

Collaboration entre le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées et le ministère des Transports du Québec sur le sujet des modèles de comportement des chaussées

Philippe LEPERT
Michel RÊCHE
Alain RIOUALL
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Yves SAVARD
Nadia POULIOT
Diane LEROUX
Laboratoire Chaussées
Ministère des Transports du Québec

Introduction

Pour optimiser l'emploi des crédits d'entretien des routes, c'est-à-dire obtenir les meilleurs résultats en termes de qualité d'usage et de préservation du patrimoine routier, à l'intérieur d'un budget donné, il est indispensable que le gestionnaire place son analyse sur le moyen ou le long terme. Ceci implique qu'il soit possible de modéliser le comportement des chaussées sur des périodes de plusieurs années, et ainsi de prédire leur évolution en tenant compte de leurs caractéristiques intrinsèques initiales et des sollicitations qui leur seront appliquées. L'étude des modèles de comportement des chaussées constitue donc un volet essentiel du développement des systèmes d'aide à la gestion de l'entretien des routes qui seront mis à la disposition des gestionnaires routiers dans un proche avenir. On ne s'étonnera donc pas que de nombreuses recherches soient conduites sur ce sujet (projet européen PARIS, HDM, etc.).

Une collaboration entre le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées et le ministère des Transports du Québec

Pour développer ces modèles, le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) a entrepris d'appliquer des outils statistiques, tels que la théorie des lois de survie, aux données recueillies lors d'auscultations systématiques du réseau national (IQRN). La base IQRN rassemble un grand nombre d'observations des dégradations de sections, mais il est rare qu'elle contienne des informations sur les caractéristiques intrin-

sèques (portance du sol, composition des matériaux, rigidité initiale des couches, etc.) qui gouvernent l'évolution de ces dégradations. Pour cette raison, passée une première étape de conception des méthodes d'analyse, leur amélioration a buté sur l'insuffisance des bases disponibles.

De son côté, le Laboratoire Chaussées (LC) du ministère des Transports du Québec (MTQ) a conduit un programme de suivi de sections-tests précis et rigoureux. Le nombre de sections suivies ne dépasse pas les 400 ; en revanche, de nombreuses informations caractérisent chacune de ces sections. Le LC/MTQ s'interrogeait sur les méthodes à mettre en œuvre pour exploiter et valoriser au mieux ces informations, avec le double objectif d'établir les modèles de comportement de ses chaussées et d'affiner les procédures de recueil des données pour son système de gestion de l'entretien routier.

Ce double constat a conduit très naturellement les deux organismes à coopérer : le LC/MTQ apporte la qualité et la richesse de sa base de données routières, le LCPC participe au titre de l'expérience qu'il a acquise dans l'application d'outils de type « lois de survie ». Le LC/MTQ souhaite tirer le meilleur parti des données qu'il a accumulées pour progresser vers les objectifs indiqués ci-dessus, le LCPC voit dans cette collaboration l'occasion d'améliorer les méthodes statistiques qu'il a développées pour identifier des modèles de comportement qui seront ensuite appliqués au contexte français. La Commission permanente France-Québec apporte un soutien précieux au projet, en prenant en charge les frais des missions qui permettent à

l'équipe québécoise et à l'équipe française de se rencontrer deux fois par an pour faire le point des travaux.

Note

technique

Programme de travail

En 2000 et 2001, les recherches ont porté sur le comportement des chaussées souples n'ayant reçu aucun entretien. Quelques vingt-cinq sections, suivies par le LC/MTQ pendant 2 à 8 ans, et dont l'âge varie entre 0 et 18 ans, répondaient à ces critères. Après avoir regroupé toutes les informations les caractérisant dans une base de données spécifique (2^e semestre 2000), le LCPC et le LC/MTQ se sont livrés à une première analyse avec des outils statistiques assez simples (début du 1^{er} semestre 2001). La méthode statistique dite « des lois de survie », développée au LCPC, a été appliquée dans un second temps (fin du 1^{er} semestre 2001) pour bâtir les modèles de performances de ces chaussées.

Fin 2001, la recherche s'est orientée sur le comportement des chaussées souples ayant reçu un premier entretien sous la forme d'un renouvellement de la couche de surface. La base de données spécifique a été constituée au cours du second semestre 2001, et les premières analyses réalisées immédiatement après. L'identification des modèles de comportement par la méthode des lois de survie conduite à partir de février 2002. Le projet devrait donc aboutir à la mi-2002.

