

Chaussées et trottoirs



Techniques d'atténuation de l'orniérage aux intersections

Le présent document est le cinquième de la série des règles de l'art en matière de conception, d'entretien et de gestion des routes et trottoirs municipaux. Pour connaître les titres des autres règles de l'art de cette série ou d'autres séries, prière de visiter www.infraguide.ca.

Guide national pour
des infrastructures
municipales durables



Canada

Techniques d'atténuation de l'orniérage aux intersections

Version n° 1.0

Date de publication : Septembre 2003

© 2003 Fédération canadienne des municipalités et le Conseil national de recherches du Canada

Le contenu de la présente publication est diffusé de bonne foi et constitue une ligne directrice générale portant uniquement sur les sujets abordés ici. L'éditeur, les auteur(e)s et les organisations dont ceux-ci relèvent ne font aucune représentation et n'avancent aucune garantie, explicite ou implicite, quant à l'exhaustivité ou à l'exactitude du contenu de cet ouvrage. Cette information est fournie à la condition que les personnes qui la consultent tirent leurs propres conclusions sur la mesure dans laquelle elle convient à leurs fins; de plus, il est entendu que l'information ci-présentée ne peut aucunement remplacer les conseils ou services techniques ou professionnels d'un(e) spécialiste dans le domaine. En aucune circonstance l'éditeur et les auteur(e)s, ainsi que les organisations dont ils relèvent, ne sauraient être tenus responsables de dommages de quelque sorte résultant de l'utilisation ou de l'application du contenu de la présente publication.

INTRODUCTION

InfraGuide – Innovations et règles de l'art

Pourquoi le Canada a besoin d'InfraGuide

Les municipalités canadiennes dépensent de 12 à 15 milliards de dollars chaque année dans le domaine des infrastructures, mais cela semble ne jamais suffire. Les infrastructures actuelles sont vieillissantes et la demande pour un plus grand nombre de routes de meilleure qualité, et pour de meilleurs réseaux d'eau et d'égout continue d'augmenter, en réaction à la fois aux normes plus rigoureuses en matière de sécurité, de santé et de protection de

l'environnement, et à la croissance de la population.

La solution consiste à modifier la façon dont nous planifions, concevons et gérons les infrastructures. Ce n'est qu'en agissant ainsi que les municipalités pourront satisfaire les nouvelles demandes dans un cadre responsable sur le plan fiscal et durable sur le plan de l'environnement, tout en préservant la qualité de vie.

C'est ce que le Guide national pour des infrastructures municipales durables : Innovations et règles de l'art (InfraGuide) cherche à accomplir.

En 2001, par l'entremise du programme Infrastructures Canada (IC) et du Conseil national de recherches Canada (CNRC), le gouvernement fédéral a uni ses efforts à ceux de la Fédération canadienne des municipalités (FCM) pour créer le Guide national pour des infrastructures municipales durables (InfraGuide). InfraGuide est à la fois un nouveau réseau national de personnes et une collection de plus en plus importante de règles de l'art publiées à l'intention des décideurs et du personnel technique œuvrant dans les secteurs public et privé. En s'appuyant sur l'expérience et la recherche canadiennes, les rapports font état des règles de l'art qui contribuent à la prise de décisions et de mesures assurant la durabilité des infrastructures municipales dans six domaines clés : la voirie municipale, l'eau potable, les eaux pluviales et les eaux usées, la prise de décisions et la

planification des investissements, les protocoles environnementaux et le transport en commun.

On peut se procurer une version électronique en ligne ou un exemplaire sur papier des règles de l'art.

Un réseau d'excellence de connaissances

La création d'InfraGuide est rendue possible grâce à une somme de 12, 5 millions de dollars

d'Infrastructures Canada, des contributions de produits et de services de diverses parties prenantes de l'industrie, de ressources techniques, de l'effort

commun des praticiens municipaux, de chercheurs et d'autres experts, et d'une foule de bénévoles du pays tout entier. En regroupant et en combinant les meilleures expériences et les meilleures connaissances des Canadiens, InfraGuide aide les municipalités à obtenir le rendement maximal de chaque dollar investi dans les infrastructures – tout en étant attentives aux répercussions sociales et environnementales de leurs décisions.

Des comités techniques et des groupes de travail formés de bénévoles – avec l'aide de sociétés d'experts-conseils et d'autres parties prenantes – sont chargés des travaux de recherche et de la publication des règles de l'art. Il s'agit d'un système de partage des connaissances, de la responsabilité et des avantages. Nous vous incitons à faire partie du réseau d'excellence d'InfraGuide. Que vous soyez un exploitant de station municipale, un planificateur ou un conseiller municipal, votre contribution est essentielle à la qualité de nos travaux.

Joignez-vous à nous

Communiquez avec InfraGuide sans frais, au numéro **1 866 330-3350**, ou visitez notre site Web, à l'adresse **www.infraguide.ca**, pour trouver de plus amples renseignements. Nous attendons avec impatience le plaisir de travailler avec vous.

Introduction

InfraGuide – Innovations
et règles de l'art



Les grands thèmes des règles de l'art d'InfraGuide



Chaussées et trottoirs

La gestion rentable des chaussées municipales passe par une judicieuse prise de décision et un entretien préventif. Un seul dollar engagé pour une réfection, en temps opportun, permettra d'économiser 5 \$ en coûts de reconstruction, et un dollar consacré à une judicieuse prévention permettra d'épargner 5 \$ en frais de réfection. La règle de l'art en matière de routes et trottoirs municipaux porte sur deux volets prioritaires : la planification préliminaire et la prise de décision visant à recenser et gérer les chaussées en tant que composantes du système d'infrastructures, et une approche de prévention pour retarder la détérioration des chaussées existantes. Les pratiques exemplaires qui y sont exposées assureront par exemple que le traitement choisi, au bon moment, convient à telle ou telle chaussée, et favoriseront l'application efficace des traitements tels que l'atténuation des frayées et le calfeutrage des fissures. Au nombre des sujets traités, mentionnons l'entretien préventif, en temps opportun, des voies municipales; la construction et la remise en état des boîtiers des installations, et l'amélioration progressive des techniques de réparation des chaussées en asphalte et en béton.



La prise de décisions et la planification des investissements

Les représentants élus et les échelons supérieurs de l'administration municipale ont besoin d'un cadre qui leur permet de faire connaître la valeur de la planification et de l'entretien des infrastructures tout en trouvant un équilibre entre les facteurs sociaux, environnementaux et économiques. La règle de l'art en matière de prise de décision et de planification des investissements convertit des notions complexes et techniques en principes non techniques et recommandations pour la prise de décision, et facilite l'obtention d'un financement soutenu adéquat pendant le cycle de vie de l'infrastructure. Elle aborde, entre autres, les protocoles servant à cerner les coûts-avantages associés aux niveaux de service désirés, les analyses comparatives stratégiques et les indicateurs ou points de référence dans le domaine de la politique d'investissement et des décisions stratégiques.



Les protocoles environnementaux

Les protocoles environnementaux se concentrent sur le rapport qu'exercent entre eux les systèmes naturels et leurs effets sur la qualité de vie humaine, en ce qui a trait à la livraison des infrastructures municipales. Les systèmes et éléments environnementaux comprennent la terre (y compris la flore), l'eau, l'air (dont le bruit et la lumière) et les sols. Parmi la gamme de questions abordées, mentionnons : la façon d'intégrer les considérations environnementales dans l'établissement des niveaux de service désirés pour les infrastructures municipales et la définition des conditions environnementales locales, des défis qui se posent et des perspectives offertes au niveau des infrastructures municipales.



L'eau potable

La règle de l'art en matière d'eau potable propose divers moyens d'améliorer les capacités des municipalités ou des services publics de gérer la distribution d'eau potable de façon à assurer la santé et la sécurité publique de manière durable tout en offrant le meilleur rapport qualité-prix. Des questions telles que la reddition de compte dans le domaine de l'eau, la réduction des pertes en eau et la consommation d'eau, la détérioration et l'inspection des réseaux de distribution, la planification du renouvellement, les technologies de remise en état des réseaux d'eau potable et la qualité de l'eau dans les réseaux de distribution y sont abordées.



Le transport en commun

L'urbanisation impose des contraintes sur des infrastructures vieillissantes en voie de dégradation et suscite des préoccupations face à la détérioration de la qualité de l'air et de l'eau. Les réseaux de transport en commun contribuent à réduire les embouteillages et à améliorer la sécurité routière. La règle de l'art en matière de transport en commun fait ressortir la nécessité d'améliorer l'offre, d'influencer la demande et de procéder à des améliorations opérationnelles ayant des incidences minimales sur l'environnement, tout en répondant aux besoins sociaux et commerciaux.



Eaux pluviales et eaux usées

Le vieillissement des infrastructures souterraines, l'appauvrissement des ressources financières, les lois plus rigoureuses visant les effluents, la sensibilisation accrue de la population aux incidences environnementales associées aux eaux usées et aux eaux pluviales contaminées sont tous des défis auxquels les municipalités sont confrontées. La règle de l'art en matière des eaux pluviales et des eaux usées traite des infrastructures linéaires enfouies, du traitement en aval et des questions liées à la gestion. Elle aborde, entre autres, les moyens de : contrôler et réduire l'écoulement et l'infiltration; obtenir des ensembles de données pertinentes et uniformes; inspecter les systèmes de collecte et en évaluer l'état et la performance, en plus de traiter de l'optimisation de l'usine de traitement et de la gestion des biosolides.

Remerciements	7	4. Utilisation des techniques d'atténuation de l'orniérage	27
Résumé	9	4.1 Chaussées nouvelles ou existantes	27
1. Généralités	11	4.2 Chaussée nouvelle ou reconstruite	27
1.1 Introduction	11	4.2.1 Conception d'une chaussée souple ou rigide	27
1.2 Objet et portée	11	4.2.2 Atténuation de l'orniérage dû à l'instabilité	27
1.3 Glossaire	12	4.2.3 Chaussées perpétuelles	29
1.4 Sigles et acronymes	13	4.3. Préservation des chaussées, tapis d'enrobés et réhabilitation	33
1.4.1 Organismes et associations	13	4.3.1 Choix d'une méthode de réhabilitation	33
1.4.2 Termes techniques	15	4.3.2 Fraisage et pose d'un tapis d'enrobés	33
1.5 Mode d'utilisation du document	16	4.3.3 Remplissage des ornières à l'aide d'un rapiécage par pulvérisation, d'un tapis d'enrobés ou d'un microrevêtement	34
2. Justification	17	4.3.4 Meulage ou fraisage de précision	34
2.1 Renseignements généraux	17	4.3.5 Revêtement superficiel de béton de fibres (classique ou à incrustation de béton de ciment)	35
2.1.1 Inquiétudes au sujet de l'orniérage des revêtements de chaussée en béton bitumineux	17	4.3.6 Revêtement superficiel de béton de fibres ultramince	36
2.1.2 Types d'orniérage de revêtements de chaussée en béton bitumineux	18	4.3.7 Revêtement superficiel de béton de fibres mince composite	36
2.2 Orniérage dû à l'instabilité des enrobés	19	4.3.8 Béton compacté au rouleau	37
2.2.1 Causes aux intersections	19	4.3.9 Revêtements en pavés de béton autobloquants	38
2.2.2 Types d'orniérage	21	5. Évaluation	39
2.3 Avantages	22	5.1 Contrôle et évaluation des techniques d'atténuation de l'orniérage	39
2.4 Limitations	22	5.2 Efficacité du plan d'action d'atténuation de l'orniérage	40
3. Description du plan d'action	23	Annexe A : Questionnaire et analyse de la documentation technique	41
3.1 Plan d'action à plusieurs étapes de l'atténuation de l'orniérage	23	Annexe B : Bibliographie commentée	43
3.2 Problèmes de tenue et causes connexes	23	Bibliographie	47
3.2.1 Repérage des problèmes d'orniérage	23		
3.2.2 Programme d'évaluation	24		
3.3 Caractère adéquat de la structure de la chaussée	25		
3.4 Techniques de construction de chaussée	26		

TABLEAUX

Tableau 4-1: Listes de contrôle pour enrobés préparés à chaud à haute densité 31

Tableau 4-2: Exigences du système Superpave relatives à la densité des EPC obtenue par compactage giratoire et aux propriétés des granulats obtenues par voie de consensus en rapport avec les ECAS de référence et la profondeur depuis la surface de la chaussée (tirées du C-SHRP, 1999). 32

Tableau 4-3: Ajustement ("poussée vers le haut") Superpave à apporter au choix d'un liant (BCSP) selon les ECAS de référence ainsi que la profondeur et le taux de chargement (tirés du C-SHRP, 1999). 33

FIGURES

Figure 1-1: Types de chaussée 16

Figure 2-1: Types d'orniérage 18

Figure 2-2: Organigramme de la durée de vie d'une chaussée souple 20

Figure 4-1: Types de revêtement superficiel de béton de fibres 35

PHOTOGRAPHIES

Photo 2-1: Orniérage du béton bitumineux d'une chaussée souple classique de route de liaison municipale 21

Photo 2-2: Orniérage du béton bitumineux de la chaussée composite d'une importante route municipale 21

Photo 2-3: Ressuage et orniérage de faible importance du béton bitumineux d'une chaussée composite 22

Photo 2-4: Évaluation de l'orniérage du béton bitumineux d'une chaussée souple à forte résistance 22

Photo 4-1: Fraisage de précision destiné à éliminer l'orniérage dû à l'instabilité des enrobés 29

Photo 4-2: Chaussée composite de route municipale, avec refroidissement à l'eau avant l'ouverture à la circulation 29

Photo 4-3: Revêtement souple et résistant en profondeur d'une intersection de route municipale, reconstruit 30

Photo 4-4: Revêtement composite de route municipale, avec couche de roulement en enrobé mince (SMA), après reconstruction ... 30

Photo 4-5: Pose d'un revêtement superficiel de béton de fibres sur une route de liaison municipale 30

Photo 4-6: Pavés de béton autobloquants utilisés pour reconstruire une rue municipale 30

REMERCIEMENTS

Nous reconnaissons le dévouement des personnes qui ont donné de leur temps et partagé leur expertise dans l'intérêt du *Guide national pour des infrastructures municipales durables (InfraGuide)*, et nous leur en sommes très reconnaissants.

La présente règle de l'art a été créée par des intervenants de municipalités canadiennes et des spécialistes du Canada tout entier. Elle est fondée sur des renseignements tirés de l'étude des pratiques municipales et d'une analyse documentaire approfondie. Les membres du comité technique des chaussées et trottoirs d'InfraGuide, dont on trouvera les noms ci-après, ont fourni des conseils et une certaine orientation. Ils ont été aidés par les employés de la Direction du guide et par ceux de John Emery, Geotechnical Engineering Limited (JEGEL) ainsi que ceux du Groupe Qualitas.

Mike Shefflin, ing.
Ancien APA de la municipalité régionale
d'Ottawa-Carleton (Ontario)

Brian Anderson
Ontario Good Roads Association,
Chatham (Ontario)

Vince Aurilio, ing.
Ontario Hot Mix Producers Association,
Mississauga (Ontario)

Don Brynildsen, ing.
Ville de Vancouver (Colombie-Britannique)

Al Cepas, ing.
Ville d'Edmonton (Alberta)

Brian E. Crist, ing.
Ville de Whitehorse (Yukon)

Michel Dion, ing., M.Sc.
Axor Experts-Conseils, Montréal (Québec)

Bill Larkin, ing.
Ville de Winnipeg (Manitoba)

Cluny Matchim, T.A.I.
Ville de Gander (Terre-Neuve)

Tim J. Smith, ing., M.Eng.
Association canadienne du ciment,
Ottawa (Ontario)

Sylvain Boudreau, ing., M.Eng.
Conseiller technique, CNRC

Remerciements

De plus, le Comité aimerait remercier les personnes qui suivent pour leur participation aux groupes de travail et aux révisions par les pairs.

Vince Aurilio, ing.
Ontario Hot Mix Producers Association,
Mississauga (Ontario)

Don Brynildsen, ing.
Ville de Vancouver (Colombie-Britannique)

Nabil Kamel, ing.
Péto-Canada, ville d'Oakville (Ontario)

Bill Larkin, ing.
Ville de Winnipeg (Manitoba)

Michael Maher, ing.
Golder Associates, ville de Whitby (Ontario)

Gord Malinowski, ing.
Ville de Saskatoon (Saskatchewan)

Tim J. Smith, ing., M.Eng.
Association canadienne du ciment,
Ottawa (Ontario)

Remerciements

Cette règle de l'art n'aurait pu voir le jour sans le leadership et les conseils du comité directeur du projet et du comité directeur technique du *Guide national pour des infrastructures municipales durables* dont les membres sont comme suit :

Comité directeur du projet :

Mike Badham, président
Conseiller, Régina (Saskatchewan)

Stuart Briese
Portage la Prairie (Manitoba)

Bill Crowther
Ville de Toronto (Ontario)

Jim D'Orazio
Greater Toronto Sewer and Watermain
Contractors Association (Ontario)

Derm Flynn
Maire, Appleton (Terre-Neuve)

David General
Cambridge Bay (Nunavut)

Ralph Haas
Université de Waterloo (Ontario)

Barb Harris
Whitehorse (Yukon)

Robert Hilton
Bureau de l'infrastructure, Ottawa (Ontario)

Joan Loughheed
Conseillère, Burlington (Ontario)
Liaison avec les intervenants

René Morency
Régie des installations olympiques,
Montréal (Québec)

Saeed Mirza
Université McGill, Montréal (Québec)

Lee Nauss
Conseiller, Lunenburg (Nouvelle-Écosse)

Ric Robertshaw
Région d'Halton (Ontario)

Dave Rudberg
Ville de Vancouver (Colombie-Britannique)

Van Simonson
Ville de Saskatoon (Saskatchewan)

Basile Stewart
Maire, Summerside (Île-du-Prince-Édouard)

Serge Thériault
Environnement et Gouvernements locaux
(Nouveau-Brunswick)

Alec Waters
Alberta Transportation, Edmonton (Alberta)

Wally Wells
Dillon Consulting Ltd., Toronto (Ontario)

Comité technique directeur :

Don Brynildsen
Ville de Vancouver (Colombie-Britannique)

Al Cepas
Ville d'Edmonton (Alberta)

Andrew Cowan
Ville de Winnipeg (Manitoba)

Tim Dennis
Ville de Toronto (Ontario)

Kulvinder Dhillon
Municipalité d'Halifax (Nouvelle-Écosse)

Wayne Green
Ville de Toronto (Ontario)

John Hodgson
Ville d'Edmonton (Alberta)

Bob Lorimer
Lorimer & Associates, Whitehorse (Yukon)

Betty Matthews-Malone
Haldimand County (Ontario)

Umendra Mital
Ville de Surrey (Colombie-Britannique)

Anne-Marie Parent
Conseillère, Ville de Montréal (Québec)

Piero Salvo
WSA Trenchless Consultants Inc., Ottawa (Ontario)

Mike Sheflin
Ancien APA de la municipalité régionale
d'Ottawa-Carleton (Ontario)

Konrad Siu
Ville d'Edmonton (Alberta)

Carl Yates
Halifax Regional Water Commission
(Nouvelle-Écosse)

Membre fondateur :

Association canadienne des travaux publics
(ACTP)

Le présent document donne un aperçu des meilleures pratiques à utiliser pour atténuer de façon rentable et techniquement fiable l'orniérage du revêtement en béton bitumineux des intersections de chaussées; il propose également un plan d'action relatif à l'atténuation de cette forme de détérioration du revêtement des intersections en milieu urbain; le plan permettra d'obtenir une bonne tenue structurale et fonctionnelle des chaussées en béton bitumineux, existantes ou nouvelles. Le contenu du document repose sur l'expérience pratique des Canadiens, suppléée par un questionnaire et le dépouillement de la documentation technique.

