

Chaussées et trottoirs



Réutilisation ou recyclage des matériaux de construction ou d'entretien de routes

Le présent document est le onzième de la série des meilleures pratiques en matière de préservation du revêtement bitumineux au moyen de techniques de réfection par couche mince. Pour connaître les titres des autres meilleures pratiques de cette série ou d'autres séries, prière de visiter <www.infraguide.ca>.

Guide national pour
des infrastructures
municipales durables



CNRC · NRC

FCM Canada
Fédération of Canadian Municipalities
Fédération canadienne des municipalités

Réutilisation ou recyclage des matériaux de construction ou d'entretien de routes

Version 1.0

Date de publication: octobre, 2005

© 2005 Fédération canadienne des municipalités et le Conseil national de recherches du Canada (MD) Tous droits réservés. InfraGuide^{MD} est une marque déposée de la Fédération canadienne des municipalités (FCM).

ISBN 1-897094-90-6

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^{MD} – Innovations et meilleures pratiques

Introduction

InfraGuide — Innovations
et meilleures pratiques

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. Les municipalités doivent assurer de tels services afin de répondre à des normes plus rigoureuses en matière de sécurité, de santé et de protection de l'environnement, ainsi qu'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 de la sorte que les municipalités pourront satisfaire aux 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 des citoyens.

C'est ce que le Guide national pour des infrastructures municipales durables : Innovations et meilleures pratiques (InfraGuide) cherche à accomplir.

En 2001, par l'entremise du programme Infrastructures Canada (IC) et du Conseil national de recherches du 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 meilleures pratiques 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 meilleures pratiques qui contribuent à la prise de décisions et des mesures assurant la durabilité des infrastructures municipales dans six domaines clés : les chaussées et les trottoirs municipaux, 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 meilleures pratiques.

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 meilleures pratiques. 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.



Les grands thèmes des meilleures pratiques d'InfraGuide^{MD}



Chaussées et trottoirs (Voiries municipales)

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 meilleure pratique 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 meilleure pratique 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 meilleure pratique 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 meilleure pratique 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 meilleure pratique 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.

TABLE DES MATIÈRES

Table des matières

Remerciements	7	4. Domaines et limites d'utilisation	37
Résumé	9	4.1 Réutilisation ou recyclage dans le cadre des travaux de construction ou d'entretien de routes	37
1. Généralités	11	4.2 Considérations relatives aux propriétés mécaniques des matériaux	37
1.1 Introduction	11	4.3 Considérations environnementales	38
1.2 Objet et portée	11	4.4 Considérations économiques	38
1.3 Mode d'utilisation du document	12	4.5 Facteurs limitant l'augmentation de la réutilisation ou du recyclage	39
1.4 Glossaire	12	5.1 Méthodes d'évaluation	41
1.5 Liste d'acronymes et d'abréviations	16	5.2 Évaluations des chaussées et des matériaux	41
1.5.1 Organismes et associations	16	5. Évaluation	41
1.5.2 Termes techniques	16	5.1 Méthodes d'évaluation	41
2. Justification	19	5.2 Évaluations des chaussées et des matériaux	41
2.1 Contexte	19	5.3 Évaluation des matériaux provenant du creusage de tranchées	42
2.2 Avantages	19	6. Domaines de recherche future	43
2.3 Risques	20	Annexe A : Études de cas	45
3. Description du travail	21	A.1 Études de cas — Fragmentation par résonance avec recyclage à froid en poste d'enrobage ou en place	45
3.1 Techniques de réutilisation ou de recyclage du béton asphaltique	21	A.2 Étude de cas — Valorisation intégrale (VI) avec stabilisation à l'émulsion de bitume	47
3.1.1 Recyclage en poste d'enrobage (enrobé à chaud recyclé)	23	A.3 Étude de cas — Projet pilote de recyclage du sable d'hiver de la ville d'Edmonton	50
3.1.2 Thermorégénération	23	A.4 Étude de cas — Recyclage à chaud en place	52
3.1.3 Recyclage à froid en place	25	Bibliographie	55
3.1.4 Recyclage à froid en poste d'enrobage	26		
3.1.5 Valorisation intégrale	27		
3.2 Techniques de réutilisation ou de recyclage du béton	30		
3.2.1 Béton récupéré utilisé comme matériau de fondation supérieure ou inférieure granulaire	30		
3.2.2 Granulat fait de béton recyclé	31		
3.2.3 Fracturation	32		
3.3 Recyclage du sable d'hiver	33		
3.4 Réutilisation des matériaux provenant du creusage de tranchées	34		
3.4.1 Matériaux provenant du creusage de tranchées	34		
3.4.2 Propriétés physiques	35		
3.4.3 Propriétés environnementales	36		

PHOTOGRAPHIES

Photo 3-1 : Poste d'enrobage type à fournée, à débits parallèles. 22

Photo 3-2 : Poste d'enrobage type à fournée et à four tournant, à écoulement à contre-courant. 22

Photo 3-3 : Chaîne actuelle de recyclage en place par thermorégénération en train de réhabiliter une chaussée municipale en une seule passe (2002). 24

Photo 3-4 : Projet RFP exécuté en Ontario en 2000. 26

Photo 3-5 : Projet RFP avec ajout de laitier de ciment, exécuté en Ontario en 1999. . . . 26

Photo 3-6 : Appareil classique de stabilisation intégrale au bitume moussé. . . . 28

Photo 3-7 : Chaîne au bitume moussé de recyclage de couche de surface posée au finisseur. 28

Photo 3-8 : Valorisation intégrale avec stabilisation à la chaux 29

Photo 3-9 : Valorisation intégrale avec stabilisation au ciment. 29

Photo 3-10 : Concasseurs à résonance en opération dans le comté d'Oxford, en Ontario. 32

FIGURES

Figure 3-1 : Arbre de décision relatif à la détermination de l'ajout de chaux à la stabilisation au bitume moussé (JEGEL, 2002) 27

Figure 5-1 : Méthode d'évaluation des matériaux provenant du creusage de tranchées 42

REMERCIEMENTS

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

La présente meilleure pratique a été réalisée par des groupes issus du monde municipal canadien et des spécialistes du Canada tout entier. Elle est fondée sur de l'information tirée de la revue des pratiques municipales et d'une analyse documentaire approfondie. Les membres du Comité des chaussées et trottoirs d'InfraGuide, dont on trouvera les noms ci-après, ont fourni des conseils et une orientation en rapport avec la rédaction du document. Ils ont été aidés par les employés de la Direction d'InfraGuide et ceux de John Emery Geotechnical Engineering Limited, Consulting Engineers.

Mike Sheflin

Ancien Directeur administratif de la municipalité d'Ottawa-Carleton, Ottawa (Ontario)

Brian Anderson

Ontario Good Roads Association
Chatham (Ontario)

Vince Aurilio

Ontario Hot Mix Producers Association
Mississauga (Ontario)

France Bernard

Ville de Montréal (Québec)

Don Brynildsen

Ville de Vancouver (Colombie-Britannique)

Al Cepas

Ville de Edmonton (Alberta)

Brian Crist

Ville de Whitehorse (Yukon)

Bill Larkin

Ville de Winnipeg (Manitoba)

Tim Smith

Association canadienne du ciment
Ottawa (Ontario)

Shelley McDonald

Conseillère technique
Centre national de recherches du Canada
Ottawa (Ontario)

De plus, le Comité aimerait exprimer sa sincère reconnaissance aux personnes suivantes pour leur participation aux groupes de travail :

Peter Bremner, Président

Ville de Vancouver Engineering Services
Vancouver (Colombie-Britannique)

Brian Anderson

Ontario Good Roads Association
Mississauga (Ontario)

Vince Aurilio

Ontario Hot Mix Producers Association and
The Asphalt Institute
Mississauga (Ontario)

France Bernard

Ville de Verdun
Verdun (Québec)

Darwin Kupskey

Département de travaux publics de la ville
de Winnipeg, secteur du Génie civil
Winnipeg (Manitoba)

Mike MacKay

John Emery Geotechnical Engineering Limited
Ingénieurs consultants
Toronto (Ontario)

John Mundy

Ville d'Edmonton, Transport et rues
Edmonton (Alberta)

Tim Smith

Cement Association of Canada
Ottawa (Ontario)

Le Comité aimerait aussi remercier les personnes suivantes pour leur participation au processus de révision :

Steve Goodman

Ville d'Ottawa
Ottawa (Ontario)

Bart Kanter

Ready Mixed Concrete Association of Ontario
Mississauga (Ontario)

Mark Popik

Applied Research Associates, Inc.
Toronto (Ontario)

Remerciements

Remerciements

Cette meilleure pratique n'aurait pu voir le jour sans le leadership et les directives du conseil de direction du projet, le Comité sur les infrastructures municipales et le Comité sur les relations dans le domaine des infrastructures du *Guide national pour des infrastructures municipales durables (InfraGuide)* dont les membres sont :

Conseil de direction :

Joe Augé
Gouvernement des Territoires du Nord-Ouest
Yellowknife (Territoires du Nord-Ouest)

Mike Badham
Conseiller, ville de Regina (Saskatchewan)

Sherif Barakat
Conseil national de recherches Canada
Ottawa (Ontario)

Brock Carlton
Fédération des municipalités canadiennes
Ottawa (Ontario)

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

Douglas P. Floyd
Delcan Corporation, Toronto (Ontario)

Derm Flynn
Ville d'Appleton (Terre-Neuve-et-Labrador)

John Hodgson
Ville d'Edmonton (Alberta)

Joan Lougheed
Conseillère, ville de Burlington (Ontario)

Saeed Mirza
Université McGill, Montréal (Québec)

Umendra Mital
Ville de Surrey (Colombie-Britannique)

René Morency
Régie des installations olympiques
Sutton (Québec)

Vaughn Paul
Services consultatifs techniques
Premières Nations d'Alberta, Edmonton (Alberta)

Ric Robertshaw
Travaux publics, région de Peel
Brampton (Ontario)

Dave Rudberg
Ville de Vancouver (Colombie-Britannique)

Van Simonson
Ville de Saskatoon (Saskatchewan)

Basil Stewart, maire
Ville de Summerside (Île-du-Prince-Édouard)

Serge Thériault
Gouvernement du Nouveau-Brunswick
Fredericton (Nouveau-Brunswick)

Tony Varriano
Infrastructure Canada, Ottawa (Ontario)

Alec Waters
Département des infrastructures d'Alberta
Edmonton (Alberta)

Wally Wells
The Wells Infrastructure Group Inc.
Toronto (Ontario)

Comité de coordination dans le domaine des infrastructures :

Al Cepas
Ville d'Edmonton (Alberta)

Wayne Green
Green Management Inc., Mississauga (Ontario)

Haseen Khan
Gouvernement de Terre-Neuve-et-Labrador
St. John's (Terre-Neuve-et-Labrador)

Ed S. Kovacs
Ville de Cambridge (Ontario)

Saeed Mirza
Université McGill, Montréal (Québec)

Umendra Mital
Ville de Surrey (Colombie-Britannique)

Carl Yates
Halifax Regional Water Commission
(Nouvelle-Écosse)

Comité sur les relations dans le domaine des infrastructures :

Geoff Greenough
Ville de Moncton (Nouveau-Brunswick)

Barb Harris
Ville de Whitehorse (Yukon)

Joan Lougheed
Conseillère, ville de Burlington (Ontario)

Osama Moselhi
Université Concordia, Montréal (Québec)

Anne-Marie Parent
Parent Latreille et Associés, Montréal (Québec)

Konrad Siu
Ville d'Edmonton (Alberta)

Wally Wells
The Wells Infrastructure Group Inc.
Toronto (Ontario)

Membre fondateur :

Association canadienne des travaux publics
(ACTP)

RÉSUMÉ

La présente meilleure pratique décrit les pratiques utilisées à l'heure actuelle par les municipalités pour réutiliser ou recycler les vieilles chaussées en asphalte et le vieux béton (revêtements, trottoirs, bordures-caniveaux) récupérés durant les travaux de construction ou d'entretien de routes exécutés dans l'emprise publique. Le document traite également des pratiques actuelles de recyclage du sable d'hiver (qu'on appelle aussi « sable de voirie ») épandu au cours des activités d'entretien d'hiver pour améliorer l'adhérence à la surface des chaussées et recueilli par les balayeuses de rues à l'occasion des travaux d'entretien le printemps; on y met l'accent sur une importante étude pilote actuellement en cours à Edmonton. On y décrit également les choix en matière de réutilisation des vieux revêtements en béton asphaltique, des vieux revêtements en béton de ciment Portland, des matériaux granulaires, de la terre, du roc et des matériaux similaires rencontrés durant les travaux d'excavation relatifs à la mise en place de services souterrains ou de remise en état des coupes.

L'asphalte à réutiliser ou à recycler peut provenir des produits du broyage ou du fraisage, des chaussées en asphalte, des matériaux refusés ou des déchets de poste d'enrobage. Parmi les techniques décrites dans la présente meilleure pratique relativement à l'asphalte, on retrouve :

- Le recyclage en poste d'enrobage (enrobé à chaud recyclé);
- La thermorégénération;
- Le recyclage à froid en place;
 - Émulsion ou émulsion de produit régénérateur;
 - Stabilisation à la chaux ou au ciment;
- Le recyclage à froid en poste d'enrobage; et

- La valorisation intégrale (VI), avec ou sans stabilisation;
 - Pulvérisation (retraitement en place);
 - VI avec stabilisation à la chaux;
 - VI avec stabilisation au ciment Portland; et
 - VI avec stabilisation à l'émulsion de bitume.

Le béton à réutiliser ou à recycler peut provenir des chaussées, des trottoirs, des bordures, des bordures-caniveaux, de la construction de bâtiments ainsi que des déchets de travaux de rénovation ou de démolition. Cependant, dans la présente meilleure pratique, le béton provient de l'emprise de rue; il s'agit notamment des chaussées, des trottoirs, des bordures et des bordures-caniveaux. Parmi les techniques relatives au béton décrites dans la présente meilleure pratique, on retrouve :

- Le matériau utilisé comme fondation supérieure ou inférieure;
- Le granulats de béton; et
- La fracturation (recyclage en place d'une chaussée en béton).

La meilleure pratique confirme que les municipalités, les ingénieurs et les gestionnaires de chaussées disposent, en matière de réutilisation ou de recyclage, d'une vaste gamme de choix rentables et techniquement éprouvés qui permettent de conserver les ressources naturelles et de prolonger la vie des sites d'enfouissement. Ces techniques sont démontrées par un ensemble distinct de fiches d'étude de cas supplémentaires qui décrivent des projets précis dans le cadre desquels les techniques ont été employées avec succès. De plus, les utilisateurs du document sont invités à consulter des ouvrages de référence et des ressources dans lesquels ils pourront trouver des renseignements techniques plus détaillés sur la réutilisation ou le recyclage de l'asphalte et du béton.

Résumé

Les municipalités, les ingénieurs et les gestionnaires de chaussées disposent, en matière de réutilisation ou de recyclage, d'une vaste gamme de choix rentables et techniquement éprouvés qui permettent de conserver les ressources naturelles et de prolonger la vie des sites d'enfouissement

L'étude pilote de la ville d'Edmonton sur le recyclage du sable d'hiver est actuellement en cours. Les propriétés mécaniques du sable d'hiver et les défis d'ordre environnemental auxquels sont confrontés le recyclage et la réutilisation avec succès du sable en question sont décrits dans la présente meilleure pratique; on a aussi préparé une étude de cas distincte qui donne des détails précis sur le projet de démonstration d'Edmonton qui, d'après les résultats obtenus jusqu'à maintenant, semble très prometteur.

Avant de réutiliser les matériaux excavés durant la pose de services souterrains ou la remise en état des coupes, il faut en examiner les propriétés mécaniques et vérifier, s'il y a lieu, la présence possible de contamination. La meilleure pratique propose un cadre d'évaluation des matériaux provenant du creusage de tranchées.

Le document propose également des méthodes d'évaluation des chaussées, qui décrivent les principaux éléments à considérer au moment de choisir un mode de réutilisation ou de recyclage; on y trouve également la liste des besoins en matière de recherche et de développement.

La meilleure pratique confirme que les municipalités, les ingénieurs et les gestionnaires de chaussées disposent, en matière de réutilisation ou de recyclage, d'une vaste gamme de choix rentables et techniquement éprouvés qui permettent de conserver les ressources naturelles et de prolonger la vie des sites d'enfouissement. Ces techniques sont démontrées par un ensemble distinct de fiches d'étude de cas supplémentaires qui décrivent des projets précis dans le cadre desquels les techniques ont été employées avec succès. Les études de cas incluent : l'étude pilote de la ville d'Edmonton sur le recyclage du sable d'hiver; la thermorégénération de l'autoroute 401, entre Woodstock et London, et la fracturation avec recyclage à froid en poste d'enrobage et sur place dans le comté d'Oxford. De plus, les utilisateurs de la présente meilleure pratique sont invités à consulter des ouvrages de référence et des ressources dans lesquels ils pourront trouver des renseignements techniques plus détaillés sur la réutilisation ou le recyclage de l'asphalte et du béton.

1. Généralités

1.1 Introduction

Le présent document compte parmi un certain nombre de meilleures pratiques élaborées sous les auspices du Guide national pour des infrastructures municipales durables (InfraGuide).

La réutilisation ou le recyclage des matériaux provenant de la construction ou de l'entretien des routes et de la construction ou de la réparation des tranchées creusées dans l'emprise publique a contribué, et contribue encore, de façon modeste mais importante, à la conservation des granulats et à la réduction des besoins de décharges contrôlées dans les municipalités canadiennes. Dans le cas où les décharges acceptent encore les matériaux provenant de la construction ou de l'entretien de routes ou de services publics, le coût des frais de déversement a augmenté substantiellement et la pression en vue d'empêcher tous les matériaux qu'il est possible de réutiliser ou de recycler d'occuper l'espace limité qu'offrent les décharges contrôlées, et de conserver les ressources en matière de granulats, est de plus en plus forte.

Bien que ce soit peut-être dans les grands centres urbains tels que Toronto, Montréal, Ottawa, Halifax, Winnipeg, Calgary, Edmonton et Vancouver que le besoin de réutiliser ou de recycler se fait le plus sentir, des organismes municipaux, provinciaux et fédéraux du Canada tout entier et partout dans le monde ont adopté ou sont en train d'évaluer une vaste gamme de possibilités de réutilisation ou de recyclage des matériaux provenant de la construction ou de l'entretien de routes, et des excavations destinées aux services publics. La conservation de l'énergie et des matériaux entrant dans la fabrication du béton, que permet le recyclage des chaussées en asphalte ou en béton est également importante. En plus des considérations en matière de propriétés mécaniques et physiques qui sont importantes pour

l'utilisation finale, il existe aussi certaines considérations de nature environnementale concernant les matériaux relativement inoffensifs ou faiblement contaminés qui proviennent de l'emprise publique. Par exemple, la présence d'amiante comme charge minérale ou de goudron dans l'asphalte, de produits pétroliers tels que l'essence ou le carburant diesel dans les matériaux qui constituent la fondation ou l'infrastructure d'une route, ou de métaux lourds, de chlorures et de cyanures dans les matériaux collectés à l'occasion du balayage des rues et du nettoyage des puisards peut limiter ou exclure le recours aux modes de réutilisation ou de recyclage qui ne prévoient aucune forme de traitement intermédiaire visant à tenir compte des préoccupations relatives aux contaminants.

1.2 Objet et portée

Toute meilleure pratique d'InfraGuide a pour objet d'offrir des méthodes avant-gardistes de planification, de conception, de construction, de gestion, d'évaluation, d'entretien ou de réhabilitation des infrastructures municipales, qui tiennent compte des dimensions locales d'ordre économique, environnemental ou social, et permettent de créer une agglomération viable. Les buts et les objectifs de la présente meilleure pratique relative à la réutilisation ou au recyclage des matériaux de construction ou d'entretien de routes consistent à :

- Présenter, en provenance du Canada tout entier, des techniques et des exemples de recyclage ou de réutilisation des matériaux de construction ou d'entretien de routes provenant de l'emprise publique, en insistant sur quatre grandes catégories de matériaux : le béton asphaltique, le béton de ciment Portland (chaussées, fondations, trottoirs et bordures), le sable d'hiver et les matériaux provenant du creusement de tranchées;

1. Généralités

1.1 Introduction

1.2 Objet et portée

La pression en vue d'empêcher tous les matériaux qu'il est possible de réutiliser ou de recycler d'occuper l'espace limité qu'offrent les décharges contrôlées, et de conserver les ressources en matière de granulats, est de plus en plus forte.

1. Généralités

- 1.2 Objet et portée
- 1.3 Mode d'utilisation du document
- 1.4 Glossaire

- Cerner les techniques et les technologies techniquement judicieuses de réutilisation ou de recyclage des matériaux, à l'intention des municipalités de toute taille;
- Déterminer les avantages de diverses techniques sur le plan économique;
- Déterminer les avantages durables;
- Déterminer les répercussions sociales et environnementales; et
- Proposer des méthodes acceptables du point de vue de l'environnement d'élimination des matériaux excédentaires qui ne conviennent pas à la réutilisation ou au recyclage.

