

**SUIVI DE PERFORMANCE DES PROJETS DE
RÉHABILITATION DES CHAUSSÉES MUNICIPALES
- VILLE DE MONTRÉAL -**

Rapport destiné au milieu municipal québécois
Avril 2011



Canada 

Montréal 

*Affaires municipales
et Régions*

Québec 

Coordination :

Joseph Jovenel Henry, CERIU

Recherche et rédaction :

Bertin Godé, CERIU

Chaker Al Amari, CERIU

Révision et suivi par les membres du comité de travail :

Gabriel Assaf, École de technologies supérieures - ÉTS

Jordan Belovski, Génivar

France Bernard, Ville de Montréal, Arr. de Verdun

Gilles Bertrand, Groupe Qualitas

Éric Blond, SAGÉOS/Groupe CTT

Michel Brodeur, Ville de Saint-Hyacinthe

Yves Brousseau, Association canadienne du ciment - ACC

Alan Carter, École de technologies supérieures - ÉTS

Mathieu Charbonneau, Association québécoise des transports et des routes - AQTR

Serge Fortin, Ville de Québec

Richard Latraverse, Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire - MAMROT

Stéphane Lavoie, Dessau-Soprin

Pierre Paul Legaré, Ville de Montréal

Maurice Lemire, Ville de Gatineau

Claude Lupien, Université de Sherbrooke

Henri Madjar, Qualitas

Yvan Paquin, Construction DJL

Michèle St-Jacques, École de technologies supérieures - ÉTS

Claude Tremblay, Ministère des transports du Québec - MTQ

Révision linguistique :

Amélie Laberge

Stéphanie Boivin, CERIU

Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines (CERIU)

1255, rue University, bureau 800, Montréal (Québec) H3B 3W3

Tél. : 514 848-9885

www.ceriu.qc.ca

CRÉDITS ET REMERCIEMENTS

Nous remercions les gouvernements du Québec et du Canada pour leur appui financier à ce projet. Ce rapport a été réalisé dans le cadre du Fonds sur l'infrastructure municipale rurale (FIMR), en vertu du volet 2, géré par le ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (MAMROT). Ce rapport présente un bilan des projets d'expérimentation portant sur les nouvelles technologies du domaine des chaussées, réalisés sur le territoire de l'agglomération de Montréal, lors des programmes « Travaux d'infrastructures Canada-Québec 1994 et 1997 ».

Ce rapport a été réalisé dans le but de valider la performance de ces nouvelles techniques. Pour ce faire, l'état des chaussées réhabilitées avec les nouvelles technologies a été mesuré et comparé, à partir d'indicateurs de performance, à celui de projets réalisés avec des techniques conventionnelles.

