permanente des matériaux granulaires, et en 1995 un équipement pour déterminer le module complexe et la résistance à la

fatigue des enrobés, montrés à la figure 1. Il s'agit de deux presses hydrauliques asservies comprenant des systèmes pour le contrôle de la température ou du confinement des échantillons. À la suite de quelques projets de recherche externe effectués à l'aide de ces équipements, une équipe de travail interne a été affectée à la détermination du comportement mécanique des matériaux de chaussée en 2003, afin d'assurer un contrôle de la qualité correspondant au niveau de technicité élevé des essais et d'optimiser l'utilisation des équipements.

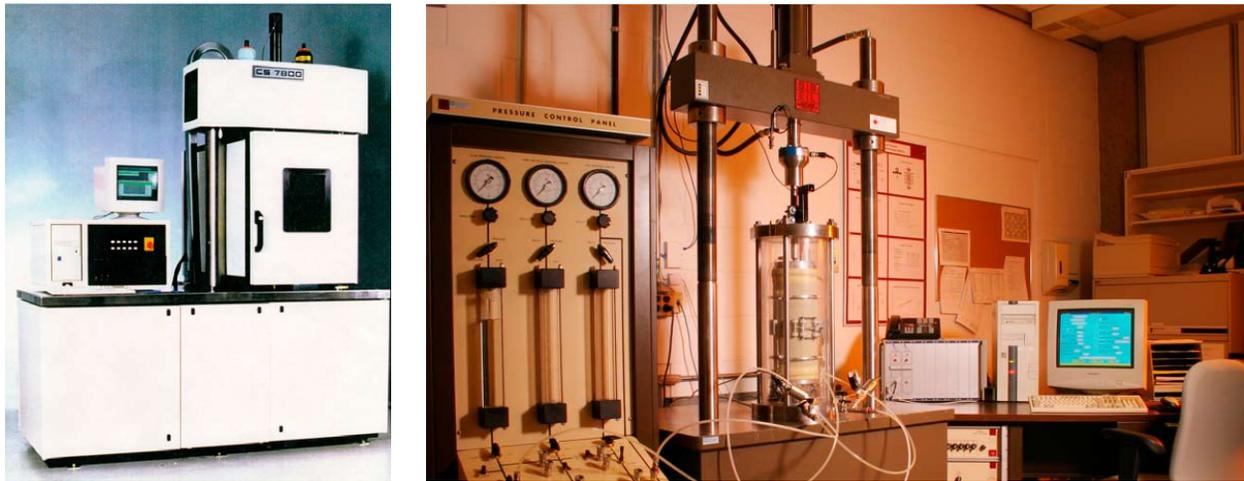


Figure 1 – Photos des équipements utilisés pour la détermination du comportement mécanique des enrobés (à gauche) et des matériaux granulaires (à droite)

DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉES

Les chaussées sont des structures multicouches constituées de matériaux à usage spécifique dont le comportement mécanique et les conditions d'utilisation sont complexes, comme représenté par le schéma de la figure 2. Les véhicules circulent sur une couche d'enrobé de roulement qui assure une surface de circulation sécuritaire et confortable. Une couche d'enrobé de base et une couche de matériau granulaire de fondation supportent la couche de roulement et distribuent les contraintes aux matériaux sous-jacents. Une couche de matériau granulaire de sous-fondation éloigne le sol d'infrastructure en place du front de gel selon sa gélivité. Des matériaux sont parfois ajoutés à la structure conventionnelle, tels que des matériaux recyclés, des matériaux retraités, des matériaux stabilisés, des isolants, des matériaux anti-fatigue et autres, selon les besoins.

En dimensionnement structural, l'épaisseur des matériaux de la chaussée est déterminée en fonction de la rigidité et de la résistance à l'endommagement mécanique des différents matériaux. La rigidité des enrobés varie principalement en fonction de la vitesse des véhicules et de la température, alors que la rigidité des matériaux granulaires varie principalement en fonction de la charge des véhicules et de la teneur en eau gelée et non gelée. En ce qui concerne l'endommagement mécanique, tous les matériaux de la chaussée sont susceptibles d'accumuler des déformations permanentes sous l'action des contraintes de compression répétées, alors que l'enrobé peut également se fissurer par fatigue sous l'application de contraintes en tension répétées qui sont les plus élevées à cet endroit.