Premiers résultats

■ Dans un premier temps, la **qualité des données** contenues dans la base a été évaluée chaque fois que possible.

➤ La répétabilité des données mécaniques mesurées avec le FWD (Falling Weight Deflectometer – déflectomètre à masse tombante), la déflexion notamment, comme celle des données d'uni longitudinal (IRI), s'avère très bonne, avec un coefficient de variation (rapport écart-type/moyenne) de l'ordre de 1 à 2 %.

➤ Faute de répétition des recueils, cette répétabilité n'est pas accessible sur les relevés de fissuration et les mesures d'orniérage ; en revanche, on dispose d'informations permettant d'apprécier la justesse de ces relevés et mesures. Les relevés de fissuration peuvent être considérés comme fiables car ils sont en général exécutés par une

même équipe, qui dispose des relevés antérieurs sur chaque section (hors le cas des sections du programme SHRP, peu nombreuses). Quant aux mesures d'orniérage, elles sont justes, comme l'ont démontré les comparaisons faites entre les appareils employés pour les réaliser et le Dipstick, système de référence précis au $1/10^e$ de millimètre. Par exemple, la différence obtenue entre deux appareils sur la profondeur d'ornièrisme en chaque point de mesure est de 0,9 millimètre.

➤ La cohérence des données a également été considérée, en examinant l'évolution des paramètres en fonction du temps, sur chaque section. Dans l'ensemble, cet examen montre une progression régulière des fissurations et des paramètres mécaniques, dès lors que l'on s'affranchit des variations saisonnières (fig. 1). Il en est de même à un moindre degré pour les données d'IRI et d'orniérage.

➤ Ajoutons aussi que les variables caractérisant les sections retenues dans la base (indice de gel, trafic, déflexion, IRI - « International Roughness Index ») présentent une distribution assez large pour donner un sens aux analyses.

➤ Enfin, les sections s'avèrent effectivement homogènes, si l'on en juge à travers la régularité longitudinale des mesures de paramètres mécaniques ou d'orniérage.

■ Pour les **essais de portance** mécanique faits avec le **FWD** :

➤ On montre clairement que leurs variations temporelles résultent de la superposition d'évolutions saisonnières, très marquées, et d'une évolution à long terme, régulière et plus faible. Ce constat conduit à considérer que les paramètres mécaniques qui caractérisent le mieux les propriétés « intrinsèques » de la section, et doivent donc être considérés comme variables explicatives de l'évolution des autres variables d'état, sont les valeurs initiales débarrassées de leur composante saisonnière. On a retenu les premières valeurs mesurées en période estivale (entre le 1^{er} juin et le 31 octobre).

➤ Le FWD fournit un nombre important de paramètres mécaniques de la chaussée. Certains de ces paramètres ne sont pas indépendants, et il n'est donc pas nécessaire, ni souhaitable, de les retenir tous dans les analyses ultérieures. Après avoir examiné les corrélations entre ces paramètres, on trouve que trois paramètres suffisent à caractériser le comportement mécanique des chaussées, par exemple : la déflexion, le « nombre structurel total » (paramètre agrégé calculé à partir des épaisseurs et des modules des couches) du corps de chaussée et le module de résilience du sol. Cette analyse, conduite avec des moyens statistiques sommaires, suggère d'approfondir les relations entre les variables pour diminuer le nombre de variables explicatives, par exemple par des Analyses en Composantes Principales Normées (ACP-N).

➤ En regardant également les corrélations entre les paramètres de dimensionnement des chaussées (issus de la modélisation) et ceux issus de l'essai FWD, on constate que ces deux groupes de paramètres sont très corrélés sur les chaussées ayant fait l'objet d'un dimensionnement par la méthode du LC/MTQ, alors qu'il n'y a pas de corrélation sur les autres sections.

➤ De même, on observe que, si la rigidité des chaussées varie dans le même sens que le trafic qu'elles supportent (ce qui est, bien entendu, tout à fait logique), la corrélation entre déflexion et trafic est meilleure sur les chaussées conçues à partir d'un calcul de dimensionnement que sur celles qui ne le sont pas. Ces constats laissent espérer que sur les chaussées dimensionnées par la méthode LC, on puisse réduire le nombre d'essais FWD nécessaire pour alimenter le système de gestion, en tirant un meilleur parti des valeurs de dimensionnement. Là aussi, l'analyse méritera d'être approfondie avec des outils plus puissants.