Ce rapport a été piloté par le Centre d'expertise et de recherche en infrastructures urbaines (CERIU) pour la Ville de Montréal en collaboration avec ses partenaires du Conseil permanent chaussées. Il est le résultat d'une collaboration de spécialistes qui ont généreusement accepté d'y consacrer de leur temps et de partager leurs connaissances. Sa réalisation n'aurait pu être possible sans leur effort soutenu. Nous les remercions tout particulièrement pour leur disponibilité et leur enthousiasme tout au long du projet. Nous remercions aussi tous ceux et celles qui ont pris le temps de lire le document et de commenter les versions préliminaires du texte. Leur apport a grandement contribué à améliorer ce document et nous leur en sommes très reconnaissants.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	3
1. INTRODUCTION	5
1.1 Contexte du projet.....	5
1.2 Objectifs du projet.....	5
1.3 Définitions.....	6
2. DESCRIPTIF DES TECHNIQUES EXPÉRIMENTÉES.....	10
2.1 Concassage par Rubblizing et S-Base.....	10
2.2 Base stabilisée à la mousse de bitume avec ajout de ciment.....	11
2.3 Recyflex EBC et Gripfibre	12
2.4 Recyflex chaux et Gripfibre.....	13
2.5 Base stabilisée à la mousse de bitume et matériaux recyclés (Option A)	13
2.6 Base stabilisée à l'émulsion de bitume et matériaux recyclés (Option B)	15
2.7 Géogrille Roadtex et enrobé SP10PE	15
2.8 Enrobé recyclé à froid et couche d'usure	16
2.9 Microplast, Bétonplast-C et Gripfibre.....	18
2.10 Flexiplast, Bétonplast-C et Gripfibre.....	18
2.11 Technique Novatherm et Gripfibre sur chaussée modérément sollicitée	19
2.12 Technique Novatherm et Gripfibre sur chaussée mixte fortement sollicitée.....	20
2.13 Chape en béton armé de fibres	20
2.14 Planage complet/partiel et revêtement conventionnel	21
2.15 Essai de nouveaux liants d'accrochage et d'enrobés bitumineux.....	22
2.16 Interventions ponctuelles.....	23
3. SUIVI DE LA PERFORMANCE DES TECHNIQUES	25
3.1 Déroulement du programme de suivi.....	25
3.2 Paramètres mesurés	25
4. ÉVALUATION GLOBALE DES TECHNIQUES.....	26
4.1 Données de base de l'évaluation des techniques.....	26
4.2 Dégradations de surface	27
4.3 Uni et confort au roulement	28
4.4 Orniérage	28
4.5 Texture et adhérence	29
4.6 Capacité structurale.....	29
4.7 Niveau de performance des techniques.....	29
5. CONCLUSION	32
ANNEXE 1 : TABLEAU RÉCAPITULATIF DES TECHNIQUES	33
ANNEXE 2 : ÉVOLUTION DES DÉGRADATIONS DE SURFACE.....	36
ANNEXE 3 : ÉVOLUTION DE L'UNI PAR TECHNIQUE	39
ANNEXE 4 : ÉVOLUTION DE L'ORNIÉRAGE (MM) PAR TECHNIQUE	42
ANNEXE 5 : ÉVOLUTION DE L'ADHÉRENCE PAR TECHNIQUE.....	45
ANNEXE 6 : DONNÉES DE SUIVI 2008 (12 À 13 ANS APRÈS LES TRAVAUX)	48
ANNEXE 7 : ÉVOLUTION DE LA CAPACITÉ STRUCTURALE PAR TECHNIQUE	54
ANNEXE 8 : RÉPERTOIRE DES PROJETS D'EXPÉRIMENTATION DE NOUVELLES TECHNOLOGIES PAR D'AUTRES VILLES - TRAVAUX D'INFRASTRUCTURES CANADA-QUÉBEC, 2 ^E ÉDITION, GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, QC, CANADA, 1998.....	57

1. INTRODUCTION

1.1 Contexte du projet

Depuis plus d'une décennie, les propriétaires d'infrastructures (municipalités, MTQ, etc.) ont recours à la réhabilitation des infrastructures de chaussées plutôt qu'à leur reconstruction complète. D'une part, cette approche permet de sauver des sommes appréciables qui pourront être allouées à d'autres secteurs névralgiques comme la santé et l'éducation. D'autre part, elle favorise une remise en service plus rapide des tronçons réhabilités.

Ainsi, les programmes « Travaux d'infrastructures Canada-Québec 1994 et 1997 » ont permis à plusieurs municipalités du Québec de réaliser des projets d'expérimentation de nouvelles technologies. Ces projets ont offert aux municipalités, aux centres de recherche et aux entreprises du Québec une occasion importante de mettre à l'essai de nouveaux produits et de nouvelles techniques de réhabilitation de chaussées municipales. Un répertoire des projets expérimentés par d'autres villes est présenté à l'annexe 8.

Soulignons que la Ville de Laval a effectué des travaux de réhabilitation avec des techniques présentant certaines relations avec l'une des techniques visées par le présent projet.

Ville de Montréal : base stabilisée à la mousse de bitume avec ajout de ciment.	Ville de Laval : stabilisation de chaussées à l'aide de bitume moussé additionné de chaux.
	Ville de Laval : réhabilitation de chaussées par stabilisation au liant ciment-bitume.