1.3 Mode d'utilisation du document

La présente meilleure pratique décrit les pratiques utilisées à l'heure actuelle par les organismes municipaux pour réutiliser ou recycler l'asphalte et le béton récupérés durant les travaux de construction ou d'entretien de routes exécutés dans l'emprise publique. Le document ne traite pas de la réutilisation en place d'un revêtement en béton par l'application des techniques CPR3 (remise en état, réfection du revêtement et reconstruction). Les détails de ce procédé de remise en état ou de réfection des revêtements en béton se trouvent dans le manuel de référence des techniques de préservation des chaussées d'InfraGuide (InfraGuide, 2005) et on doit examiner la possibilité de recourir au procédé avant d'envisager tout autre mode de réutilisation ou de recyclage. Le document ne parle pas non plus du resurfaçage avec du béton d'un revêtement en asphalte détérioré. La meilleure pratique traite des pratiques actuelles de recyclage du sable épandu l'hiver pour améliorer l'adhérence à la surface des chaussées durant les activités d'entretien d'hiver et ramassé par les balayeuses de rue au cours des travaux d'entretien exécutés le printemps, et de la réutilisation possible des chaussées et de la terre ou des matériaux similaires rencontrés durant le creusage ou la remise en état des coupes et des tranchées destinées aux services municipaux. Elle offre

aux municipalités, aux ingénieurs et aux gestionnaires de chaussées des renseignements sur les techniques de réutilisation ou de recyclage actuellement en usage, et des conseils relativement au choix du mode approprié de réutilisation ou de recyclage, que les organismes pourront examiner et mettre en pratique. On renvoie également les utilisateurs de la meilleure pratique à des sources clés où ils pourront obtenir d'autres renseignements techniques plus détaillés. Pour faciliter l'utilisation du document, on a regroupé les principaux ouvrages de référence selon qu'ils concernent la réutilisation ou le recyclage de l'asphalte, la réutilisation ou le recyclage du béton, le recyclage du sable d'hiver ou la réutilisation des matériaux provenant du creusage de tranchées. De plus, trois résumés d'étude de cas indépendants ont été élaborés conjointement avec la présente meilleure pratique : une étude de deux pages décrivant le projet pilote de recyclage du sable d'hiver de la ville d'Edmonton; une étude de quatre pages qui donne des exemples de projets canadiens de réutilisation ou de recyclage d'asphalte et de béton ayant donné de bons résultats; une étude de deux pages qui compare le rendement de différentes techniques de recyclage ou de réhabilitation de routes, y compris la nouvelle technique de thermorégénération.

1.4 Glossaire

Absorption — Pénétration d'un fluide dans les pores perméables d'un matériau solide, donnée comme pourcentage d'augmentation de la masse.

Agent de recyclage de l'asphalte — Additif pour produits pétroliers, tel que l'huile de fluxage, utilisé pour redonner à un ciment bitumineux vieilli les propriétés souhaitées.

Asphalte — Matériau cimentaire brun foncé ou noir dans lequel les éléments constituants dominants sont des bitumes qu'on trouve dans la nature ou qu'on obtient au cours du raffinage du pétrole brut.

Balayures de rues — Matériau ramassé à la balayeuse sur les chaussées le printemps à la suite des opérations d'épandage de sable durant l'hiver; contient du sable d'hiver récupéré, du sel de voirie et des déchets; parfois contaminé par des métaux lourds, de l'huile et de la graisse. Voir Sable d'hiver.

Béton — Ciment Portland ou ciment fait de matériau composite (Normes CSA A3000-03, Recueil de matériaux cimentaires).

Béton récupéré (BR) — Vieux béton de ciment Portland enlevé ou transformé.

Bitume moussé — Mélange de matériau CAR froid et non séché ou de granulat vierge dont on lie les éléments constitutifs en les mélangeant à un liant bitumineux expansé obtenu par l'injection d'une quantité dosée d'eau froide dans un flux de ciment bitumineux chaud, dans un récipient de mélange (ce qui entraîne le moussage du ciment bitumineux et permet à celui-ci d'enrober les particules fines).

Chaussée asphaltique récupérée (CAR) — Matériaux de revêtement enlevés ou transformés, qui contiennent du ciment bitumineux et des granulats.

Chaussée en asphalte — Chaussée consistant en une couche de liant (ou de base) et une couche d'usure de béton bitumineux posées sur des couches d'appui telles qu'une fondation en béton (chaussée composite), une fondation bituminée, une fondation traitée au ciment, une fondation granulaire supérieure ou inférieure placée sur l'infrastructure.

Ciment — Ciment Portland ou ciment avec ajouts (*Cementitious Materials Compendium* — *Recueil de matériaux cimentaires*). Normes CSA A3000-03).

Ciment bitumineux — Asphalte raffiné de manière à respecter les spécifications relatives à l'asphaltage ainsi qu'à des fins industrielles ou spéciales.

Ciment Portland — Ciment hydraulique silocalcaire produit par la pulvérisation de clinker de ciment Portland et contenant habituellement du sulfate de calcium et d'autres composés.

Couche de liant — Couche ou couches en béton bitumineux inférieures d'une chaussée souple.

Couche de roulement — Couche supérieure d'enrobé préparé à chaud d'une chaussée, parfois appelée « couche d'usure » (voir Chaussée en asphalte, par exemple).

Émulsion de bitume — Émulsion anionique cationique de ciment bitumineux et d'eau qui contient une faible quantité d'émulsifiant, dont la cure s'obtient par séparation ou évaporation de l'eau ou par réaction chimique, laissant ainsi le ciment bitumineux agir comme liant hydraulique.

Enrobé à chaud — Béton asphaltique malaxé et posé à chaud.

Enrobé à chaud recyclé (ECR) — Enlèvement (fraisage en surface ou sur toute l'épaisseur) d'un vieux béton asphaltique (béton asphaltique récupéré, BAR), traitement, chauffage et malaxage dans une installation d'enrobage à chaud (à fournée, à four tournant ou à fournée et à four tournant) avec de nouveaux granulats et un nouveau ciment bitumineux (grade plus mou ou ciment contenant un agent de recyclage), remise en place et compactage de manière à respecter les spécifications relatives à un enrobé préparé à chaud traditionnel.

Enrobé préparé à chaud (EPC) — Mélange dosé de granulat et de ciment bitumineux préparé dans un poste d'enrobage à chaud (à fournée, à four tournant ou à fournée et à four tournant) dans lequel les granulats sont séchés, chauffés puis mélangés à du ciment bitumineux chauffé, pour être ensuite transportés, mis en place et compactés pendant qu'ils sont encore à température élevée (environ de 125°C à 135°C) pour donner une couche de revêtement résistante à la fatigue et aux déformations, et durable.

Fondation inférieure — Dans une chaussée, couche de matériau située immédiatement au-dessus de l'infrastructure (voir Chaussée en asphalte, par exemple).

1. Généralités

1.4 Glossaire

Fondation supérieure — Couche de matériau qui se trouve immédiatement sous la surface en béton bitumineux ou en béton de ciment Portland d'une chaussée (voir Chaussée en asphalte, par exemple).

Fracturation — Traitement en place d'un vieux revêtement en béton, selon lequel le revêtement existant est brisé en petits morceaux à l'aide de matériel spécialisé.

Fraisage (nivelage à froid) — Enlèvement de la surface d'une 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 (une forme de revêtement asphaltique récupéré) est habituellement recyclé.

Granulat — Matériau granulaire de composition minérale, tel que le sable, le gravier, la pierre concassée, les laitiers et le béton concassé, utilisé dans la construction de bâtiments et de routes.

Granulat fin — Granulat qui passe essentiellement à travers le tamis de 4,75 mm (ou 5 mm).

Gravier — Matériau granulaire fait de fragments de roc usés par l'eau et arrondis dont la taille varie de 2 à 75 mm et qui sont habituellement entremêlés avec du sable.

Gros granulat — Granulat qui est essentiellement retenu sur le tamis de 4,75 mm (ou 5 mm).

Infrastructure de chaussée — Sol préparé au moyen de déblais, de remblais ou d'un réglage de façon à pouvoir supporter une chaussée (voir Chaussée en asphalte, par exemple).

Matériau excédentaire — Roc, terre, granulat, vieux béton bitumineux, vieux béton, bois, etc., résultant de travaux de construction et qui ne peut être utilisé sur les lieux.

Matériau granulaire — Granulat utilisé dans une fondation supérieure granulaire, une fondation inférieure granulaire ou une infrastructure de chaussée choisie.

Matériaux provenant du creusage de tranchées — Terre, roc et matériaux d'une chaussée existante (fondation supérieure et fondation inférieure granulaires, fondation en béton ou revêtement asphaltique) enlevés durant le creusage des coupes ou des tranchées destinées aux services municipaux.

Matériau provenant du nettoyage des fossés — Terre ou matériau rocheux enlevé au cours des travaux de creusage ou d'entretien de fossés, y compris la végétation qui pousse dans les fossés et les débris qui s'y accumulent, tels que les feuilles et les déchets sauvages. Voir Matériaux provenant du nettoyage des puisards.

Matériau provenant du nettoyage des puisards — Terre ou matériau rocheux extrait des puisards, y compris les débris accumulés, tels que les feuilles et les déchets sauvages emportés par l'eau dans les puisards.

Pierre — Tout dépôt ou formation rocheux naturel d'origine ignée, sédimentaire ou métamorphique, utilisé habituellement comme pierre de taille ou pierre concassée dans la construction de bâtiments ou de routes.

Pierre concassée — Granulat obtenu par le concassage du roc extrait d'une carrière, et dont toutes les faces sont fracturées (concassées).

Recyclage — Récupération d'un matériau du flux de déchets et utilisation quelconque à la suite de divers degrés de traitement.

Recyclage à froid (recyclage à froid d'une chaussée en asphalte) — Réutilisation de toute l'épaisseur, ou d'une partie de l'épaisseur, d'une vieille chaussée en béton bitumineux (peut être utilisée pour un traitement de surface et peut inclure une fondation traitée ou non traitée) qui est soit traitée en place (par une chaîne de recyclage à froid en place ou une méthode de retraitement intégral en place de chaussée en asphalte), soit à un poste d'enrobage, ordinairement avec l'ajout d'une émulsion de bitume (ou d'un autre additif tel que du bitume fluidifié, de la chaux ou du ciment) et occasionnellement d'un nouveau granulat dans le but d'obtenir la qualité

d'enrobé à froid souhaitée, suivi de la mise en place et du compactage.

Recyclage de la surface d'une chaussée en asphalte — Voir Thermorégénération ou Recyclage à froid.

Recyclage du béton de ciment Portland — Réutilisation de vieux béton, tel que des éléments de fondation et des chaussées, en le transformant en granulats destinés à être utilisés en place ou en granulats classiques qui seront utilisés dans les assises de tranchées, les fondations granulaires, les fondations traitées, le béton asphaltique ou le béton de ciment.

Remalaxage — Traitement en place de matériaux de chaussée existants et non liés, tels qu'une fondation granulaire, mécaniquement ou par stabilisation pour en améliorer le comportement.

Remblai — Matériau placé dans le but de niveler ou de relever la hauteur d'un terrain.

Remblai stabilisé dimensionnellement — Mélange à faible résistance à la compression (maximum de 0,4 MPa à 28 jours) de granulats de béton, d'eau, de ciment Portland et d'adjuvants, dont l'affaissement minimum est de 150 mm, qui peut servir de remblai dans les coupes.

Réutilisation — Récupération d'un matériau du flux de déchets et utilisation quelconque avec peu ou pas de traitement.

Sable — Granulat fin résultant de la désintégration et de l'abrasion naturelles du roc ou de la transformation de grès entièrement friable.

Sable de voirie — Voir Sable d'hiver ou Balayures de rues.

Sable d'hiver — Sable épandu sur les routes et les rues durant l'hiver pour prévenir le patinage et préserver l'adhérence à la chaussée. Le sable d'hiver peut être ramassé par des véhicules aspirateurs au cours des travaux d'entretien des routes au printemps. Les matériaux ramassés durant les opérations de balayage en été ne sont pas considérés comme recyclables. Parfois appelé «sable de voirie». Voir Balayures de rue.

Structure de chaussée — Toutes les couches (éléments constitutifs) d'une chaussée entre l'infrastructure et la surface de roulement, telles que la fondation inférieure granulaire, la fondation granulaire, la fondation traitée (à l'asphalte ou au ciment), le béton asphaltique ou le béton de ciment.

Terre — Tous les sols à l'exception de ceux définis comme du roc, à l'exclusion de la pierre de maçonnerie, du béton et des autres matériaux manufacturés.

Thermorégénération — Remalaxage à chaud (généralement sur une épaisseur de 50 à 75 mm) de la surface d'une chaussée en asphalte vieillie, à l'aide de réchauffeurs et d'une machine de reformage thermique, généralement avec l'ajout d'un produit régénérateur, d'un granulat ou d'un nouvel enrobé préparé à chaud pour remettre la vieille chaussée en asphalte scarifiée en état et parfois en incorporant à la couche d'usure un tapis d'enrobés, le tout mis en place et compacté convenablement selon un procédé à passe unique ou à plusieurs passes.

Valorisation intégrale (VI) — La pleine épaisseur du revêtement en béton bitumineux est traitée et recyclée, habituellement en étant mélangé à la fondation granulaire ou à l'infrastructure de chaussée sous-jacente. La valorisation intégrale peut aussi inclure la stabilisation à l'aide d'une émulsion de bitume ou encore, de ciment ou de chaux.

1. Généralités

1.4 Glossaire

1. Généralités

1.5 Liste d'acronymes et d'abréviations

1.5 Liste d'acronymes et d'abréviations

1.5.1 Organismes et associations

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

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

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

ACLAE — Association canadienne des laboratoires d'analyse environnementale
<www.caeal.ca>

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

ACP — Association du ciment Portland

AIPCR — Association mondiale de la Route (PIARC/AIPCR) <www.piarc.org>

AI — Asphalt Institute
<www.asphaltinstitute.org>

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

ARRA — Asphalt Reclamation and Recycling Association
<www.arra.org>

ASTM — ASTM International
<www.astm.org>

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

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

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

C-SHRP — Programme stratégique de recherche routière du Canada
<www.cshrp.org>

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

ECCO — Environmental Council of Concrete Organizations

EPA — Environmental Protection Agency
<www.epa.gov>

FCM — Fédération canadienne des municipalités
<www.fcm.ca>

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

GNI — Guide national pour des infrastructures municipales durables (InfraGuide)
<www.InfraGuide.ca>

MRN — Ministère des Richesses naturelles de l'Ontario
<www.mnr.gov.on.ca>

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

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

NCHRP — National Cooperative Highway Research Program

OCDE — Organisation de coopération et de développement économiques
<www.oecd.org>

OHMPA — Ontario Hot Mix Producers Association
<www.ohmpa.org>

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

TRB — Transportation Research Board
<www.trb.org>

1.5.2 Termes techniques

AQ — Assurance de la qualité

BMP — Bitume modifié par des polymères

BR — Béton récupéré

CAR — Chaussée en asphalte récupérée

CBCP — Ciment bitumineux classé selon les performances

CBR — Indice portant californien

CCV — Coût du cycle de vie

CJBO — Chaussée jointée en béton ordinaire

CTM — Concasseur à têtes multiples

CQ — Contrôle de la qualité

CP — Béton Portland

CP — Classé selon les performances

CCBA — Chaussée continue en béton armé

CE — Conductivité électrique
C&D — Construction et démolition
DJMA — Débit journalier moyen d'une année
DMT — Défectomètre à masse tombante
ÉCAS — Équivalent de Charge Axiale Simple
ECR — Enrobé à chaud recyclé
EFG — Équivalence de fondation granulaire
EPC — Enrobé préparé à chaud
LBCP — Liant bitumineux classé selon les performances

MHB — Multiple head breakers
OPSS — Ontario Provincial Standard Specifications (spécifications types de l'Ontario)
RFPE — Recyclage à froid en poste d'enrobage
RFP — Recyclage à froid en place
SMA — Enrobé mince ou enrobé à matrice pierreuse (Stone Matrix Asphalt)
VI — Valorisation intégrale

1. Généralités

1.5 Liste d'acronymes et d'abréviations

2. Justification

2.1 Contexte

Le besoin de granulats de qualité utilisés dans la construction des bâtiments, des routes, des services publics et des infrastructures de transport, et dans les travaux d'entretien connexes, continue d'augmenter partout au Canada, ce qui impose des exigences sans cesse croissantes sur les ressources en granulats non renouvelables (gravières et carrières), les carburants et les liants (les ciments bitumineux et les ciments Portland, par exemple). En même temps, dans le domaine de la gestion des déchets, la pression environnementale visant à empêcher tous les matériaux qui peuvent être réutilisés ou recyclés d'occuper de l'espace précieux dans les décharges contrôlées déjà rares ne cesse d'augmenter; la pression visant à faire réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre est elle aussi de plus en plus forte.

On reconnaît depuis longtemps que la réutilisation ou le recyclage des matériaux de construction tels que le vieux béton bitumineux et le vieux béton Portland récupérés durant les travaux de construction ou d'entretien de routes peuvent contribuer de façon importante à la conservation des ressources en granulats et au développement durable à la fois des gravières et des carrières, et des décharges contrôlées municipales. Les chaussées en asphalte et le béton Portland sont recyclables à 100 pour cent. Les municipalités, les ingénieurs et les gestionnaires de chaussées, et l'industrie de la construction ont été très progressistes en adoptant et en mettant en pratique les techniques de réutilisation et de recyclage dans le secteur municipal canadien. Soutenues par la réussite de ces initiatives, certaines décharges municipales ont cessé complètement d'accepter les matériaux qui sont utilisés dans la construction ou l'entretien des routes et qui peuvent être recyclés.

La réutilisation ou le recyclage avec succès du vieil asphalte et du vieux béton a incité les organismes à étudier la possibilité de faire de même avec d'autres matériaux potentiellement excédentaires provenant de la construction ou de l'entretien des routes. Le sable d'hiver qu'on épand régulièrement sur les chaussées pour améliorer l'adhérence des pneus durant l'hiver, puis que les balayeuses de rues récupèrent au printemps, et les matériaux excavés et enlevés durant la mise en place de services souterrains et la remise en état des coupes dans l'emprise publique sont deux autres matériaux potentiellement réutilisables qu'on rencontre ou qui sont produits en quantités importantes dans le cadre des travaux de construction ou d'entretien des routes municipales.

2.2 Avantages

Les avantages sociaux et économiques de la réutilisation ou du recyclage des déchets possibles, tels que le vieil asphalte et le vieux béton, sont bien connus. Les granulats recyclés ont tendance à être moins coûteux que les granulats naturels, surtout lorsque le coût de la transformation est porté en déduction du coût substantiellement plus élevé de l'élimination. Lorsqu'il est bien transformé et incorporé dans les utilisations appropriées de matériaux de construction de routes, le produit recyclé peut se comporter de la même façon que les granulats naturels classiques. La réutilisation ou le recyclage de ces matériaux excédentaires ou déchets entraîne également une réduction substantielle de la quantité des nouveaux granulats requis pour les travaux de construction ou de réhabilitation de routes, ce qui prolonge la vie des ressources en granulats non renouvelables. La réutilisation ou le recyclage réduit également le volume des matériaux réutilisables qui se retrouvent dans les décharges municipales, où ils occupent un espace qui ne cesse de diminuer et qu'il vaut mieux réserver aux déchets domestiques, ce

2. Justification

2.1 Contexte

2.2 Avantages

La réutilisation ou le recyclage avec succès du vieil asphalte et du vieux béton a incité les organismes à étudier la possibilité de faire de même avec d'autres matériaux potentiellement excédentaires provenant de la construction ou de l'entretien des routes.

2. Rationale

2.2 Avantages

2.3 Risques

Lorsque le projet est bien évalué et que les propriétés physiques et chimiques du matériau recyclé sont bien caractérisées, les risques liés à la réutilisation ou au recyclage du vieil asphalte ou du vieux béton sont minimes.

qui prolongera la vie de la décharge et réduira le besoin de nouveaux sites d'enfouissement sanitaires. Il est également possible de réaliser d'importantes économies de coûts de transport (en temps et en carburant) en réutilisant ou en recyclant les matériaux excédentaires à proximité de leur point d'origine et en évitant de les transporter jusqu'à des sites d'élimination. La présente meilleure pratique aidera les municipalités à déterminer les choix et les pratiques de gestion rentables et techniquement viables en matière de réutilisation ou de recyclage du vieil asphalte, du vieux béton, du sable d'hiver et des matériaux excavés des tranchées.

2.3 Risques

La réutilisation et le recyclage du vieil asphalte et du vieux béton sont des techniques bien établies et éprouvées pour lesquelles il existe une vaste base d'expérience partout au Canada et dans le

monde entier. Lorsque le projet est bien évalué et que les propriétés physiques et chimiques du matériau recyclé sont bien caractérisées, les risques liés à la réutilisation ou au recyclage du vieil asphalte ou du vieux béton sont minimes. On n'insistera toutefois jamais assez sur la nécessité de consulter un ingénieur en matériaux et en chaussées chevronné et compétent au moment d'évaluer chaque projet et de choisir la technique de réhabilitation qui convient le mieux.