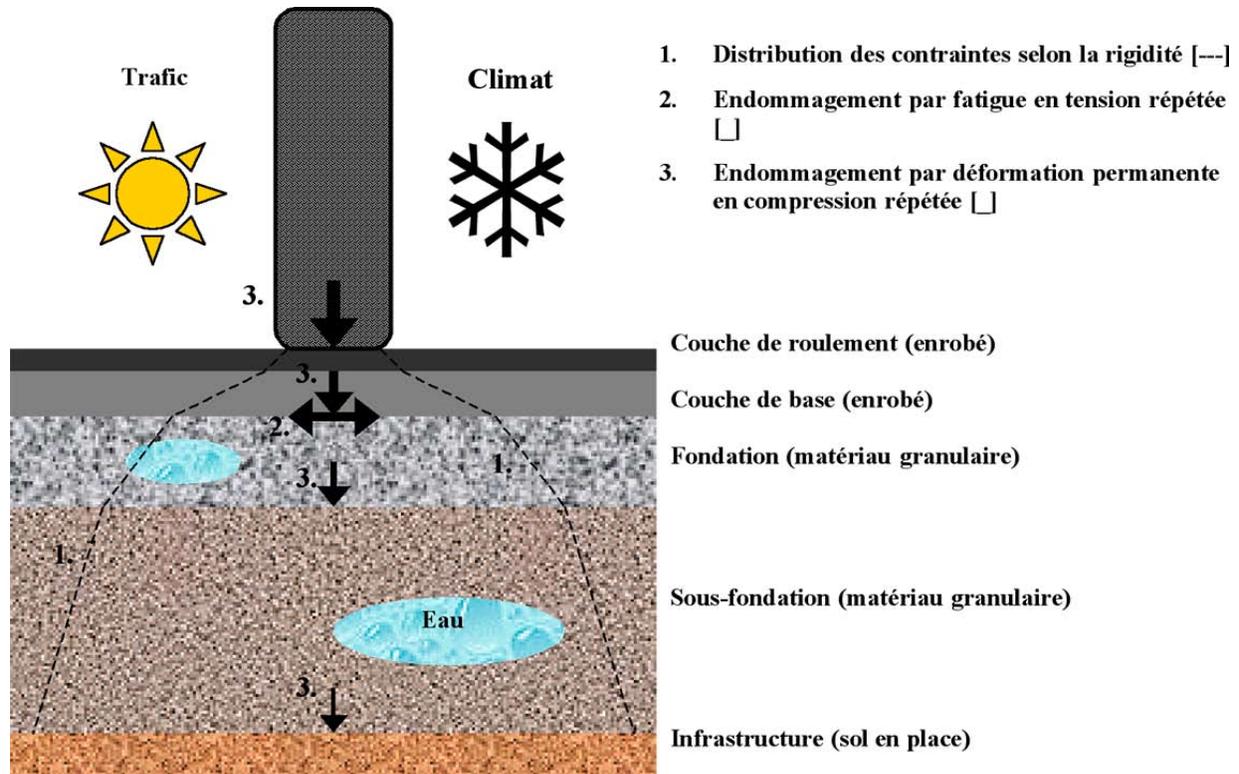


Figure 2 – Comportement mécanique d'une chaussée souple et principaux facteurs d'influence

MODULE COMPLEXE DES ENROBÉS

La méthode d'essai LC 26-700 décrit la détermination du module complexe E^* des enrobés au MTO [LC 26-700]. Un équipement de tension-compression cyclique est utilisé pour déterminer le E^* à différentes fréquences et températures, sur des éprouvettes de 75 mm de diamètre sur 150 mm de hauteur préparées en laboratoire [Doucet et Auger 2007]. L'essai de tension-compression a été sélectionné pour sa distribution de contrainte homogène, contrairement aux essais de flexion ou de traction indirecte [Di Benedetto et Corté 2005, Doucet 2006a]. La méthode d'essai est une adaptation de la norme américaine AASHTO TP 62 « Determining dynamic modulus of hot-mix asphalt » et de la norme européenne NF EN 12697-26 « Méthode d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud : module de rigidité ».

Le E^* décrit le comportement viscoélastique de l'enrobé, qui peut se décomposer en la norme du module complexe $|E^*|$, aussi dénommé module de rigidité en Europe ou module dynamique en Amérique, et en angle de phase f . Le $|E^*|$ est généralement utilisé pour le dimensionnement des chaussées et la valeur de f permet d'apprécier l'aspect visqueux du comportement de l'enrobé. Le $|E^*|$ peut être modélisé en fonction de la fréquence pour une température de référence, sous forme de courbe maîtresse selon le principe d'équivalence temps-température [Doucet 2006a], comme montré à la figure 3.