Il y a trois types d'orniérage de revêtement de chaussée en asphalte : l'orniérage dû à l'usure et à la densification (consolidation) de l'enrobé dans les traces de roues, l'orniérage structural du revêtement et l'orniérage (la déformation permanente) dû à l'instabilité des enrobés. L'orniérage dû à l'usure n'est pas un problème important depuis que l'utilisation des pneus à crampons est réglementé ou interdit. On peut généralement éviter l'orniérage dû à la densification en s'assurant de bien compacter les enrobés au moment de la pose du revêtement. On règle le problème de l'orniérage structural des revêtements de chaussée en s'assurant que la conception structurale est adéquate, que les matériaux sont bien choisis et que la qualité des travaux est contrôlée. L'atténuation de l'orniérage dû à l'instabilité des enrobés est le point central de la présente règle de l'art.

L'orniérage qui préoccupe le plus les municipalités, c'est celui dû à l'instabilité des enrobés aux intersections, dans les travées d'autobus et sur les routes sur lesquelles circule un nombre considérable de camions et d'autobus, en particulier lorsque les véhicules de ce type avancent lentement ou sont stationnaires, et par temps chaud. Les chargements liés aux camions et aux autobus produisent des contraintes dont il faut absolument tenir compte en utilisant la technologie appropriée des enrobés préparés à chaud et les bonnes techniques de construction de chaussées. Lorsque l'orniérage du béton bitumineux est une source d'inquiétude en ce qui a trait à la sécurité des usagers (p. ex. la réduction des caractéristiques de frottement due au ressuage), on doit corriger la situation dès qu'il est possible de le faire.

Le plan d'action d'atténuation de l'orniérage dans les revêtements de chaussées aux intersections municipales comporte quatre étapes clés :

- L'évaluation des problèmes de tenue des revêtements de chaussée et détermination de la cause de tout orniérage.
- La vérification du caractère adéquat de la structure de la chaussée.
- Le choix et la mise en œuvre d'une approche rentable et techniquement fiable de l'atténuation de l'orniérage dans les revêtements de chaussée, avec formulations et choix de matériaux appropriés.
- Le recours aux techniques de construction appropriées, avec assurance de la qualité.

La présente règle de l'art traite des types de revêtement de chaussée et de la technologie connexe, des types d'orniérage de revêtement et de leurs conséquences, et des méthodes d'atténuation de cette forme de détérioration. On y décrit la terminologie de l'orniérage et des revêtements de chaussée, et une bibliographie commentée des principales références techniques permet à toute personne qui n'est pas un spécialiste du domaine de bien comprendre la nature du problème d'orniérage des revêtements de chaussée en béton bitumineux. On y présente la stratégie d'atténuation de l'orniérage dans le revêtement des intersections municipales en examinant les trois types fondamentaux d'orniérage et les techniques d'atténuation connexes, avec accent sur l'orniérage (la déformation plastique) due à l'instabilité des enrobés. On y présente aussi la description

détaillée des travaux à exécuter dans le cadre du plan d'action à plusieurs étapes relatif à l'atténuation de l'orniérage du béton bitumineux aux endroits où les contraintes sont élevées, tels que les intersections. On y traite ensuite des cas d'utilisation et des limitations d'un grand nombre de techniques d'atténuation de l'orniérage, notamment les revêtements superficiels de béton de fibres (*Whitetopping*) et les autres types de revêtement de chaussée, tels que le béton de ciment Portland et les pavés de béton. Enfin, on recommande d'évaluer l'efficacité du plan d'action relatif à l'atténuation de l'orniérage en procédant au contrôle de la tenue des chaussées.

1. Généralités

1.1 Introduction

L'orniérage du béton bitumineux aux intersections (dépressions longitudinales et bourrelets dans les traces de roues) est souvent un important problème de tenue de la chaussée, qui requiert le recours à des techniques d'atténuation rentables et techniquement fiables. L'orniérage (la déformation permanente) est un mode fondamental de défaillance possible des enrobés préparés à chaud. Les lourdes charges par roue associées aux camions et aux autobus, en particulier lorsque les véhicules de ce type circulent lentement ou sont stationnaires, de même que par temps chaud, soumettent le revêtement en béton bitumineux à des contraintes susceptibles de produire des ornières. La présence de ces conditions de contraintes élevées aux intersections, dans les travées d'autobus et sur les tronçons de route sur lesquels les camions et les autobus circulent à basse vitesse (lorsqu'ils montent une côte, par exemple), exige que le revêtement de chaussée à ces endroits soit dimensionné, construit et entretenu de manière à résister à des conditions d'exploitation beaucoup plus difficiles que dans le cas d'un revêtement ordinaire.

1.2 Objet et portée

La présente règle de l'art propose un plan d'action destiné à atténuer l'orniérage dans le revêtement de la chaussée des intersections municipales; le plan permettra d'obtenir une bonne tenue structurale et fonctionnelle des chaussées en béton bitumineux, existantes ou nouvelles. On y examine également les autres types de revêtement, tels que le béton de ciment Portland, le béton compacté au rouleau et les pavés de béton autobloquants. Comme les budgets d'immobilisations ou d'entretien des infrastructures de transport municipales sont serrés, il faut absolument optimiser la tenue à long terme des revêtements de

manière à pouvoir offrir des routes sécuritaires à chaussée unie. La présente règle de l'art traite surtout de l'orniérage (la déformation plastique) dû à l'instabilité des enrobés.

L'orniérage des revêtements de chaussée en béton bitumineux est un problème de réhabilitation coûteux qu'il vaut mieux éviter dès le stade de la conception, de la rédaction du devis et de la construction d'une nouvelle chaussée. Quand il y a effectivement orniérage aux intersections, il faut absolument que le choix de la technique d'atténuation de cette forme de dégradation repose sur un choix de matériaux, une formulation, une méthode de construction et une assurance de la qualité appropriés, qui permettront d'obtenir les coûts les plus favorables durant le cycle de vie utile de la chaussée. La municipalité qui utilise un système de gestion des chaussées dispose alors d'un outil puissant qui l'aidera à prendre les décisions appropriées et à contrôler l'efficacité de la technique d'atténuation de l'orniérage qu'elle mettra en pratique.

À l'aide des lignes directrices présentées dans le document, il est possible de concevoir, de prescrire, de construire et d'entretenir des revêtements de chaussée faits d'enrobés préparés à chaud qui permettront d'obtenir des revêtements économiques et de longue durée capables de résister aux conditions de chargement à contraintes élevées, comme celles qui prévalent aux intersections en milieu urbain et dans les travées d'autobus. Malgré que la présente règle de l'art contienne effectivement de l'information de base sur la technologie de conception des structures de chaussée, les renseignements détaillés qui servent au dimensionnement des revêtements dépassent les limites du document. La mise en œuvre d'une stratégie d'atténuation de l'orniérage dans le revêtement de la chaussée aux intersections exige habituellement la contribution technique

1. Généralités

1.1 Introduction

1.2 Objet et portée

Comme les budgets d'immobilisations ou d'entretien des infrastructures de transport municipales sont serrés, il faut absolument optimiser la tenue à long terme des revêtements de manière à pouvoir offrir des routes sécuritaires à chaussée unie.

1. Généralités

1.2 Objet et portée

1.3 Glossaire

de professionnels, en particulier dans le cas des intersections importantes ou lorsque l'orniérage est prononcé. En outre, l'efficacité de toute méthode d'atténuation de l'orniérage et la durée de vie utile que celle-ci permet d'obtenir dépendent fortement des conditions propres à l'endroit, des matériaux, des travaux et de la qualité.

1.3 Glossaire

Béton compacté au rouleau (BCR) —

Mélange de béton de ciment Portland, ferme et à affaissement nul, qu'on mélange, qu'on met en place et qu'on compacte au rouleau, avec le matériel couramment utilisé pour la pose de revêtements de chaussée en enrobés préparés à chaud.

Bitume (liant bitumineux) classé selon les performances — Bitume dont on peut lier les propriétés physiques directement au comportement sur le terrain par des principes techniques. Les liants classés selon les performances sont définis par un terme tel que CP xx yy. Le premier nombre, xx, est la classe de température élevée et il indique que le bitume possède des propriétés physiques adéquates jusqu'à au moins xx °C. Le second nombre, yy, c'est la classe de basse température et il indique que le bitume possède des propriétés physiques adéquates dans les revêtements de chaussée au moins jusqu'à une température de -yy °C.

Bitume modifié par des polymères (BMP) — Bitume dont les propriétés physiques et chimiques ont été modifiées ou améliorées par l'ajout de polymères. Le BMP offre une meilleure durabilité, une résistance à l'orniérage améliorée à haute température et une résistance accrue à la fissuration à basse température.

Chaussée perpétuelle — Chaussée en enrobés, conçue et construite pour durer plus de 50 ans sans qu'il soit nécessaire de la réhabiliter et ne nécessitant qu'un renouvellement de surface périodique (le nom a été inventé par l'APA).

Dégradation de la chaussée — Indicateurs externes de la détérioration de la chaussée causée par le chargement, les facteurs environnementaux, les travaux de construction non conformes ou une combinaison de ce qui précède. Les dégradations types sont la fissuration, l'orniérage et le vieillissement du revêtement de la chaussée.

Équivalent de charge axiale simple (ECAS) — Somme de charges par essieu simple de 80 kN utilisée pour combiner la circulation de véhicules (camions) et celle d'autobus dans le but de déterminer le débit de base durant la période d'analyse de la conception d'une chaussée.

Fraisage (planage à froid) — Enlèvement de la surface d'un revêtement de chaussée en béton bitumineux à l'aide d'une machine roulante équipée d'un tambour de coupe rotatif transversal (tête de fraisage munie de pointes au carbure), ordinairement sur une épaisseur de 25 à 75 mm. Le béton bitumineux ainsi enlevé est habituellement recyclé.

Fraisage de précision — Enlèvement de la surface d'un revêtement en béton bitumineux à l'aide d'une machine roulante, ordinairement sur une épaisseur de texture inférieure à 5 mm et produisant des rainures espacées d'environ 10 à 15 mm. La machine peut également servir à faire disparaître des défauts peu profonds et à rétablir la texture, dans le cas des revêtements en béton de ciment Portland.

Indice de l'état de la chaussée — Notation numérique de l'état de la chaussée, qui va de 0 à 100, 0 étant le pire état possible (chaussée défoncée) et 100, le meilleur état possible (excellent). On la détermine en effectuant un relevé systématique de l'état de la chaussée (p. ex. en conformité avec les exigences de la norme ASTM D6433) en ce qui a trait au type, à l'importance et à l'étendue de la dégradation du revêtement.

Microfraisage — Enlèvement de la surface d'un revêtement en béton bitumineux à l'aide d'une machine roulante équipée d'une tête de coupe hélicoïdale, ordinairement sur une épaisseur de texture approximative de 1 mm, et qui produit des rainures espacées de 5 mm.

Microrevêtement — Revêtement superficiel mince fait d'une émulsion modifiée par polymères et de granulats à friction de grande qualité, qu'on pose sous forme de coulis par-dessus un revêtement bitumineux existant à l'aide d'un matériel spécialisé. On utilise le procédé pour combler les ornières de faible profondeur et les fissures dans les revêtements en béton bitumineux, et rétablir les propriétés de frottement de la surface du revêtement de la chaussée.

Ornière (orniérage) — Dépression de la surface de la chaussée dans les traces de roues (généralement dans les chaussées souples en béton bitumineux ou la surface en béton bitumineux des chaussées rigides). Il peut y avoir soulèvement du revêtement de chaque côté de l'ornière, mais, dans bon nombre de cas, les ornières ne se remarquent qu'après une chute de pluie, lorsque les traces de roues sont pleines d'eau. L'orniérage provient de la déformation permanente d'une des couches du revêtement, ou de l'infrastructure, habituellement causée par la densification ou le déplacement latéral des matériaux causé par les contraintes liées aux charges dues à la circulation.

Pavés de béton (pavés, pavés de béton autobloquants) — Pavés de béton de ciment Portland dense et de qualité, fabriqués avec précision. Ils sont utilisés comme surface d'un grand nombre de revêtements (surtout souples), des voies d'accès privées aux chaussées industrielles sur lesquelles circulent de très lourds véhicules.

Revêtement superficiel de béton de fibres (Whitetopping) — Tapis de béton de ciment Portland placé sur un revêtement existant fait d'enrobés préparés à chaud. Il existe trois types de revêtement superficiel de béton de fibres.

Revêtement superficiel de béton de fibres classique — Mise en place d'un tapis de béton de ciment Portland de 175 à 300 mm d'épais sur un revêtement existant fait d'enrobés préparés à chaud.

Revêtement superficiel de béton de fibres mince — Mise en place d'un tapis de béton de ciment Portland modérément mince (de 100 à 175 mm d'épais) sur un revêtement fait d'enrobés préparés à chaud qu'on a fraisé.

Revêtement superficiel de béton de fibres ultramine — Mise en place d'un tapis de béton de ciment Portland mince (de 50 à 100 mm d'épais) sur un revêtement existant fait d'enrobés préparés à chaud.

Sable de broyage ou de concassage — Granulat fin produit par le concassage ou la transformation du roc extrait d'une carrière, ou de blocs de pierre (n'inclut pas la criblure), de galets ou de gros gravier dont on a retiré le sable.

Structure de la chaussée — Toutes les couches (composants) entre l'infrastructure et la surface de roulement, telles que la fondation inférieure granulaire, la fondation supérieure granulaire, la fondation traitée (asphalte ou ciment), les enrobés ou le béton.

1.4 Sigles et acronymes

1.4.1 Organismes et Associations

AASHTO — American Association of State Highway and Transportation Officials
<www.transportation.org>.

ACC — Association Canadienne du Ciment
<www.cement.ca>.

ACI — American Concrete Institute
<www.concrete.org>.

ACPA — American Concrete Pavement Association
<www.pavement.com>.

AI — Asphalt Institute
<www.asphaltinstitute.org>.

AI (OHMPA) — Ontario Hot Mix Producers' Association (Association des producteurs d'enrobés préparés à chaud de l'Ontario) <www.ohmpa.org>.

1. Généralités

1.3 Glossaire

1.4 Sigles et acronymes

1. Généralités

1.4 Sigles et acronymes

AIPCR — Association internationale permanente des congrès de la route (AIPCR) <www.piarc.org>.

APA — Asphalt Pavement Alliance <www.asphaltalliance.com>.

ASTM — American Society for Testing and Materials <www.astm.org>.

ATC — Association des transports du Canada <www.tac-atc.ca>.

ATCB — Association technique canadienne du bitume <www.ctaa.ca>.

CNRC — Conseil national de recherches Canada <www.nrc-cnrc.ca> <www.infraguide.ca>.

CSA — Association canadienne de normalisation <www.csa.ca>.

C-SHRP — Programme stratégique de recherche routière du Canada <www.tac-atc.ca/programs/cshrp.htm>.

FHWA — Federal Highway Administration <www.fhwa.dot.gov>.

FPP — Foundation for Pavement Preservation <www.fp2.org>.

ICPI — Interlocking Concrete Pavement Institute <www.icpi.org> [ICPI Canada].

MTO — Ministère des Transports de l'Ontario <www.mto.gov.on.ca>.

MTQ — Ministère des Transports du Québec <www.mtq.gouv.gc.ca>.

NAPA — National Asphalt Pavement Association <www.hotmix.org>.

ONGC — Office des normes générales du Canada <www.pwgsc.gc.ca/cgsb>.

SHRP — Programme stratégique de recherche routière <www.infoguide.ca>.