Dans le cas du recyclage du sable d'hiver et de la réutilisation des matériaux excavés durant la mise en place de services ou la remise en état de coupes, il faut tenir compte des propriétés environnementales en plus des propriétés mécaniques; il est par conséquent recommandé de recourir uniquement à des laboratoires environnementaux accrédités pour toutes les analyses environnementales, dont les résultats seront interprétés par un ingénieur ou un géologue/géoscientifique qualifié.

3. Description du travail

3.1 Techniques de réutilisation ou de recyclage du béton asphaltique

La réutilisation ou le recyclage du vieil asphalte n'est pas un concept « nouveau », puisque les matériaux asphaltiques récupérés des chaussées sont recyclés, aussi bien à chaud qu'à froid, depuis au moins le début du 20^e siècle (ARRA, 2001). La technologie et le matériel de recyclage de l'asphalte ont toutefois peu progressé jusqu'aux années 1970, lorsque, aiguillonnés par la crise énergétique, les efforts en matière de recyclage de l'asphalte ont augmenté en réaction aux pressions sociales et environnementales visant à faire diminuer la demande pour les produits fabriqués à l'aide de combustibles fossiles ou d'hydrocarbures pétroliers non renouvelables.

L'utilisation de chaussées asphaltiques récupérées (CAR) pour produire un enrobé à chaud recyclé dans une centrale (à fournée, à four tournant ou combinant les deux modes) est une pratique bien établie et elle continue de croître partout au Canada, l'enrobé à chaud recyclé (ECR) étant inclus dans la plupart des devis descriptifs des organismes (provinciaux et bon nombre d'organismes municipaux) canadiens pour les mélanges de couche de liant en particulier et pour une certaine utilisation dans les mélanges de couches de roulement (Emery, 1991). Cependant, les progrès continus réalisés dans le domaine des techniques de recyclage, notamment la thermorégénération, le recyclage à froid en place (RFP), le recyclage à froid en poste d'enrobage (RFPE) et la valorisation intégrale (VI), ainsi que leur mise en pratique avec succès et leurs performances positives sans cesse croissantes, offrent aux gestionnaires de chaussées un plus grand nombre de choix rentables et techniquement acceptables en matière de réutilisation ou de recyclage relativement aux travaux d'entretien ou de réhabilitation des chaussées. Ces dernières années, le RFP et la VI sont devenus les

procédés de recyclage à froid privilégiés dans le cas de l'amélioration ou du renforcement de la structure et de l'entretien des chaussées en asphalte municipales, tandis que l'évolution de la technologie canadienne des préchauffeurs à soufflerie d'air chaud de troisième génération a entraîné l'amélioration de la qualité de la réhabilitation de l'asphalte par thermorégénération. Il s'est avéré que ces méthodes de réhabilitation offraient des performances rentables et améliorées en ce qui a trait au cycle de vie des chaussées.

Le recyclage de l'asphalte est devenu un élément clé de l'industrie routière canadienne et il est essentiel d'adopter la technologie appropriée pour s'assurer d'obtenir la qualité de chaussée souhaitée; il est également essentiel d'évaluer les propriétés des matériaux de recyclage pour faire en sorte que le problème qu'on est en train de corriger ne se répète pas. Bien qu'il soit possible de mélanger des fragments, des fraises ou des morceaux de CAR à un granulats classique (sable et gravier ou pierre concassée) ou à du BR (béton recyclé) pour servir de fondation inférieure granulaire ou de matériau d'accotement, il est suggéré de chercher à faire la meilleure utilisation possible des matériaux recyclés. On encourage l'utilisation de matériau CAR dans les procédés qui profitent pleinement des caractéristiques du granulats et du ciment bitumineux. La réutilisation de ces matériaux dans les mélanges routiers est par conséquent préférable, tant du point de vue de la gestion des matériaux que de celui du développement durable.

Les méthodes actuelles de réutilisation ou de recyclage du vieil asphalte sont décrites dans les articles qui suivent. Le Basic Asphalt Recycling Manual de l'ARRA (ARRA, 2001) et les ABCs of Asphalt Pavement Recycling (OHMPA, 2003) de l'Ontario Hot Mix Producers Association (OHMPA) sont des ouvrages recommandés dans lesquels on pourra trouver des renseignements supplémentaires.

3. Description du travail

3.1 Techniques de réutilisation ou de recyclage du béton asphaltique.

Le recyclage de l'asphalte est devenu un élément clé de l'industrie routière canadienne et il est essentiel d'adopter la technologie appropriée pour s'assurer d'obtenir la qualité de chaussée souhaitée; il est également essentiel d'évaluer les propriétés des matériaux de recyclage pour faire en sorte que le problème qu'on est en train de corriger ne se répète pas.

3. Description du travail

3.1 Techniques de réutilisation ou de recyclage du béton asphaltique

Photo 3-1

Poste d'enrobage type à
fournée, à débits parallèles

Photo 3-2

Poste d'enrobage type à
fournée et à four tournant,
à écoulement à contre-
courant.



Photo 3-1 : Poste d'enrobage type à fournée, à débits parallèles.

Le transporteur à courroie à droite transfère le matériau CAR transformé vers le haut au centre, où il est introduit dans le malaxeur à tambour continu.

3.1.1 Recyclage en poste d'enrobage (enrobé à chaud recyclé)

L'utilisation d'une CAR transformée dans une usine de préparation d'asphalte à fournée, à four tournant ou combinant les deux modes précédents, pour produire un ECR est le mode le plus répandu de recyclage de l'asphalte et on considère qu'il s'agit d'une technologie standard au Canada et partout dans le monde (ACT, 1994; MTO, 1995; OCDE, 1997; FHWA, 2002; OHMPA, 2003, par exemple). Les deux types les plus répandus d'usines de préparation d'EPC capables d'incorporer un ECR sont illustrés dans les **photos 3-1 et 3-2**.

Dans le cadre d'un grand projet de réhabilitation de route ou d'autoroute, il se peut que le fraisage d'une partie de l'épaisseur de la surface existante ou l'enlèvement complet des couches de béton asphaltique produisent un volume substantiel de matériau CAR qui sera ensuite transformé (concassé et criblé), puis réincorporé directement dans un ECR pour être réutilisé dans le cadre du projet. Cependant, dans les grands centres urbains, le matériau CAR récupéré d'un certain nombre de petits projets d'asphaltage de chaussées ou d'asphaltage commercial peut être collecté et mis en dépôt à un endroit centralisé, habituellement à l'usine du producteur d'enrobés préparés à chaud, pour être ensuite réutilisé dans les mélanges d'ECR.

Il est important de bien transformer le matériau CAR de manière à obtenir des



Photo 3-2 : Poste d'enrobage type à fournée et à four tournant, à écoulement à contre-courant.

La trémie d'alimentation à froid de matériau CAR et le transporteur à courroie sont illustrés dans le coin droit.

propriétés mécaniques équivalentes à celles des matériaux vierges. Il faut un bon malaxage et un bon concassage pour obtenir une granulométrie et une teneur en ciment bitumineux uniformes. Cette forme de gestion du matériau CAR réduit au minimum les variations des propriétés des matériaux provenant de différentes sources, ce qui permet d'obtenir des dépôts de matériau relativement homogènes. Le matériau CAR est transformé (concassé et criblé) à l'aide d'une installation portable ou d'une opération de transformation intégrée qui peut traiter à la fois le matériau CAR et le nouvel enrobé à chaud. Une fois transformé, il est recommandé de le stocker dans un hangar ou un bâtiment dont les côtés sont ouverts, pour minimiser la teneur en eau et la variation au sein du dépôt; il n'est pas recommandé de recouvrir les dépôts de bâches, puisque cette pratique risque d'emprisonner l'humidité dans le dépôt.

Dans le cas d'un poste d'enrobage à fournée, on limite généralement la proportion du matériau CAR incorporé à moins de 30 % pour obtenir un séchage et un transfert de chaleur à partir du granulats surchauffés adéquats dans le malaxeur à axe vertical (de type « Pugmill »), et limiter les émissions de « fumée bleue ». Selon le volume de matériau CAR à incorporer dans l'ECR, il se peut que le grade de pénétration du nouveau ciment bitumineux doive être plus élevé, c.-à-d. que celui-ci doive être plus mou (que sa viscosité soit plus faible) afin de compenser pour le ciment

bitumineux « vieilli » et plus dur que contient le matériau CAR; cela n'est généralement pas nécessaire lorsque le taux d'ajout de matériau CAR est inférieur à environ 25 pour cent. Le besoin d'amollir le ciment bitumineux vieilli et de lutter contre les émissions « de fumée bleue » possibles limite à entre 40 et 60 pour cent la proportion du matériau CAR qu'il est possible d'incorporer dans un poste d'enrobage à four tournant (JEGEL, 1992; Earl et Emery, 1987).

La quantité maximale de matériau CAR permise dans un EPC varie quelque peu selon la province. Toutes les provinces, sauf la Nouvelle-Écosse et l'Île-du-Prince-Édouard, permettent l'utilisation de matériau CAR dans un EPC, à condition qu'on procède à des essais qui permettent de confirmer la qualité (pénétration/viscosité ou classement des performances, dans le cas d'un mélange Superpave ou du ciment bitumineux) et l'uniformité de la source du matériau CAR, et que l'ECR satisfasse à toutes les exigences des spécifications relatives au béton asphaltique. L'Ontario (OPSS 1150) limite la proportion de matériau CAR à un maximum de 15 pour cent dans un EPC de couche de roulement, à 30 pour cent dans les mélanges classiques de couche de liaison; la proportion peut atteindre 50 pour cent dans certaines situations, sous réserve des résultats d'essais de confirmation. Terre-Neuve permet 10 pour cent de matériau CAR uniquement dans les couches de nivellement, tandis que le Québec accepte jusqu'à 15 pour cent de matériau CAR dans un ECR. L'Alberta et le Nouveau-Brunswick permettent des niveaux d'ajout de matériau CAR plus élevés (30 et 40 pour cent [± 5 pour cent], respectivement). La Colombie-Britannique, la Saskatchewan et le Manitoba n'imposent aucune limite à la quantité de matériau CAR qu'on peut ajouter à un EPC.

Les étapes du dosage d'un mélange d'enrobé à chaud recyclé sont les suivantes :

- Obtenir des échantillons représentatifs du matériau CAR et déterminer les propriétés de ce dernier (granulométrie, teneur en ciment bitumineux, pénétration et viscosité du ciment bitumineux récupéré) en laboratoire;

- Doser le mélange selon la méthode Marshall en conformité avec les procédures MS-2 de l'AI, ou bien, dans le cas du dosage volumétrique d'un mélange Superpave, celui-ci doit être exécuté en conformité avec la version la plus récente (2003) des procédures MT-2 et PP-28 de l'AASHTO (le document NCHRP 452 intitulé Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method — Technician's Manual contient lui aussi des conseils techniques précis à l'intention des formulateurs de mélanges); et

- Effectuer des essais de contrôle de la qualité et d'assurance de la qualité (d'acceptation) durant la production et la mise en place d'un ECR pour confirmer qu'il respecte les exigences des spécifications.

La production d'EPC recyclés en poste d'enrobage est considérée comme une technologie standard. Tout ce qui empêche que l'usage en soit plus répandu, c'est le manque actuel de postes d'enrobage à chaud convenablement équipés pour recevoir le matériau CAR et prévenir les émissions atmosphériques possibles (principalement la « fumée bleue », surtout lorsque la proportion de matériau CAR est élevée) dans certaines régions du Canada.

3.1.2 Thermorégénération

En thermorégénération, la surface du vieux revêtement en asphalte est chauffée, amollie et scarifiée sur une épaisseur variant de 20 à 60 mm; le matériau scarifié est ensuite remalaxé, mis en place et compacté dans le cadre d'un procédé en place continu. On peut aussi ajouter de nouveaux granulats, du nouveau ciment bitumineux, des agents de recyclage ou des agents amollissants, ou un nouvel EPC (communément appelé « adjuvant ») pour améliorer les propriétés mécaniques du revêtement existant et augmenter sa capacité structurale (dans le cas d'une épaisseur de traitement totale pouvant atteindre 75 mm). Les dégradations de chaussée qu'il est possible de traiter par thermorégénération incluent : le ressuage, l'arrachement, l'orniérage, les bourrelets, la mauvaise adhérence (macrotexture et microtexture),

3. Description du travail

- 3.1 Techniques de réutilisation ou de recyclage du béton asphaltique

Toutes les provinces, sauf la Nouvelle-Écosse et l'Île-du-Prince-Édouard, permettent l'utilisation de matériau CAR dans un EPC, à condition qu'on procède à des essais qui permettent de confirmer la qualité et l'uniformité de la source du matériau CAR, et que l'ECR satisfasse à toutes les exigences des spécifications relatives au béton asphaltique.

3. Description du travail

3.1 Techniques de réutilisation ou de recyclage du béton asphaltique

Photo 3-3

Chaîne actuelle de recyclage en place par thermorégénération en train de réhabiliter une chaussée municipale en une seule passe (2002).



Photo 3-3 : Chaîne actuelle de recyclage en place par thermorégénération en train de réhabiliter une chaussée municipale en une seule passe (2002).

Trois préchauffeurs à chaleur rayonnée de faible intensité et à soufflerie d'air chaud mènent la chaîne de thermorégénération (côté gauche de la photo), suivis par la réchauffeuse-fraiseuse; le nouvel EPC est chargé dans une trémie à l'avant de l'appareil de recyclage en place, où il est alimenté et mélangé au matériau du revêtement existant, puis réparti par la finisseuse. On utilise du matériel de compactage d'EPC classique pour compacter simultanément le mélange obtenu par thermorégénération.

Les nouveaux préchauffeurs de troisième génération à chaleur rayonnée de faible intensité et à soufflerie d'air chaud ont permis de surmonter les problèmes de qualité et d'épaisseur associés à la scarification avec appareil de chauffage.

la fissuration longitudinale ou transversale et les remontées de fissures (Emery et coll., 1989; MacKay et Emery, 1989; Kazmierowski et coll., 1994; Dunn et coll., 1997).

Il existe trois types de traitements par thermorégénération (MacKay et Emery, 1989):

■ **Recyclage en surface** — pour améliorer le profil d'une couche de roulement en asphalte déformée par l'orniérage ou l'usure, mais en état comparativement non vieilli et ne présentant que des fissures mineures (aucun rajeunissement requis). Le recyclage en surface consiste à chauffer, à scarifier, à niveler, à reprofiler et à compacter le mélange.

■ **Recyclage en place** — pour améliorer la qualité d'une vieille surface de roulement fissurée en y ajoutant un agent de recyclage ou un produit régénérateur, un granulats ou un nouvel enrobé préparé à chaud. Le recyclage en place entraîne le chauffage, la scarification (avec malaxage des granulats et ajout d'un produit régénérateur ou d'un nouvel enrobé préparé à chaud), le malaxage, le nivelage, le reprofilage et le compactage.

■ **Pose d'un nouveau revêtement** — pour améliorer le profil d'une surface de roulement en asphalte sérieusement déformée par l'orniérage ou l'usure, améliorer les caractéristiques d'adhérence ou procurer un certain renforcement. La pose d'un nouveau revêtement entraîne le chauffage, la scarification (avec l'ajout au besoin d'un produit régénérateur, de granulats ou d'un nouvel enrobé préparé à chaud), le malaxage, le nivelage et la pose d'un nouvel enrobé à chaud, le reprofilage et le compactage, le tout en une seule passe.

Il est recommandé de bien évaluer la chaussée pour déterminer avec précision la ou les causes de la dégradation et choisir ensuite le procédé de thermorégénération qui convient le mieux à l'état de la chaussée. La caractérisation des matériaux et la formulation du mélange par un laboratoire qualifié et chevronné, conjointement avec l'exécution d'essais de vérification du contrôle de la qualité (CQ) et de l'assurance de la qualité (AQ) durant les travaux de réhabilitation, sont des éléments essentiels de la réussite d'un projet de thermorégénération. Le matériel de thermorégénération le plus récent est illustré dans la **photo 3-3** (Martec, 2002).

La technologie de la thermorégénération évolue régulièrement et la qualité générale ainsi que le comportement des chaussées reconstituées à l'aide du procédé s'améliorent sans cesse. Les nouveaux préchauffeurs de troisième génération à chaleur rayonnée de faible intensité et à soufflerie d'air chaud ont permis de surmonter les problèmes de qualité et d'épaisseur associés à la scarification avec appareil de chauffage, ce qui a permis d'augmenter l'épaisseur de traitement sans qu'il y ait détérioration (vieillesse) du ciment bitumineux existant, notamment des ciments bitumineux modifiés par des polymères. Le matériel a également permis de réduire « la fumée bleue » (facteur d'émissions) à un niveau inférieur à celui lié aux postes d'enrobage à chaud classiques (EPA/FHWA/Martec, 2003).

Au moment de déterminer si on doit utiliser la thermorégénération, il faut savoir que la technique convient mieux aux longs bouts droits de chaussée ne comportant que peu de virages, puisque la chaîne est assez longue. De même, le concepteur doit tenir compte de la hauteur libre et du nombre d'ouvrages d'accès aux services publics que contient le bout droit de chaussée.

3.1.3 Recyclage à froid en place

Le recyclage à froid en place (RFP) est un procédé de réhabilitation en place de surfaces en asphalte (aussi bien de chaussée souple que de chaussée composite) sur une épaisseur pouvant atteindre 150 mm. Le vieil asphalte est fraisé jusqu'à une profondeur déterminée, mélangé à une émulsion de bitume, puis remis en place au niveau et au profil requis. On applique un traitement de surface ou une couche d'usure faite d'un enrobé préparé à chaud après que le mélange obtenu par RFP ait bien durci. Le mûrissage d'un mélange recyclé à froid en place dépend énormément des types d'émulsion utilisés et des conditions météorologiques. En général, le mûrissage peut prendre de deux à six semaines mais les températures froides peuvent l'affecter considérablement.

Le procédé est largement utilisé par les villes, les organismes ruraux, les provinces et les États américains, et il existe au Canada un certain nombre d'entrepreneurs spécialisés et qualifiés qui possèdent un matériel dernier cri et une expérience confirmée dans l'exécution de projets municipaux. Il est possible d'envisager de recourir au recyclage à froid en place des chaussées qui présentent les dégradations suivantes : fissurations longitudinales ou transversales; ressuage, usure ondulatoire; problèmes possibles de liaisonnement; arrachement; orniérage; affaissement des accotements; et bourrelets. Le mélange obtenu par RFP est relativement dur et les vides interstitiels sont nombreux, et il est par conséquent efficace pour ce qui est d'atténuer les remontées de fissures. Utilisé à l'origine surtout pour la réhabilitation de routes à faible débit de circulation, le RFP est maintenant considéré comme une technique éprouvée à l'intention des chaussées dont le DJMA (les ÉCAS) est plus élevé.

Le procédé de RFP entraîne le fraisage ou le meulage de la surface en asphalte existante sur une épaisseur qui varie généralement entre 75 et 125 mm, la transformation ou le malaxage du matériau CAR pulvérisé (avec ajout d'un granulat correctif, s'il y a lieu, d'eau et d'une émulsion, plus l'ajout de ciment [de 1 à 3 pour cent] ou de chaux [de 1 à 2 pour cent] pour augmenter la stabilité du mélange et réduire les possibilités de désenrobage, si nécessaire), le compactage avec de l'eau, ce qui aide à densifier le matériau, et la densification lorsque la teneur en eau est en équilibre avec les conditions ambiantes et les environs. La résistance et la dureté du mélange obtenu par RFP continuent à augmenter avec le temps. Après qu'il ait complètement durci, il faut recouvrir le mélange obtenu par RFP d'une couche d'usure (enrobé préparé à chaud classique ou autre couche de surface, selon le DJMA).

L'utilisation d'une méthode « Marshall à froid » standard pour la formulation des mélanges RFP est très répandue. Il est important que la formulation de ce type de mélange soit effectuée par un laboratoire qualifié ayant

3. Description du travail

- 3.1 Techniques de réutilisation ou de recyclage du béton asphaltique

Il existe au Canada un certain nombre d'entrepreneurs spécialisés et qualifiés qui possèdent un matériel dernier cri et une expérience confirmée dans l'exécution de projets municipaux.

3. Description du travail

- 3.1 Techniques de réutilisation ou de recyclage du béton asphaltique

Photo 3-4

Projet RFP exécuté en Ontario en 2000.

Photo 3-5

Projet RFP avec ajout de laitier de ciment, exécuté en Ontario en 1999.

La couche d'enrobé à froid doit alors être plus épaisse que celle de l'enrobé à chaud posé dans les mêmes conditions.

l'expérience du RFP, à l'aide d'échantillons représentatifs de l'asphalte existant provenant de chaque tronçon (fraisures ou carottes [privilégiées]). Une nouvelle façon d'aborder la formulation des mélanges RFP, fondée sur le compacteur giratoire SHRP, est actuellement en cours d'élaboration (Emery, 2003).