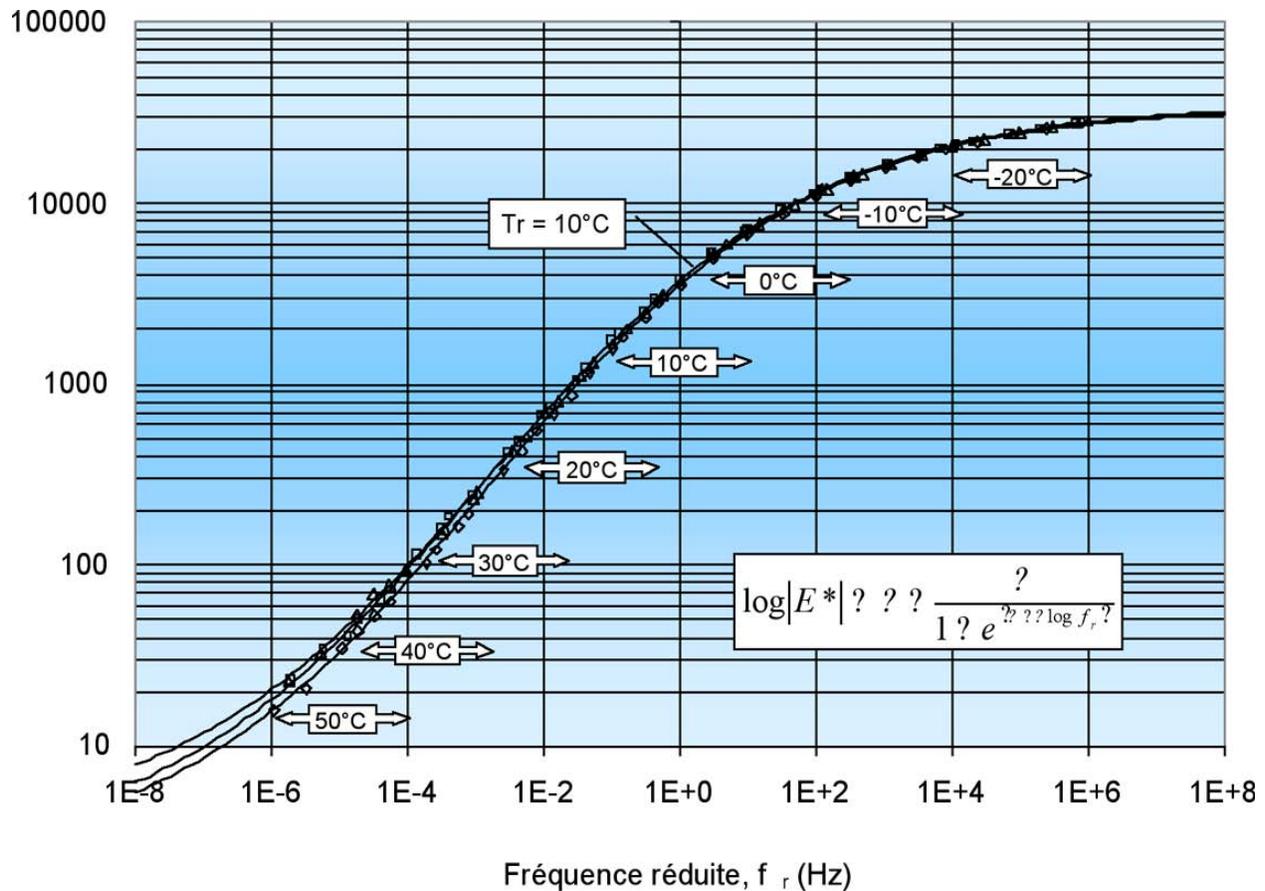


Figure 3 – Courbe maîtresse de module dynamique d'un enrobé [Doucet et Auger 2007]

RÉSISTANCE À LA FATIGUE DES ENROBÉS

Une méthode d'essai LC est actuellement en cours d'élaboration pour la détermination de la résistance à la fatigue des enrobés au MTQ. L'équipement de tension-compression cyclique est également utilisé pour déterminer la résistance à la fatigue à différents niveaux de déformation [Doucet et Auger 2007]. La méthode d'essai sera une adaptation de la norme américaine AASHTOT321 «Determining the fatigue life of compacted hot-mix asphalt subjected to repeated flexural bending» et de la norme européenne NF EN 12697-24 «Méthode d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud : résistance à la fatigue ».

La rupture par fatigue est atteinte en laboratoire, par convention, lorsque la rigidité de l'enrobé a diminué de moitié à la suite de plusieurs milliers de cycles de chargement, soit de 50 000 à 1 000 000 de cycles. La résistance à la fatigue de l'enrobé est modélisée en fonction du niveau de déformation pour une température et une fréquence de référence, comme montré à la figure 4.