1.4.2 Termes techniques

ACCV	Analyse des coûts durant le cycle de vie
BCP	Béton de ciment Portland
BCR	Béton compacté au rouleau
BCSP	Bitume (liant) classé selon les performances
BMP	Bitume modifié par des polymères
CBAC	Chaussée en béton armé continu
CBCP	Chaussée en béton de ciment Portland
CBR	Indice portant californien
CDTO	Couche de drainage à texture ouverte
CFTO	Couche de frottement à texture ouverte
CJBA	Chaussée jointée en béton armé
CJBO	Chaussée jointée en béton ordinaire
CLHR	Couche de liant à haute résistance
CLGG	Couche de liant à gros granulat
CP	Classé selon les performances
DJMA	Débit journalier moyen d'une année
DMT	Défectomètre à masse tombante
ECAS	Équivalent de charge axiale simple
EFSG	Équivalence de fondation supérieure granulaire
EPC	Enrobé préparé à chaud
FBM	Fondation en béton maigre
FIG	Fondation inférieure granulaire
FIGT	Fondation inférieure granulaire traitée (avec du ciment, par exemple)
FSG	Fondation supérieure granulaire
IEC	Indice de l'état de la chaussée
PBA	Pavé de béton autobloquant
RSBFC	Revêtement superficiel de béton de fibres classique (<i>Whitetopping</i>)
RSBFM	Revêtement superficiel de béton de fibres mince
RSBFU	Revêtement superficiel de béton de fibres ultramince
SHRP	Programme stratégique de recherche routière
SMA	Enrobé mince (<i>Stone Matrix Asphalt</i>)

1. Généralités

1.4 Sigles et acronymes

1. Généralités

1.5 Mode d'utilisation du document

Figure 1-1

Types de chaussée

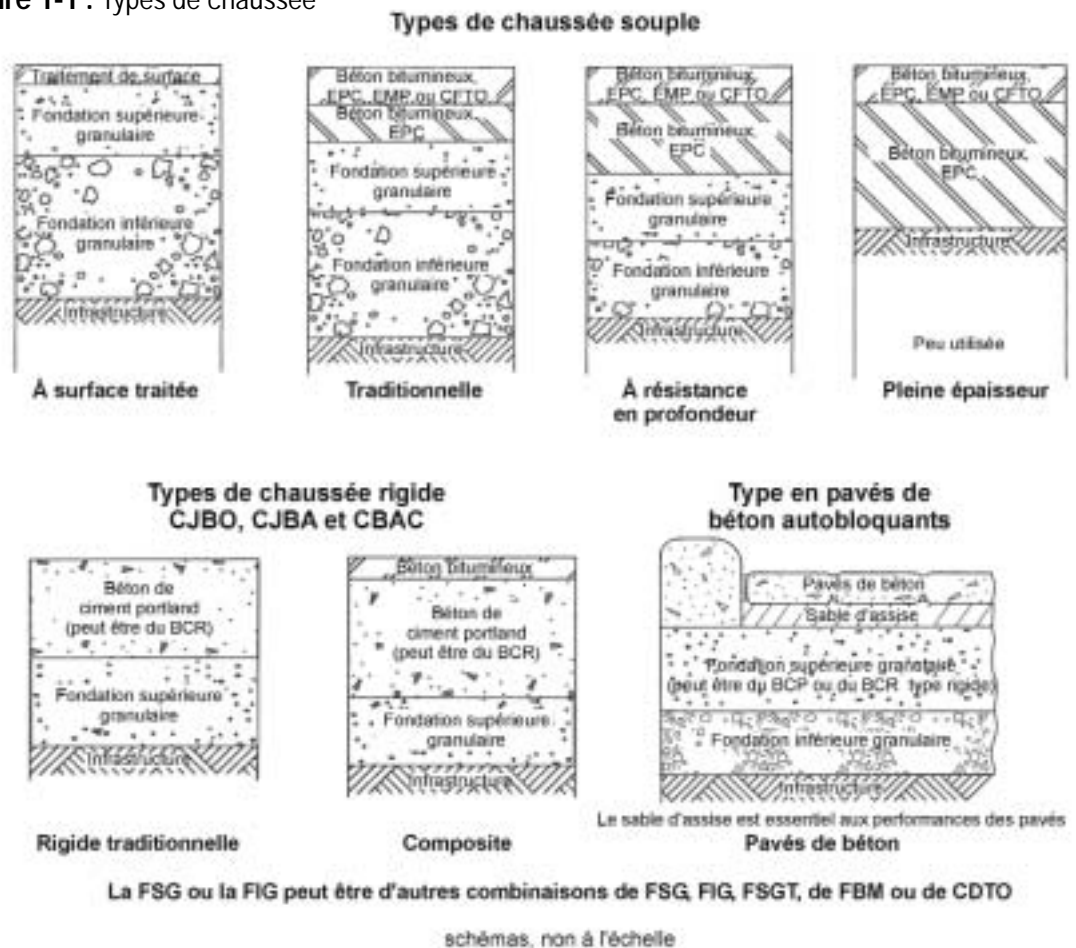
1.5 Mode d'utilisation du document

La présente règle de l'art commence par un glossaire des types de chaussée et de la technologie connexe (voir la figure 1-1), de l'orniérage et de l'atténuation du problème. Il est recommandé que, après avoir pris connaissance du contenu du glossaire, la personne qui n'est pas un spécialiste du domaine consulte la bibliographie commentée des principales références techniques qui se trouve à l'annexe B, de même que les photographies 2-1 à 2-4 inclusivement; elle pourra ainsi avoir une bonne idée de la nature du problème de l'orniérage des revêtements de chaussée en béton bitumineux et de ses conséquences. Aux renseignements techniques qu'on trouve à ces endroits s'ajoutent, tout au long du document, des tableaux, des figures et des photographies.

On présente ensuite une stratégie d'atténuation de l'orniérage, en examinant les trois types fondamentaux d'orniérage et la

technologie d'atténuation du phénomène. Ici, l'accent est mis sur l'orniérage dû à l'instabilité des enrobés. Ce sont le questionnaire d'examen et l'analyse de la documentation technique, dont on trouvera les détails à l'annexe A, qui ont servi à élaborer les techniques de pointe. On présente ensuite la description détaillée des travaux à exécuter dans le cadre du plan d'action à plusieurs étapes relatif à l'atténuation de l'orniérage du béton bitumineux aux endroits soumis à des contraintes élevées, tels que les intersections. Le document traite aussi des cas d'utilisation et des limitations d'un grand nombre de techniques d'atténuation de l'orniérage, notamment les revêtements superficiels de béton de fibres (Whitotopping) et les autres types de revêtement de chaussée. Enfin, on recommande d'évaluer l'efficacité du plan d'action à plusieurs étapes d'atténuation de l'orniérage en procédant au contrôle de la tenue des chaussées.

Figure 1-1 : Types de chaussée



2. Justification

2.1 Renseignements généraux

Au cours des 10 dernières années, il y a eu au Canada beaucoup d'activité dans le domaine de la technologie du béton bitumineux et des chaussées relativement à l'orniérage (Aurilio, 2002; Burlie et Emery, 1997; ACT, 1991; Woodman et coll., 1996). Selon le dépouillement effectué dans le cadre de la préparation de la présente règle de l'art (annexes A et B), il semble que cette expérience canadienne soit équivalente à, fasse appel à et même contribue aux avancées réalisées aux États-Unis (APA, 2002; Buncher, 2002; Corun, 2001; Kandhal et coll., 1993, 1998; NAPA, 1995; Walker et Buncher, 1999) et dans le monde entier (Cebon, 1999; Nicholls, 1998; AIPCR, 1995, 2000) dans le domaine de l'atténuation de la formation d'ornières dans les enrobés. Il y a unanimité générale au sujet des notions élémentaires de l'orniérage des chaussées en béton bitumineux, et du besoin d'adopter un plan d'action visant à atténuer cette forme de détérioration aux endroits soumis à des contraintes élevées.

2.1.1 Inquiétudes au sujet de l'orniérage des revêtements de chaussée en béton bitumineux

L'orniérage des chaussées municipales en béton bitumineux, en particulier aux intersections, cause plusieurs soucis aux organismes municipaux.

- La **sécurité** est la préoccupation la plus importante. Dans le cas des véhicules, il y a diminution des caractéristiques de frottement (ressuage dans les traces de roues, par exemple) et les changements de voie deviennent dangereux, sans compter les risques de perte de contrôle, les nappes d'eau dans les traces de roues et la formation possible de glace; en outre, l'enlèvement de la neige et de la glace devient alors plus difficile. Dans le cas des piétons, la distance d'arrêt des véhicules aux passages protégés augmente par mauvais temps et les gens risquent de trébucher sur les ornières. (Il est recommandé d'atténuer tout problème de sécurité potentiel dans les plus brefs délais possibles).
- Les ornières deviennent une **nuisance** pour les piétons, surtout par mauvais temps, parce que ceux-ci se font éclabousser par les véhicules qui passent.
- L'**aspect** de la chaussée fait que le public a de celle-ci une mauvaise perception, ce qui entraîne des réactions de la part des politiques.
- L'atténuation de l'orniérage entraîne des **coûts**, notamment pour les usagers en raison des interruptions du débit de circulation et de l'augmentation des coûts d'entretien et de réparation des véhicules.

2. Justification

2.1 Renseignements généraux

Dans le cas des piétons, la distance d'arrêt des véhicules aux passages protégés augmente par mauvais temps et les gens risquent de trébucher sur les ornières.

2. Justification

2.1 Renseignements généraux

Figure 2-1
Types d'orniérage

2.1.2 Types d'orniérage des revêtements de chaussée en béton bitumineux

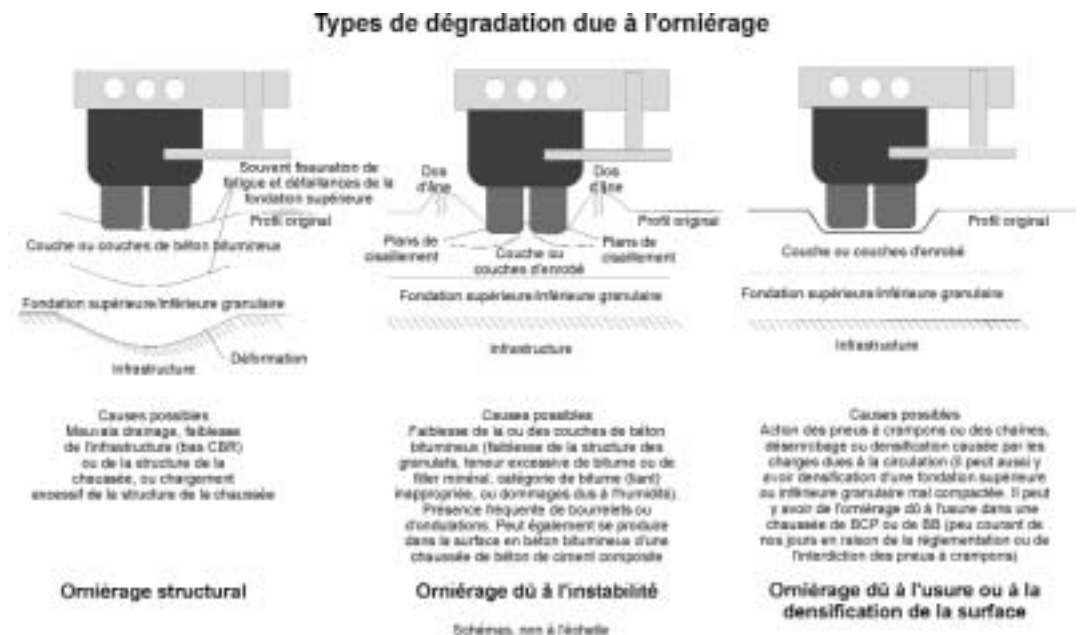
Les trois types fondamentaux d'orniérage des chaussées en béton bitumineux à considérer sont illustrés dans la figure 2-1. Il s'agit de l'orniérage dû à l'usure et à la densification de la surface, de l'orniérage structural et de l'orniérage dû à l'instabilité (déformation permanente du béton bitumineux). Il peut y avoir combinaison des trois types à l'occasion.

Bien qu'on puisse voir un certain orniérage dans les traces de roues qui se forment dans les chaussées en béton de ciment Portland, cette forme d'orniérage n'est plus répandue depuis l'interdiction ou la réglementation stricte de l'utilisation de pneus à crampons. Il n'y a aucun orniérage structural dans les chaussées en béton. Quand la structure d'une chaussée en béton de ciment Portland n'est pas adéquate, la défaillance se manifeste par l'apparition de fissures. Il convient de noter que le revêtement en béton bitumineux d'une chaussée rigide composite (enrobé posé sur une fondation en béton de ciment Portland) peut montrer de l'orniérage dû à l'instabilité (ordinairement plus important que celui qui se produit dans le béton bitumineux d'une chaussée souple) aux endroits soumis à des contraintes élevées (ATC, 1991; Burlie et Emery, 1997).

Orniérage dû à l'usure et à la densification de la surface

L'orniérage dû à l'usure et à la densification de la surface ne semble pas être une préoccupation à l'heure actuelle. L'orniérage des revêtements en béton bitumineux dû à l'usure de la surface des traces de roues n'est plus un problème important, puisque l'utilisation des pneus à crampons est réglementée ou interdite dans la plupart des provinces canadiennes. Pour minimiser le désenrobage du béton bitumineux dans les traces de roues, on pose une couche de roulement durable faite d'un enrobé préparé à chaud dont la teneur en bitume est adéquate. Les fondations inférieure et supérieure granulaires, et l'enrobé préparé à chaud dont la densité (compaction) est insuffisante risquent d'être densifiés (consolidés) encore plus quand la circulation est intense. La densification de l'enrobé peut alors faire diminuer les vides interstitiels et rendre la chaussée sensible à l'orniérage dû à l'instabilité. On évite généralement l'orniérage dû à la densification en compactant les matériaux de façon adéquate durant la construction de la chaussée.

Figure 2-1 : Types d'orniérage



Orniérage structural

Bien que l'orniérage structural des chaussées en béton bitumineux (chaussées souples) soit une source d'inquiétude, il s'agit de concevoir la chaussée de façon appropriée, de prescrire les bons matériaux et de contrôler la qualité des travaux. Les considérations détaillées relatives à la conception des chaussées n'entrent pas dans les limites de la présente règle de l'art. Ce qui importe, c'est de déterminer si l'orniérage d'une chaussée en béton bitumineux est de type structural. On doit dans ce cas procéder à l'évaluation détaillée de la conception de la chaussée, puisqu'on élimine les causes (charges de roulage, faiblesses de l'infrastructure, mauvais drainage, action du gel, etc.) de la dégradation en dimensionnant la structure de façon adéquate au moment de reconstruire la chaussée (AASHTO, 1993; MTO, 1990; ATC, 1997). La figure 2-2, qui donne un aperçu de la durée de vie utile d'une chaussée souple et contient des remarques détaillées sur l'atténuation de l'orniérage dû à l'instabilité des enrobés, ce dont il est question dans la présente règle de l'art, indique les grandes lignes de la conception fondamentale de la structure d'une chaussée souple.

2.2 Orniérage dû à l'instabilité des enrobés

Le centre d'intérêt de la présente règle de l'art passe maintenant à l'orniérage (la déformation plastique) dû à l'instabilité des enrobés (figure 2-1) aux endroits soumis à des contraintes élevées, tels que les intersections. Comme on l'a dit plus haut, l'orniérage dû à l'usure n'est plus un problème important et on prévient l'orniérage structural essentiellement en concevant la chaussée de façon appropriée (figure 2-2). Malheureusement, l'orniérage dû à l'instabilité des enrobés, en particulier aux intersections, continue d'être un important problème de tenue de la chaussée pour les municipalités du Canada tout entier, comme l'ont indiqué clairement les réponses au questionnaire d'examen des pratiques en

usage (annexe A). Les photographies 2-1 à 2-4 illustrent l'importance et les répercussions de ce type d'orniérage qui se produit dans le revêtement de la chaussée aux intersections.

2.2.1 Causes aux intersections

Certains endroits des réseaux de voirie municipaux, tels que les intersections, les travées d'autobus et les routes de camions, sont soumis à une circulation dirigée de véhicules lourds et lents. Ces endroits peuvent également comporter certaines zones, telles que celles des bandes (barres) d'arrêt d'une intersection, où les véhicules freinent fortement, sont stationnaires, accélèrent ou tournent, et où des contraintes latérales s'exercent. Dans le cas des intersections, il y a d'autres conditions plus dures, telles que les liquides qui dégouttent des véhicules, la chaleur des systèmes d'échappement et les répétitions de charges de circulation transversale. Dans le cas des chaussées en béton bitumineux, la surface plus foncée et plus riche associée à tout ressuage de la surface du béton bitumineux (et d'un nouvel enrobé préparé à chaud) peut faire augmenter la température du revêtement.

Aux intersections, là où les charges de roues sont importantes, il y a alors orniérage dû à l'instabilité, parce que le béton bitumineux est moins rigide (c.-à-d. que le bitume est un matériau viscoélastique) lorsque les contraintes sont plus élevées sous les charges de roues qui se déplacent lentement ou sont stationnaires. Le problème est aggravé lorsque la température du revêtement augmente, puisque la rigidité du béton bitumineux diminue encore plus dans ce cas. Souvent, même si l'orniérage dû à l'instabilité des enrobés est important à une intersection donnée, on ne voit aucun orniérage important dans le même revêtement dès qu'on s'éloigne de l'intersection.

2. Justification

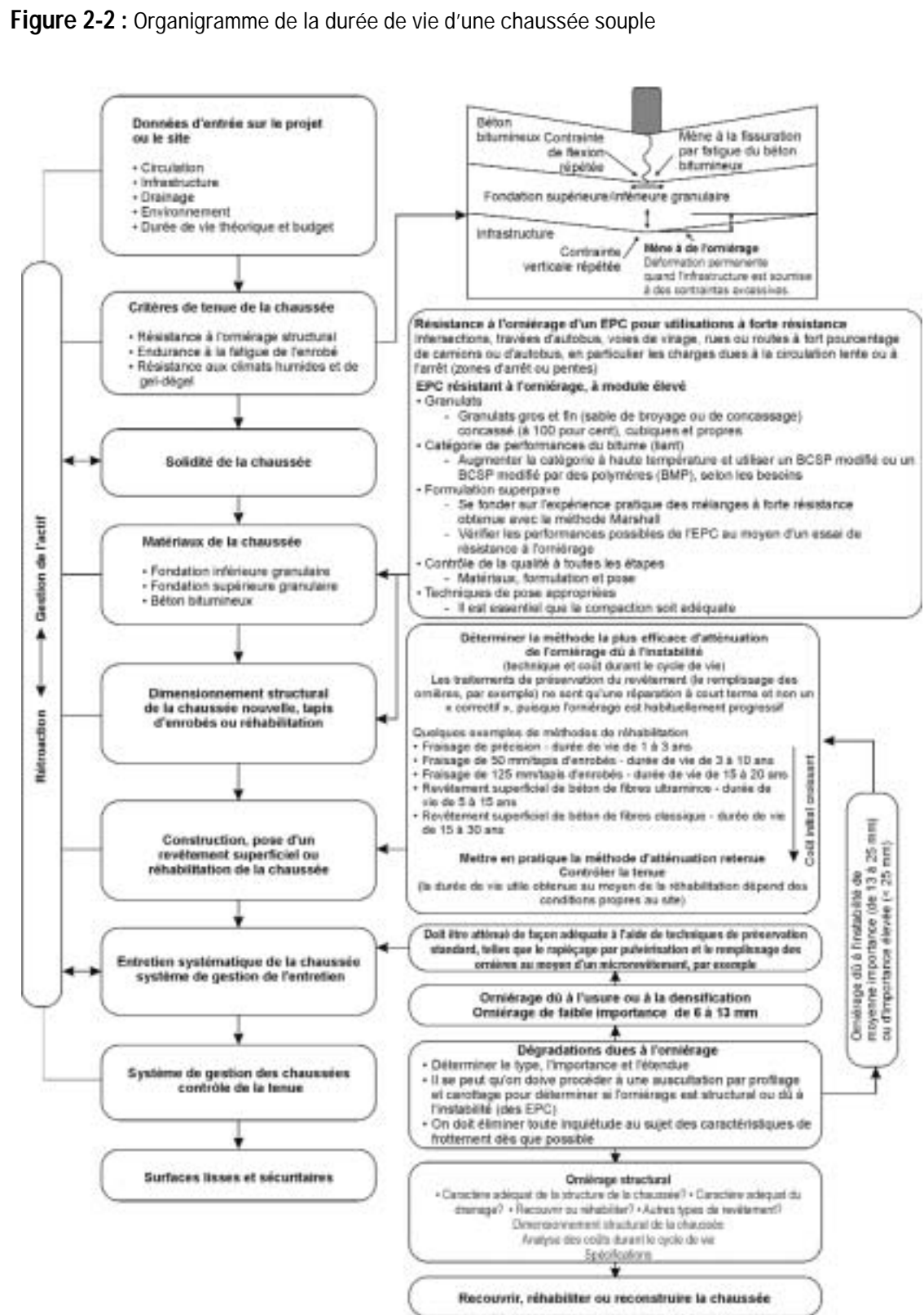
- 2.1 Renseignements généraux
- 2.2 Orniérage dû à l'instabilité des enrobés

Souvent, même si l'orniérage dû à l'instabilité des enrobés est important à une intersection donnée, on ne voit aucun orniérage important dans le même revêtement dès qu'on s'éloigne de l'intersection.