Il est recommandé de procéder à l'évaluation de la chaussée dans le but de déterminer si celle-ci se prête de façon générale au traitement RFP, de même que les exigences précises relatives au procédé. La caractérisation des matériaux et la formulation du mélange par un laboratoire chevronné et qualifié, conjointement avec des essais de vérification du contrôle de la qualité (CQ) et de l'assurance de la qualité (AQ) effectués durant les travaux de réhabilitation, sont des éléments essentiels de la réussite d'un projet RFP. Dans des conditions de performance comparables, les couches d'enrobés à froid sont normalement plus épaisses que les couches d'enrobés à chaud semblables.

Parmi les modifications au RFP élaborées dans le but d'améliorer l'aspect économique de la méthode ou de tenir compte de conditions spéciales, on retrouve l'ajout de granulats correctifs complémentaires, d'émulsions spéciales et de laitier de ciment ou de lait de chaux. Le matériel RFP type utilisé dans le cadre des projets municipaux au Canada (en Ontario) est illustré dans les **photos 3-4** et **3-5** suivantes :



Photo 3-4 : Projet RFP exécuté en Ontario en 2000.

Cette chaîne de recyclage à quatre éléments se compose d'une citerne d'émulsion, d'une fraiseuse, d'une machine de concassage et de criblage du matériau CAR, et d'un malaxeur à axe vertical ou d'un finisseur informatisé.

On a utilisé le recyclage à froid en place de la chaussée existante recouverte d'une couche de roulement faite d'un enrobé préparé à chaud et formulé de manière à respecter les exigences du système Superpave, pour améliorer la durabilité et minimiser les remontées de fissures et la fissuration thermique. On est en train de mettre au point le RFP de la chaussée existante, conjointement avec la mise en place d'une surface d'usure faite d'un mélange préparé à froid à texture ouverte, de manière à obtenir un système « à froid total ». Ce genre de système pourrait intéresser les administrations dans les régions éloignées dans lesquelles il n'y a aucun poste d'enrobage à chaud à proximité immédiate des travaux.

3.1.4 Recyclage à froid en poste d'enrobage

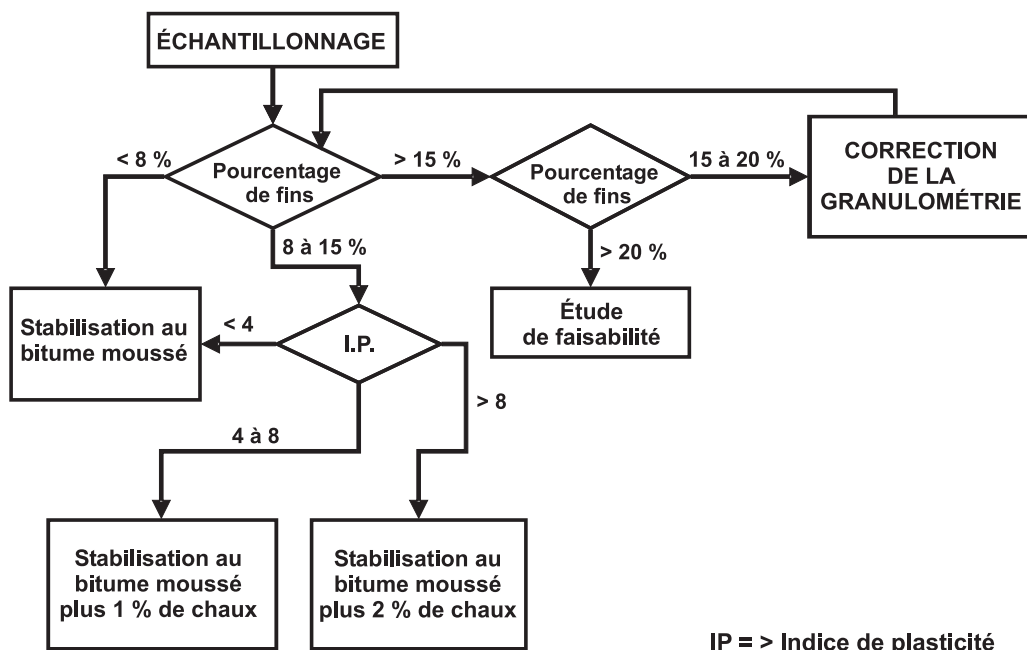
Le recyclage à froid en poste d'enrobage (RFPE) donne le même produit final que le recyclage à froid en place. Le matériau CAR provenant de la chaussée, ou de dépôts homogènes centralisés, est transformé (conconcassé ou criblé), puis introduit dans un poste d'enrobage, dans lequel on ajoute et on mélange l'émulsion de bitume et les additifs. Le mélange RFPE est ensuite transporté sur les lieux de l'asphaltage et mis en place à l'aide du matériel classique utilisé dans le cas d'un enrobé préparé à chaud ou d'un ECR. Le recyclage à froid en poste d'enrobage doit



Photo 3-5 : Projet RFP avec ajout de laitier de ciment, exécuté en Ontario en 1999.

On a ajouté à la chaîne de recyclage RFP une citerne de laitier de ciment, qui permet au malaxeur à axe vertical ou au finisseur d'ajouter du laitier au mélange.

Figure 3-1 : Arbre de décision relatif à la détermination de l'ajout de chaux à la stabilisation au bitume moussé (JEGEL, 2002).



être envisagé lorsqu'il existe d'importants dépôts de matériaux CAR de grande qualité rapidement et facilement utilisables ou lorsqu'il n'est peut-être pas faisable de recycler la chaussée existante en place en raison de sa variabilité, au lieu d'un enrobé à chaud, ou lorsqu'on ne dispose d'aucun matériel de recyclage en place. L'utilisation des fondations faites d'une couche d'enrobé à froid sous l'asphalte des routes à basse circulation. La couche d'enrobé à froid doit alors être plus épaisse que celle de l'enrobé à chaud posé dans les mêmes conditions. Les enrobés à froid peuvent aussi être utilisés dans l'amélioration des routes en gravier à un coût beaucoup moins élevé que les enrobés à chaud.

Le RFPE requiert les mêmes procédures de formulation et méthodes d'inspection et d'essais de la CQ et de l'AQ que le RFP.

3.1.5 Valorisation intégrale

Les municipalités canadiennes peuvent utiliser différentes techniques de valorisation intégrale (VI), notamment : le malaxage-pulvérisation ou le retraitement en place (sans stabilisation); la VI avec stabilisation bitumineuse (à l'aide d'une émulsion de bitume [normale, à flottabilité élevée, modifiée par des polymères] ou de

bitume moussé); la VI avec stabilisation chimique (à l'aide de systèmes cimentaires tels que le ciment Portland, les cendres volantes, la chaux [hydroxyde de calcium ou chaux vive], poussière de four à ciment ou poussière de four à chaux, ou d'additifs tels que le chlorure de calcium ou le chlorure de magnésium); ou la VI avec stabilisation mécanique (par ajout d'un granulats correctif).

La valorisation intégrale entraîne la pulvérisation et le malaxage en place de toute l'épaisseur du revêtement en asphalte et d'une partie prédéterminée des matériaux sous-jacents (fondation supérieure, fondation inférieure et infrastructure de la chaussée) de manière à obtenir un matériau de fondation homogène (ARRA, 2001). La valorisation intégrale garantit l'atténuation des remontées de fissures en éliminant les fissures déjà existantes. Il est possible d'améliorer structurellement par stabilisation le matériau de fondation obtenu par pulvérisation et malaxage.

La forme la plus répandue de VI inclut la stabilisation bitumineuse au bitume moussé. Jusqu'à tout récemment, l'utilisation de cette technique n'était pas très répandue au Canada (Dawley et coll., 1993; ATC, 1994), mais elle croît rapidement (Brown et coll., 2000; Donovan et Stefaniw, 2003; Emery et

3. Description du travail

3.1 Techniques de réutilisation ou de recyclage du béton asphaltique

Figure 3-1

Arbre de décision relatif à la détermination de l'ajout de chaux à la stabilisation au bitume moussé (JEGEL, 2002).

3. Description du travail

3.1 Techniques de réutilisation ou de recyclage du béton asphaltique

Photo 3-6

Projet RFP exécuté en Ontario en 2000.

Photo 3-7

Appareil classique de stabilisation intégrale au bitume moussé.



Photo 3-6 : Appareil classique de stabilisation intégrale au bitume moussé.

Le bitume moussé est ajouté au matériau de base pulvérisé au préalable et mélangé avec celui-ci dans la chambre de fraisage, puis évacué. Le mélange stabilisé est réparti sur toute la voie au niveau requis à l'aide d'une niveleuse. Il est ensuite compacté avec du matériel vibratoire lourd.

Uzarowski, 2003; Johnston et coll., 2003; Lane et Kazmierowski, 2002). Les **photos 3-6** et **3-7** illustrent deux procédés de stabilisation au bitume moussé actuellement en usage. Le principal avantage de la stabilisation au bitume moussé tient au fait que la fondation (compactée) résultante peut être recouverte après aussi peu que 48 heures en comparaison avec la période de 2 à 6 semaines requise dans le cas du recyclage à froid en place. Cela est très avantageux pour les municipalités qui doivent exécuter les travaux rapidement et ne peuvent laisser la fondation non revêtue pendant longtemps.

La valorisation intégrale avec stabilisation au bitume moussé comprend la pulvérisation intégrale de la chaussée existante, suivie de l'ajout (à un taux se situant généralement entre 2 et 3,5 pour cent) de bitume moussé qui est malaxé avec le matériau pulvérisé de façon à créer une fondation stabilisée. Selon les propriétés du matériau qui fait l'objet de la stabilisation, il est possible d'améliorer la VI en ajoutant de la chaux ou du ciment Portland (JEGEL, 2002). On peut ajouter de un à deux pour cent de chaux, au besoin, sous réserve de la plasticité du matériau de la fondation supérieure ou inférieure granulaire, ou de l'infrastructure de chaussée, qui doit être stabilisée, pour augmenter la stabilité du



Photo 3-7 : Chaîne au bitume moussé de recyclage de couche de surface posée au finisseur.

La chaîne au bitume moussé avec pose au finisseur comprend une fraiseuse, un appareil de criblage et de pesée du granulat, un malaxeur à axe vertical et un épandeur d'asphalte servant à transformer le revêtement en asphalte existant en une seule passe. Considéré comme un procédé de recyclage en surface, ordinairement pas de recyclage intégral.

mélange ou améliorer sa résistance aux dommages causés par l'humidité ou au désherbage (**figure 3-1**). Quand le matériau de base ne contient pas de fraction fine convenant à la stabilisation à la chaux ou s'il faut augmenter la stabilité du matériau, on peut ordinairement ajouter de un à trois pour cent de ciment Portland au procédé. L'épaisseur du traitement varie selon l'épaisseur de la structure de chaussée existante, mais elle varie généralement de 100 à 300 mm (de 4 à 12 pouces). On peut ajouter au besoin un matériau granulaire ou CAR correctif (stabilisation mécanique) pour augmenter la capacité structurale de la chaussée.

Parmi les principaux avantages de la stabilisation au bitume moussé, mentionnons : la facilité d'utilisation dans divers environnements municipaux ou d'autoroutes; la mise en place d'une couche souple avec bonnes propriétés de résistance à l'orniérage et à la fatigue; la possibilité de corriger le profil de la chaussée; et l'atténuation des remontées de fissures.

La formulation d'un mélange au bitume moussé doit être exécutée par un laboratoire d'asphalte qualifié et chevronné. Les propriétés d'expansion du ciment du bitume moussé (taux d'expansion et demi-vie avec pourcentage d'eau injectée) sont déterminées en laboratoire et la formulation du mélange

Le principal avantage de la stabilisation au bitume moussé tient au fait que la fondation (compactée) résultante peut être recouverte après aussi peu que 48 heures en comparaison avec la période de 2 à 6 semaines requise dans le cas du recyclage à froid en place.

au bitume moussé est élaborée en fonction du coefficient optimal de résistance à la traction (coefficient de résistance à la traction, résistance à l'humidité). Il existe plusieurs méthodes de formulation similaires qui reposent essentiellement sur la procédure Wirtgen (Wirtgen Cold Recycling Manual, 1998).

Une bonne vérification du contrôle de la qualité (CQ) et de l'assurance de la qualité (AQ) (acceptation), tant du ciment que du mélange au bitume moussé, durant le projet est essentielle à la réussite de ce dernier. Durant la construction, on surveille la température du ciment bitumineux, le pourcentage d'eau injectée, le coefficient d'expansion et la demi-vie afin de réguler le procédé.

La technologie et le matériel de valorisation intégrale avec stabilisation à l'aide de systèmes chimiques ou cimentaires sont eux aussi très répandus au Canada. Les **photos 3-8** et **3-9** illustrent deux projets de valorisation intégrale qui démontrent l'utilisation d'hydroxyde de calcium ou de ciment Portland pour stabiliser la fondation supérieure ou inférieure granulaire et l'infrastructure de chaussée qui ont été pulvérisées intégralement.

Dans le cadre d'un récent projet de recherche exécuté par l'Université Laval, au Canada, un tronçon de chaussée de la ville de Québec a été réhabilité par pulvérisation et malaxage de la chaussée en asphalte existante et des fondations supérieure et inférieure granulaires

sous-jacentes, sur une épaisseur de 500 mm (Tighe et coll., 2001). On a alors ajouté un laitier de ciment Portland au mélange pulvérisé en place (à des teneurs en ciment relativement élevées de 9, de 12 et de 15 pour cent en masse sèche), qu'on a ensuite compacté à l'aide des méthodes classiques de densification des chaussées. Ce projet-pilote de valorisation intégrale avec laitier de ciment a effectivement permis d'obtenir une base en béton compactée au rouleau. De la même façon, la stabilisation au ciment a été utilisée avec succès pour réhabiliter une importante artère à Verdun, au Québec (Bernard, 1997), et ce type de procédé a été adopté pour d'autres chaussées municipales du Québec.

Comme dans le cas de la stabilisation au bitume, on peut combiner la stabilisation chimique elle aussi à un ou à plusieurs procédés de stabilisation au bitume ou mécanique pour obtenir le produit final optimal qui respecte les exigences du projet. La stabilisation chimique commence elle aussi par la pulvérisation intégrale de la chaussée existante, suivie de la stabilisation chimique (ordinairement de 3 à 5 pour cent de chaux ou de ciment Portland, selon la résistance requise; on peut aussi envisager d'ajouter des cendres volantes comme matériau cimentaire complémentaire, ou de la pouz-zolane). L'épaisseur du traitement dépend de la capacité de compacter le matériau stabilisé et peut atteindre 500 mm (20 pouces).



Photo 3-8 : Valorisation intégrale avec stabilisation à la chaux.

La chaussée Hato Mayor-Sabana de la Mar, en République Dominicaine, exigeait la stabilisation à la chaux des sols latéritiques avant le resurfaçage.



Photo 3-9 : Valorisation intégrale avec stabilisation au ciment

Sur le Natchez Trace Parkway, au Mississippi, on a employé la stabilisation au ciment pour éliminer des conditions variables de fondation et d'infrastructure humides et molles.

3. Description du travail

- 3.1 Techniques de réutilisation ou de recyclage du béton asphaltique

Photo 3-8

Valorisation intégrale avec stabilisation à la chaux.

Photo 3-9

Valorisation intégrale avec stabilisation au ciment.

Une bonne vérification du contrôle de la qualité (CQ) et de l'assurance de la qualité (AQ) (acceptation), tant du ciment que du mélange au bitume moussé, durant le projet est essentielle à la réussite de ce dernier.

3. Description du travail

- 3.1 Techniques de réutilisation ou de recyclage du béton asphaltique
- 3.2 Techniques de réutilisation ou de recyclage du béton

Le béton récupéré (BR) provient de la démolition de chaussées en béton, de trottoirs, de bordures-caniveaux, de voies de roulement et d'ouvrages de transport, surtout dans les zones urbaines.

Les chaussées qui présentent du faiencage à mailles larges, des fissures latérales, des fissures longitudinales ou transversales, ou un décollement du revêtement; du ressuage; une capacité structurale inadéquate; du désenrobage; et des déformations permanentes (tôle ondulée, ornières, bourrelets) peuvent être considérées comme candidates à la valorisation intégrale.

Il est recommandé d'effectuer l'évaluation de la chaussée (de la façon décrite plus en détail dans l'article 5 de la meilleure pratique) de manière à déterminer si celle-ci se prête de façon générale au traitement par VI, de même que les exigences précises relatives au procédé. La caractérisation des matériaux et la formulation du mélange par un laboratoire qualifié et chevronné, conjointement avec l'exécution d'essais de vérification du contrôle de la qualité (CQ) et de l'assurance de la qualité (AQ) durant les travaux de réhabilitation, sont des éléments essentiels de la réussite d'un projet de valorisation intégrale.

3.2 Techniques de réutilisation ou de recyclage du béton

La réutilisation et le recyclage du béton récupéré des chaussées, des trottoirs, des bordures et des bordures-caniveaux sont des pratiques bien établies. Ce genre de béton est recyclable à 100 pour cent dans des cas d'utilisation liés à la construction de chaussées, tels que les fondations supérieure et inférieure, il peut aussi être utilisé comme granulats dans les mélanges de béton de ciment Portland ou transformé en place à l'aide des techniques de fracturation. La fracturation sera effectuée dépendant de l'état du recouvrement de béton et des conditions environnementales à laquelle il fut assujéti. Le document ne traite pas de la réutilisation en place des chaussées en béton par l'application des techniques CPR3 (remise en état, resurfaçage et reconstruction). On peut trouver les détails de ce procédé de remise en état et de resurfaçage des chaussées en béton dans le manuel de référence des techniques de préservation des chaussées (InfraGuide, 2005) et on doit examiner la

possibilité d'utiliser celui-ci avant les autres choix en matière de réutilisation ou de recyclage mentionnés ci-dessous.

3.2.1 Béton récupéré utilisé comme matériau de fondation supérieure ou inférieure granulaire

Le béton de ciment Portland est normalement produit à l'aide de granulats grossier et fin de grande qualité qui conviennent bien au recyclage. L'utilisation de béton recyclé comme granulats de construction ou matériau de remblai est une pratique bien établie et on considère qu'il s'agit tout compte fait de la pratique normale (ATC, 1994; OCDE, 1997; FHWA, 1997; FHWA, 2004; Melton, 2004); par exemple, le BR est mentionné comme source de granulats approuvée dans les spécifications types provinciales de l'Ontario (OPSS), soit les spécifications 1001 (Aggregates—General) et 1010 (Aggregates—Granular A, B, M and Select Subgrade Material), depuis la fin des années 1980. Le concassage et le criblage du BR donnent un matériau angulaire bien proportionné et concassé à 100 pour cent dont la résistance est élevée lorsqu'il est utilisé dans la fondation supérieure d'une chaussée (équivalent à des granulats naturels concassés à 100 pour cent) et qui présente de bonnes propriétés en matière de drainage.

Le béton récupéré (BR) provient de la démolition de chaussées en béton, de trottoirs, de bordures-caniveaux, de voies de roulement et d'ouvrages de transport, surtout dans les zones urbaines. Le béton de ciment Portland provenant des fondations, des murs et des dalles de plancher récupérés durant la démolition de bâtiments peut lui aussi être envisagé, mais quand ils ne sont pas séparés avec soin selon la source, ces matériaux peuvent contenir des déchets de construction ou de démolition, tels que de la brique, du bois, du placoplâtre, du verre, du plastique, des revêtements (ignifuges ou contre l'humidité, par exemple) et d'autres matériaux qui ne conviennent généralement pas aux granulats utilisés en construction. Il est par conséquent recommandé de bien évaluer tous les déchets de construction ou de démolition

qu'on envisage d'utiliser comme granulats, pour s'assurer qu'ils respectent les normes appropriées, avant de les utiliser.

Après la transformation (concassage et criblage, et enlèvement du métal), le BR peut être réutilisé comme matériau de fondation granulaire, supérieure ou inférieure. Il peut aussi inclure du vieil asphalte provenant de chaussées composites (asphalte sur béton); pour des considérations liées à la résistance, la proportion de vieil asphalte qu'il est possible d'inclure dans une fondation inférieure en BR est généralement limitée à environ 30 à 50 pour cent en masse. Par exemple, en fonction des résultats de recherches effectuées par le MTO (Senior, 1992) indiquant que l'indice portant californien (CBR) du granulat naturel ou recyclé du béton diminue avec l'augmentation du contenu en matériau CAR, la spécification OPSS 1010 limite la proportion des particules enrobées d'asphalte dans une fondation supérieure en matériau granulaire A ou une fondation inférieure de type 1 en matériau granulaire B à 30 pour cent en masse. Le béton récupéré a également été utilisé comme granulat dans du béton maigre, des fondations stabilisées au ciment et des mélanges sol-ciment (CAC, 2002).

L'opération type de transformation du béton récupéré consiste à : briser les gros morceaux et les grandes dalles de béton à l'aide d'une grue et d'une boule, de concasseurs hydrauliques ou pneumatiques (pelle rétrocaveuse avec bélier hydraulique, par exemple), des moutons diesel, etc.; enlever l'acier d'armature; procéder à un concassage et à un dimensionnement primaires (le plus souvent à l'aide de concasseurs à mâchoires); et procéder au concassage secondaire (concasseurs à cône, à cylindres ou à impact) et au criblage final. Le circuit de concassage et de criblage peut aussi inclure un séparateur magnétique qui permet d'enlever ou de récupérer d'autres métaux (comme ferraille susceptible de constituer une source de revenus supplémentaire qui pourra réduire partiellement les coûts de transformation), et des rampes d'épandage servant à la lutte contre les poussières. Le circuit de

concassage utilisé peut être portable ou permanent, selon le volume de béton récupéré dont on dispose.