➤ Finalement, on montre que les chaussées présentent une homogénéité transversale de leurs caractéristiques mécaniques qui autorise à considérer, pour les analyses ultérieures, que les mesures faites sur une voie sont applicables aux deux voies d'une même section.

■ En ce qui concerne les **fissurations de retrait et de fatigue**, les travaux permettent, au stade actuel, de montrer la cohérence des valeurs contenues dans la base de données. Ces valeurs sont mises en relation, dans les paragraphes suivants, avec le développement des défauts d'unis et de l'orniérage.

■ **L'IRI** a été mesuré sur toutes les sections, et souvent sur les différentes voies. À chaque fois, il est simultanément mesuré dans la trace de roue d'axe et de rive.

➤ La comparaison de ces deux valeurs conduit à la conclusion que l'IRI de rive est sensiblement égal à celui d'axe lorsque l'accotement de la section est revêtu, alors qu'il est un peu plus mauvais (+ 10 %) lorsque l'accotement n'est pas ou n'est que partiellement revêtu.

➤ L'examen de l'évolution de l'IRI en fonction de l'âge et du niveau de fissuration de retrait conduit à des conclusions prudentes : IRI et niveau de fissuration de retrait progressent en fonction de l'âge, plus vite sur certaines sections que sur d'autres (les mêmes dans les deux cas).

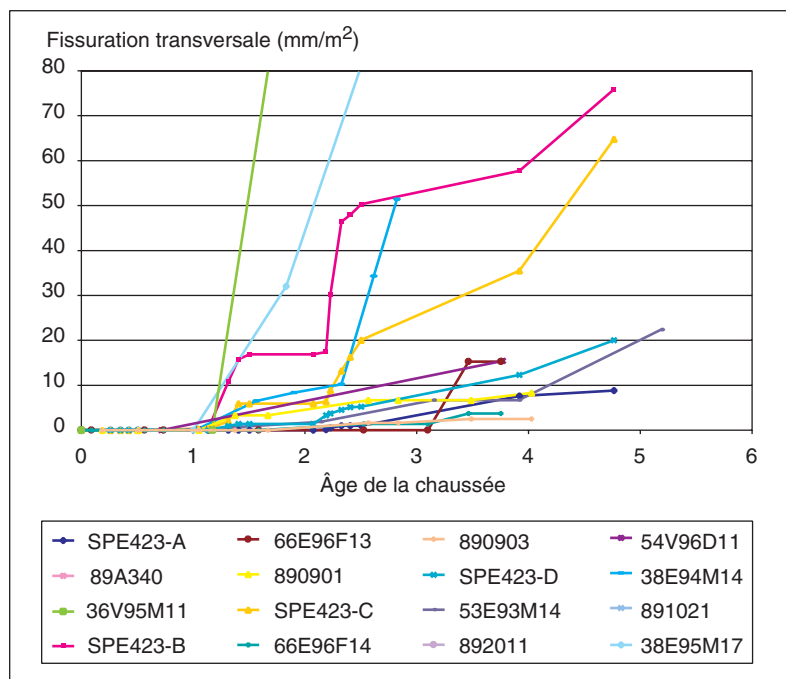


Fig. 1 - Évolution de la fissuration transversale de retrait thermique en fonction de l'âge de la chaussée.

➤ Par ailleurs, l'évolution de l'uni semble un peu conditionnée par le trafic, davantage d'ailleurs sur les sections fissurées que sur celles qui ne le sont pas.

■ En analysant les données d'orniérage, on parvient sensiblement aux mêmes conclusions, mais plus marquées.

➤ Indiscutablement, l'orniérage de rive progresse nettement plus vite que l'orniérage d'axe sur les sections dont l'accotement n'est pas revêtu (fig. 2a et 2b).

➤ De même, l'orniérage évolue systématiquement en fonction du temps, en même temps d'ailleurs que les phénomènes de fissuration de retrait et de fissuration de fatigue.