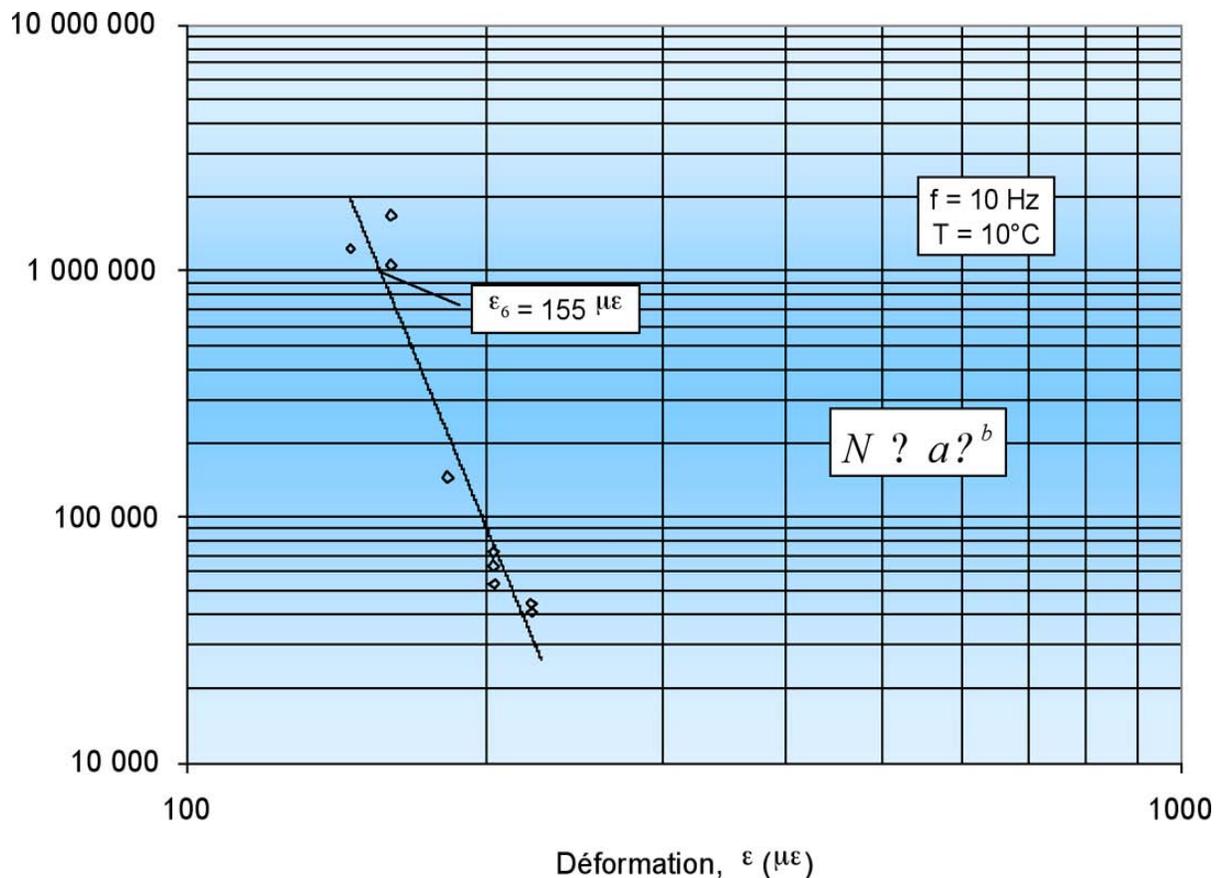


Figure 4 – Courbe de résistance à la fatigue d'un enrobé [Doucet et Auger 2007]

MODULE RÉVERSIBLE DES MATÉRIAUX GRANULAIRES

La méthode d'essai LC 22-400 décrit la détermination du module réversible E_r des matériaux granulaires [LC 22-400]. Un équipement triaxial à chargements répétés est utilisé pour déterminer le E_r à différents niveaux de contrainte et différents teneurs en eau, sur un échantillon de 150 mm de diamètre sur 300 mm de hauteur préparé en laboratoire [Doucet 2005]. La contrainte de confinement est appliquée de manière statique afin de simplifier la méthodologie, contrairement au comportement observé sur la route [Lekarp et autres 2000, Doucet 2006b]. La méthode d'essai est une adaptation de la norme américaine AASHTO T 307 « Determining the resilient modulus of soils and aggregate materials » et de la norme européenne NF EN 13286-7 « Mélanges avec ou sans liant hydraulique : essai triaxial sous charge cyclique pour mélanges sans liant hydraulique ».

Le E_r décrit le comportement élastique d'un matériau élasto-plastique, en ne considérant que le retour de déformation élastique par suite du relâchement du déviateur de contrainte. Le comportement non linéaire (fonction de l'état de contrainte) de E_r est modélisé en fonction de la contrainte totale appliquée à l'échantillon [Doucet 2006b], comme montré à la figure 5.