3.2.2 Granulat fait de béton recyclé

Le béton recyclé a aussi été utilisé comme granulat dans les enrobés préparés à chaud (ATC, 1994) et le béton de ciment Portland (FHWA, 1997; FHWA, 2004; Kasai, 2004).

On utilise généralement l'expression *granulat fait de béton recyclé* lorsqu'on parle du BR transformé qui est utilisé comme granulat dans les mélanges de béton recyclé (« nouveau » béton de ciment Portland fabriqué à l'aide de granulats faits de béton recyclé). L'absorption d'un granulat fait de béton recyclé est plus élevée que celle d'un granulat naturel classique et ce genre de granulat donne généralement un béton dont la résistance à un rapport eau-ciment équivalent et l'affaissement sont inférieurs à ceux que permettent d'obtenir les granulats classiques (JEGEL, 1992). Quand on utilise un granulat fin fait de béton recyclé, la maniabilité du béton frais diminue elle aussi. De plus, les matières potentiellement dangereuses, telles que les sulfates (provenant du vieux plâtre, par exemple), les chlorures et les granulats qui régissent aux alcalis, doivent être strictement contrôlées.

Quand on fait bien attention à l'étape de la formulation du mélange, on peut obtenir un béton de qualité à l'aide de granulats faits de béton recyclé. Il se peut que l'absorption plus élevée des granulats faits de béton recyclé exige qu'on modifie la teneur en eau et en ciment Portland pour obtenir le rapport eau-ciment approprié qui permettra de fabriquer un béton résistant et durable (ECCO, 1999; CAC, 2002; Kasai, 2004). En raison de leur absorption élevée, il est recommandé d'arroser les granulats faits de béton recyclé avant de les utiliser (FHWA, 1997; Kasai, 2004).

L'utilisation d'un granulat fait de béton recyclé dans le béton de ciment Portland peut être particulièrement appropriée aux endroits où il y a pénurie de granulats naturels d'assez bonne qualité pour être utilisés dans le béton de qualité. Cependant, au Canada, le BR transformé a été utilisé principalement dans les fondations inférieures granulaires dans

3. Description du travail

3.2 Techniques de réutilisation ou de recyclage du béton

Cependant, au Canada, le BR transformé a été utilisé principalement dans les fondations inférieures granulaires dans les zones urbaines où les coûts d'approvisionnement et de transport favorisent ce genre d'utilisation (JEGEL, 1992).

3. Description du travail

3.2 Techniques de réutilisation ou de recyclage du béton

Photo 3-10

Concasseurs à résonance en opération dans le comté d'Oxford, en Ontario.

La fracturation est une technique de réhabilitation en place qui prévoit le cassage de la chaussée en béton en morceaux dont les dimensions maximales nominales sont d'environ 75 mm ou moins au-dessus et de 200 mm ou moins au-dessous de toute armature (AI, 2000).

les zones urbaines, où les coûts d'approvisionnement et de transport favorisent ce genre d'utilisation (JEGEL, 1992).

3.2.3 Fracturation

La fracturation est une technique de réhabilitation en place qui prévoit le cassage de la chaussée en béton en morceaux dont les dimensions maximales nominales sont d'environ 75 mm ou moins au-dessus et de 200 mm ou moins au-dessous de toute armature (AI, 2000). Le procédé permet d'obtenir une couche de fondation résistante à l'orniérage et à structure solide, qui prévient les remontées de fissures (en éliminant les dégradations et les joints de la chaussée en béton existante) et qui peut ensuite être recouverte d'asphalte ou de béton de ciment Portland. Un bon drainage est essentiel à la réussite d'un projet de fracturation. Dans les zones dans lesquelles l'infrastructure de chaussée est faible ou la nappe phréatique, élevée, le réseau de drainage doit être en fonction le plus longtemps possible avant la fracturation de manière à rendre l'infrastructure la plus stable possible (Wolters, 2003).

Les deux types de matériel de fracturation les plus répandus sont les concasseurs à résonance et les concasseurs à têtes multiples. Les premiers (**photo 3-10**) produisent des coups à haute fréquence et de faible

amplitude en faisant vibrer une grosse poutre d'acier raccordée à un pied dont la largeur peut varier de 150 à 300 mm. On déplace le pied le long de la surface de la chaussée en béton en plusieurs passes de manière à fracturer la chaussée sur toute la largeur.

Les concasseurs à têtes multiples emploient un certain nombre de gros moutons de battage (de 550 à 675 kg) disposés sur deux rangées, la moitié sur la rangée avant et les autres, décalés en diagonale sur la rangée arrière. Chaque paire de moutons est attachée à un dispositif de levage hydraulique généralement capable de produire entre 30 et 35 impacts par minute et de générer entre 2 000 et 12 000 pieds-livres d'énergie, selon la hauteur de chute choisie. Les concasseurs à têtes multiples peuvent fracturer jusqu'à 3,95 m de large sur 1,6 km de voie par quart de travail.

Durant le procédé, la chaussée en béton est fracturée en petits morceaux (généralement de 50 à 150 mm). L'efficacité du matériel de fracturation pour ce qui est de produire les grosseurs de particules souhaitées est également fonction de l'état de la fondation supérieure ou inférieure sous-jacente, les petits morceaux étant plus faciles à obtenir lorsque la fondation ou l'infrastructure de chaussée est ferme et stable (Wolters, 2003).



Photo 3-10 : Concasseurs à résonance en opération dans le comté d'Oxford, en Ontario.

On a employé sur ce projet trois concasseurs à résonance se déplaçant en formation échelonnée et fracturant 450 mm de chaussée en béton par passe.

Avant la pose du tapis d'enrobés ou de béton, le béton fracturé doit être compacté par au moins trois passes d'un rouleau vibreur à haute fréquence dont la face est munie de barres formant des Z (Al, 2000; Wolters, 2003). Cela pulvérise encore plus la surface de la couche fracturée.

L'épaisseur du tapis d'enrobés ou de béton posé sur le matériau de fondation fracturé doit être bien dimensionnée de manière à respecter les exigences structurales de la chaussée.

La fracturation est une méthode techniquement éprouvée et rentable qui permet de recycler ou de réutiliser à 100 p. 100 une chaussée en béton existante.

3.3 Recyclage du sable d'hiver

Le sable d'hiver, c'est le matériau enlevé des chaussées par les balayeuses de rues le printemps après les opérations d'épandage de sable (généralement des mélanges de sel et de sable) et de déglçage, dans le cadre des opérations d'entretien périodique visant à prévenir la poussière et à minimiser les charges de sédiments qui se retrouvent dans les cours d'eau naturels. Sur une route rurale ou une chaussée dont les accotements sont faits d'un matériau granulaire, le sable est généralement poussé sur l'accotement. Cependant, dans les zones urbaines et sur les autoroutes avec terre-plein central et accotements asphaltés, le sable d'hiver est enlevé par des véhicules aspirateurs. Une partie du sable et d'autres débris sont également enlevés de la surface de la chaussée par lavage et s'accumulent dans les puisards et leur conduite de raccordement, et dans les fossés en bordure des routes, aussi bien en milieu urbain qu'en milieu rural. Le nettoyage périodique des puisards de rue et des fossés produit des matériaux supplémentaires (le matériau provenant du nettoyage des puisards et celui provenant du nettoyage des fossés) qu'on peut également envisager de réutiliser ou de recycler (MTO, 1995).

Le nouveau sable d'hiver épandu sur la surface des routes pour améliorer l'adhérence dans le cadre des travaux d'entretien d'hiver

des revêtements routiers a tendance à être de qualité relativement élevée, à être constitué de granulats durables (sable ou roche concassé) et à présenter des propriétés physiques traitées dans des spécifications telles que la spécification OPSS 1004 de l'Ontario. Les exigences physiques (résistance à l'abrasion et à l'attrition) relatives au nouveau sable d'hiver sont semblables à celles prescrites pour l'agrégat fin des enrobés préparés à chaud et le sable à béton; il y a pénurie de ce type de sable dans de nombreuses régions du Canada et celui-ci coûte par conséquent cher. La grosseur de particule maximale est limitée à environ 9,5 mm (pour prévenir les dommages causés aux pare-brise par les pierres projetées en l'air) et la teneur en fines est elle aussi limitée pour prévenir le mottage et faciliter la distribution, de même que pour réduire la quantité de poussière et de boue au printemps.

Les balayures de sable d'hiver se composent généralement de sable et de gravillon relativement secs, de déchets sauvages et de matières organiques, ainsi que d'autres déchets, tels que du verre, du métal et du plastique. Les essais auxquels ont été soumis des balayures de rues indiquent généralement que, une fois les débris et les grosses particules enlevés, le sable d'hiver récupéré satisfait aux exigences physiques relatives à du sable d'hiver neuf. Lorsqu'il est ramassé le printemps par les balayeuses de rues, le sable d'hiver s'est quelque peu détérioré et il contient plus de fines que le sable neuf. Il peut aussi contenir certains contaminants, tels qu'une quantité excessive de métaux lourds (plomb et cadmium), d'hydrocarbures pétroliers (huile et graisse) et de chlorures (provenant des sels de déglçage); il doit alors être éliminé en conformité avec la réglementation environnementale (MTO, 1995; Land Technologies, 1997).

Les municipalités qui ont répondu au questionnaire relatif à la meilleure pratique ont indiqué que, dans l'ensemble, le sable d'hiver ainsi que les matériaux provenant du nettoyage des puisards et des fossés étaient envoyés pour élimination à la décharge

3. Description du travail

3.2 Techniques de réutilisation ou de recyclage du béton

3.3 Recyclage du sable d'hiver

Les exigences physiques (résistance à l'abrasion et à l'attrition) relatives au nouveau sable d'hiver sont semblables à celles prescrites pour l'agrégat fin des enrobés préparés à chaud et le sable à béton; il y a pénurie de ce type de sable dans de nombreuses régions du Canada et celui-ci coûte par conséquent cher.

3. Description du travail

3.3 Recyclage du sable d'hiver

3.4 Réutilisation des matériaux provenant du creusement de tranchées

Les municipalités qui ont répondu au questionnaire relatif à la meilleure pratique ont indiqué que, dans l'ensemble, le sable d'hiver ainsi que les matériaux provenant du nettoyage des puisards et des fossés étaient envoyés pour élimination à la décharge municipale, où ils étaient utilisés comme matériau de recouvrement.

municipale, où ils étaient utilisés comme matériau de recouvrement. Certains organismes ont essayé de mélanger le sable d'hiver récupéré avec du sable neuf, après en avoir extrait les débris par tamisage, dans le but de réduire la quantité de sable neuf requise. On a toutefois mentionné certains problèmes de mottage et de poussière ou de boue dus aux teneurs en fines et en humidité plus élevées du sable d'hiver récupéré.

Vu le grand volume épandu sur les routes canadiennes chaque année et le volume récupéré chaque printemps, le sable d'hiver représente manifestement un important problème d'utilisation de ressources et d'élimination de déchets. Il est par conséquent souhaitable de mettre au point une méthode pour traiter ces matériaux de façon économique afin d'en extraire les déchets sauvages et les débris ainsi que les matières organiques et les contaminants, et séparer les constituants minéraux en classes granulométriques qui permettent de les réutiliser comme sable d'hiver ou de les recycler et d'en faire d'autres produits terminaux.

La ville d'Edmonton a entrepris un ambitieux programme pilote de traitement et de recyclage du sable qu'elle utilise durant l'hiver. La Ville a ramassé environ 70 000 tonnes de sable d'hiver et a mis au point un système de traitement qui permet de retirer les déchets sauvages et les contaminants; le système permet également de classer les matériaux récupérés en vue de les réutiliser comme sable d'hiver durant la saison 2004–2005 ou des les destiner à d'autres marchés (sable fin utilisé comme assise de pavés de béton, par exemple). Les premiers résultats indiquent que la ville d'Edmonton sera en mesure de réduire ses besoins de nouveau sable d'hiver d'environ 60 pour cent, ce qui lui permettra de réaliser des économies substantielles. Les détails de l'étude pilote répartie sur deux ans, qui a commencé en 2004, sont donnés dans une étude de cas distincte.

3.4 Réutilisation des matériaux provenant du creusement de tranchées

3.4.1 Matériaux provenant du creusement de tranchées

Lorsqu'on creuse des tranchées destinées aux services municipaux, on rencontre régulièrement de la terre, du roc et des matériaux similaires. Ces matériaux peuvent inclure certains éléments constitutifs (béton asphaltique, béton, fondation supérieure ou inférieure granulaire) de la structure de la chaussée dans laquelle on est en train de creuser la tranchée, les sols sous-jacents (soit des matériaux naturels non remaniés, soit de vieux matériaux de remblai), des matériaux d'assise ou de recouvrement de conduites (dans les tranchées creusées pour la réparation ou le remplacement de services existants) et peut-être le matériau du réseau technique enfoui (conduite, câble, installation, etc.) lui-même. Dans les vieilles villes du Canada, de grandes zones ont été construites sur des terrains mis en valeur susceptibles de contenir de vieux déchets ou des sous-produits qui ne respectent pas les lois ou les protocoles environnementaux en vigueur.

Selon leur emplacement dans la chaussée et l'historique des lieux, il se peut que ces matériaux excavés soient légèrement contaminés par des produits chimiques ou biologiques provenant de déversements (carburant à proximité des lieux d'accidents) des sels de déglacage (contamination aux chlorures) ou de la fuite du produit (eaux d'égout, par exemple) du réseau technique lui-même.

Au moment d'évaluer si les matériaux excavés possèdent les qualités requises pour être réutilisés ou recyclés, il est nécessaire d'examiner à la fois leurs propriétés physiques et leur état environnemental. Il est possible d'envisager de réutiliser comme remblai de tranchées les matériaux excavés durant le creusement de tranchées destinées à des services, à condition qu'ils présentent des propriétés physiques et environnementales convenables, et qu'ils soient bien gérés durant les travaux.

Le facteur le plus important à prendre en compte lorsqu'on évalue si un matériau provenant de l'excavation d'une tranchée possède les qualités requises pour être réutilisé, c'est la possibilité de mettre le matériau en place en tant que remblai modifié; il faut aussi que l'évaluation des matériaux excavés et les travaux de creusage de tranchées destinées à des services soient bien exécutés pour éviter toute répercussion à long terme sur les chaussées causée par des tassements, un gonflement ou l'action du gel. On n'insistera jamais assez sur le besoin de recourir à de bonnes pratiques de construction, de surveiller continuellement les travaux et de procéder à des inspections et à des essais de contrôle de la qualité et d'assurance de la qualité (CQ/AQ) tout au long de la mise en place et du compactage du remblai des tranchées.

3.4.2 Propriétés physiques

Tout revêtement en asphalte ou en béton enlevé des tranchées de services ou des coupes dans les routes existantes doit être recueilli et transporté à un endroit central où il sera transformé et recyclé de manière à être utilisé de la meilleure façon possible, tel qu'on l'a décrit précédemment (le vieil asphalte utilisé dans les enrobés à chaud recyclés, le vieux béton transformé [concassé et criblé] en granulat recyclé).

Pour qu'on puisse envisager de le réutiliser comme remblai de tranchée, le matériau excavé des coupes ou des tranchées destinées à des services dans l'emprise publique, y compris les matériaux de la fondation supérieure ou inférieure granulaire de la chaussée et la terre sous-jacente (sable, silt ou sol argileux) doit être libre de toute matière manifestement inadmissible ou nuisible, telle que la terre végétale ou les matières organiques (tourbe, bois, etc.), de blocs ou de gros morceaux de roc, etc. Le matériau doit également être compactable et sa teneur en humidité doit se situer à moins de $\pm 2\%$ de la teneur optimale déterminée dans le cadre de la vérification de la masse volumique sèche maximale selon l'essai Proctor standard. Quand le matériau excavé doit être mis en dépôt pendant longtemps (en

particulier par temps défavorable), il faut prendre soin de le protéger — on ne peut permettre qu'il devienne trop mouillé à cause des précipitations (ou à l'inverse, trop sec à cause de l'exposition au soleil et au vent), et il ne doit pas être utilisé comme remblai quand il est gelé. Quand le matériau est trop mouillé au moment de l'excavation, on doit l'épandre et lui permettre de sécher jusqu'à ce que sa teneur en humidité soit inférieure à $\pm 2\%$ de la teneur optimale.

Il faut qu'on soit capable de mettre le matériau de tranchée en place et de le compacter de manière à le rendre uniformément dense afin d'éviter tout tassement de la tranchée des services et de la chaussée adjacente. Cela exige ordinairement que le matériau de remblai soit mis en place en couches uniformes dont l'épaisseur du matériau meuble ne dépasse pas 200 mm, et densifié à l'aide du matériel de compactage approprié (par exemple des compacteurs vibrants à rouleaux lisses ou à plaques pour les matériaux granulaires; les plaques vibrantes ou les compacteurs à pieds de mouton pour les sols cohésifs). Le contrôle et l'assurance de la qualité visant à garantir la conformité aux spécifications durant le remblayage doivent consister en des vérifications de la compaction à l'aide d'une jauge de densité nucléaire ou d'une autre méthode acceptée. Il faut également prendre en compte le climat local (saisonnier) ainsi que les conditions géotechniques et les propriétés du sol (possibilités de gonflement, susceptibilité au gel, etc.). Lorsque l'action du gel est un facteur en raison d'une combinaison de conditions de gel, de présence d'humidité et de sols susceptibles au gel, on doit éviter d'utiliser les matériaux susceptibles au gel, tels que les silts sablonneux et les silts, sans considérations spéciales telles que la limitation de l'utilisation du matériau à des profondeurs inférieures à celles de la pénétration du gel, ou d'autres mesures telles que des cônes antigel (MacKay, 1992).

Lorsqu'il n'est pas possible de mettre en place et de densifier correctement les matériaux excavés dans le cadre de réparations

3. Description du travail

3.4 Réutilisation des matériaux provenant du creusage de tranchées

On n'insistera jamais assez sur le besoin de recourir à de bonnes pratiques de construction, de surveiller continuellement les travaux et de procéder à des inspections et à des essais de contrôle de la qualité et d'assurance de la qualité (CQ/AQ) tout au long de la mise en place et du compactage du remblai des tranchées.

3. Description du travail

3.4 Réutilisation des matériaux provenant du creusage de tranchées.

d'urgence ou de remises en état mineures, ou que le sapement ou le manque de boisage temporaire dans l'excavation risque de causer des dommages à la chaussée adjacente, il faut envisager la possibilité d'utiliser un remblai stabilisé dimensionnellement au lieu du matériau excavé. Pour trouver de plus amples renseignements sur les bonnes méthodes de construction ou de remise en état des ouvrages d'accès aux services publics dans les chaussées, veuillez consulter les meilleures pratiques intitulées :

La construction d'ouvrages d'accès aux services dans les chaussées (InfraGuide, 2003a) et *La réfection et la réparation des ouvrages d'accès aux services dans les chaussées* (InfraGuide, 2003b).

3.4.3 Propriétés environnementales

Les matériaux excavés des coupes et des tranchées de services creusées dans l'emprise publique peuvent présenter un niveau de contamination qui dépasse les exigences de la réglementation, des lignes directrices ou du code environnemental provincial ou fédéral, ou les exigences environnementales de l'organisme local qui interdisent leur réutilisation. Cela peut inclure la présence d'hydrocarbures pétroliers (déversements d'essence ou de carburant diesel liés à des accidents ou à des fuites), les dépassements de rapport d'absorption du sodium (RAS) ou des chlorures dus à l'utilisation de sel de déglacage, ou les

fuites/déversements provenant de réseaux techniques existants (oléoducs ou réseaux d'égout).

La possibilité de contamination peut être révélée par l'aspect (décoloration ou coloration) des matériaux de fondation supérieure ou inférieure granulaire et des sols excavés, par des signes olfactifs (tels que des odeurs fortes ou néfastes), par la présence de déchets ou de sous-produits (par exemple dans les terrains mis en valeur où des boues de dragage, de la cendrée, des cendres, des scories, etc., peuvent avoir été utilisées comme remblai) ou par les dossiers historiques (signalements de déversements ou dossiers de fuites liées à des excavations ou à des coupes déjà exécutées dans la zone). Lorsqu'on soupçonne la présence de ce genre de contamination, il faut procéder à un échantillonnage et à des analyses environnementales, et manipuler le matériau en conformité avec la réglementation fédérale ou provinciale/territoriale applicable. Lorsque les essais confirment la présence de contamination, il se peut que la municipalité ou ses représentants doivent déclarer celle-ci en conformité avec la réglementation environnementale applicable. À titre documentaire, on trouvera en annexe la liste des règlements environnementaux provinciaux, avec les liens, le cas échéant, qui permettent d'accéder en ligne aux règlements et aux organismes.