Ainsi que la Ville de Montréal qui a amorcé des travaux relatifs aux volets « réhabilitation », « entretien correctif majeur », « essai de nouveaux liants et enrobés bitumineux » et diverses interventions ponctuelles dans le cadre de ce programme.

1.2 Objectifs du projet

Le projet visait les objectifs principaux suivants :

- expérimenter de nouvelles techniques de réhabilitation de chaussées municipales;
- évaluer des techniques mises en place il y a plus de 10 ans et ayant déjà fait l'objet d'un suivi initial sur cinq ans;
- pour la Ville, avoir recours à des techniques permettant d'économiser, de recycler et de prolonger la durée de vie utile des chaussées;
- informer les donneurs d'ouvrages de l'efficacité des technologies expérimentées pour la réhabilitation des chaussées.

1.3 Définitions

Définitions diverses :

Bétonplast : béton bitumineux de module de rigidité élevé et de granulométrie 0/14 mm qui sert à renforcer le support existant. Il est caractérisé par sa grande résistance à la fatigue et à l'orniérage grâce aux propriétés de flexibilité et de cohésion du bitume polymère utilisé.

Bitume moussé (mousse de bitume) : bitume qui, au contact de l'eau, fait de la mousse et accroît rapidement son volume. En effet, quand l'eau froide est mise en contact avec le bitume chaud, elle passe en vapeur emprisonnée à l'intérieur de milliers de bulles bitumineuses. Le fait de mousser le bitume diminue considérablement sa viscosité, améliore ses propriétés adhésives et en fait un liant idéal pour le malaxage des agrégats humides et froids.

Chape en béton armé de fibres d'acier : chape faite en béton 32 MPa constitué d'une pierre de carrière de type Trap Rock de 20 mm et d'un sable naturel. Le béton est armé de fibres d'acier ondulé 50/10 à un taux de 40 kg/m³.

Colnet : liant d'accrochage à base d'émulsion de bitume. Il permet d'éviter les désagréments d'une couche d'accrochage traditionnelle, car il ne colle pas aux pneumatiques mais assure un collage efficace entre les couches.

CSS-1 : liant d'accrochage ayant les caractéristiques suivantes : **C** - cationique, **SS** - *Slow Setting* (rupture lente) et **1** - faible viscosité.

Émulsion : suspension de gouttelettes d'un liquide finement dispersées dans un second liquide (exemple : l'huile dans l'eau et vice versa).

Enrobé bitumineux de type EB-10S (L') : enrobé constitué de pierres concassées de carrière et de liant modifié de classe de performance PG 64-34 ou autre en fonction du climat et de la circulation anticipée. Ce type d'enrobé bitumineux est normalisé (norme 4201) par le ministère des Transports du Québec.

Enrobé bitumineux HiTech100 : enrobé caractérisé par une excellente flexibilité à basse température permettant une température de pose aussi basse que 90° C. Il est obtenu par la modification d'un bitume pur de classe de performance PG 58-28 au moyen de deux types de polymères (SBR et SBS) et d'une huile de procédé. Les granulats sont constitués de scories d'acier dans une proportion de 75 %.

Enrobé bitumineux recyclé à froid : revêtement bitumineux souple antiremonté de fissure. L'émulsion régénérante sélectionnée est une émulsion de bitume polymère Styrelef HF-150p caractérisée par une bonne qualité d'adhésion aux granulats bitumineux recyclés et une cure initiale rapide.

Enrobé bitumineux Tapiplast (L') : enrobé formulé à l'aide d'essais à la presse à cisaillement giratoire (PCG) française, d'essais de tenue à l'eau (essai Duriez) et d'essais à l'orniéreur. Il est fabriqué à chaud en centrale et s'applique à l'aide d'un finisseur conventionnel. Il est constitué de granulats de qualité supérieure avec une courbe granulométrique discontinue et d'un liant modifié aux polymères Evatech G3. Ce dernier atteint les températures T_e et T_b d'un liant de classe de performance PG 64-34.