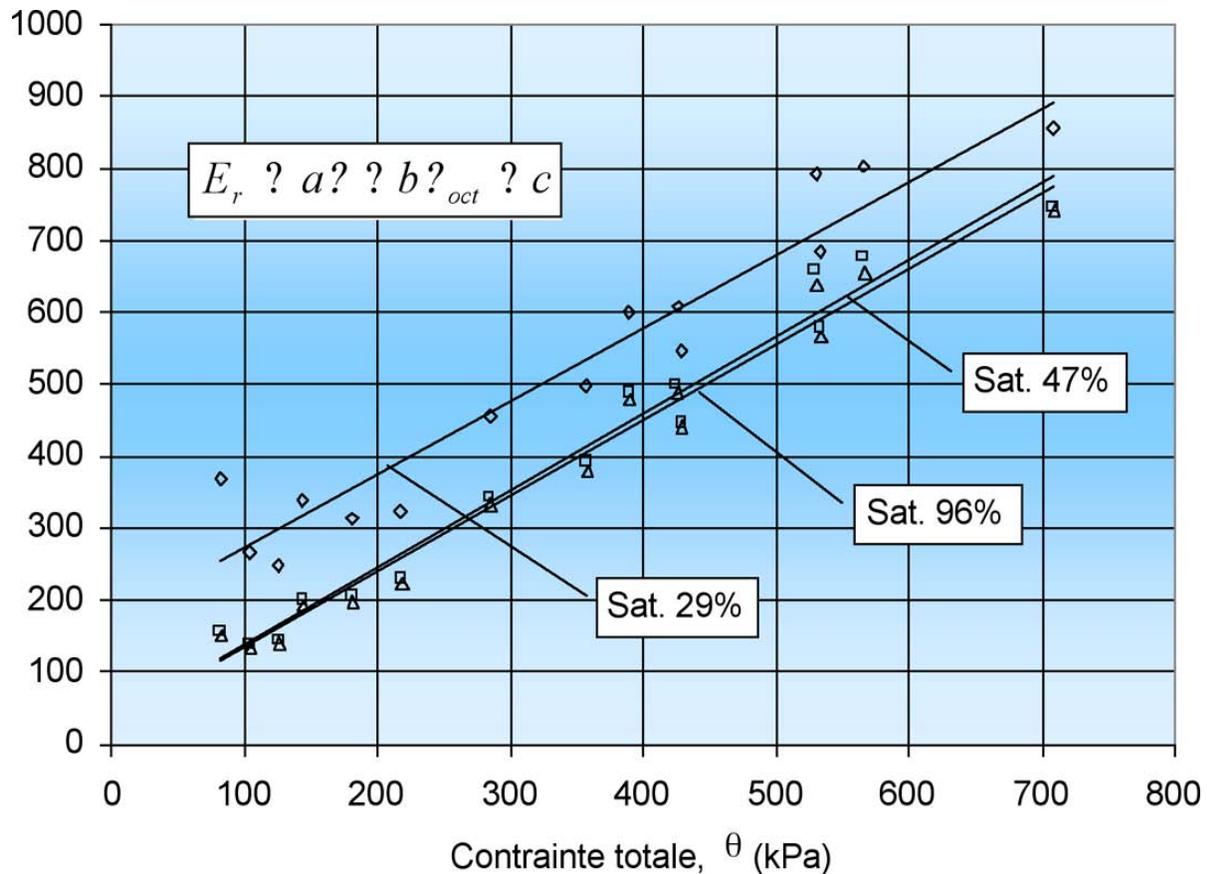


Figure 5 – Courbe de module réversible d'un matériau granulaire [Doucet 2005]

RÉSISTANCE À LA DÉFORMATION PERMANENTE DES MATÉRIAUX GRANULAIRES

La méthode d'essai LC 26-410 décrit la détermination de la résistance à l'orniérage des enrobés [LC 26-410]. Cette méthode d'essai assure que les enrobés n'accumuleront pas de déformation permanente excessive au cours de leur durée de vie. Le MTQ mettra au point également sous peu une méthode d'essai pour déterminer la résistance à la déformation permanente des matériaux granulaires à l'aide de l'équipement triaxial à chargements répétés. La méthode sera une adaptation de la norme européenne NF EN 13286-7 « Mélanges avec ou sans liant hydraulique – Partie 7 : essai triaxial sous charge cyclique pour mélanges sans liant hydraulique ».

La déformation permanente est la déformation plastique qui s'accumule à la suite de plusieurs milliers de chargements répétés. Une approche intéressante consiste à appliquer 10 000 chargements répétés à différents niveaux de contrainte sur un même échantillon, afin de déterminer l'influence de la contrainte sur la résistance à la déformation permanente du matériau.

CONCLUSION

La détermination du comportement mécanique des matériaux de chaussée est un domaine d'expertise en développement au MTQ. Une banque de valeurs de module complexe et de module réversible sur les enrobés et les matériaux granulaires utilisés par le MTQ sera disponible prochainement, et des méthodes LC pour la détermination de la résistance à la fatigue et de la résistance à la déformation permanente seront mises au point. Ces informations permettront d'anticiper la performance des matériaux, afin d'optimiser leur utilisation, d'évaluer des préjudices et de valider les exigences.