4. Domaines et limites d'utilisation

4.1 Réutilisation ou recyclage dans le cadre des travaux de construction ou d'entretien de routes

La réutilisation ou le recyclage avec succès des matériaux de construction ou d'entretien de routes demande qu'on prenne en compte plusieurs éléments interdépendants : les matériaux récupérés doivent avoir des propriétés mécaniques qui conviennent à la réutilisation ou au recyclage prévu; le volume de ou des matériaux dont on dispose doit être assez élevé pour justifier économiquement la réutilisation ou le recyclage des matériaux. La réutilisation ou le recyclage des matériaux récupérés ne doit avoir aucun impact susceptible d'être nuisible pour l'environnement.

Il est également important d'apprécier et d'adopter le concept de l'utilisation optimale au moment de choisir les modes de réutilisation ou de recyclage qui sont les plus compatibles avec l'environnement et qui conviennent le mieux sur le plan technique aux matériaux de construction ou d'entretien de routes. Le concept repose sur la prémisse selon laquelle la meilleure utilisation d'un matériau est celle dans laquelle celui-ci a la valeur la plus élevée. Par exemple, la meilleure façon d'utiliser une chaussée en asphalte récupérée (CAR), c'est lorsqu'on obtient la pleine valeur à la fois du liant bitumineux et des granulats. Le recyclage du matériau CAR dans les mélanges asphaltiques peut entraîner d'importantes réductions, aussi bien du volume de nouveau liant bitumineux que de celui des nouveaux granulats requis pour la construction des chaussées, et une réduction de la consommation d'énergie. Cependant, bien que l'utilisation d'un matériau CAR comme fondation supérieure ou inférieure granulaire réduise effectivement le volume de nouveaux matériaux granulaires requis, la valeur du ciment bitumineux CAR en tant que liant et l'énergie investie pour le produire sont perdues. De même, on doit dans la mesure du

possible réutiliser les granulats faits de béton récupérés comme granulats de construction et ainsi réduire la demande pour de nouveaux granulats, plutôt que de les utiliser comme remblai en vrac.

4.2 Considérations relatives aux propriétés mécaniques des matériaux

Pour qu'il soit possible d'envisager de les réutiliser ou de les recycler, les matériaux récupérés doivent avoir, ou être bien transformés de manière à avoir, des propriétés mécaniques qui conviennent à l'utilisation prévue. Généralement, les matériaux récupérés qui offrent les meilleures possibilités d'utilisation générale comme granulats de construction présentent une stabilité de volume, une dureté, une granulométrie et une forme de particules ainsi qu'une résistance à la détérioration chimique ou physique adéquates (équivalentes à celles des granulats naturels), et requièrent un minimum de concassage, de mélangeage et de criblage. Il est également important de repérer les éléments constituant potentiellement nuisibles dans le matériau récupéré pour bien évaluer les impacts et en tenir compte dans le cas du mode de réutilisation ou de recyclage envisagé. Par exemple, il faut évaluer la présence dans un matériau provenant d'une vieille chaussée en asphalte de granulats faits de scories d'acier dont le volume est instable avant d'utiliser ce genre de matériau dans un enrobé à chaud recyclé.

La plupart des organismes provinciaux ont des spécifications types qui définissent les exigences mécaniques, physiques et chimiques (s'il y a lieu) spécifiques aux matériaux recyclés ou aux produits dans lesquels ceux-ci sont utilisés. Par exemple, les spécifications des matériaux utilisés dans les enrobés préparés à chaud incluent généralement des dispositions relatives aux enrobés à chaud recyclés. On utilise les méthodes d'essai standard (CSA, ASTM et

4. Domaines et limites d'utilisation

4.1 Réutilisation ou recyclage dans le cadre des travaux de construction ou d'entretien de routes

4.2 Considérations relatives aux propriétés mécaniques des matériaux

Il est également important d'apprécier et d'adopter le concept de l'utilisation optimale au moment de choisir les modes de réutilisation ou de recyclage qui sont les plus compatibles avec l'environnement et qui conviennent le mieux sur le plan technique aux matériaux de construction ou d'entretien de routes.

4. Domaines et limites d'utilisation

- 4.2 Considérations relatives aux propriétés mécaniques des matériaux
- 4.3 Considérations environnementales
- 4.4 Considérations économiques

Il faut également reconnaître que la réglementation environnementale et les pratiques en matière de santé et de sécurité varient quelque peu à travers le Canada, et il est important d'appliquer les exigences locales.

AASHTO, par exemple, de même que les méthodes d'essai propres à certains organismes, telles que les Laboratory Series [LS] du MTO, par exemple) conjointement avec les spécifications des matériaux et le devis descriptif des travaux de construction pour évaluer les propriétés physiques et la qualité générale des granulats de construction.

4.3 Considérations environnementales

Il faut évaluer les propriétés environnementales des matériaux récupérés en procédant à l'échantillonnage et aux essais appropriés en conformité avec les lois, les codes ou les règlements et les lignes directrices ou les protocoles environnementaux applicables pour s'assurer que les matériaux ne contiennent aucun élément constituant potentiellement nuisible (aucun lessivage de constituant toxique, aucune préoccupation au sujet de la poussière ou de particules, ou d'émissions atmosphériques, etc.) durant leur utilisation dans les travaux de construction ou à la suite de leur incorporation dans l'ouvrage. Il n'est pas rare que des matériaux provenant de l'emprise publique soient contaminés à cause d'un déversement accidentel (principalement d'essence ou de carburant diesel à proximité des lieux d'un accident), d'une fuite dans un réseau technique enfoui ou en provenance d'un terrain adjacent, ou des émissions de gaz polluants par les véhicules (en particulier dans les zones où des essences avec plomb ont peut-être été utilisées).

Il faut également reconnaître que la réglementation environnementale et les pratiques en matière de santé et de sécurité varient quelque peu à travers le Canada, et il est important d'appliquer les exigences locales. Par exemple, la ville de Toronto limite la proportion de fibres d'amiante (crysotile) dans un mélange asphaltique existant à moins de 2 % en masse de ciment bitumineux pour le béton asphaltique qu'on envisage de recycler.

4.4 Considérations économiques

La rentabilité générale de la réutilisation ou du recyclage des matériaux récupérés durant les travaux de construction ou d'entretien de routes est fonction de l'endroit, du volume de produit recyclé et des débouchés possibles, des exigences techniques relatives à l'utilisation ou aux utilisations en particulier, de la valeur de remplacement des ressources des constituants du matériau en vrac ou des applications cimentaires, et de considérations écologiques et sociales telles que la conservation des ressources et le développement durable. Par exemple, bien qu'il soit certainement souhaitable du point de vue de la conservation des ressources et du développement durable (utilisation optimale) de recycler tout le vieil asphalte dans les enrobés utilisés pour asphaltier les chaussées, et bien qu'il existe une vaste gamme de possibilités et peu d'empêchements techniques à ce genre de recyclage, il se peut que le recyclage ne soit pas économiquement réalisable lorsque le volume de matériau CAR dont on dispose est faible ou qu'il n'existe aucun poste d'enrobage ou matériel convenable. Dans ce cas, il se peut que l'option la plus viable consiste à réutiliser le matériau CAR comme granulat dans une fondation supérieure ou inférieure granulaire, ou à l'éliminer dans une décharge municipale. Cependant, lorsqu'on compare le « coût » global du recyclage, il est également important de tenir compte non seulement des coûts durant le cycle de vie total, mais aussi des économies initiales, le cas échéant, attribuées à l'utilisation d'un produit recyclé au lieu d'un matériau neuf; il faut également tenir compte du coût de l'élimination (les frais de déversement, par exemple) quand la réutilisation ou le recyclage du matériau récupéré n'est pas faisable.

4.5 Facteurs limitant l'augmentation de la réutilisation ou du recyclage

Même si la réutilisation et le recyclage du vieil asphalte et du vieux béton sont des pratiques bien établies, les améliorations apportées au matériel et aux procédés, et l'introduction de matériaux supplémentaires améliorés (agents de recyclage ou amollissants, bitumes modifiés par des polymères, etc.) ont entraîné, et continuent d'entraîner, l'évolution régulière des techniques de recyclage et de leur utilisation. En outre, comme la consommation de ressources de granulats non renouvelables se poursuit et que le coût des matériaux et les coûts de production augmentent (le coût du ciment bitumineux, par exemple), la réutilisation et le recyclage susciteront de plus en plus d'intérêt et la pression en ce sens augmentera. Les principaux empêchements à l'amélioration de la réutilisation et du recyclage continuent d'être ceux qui ont été recensés en 1992 (JEGEL, 1992; Melton, 2004) :

- La résistance des organismes à l'adoption de nouveaux matériaux et de nouvelles techniques de construction (conservatisme);
- Les spécifications désuètes;
- L'insuffisance des budgets de recherche et de développement;
- Les préoccupations en matière de responsabilité ou de performances concernant les techniques novatrices;
- Les contraintes environnementales relatives aux matériaux recyclables, qui ne sont pas appliquées aux matériaux classiques;
- Les traitements et les prix de l'industrie, qui sont fondés sur des matériaux neufs;
- La grande dispersion de faibles volumes de matériaux potentiellement recyclables;
- Les coûts de collecte, de stockage et de transformation; et
- Le manque de conseils techniques.

4. Domaines et limites d'utilisation

4.5 Facteurs limitant l'augmentation de la réutilisation ou du recyclage.

5. Évaluation

5.1 Méthodes d'évaluation

Le choix des options appropriées en matière de réutilisation ou de recyclage des matériaux ren-contrés dans l'emprise de rue publique durant les travaux de construction ou d'entretien de routes demande qu'on examine soigneusement les paramètres mécaniques, environnementaux et économiques dont il a été question dans l'article 4 (**Domaines et limites d'utilisation**) qui précède. On n'insistera jamais assez sur l'importance d'une bonne évaluation de la chaussée et des matériaux au moment de déterminer les choix les plus rentables et les plus appropriés techniquement en matière de réutilisation ou de recyclage. On décrit des méthodes d'évaluation des choix en matière de réutilisation ou de recyclage des chaussées en asphalte ou en béton existantes. On présente en outre un organigramme simple servant à évaluer la possibilité de réutiliser comme remblai dans les coupes ou les tranchées destinées à des services les matériaux provenant du creusage de tranchées.

5.2 Évaluations des chaussées et des matériaux

Le choix et la conception de l'approche la plus appropriée de la réutilisation ou du recyclage à appliquer durant la réhabilitation d'une chaussée doivent être fonction d'une évaluation systématique du tronçon de la chaussée à réhabiliter et des matériaux excédentaires possibles à l'intérieur du tronçon. La façon d'aborder la conception comprend les étapes suivantes :

1. Évaluer si le tronçon de chaussée convient aux procédés candidats, notamment les types et les conditions de dégradation de la chaussée, les accessoires tels que les ouvrages d'accès aux services publics, les puisards, les services aériens ou encastrés (câbles, boucles de signalisation), les limites de charge de la structure, les caractéristiques spéciales, etc.

2. Vérifier la surface générale de la chaussée et le drainage sub-superficiel, et améliorer ou mettre en place, selon les besoins.
3. Procéder à une évaluation structurale visant à confirmer le caractère adéquat de la structure de chaussée ou tout besoin, le cas échéant, et l'importance du renforcement de la chaussée requis :
 - Étude géotechnique, y compris des trous de forage ou de sonde destinés à confirmer l'état de la structure et celui de l'infrastructure de la chaussée;
 - Carottage permettant d'obtenir des échantillons représentatifs des matériaux de l'asphalte ou du béton à l'intention des essais en laboratoire et de la formulation des mélanges; et
 - Essais de capacité structurale — deflectomètre à masse tombante (recommandé), pénétromètre dynamique à cône, Dynaflect, poutre Benkleman, etc., pour déterminer si la structure de la chaussée doit être renforcée.
4. Déterminer les propriétés du matériau CAR, BR, de la chaussée en asphalte ou en béton de ciment Portland existante.

Dans le cas d'un ECR ou de la thermorégénération :

- Teneur en ciment bitumineux;
- Granulométrie; et
- Pénétration ou viscosité du matériau récupéré.

Dans le cas d'un RFP ou d'une VI :

- Épaisseur de la chaussée;
- Teneur en ciment bitumineux;
- Granulométrie; et
- Teneur en humidité.

Dans le cas d'une fracturation :

- Épaisseur de la chaussée; et
- Types d'armature.

Examiner l'état de la chaussée et les choix en matière de recyclage, et choisir l'approche la plus rentable en fonction des conditions qui

5. Évaluation

- 5.1 Méthodes d'évaluation
- 5.2 Évaluations des chaussées et des matériaux

On n'insistera jamais assez sur l'importance d'une bonne évaluation de la chaussée et des matériaux au moment de déterminer les choix les plus rentables et les plus appropriés techniquement en matière de réutilisation ou de recyclage.

5. Évaluation

5.2 Évaluations des chaussées et des matériaux

5.3 Évaluation des matériaux provenant du creusage de tranchées

Figure 5-1

Méthode d'évaluation des matériaux provenant du creusage de tranchées.

prévalent sur les lieux et des exigences structurales (utilisation de la méthode de dimensionnement de chaussée AASHTO 93 [AASHTO 1993] ou le nouveau Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (version préliminaire) (accessible en ligne à l'adresse www.trb.org/mepdg), recommandé pour la conception structurale des chaussées en béton asphaltique ou en béton de ciment Portland, et la méthode de dimensionnement des chaussées de l'ACP, pour la conception structurale des chaussées en béton).

5.3 Évaluation des matériaux provenant du creusage de tranchées

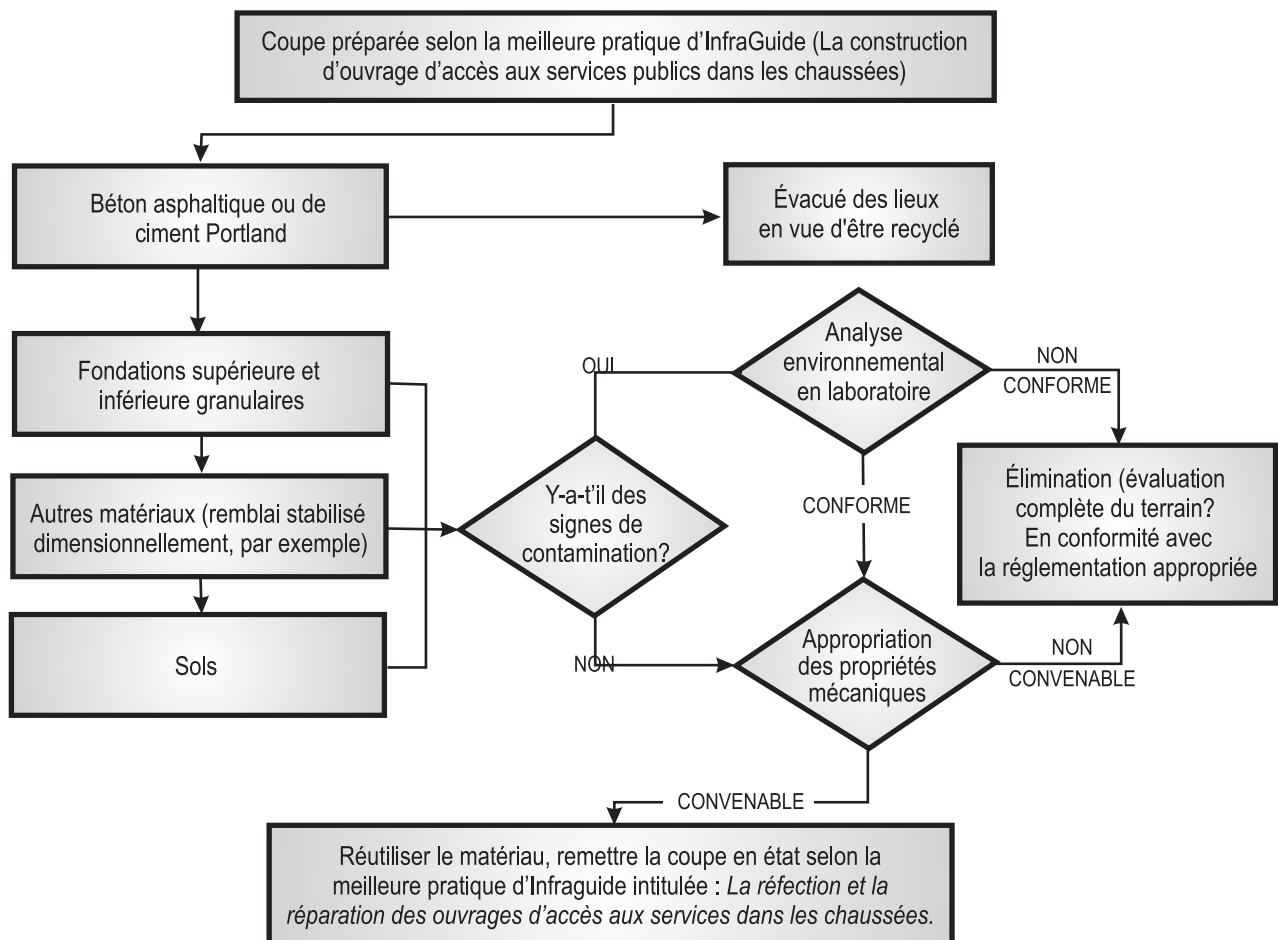
La figure 5-1 illustre une méthode étape par étape d'évaluation de la possibilité de réutiliser ou de recycler les matériaux provenant de tranchées creusées dans l'emprise publique.

Lorsque le matériau excavé a des propriétés physiques satisfaisantes et qu'il est acceptable sur le plan de l'environnement (il est conforme

aux lois, aux lignes directrices ou aux protocoles environnementaux provinciaux ou fédéraux), on peut envisager de le réutiliser comme remblai dans les tranchées, à condition qu'il soit possible de le mettre en place et de le densifier correctement sans que cela ait un effet défavorable sur le revêtement de la chaussée adjacent à la tranchée ou à la coupe. Cependant, certains facteurs tels que la teneur en humidité du matériau ou la présence de substances manifestement inadmissibles ou nuisibles, telles que des matières organiques, risquent d'empêcher la réutilisation ou le recyclage du matériau comme remblai dans les tranchées, ce qui exige alors que le remblayage se fasse avec un matériau importé ou un remblai stabilisé dimensionnellement.

Quand les résultats de l'analyse environnementale indiquent un dépassement de la réglementation environnementale applicable, le matériau doit être manutentionné en conformité avec les exigences environnementales locales.

Figure 5-1 : Méthode d'évaluation des matériaux provenant du creusage de tranchées.



6. Domaines de recherche future

Bien que la réutilisation et le recyclage des matériaux excédentaires tels que le vieil asphalte et le vieux béton soient à bien des égards des pratiques bien établies, il doit y avoir, à la fois au Canada et dans le monde entier, un effort coordonné et continu de recherche et de développement qui permettra d'améliorer la réutilisation ou le recyclage des matériaux de construction ou d'entretien de routes dans l'emprise publique. Parmi les domaines possibles de recherche et de développement qui sont importants, mentionnons :

- L'élaboration de spécifications guides de résultats finals (de produits finals) relatives à diverses techniques de recyclage accessibles aux organismes municipaux du Canada tout entier;
- L'élaboration de données d'essais en laboratoire relatives à divers matériaux recyclés ou procédés, notamment le module de résilience, la résistance à l'orniérage, la résistance à la fatigue, l'uni, etc., qui peuvent être utilisées aussi bien dans le dimensionnement empirique que mécanistes des chaussées (par exemple la version préliminaire actuelle du 2002 Mechanistic-Empirical Design Guide de l'AASHTP) que dans le calcul du coût complet sur le cycle de vie d'une chaussée;
- La collecte et la synthèse d'information sur le comportement des chaussées dans le cas des routes réhabilitées à l'aide de la technique de la thermorégénération, du RFP ou de la VI, qui pourront ensuite servir à prévoir le rendement à long terme et à calculer le coût complet sur le cycle de vie des autres traitements de réhabilitation des chaussées;
- Les répercussions, le cas échéant, sur le recyclage de nouvelles chaussées dimensionnées à l'aide des méthodes Superpave de formulation et incorporant

un ciment bitumineux classé selon les performances, y compris les bitumes modifiés par des polymères et les asphaltes modifiés;

- Le « re-recyclage » — les facteurs, le cas échéant, qui influent sur le recyclage de chaussées qui ont déjà été recyclées à l'aide du même procédé (par exemple l'utilisation de la thermorégénération sur une route qui a déjà été réhabilitée à l'aide du procédé) ou une autre technique de recyclage; et
- Les répercussions des nouvelles normes environnementales (telles que les critères d'émissions atmosphériques plus restrictifs) sur les initiatives en matière de réutilisation ou de recyclage.

Il faut continuer à surveiller le rendement et les coûts du projet pilote de recherche sur la thermorégénération avec laitier de ciment, qui est en cours d'exécution à l'université Laval. Une fois que ses avantages auront été confirmés par le projet de démonstration au moyen d'essais supplémentaires, on pourra alors envisager d'utiliser le procédé pour la réutilisation des chaussées flexibles.

D'autres domaines de recherche et de développement deviendront sans aucun doute évidents à mesure que la réutilisation et le recyclage prendront de l'ampleur partout au Canada, et que l'innovation et l'évolution se poursuivront dans le domaine des matériaux, du matériel et des procédés de construction.