Enrobé Enrocolor : enrobé coloré dans la masse et non en surface. C'est donc un enrobé de coloration plus durable que les colorations de surface comme la peinture, surtout en période hivernale.

Enrobé polymère à chaud de type MB-10 : enrobé conventionnel MB-10 avec utilisation à chaud d'un bitume polymère.

Enrobé SP10PE : enrobé bitumineux à chaud obtenu par la méthode de formulation SuperPave du programme de recherche américain SHRP. Le procédé consiste à utiliser un bitume de base 150-200 qu'on améliore par l'ajout de pastilles de polyéthylène lors du malaxage. L'utilisation du bitume de base rend l'enrobé moins fragile et donc plus résistant à la fissuration à basses températures. L'ajout du polyéthylène permet *théoriquement* d'améliorer le comportement viscoélastique de l'enrobé, le rendant plus résistant à l'orniérage et à la traction.

Flexiplast : procédé destiné à empêcher la remontée des fissures au niveau du support. Son efficacité est basée sur le découplage des couches par un dispositif flexible. Le procédé comporte une épaisse membrane de bitume Élastoplast qui est recouverte par un enrobé Gripfibre de granulométrie 0/6 mm. Les propriétés antifissures sont obtenues par l'emploi d'un bitume modifié de type SBS qui est un liant très visqueux possédant un très grand intervalle de plasticité. La membrane doit être très épaisse, à savoir de 1,5 à 3 mm, pour obtenir un découplage efficace des couches en plus d'assurer une excellente imperméabilité.

Géogrille Roadtex : grille en fibre de verre anisotrope. Elle possède une résistance à la traction de 150 kN dans le sens longitudinal et de 17 kN dans le sens transversal. Son utilisation permet de diminuer le déplacement des fissures transversales par un effet de frettage et aussi d'augmenter la résistance à la traction de la couche d'enrobé en jouant le rôle d'armature.

Gripfibre : enrobé coulé à froid 0/6 mm ou 0/10 mm (parfois coulis 0/4 mm), de granulométrie continue ou discontinue, avec incorporation de fibres. Il est appliqué en minces couches de roulement d'environ 10 mm.

Griplast : enrobé bitumineux coulé à froid et composé d'une criblure de calibre 0/2,5 mm, d'émulsion de bitume modifié, d'eau et de chaux.

Microplast : béton bitumineux de granulométrie 0/5 mm, dense et riche en liant. Il est utilisé pour assurer une bonne étanchéité du substrat tout en gardant ses propriétés élastiques à long terme. Il est fabriqué à chaud, en centrale.

Ornièreur : matériel de laboratoire conçu pour étudier la résistance à l'orniérage d'enrobés hydrocarbonés dans des conditions comparables aux sollicitations sur chaussées.

Procédé Novatherm : technique de restauration en place, à chaud, des enrobés bitumineux. L'atelier mobile de thermo-recyclage procède successivement au préchauffage de l'enrobé existant, au décohésionnement par fraisage de l'enrobé à la profondeur souhaitée (jusqu'à 70 mm de profondeur), au malaxage avec un enrobé correcteur, si nécessaire, au répandage et au compactage de l'enrobé ainsi renouvelé. Cette technique permet de régénérer les qualités essentielles à la couche de roulement sur le plan de l'uni et de son aspect de surface. Elle est avantageuse sur le plan économique, comme elle est basée sur le recyclage des matériaux, la réduction des coûts de transport ainsi que des travaux connexes. Le traitement en un seul passage et sur une seule voie minimise le temps d'immobilisation et atténue ainsi les problèmes de circulation.

Recyclage à froid des enrobés : recyclage qui s'effectue généralement en place. Une partie du revêtement bitumineux est enlevée par planage à froid. Le résidu bitumineux est ensuite tamisé avant l'ajout d'un liant hydrocarboné, généralement une émulsion de bitume (1,0 % de bitume ajouté). Ces étapes, de même que le malaxage et la pose, sont effectuées en une seule opération et en continu. L'enrobé ainsi fabriqué est recouvert par un enrobé à chaud conventionnel après une période de cure variant de une à deux semaines.