2. Justification

2.2 Orniéage dû à l'instabilité des enrobés

Figure 2-2
Organigramme de la durée de vie d'une chaussée souple



Manifestement, pour obtenir la tenue souhaitée de la chaussée en béton bitumineux aux intersections, là où les conditions de chargement sont difficiles, il faut à tout prix reconnaître la possibilité que les spécifications, la conception et la construction des intersections de chaussées en béton bitumineux doivent être différentes de celles propres aux chaussées en béton bitumineux ordinaires. Il est tout à fait logique qu'on doive souvent utiliser des enrobés préparés à chaud à tenue améliorée aux intersections.

2.2.2 Types d'orniérage

L'orniérage dû à l'instabilité des enrobés est parfois déclenché par la densification (souvent accompagnée de ressuage) du revêtement dans les traces de roues créées par la circulation de véhicules lourds, qui entraîne la diminution des vides interstitiels, l'augmentation soutenue de la température de surface et la diminution de la résistance au

cisaillement. Cela cause de l'orniérage produit par le cisaillement (photographie 2-4, par exemple). Il semble y avoir trois cas d'orniérage dû à l'instabilité des enrobés. Le phénomène peut être :

- Immédiat (problèmes mettant en cause les matériaux utilisés dans les enrobés préparés à chaud, la formulation, ou la qualité des travaux);
- Lent (résistance marginale à l'orniérage des enrobés préparés à chaud, avec déformation permanente progressive qui risque de mener à l'instabilité); et
- Déclenché (un changement quelconque qui fait augmenter les contraintes liées aux charges de roues, tel que la circulation de camions ou d'autobus sur une route de déviation, ou une diminution de la résistance à l'orniérage des enrobés préparés à chaud, telle que le désenrobage).

2. Justification

2.2 Orniérage dû à l'instabilité des enrobés



Photo 2-1 : Orniérage du béton bitumineux d'une chaussée souple classique de route de liaison municipale

La route, sur laquelle la circulation de camions lourds est importante, présente un orniérage dû à l'instabilité de moyenne à grande importance à l'approche de l'intersection ainsi que du ressuage et de l'orniérage dû à l'instabilité très important à la hauteur des bandes d'arrêt des intersections. Ce genre de ressuage (densification de la circulation) est souvent lié à l'orniérage dû à l'instabilité du revêtement. Celui-ci est si important à certains endroits que le béton bitumineux s'est déplacé latéralement pour former des bourrelets et s'est déformé (en médaillon).



Photo 2-2 : Orniérage du béton bitumineux de la chaussée composite d'une importante route municipale

Ce parcours d'autobus, sur lequel la circulation de camions lourds est importante, présente un orniérage dû à l'instabilité (de l'enrobé bitumineux de la chaussée rigide composite) de moyenne à grande importance à l'approche de l'intersection ainsi qu'à la hauteur de celle-ci et dans la travée des autobus. Remarquer la déformation connexe des lignes (bande d'arrêt/passage pour piétons) (en médaillon). C'est dans les voies en bordure (autobus/camions), près des bandes d'arrêt, et dans les travées d'autobus que l'orniérage est le plus important.

2. Justification

2.2 Orniérage dû à l'instabilité des enrobés

2.3 Avantages

2.4 Limitations



Photo 2-3 : Ressuage et orniérage de faible importance du béton bitumineux d'une chaussée composite

Ce parcours de camions qui emprunte une importante route municipale et sur lequel la circulation de porte-conteneurs est considérable présente du ressuage localisé et de l'orniérage dû à l'instabilité peu important à l'approche de l'intersection et dans celle-ci. Le ressuage et l'orniérage des traces de roues est probablement dû à la densification causée par la circulation par temps chaud. L'orniérage semble s'être stabilisé sur une période de cinq ans (inspection et carottage, en médaillon).



Photo 2-4 : Évaluation de l'orniérage du béton bitumineux d'une chaussée souple à forte résistance

Cette zone de travée d'autobus, le long d'un parcours d'autobus qui emprunte une importante route municipale et sur lequel la circulation de camions lourds est considérable, présente un orniérage dû à l'instabilité très prononcé à l'endroit où les autobus ralentissent et s'immobilisent (en médaillon). Les travaux sur le terrain relatifs à l'évaluation du type, de l'étendue et de l'importance de l'orniérage nécessitent l'établissement de profils transversaux et un carottage qui permettront de vérifier si la structure de la chaussée s'est déformée.

2.3 Avantages

Les réponses au questionnaire de l'enquête justifient manifestement le besoin de la présente règle de l'art. Toutes les municipalités ont mentionné qu'elles avaient connu des problèmes d'orniérage aux intersections, surtout sur les routes principales (artères et collectrices, sur lesquelles circulent généralement des camions et des autobus). Bien que quelques répondants aient fait part de certains problèmes d'orniérage dû à l'usure ou d'orniérage structural, il est tout à fait évident que les municipalités ont besoin d'une approche standard qui leur permettra de déterminer, d'évaluer et de réhabiliter les zones des revêtements d'intersection qui sont soumises à des contraintes élevées et qui se dégradent. L'application de la présente règle de l'art leur permettra d'obtenir des chaussées

en béton bitumineux de plus longue durée et de réaliser d'importantes économies en matière de coûts globaux de construction et d'entretien.

2.4 Limitations

Il est important d'insister sur le fait que la présente règle de l'art ne donne qu'un aperçu des techniques le plus souvent utilisées à l'heure actuelle pour atténuer l'orniérage des revêtements de chaussée en béton bitumineux des intersections municipales. On doit toujours vérifier si les renseignements techniques d'usage général sont valables pour les conditions propres à un endroit donné. Cela nécessite généralement l'aide d'ingénieurs chevronnés qui sont des spécialistes des chaussées et qui connaissent bien les conditions qui prévalent sur les lieux, de même que les techniques de construction et les matériaux locaux.

3. Description du plan d'action

3.1 Plan d'action à plusieurs étapes de l'atténuation de l'orniérage

Le plan d'action à plusieurs étapes recommandé pour l'atténuation de l'orniérage dans les revêtements de chaussée des intersections de routes municipales, dont le point de mire est l'orniérage dû à l'instabilité des enrobés, comporte quatre étapes clés (Aurilio, 2002; Buncher, 2002; Burlie et Emery, 1997; Kandhal et coll., 1998; Walker et Buncher, 1999). Ce sont :

1. L'évaluation des problèmes de tenue de la chaussée et la détermination de la cause de tout orniérage.
2. La vérification du caractère adéquat de la structure de la chaussée.
3. Le choix et la mise en pratique d'une approche rentable et techniquement fiable de l'atténuation de l'orniérage de la chaussée, prévoyant le choix des formulations et des matériaux appropriés.
4. Le recours aux techniques de construction appropriées prévoyant l'assurance de la qualité.

On trouvera ci-après la description des étapes 1, 2 et 4, avec insistance sur l'évaluation du problème d'orniérage, la vérification du caractère adéquat de la structure de la chaussée et les travaux nécessaires. Le document traite ensuite de l'étape 3, soit le choix et la mise en pratique d'une méthode appropriée d'atténuation de l'orniérage.

3.2 Problèmes de tenue et causes connexes

3.2.1 Repérage des problèmes d'orniérage

Le repérage initial des problèmes d'orniérage aux intersections peut être lié aux plaintes des usagers, à une inspection effectuée par des employés des travaux publics ou des superviseurs de patrouille, ou à la surveillance de l'état des surfaces effectuée dans le cadre d'un système de gestion des chaussées (visuelle ou mesurée, ou les deux à la fois). Peu importe le mode de repérage, il faut déterminer le type d'orniérage (figure 2-1) ainsi que l'étendue et l'importance du problème.

La norme ASTM D6433, (*Standard Practice for Roads and Parking Lot Pavement Condition Index Surveys*) (ASTM, 2002; Shahin, 1994), définit l'importance de l'orniérage comme suit:

Importance faible	Profondeur de 6 à 13 mm
Importance moyenne	Profondeur de 13 à 25 mm
Importance élevée	Profondeur de 25 mm

D'après les résultats de l'étude, les niveaux d'importance mentionnés ci-dessus semblent concorder avec la pratique générale en vigueur au Canada (annexe A). Certains organismes ajoutent le niveau « importance très élevée », qui correspond à des ornières de plus de 50 mm de profond (MTO, 1990). Il est important d'établir l'emplacement (la voie), l'étendue (distance sur laquelle l'orniérage se retrouve de part et d'autre de l'intersection) et l'importance de l'orniérage (ASTM, 2002). On peut mesurer la profondeur des ornières (profondeur d'aplanissement) sous une règle de vérification de 1,2 m posée en travers de la surface du revêtement (la règle doit

3. Description du plan d'action

- 3.1 Plan d'action à plusieurs étapes de l'atténuation de l'orniérage
- 3.2 Problèmes de tenue et causes connexes

Il est important d'établir l'emplacement (la voie), l'étendue (distance sur laquelle l'orniérage se retrouve de part et d'autre de l'intersection) et l'importance de l'orniérage (ASTM, 2002).

3. Description du plan d'action

3.2 Problèmes de tenue et causes connexes

Comme ce type d'orniérage est souvent progressif, il est important de surveiller l'état de la surface du revêtement de façon à pouvoir déterminer la vitesse à laquelle celle-ci se détériore.

absolument couvrir toute la largeur de l'ornière – il y a souvent des ornières de traces de roues doubles) ou en procédant à des mesures de profil transversal de toute la largeur de la voie (à l'aide d'un profilographe numérique à mesures incrémentales, d'un appareil Dipstick ou d'un profilographe au laser, par exemple).

Le niveau d'importance de l'orniérage auquel une certaine atténuation est requise (niveau d'intervention) est fonction de l'expérience de l'organisme, de la classe de la route et des conditions de circulation (p. ex. la limite de vitesse). Aucune mesure correctrice au-delà peut-être des techniques standard de préservation des chaussées servant à combler les ornières dans les traces de roues (p. ex. un rapiéçage par pulvérisation ou un microrevêtement superficiel) n'est généralement nécessaire dans le cas d'un orniérage (ou d'une densification dans les traces de roue) de faible importance dû à l'instabilité des enrobés. Cependant, comme ce type d'orniérage est souvent progressif (c.-à-d. que le béton bitumineux ne possède pas la résistance au cisaillement qui lui permettrait de résister aux contraintes élevées aux intersections), il est important de surveiller l'état de la surface du revêtement de façon à pouvoir déterminer la vitesse à laquelle celle-ci se détériore.

3.2.2 Programme d'évaluation

Aux endroits où on détermine que l'importance de l'orniérage est moyenne ou élevée, on doit effectuer une évaluation qui permettra de déterminer la ou les causes de la détérioration. Cela requiert un programme détaillé qui prévoit l'examen des conditions propres aux lieux (infrastructure, environnement et drainage), du caractère adéquat de la structure de la chaussée par rapport aux conditions de circulation à l'intersection (en particulier les camions et les autobus) et des propriétés de chaque composant de la structure de la chaussée (p. ex. les couches de béton bitumineux).

L'évaluation de toute chaussée susceptible de devoir être réhabilitée (qui présente un orniérage d'importance moyenne à élevée) doit inclure (photographie 2-4) :

- L'inspection visuelle de l'état de la surface (p. ex. arrachement ou ressuage dans les traces de roues) et des mesures de profil transversal ;
- Des essais de déflexion servant à vérifier le caractère adéquat de la structure (FWD, Dinaflex ou à la poutre Benkelman) ;
- Un carottage et des trous de sondage qui permettront d'obtenir des échantillons des matériaux de la chaussée et de l'infrastructure pour examen en laboratoire ;
- Des mesures de l'épaisseur de toutes les couches de la structure de la chaussée, aussi bien dans les zones avec ornières que dans les zones sans ornière (p. ex. entre les traces de roues) ;
- La détermination des propriétés des matériaux de l'infrastructure (type, condition d'humidité, indice de plasticité et résistance), des matériaux des fondations supérieure et inférieure granulaires (type, épaisseur, condition d'humidité, granulométrie, teneur en matériaux concassés, etc.), des enrobés (pour chaque couche ou type de mélange, dans l'ornière et à l'extérieur de celle-ci — il n'y a aucune densification due à la circulation entre les traces de roues), de l'épaisseur, des vides interstitiels, de la granulométrie et de la teneur en bitume, de la teneur en matériaux concassés et de la teneur en particules plates ou allongées ; et
- L'examen de l'information relative à la construction et à l'entretien de la chaussée, avec accent sur la qualité générale de la construction, en particulier des enrobés préparés à chaud incorporés dans la chaussée.

Il est relativement facile, à partir des profils transversaux et des carottes (photographie 2-4), de déterminer si on est en présence d'orniérage lié à la structure de la chaussée. Quand il n'y a aucune ornière dans la couche de béton bitumineux la plus basse (c.-à-d. que le dessus de la fondation supérieure granulaire est plat), l'orniérage se situe manifestement dans la ou les couches de béton bitumineux, sous forme d'orniérage dû à la densification ou à l'instabilité des enrobés, ou aux deux à la fois.

On doit également examiner la teneur en vides interstitiels du béton bitumineux en place, en particulier dans les premiers 25 mm à partir de la surface, lorsqu'on évalue le type d'orniérage en cause. L'expérience pratique a très souvent montré que le béton bitumineux était particulièrement sensible à l'orniérage dû à l'instabilité lorsque la teneur des vides interstitiels en place était inférieure à un ou à deux pour cent (ATC, 1991; Burlie et Emery, 1997).

On analyse ensuite les résultats pour déterminer le type (ou les types) d'orniérage qui a eu lieu et les causes connexes, de manière à pouvoir déterminer la stratégie d'atténuation la plus appropriée (de la façon indiquée dans la figure 2-2) :

- Préservation de la chaussée (p. ex. dans le cas d'un orniérage dû à l'instabilité de faible importance) ;
- Tapis d'enrobés (p. ex. dans le cas d'un orniérage dû à l'instabilité de moyenne importance) ;
- Réhabilitation de la chaussée (p. ex. dans le cas d'un orniérage dû à l'instabilité d'importance élevée) ; ou
- Reconstruction de la chaussée (p. ex. dans le cas d'un orniérage lié à la structure de la chaussée).

On procède généralement à l'analyse des coûts durant le cycle de vie (Hicks et coll., 2000; CNRC, 2002) pour choisir la méthode d'atténuation la plus rentable parmi celles qui sont techniquement convenables. On trouvera une description plus détaillée du choix de la méthode appropriée (c.-à-d. l'étape 3) dans la section 4.

3.3 Caractère adéquat de la structure de la chaussée

Lorsqu'on évalue des problèmes de tenue de la chaussée aux intersections (en particulier l'orniérage structural), il faut absolument vérifier si la structure de la chaussée est adéquate (figure 2-2). Les nouvelles chaussées (souples ou rigides) et les chaussées resurfacées, réhabilitées ou reconstruites doivent avoir une capacité structurale qui leur permettra de résister aux charges de roulage (ECAS) actuelles ou prévues. Ici encore, on doit examiner les conditions de contraintes élevées aux intersections municipales, dans les travées d'autobus et sur les parcours d'autobus ou de camions lorsqu'on vérifie si la structure de la chaussée est adéquate.

Bien que la conception des chaussées n'entre pas dans les limites de la présente règle de l'art, la figure 2-2 en donne un aperçu, avec accent sur la résistance à l'orniérage. Il existe d'excellents guides de conception des chaussées (p. ex. AASHTO, 1993; AI, 2000; APA, 2002; Cebon, 1999; MTO, 1990; Smith et coll., 2002; et ATC, 1997). Dans le cas des chaussées existantes, on doit vérifier la capacité structurale des matériaux en place et enlever ou remplacer les zones défoncées ou faibles (Buncher, 2002; Walker et Buncher, 1999).

3. Description du plan d'action

- 3.2 Problèmes de tenue et causes connexes
- 3.3 Caractère adéquat de la structure de la chaussée

Quand il n'y a aucune ornière dans la couche de béton bitumineux la plus basse l'orniérage se situe manifestement dans la ou les couches de béton bitumineux, sous forme d'orniérage dû à la densification ou à l'instabilité des enrobés, ou aux deux à la fois.

3. Description du plan d'action

3.4 Techniques de construction de chaussées

La tenue de toute chaussée dépend fortement des techniques de construction utilisées et de la qualité de l'ouvrage fini.