Ces démarches permettront au MTQ de se positionner parmi les agences routières les plus avancées dans le domaine de la détermination du comportement mécanique des matériaux de chaussée souple. Cette étape est primordiale pour accéder aux méthodes rationnelles de dimensionnement des chaussées, telles celle utilisée par la France [LCPC et SETRA 1994] et celle en cours d'implantation aux États-Unis [NCHRP 1-37A]. Ces méthodes de dimensionnement ont en commun d'être supportées par des méthodes d'essai sur le comportement mécanique des matériaux, ainsi que par des outils de modélisation analytique ou numérique. Le MTQ souhaite tirer profit de ce type d'approche qu'il utilise présentement pour certaines expertises, comme le développement des chaussées souples à durée de vie prolongée [Langlois et autres 2004].

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AASHTO. *Guide for design of pavement structures*, American Association of State Highway and Transportation, Washington, D.C., 1993, 640 p.
- DI BENEDETTO Hervé, et Jean-François CORTÉ. *Matériaux routiers bitumineux 2*, Paris, Lavoisier, 2005, 283 p. (Traité Mécanique et Ingénierie des Matériaux).
- DOUCET, Félix. « Module réversible des matériaux granulaires », *Info DLC, Bulletin d'information technique*, Direction du Laboratoire des chaussées, vol. 10, no 6, juin, 2005, 2 p.
- DOUCET, Félix. « Complex modulus characterization of asphalt mixes at MTQ and LCPC », *Proceedings of the 10th International Conference on asphalt pavements*, International Society for Asphalt Pavements, Québec City, 2006a, 10 p.
- DOUCET, Félix. « Resilient modulus characterization of granular materials at MTQ and LCPC », *Proceedings of the 10th International Conference on asphalt pavements*, International Society for Asphalt Pavements, Québec City, 2006b, 10 p.
- DOUCET Félix, et Bruno AUGER. « Essai de tension-compression cyclique pour la détermination du comportement mécanique des enrobés », *Recueil des communications du 42^e Congrès de l'AQTR*, Association Québécoise du Transport et des Routes, Montréal, 2007, 18 p.
- LANGLOIS, Pierre, Denis ST-LAURENT et Félix DOUCET. « Chaussée souple à durée de vie prolongée », *Info DLC, Bulletin d'information technique*, vol. 9, no 9, septembre, 2004, 2 p.
- LC 22-400. « Détermination du module réversible des matériaux granulaires », *Recueil des méthodes d'essai LC*, Laboratoire des chaussées, Secteur sols et fondations, 15 p.
- LC 26-410. « Résistance à la déformation des enrobés à l'essai d'orniérage », *Recueil des méthodes d'essai LC*, Laboratoire des chaussées, Secteur enrobés, 8 p.
- LC 26-700. « Détermination du module complexe des enrobés », *Recueil des méthodes d'essai LC*, Laboratoire des chaussées, Secteur enrobés, 11 p.
- LCPC et SETRA. *Conception et dimensionnement des structures de chaussées*, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, Paris, 1994, 250 p.
- LEKARP, Fredrick, ISACSSON Ulf and Andrew DAWSON. « State of the art. I: Resilient response of unbound aggregates », *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 126, No. 1, January 2000, p. 66-75.

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC. CHAUSSÉE 2 : *Logiciel de dimensionnement des chaussées souples*, [En ligne]. [http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/entreprises/zone_fournisseurs/reseau_routier/chaussee/logiciel_dimensionnement_chaussees] (Consulté le 17 décembre 2007).

NCHRP 1-37A. *Mechanistic-empirical design of new and rehabilitated pavement structures*, [En ligne]. [<http://www.trb.org/mepdg/home.htm>] (Consulté le 23 novembre 2007).

L'auscultation des chaussées au ministère des Transports du Québec

Martin Routhier, ing., Service des chaussées, Laboratoire des chaussées

Guy Bergeron, ing., M. Sc., Service des chaussées, Laboratoire des chaussées

INTRODUCTION

Pour avoir l'heure juste concernant l'état des chaussées, le ministère des Transports du Québec (MTQ) ausculte régulièrement le réseau routier sous sa responsabilité à l'aide de différents équipements de mesure. Plusieurs indicateurs du comportement des chaussées, tels le confort au roulement, l'orniérage, la fissuration, la portance et les propriétés des matériaux composant les chaussées, l'adhérence de même que diverses autres caractéristiques des revêtements, sont mesurés. Ces indicateurs servent à mieux comprendre les problématiques modifiant le comportement de la chaussée et ainsi à mieux planifier les travaux d'entretien et de réfection.