Recyflex Chaux : matériau constitué de grave recyclée, d'émulsion de bitume et de chaux. C'est une variante du Recyflex EBC avec la même utilisation.

Recyflex EBC : matériau constitué de grave recyclée, d'émulsion de bitume et de ciment. Il est principalement utilisé comme base de fondation de chaussée, en remplacement de dalles de béton, pour augmenter considérablement la capacité portante de la nouvelle chaussée ou encore lors d'une intervention de réfection en profondeur qui permet par la suite de diminuer les épaisseurs des couches d'enrobés supérieures. L'utilisation combinée d'émulsion de bitume et de liant hydraulique permet de réduire considérablement les temps de cure ainsi que les délais de remise en circulation.

S-Base : enrobé bitumineux à haut module constitué d'un liant bitumineux semi-oxydé. Il est utilisé comme couche de base du revêtement bitumineux.

S-Rug : enrobé bitumineux à granulométrie discontinue avec bitume de grade PG 58-34. Ce mélange est utilisé comme couche de roulement du revêtement bitumineux.

Supercol : liant d'accrochage de performance supérieure aux liants classiques RS1 ou SS. Le procédé consiste à introduire un agent de rupture injecté dans l'émulsion au cours de l'épandage. Le Supercol peut être posé sur des supports humides, à l'abri de l'eau courante, jusqu'à une température de 1^o C.

Note : les définitions présentées à l'article 1.3 ne sont valides que pour ce rapport synthèse.

2. DESCRIPTIF DES TECHNIQUES EXPÉRIMENTÉES

Ce chapitre décrit le mode de mise en œuvre des différentes techniques expérimentées. L'annexe 1 comporte le récapitulatif des informations diverses sur l'année de réalisation, le lieu et l'entreprise réalisatrice des travaux.

2.1 Concassage par Rubblizing et S-Base

Cette technique de réhabilitation est mise en œuvre sur des chaussées mixtes fortement sollicitées. D'une façon générale, elle consiste à remplacer la structure de la chaussée existante par une fondation recyclée d'une dalle de béton de ciment concassée par Rubblizing. On pose par la suite un enrobé bitumineux à module élevé, le S-Base, comme couche de base sous-jacente à un enrobé bitumineux à granulométrie discontinue et le S-Rug, comme couche de roulement.

Les étapes de réalisation sont les suivantes :

- planage et enlèvement du revêtement bitumineux recouvrant la dalle de béton;
- concassage en place de la dalle de béton de ciment par **Rubblizing** ;
- reprofilage et compactage de la surface avec ajout de 25 à 50 mm de criblure de pierre;
- épandage d'un liant d'imprégnation de **type CSS-1 à un taux de 1,0 l/m²** ;
- pose d'une couche de base en enrobé bitumineux à haut module de résilience, de type **S-Base**, et d'épaisseur 90 mm;
- épandage d'un liant d'accrochage de **type Colnet à un taux de 0,5 l/m²**;
- pose de la couche de roulement de type **S-Rug** de 30 mm d'épaisseur.

Le concassage en place par Rubblizing présente les aspects innovateurs suivants :

- recyclage du béton de ciment par concassage en place;
- utilisation d'un enrobé bitumineux à module élevé au niveau de la couche de base (S-Base);
- utilisation d'un enrobé à granulométrie discontinue comme couche de roulement (S-Rug).

Les travaux ont été réalisés sur une section de la rue Victoria. La section de la rue Victoria, située entre les rues Jean-Talon et Mackenzie, a une longueur approximative de 310 m. Cette rue est soumise à une intense circulation (DTN de 300 à 1000). Elle comporte quatre voies de circulation, soit deux voies dans chaque direction.