3.4 Techniques de construction de chaussées

La tenue de toute chaussée dépend fortement des techniques de construction utilisées et de la qualité de l'ouvrage fini. Peu importe le soin mis à choisir et à prescrire le type de chaussée ainsi que les matériaux et les formulations connexes, la résistance à l'orniérage dépend toujours du recours à des techniques de construction adéquates et du contrôle de la qualité effectué par l'entrepreneur. Dans le cas de la résistance à l'orniérage dû à l'instabilité des enrobés, et de l'atténuation du problème, les techniques de construction adéquates incluent ce qui suit (AI, 2000; Buncher, 2002; NAPA, 1995, 2002; Walker et Buncher, 1999) :

- On doit bien préparer l'infrastructure. Il faut nettoyer à fond les vieilles surfaces ou les surfaces fraisées, enlever les vieilles pièces ou les zones de béton bitumineux mince qui risquent de décoller et appliquer un enduit de liaison uniformément sur les surfaces préparées, au taux d'application approprié.
- On doit mélanger, mettre en place et compacter les enrobés préparés à chaud, le tout à la température appropriée (c.-à-d. éviter de surchauffer).
- On doit éviter d'utiliser des solvants (diesel) dans les boîtes de camion. (On peut se procurer un grand nombre d'agents antiadhérents qui ne contiennent aucun solvant).

- On doit éviter la ségrégation en mettant les granulats en dépôt de façon adéquate et en utilisant les techniques appropriées de mélange, de transport et de mise en place des enrobés préparés et posés à chaud.
- On doit poser un tapis d'enrobés uniforme et lisse.
- On doit construire les joints transversaux et longitudinaux de façon adéquate pour obtenir un revêtement durable et empêcher l'eau de s'infiltrer dans la chaussée.
- On doit compacter les enrobés de manière à obtenir la densité requise.
- On doit suivre le programme approprié de contrôle de la qualité des travaux de l'entrepreneur qui garantira le recours aux techniques de pose appropriées et la qualité générale de la chaussée.

Il convient de noter en particulier l'importance du compactage d'un enrobé préparé et posé à chaud pour la stabilité du béton bitumineux et sa résistance à l'orniérage dû à l'instabilité.

4. Utilisation des techniques d'atténuation de l'orniérage

4.1 Chaussées nouvelles ou existantes

On peut examiner les diverses techniques d'atténuation de l'orniérage au stade de la conception, dans le cas d'une nouvelle chaussée ou d'une chaussée reconstruite, ou au stade de l'intervention, dans le cas d'une chaussée existante dans laquelle il y a des ornières et qui doit être préservée (travaux d'entretien), recouverte d'un tapis d'enrobés ou réhabilitée. Les photographies 4-1 à 4-6 illustrent un certain nombre de techniques d'atténuation de l'orniérage.

4.2 Chaussée nouvelle ou reconstruite

4.2.1 Conception d'une chaussée souple ou rigide

Dans le cas d'une nouvelle chaussée ou d'une chaussée reconstruite, l'atténuation de l'orniérage possible commence au bas de la chaussée, dans le cas des chaussées souples (en béton bitumineux). La clé consiste à suivre dans ce cas une procédure de conception qui a été « étalonnée » en fonction des conditions et de l'expérience locales. Il peut alors s'agir d'une méthode ou d'une matrice standard propre à l'organisme (remarquez que la structure de la chaussée est généralement plus épaisse aux intersections) ou d'une méthode de conception courante, telle que celle de la norme AASHTO 93 (AASHTO, 1993), de l'AI, de l'ACCP, de l'ACPA ou de l'ICPI. Les détails précis de la conception structurale d'une chaussée n'entrent pas dans les limites de la présente règle de l'art, mais on peut se les procurer en s'adressant aux diverses associations de béton bitumineux, de béton ou de pavés (voir les sigles et acronymes). Il est important d'examiner la gamme complète des types de chaussée souple ou rigide, (figure 1-1), de la façon appropriée aux exigences propres à l'intersection et en ce qui a trait à la

rentabilité au cours du cycle de vie utile de l'ouvrage. À titre d'exemple, la photographie 4-6 illustre la façon efficace d'utiliser les pavés de béton autobloquants.

4.2.2 Atténuation de l'orniérage dû à l'instabilité

Les méthodes à utiliser pour atténuer l'orniérage dû à l'instabilité des enrobés dans le cas des intersections soumises à des contraintes élevées (figure 2-1) sont relativement simples, aussi bien dans le cas d'une nouvelle chaussée que dans celui d'une chaussée existante. Elles sont applicables aux enrobés préparés à chaud qu'on utilise dans le cas d'une chaussée souple ou de la surface de roulement d'une chaussée composite (figure 1-1). Le tableau 4-1 résume les exigences générales relatives au comportement des enrobés préparés à chaud, de même que la qualité des granulats, le choix de la catégorie de bitume et les procédures de formulation recommandés expressément pour les revêtements à forte résistance, tels que ceux des intersections (Buncher, 2002; NAPA, 1995, 2002).

Enrobé préparé à chaud résistant à l'orniérage

Dans le cas de toute formulation adéquate d'enrobé préparé à chaud, quatre facteurs importants jouent un rôle particulièrement crucial dans la résistance à l'orniérage (Buncher, 2002; Kandhal et coll., 1998; NAPA, 1995, 2002; Nicholls, 1998; AIPCR, 1995; ATC, 1991).

- On doit doser le mélange de manière à ce que la charge soit supportée surtout par le gros granulat. C'est là la principale raison pour laquelle on utilise un granulat de grosseur maximale élevée et une granulométrie dense.

4. Utilisation des techniques d'atténuation de l'orniérage

4.1 Chaussées nouvelles ou existantes

4.2 Chaussée nouvelle ou reconstruite

Il est important d'examiner la gamme complète des types de chaussée souple ou rigide, de la façon appropriée aux exigences propres à l'intersection et en ce qui a trait à la rentabilité au cours du cycle de vie utile de l'ouvrage.

4. Utilisation des techniques d'atténuation de l'orniérage

4.2 Chaussée nouvelle ou reconstruite

L'utilisation d'un essai en laboratoire (usure de trace de roue sous charge, par exemple) pour vérifier les performances de l'enrobé préparé à chaud en matière de résistance à l'orniérage.

- On doit choisir un gros granulat et un granulat fin possédant des caractéristiques qui permettront d'obtenir un bon blocage interparticulaire et une bonne résistance au cisaillement. On utilise un gros granulat propre, cubique et concassé à 100 pour cent, et un granulat fin propre, cubique et concassé à 100 pour cent (c.-à-d. du sable de broyage ou de concassage). L'expérience pratique indique que, dans le cas de l'enrobé préparé à chaud qu'on utilise pour la couche de roulement, une teneur approximative de 10 pour cent en granulat fin naturel (sable à béton bitumineux) est avantageuse pour la compactibilité et la stabilité du mélange (Burlie et Emery, 1997).
- On doit incorporer dans le mélange la catégorie et la teneur optimale appropriées de liant bitumineux (bitume) qui permettront de garder les granulats ensemble et d'obtenir une certaine durabilité (pas trop faible), tout en permettant d'obtenir une teneur en vides interstitiels adéquate (pas trop élevée, c.-à-d. optimisée) Cela peut signifier qu'on doit choisir un bitume dont la sensibilité à la température est faible (qui résiste à la fissuration thermique lorsque la température du revêtement est basse et à l'orniérage lorsqu'elle est élevée), utiliser un bitume qui sera plus rigide lorsque la température du revêtement sera élevée ou envisager d'utiliser un liant bitumineux (bitume) modifié, tel que le BMP.
- On doit utiliser une procédure de formulation appropriée qui permettra d'incorporer la catégorie et la teneur de bitume optimales dans le mélange, et des granulométries qui donneront une matrice ferme. On doit adopter les exigences relatives aux matériaux et les procédures de formulation du système Superpave, et évaluer la sensibilité à l'humidité de l'enrobé préparé à chaud.

L'utilisation d'un essai en laboratoire (usure de trace de roue sous charge, par exemple) pour vérifier les performances de l'enrobé préparé à chaud en matière de résistance à

l'orniérage. Fait à remarquer, on obtient une meilleure résistance à l'orniérage si on utilise un gros granulat que si on utilise un liant (bitume) routier plus dur. On trouvera dans le tableau 4-1 le résumé des enrobés préparés à chaud à forte résistance.

Système de formulation Superpave

Combinée à l'expérience pratique, la méthode Marshall de formulation d'un enrobé préparé à chaud s'est avérée très efficace lorsqu'il s'agit de dimensionner un béton bitumineux préparé à chaud résistant à l'orniérage (à forte résistance). Cependant, la nouvelle méthode globale Superpave (choix de la classe de performances du bitume, choix des caractéristiques des granulats et conception volumétrique fondée sur le compactage giratoire) améliore certainement la technologie de béton bitumineux en cause et on est en train de l'adopter partout au Canada (AI, 1997, 2001; NAPA, 2002). Dans le même ordre d'idées, le passage au liant routier (bitume) classé selon les performances offre une base rationnelle à l'étude de la sensibilité à la température du bitume dans l'enrobé préparé à chaud en comparaison avec le classement selon la pénétration, par exemple (ONGC, 1990).

Le système de formulation Superpave permet de tenir compte des répercussions des reproductions des contraintes plus élevées (ECAS) et de la vitesse des véhicules lourds grâce à méthode de formulation utilisant la presse à cisaillement giratoire et aux exigences relatives à la qualité des granulats (tableau 4-2), et à la « poussée vers le haut » de la catégorie du bitume classé selon les performances (tableau 4-3) (AI, 1997, 2001; C-SHRP 1999; Walker et Buncher, 1999). Les photographies 4-2 à 4-4 illustrent certains projets types de reconstruction de chaussée dans le cadre desquels on a effectivement utilisé la technologie des enrobés préparés à chaud (CLGG, CLHR, SMA et BMP).

4.2.3 Chaussées perpétuelles

Les chaussées perpétuelles sont des chaussées en béton bitumineux longue durée (50 ans ou plus) qui ne requièrent que peu de réhabilitation, celle-ci consistant ordinairement à poser un revêtement superficiel environ à tous les 20 ans (APA, 2002). La chaussée perpétuelle se compose d'une couche de roulement en béton bitumineux résistant à l'usure et à l'orniérage [enrobé mince (SMA), par exemple], d'une couche de béton bitumineux intermédiaire résistant à l'orniérage et d'une couche inférieure de béton bitumineux d'épaisseur et de souplesse appropriées lui permettant de résister aux allongements en traction causés par la circulation et prévenant la fissuration



Photo 4-1 : Fraisage de précision destiné à éliminer l'orniérage dû à l'instabilité des enrobés

La surface fraisée avec précision, une fois les ornières éliminées, présente une texture très lisse dont la hauteur maximale des saillies est d'environ 5 mm (espacement serré des dents de fraisage, en médaillon). La durée de vie prévue du traitement est de 3 à 5 ans, selon la nature progressive de l'orniérage dû à l'instabilité et à la durabilité de la surface fraisée. On peut également utiliser le fraisage de précision ou le microfraisage pour améliorer les caractéristiques de frottement.

par fatigue en profondeur. Les dégradations sont alors confinées à la couche supérieure de la structure du revêtement en béton bitumineux.

Lorsqu'un rechargement est nécessaire, le fraisage et le remplacement de la couche de roulement peuvent s'effectuer rapidement, ce qui est important dans le cas des intersections achalandées en milieu urbain, là où on ne peut dévier la circulation que pendant de courtes périodes. Le concept de la chaussée perpétuelle n'est pas vraiment si nouveau que ça, puisque certaines municipalités canadiennes conçoivent régulièrement les chaussées de manière à leur assurer une longue vie utile.



Photo 4-2 : Chaussée composite de route municipale, avec refroidissement à l'eau avant l'ouverture à la circulation

La couche de roulement en enrobé préparé à chaud, résistante à l'orniérage et possédant des caractéristiques de frottements (en médaillon), a été dimensionnée en conformité avec les premières exigences relatives aux granulats du système Superpave et incorpore un bitume modifié par des polymères et classé selon les performances. On a constaté que l'action prématurée de la circulation lourde sur un nouvel enrobé encore chaud pouvait causer une certaine densification (faible teneur en vides) due à la circulation, qui pouvait alors déclencher un orniérage localisé dû à l'instabilité du mélange.

4. Utilisation des techniques d'atténuation de l'orniérage

4.2 Chaussée nouvelle ou reconstruite

4. Utilisation des techniques d'atténuation de l'orniérage

4.2 Chaussée nouvelle ou reconstruite



Photo 4-3 : Revêtement souple et résistant en profondeur d'une intersection de route municipale, reconstruit

La tenue de cet important parcours de camions et d'autobus (1994), qui incorpore des enrobés résistants à l'orniérage, a été jusqu'à maintenant excellente. L'enrobé de la couche de liant à gros granulat, celui de la couche de liant à forte résistance (en médaillon), et celui de la couche de roulement incorporent un gros granulat propre, cubique et concassé à 100 pour cent, et un granulat fin fait de sable de broyage ou de concassage (10 pour cent de sable pour béton bitumineux dans la couche de roulement), et ils ont été dimensionnés comme des mélanges à stabilité élevée dont la résistance à l'orniérage a été vérifiée.



Photo 4-5 : Pose d'un revêtement superficiel de béton de fibres sur une intersection de route de liaison municipale

Le projet de réhabilitation, qui prévoyait la pose d'un revêtement de béton de fibres (1999), a nécessité l'enlèvement par fraisage d'une épaisseur de 125 mm de béton bitumineux, dans lequel l'orniérage était important, et la mise en place de 125 mm de béton aéré de 35 MPa contenant 1,6 kg de fibres de 40 mm par mètre cube. L'exécution du projet a eu lieu au cours de deux fins de semaine. Il y a eu une certaine fissuration dans la voie en direction nord (la première à avoir été réhabilitée, nouvelle technique); les voies en direction sud sont toutefois en excellent état.



Photo 4-4 : Revêtement composite de route municipale reconstruit, avec couche de roulement en enrobé mince (SMA)

La tenue de cet important parcours de camions et d'autobus, un des premiers essais (1994) de l'utilisation d'un enrobé mince (SMA) dans le but d'obtenir une résistance à l'orniérage, des caractéristiques de frottement et une durabilité élevée, a été jusqu'à maintenant excellente. L'enrobé mince, qui est un mélange grossier à granulométrie discontinue, incorpore un gros granulat concassé à friction, un granulat fin fait de sable de broyage ou de concassage, un matériau de charge ainsi qu'un bitume fibreux et modifié par les polymères.



Photo 4-6 : Pavés de béton autobloquants utilisés pour reconstruire une rue municipale

On a construit un revêtement souple en pavés de béton autobloquants dans le cadre d'un projet de revitalisation du centre-ville (1983). Le revêtement, fait de pavés aux bords gondolés de 80 mm d'épais (posés suivant un motif à chevrons à 45°), d'une assise de 30 mm placée sur une fondation supérieure granulaire de 150 mm et une fondation inférieure granulaire de 200 mm, se comporte extrêmement bien (orniérage de seulement 6 à 8 mm, dont 3 mm sont probablement dus à l'usure causée par un grand usage de sable anti-verglaçant).

Tableau 4-1 : Listes de contrôle pour enrobés préparés à chaud à haute densité. Matériaux, formulations et pose d'EPC pour cas d'utilisation à forte résistance

A. Exigences générales relatives aux performances fonctionnelles et structurales
<ul style="list-style-type: none"> ■ Maniable durant la pose et le compactage. ■ Contribue à la résistance de la structure de la chaussée. ■ Résiste à la déformation permanente (orniérage). ■ Résiste à la fissuration par fatigue. ■ Résiste à la fissuration thermique. ■ Résiste aux effets de l'air et de l'eau (durabilité). ■ Imperméable, pour protéger la structure de la chaussée de l'eau. ■ D'entretien facile et économique, un atout pour la couche de roulement (d'usure). ■ Propriétés de frottement adéquates (antidérapance). ■ Niveau acceptable de bruit de contact pneumatique-chaussée. ■ Qualité de roulement (uni) acceptable.
B. Exigences relatives aux matériaux, à la formulation des mélanges et à la pose
<ul style="list-style-type: none"> ■ Caractéristiques physiques et qualité des granulats <ul style="list-style-type: none"> ■ Performances à forte résistance [circulation intense ou à basse vitesse (p. ex. aux intersections)], incorporation d'un gros granulat, cubique et propre, et d'un granulat fin (sable de broyage ou de concassage) concassés à 100 pour cent. L'expérience pratique montre qu'une quantité limitée de granulat fin naturel (sable pour béton bitumineux) ne dépassant pas 10 pour cent du granulat total aide à obtenir une couche de roulement ayant la densité requise et la qualité d'un tapis. ■ Classe de performances du bitume (liant) (BCSP) <ul style="list-style-type: none"> ■ En cas de circulation intense ou à basse vitesse, augmenter la classe à haute température et utiliser un BCSP, un PMP ou un BCSP, selon les besoins. ■ Système de formulation Superpave <ul style="list-style-type: none"> ■ Utiliser comme base l'expérience pratique des formulations suivant la méthode Marshall, en particulier quand l'enrobé doit avoir une résistance élevée; ■ Envisager la production de particules fines (moins 75 µm) durant la production d'un EPC; ■ Vérifier les performances possibles de l'EPC au moyen d'un essai de résistance à l'orniérage (usure de trace de roue sous charge, par exemple). ■ Contrôle par l'entrepreneur de la qualité (essais/inspection) de la production, de la pose, du compactage et de l'assurance de la qualité de l'EPC. ■ Techniques de pose appropriées <ul style="list-style-type: none"> ■ Préparer le support correctement (nettoyage et couche d'accrochage), éviter la ségrégation, mettre en place un tapis uniforme et lisse, construire les joints correctement et respecter les exigences relatives à la compaction (densité).