L'auscultation des chaussées se réalise généralement sur deux plans distincts :

- Sur le plan « réseau », où l'usage d'équipements d'auscultation à haut rendement est nécessaire considérant l'étendue du réseau à ausculter. On vise ici à connaître l'état du réseau dans son ensemble. L'information sert à alimenter le système de gestion des chaussées, outil d'aide à la décision servant à estimer les besoins puis à établir des priorités et des scénarios d'intervention sur le réseau.
- Sur le plan « projet », où divers types d'équipements d'auscultation peuvent être utilisés selon les types de problèmes causant des dommages à la chaussée et l'objectif des travaux d'expertise. En général, on vise ici à établir la ou les causes des dégradations d'un segment d'une chaussée afin de préciser et de concevoir le type d'intervention le mieux adapté au contexte sous étude.

Les équipements utilisés sont maintenus à la fine pointe de la technologie par le Ministère, qui conçoit et développe ses équipements en partenariat avec des agences de recherche et les universités. A titre d'exemple, l'équipement d'auscultation à haut rendement développé récemment en partenariat avec l'Institut national d'optique (INO) inclut les dernières avancées dans le domaine de l'optique.

AUSCULTATION DES CHAUSSÉES SUR LE PLAN « RÉSEAU »

Le MTQ s'est doté d'un équipement à haut rendement nommé « véhicule multifonction » pour effectuer des relevés sur plus de 25 000 km de routes sous sa responsabilité, excluant les ponts et les certaines structures. L'équipement permet de mesurer la qualité de roulement, de l'orniérage et de la fissuration, information relevée lors d'un seul passage du véhicule à 70 km/h. Cet équipement intègre des composantes commerciales et des systèmes complémentaires développés et mis au point par le MTQ. Ce dernier fait la collecte des différentes données au moyen de ces systèmes et les valide par la suite selon un plan qualité qu'il a élaboré. Ce plan couvre l'ensemble des activités relatives à la collecte et au traitement des données avant d'être versées au système de gestion des chaussées. Le véhicule multifonction arpente annuellement la moitié du réseau, soit environ 12 500 km.

Ce véhicule est muni des équipements suivants :

- Profilomètre inertiel. Cette composante (T-6500) permet de relever avec précision le profil longitudinal de la route. Les profils sont traités et l'indice de rugosité international (IRI) est calculé par portions de 100 m pour chaque sentier de roue.
- Système automatisé de mesure de la fissuration et des ornières. Récemment développé en partenariat avec l'INO, cet équipement effectue la détection et le décompte automatique de la fissuration, en plus de mesurer la profondeur des ornières du revêtement. L'évaluation de la fissuration et des ornières est un intrant essentiel dans tout processus d'analyse du comportement d'une chaussée.



Le profilomètre inertiel se trouve à l'avant du véhicule multifonction



Système automatisé de mesure de la fissuration et des ornières.

AUSCULTATION DES CHAUSSÉES SUR LE PLAN « PROJET »

Lorsqu'un segment du réseau nécessitant une intervention est identifié, la réalisation d'une étude de réfection impliquant l'usage d'autres équipements d'auscultation peut s'avérer nécessaire selon la nature des problèmes et le contexte du secteur à l'étude.

L'information fournie par ces équipements permet d'évaluer avec précision les propriétés des diverses composantes d'une chaussée et d'effectuer un diagnostic complet de son état. Le processus d'analyse s'effectue en complémentarité avec les données provenant du véhicule multifonction. Les équipements utilisés sur une base courante sur le plan « projet » sont :

- Le déflectomètre à masse tombante (FWD). Équipement servant à mesurer la « portance » d'une chaussée, c'est-à-dire sa capacité à supporter le trafic journalier. L'équipement reproduit une sollicitation dynamique semblable à celle produite par le passage d'un véhicule lourd. La réaction de la chaussée est mesurée par neuf (9) géophones en contact avec la chaussée. Les méthodes d'analyse développées permettent la détermination de la durée de vie résiduelle de la chaussée et l'épaisseur du renforcement requis. Ce type d'équipement est également utilisé pour l'évaluation structurale des chaussées rigides en béton de ciment et la mesure de l'efficacité des dispositifs de transfert de charge.