6. Domaines de recherche future

Il doit y avoir, à la fois au Canada et dans le monde entier, un effort coordonné et continu de recherche et de développement qui permettra d'améliorer la réutilisation ou le recyclage des matériaux de construction ou d'entretien de routes dans l'emprise publique.

Annexe A : Études de cas

A.1 Études de cas — Fragmentation par résonance avec recyclage à froid en poste d'enrobage ou en place

En 1999, le comté d'Oxford, en Ontario, a amorcé, au coût de 1,5 million de dollars, la réhabilitation d'un tronçon de 9 km de long de la route de comté 2, près de Woodstock. Le tronçon avait été construit à la fin des années 1950 et consistait en un revêtement en béton de ciment Portland armé d'un treillis, mesurant 6,1 m de large et 225 mm d'épais, placé directement sur l'infrastructure de chaussée. La chaussée a été recouverte d'un EPC de 75 mm à la fin des années 1970. Par la suite, à part l'entretien courant, la route n'a fait l'objet d'aucun autre projet de réhabilitation majeure et elle était en très mauvais état, avec d'importantes remontées de fissures et des signes de déplacement des dalles (on pouvait voir à l'œil nu certaines dalles bouger sous

l'action de la circulation ordinaire et certains joints étaient à gradin ou disloqués à un certain nombre d'endroits).

On a étudié un certain nombre de solutions de reconstruction, notamment : le resurfaçage; la valorisation intégrale à l'aide du recyclage à froid en place du EPC de la couche de roulement; la réparation de certains joints; et la pulvérisation. En raison de l'expérience vécue dans le passé avec les remontées de fissures et l'instabilité du BCP, on a jugé que la fragmentation par résonance des dalles accompagnée de recyclage à froid en place (en fait, un procédé hybride fait de recyclage à froid en place et de recyclage à froid en poste d'enrobage) représentait la solution idéale.

Après le fraisage de la surface de l'EPC et la mise en dépôt du matériau CAR dans une gravière située à proximité, la fragmentation par résonance a été exécutée de la façon illustrées dans les photos suivantes :



a) Pulvérisation du BCP à l'aide de trois concasseurs à résonance IRB se déplaçant en formation échelonnée



b) Aspect de la surface du BCP fracturé, avant compactage.



c) Compactage à faible amplitude du BCP fracturé, à l'aide d'un compacteur à rouleaux en acier.



d) Aspect après compactage de la route 2 du comté d'Oxford.

Photo A-1 : Étapes de fragmentation par résonance : Pulvérisation a) et b) et compactage c) et d).

A. Études de cas

A.1 Études de cas —
Fragmentation
par résonance avec
recyclage
à froid en poste
d'enrobage ou
en place

Photo A-1

Étapes de fragmentation par résonance : Pulvérisation a) et b) et compactage c) et d).

A. Études de cas

A.1 Études de cas —
fragmentation
par résonance avec
recyclage
à froid en poste
d'enrobage ou
en place

Photo A-2

Chargement de dépôt
d'asphalte froid recyclé.



a) Chargement dans des camions à benne
basculante.



b) Livraison sur les lieux pour ensuite être posé à
l'aide d'une finisseuse Midland.

Photo A-3

Vue du projet de la route 2
du comté d'Oxford après la
fin des travaux.

Photo A-2 : Chargement de dépôt d'asphalte froid recyclé

Après la fragmentation par résonance, la chaussée a été recouverte de 120 mm d'asphalte recyclé à froid, posé en deux couches. La première couche (70 mm d'épais) a été fabriquée à l'aide des techniques de recyclage à froid en poste d'enrobage. L'asphalte recyclé à froid se composait de 80 pour cent de matériaux CAR, qui avaient été mis en dépôt, après concassage et classage, dans une gravière située à proximité, de 20 pour cent de matériau granulaire A ayant une teneur en eau équivalente à 3 pour cent de la masse totale des granulats et une teneur de 2,5 pour cent d'émulsion CMS 2S (cette émulsion spéciale permettait de mettre l'asphalte recyclé à froid en dépôt pendant au moins 24 heures, ce qui garantissait l'approvisionnement constant du projet). Durant la production de l'asphalte recyclé à froid, le matériau CAR concassé et le granulat vierge ont été introduits dans les deux

trémies étalonnées d'un malaxeur Midland de 9 × 4 à double hélice, dans lequel l'émulsion, l'eau, le granulat et le matériau CAR ont été malaxés au débit moyen de 350 tonnes/h (référence : *Aggregates and Roadbuilding*, 2001). Le dépôt d'asphalte froid recyclé a ensuite été chargé dans des camions à benne basculante pour être livré sur les lieux et posé à l'aide d'une finisseuse Midland, comme on le voit dans les **photos A-2**. La seconde couche (50 mm d'épais) d'asphalte recyclé à froid a été fabriquée à l'aide du matériel classique de recyclage à froid en place. Le matériau CAR mis en dépôt a été réparti sur le dessus de la première couche, puis recyclé en place. L'asphalte recyclé à froid en place se composait de 80 pour cent de matériau CAR, de pour cent de matériau granulaire A, la teneur en eau était équivalente à 3 pour cent de la masse totale des granulats et le mélange contenait 2 pour cent d'une émulsion CSS 1, et il a été posé à l'aide d'une finisseuse Midland.

On a compacté l'asphalte recyclé et on l'a laissé mûrir à la teneur en humidité et au niveau de compaction cibles pendant environ deux semaines avant de le recouvrir d'une couche de liant faite d'un enrobé préparé à chaud HL 8 pour corriger la densification du mélange préparé à froid, sous les pistes de roues. Une couche d'usure de 50 mm d'épais, faite d'un enrobé préparé à chaud HL 4 a achevé la réhabilitation de la chaussée.



Photo A-3 : Vue du projet de la route 2 du comté
d'Oxford après la fin des travaux.

A.2 Étude de cas — Valorisation intégrale (VI) avec stabilisation à l'émulsion de bitume

Le projet de valorisation intégrale avec stabilisation à l'émulsion de bitume de la route 50 du comté de Wellington a été amorcé en 1987 et il avait pour but la réhabilitation de cette route à faible débit qui n'était plus en bon état. Le tronçon de 6,3 km de long comportait un nombre important de rapiécages et de décollements; de plus, les fissures polygonales, longitudinales, transversales et latérales étaient nombreuses. L'évaluation de la chaussée a révélé que celle-ci était quelque peu déficiente du point de vue structural et qu'elle avait besoin d'être renforcée. On a prélevé sur les lieux des échantillons représentatifs du revêtement en asphalte et du matériau de fondation granulaire sous-jacent, et procédé à la formulation d'un mélange. On a considéré que les conditions de la chaussée et du revêtement convenaient à

une VI avec stabilisation à l'émulsion de bitume, qui consistait à d'abord pulvériser le revêtement asphaltique, à ajouter ensuite du nouveau matériau granulaire et à malaxer le tout, et à stabiliser la chaussée à l'aide d'une émulsion de bitume. On a ensuite appliqué un traitement de surface en deux couches pour créer une surface d'usure. La formulation du mélange de valorisation intégrale se composait comme suit : Formulation du mélange de la route de comté 50 :

Émulsion de bitume3,2 %
Teneur en ciment bitumineux totale	4,98 %
Béton asphaltique existant (CAR)	.64,9 %
Matériau granulaire ajouté31,9 %
Vides interstitiels10,7 %
Stabilité28130 N
CRTPasse

Après avoir d'abord pulvérisé la surface de la route, on a procédé à la VI avec stabilisation, de la façon illustrée dans les photos suivantes :



a) Mise en place de matériau granulaire supplémentaire par-dessus le vieux revêtement préalablement pulvérisé.



b) 150 mm de béton asphaltique stabilisé à l'émulsion de bitume, à 160°C plus 2 % d'eau.



c) Mise en forme du matériau stabilisé et ajout d'eau en vue d'obtenir la condition d'humidité optimale pour le compactage.



d) Compactage initial avec rouleau à pneus lourd suivi d'un rouleau vibreur en acier.

Photo A-4 : Valorisation Intégrale. (Source, JEGEL)

A. Études de cas

A.2 Étude de cas —
Valorisation
intégrale (VI)
avec stabilisation à
l'émulsion de bitume

Photo A-4

Valorisation Intégrale.
(Source, JEGEL)

In 2003, the City of Edmonton, in partnership with the Edmonton Waste Management Centre of Excellence, used its significant knowledge in processing recycled materials (materials handling, transportation, dust suppression, processing methods, equipment), in development of a two-year pilot project to determine the feasibility of winter sand recycling.

A. Études de cas

A.2 Étude de cas —
Valorisation
intégrale (VI) avec
stabilisation à
l'émulsion de bitume

Photo A-5

Illustration d'une carotte du produit fini et le procédé à l'émulsion de bitume.

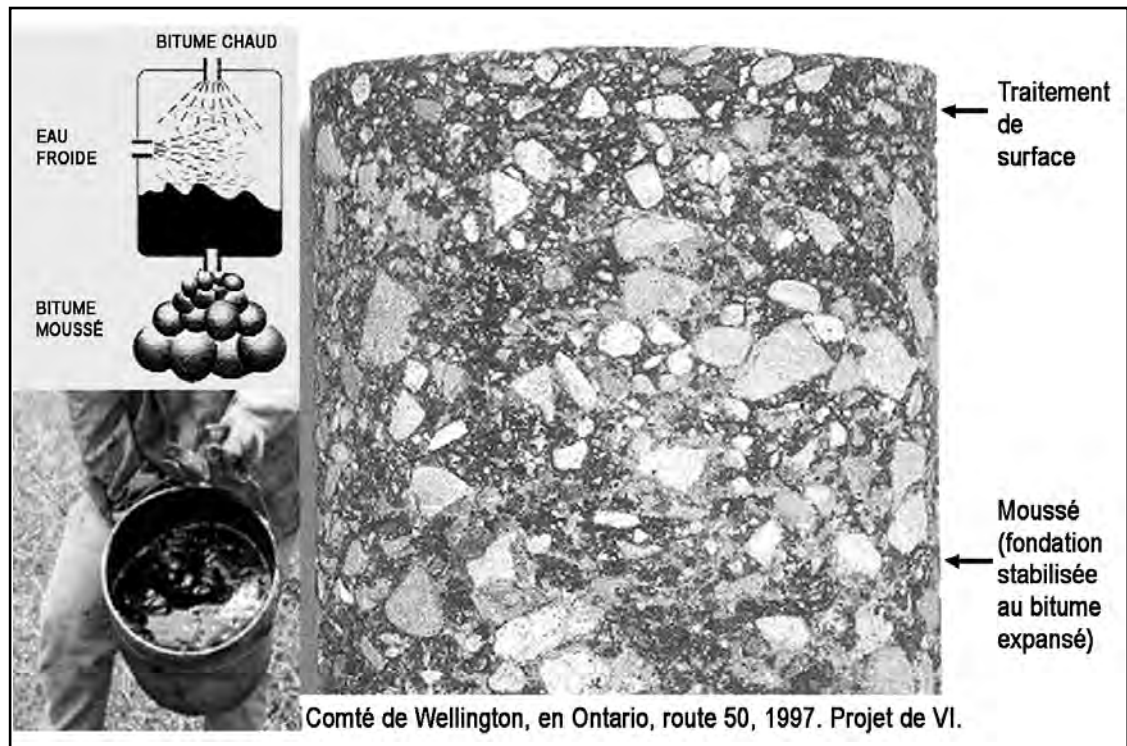


Photo A-5 : Illustration d'une carotte du produit fini et le procédé à l'émulsion de bitume.

Les essais de contrôle de la qualité relatifs au projet consistaient à surveiller continuellement les caractéristiques d'expansion du bitume (taux d'expansion et demi-vie) et la qualité du mélange à l'émulsion de bitume (répartition du bitume, densité et épaisseur du tapis bitumineux) durant le projet.

Le rendement du projet de valorisation intégrale et de stabilisation à l'émulsion de bitume de la route 50 du comté de Wellington a été excellent. L'indice d'état de la chaussée, la flexion en charge (DMT), le profil et les caractéristiques d'adhérence ont fait l'objet d'une surveillance jusqu'en 2001. L'état de la chaussée variait de bon à excellent; on a observé un faible ressuage

localisé du traitement de surface et une fissuration intermittente de gravité moyenne dans les zones basses et humides. Des essais effectués à l'aide d'un analyseur de chaussées bitumineuses sur la couche mixte de matériau stabilisé à l'émulsion de bitume et ayant subi un traitement de surface (voir **figure A-6**) ont montré un orniérage de gravité moyenne, mais les essais effectués sur le matériau stabilisé à l'émulsion de bitume sans le traitement de surface ont montré peu ou pas d'orniérage, ce qui indique que ce dernier avait lieu en grande partie dans le traitement de surface et non dans le matériau valorisé intégralement et stabilisé à l'émulsion de bitume.

A. Études de cas

A.2 Étude de cas —
Valorisation
intégrale (VI) avec
stabilisation à
l'émulsion de bitume

Photo A-6

Déformation permanente
de l'échantillon d'asphalte
au bitume moussé.

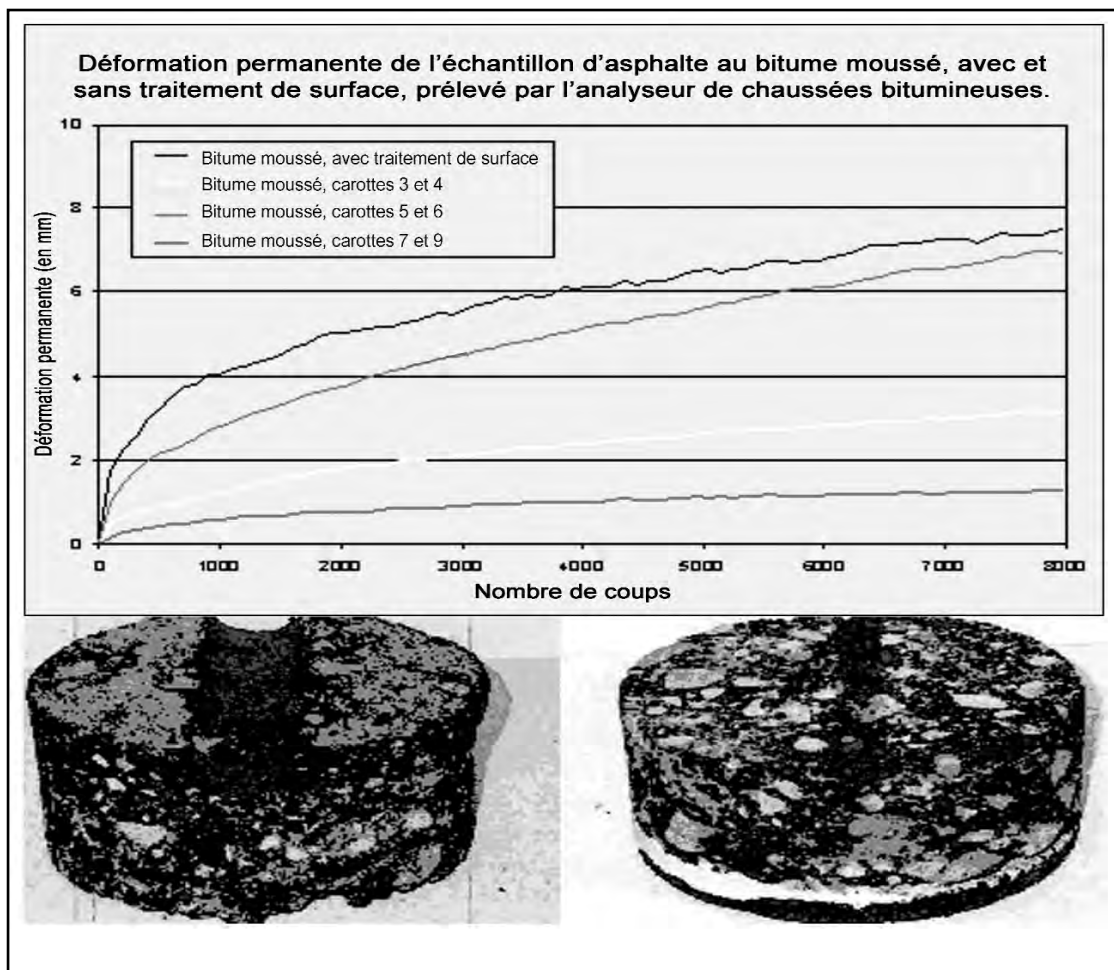


Photo A-6 : Déformation permanente de l'échantillon d'asphalte au bitume moussé.

A. Études de cas

A.3 Étude de cas — Projet pilote de recyclage du sable d'hiver de la ville d'Edmonton

Photo A-7

Site et matériel de recyclage de sable.

Photo A-8

Dépôt de balayures de
rues prétraitées de la
ville d'Edmonton.

En 2003, la Ville, en partenariat avec le Edmonton Waste Management Centre of Excellence (centre d'excellence en gestion des déchets de la ville d'Edmonton), a utilisé ses vastes connaissances en traitement des matériaux recyclés pour élaborer un projet pilote d'une durée de deux ans visant à déterminer la faisabilité du recyclage du sable d'hiver.



Photo A-7 : Site et matériel de recyclage de sable.

A.3 Étude de cas — Projet pilote de recyclage du sable d'hiver de la ville d'Edmonton

Au cours des 25 dernières années, la ville d'Edmonton a exécuté un important programme de recyclage de granulats (la collecte, le concassage, le criblage et la réutilisation de béton et d'asphalte). En 2003, la Ville, en partenariat avec le Edmonton Waste Management Centre of Excellence (centre d'excellence en gestion des déchets d'Edmonton), a utilisé ses vastes connaissances en traitement des matériaux recyclés (manutention des matériaux, transport, lutte contre les poussières, méthodes de transformation, matériel) pour élaborer un projet pilote d'une durée de deux ans visant à déterminer la faisabilité du recyclage du sable d'hiver.

Le ville d'Edmonton utilise approximativement 140 000 à 180 000 tonnes de sable chaque année dans le cadre des activités d'entretien d'hiver. Les balayeuses de rues récupèrent environ les deux tiers de ce volume, soit de 90 000 à 120 000 tonnes, au cours des travaux

d'entretien du printemps. L'examen des données granulométriques collectées au cours des 20 dernières années sur les balayures de rues par la ville d'Edmonton a révélé que, en fonction de leurs caractéristiques physiques, 80 pour cent des balayures ramassées chaque année pouvaient être recyclées. Depuis toujours, la Ville ne réutilisait qu'environ 25 pour cent du sable récupéré, généralement en le mélangeant avec du nouveau sable. Une partie des 75 pour cent restant était utilisée comme matériau de nivellement ou de recouvrement de décharge, mais la majeure partie était éliminée à une décharge contrôlée de classe III.

Les nouvelles directives plus strictes du ministère de l'Environnement de l'Alberta ont fait en sorte que les balayures de rues de la ville d'Edmonton ont été classées comme dépassant les normes de conductivité électrique et de rapport d'absorption du sodium (RAS) mentionnées dans les Contamination Assessment and Remediation Guidelines (AENV 2001) (directives concernant l'évaluation et la



Photo A-8 : Dépôt de balayures de rues prétraitées de la ville d'Edmonton.

correction de la contamination du sel) et les balayures ne conviennent donc plus à l'épandage sur les sols. De plus, elles ne sont pas acceptables pour élimination dans une décharge contrôlée de classe III en raison de la salinité élevée et de la présence d'hydrocarbures; on décourage l'élimination des balayures dans une décharge contrôlée de classe II à cause de l'espace d'enfouissement limité et des frais de déversement, qui sont sept fois plus élevés que ceux des sites d'enfouissement de classe III.

Le coût croissant de l'élimination et les préoccupations concernant les réserves limitées et l'escalade du coût du sable d'hiver naturel de qualité ont obligé la ville d'Edmonton à réévaluer son procédé de recyclage ou d'élimination du sable d'hiver. On estime que l'élimination des balayures de

rues dans une décharge contrôlée de classe II coûterait 2 millions de dollars par année. La Ville estime que, une fois le procédé bien établi, la réutilisation du sable d'hiver pourrait lui permettre d'économiser près de 1,5 million de dollars par année, en plus de prolonger de façon importante la durée de vie des réserves de sable naturel, de réduire les émissions de gaz à effet de serre et les dommages causés aux infrastructures routières en réduisant les distances de camionnage (le trajet aller-retour est habituellement de 180 km). Les immobilisations dans le projet de recyclage ont été en gros de 1 million de dollars.

Le système préliminaire du projet pilote de recyclage du sable de la ville d'Edmonton est décrit par l'organigramme de la **Figure A-1** à ci-dessous.