4. Utilisation des techniques d'atténuation de l'orniérage

4.2 Chaussée nouvelle ou reconstruite

Tableau 4-1

Listes de contrôle pour enrobés préparés à chaud à haute densité. Matériaux, formulations et pose d'EPC pour cas d'utilisation à forte résistance

4. Utilisation des techniques d'atténuation de l'orniérage

4.2 Chaussée nouvelle ou reconstruite

Tableau 4-2 : Exigences du système Superpave relatives à la densité des EPC obtenue par compactage giratoire et aux propriétés des granulats obtenues par voie de consensus en rapport avec les ECAS de référence et la profondeur depuis la surface de la chaussée (tirées du C-SHRP, 1999)

ECAS de référence (millions)	Paramètres de compactage giratoire (nombre de girations)			Densité requise Pourcentage de la densité maximale (pourcentage de G_{mm})			Forme anguleuse du gros granulat (pourcentage minimal)		Forme anguleuse du granulat fin Vides dans mélange non compacté (pourcentage minimal)		Équivalence sable du granulat fin (pourcentage minimal)	Particules plates ou allongées du gros granulat (pourcentage maximal)
	$N_{départ}$	$N_{réf}$	N_{max}	$N_{départ}$	$N_{réf}$	N_{max}	Profondeur depuis la surface (mm)		Profondeur depuis la surface (mm)			
							< 100	> 100	< 100	> 100		
< 0,3	6	50	75	≤ 91,5	96,04% de vides inters-titiels	< 98,0	55/-	-/-	-	-	40	-
0,3 à < 3	7	75	115	≤ 90,5			75/-	50/-	40	440	45	10
3 à < 10	8	100	160	≤ 89,0			85/80	60/-	45	40	45	
10 à < 30							95/90	80/75	45	40	45	
≥ 30	9	125	205				100/100	100/100	45	45	50	

Tableau 4-2
Exigences du système Superpave relatives à la densité des EPC obtenue par compactage giratoire et aux propriétés des granulats obtenues par voie de consensus en rapport avec les ECAS de référence et la profondeur depuis la surface de la chaussée (tirées du C-SHRP, 1999)

Remarques : Les ECAS de référence sont le débit de circulation prévu (chargements d'essieu de véhicules commerciaux et d'autobus) sur la voie de référence au cours d'une période de 20 ans. Descriptions types de chaussées pour ce qui est des ECAS :

- < 0,3 Routes à débit très léger, telles que les routes locales, les routes de campagne et les rues sur lesquelles la circulation des camions et des autobus est interdite ou est très minimale.
- 0,3 à < 3 Routes, telles que les rues à débit moyen, et bon nombre de rues d'accès, de routes collectrices et de routes de campagne.
- 3 à < 30 Routes, telles que les rues dont le débit varie de moyen à élevé, bon nombre de routes d'accès, bon nombre de routes provinciales et certaines autoroutes en milieu rural.
- ≥ 30 Les routes, telles que les voies rapides et les autoroutes en milieu urbain ou rural, *et les situations spéciales de routes, de rues ou d'autoroutes avec circulation de véhicules lourds intense ou lente (véhicules commerciaux ou autobus) sont considérées se situer à ce niveau (les voies supplémentaires pour camions sur les routes et les autoroutes à deux voies, par exemple).*

Il y a également les exigences du système Superpave relatives aux formulations pour ce qui est des vides dans le granulat minéral, des vides remplis de bitume et du ratio poussière-liant.

En ce qui a trait aux exigences relatives à une seule face fracturée ou à deux faces fracturées ou plus. Par exemple, 85/80 indique qu'au moins 85 pour cent des gros granulats doivent avoir une seule face facturée (concassée) et 80 pour cent, deux faces fracturées (concassées) ou plus à ce niveau d'ECAS et à cette profondeur depuis la surface du revêtement.

Exigences fondées sur un rapport de 5 à 1 (5:1) entre la dimension maximale et la dimension minimale.

Tableau 4-3 : Ajustement (« poussée vers le haut ») Superpave à apporter au choix d'un liant (BCSP) selon les ECAS de référence ainsi que la profondeur et le taux de chargement (tirés du C-SHRP, 1999)

ECAS de référence (millions)	Augmentation de la catégorie à haute température, en équivalents de catégorie de 6 °C		
	Taux de chargement (vitesse) de la circulation lourde (camions ou autobus)		
	À l'arrêt, < 20 km/h	Lent, 20 à 70 km/h	Normal, > 70 km/h
< 0,3	–	–	–
0,3 à < 3	2	1	–
3 à 10	2	1	–
10 à < 30	2	1	–
≥ 30	2	1	1

Remarques : Voir dans le tableau 4-2 les descriptions de routes types en ce qui a trait aux ECAS. On doit envisager d'ajouter un équivalent (6 °C) à la catégorie à haute température.

4.3 Préservation de la chaussée, tapis d'enrobés et réhabilitation

4.3.1 Choix d'une méthode de réhabilitation

Il convient de noter que tout enrobé préparé à chaud qu'on utilise dans le cadre de travaux de préservation (entretien), de rechargement (tapis d'enrobés) ou de réhabilitation dans le cas de chaussées en béton bitumineux d'intersection existantes qui sont soumises à des contraintes élevées doit respecter les recommandations du tableau 4-1 relatives aux cas d'utilisation qui exigent une forte résistance. Lorsqu'on est en présence d'un orniérage dû à l'instabilité d'importance moyenne ou élevée, on peut choisir parmi un grand nombre de méthodes de réhabilitation, qui vont du fraisage de précision (photographie 4-1), méthode d'atténuation à court terme, au revêtement superficiel de béton de fibres (*Whitetopping*) (figure 2-2), dont la durée de vie estimative peut atteindre 25 ans, selon les normes de conception. Le choix de la méthode de réhabilitation qui convient le mieux à une intersection donnée et à un problème d'orniérage précis doit reposer

sur une comparaison des coûts de choix techniquement convenables durant le cycle de vie utile de la chaussée réhabilitée (CNRC, 2002; Burnham et Rettner, 2003; Hicks et coll., 2000). On trouvera dans la figure 2-2 les méthodes types de réhabilitation d'orniérage et les durées de vie utile estimatives connexes. Lorsque la réhabilitation d'une grande étendue d'une importante intersection demande qu'on enlève les enrobés, on doit examiner la possibilité d'utiliser un autre type de revêtement, rigide ou en pavés autobloquants (figure 1-1), en plus d'un revêtement asphaltique souple.

4.3.2 Fraisage et pose d'un tapis d'enrobés

Le fraisage et la pose d'un tapis d'enrobés bitumineux (rechargement) est la méthode de réhabilitation la plus répandue dans le cas des chaussées souples ou composites en milieu urbain. Selon la résistance structurale du revêtement, il est possible d'enlever par fraisage une partie du béton bitumineux présentant des ornières ou sensible à l'orniérage, puis de remplacer ou d'augmenter (quand on doit augmenter la capacité

4. Utilisation des techniques d'atténuation de l'orniérage

4.2 Chaussée nouvelle ou reconstruite

Tableau 4-3

Ajustement (« poussée vers le haut ») Superpave à apporter au choix d'un liant (BCSP) selon les ECAS de référence ainsi que la profondeur et le taux de chargement (tirés du C-SHRP, 1999)

4.3 Préservation de la chaussée, tapis d'enrobés et réhabilitation

4. Utilisation des techniques d'atténuation de l'orniérage

4.3 Préservation de la chaussée, tapis d'enrobés et réhabilitation

En présence d'orniérage dû à l'instabilité de moyenne importance, on peut utiliser le meulage ou le fraisage de précision pour rétablir la texture de la surface et le profil du revêtement détérioré.

structurale du revêtement) l'épaisseur du revêtement par la pose d'un enrobé préparé à chaud qui résistera à l'orniérage (tableau 4-1). L'évaluation de l'orniérage dans les revêtements en béton bitumineux ou composites qui sont exposés à une circulation intense de véhicules lourds en milieu urbain indique que le fraisage doit se faire sur une épaisseur d'au moins 125 mm (Burlie et Emery, 1997). Cela est particulièrement important dans le cas d'un revêtement composite, puisque les contraintes produites dans la couche de roulement en béton bitumineux sont plus importantes que celles qu'on retrouve dans un revêtement souple.

Lorsqu'on doit améliorer la structure du revêtement pour lui permettre de supporter la circulation prévue, le dimensionnement du rechargement structural doit se faire à l'aide d'une procédure acceptée, telle que celle d' AASHTO 93 (AASHTO, 1993) ou de l'AI (AI, 2000).

On doit prendre soin de s'assurer que l'interface entre la surface fraisée et le recouvrement en enrobés préparés à chaud est propre, qu'on a enlevé tout matériau meuble et qu'on a créé une bonne adhérence en appliquant correctement du bitume d'accrochage sur la surface fraisée avant de poser le tapis d'enrobés. Chaque couche de nouveau béton bitumineux préparé à chaud doit être mise en place correctement et on doit lui permettre de refroidir avant de poser les couches successives ou de permettre la circulation de camions ou d'autobus sur le nouveau revêtement. Quand il y a un urgent besoin de rétablir la circulation (souvent, dans le cas des intersections achalandées), on peut utiliser le refroidissement à l'eau (photographie 4-2).

4.3.3 Remplissage des ornières à l'aide d'un rapiéçage par pulvérisation, d'un tapis d'enrobés ou d'un microrevêtement

Dans le cas d'un orniérage dû à l'usure ou d'un orniérage dû à l'instabilité de faible importance, on peut remplir les ornières dans les traces de roues en procédant à un rapiéçage par pulvérisation ou à un microrevêtement, ou en posant une couche d'accrochage, selon les besoins, avant de poser le tapis d'enrobés ou le microrevêtement. Le rapiéçage par pulvérisation convient aux chaussées à faible débit en milieu rural ou qui ont fait l'objet d'un traitement de surface, tandis que le tapis d'enrobés mince ou le microrevêtement est ordinairement utilisé en milieu urbain, là où le débit est plus élevé. On doit examiner la possibilité d'utiliser le microrevêtement, qui incorpore un granulat à friction de grande qualité, aux endroits où les véhicules circulent à plus grande vitesse, s'arrêtent et repartent.

Bien que les méthodes de préservation de chaussée mentionnées plus haut constituent des traitements qui permettent d'atténuer de façon satisfaisante les problèmes d'orniérage dû à l'usure, il faut reconnaître que le remplissage des ornières ne doit être vu que comme une mesure d'atténuation à relativement court terme dans le cas de l'orniérage dû à l'instabilité, puisque celui-ci continuera probablement de se produire.

4.3.4 Meulage ou fraisage de précision

En présence d'orniérage dû à l'instabilité de moyenne importance, on peut utiliser le meulage ou le fraisage de précision pour rétablir la texture de la surface et le profil du revêtement détérioré (photographie 4-1). Dans le cas du fraisage de précision, on enlève le béton bitumineux détérioré (essentiellement les dos d'âne, (figure 2-1), c'est-à-dire qu'on enlève une épaisseur de texture d'environ 5 mm à chaque passe et que l'opération laisse des rainures espacées de 10 à 15 mm. Le fraisage de précision constitue

une solution à court terme à l'orniérage dû à l'instabilité des enrobés et sa durée de vie utile est de 3 à 5 ans. On peut aussi recourir au microfraisage, qui permet d'enlever environ 2 mm d'épais de texture à chaque passe et qui laisse des rainures espacées d'environ 5 mm.

4.3.5 Revêtement superficiel de béton de fibres (classique ou à incrustation de béton de ciment)

Le revêtement superficiel de béton de fibres classique consiste essentiellement dans la construction d'un nouveau revêtement en béton de ciment Portland (RBCP), d'une épaisseur de 175 mm ou plus, par-dessus un revêtement souple existant qu'on a préparé de façon adéquate. L'incrustation de béton de ciment est un revêtement de béton pleine épaisseur placé dans une tranchée creusée par fraisage dans un épais revêtement de sol en asphalte. Il est parfois également nécessaire d'enlever des matériaux granulaires sous l'asphalte pour mettre en place une incrustation de l'épaisseur voulue et respecter les restrictions relatives à l'épaisseur du revêtement. Le revêtement superficiel de béton de fibres peut être une

solution avantageuse sur les plans technique et économique lorsqu'il s'agit de réhabiliter un béton bitumineux sérieusement détérioré aux intersections, surtout un revêtement souple qui présente de l'instabilité, de l'orniérage, des bourrelets et du faiencage (Smith et coll., 2002).

L'interface avec l'ancien béton bitumineux, tel qu'il est illustré dans la figure 4-1 et la photographie 4-5, peut être une surface fraisée ou une couche de nivellement en béton bitumineux préparé à chaud. Il se peut aussi qu'il n'y ait aucun traitement (mise en place directe). Il faut toutefois réparer les zones du revêtement sérieusement dégradées ou défoncées et la pratique générale consiste à fraiser la surface du béton bitumineux existant pour enlever tout orniérage (dos d'âne) dû à l'instabilité et dont la hauteur dépasse 50 mm (figure 2-1) avant de mettre le béton de ciment Portland en place. Le revêtement superficiel de béton de fibres classique convient généralement aux charges de roulage associées à toutes les classes de route, y compris les intersections et les travées d'autobus.

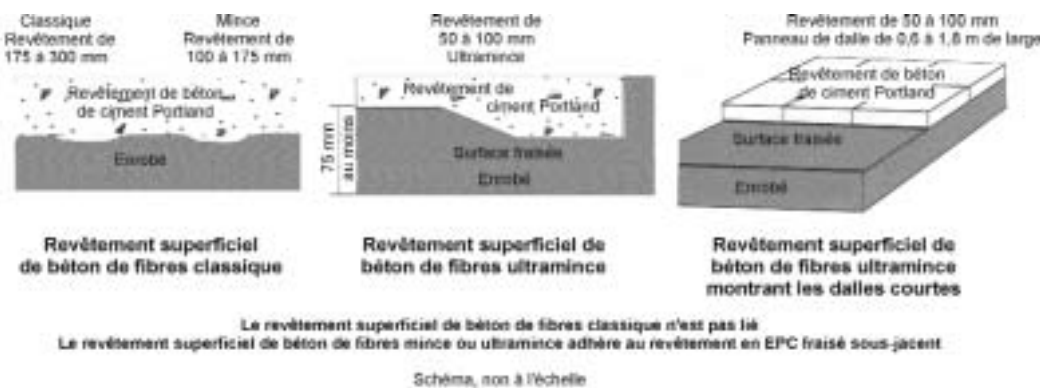
4. Utilisation des techniques d'atténuation de l'orniérage

- 4.3 Préservation de la chaussée, tapis d'enrobés et réhabilitation

Figure 4-1

Types de revêtement superficiel de béton de fibres

Figure 4-1 : Types de revêtement superficiel de béton de fibres



La conception d'un revêtement superficiel de béton de fibres repose sur l'hypothèse selon laquelle il n'y a aucune adhérence au support en béton bitumineux existant, bien qu'il y ait effectivement une certaine adhérence. Le revêtement a la même épaisseur et le même comportement structural qu'un nouveau revêtement RBCP. Il est conçu essentiellement comme un RBCP placé sur une couche de

fondation supérieure traitée, en conformité avec les conseils en matière de conception de l'American Concrete Pavement Association (ACPA, 1998). Le guide de conception traite également de la transition des bords du revêtement superficiel de béton de fibres, de l'espacement des joints et des exigences relatives au transfert des charges au niveau des joints (p. ex. des goujons de transfert de charge).

4. Utilisation des techniques d'atténuation de l'orniérage

4.3 Préservation de la chaussée, tapis d'enrobés et réhabilitation

Comme le revêtement superficiel de béton de fibres ultramince consiste généralement en une incrustation, il a l'avantage de cibler les zones défoncées tout en préservant les élévations existantes du revêtement.

On peut construire le revêtement superficiel de béton de fibres à l'aide de formes fixes ou d'une machine à coffrage glissant. On prescrit ordinairement un béton de ciment Portland qui respecte les exigences de durée d'exposition de la classe C-2 de la CSA (résistance minimale à la compression de 32 MPa). Quand les travaux doivent se faire dans les meilleurs délais pour permettre d'ouvrir l'intersection à la circulation, il faut normalement utiliser un béton dont la résistance à la compression après 24 heures est d'au moins 20 MPa (éprouvettes durcies en chantier).

4.3.6 Revêtement superficiel de béton de fibres ultramince

Le revêtement superficiel de béton de fibres ultramince est une méthode de réhabilitation de chaussées qui prévoit la pose d'une mince couche de béton de ciment Portland (incrustation de 50 à 100 mm d'épais) par-dessus la surface préparée d'un revêtement souple dégradé. La surface du béton bitumineux détérioré est fraisée à froid (il faut laisser une épaisseur minimale absolue de béton bitumineux sain de 75 mm), ce qui permet d'obtenir une meilleure adhérence entre le béton de ciment Portland et le béton bitumineux, et de créer une structure monolithique. Le revêtement superficiel de béton de fibres ultramince est destiné aux aires de stationnement, aux rues urbaines, aux travées d'autobus et aux revêtements souples d'intersection où l'orniérage dû à l'instabilité est un problème, mais où il n'y a aucune autre détérioration importante (ACPA, 1998; Smith et coll., 2002). Il faut absolument réparer les zones détériorées qui pourraient faire diminuer la capacité portante du revêtement de béton de fibres ultramince. Ce type de revêtement est généralement destiné aux chaussées flexibles soumises à de faibles débits de circulation lourde (Smith et coll., 2002).

La figure 4-1 contient des schémas de revêtements superficiels de béton de fibres ultraminces montrant l'épaisseur, la transition des bords, la surface fraisée et les panneaux de dalles courts en cause. Les panneaux de

dalles courts (ordinairement carrés), dont la largeur varie de 0,6 à 1,8 mm, aident à réduire les contraintes de flexion et les contraintes thermiques. Les joints du revêtement ne sont généralement pas obturés, sauf lorsqu'il y a formation d'un joint de service. La plupart des revêtements superficiels de béton de fibres ultraminces ont consisté jusqu'à maintenant en des revêtements jointés en béton ordinaire dans lequel on avait incorporé des fibres (ordinairement des monofilaments en polypropylène ou en mélange de polymères) en tant que renforcement secondaire destiné à limiter la fissuration thermique ou celle due au rétrécissement et à augmenter l'endurance et les performances postfissuration du revêtement; les revêtements superficiels de ce type sont conçus et construits en conformité avec les lignes directrices de l'ACPA (ACPA, 1998, 1999a, b; Murison et coll., 2002; Smith et coll., 2002). Comme le revêtement superficiel de béton de fibres ultramince consiste généralement en une incrustation, il a l'avantage de cibler les zones défoncées tout en préservant les élévations existantes du revêtement. De nombreux projets de revêtement superficiel ultramince ont incorporé la technologie du béton à prise rapide. L'application d'une plus grande quantité de produit de cure et le sciage de tous les joints en temps opportun (p. ex. des traits d'au moins 25 mm de profond faits avant que le béton ait effectué son retrait) jouent un rôle important dans la prévention de la fissuration aléatoire.