2.2 Base stabilisée à la mousse de bitume avec ajout de ciment

Cette technique de réhabilitation a été expérimentée sur une chaussée mixte moyennement sollicitée. D'une façon générale, elle consiste à remplacer la structure de la chaussée existante par une fondation stabilisée à la mousse de bitume à laquelle est ajoutée une faible proportion de ciment Portland. La structure est préparée à partir de matériaux recyclés et de fraisât de béton bitumineux.

Les étapes de construction sont les suivantes :

- excavation complète des matériaux composant la chaussée existante y compris la dalle de béton de ciment et transport de l'excavât hors site;
- excavation de la sous-fondation pour une excavation totale de 500 mm;
- mise en place et compactage d'une sous-fondation (200 - 235 mm), en matériau granulaire recyclé, composé de 70 % de béton concassé et de 30 % de fraisât d'enrobé bitumineux;
- mise en place et compactage d'une couche de fondation, d'épaisseur 200 mm, de granulats recyclés et stabilisés au bitume moussé et au ciment Portland. Cette couche est composée de 70 % de grave recyclé (béton et pierre concassée recyclés) et de 30 % de fraisât bitumineux. Elle est stabilisée en centrale avec l'ajout de 3 % de **bitume moussé** et de 3 % de ciment Portland;
- mise en place d'une couche de base en béton bitumineux de type MB-20, d'épaisseur 60 mm;
- mise en place d'un revêtement bitumineux de surface en MB-10 d'épaisseur 40 mm.

L'aspect innovateur de la technique comprend :

- utilisation du ciment Portland pour améliorer le comportement du matériau stabilisé à la mousse de bitume;
- utilisation d'un système de contrôle de la poussière de ciment et de l'homogénéité du ciment dans le mélange; le contrôle de la poussière de ciment étant particulièrement important pour l'application de la technique en milieu urbain;
- utilisation de matériaux recyclés (béton de ciment concassé et fraisât d'enrobé bitumineux) pour fondation et sous-fondation de la chaussée.

Le projet est situé sur un tronçon de 330 m de long sur le boulevard Cavendish. Il est situé entre la rue Terrebonne et le chaînage, environ 70 m au nord de la rue Somerled. La chaussée est soumise à une circulation moyenne (DTN de 25 à 299). Elle comporte quatre voies de circulation, soit deux voies dans chaque direction.

2.3 Recyflex EBC et Gripfibre

Cette technique de réhabilitation de chaussées consiste en la réfection de la chaussée en utilisant un matériau granulaire recyclé et stabilisé en centrale avec de l'émulsion de bitume avec ajout de ciment Portland.

Les étapes de réalisation sont les suivantes :

- excavation complète des matériaux composant la chaussée existante, y compris la dalle de béton de ciment et transport de l'excavât hors site;
- excavation de la sous-fondation jusqu'à une profondeur de 500 mm;
- pose d'une sous-fondation de 250 mm, en matériau granulaire recyclé, composé de 50 % de béton de ciment concassé et de 50 % de pierre concassée;
- mise en place et compactage d'une couche de fondation (de base), d'épaisseur 130 mm, de granulats recyclés et stabilisés à l'émulsion de bitume additionnée au ciment Portland (2 %). Ce matériau est commercialisé sous le nom **Recyflex EBC**. La structure solide de cette couche est composée de 70 % de granulats recyclés de béton de ciment et de 30 % de fraisât d'enrobé bitumineux;
- mise en place en couche de base de 70 mm d'enrobé bitumineux de type MB-2;
- mise en place d'un revêtement bitumineux de surface de type Gripfibre 0-6 d'épaisseur 10 mm.

L'aspect novateur de l'invention réside dans l'incorporation de fibres de synthèse dans la formulation. Ces fibres autorisent l'application de formulations discontinues sans risque de ségrégation et assurent ainsi l'obtention de surfaces durablement rugueuses. Elles éliminent les risques de coulure de l'émulsion et de rejet de gravillons lors de la remise en circulation.