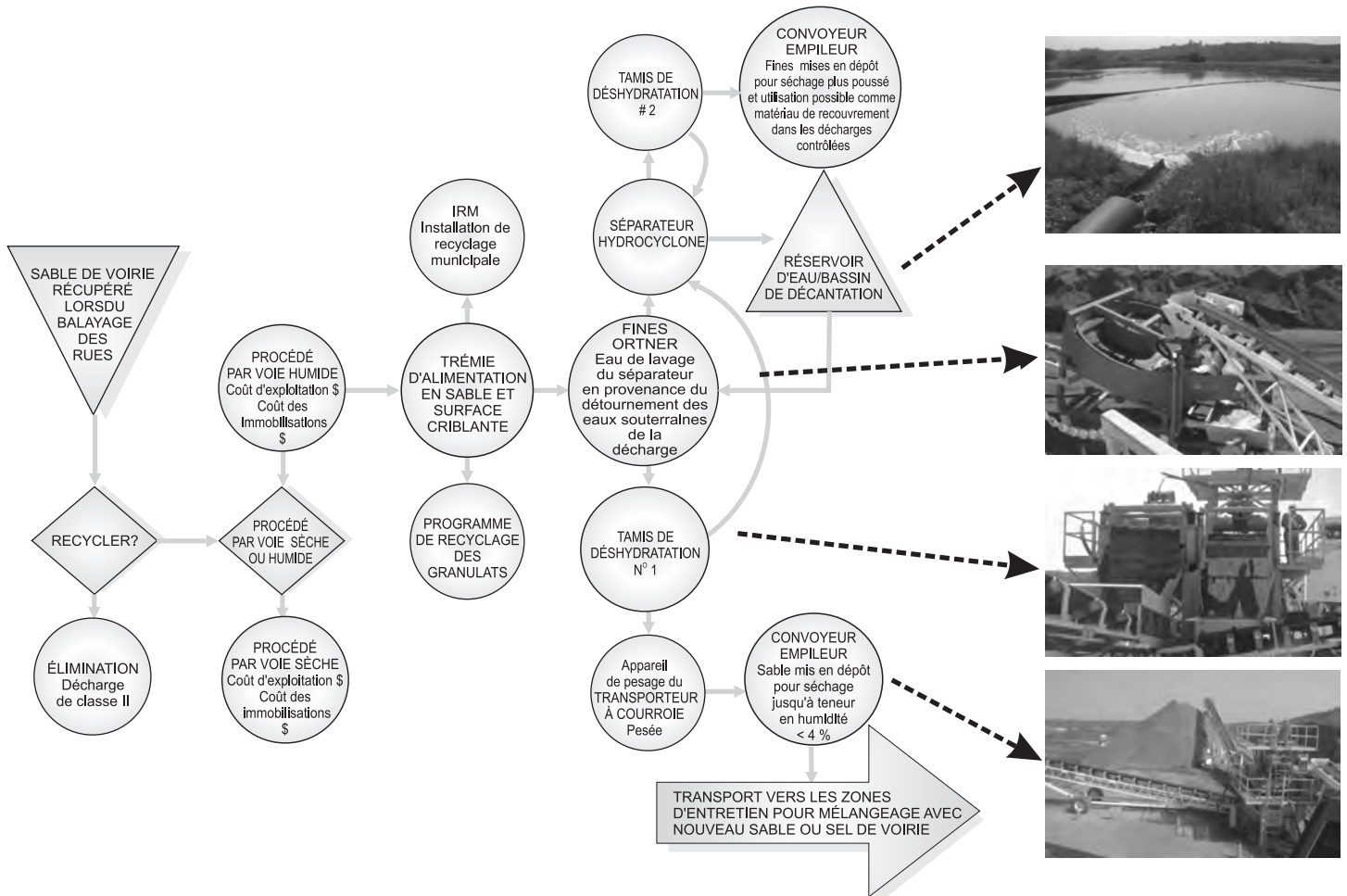
A. Études de cas

A.3 Étude de cas —
Projet pilote de
recyclage du sable
d'hiver de la
ville d'Edmonton

Figure A-1

Système préliminaire du
projet pilote de recyclage
du sable de la ville
d'Edmonton.

Figure A-1 : Système préliminaire du projet pilote de recyclage du sable de la ville d'Edmonton.



A. Études de cas

A.3 Étude de cas —
Projet pilote de
recyclage du sable
d'hiver de la
ville d'Edmonton

A.4 Étude de cas —
Recyclage à
chaud en place

Photo A-9

Recyclage à chaud et
l'équipement utilisé
dans le passé et le présent.

Photo A-10

Le tronçon utilisé pour
l'essai du procédé de
recyclage à chaud entre
Woodstock et London.

Les résultats de la première année de traitement dans le cadre de l'étude pilote ont été très prometteurs. On a récupéré en moyenne dans les balayures de rues 80 pour cent de sable, 10 pour cent de sable fin propre, 4,5 pour cent de boues fines contaminées, 4 pour cent de déchets sauvages et 1,5 pour cent de gravier surdimensionné. L'analyse chimique des boues fines provenant de l'étang de décantation indique que la plupart des contaminant (sels, hydrocarbures, métaux lourds, etc.) aboutissent dans les boues fines qui peuvent être éliminées dans une décharge de classe II. Les résultats des essais physiques auxquels le sable

récupéré a été soumis n'indiquent aucune différence entre le sable d'hiver recyclé et le sable vierge. Dans le cadre de l'étude pilote, on a également expérimenté la réutilisation du sable fin propre dans le soulèvement par injection de boue et le béton de remplissage, ce qui pourrait, en cas de résultat positif, constituer un autre flux de revenus qui contribuerait à compenser pour les coûts de recyclage.

Pour obtenir des renseignements plus détaillés sur le projet de recyclage du sable d'hiver de la ville d'Edmonton, veuillez communiquer avec John Mundy, à l'adresse John.Mundy@edmonton.ca.



Photo A-9 : Recyclage à chaud et l'équipement utilisé dans le passé et le présent.

A.4 Étude de cas — Recyclage à chaud en place

En juin 2002, le ministère des Transports de l'Ontario a terminé l'examen sur une période de trois ans d'un projet de démonstration portant sur l'évaluation et la comparaison du rendement de différentes techniques de réhabilitation ou de recyclage de surfaces. Les techniques évaluées dans le cadre du projet incluaient : la thermorégénération de deuxième génération; le fraisage et le resurfacement avec couche de frottement

pleine (CFP); la thermorégénération de troisième génération; le fraisage et le resurfacement avec CFP incorporant un enrobé à chaud recyclé (CFP ECR); et le microrevêtement. Un des principaux objectifs de l'étude du MTO consistait à déterminer l'efficacité du matériel de thermorégénération de troisième génération (Martec AR 2000) alliant une soufflerie d'air chaud à de la chaleur rayonnée de faible intensité. Le tronçon utilisé pour l'essai du procédé de recyclage à chaud en place Martec consistait en 2,8 km des voies de circulation et du centre de l'autoroute 401, entre Woodstock et London (**photo A-10**). Le tronçon utilisé pour la thermorégénération de troisième génération avait été recyclé à l'automne de 1999. On a exécuté tous les travaux de nuit pour perturber la circulation le moins possible. La chaîne de thermorégénération a recyclé l'entière largeur de la voie (3,75 m) sur une épaisseur de 45 mm, à un taux moyen de production d'environ 4 m/mn pendant toute la durée du projet.

La thermorégénération est un procédé bien établi dont les origines remontent au début



Photo A-10 : Le tronçon utilisé pour l'essai du procédé de recyclage à chaud entre Woodstock et London.

des années 1900 (ARRA, 2001, et **photo A-9**). Dans le passé, l'atteinte d'une épaisseur de traitement (épaisseur de chauffage) adéquate permettant de scarifier et de traiter le mélange d'asphalte sans endommager le granulat ou oxyder (brûler) le liant, et l'atténuation des émissions possibles de « fumée bleue » constituaient les principales limitations de la technique. Le nouveau matériel de thermorégénération de troisième génération a évolué au point où il est possible de chauffer le béton asphaltique uniformément sur une épaisseur de près de 75 mm, puis de le mélanger avec des produits régénérateurs d'avant-garde, les

émissions de « fumée bleue » étant alors inférieures à celles des postes d'enrobage à chaud classiques (**tableau A-1**).

Les **tableaux A-2, A-3 et A-4** montrent le rendement des différentes méthodes de recyclage ou de réhabilitation des chaussées en fonction des mesures de l'indice de confort de roulement (ICR) du MTO, de l'indice de rugosité internationale (IRI), de l'orniérage moyen et des propriétés d'adhérence à la surface.

La principale conclusion à la fin de l'évaluation du projet de démonstration du MTO, qui s'est

A. Études de cas

A.4 Étude de cas —
Recyclage à
chaud en place

Tableau A-1

Comparaison des facteurs d'émissions de chaînes de thermorégénération de deuxième et de troisième génération, et de 400 postes d'enrobage classiques aux États-Unis (EPA/FHWA/Martec).

Tableau A-2

Rugosité propre à différentes méthodes de recyclage.

Tableau A-1 : Comparaison des facteurs d'émissions de chaînes de thermorégénération de deuxième et de troisième génération, et de 400 postes d'enrobage classiques aux États-Unis (EPA/FHWA/Martec).

Polluant	Système de recyclage à l'air chaud Martec AR2000	Système de recyclage à infrarouge type	Émissions de cheminée de poste d'enrobage (1990)
	kg/tonne	kg/tonne	kg/tonne
CO	0,0085	0,290	0,019
NOx	0,0014	0,015	0,018
Sox	0,0017	—	0,146
Particules	0,0009	0,002	—
Hydrocarbures totaux	0,0007	0,013	0,014

Tableau A-2 : Rugosité propre à différentes méthodes de recyclage.

Tronçon de démonstration	IRC (Remarque 1)			IRI (Remarque 2)	
	Avant 1999	Après 1999	Un an 2000	Deux ans 2001	Trois ans 2002
Thermorégénération de deuxième génération	8,1	8,5	8,8	1,33	1,29
Nouvelle CFP	8,6	8,2	8,2	1,13	1,12
Thermorégénération Martec	8,3	8,5	8,7	1,02	0,98
CFP ECR	8,5	8	8	0,98	0,98
Microrevêtement – 2000	8,4	8,6 (Avant)	8,2	0,92	0,90
Microrevêtement – 1999	8,7	8,0	8,4	0,78	0,78

Remarque 1. – IRC signifie « indice de confort de roulement » sur une échelle de 0 à 10, 10 étant le confort le plus doux; l'indice est établi à l'aide du matériel PURD du MTO.

Remarque 2. – IRI signifie « indice de rugosité internationale » sur une échelle de 0 à 16, 0 étant la perfection absolue; l'indice est établi à l'aide d'un analyseur automatique de l'état des routes.

A. Études de cas

A.4 Étude de cas — Recyclage à chaud en place

Tableau A-3

Profondeur moyenne des ornières relative à différentes méthodes de recyclage.

Tableau A-4

Caractéristiques d'adhérence propres aux différentes méthodes de recyclage.

étalée sur une période de trois ans, a été que le tronçon recyclé par thermorégénération de troisième génération était en excellent état et

qu'il était, de tous les tronçons construits dans le cadre du contrat, celui qui présentait la meilleure performance.

Tableau A-3 : Profondeur moyenne des ornières relative à différentes méthodes de recyclage.

Tronçon de démonstration	Orniérage moyen (mm)		
	Un an 2000 (remarque 1)	Deux ans 2001 (remarque 2)	Trois ans 2002 (remarque 2)
Thermorégénération de deuxième génération	3,1	5,2	4,2
Nouvelle CFP	2,8	4,3	2,9
Thermorégénération Martec	2,8	4,3	2,3
CFP ECR	2,9	4,4	2,6
Microrevêtement — 2000	—	6,0	4,2
Microrevêtement — 1999	4,0	5,2	4,6

Remarque 1. – Moyenne pour les voies 2 et 3, sauf indication contraire.

Remarque 2. – Moyenne pour le voie 3 sauf indication contraire.

Tableau A-4 : Caractéristiques d'adhérence propres aux différentes méthodes de recyclage.

Tronçon de démonstration	Orniérage moyen (mm)			
	Before 1999	After 1999	One Year 2000	Three Years 2002
Thermorégénération de deuxième génération	41	43	39	44
Nouvelle CFP	41	41	41	44
Thermorégénération Martec	41	41	43	47
CFP ECR	42	40	40	46
Microrevêtement – 2000	49	Non mis en place	44	44
Microrevêtement – 1999	45	42	37	41

Réutilisation et recyclage de l'asphalte

ARRA, 2001. *Basic Asphalt Recycling Manual, Asphalt Recycling and Reclaiming Association*, Maryland, É.-U.

ATC, 1994. *Management of Road Construction and Maintenance Wastes*, Association des transports du Canada, Canada. ISBN 1-895102-62-6.

Brown, W.H., J.-M. Croteau, M. MacKay, L. Uzarowski, et J. Emery, 2000. *Pavement Evaluation, Design and Performance Monitoring, Full Depth Reclamation and Stabilization*, Simcoe County Road 46. Actes de la 45^e conférence annuelle, Association canadienne des techniques de l'asphalte, Canada.

Dawley, C.B., A.G. Johnston et B.L. Hogeweide, 1993. *A Demonstration Project to Evaluate Foamed Asphalt Technology — Lethbridge, Alberta*. Actes de la 38^e conférence annuelle, Association canadienne des techniques de l'asphalte, Canada.

Donovan, H.B. et R. Stefaniw, 2003. *Two-Year Experience with Full Depth Reclamation/ Stabilization Using Foamed Bitumen in Edmonton, Alberta*. Actes de la 48^e conférence annuelle, Association canadienne des techniques de l'asphalte, Canada.

Dunn, L., D.P. Palsat, J. Gavin et W. Mah, 1997. *Guidelines for the Design of Hot In-Place Recycled Asphalt Concrete Mixtures*. Actes de la 42^e conférence annuelle, Association canadienne des techniques de l'asphalte, Canada.

Earl, J.F. et J.J. Emery, 1987. *Practical Experience with High Ratio Hot Mix Recycling*. Actes de la 32^e conférence annuelle, Association canadienne des techniques de l'asphalte, Canada.

Emery, J.J., J.A. Gurowka et T. Hiramane, 1989. *Asphalt Technology for In-Place Surface Recycling using the Heat Reforming Process*. Actes de la 34^e conférence annuelle, Association canadienne des techniques de l'asphalte, Canada.

Emery, J.J., 1991. *Asphalt Concrete Recycling in Canada*. Actes de la 36^e conférence annuelle, Association canadienne des techniques de l'asphalte, Canada.

Emery, J.J. and L. Uzarowski, 2003. *Asphalt Pavement Rehabilitation Using Cold In-Place Recycling and Full Depth Reclamation*. Actes de la 48^e conférence annuelle, Association canadienne des techniques de l'asphalte, Canada.

FHWA, 1997. *Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments*, FHWA-SA-98-042, Federal Highway Administration, É.-U.

FHWA, 1999. *User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction*, publié en ligne par le U.S. Federal Highway Administration <<http://www.tfhr.gov/hnr20/recycle/waste/begin.htm>>, visité en septembre 2004.

FHWA International Technology Exchange Program, 2000. *Recycled Materials in European Highway Environments — Uses, Technologies, and Policies*. Federal Highway Administration, É.-U.

InfraGuide (Guide national pour les infrastructures municipales durables), 2003a. *Meilleure pratique sur les routes et trottoirs : La construction d'ouvrages d'accès aux services dans les chaussées*, Ottawa (Ontario).

———, 2003b. *Meilleure pratique sur les routes et trottoirs : La réfection et la réparation des ouvrages d'accès aux services dans les chaussées*, Ottawa (Ontario).

- JEGEL, 1992. *Mineral Aggregate Conservation Reuse and Recycling*. Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, Canada.
- JEGEL, 2002. *Pavement Rehabilitation and Selection Criteria — CIR and FDR*. Présentation à la conférence annuelle de l'Asphalt Recycling and Reclaiming Association, Las Vegas (Californie) É.-U.
- Johnston, A.G., B. Hogeweide et D. Palsat, 2003. *The Full Depth Reclamation Process in the Urban Context — City of Lethbridge, Alberta*. Actes de la 48^e conférence annuelle, Association canadienne des techniques de l'asphalte, Canada.
- Kazmierowski, T.J., A. Bradbury et P. Marks, 1994. *Seven Years of Experience with Hot In-Place Recycling in Ontario*. Actes de la 39^e conférence annuelle, Association canadienne des techniques de l'asphalte, Canada.
- Lane, B. et T. Kazmierowski, 2002. *Expanded Asphalt Stabilization of the Trans-Canada Highway in Ontario*. Actes de la 47^e conférence annuelle, Association canadienne des techniques de l'asphalte, Canada.
- MacKay, M.H. et J.J. Emery, 1990. *Use of hot in-place recycling equipment to correct localized surfacing problems*. Présentation à la réunion annuelle de 1990 de l'Association canadienne du transport et des routes (maintenant l'ATC), Canada.
- MTO, 1995. *Management of Excess Materials in Road Construction and Maintenance*. Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, Canada.
- OCDE, 1997. *Recycling Strategies for Road Works*. Organisation pour la coopération et le développement économiques, France.
- OHMPA, 2003. *The ABCs of Asphalt Pavement Recycling*, Ontario Hot Mix Producers Association, Mississauga (Ontario).
- Wirtgen, 1998. *Wirtgen Cold Recycling Manual*, Wirtgen GmbH., Allemagne.
- Réutilisation et recyclage du béton**
- ACC, 2002. *Design and Control of Concrete Mixtures Seventh Canadian Edition*. Association du ciment Portland/Association canadienne du ciment, Canada.
- AI, 2000. *Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation*. Asphalt Institute, É.-U. Manual Series N° 17 (MS-17).
- AI, 2000. *Grade Control Guidelines for Smooth HMA Pavements with Emphasis on Overlays over Rubblized PCC Pavement*. Asphalt Institute, Kentucky, É.-U. Information Series IS-201.
- ACPA, 1993. *Recycling Concrete Pavement*, American Concrete Pavement Association, Illinois É.-U. Technical Brief TB-014P.
- Bernard, F., 1997. *Stabilisation au ciment d'une chaussée urbaine*. Actes de la conférence INFRA 1997, INFRA, Canada.
- Norme CSA A3000-03 *Recueil de matériaux cimentaires*.
- ECCO, 1997. *Recycling Concrete Saves Resources, Eliminates Dumping*. Environmental Council of Concrete Organizations, É.-U.
- ECCO, 1999. *Recycling Concrete and Masonry*, Environmental Council of Concrete Organizations, É.-U.
- FHWA, 1997. *User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction*, published online by Federal Highway Administration at www.tfhrc.gov/hnr20/recycle/waste/begin.htm, visité en septembre 2004.
- FHWA, 2004. *Transportation Applications of Recycled Concrete Aggregate — FHWA State of the Practice National Review*, Federal Highway Administration, É.-U.
- JEGEL, 1992. *Mineral Aggregate Conservation Reuse and Recycling*, ministère des richesses naturelles de l'Ontario, Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, Canada.

Kasai, Y., 2004. *Recent Trends in Recycling of Concrete Waste and Use of Recycled Aggregate Concrete in Japan*. Actes du symposium de l'American Concrete Institute sur le recyclage du béton et d'autres matériaux pour le développement durable, American Concrete Institute, É.-U.

Melton, J.S., 2004. *Guidance for Recycled Concrete Aggregate Use in the Highway Environment*. Actes du symposium de l'American Concrete Institute sur le recyclage du béton et d'autres matériaux pour le développement durable, American Concrete Institute, É.-U.

MTO, 1995. *Management of Excess Materials in Road Construction and Maintenance*. Rapport final, ministère des Transports de l'Ontario, Transportation Engineering and Standards Branch. Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, Canada.

Senior, S.A., 1992. *New Developments in Specifications for Road Base Materials in Ontario*. Actes de la 45^e réunion annuelle de la Société canadienne de Géotechnique, Toronto (Ontario).

Tighe, Susan, Rico Fung et Tim Smith, 2001. *Concrete Pavements in Canada: State-of-the-Art Practice*, 7^e conférence internationale sur les chaussées en béton, Orlando, Floride, É.-U.

Wolters, Richard O., P.E. et Jill M. Thomas, 2003. *Best Management Practices for Rubblizing Concrete Pavement*, Minnesota Asphalt Pavement Association, Minnesota, É.-U.

Recyclage du sable d'hiver

ATC, 1994. *Management of Road Construction and Maintenance Wastes*, Association des transports du Canada, Canada. ISBN 1-895102-62-6

Land Technologies Inc., 1997. *Reprocessing and Reuse of Street Waste Solids, Recycling Technology Assistance Program*, Seattle, É.-U. Rapport n° IBP-97-5.

MTO, 1995. *Management of Excess Materials in Road Construction and Maintenance, rapport final, ministère des Transports de l'Ontario*, Transportation Engineering and Standards Branch. Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, Canada.

Autres documents d'intérêt

Les documents qui suivent contiennent des renseignements supplémentaires et peuvent être d'intérêt pour le lecteur.

AASHTO, 1993. *AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.

Canadian Environmental.com — *Environmental management information, legislation and resources related to industry*, 2004. « Legislation », site Web : www.canadianenvironmental.com/legislation, visité en septembre 2004.

MacKay, M.H., D.K. Hein et J.J. Emery, 1992. *Evaluation of frost action mitigation procedures for highly frost susceptible soils*, Transportation Research Record N° 1362, Transportation Research Board, Washington, D.C.