4.3.7 Revêtement superficiel de béton de fibres composite mince

Le revêtement superficiel de béton de fibres composite mince est considéré comme une nouvelle technique naissante aux États-Unis et il est destiné aux chaussées à fort débit sur lesquelles circulent un grand nombre de camions lourds. Contrairement à celle du revêtement superficiel de béton de fibres ultramince, l'épaisseur du recouvrement n'est pas une partie importante de la définition, ce qui est toutefois le cas de l'adhérence à l'asphalte sous-jacent. On peut donc définir le revêtement superficiel de béton de fibres

composite mince comme un recouvrement en béton liaisonné intentionnellement à un revêtement en asphalte existant de manière à créer une coupe de revêtement composite. Les joints sont rapprochés de façon à réduire les contraintes dans le revêtement en béton (Cole et coll., 1998).

Il n'existe à l'heure actuelle aucun programme informatique ou méthode de conception qui permet de déterminer l'épaisseur requise d'un revêtement superficiel de béton de fibres composite mince. Celle-ci est fonction d'une évaluation technique et du comportement des revêtements de ce type mis en place précédemment. En général, l'épaisseur d'un revêtement superficiel de béton de fibres composite mince varie de 100 à 175 mm. Plusieurs revêtements ont été mis en place aux États-Unis et un seul à Windsor, en Ontario. Le ministère des Transports de l'Ontario (MTO) a procédé à la construction, à une intersection de rues à Windsor, de deux tronçons d'essai d'environ 500 m de long, dont un dans chaque direction. L'épaisseur du revêtement de béton était de 125 mm et l'espacement des joints transversaux et longitudinaux, de 1,25 m. Le devis prescrivait l'utilisation d'un béton ayant une résistance de 35 MPa et comportant des fibres synthétiques. Comme on le voit dans la photographie 4-5, le revêtement superficiel de béton de fibres composite mince s'est bien comporté jusqu'à maintenant.

4.3.8 Béton compacté au rouleau

Le béton compacté au rouleau (BCR) avec revêtement en asphalte est une autre façon de reconstruire une intersection en asphalte détériorée. La méthode a été utilisée à certaines intersections et sur certaines chaussées de Calgary, d'Edmonton et de Montréal.

Le béton compacté au rouleau consiste en un mélange à affaissement nul de granulats, de ciment et d'eau [des ajouts cimentaires (AC), tels que les cendres volantes et le laitier de haut fourneau, ont aussi été utilisés] qui est compacté en place à l'aide de rouleaux vibrants ou d'équipements de compactage à

plaque comme ceux utilisés pour compacter les revêtements en asphalte. Le mélange des matériaux est achevé à l'aide de malaxeurs à axe vertical à débit continu, de malaxeurs à axes jumelés, de malaxeurs en discontinu classiques ou de bétonnières à tambour basculant montées sur camion. La teneur en ciment se situe dans la même plage que celle du béton classique, soit de 300 à 350 kg/m³, et la résistance à la compression est de l'ordre de 30 à 40 MPa dans le cas des revêtements d'intersection. La grosseur maximale nominale du granulat est limitée à 20 mm pour qu'il soit possible d'obtenir une surface lisse et dense. Le devis descriptif exige habituellement que le mélange soit transporté, mis en place et densifié moins de 60 minutes après le début du malaxage, bien que la température ambiante et l'utilisation d'AC puissent faire augmenter ou diminuer cette fenêtre temporelle.

Le BCR est habituellement mis en place en couches de 125 à 250 mm d'épais à l'aide d'une machine du genre machine à asphaltage. On privilégie l'utilisation de matériel d'asphaltage haute densité dans le cas des couches dont l'épaisseur dépasse 150 mm, puisque le besoin de compactage subséquent à l'aide de rouleaux est alors moindre. Après avoir été mis en place à l'aide d'un finisseur, le BCR peut être compacté au moyen d'une combinaison de rouleaux tandems vibrants et de rouleaux à pneus. La cure du béton dans un revêtement en BCR est d'une importance cruciale en raison de la très faible teneur en eau du mélange initial et de la possibilité que celui-ci sèche rapidement une fois en place. On pose un revêtement en asphalte par-dessus le BCR de façon à permettre aux conducteurs de rouler plus en douceur. Au lieu de poser un revêtement en asphalte, on peut aussi utiliser une meule diamantée pour donner au BCR une surface de roulement lisse.

4. Utilisation des techniques d'atténuation de l'orniérage

- 4.3 Préservation de la chaussée, tapis d'enrobés et réhabilitation

Le béton compacté au rouleau (BCR) avec revêtement en asphalte est une autre façon de reconstruire une intersection en asphalte détériorée.

4. Utilisation des techniques d'atténuation de l'orniérage

4.3 Préservation de la chaussée, tapis d'enrobés et réhabilitation

4.3.9 Revêtements en pavés de béton autobloquants

Le revêtement en pavés de béton autobloquants illustré dans la figure 1-1 est un autre mode d'atténuation de l'orniérage que les organismes peuvent envisager d'utiliser. La méthode a été utilisée dans diverses rues et à diverses intersections partout au Canada, notamment à North Bay (en place depuis 20 ans) à Toronto, à Hamilton, à Edmonton, et à Québec.

On peut utiliser le revêtement en pavés de béton autobloquants pour réparer le revêtement en asphalte d'une intersection sur une partie ou sur la totalité de l'épaisseur. Dans les deux cas, on place des pavés de béton de 80 mm d'épais conformes à la norme CSA A231.2 suivant un motif en chevrons et on les enfonce par vibration dans un lit de liaison de 25 mm en sable, régalié et conforme aux exigences de nivelage de la norme CSA A23.1. Les joints secs sont ensuite remplis au balai d'un sable conforme aux exigences de nivelage de la norme CSA A179, qu'on fait pénétrer dans les joints au moyen d'une plaque vibrante jusqu'à ce que ceux-ci soient pleins.

On peut réparer une partie seulement de l'épaisseur du revêtement lorsque l'asphalte défoncé est assez épais pour qu'il soit possible de le fraiser sur une épaisseur uniforme de 110 mm et qu'il peut supporter adéquatement la circulation. On place une membrane géotextile par-dessus l'asphalte fraisé avant la mise en place du lit de liaison et des pavés de béton. On doit en outre prévoir le drainage de la couche d'assise en posant soit des drains de bordure, soit des drains de 50 mm de diamètre au point le plus bas de la fondation en asphalte. Les drains doivent être recouverts de pierre concassée à granulométrie ouverte de 10 mm. On doit couper les bords du revêtement en asphalte existant à la scie pour assurer la retenue des rives du pavage.

Lorsque la fondation de support du revêtement en pavés de béton autobloquants est inadéquate, il faut absolument enlever l'asphalte existant et le remplacer soit par une fondation granulaire acceptable de revêtement en asphalte souple, soit par un revêtement rigide (revêtement en béton classique pleine épaisseur ou revêtement en BCR). Les fondations granulaires, qu'on utilise lorsque le débit de circulation est faible, doivent être mises en place en couches de 100 mm et compactées jusqu'à un minimum de 98 % de la densité Proctor modifiée. Le sable d'assise régalié et les pavés de béton sont placés sur la fondation granulaire ou en béton. La retenue des rives du pavage est assurée par une bordure de béton d'au moins 200 mm de large sur 400 mm de haut.

5. Évaluation

5.1 Contrôle et évaluation des techniques d'atténuation de l'orniérage

La présente règle de l'art décrit la technologie de pointe relative à l'atténuation de l'orniérage des revêtements de béton bitumineux aux intersections municipales, avec concentration sur l'orniérage dû à l'instabilité des enrobés.

La technologie décrite est également indiquée dans le cas des autres endroits soumis à des contraintes élevées, tels que les travées d'autobus et les parcours de camions et d'autobus, là où les véhicules circulent lentement ou sont arrêtés. Pour évaluer l'efficacité technique et vérifier la durée de vie utile de toute méthode d'atténuation de l'orniérage qu'on a adoptée, on doit en contrôler les performances à long terme. Le contrôle peut se faire au moyen d'un programme systématique de contrôle et d'évaluation ou dans le cadre d'inspections générales ou du système d'évaluation des chaussées de la municipalité (ATC, 1997; Shahin, 1994).

Le contrôle et l'évaluation de l'efficacité d'une technique d'atténuation de l'orniérage doit inclure les éléments suivants :

- **Choix des sites** – On choisit les sites possibles, après quoi on procède à une auscultation détaillée visant à déterminer les conditions et les caractéristiques spéciales des sites avant d'exécuter les travaux.
- **Sites d'essai et dimensionnement d'un site de contrôle** – On élabore le dimensionnement relatif à la technique d'atténuation de l'orniérage qu'on envisage d'utiliser pour chaque essai et on dimensionne selon les pratiques en vigueur au sein de l'organisme un tronçon de contrôle présentant les mêmes conditions, à des fins de comparaison.

- **Qualité des travaux et programme de qualité** – On élabore et on met en œuvre un programme de travaux de construction des sites d'essai et du site de contrôle, y compris la détermination des vérifications préalables aux essais qui peuvent être requises (des mesures de profil, par exemple) et la coordination de toutes les activités de construction et de contrôle.
- **Construction** – On contrôle et on documente tous les aspects des travaux de construction des sites d'essai et du tronçon de contrôle, y compris la production, le transport et la mise en place des matériaux, avec prélèvements d'échantillons pour évaluation selon les besoins.
- **Contrôle et production de rapports postconstruction** – On contrôle les sites d'essai et le site de contrôle immédiatement après les travaux, puis à tous les ans pendant un temps prescrit, ordinairement cinq ans, avec prolongation jusqu'à 10 ans ou plus dans le but de vérifier la tenue en service et tout contrôle ou modélisation accéléré de la tenue.

5. Évaluation

- 5.1 Contrôle et évaluation des techniques d'atténuation de l'orniérage

Pour évaluer l'efficacité technique et vérifier la durée de vie utile de toute méthode d'atténuation de l'orniérage qu'on a adoptée, on doit en contrôler les performances à long terme.

5. Évaluation

5.2 Efficacité du plan d'action d'atténuation de l'orniérage

5.2 Efficacité du plan d'action d'atténuation de l'orniérage

Il est important que la rétroaction fasse partie du plan d'action relatif aux intersections et serve à encourager le recours à des méthodes rentables et techniquement fiables d'atténuation de l'orniérage.

C'est l'efficacité du programme d'évaluation qui ferme la boucle du plan d'action général à plusieurs étapes décrit dans la règle de l'art en rapport avec l'atténuation de l'orniérage dans le revêtement de la chaussée des intersections municipales.

1. On évalue les problèmes de tenue de la chaussée et on détermine la cause de tout orniérage.
2. On s'assure que la capacité structurale de la chaussée est adéquate.
3. On choisit et on met en pratique une approche rentable et techniquement fiable de l'atténuation de l'orniérage dans les revêtements, avec choix de matériaux et formulations appropriés.
4. On utilise les techniques de construction appropriées et on s'assure de la qualité des travaux.

Annexe A :

Questionnaire et analyse de la documentation technique

A.1 Information de base relative à l'examen des pratiques en usage

Les préoccupations relatives à la tenue des chaussées et aux répercussions sur les coûts de l'orniérage du revêtement asphaltique aux intersections et aux autres endroits soumis à des charges de roue élevées, et à l'atténuation du problème de façon rentable, n'ont pas changé beaucoup au Canada depuis le début des années 1990 (ATC, 1991). Les importants progrès réalisés au cours des 10 dernières années dans le domaine de la technologie des enrobés préparés à chaud et des revêtements bitumineux ont toutefois permis d'améliorer le choix des matériaux, les formulations et les pratiques de pose relativement à la résistance à l'orniérage (déformation permanente) et à l'atténuation du problème. En outre, l'accent est de plus en plus sur les techniques de préservation des chaussées, les nouvelles méthodes de réhabilitation (le revêtement superficiel de béton de fibres ultramince, par exemple) et les autres types de revêtement (les pavés de béton, par exemple) dans le cas de l'atténuation de l'orniérage. Dans le cas des matériaux, des formulations, de la mise en place ou de la réhabilitation et de la technologie des revêtements, les progrès ont été réalisés aussi bien au niveau des routes municipales (Aurilio, 2002) qu'à celui des associations de routes internationales (AIPCR, 1995, 2000). On a jugé qu'il était important de procéder à l'examen des meilleures pratiques en usage dans les municipalités en matière d'atténuation de l'orniérage, à la fois pour étalonner les progrès réalisés dans le monde municipal au Canada en rapport avec le problème de l'orniérage aux intersections et pour établir la technologie de pointe développée en rapport avec l'atténuation rentable et techniquement fiable de l'orniérage du revêtement de béton bitumineux aux intersections. L'examen donne également les grandes lignes d'un plan d'action relatif

aux intersections municipales et de sa mise en œuvre dans le but de garantir la bonne tenue structurale et fonctionnelle des chaussées en béton bitumineux, existantes ou nouvelles.

A.2 Éléments constituant de l'examen des pratiques en usage

L'examen des meilleures pratiques en matière d'atténuation de l'orniérage dans le revêtement de la chaussée aux intersections de routes municipales se compose de deux éléments, soit un questionnaire/sondage et une analyse documentaire.

- Le questionnaire/sondage a été élaboré et envoyé à une liste sélective d'organismes de transport municipaux (24) et provinciaux (5), et de représentants d'associations techniques (6). De façon générale, la réponse au questionnaire a été très positive, puisque 21 municipalités, 5 organismes provinciaux et 5 associations techniques y ont donné suite. La définition de l'orniérage et celle d'une intersection faisaient partie du questionnaire. L'orniérage est essentiellement une dépression de la surface dans les traces des roues des véhicules, qui découle de la déformation permanente d'une des couches du revêtement, ou de l'infrastructure de la chaussée; la déformation est habituellement causée par la densification (consolidation) ou le déplacement latéral (cisaillement) des matériaux résultant des charges dues à la circulation. On a considéré que l'intersection incluait non seulement la superficie de chaussée commune aux deux routes, mais également la chaussée à l'approche et au départ de l'intersection, sur une distance d'environ 100 m dans toute direction.

A. Questionnaire et analyse de la documentation technique

A.1 Information de base relative à l'examen des pratiques en usage

A.2 Éléments constituant de l'examen des pratiques en usage

L'accent est de plus en plus sur les techniques de préservation des chaussées, les nouvelles méthodes de réhabilitation et les autres types de revêtement dans le cas de l'atténuation de l'orniérage.

A. Questionnaire et analyse de la documentation technique

A.2 Éléments consti-tuants de l'examen des pratiques en usage

A.3 Synthèse et utilisation de l'examen des pratiques en usage

L'étendue et l'importance de l'orniérage aux intersections semblent augmenter avec la taille (la population) de la municipalité.

■ On a procédé à l'analyse détaillée (technologie des enrobés, dimensionnement des chaussées, préservation et réhabilitation des chaussées, et chaussées en béton de ciment) de la documentation technique en mettant l'accent sur l'orniérage des revêtements en béton bitumineux et les développements techniques réalisés depuis 1995. On trouvera à l'annexe B une bibliographie commentée qui comprend 16 des articles techniques les plus pertinents.

A.3 Synthèse et utilisation de l'examen des pratiques en usage

On a fait la synthèse des réponses au questionnaire pour déterminer quelles étaient les mesures les plus efficaces utilisées dans tout le Canada, aux États-Unis et dans le monde entier pour atténuer l'orniérage du revêtement de la chaussée aux intersections. L'accent a toujours été sur l'orniérage (déformation permanente) dû à l'instabilité des enrobés aux intersections et aux autres endroits soumis à d'importantes contraintes de chargement, et sur les techniques rentables d'atténuation de l'orniérage qui se produit dans le béton bitumineux.

Les réponses des organismes municipaux au questionnaire justifient de toute évidence le besoin d'une règle de l'art relative aux techniques d'atténuation de l'orniérage aux intersections. Tous les répondants ont mentionné avoir eu ce genre de problème, surtout sur les artères et les routes collectrices. Bien que certains organismes aient indiqué avoir eu des problèmes d'orniérage dû à l'usure et d'orniérage structural (résistance de la structure de la chaussée), l'immense majorité des répondants ont mentionné des problèmes d'orniérage (de déformation plastique) dû à l'instabilité des enrobés (revêtements souples ou couche de roulement de revêtements composites). L'étendue et l'importance de l'orniérage aux intersections semblent augmenter avec la taille (la population) de la municipalité.

- Certaines petites municipalités (7) ont indiqué que l'orniérage se produisait entre 3 et 30 m avant les bandes d'arrêt des intersections.
- Certaines municipalités de taille moyenne (4) ont observé la présence d'orniérage dans la zone de 10 à 30 m avant les bandes d'arrêt.
- Les plus grandes municipalités (7 + 2 très grandes) ont mentionné avoir vu de l'orniérage dans la zone de 20 à 60 m avant les bandes d'arrêt.

Le volume et la composition de la circulation étaient eux aussi d'importants facteurs communs, et, bien qu'aucun des organismes sondés ne possédait de données précises permettant d'établir une relation entre l'orniérage aux intersections et la composition et le débit total de la circulation, la majorité des réponses indiquaient que l'orniérage se produisait aux endroits où le débit journalier moyen d'une année (DJMA) se situait entre 15 et 45 000 véhicules, et où des camions et des autobus étaient en cause.

Même si bon nombre d'organismes municipaux ont adopté la même façon de régler le problème de l'orniérage dans le béton bitumineux aux intersections, il ne semble y avoir aucune façon standard d'aborder le repérage, l'évaluation et la réhabilitation des revêtements d'intersection défoncés. Les techniques d'atténuation de l'orniérage qu'utilisent les organismes municipaux et qu'on a déterminées, y compris la tenue et tout problème, ont été intégrées à la règle de l'art comme il convient, accompagnées de l'examen détaillé de la technologie, et de l'expérience pratique.