Deux tronçons de rues distinctes forment le site de mise en œuvre de la technique :

- le premier, d'une longueur de 162 m, se trouve sur le boulevard Cavendish, entre les points situés à 70 m et à 232 m, au nord de la rue Somerled;
- le deuxième se trouve sur la 36^e Avenue, dans le secteur Pointe-aux-Trembles, et s'étend sur une longueur de 175 m vers le nord, à partir de la rue Sherbrooke.

Les deux tronçons de chaussée ont été soumis à une sollicitation moyenne de la circulation (DTN de 25 à 299) et comportent chacun quatre voies de circulation, soit deux voies par direction.

2.4 Recyflex chaux et Gripfibre

Cette technique de réhabilitation de chaussées consiste à reconstruire la chaussée en utilisant un matériau granulaire recyclé stabilisé en centrale à l'émulsion de bitume avec ajout de chaux hydratée.

Les étapes de réalisation de la technique sont les suivantes :

- excavation complète des matériaux composant la chaussée existante, y compris la dalle de béton de ciment et le transport de l'excavât hors site pour recyclage;
- excavation de la sous-fondation pour une excavation totale de 500 mm;
- pose d'une sous-fondation, d'épaisseur 250 mm, en matériau granulaire recyclé, composé de 50 % de béton de ciment concassé et de 50 % de pierres concassées;
- mise en place et compactage d'une couche de fondation de base, d'une épaisseur de 180 mm, de granulats recyclés et stabilisés à l'émulsion de bitume additionnée à la chaux hydraulique (taux 1 %). Ce matériau est commercialisé sous le nom de **Recyflex chaux**. La structure solide de cette couche est composée de 70 % de granulats recyclés de béton de ciment et de 30 % de fraisât d'enrobé bitumineux;
- mise en place de 76 mm d'une base en enrobé bitumineux de type MB-2;
- pose d'une couche de surface en enrobé de type Gripfibre 0-6 sur 5 mm.

L'aspect novateur de l'invention réside dans l'incorporation de fibres de synthèse dans la formulation. Ces fibres autorisent l'application de formulations discontinues sans risque de ségrégation et assurent ainsi l'obtention de surfaces rugueuses durables. Elles éliminent les risques de coulure de l'émulsion et de rejet de gravillons lors de la remise en circulation.

Cette technique est mise en œuvre sur un tronçon d'environ 373 m sur la 36^e Avenue, dans le secteur Pointe-aux-Trembles à Montréal, entre l'autoroute 40 et 175 m au nord de la rue de Sherbrooke. Cette section de chaussée mixte est moyennement sollicitée par une circulation moyenne (DTN de 25 à 299). Elle comporte quatre voies de circulation, soit deux voies par direction.

2.5 Base stabilisée à la mousse de bitume et matériaux recyclés (Option A)

Cette technique consiste à utiliser pour la couche de fondation un mélange à parts égales de matériau granulaire recyclé et des granulats de carrière, le tout stabilisé à la mousse de bitume. Les matériaux recyclés sont aussi utilisés dans la sous-fondation à une proportion ne dépassant pas 50 %.

Les étapes de réalisation de la technique sont les suivantes :

- excavation de la structure de chaussée existante sur 475 mm, comprenant du béton bitumineux, du béton de ciment et les matériaux sous-jacents;
- transport des excavâts dans un centre de recyclage;
- mise en place d'une couche anticontaminante en Géotextile;
- mise en place d'une couche de sous-fondation d'épaisseur 200 mm constituée **d'au plus de 50 % de matériaux recyclés** (béton de ciment et béton bitumineux);
- mise en place de la fondation recyclée d'épaisseur 200 mm constituée d'un mélange stabilisé à la centrale, composé de **50 % de fraisât de béton bitumineux** recyclé provenant des opérations de planage et donc fourni par la Ville de Montréal à l'entrepreneur et de **50 % de granulats de carrière** de calibre 20-0. Le liant d'enrobage est le **bitume moussé**;
- mise en place de 75 mm d'enrobé bitumineux de type MB-5.