Déflectomètre à masse tombante (FWD)



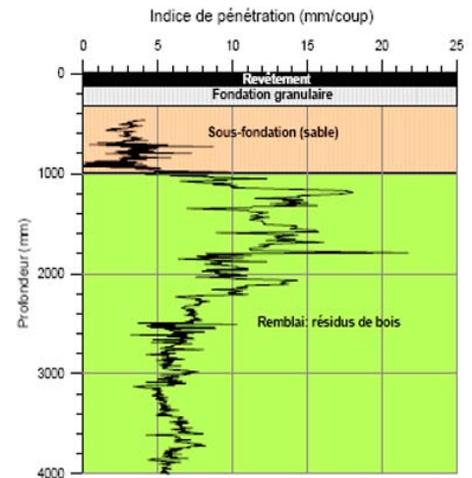
Foreuse adaptée aux chaussées

- Le pénétromètre dynamique (DCP). Cet outil, développé conjointement avec l'Université Laval, est conçu pour évaluer les propriétés mécaniques des sols et matériaux composant une chaussée. L'essai consiste à enfoncer dans les sols une tige munie d'un cône à l'aide d'une masse en chute libre, généralement de 8 kg, et de mesurer la profondeur obtenue après chaque coup. Le principe de fonctionnement de l'équipement permet d'établir un profil de la résistance des matériaux en fonction de la profondeur. L'outil est surtout adapté pour la caractérisation des sols fins contenant peu de gravier et de pierres. L'analyse des données permet de déterminer l'épaisseur et la profondeur des couches de sols ainsi que le module de déformation (E) des sols,

valeurs couramment utilisées en conception de chaussée. Le DCP est un outil efficace pour détecter des couches de faible consistance (tourbe et argile molle) et mesurer l'uniformité de compactage des matériaux de remblai. Cette approche est complémentaire à la réalisation de sondages et d'échantillonnages, lesquels sont réalisés au moyen d'une foreuse ou d'une carotteuse adaptées aux chaussées.



Pénétrömètre dynamique (DCP)



Exemple d'un enregistrement

- L'appareil de mesure de l'adhésion des différentes couches d'enrobés (AMAC). Ce type d'essai sert à évaluer la force d'adhésion entre les couches d'enrobé composant un revêtement. Un manque d'adhésion entre les couches d'enrobé peut se traduire par une dégradation prématurée du revêtement. L'appareil a d'abord été conçu en 1998 en partenariat avec le Centre de recherche et de contrôle appliqué à la construction (CRCAC). Le MTQ y a par la suite apporté plusieurs modifications en vue d'en améliorer la fiabilité et d'en simplifier le mode de fonctionnement. L'essai, qui est en voie d'être normalisé, permet d'évaluer l'efficacité de divers types de liants d'accrochage et de méthodes de travail utilisées lors de la pose d'enrobé.



AMAC : Appareil de mesure de l'adhésion des couches

- L'équipement SCRIM. Équipement (le seul en Amérique du Nord) servant à évaluer les propriétés de surface des revêtements (mesure de l'adhérence pneu/chaussée), il est utilisé par le MTQ afin d'évaluer le coefficient de frottement transversal (CFT) généré par la roue de l'appareil. L'analyse des données est complétée par des mesures de la texture du revêtement à l'aide du pendule britannique (voir photo) et d'un rugolaser, permettant une évaluation complète des propriétés de surface du revêtement.

**SCRIM****Pendule britannique (BNP)**

- L'audiomètre routier dynamique (ARD). Équipement servant à mesurer les propriétés acoustiques des revêtements routiers, c'est-à-dire le bruit de roulement généré par le contact entre le pneu et la chaussée. Conçu et développé par le Ministère, l'audiomètre vise à identifier les types de revêtements les mieux adaptés dans l'optique de minimiser les bruits routiers. La méthode de mesure est actuellement en développement.

**Audiomètre routier dynamique (ARD)**

CONCLUSION

L'auscultation des chaussées est l'un des mandats prioritaires du Service des chaussées du ministère des Transports. Les équipements utilisés sont à la fine pointe de la technologie et permettent de brosse/tracer un portrait fiable et complet de l'état du réseau routier et des problématiques qui le touchent.

Les données provenant des équipements d'auscultation servent d'intrant pour diverses étapes d'analyse et de planification menant à l'établissement des priorités d'intervention et à la détermination des interventions les mieux adaptées selon les contextes.

Considérant que l'entretien et la réfection des chaussées font partie des activités qui sont appelées à prendre de l'ampleur au cours des prochaines années et largement justifié par l'ampleur des montants en causes, l'auscultation des chaussées s'avère un investissement des plus rentables pour le Ministère et s'inscrit dans une approche rationnelle visant à optimiser l'utilisation des budgets alloués.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. HALIM, Rafic. *Auscultation du réseau du MTQ avec le multifonction*. Québec, 5^e Forum sur la gestion des chaussées, mars 2007.
2. LAVOIE, Martin, et Guy BERGERON. « Le pénétromètre dynamique », Québec, Info DLC, vol. 9, no 10, octobre 2004, p. 1 et 2.
3. MINISTÈRE DES TRANSPORTS. *Manuel d'identification des dégradations des chaussées souples*, Québec, 2007.