Annexe B:

Bibliographie commentée

Références clés indiquées par sujet et date de manière à montrer l'évolution de la technologie au cours des 10 dernières années

B.1 Orniéragé des revêtements bitumineux et technologie connexe

Association des transports du Canada (ATC), 1991. *Asphalt Pavement Rutting Experience in Canada. (également, en 1990 Proceedings of the Canadian Technical Asphalt Association, Emery, J.)*

On résume les problèmes, les causes, les « solutions », les mesures correctrices et les plans d'action relatifs à l'atténuation de l'orniéragé des revêtements bitumineux découlant de neuf séminaires tenus partout au Canada. Bien qu'on examine l'orniéragé dû à l'usure dans les traces de roues et l'orniéragé structural (déformation de la structure de la chaussée), l'orniéragé (la déformation plastique) dû à l'instabilité des enrobés, en tant que fonction de l'environnement (temps chaud), de la circulation (chargements, répétitions, types de pneus, pression des pneus, configurations d'essieux, autobus, vitesse et arrêt des véhicules, action de la circulation hâtive, etc.) ainsi que des matériaux et de la formulation des enrobés (caractéristiques des granulats, dureté du bitume, vide, méthodes de dimensionnement, etc.) constitue la principale préoccupation. Il semble que la principale « solution » au problème de l'orniéragé dû à l'instabilité réside dans le choix des granulats (à haute densité, concassés, plus gros, etc.), les bitumes modifiés constituant une solution secondaire, tout comme les procédures améliorées de formulation et d'essai des mélanges. Il est également question des autres approches, telles que les revêtements de béton de ciment Portland et le béton compacté au rouleau. On convient généralement qu'il est possible de dimensionner et de mettre en place un enrobé bitumineux préparé à chaud qui résiste à l'orniéragé, mais les entrepreneurs doivent prendre soin d'éviter la ségrégation et d'obtenir les niveaux de compaction nécessaires dans le cas des mélanges « raides » qui sont alors en cause. Il existe un véritable problème d'orniéragé du béton bitumineux partout au Canada, mais il est possible de l'atténuer en choisissant les

formulations et les matériaux appropriés, et en contrôlant la qualité des travaux. (abrégé du résumé analytique).

Association internationale permanente des congrès de la route (AIPCR), 1995. *Enrobés bitumineux à forte résistance à l'orniéragé par fluage.*

Le volume contient une analyse d'envergure internationale de l'état de la technologie, avec importante contribution canadienne, relativement aux mécanismes d'orniéragé, aux principaux paramètres en cause dans l'orniéragé dû à l'instabilité des enrobés (matériaux bitumineux), aux méthodes de caractérisation de la résistance à l'orniéragé dû à l'instabilité (orniéragé par déformation permanente), aux méthodes servant à modéliser l'orniéragé (profondeur des ornières), aux méthodes pratiques de formulation qui permettent d'obtenir une résistance élevée à l'orniéragé, et aux compositions d'enrobés (granulats et bitume nécessaires) à utiliser aux endroits qui présentent des exigences précises en matière de résistance à l'orniéragé. Les mélanges de béton bitumineux doivent être dosés de manière à offrir une résistance élevée à la déformation permanente aux endroits où la chaussée est soumise à des charges lourdes de longue durée, à la circulation de camions et d'autobus (en particulier durant la saison chaude), mais sans sacrifier la résistance à la fatigue et la durabilité (résistance au vieillissement et au désenrobage) des enrobés.

Burlie, R. et J. Emery, 1997. *Evaluation of Urban Asphalt Concrete Rutting.* Travaux de l'Association canadienne des techniques de l'asphalte

L'évaluation de 30 endroits où le revêtement d'une route municipale présentait de l'orniéragé dû à l'instabilité des enrobés indique que les secteurs préoccupants, là où l'orniéragé est important, sont liés à l'utilisation par les véhicules commerciaux, en particulier les autobus, des voies en bordure, des

B. Bibliographie commentée

B.1 Orniéragé des revêtements bitumineux et technologie connexe

B. Bibliographie commentée

B.1 Orniéage des revêtements bitumineux et technologie connexe

travées d'autobus et des voies de virage. L'utilisation d'un enrobé préparé à chaud qui respecte des exigences rigoureuses, est très stable et résiste à l'orniéage a donné de bon résultats. Il est recommandé de fraiser sur une épaisseur d'au moins 125 mm les endroits où l'orniéage est important avant de procéder au rechargement. Les nouveaux enrobés bitumineux résistant à l'orniéage, tels que la couche de liant à gros granulat, la couche de liant à forte résistance et l'enrobé mince (SMA), et l'utilisation d'un bitume modifié par des polymères, montrent des performances améliorées et des coûts durant le cycle de vie qui sont favorables.

Walker, D. et M. Buncher, 1999. « Developing Strategy for Better Performing Intersection Pavements – Parties 1, 2 et 3. » *Asphalt, The Magazine of the Asphalt Institute (AI)*.

On doit traiter le revêtement asphaltique aux intersections différemment de celui de la route en raison des conditions de contraintes élevées (possibilités d'orniéage dû à l'instabilité des enrobés) liées aux charges lourdes de véhicules commerciaux circulant à basse vitesse ainsi qu'aux freinages, aux accélérations et aux virages. Le document contient des conseils relatifs au dimensionnement, au devis descriptif, aux matériaux, à la formulation du mélange, à la pose, au contrôle de la qualité et à l'établissement du coût complet sur le cycle de vie du revêtement bitumineux des intersections soumises à des contraintes élevées. On insiste sur la capacité structurale, le choix et le contrôle des matériaux du revêtement, l'utilisation de pratiques de mise en place appropriées, la mise en œuvre d'un plan, l'établissement du coût complet sur le cycle de vie ainsi que sur l'importance de la courte durée des fermetures de voies et de la facilité d'entretien.

Buncher, M., 2002. *Designing Asphalt Pavements at Intersections*. Asphalttopics (OHMPA).

La clé de la bonne tenue du revêtement bitumineux d'une intersection, c'est la reconnaissance de la nécessité de dimensionner le revêtement à cet endroit différemment du revêtement d'une chaussée sur laquelle les véhicules circulent à la vitesse affichée. La stratégie décrite examine la capacité structurale, les matériaux et les mélanges, et les pratiques de construction appropriées.

Asphalt Pavement Alliance (APA), 2002. *Perpetual Pavements – A Synthesis – APA 101*.

Le volume contient l'analyse de l'état de la technologie relative à la conception des chaussées souples, aux matériaux et aux formulations connexes, et à la construction des chaussées perpétuelles en enrobés. On définit la chaussée perpétuelle comme une chaussée en enrobés dimensionnée et construite de manière à durer plus de 50 ans sans qu'on doive la réhabiliter et dont il suffit de renouveler la couche de roulement périodiquement en réaction à des dégradations confinées à la partie supérieure du revêtement. La structure d'un revêtement bitumineux, qui est conçue en fonction de la durabilité de l'ouvrage, combine une couche supérieure résistante aux ornières et à l'usure à une couche intermédiaire résistante aux ornières et à une couche de base résistante à la fatigue. Le document traite des matériaux utilisés dans les enrobés préparés à chaud, en ce qui a trait aux propriétés que doivent avoir les diverses couches du revêtement.

Association internationale permanente des congrès de la route (AIPCR), 2000. *Choix des matériaux et conception des chaussées souples pour des conditions sévères de circulation et de climats*.

Ce supplément de la publication de 1995 de l'AIPCR rend compte des enrobés à forte résistance à l'orniéage dû à l'instabilité par le relevé détaillé des choix possibles en matière de matériaux et de dimensionnement des enrobés préparés à chaud qui sont utilisés dans des conditions de circulation ou des conditions climatiques difficiles (importante contribution canadienne). On y évalue les choix de matériaux et de dimensionnements relatifs à diverses conditions climatiques ou routes à fort débit en déterminant les performances possibles des enrobés en ce qui a trait à la force portante, à la position dans la structure du revêtement et à la résistance à l'orniéage, à l'endurance à la fatigue, à la résistance à la fissuration thermique, et à la durabilité (détérioration du revêtement).

B.2 Dimensionnement et entretien des revêtements

Ministère des Transports de l'Ontario (MTO), 1990. *Pavement Design and Rehabilitation Manual*.

Il s'agit d'un manuel complet des pratiques de dimensionnement, de réhabilitation et de gestion des chaussées dont l'utilisation par les planificateurs et les concepteurs est très répandue. Le recours aux pratiques mentionnées dans le manuel permet d'obtenir des dimensionnements rentables et une orientation détaillée générale en matière de préservation des chaussées.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 1993 et 1998. *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 93) and Supplement to the AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1998*.

Ces guides de dimensionnement de la structure d'un revêtement, dont l'adoption est généralisée, offrent des procédures empiriques et détaillées de dimensionnement de nouveaux revêtements souples ou rigides et de réhabilitation de revêtements existants. Ces procédures sont en train d'être remplacées par le nouveau guide mécanisto-empirique 2002 de dimensionnement des structures de revêtement de l'AASHTO.

Association des transports du Canada (ATC), 1997. *Pavement Design and Management Guide*.

Ce guide complet des pratiques canadiennes de dimensionnement et de gestion des chaussées traite du dimensionnement structural des chaussées rigides ou souples, des pratiques de construction, d'entretien et de réhabilitation connexes, et du vaste domaine des systèmes de gestion de chaussées. La promotion des bonnes pratiques en matière de dimensionnement et de gestion des chaussées constitue le thème intrinsèque du guide.

Hicks, R.G., S.B. Seeds et D.G. Peshkin, 2000. *Selecting a Preventative Maintenance Treatment for Flexible Pavements*. Foundation for Pavement Preservation (FPP).

Le document contient de l'information sur l'état de la technologie relative à l'entretien préventif des chaussées souples, information destinée à favoriser la préservation systématique et rentable des chaussées. On y trouve des renseignements pratiques sur la mise en œuvre de types de chaussées admissibles à de l'entretien préventif, les traitements disponibles, les cas où utiliser les traitements, la rentabilité des traitements et les facteurs dont on doit tenir compte au moment de choisir la stratégie de traitement appropriée. Le document mentionne également la méthode générale à utiliser pour déterminer celui des traitements qui sera le plus efficace.

B.3 Revêtements superficiels de béton de fibres et technologie du béton

American Concrete Pavement Association (ACPA) 1998. *Whitotopping – State of the Practice – EB210P*.

Le volume contient l'analyse de l'état de la technologie relative au dimensionnement et à la mise en place de tapis de béton (revêtements superficiels de béton de fibres) sur des revêtements existants. Parmi les types de revêtement superficiel de béton de fibres, on retrouve le revêtement classique (tapis d'une épaisseur de 100 mm ou plus placé directement sur le revêtement bitumineux), l'incrustation (*inlay*) de béton (tapis placé dans une tranchée fraisée dans un épais revêtement bitumineux) et le revêtement ultramine (tapis de 50 à 100 mm d'épais placé sur une surface de béton bitumineux préparée de manière à améliorer l'adhérence du béton de ciment au béton bitumineux).

American Concrete Pavement Association (ACPA), 1999a. *Ultra-Thin Whitotopping in Canada: State-of-Practice – IS100.02P*.

Ce guide d'avant-garde traite du dimensionnement et de la pose de revêtements superficiels de béton de fibres ultramines (de 50 à 100 mm). Il inclut de l'information sur les cas d'utilisation, l'histoire, les matériaux, la recherche, les performances, la force portante, l'analyse mécaniste, la conception des joints, la mise en place et la réparation.

B. Bibliographie commentée

B.2 Dimensionnement et entretien des revêtements

B.3 Revêtements superficiels de béton de fibres et technologie du béton

B. Bibliographie commentée

B.3 Revêtements superficiels de béton de fibres et technologie du béton

American Concrete Pavement Association (ACPA), 1999b. *Construction Specification Guideline for Ultra-Thin Whitetopping – IS120P*.

Ce guide contient le devis descriptif relatif aux projets de revêtement superficiel de béton de fibres ultramince. Il inclut des renvois aux normes, aux méthodes d'essais et aux spécifications de l'ASTM, de l'AASHTO, et de la CSA relatives aux matériaux.

Murison, S., A. Shalaby et T. Smith, 2002. *Ultra-Thin Whitetopping in Canada: State-of-Practice – IS100.02*. Travaux de la conférence spécialisée sur les transports (Transportation Specialty Conference) de la Société canadienne de génie civil.

Ce compendium donne les grandes lignes de l'état de la pratique au Canada dans le domaine des projets de revêtement superficiel de béton de fibres ultramince en ce qui concerne la circulation, les matériaux, le dimensionnement, la mise en place et la réparation. Il traite de la détermination de la force portante, de la mesure des performances et de l'analyse des coûts sur la durée de la vie utile. On y présente plusieurs études de cas canadiennes.

Smith, K.D., H.T. Yu et D.G. Peshkin, 2002. *Portland Cement Concrete Overlays: State of the Technology Synthesis – FHWA-IF-02-045*. Federal Administration (FHWA).

Ce volume présente l'information la plus récente sur la technologie, le choix, le dimensionnement, la mise en place et les performances des quatre types de revêtement superficiel de béton les plus répandus, soit le revêtement lié, le revêtement non lié, le revêtement de béton de fibres classique et le revêtement de béton de fibres ultramince. On y mentionne les cas d'utilisation recommandés, les éléments cruciaux du dimensionnement, les méthodes de dimensionnement d'un revêtement, les pratiques de mise en place recommandées ainsi que les aspects du dimensionnement ou de la pose qui ne sont pas abordés de façon adéquate. Le document contient des renseignements détaillés sur l'utilisation des revêtements superficiels de béton comme choix en rapport avec la réhabilitation de revêtements de béton de ciment ou d'enrobés existants. Le document contient une bibliographie commentée complète.

- AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), 1993. *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 93)*.
- AASHTO, 1998. *Supplement to the AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*.
- ACPA (American Concrete Pavement Association), 1998. *Whitotopping – State of the Practice – EB210P*.
- ACPA, 1999a. *Ultra-Thin Whitotopping – IS100.02P*.
- ACPA, 1999b. *Construction Specification Guideline for Ultra-Thin Whitotopping – IS120P*.
- AI (Asphalt Institute), 1997. *Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing – SP-1*.
- AI, 2001. *Superpave Mix Design – SP-2*.
- AI, 2000. *Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation – MS-17*.
- APA (Asphalt Pavement Alliance), 2002. *Perpetual Pavements – A Synthesis – APA 101*.
- ASTM (American Society for Testing and Materials), 2002. *Standard Practice for Roads and Parking Lot Pavement Condition Index Surveys – D6433-99*.
- Aurilio, V., 2002. *Intersections: Approach With Caution. Asphaltotics (OHMPA)*.
- Buncher, M., 2002. *Designing Asphalt Pavements at Intersections. Asphaltotics (OHMPA)*.
- Burlie, R. et J. Emery, 1997. *Evaluation of Urban Asphalt Concrete Rutting*. Travaux de l'Association canadienne des techniques de l'asphalte.
- Burnham, T. et D. Rettner, 2003. *Whitotopping and Hot-Mix Asphalt Overlay Treatments for Flexible Pavement: A Minnesota Case Study*. Réunion annuelle du Transportation Research Board (TRB).
- ONGC (Office des normes générales du Canada), 1990. *Liants bitumineux pour les routes – CAN/CGSB–16.3-M90*.
- C-SHRP (Programme stratégique de recherche routière du Canada), 1999. *SUPERPAVE 2000 – Pour le nouveau millénaire, des normes améliorées – Bulletin technique n° 17*.
- Cebon, D., 1999, réimprimé en 2000. *Handbook of Vehicle-Road Interaction*. Swets and Zeitlinger, éditeurs.
- Corun, R., 2001. *High-Performance HMA Intersections*. Technologie des enrobés bitumineux préparés à chaud.
- Hicks, R.G., S.B. Seeds, et D.G. Peshkin, 2000. *Selecting a Preventative Maintenance Treatment for Flexible Pavements*. Foundation for Pavement Preservation (FPP).
- Kandhal, P.S., S.A. Cross, et E.R. Brown, 1993. *Heavy Duty Asphalt Pavements in Pennsylvania: An Evaluation for Rutting*. Transportation Research Board.
- Kandhal, P.S., R.B. Mallick, et E.R. Brown, 1998. *Hot Mix Asphalt for Intersections in Hot Climates, Report No. 98-6*. National Center for Asphalt Technology, Auburn University, Alabama.
- MTO (Ministère des Transports de l'Ontario), 1990. *Pavement Design and Rehabilitation Manual*.
- Murison, S., A. Shalaby, et T. Smith, 2002. *Ultra-Thin Whitotopping in Canada: State-of-Practice – IS100.02*. Travaux de la Transportation Specialty Conference (conférence sur les transports) de la Société canadienne de génie civil.
- NAPA (National Asphalt Pavement Association), 1995. *Hot Mix Asphalt for High Stress Applications, Information Series IS 119*.
- NAPA, 2002. *Design, Construction, and Performance of Heavy Duty Mixes, Quality Improvement Series 123*.
- Nicholls, C. (éd.), 1998. *Asphalt Surfacing – A Guide to Asphalt Surfacing and Treatments for the Surface Course of Road Pavements*. E and FN Spon/Routledge Publishers.
- CNRC (Conseil national de recherches Canada), 2002. *Entretien préventif en temps opportun des routes municipales – Guide d'introduction*.
- AIPCR (Association internationale permanente des congrès de la route), 1995. *Enrobés bitumineux à forte résistance à l'orniérage par fluage*.

Bibliographie

- AIPCR, 2000. *Choix des matériaux et conception des chaussées souples pour des conditions sévères de circulation et de climats.*
- Shahin, M.Y., 1994. *Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots. Kluwer Academic Publishers.*
- Smith, K.D., H.T. Yu, et D.G. Peshkin, 2002. *Portland Cement Concrete Overlays: State of the Technology Synthesis – FHWA–IF-02-045.* Federal Highway Administration (FHWA).
- ATC (Association des transports du Canada), 1991. *Asphalt Pavement Rutting Experience in Canada.* (Aussi dans les travaux de 1990 de l'Association canadienne des techniques de l'asphalte, Emery, J.)
- ATC, 1997. *Pavement Design and Management Guide.*
- Walker, D. et M. Buncher, 1999. « Developing Strategy for Better Performing Intersection Pavements – Parts 1, 2 and 3, » *Asphalt, The Magazine of the Asphalt Institute.*
- Woodman, C., R. Burlie, et J. Emery, 1996. *Stone Mastic Asphalt for Urban Pavements.* Travaux de l'Association canadienne des techniques de l'asphalte.