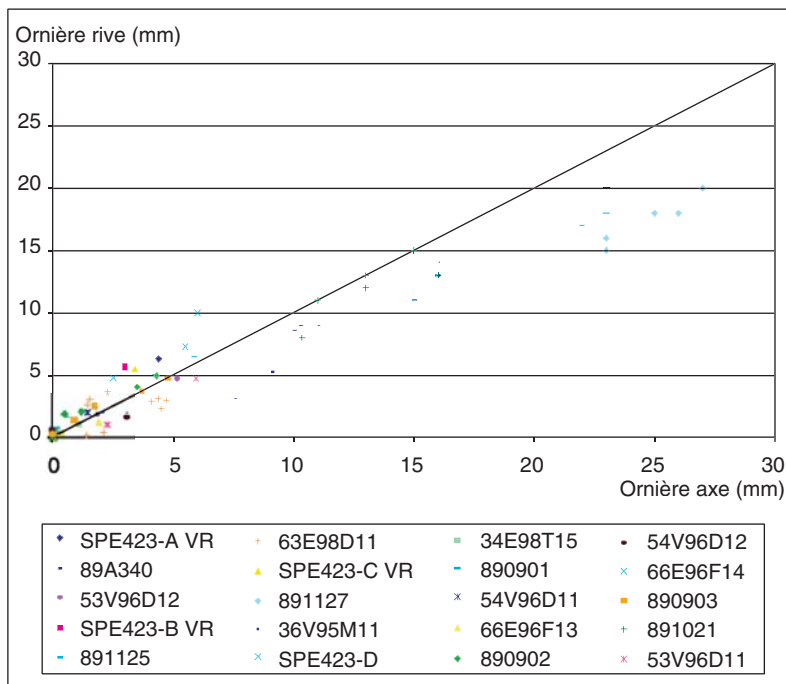
➤ Enfin, l'effet du trafic sur cet orniérage est indiscutable, et plus marqué sur les sections fissurées que sur celles qui ne le sont pas.

Conclusions (provisoires)

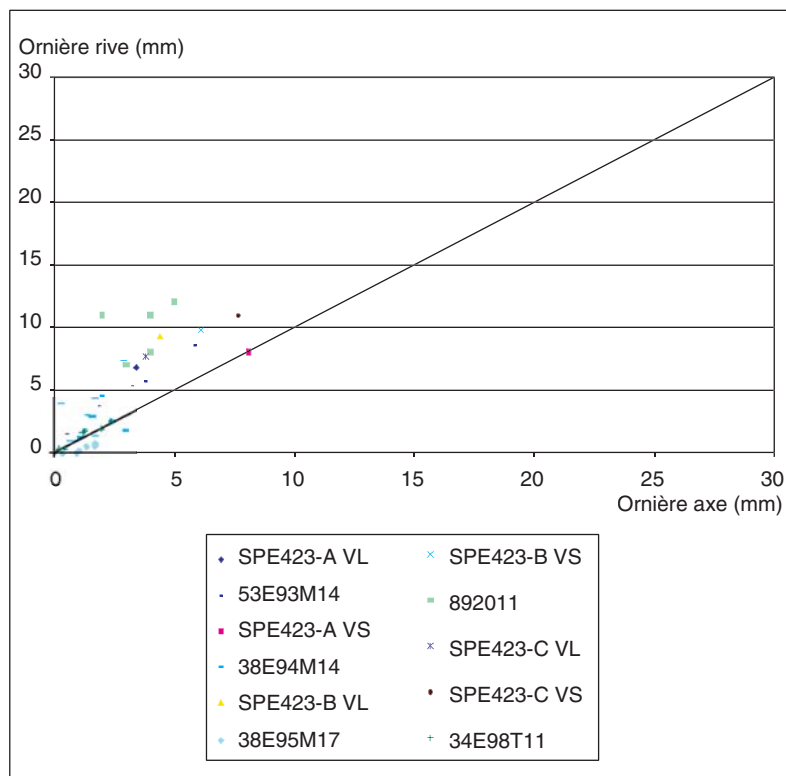
Ces premiers résultats montrent que la base de données du ministère des Transports du Québec contient potentiellement des informations riches sur le comportement des chaussées. Son exploitation par des méthodes de traitement de données très sommaires permet déjà d'identifier un certain nombre de tendances encourageantes. On peut donc espérer que l'application d'outils statistiques plus sophistiqués, comme la théorie des lois de survie, permettra de déboucher sur des modèles exploitables à brève échéance.

La coopération entre le LC/MTQ et le LCPC est donc bien engagée, sous l'égide de la Commission permanente France-Québec. Les premiers résultats, rapidement exposés dans cette note, seront détaillés, en même temps que les conclusions de l'étude de modélisation par application de la méthode des lois de survie, dans un article à paraître prochainement dans le Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées.

Fig. 2 - Relation entre ornières dans les bandes de roulement de rive et d'axe.



a. Sur les chaussées dont l'accotement est revêtu.



b. Sur les chaussées dont l'accotement est partiellement ou non revêtu.