L'aspect innovateur porte sur :

- utilisation des matériaux recyclés (béton de ciment concassé et fraisât d'enrobé bitumineux) pour la sous-fondation de la chaussée à une proportion ne dépassant pas 50 % ;
- utilisation des matériaux recyclés (béton de ciment concassé et fraisât d'enrobé bitumineux) stabilisés en centrale pour la fondation de la chaussée à une proportion de 50 %.

Trois tronçons de rues distinctes de type mixte et faiblement sollicités, forment le site de mise en œuvre de la technique :

- le premier, d'une longueur approximative de 260 m, est situé sur la rue Hamelin, entre le boulevard Henri-Bourassa et la rue Prieur;
- le deuxième, d'une longueur de 160 m, est situé sur la rue Saint-Castin, entre le boulevard Gouin et 160 m au nord du boulevard Gouin;
- le troisième, d'une longueur approximative de 200 m, est situé sur la rue Victor-Doré, entre la rue Pasteur et le boulevard de l'Acadie.

Les rues Hamelin, Saint-Castin et Victor-Doré sont soumises à une circulation légère (DTN inférieur à 25). La rue Hamelin comporte une voie de circulation et deux voies de stationnement. Les deux autres rues comportent chacune deux voies de circulation et deux voies de stationnement.

2.6 Base stabilisée à l'émulsion de bitume et matériaux recyclés (Option B)

C'est une technique de réhabilitation expérimentée sur chaussées mixtes moyennement sollicitées. Elle porte sur l'utilisation de matériau granulaire recyclé stabilisé dont les étapes de construction sont les suivantes :

- excavation, sur une épaisseur de 475 mm, des matériaux en place y compris le béton bitumineux, du béton de ciment et des matériaux sous-jacents;
- expédition du béton bitumineux et du béton de ciment dans un centre de recyclage;
- mise en place d'une couche anticontaminante en Géotextile;
- mise en place d'une couche de sous-fondation d'épaisseur 200 mm constituée d'au plus de 50 % de matériaux recyclés (béton de ciment et béton bitumineux);
- mise en place de la couche de fondation d'épaisseur 200 mm constituée d'un mélange stabilisé à la centrale, composé de **30 % de fraisât de béton bitumineux** recyclé provenant des opérations de planage et donc fourni par la Ville de Montréal à l'entrepreneur et de **70 % de béton de ciment concassé**. Le liant d'enrobage est **l'émulsion de bitume**;
- mise en place de 75 mm d'enrobé bitumineux de type MB-5.

L'aspect innovateur comprend :

- l'utilisation des matériaux recyclés (béton de ciment concassé et fraisât d'enrobé bitumineux) pour la sous-fondation de la chaussée à une proportion ne dépassant pas 50 % ;
- une couche de fondation totalement composée de matériaux recyclés (béton de ciment concassé et fraisât d'enrobé bitumineux) stabilisés en centrale.

Le site de mise en œuvre de la technique est situé sur l'avenue Laval, entre la rue Rachel et l'avenue Mont-Royal. Il est d'une longueur de 425 m. L'avenue Laval est soumise à une circulation légère (DTN inférieur à 25). Elle comporte une seule voie de circulation.

2.7 Géogrille Roadtex et enrobé SP10PE

Cette technique d'entretien correctif majeur a été mise en œuvre sur chaussées mixtes fortement sollicitées. Elle consiste à remplacer le revêtement bitumineux existant par un complexe bitumineux, nommé enrobé SP10PE, armé d'une Géogrille en fibre de verre à grande résistance en traction.

Les étapes effectives de la réalisation sont les suivantes :

- planage complet du revêtement bitumineux existant;
- nettoyage au balai mécanique de la surface de la dalle de béton;

- épandage d'une couche d'accrochage **Supercol** à un taux de 1,2l/m²;
- pose d'une première couche d'enrobé SP10PE d'environ 50 mm;
- correction des petites zones de ressuage (remplacement par un nouvel enrobé);
- mise en place sur toute la surface de la chaussée de la géogrille sans colle, seules ses extrémités ont été clouées ainsi que les bords tous les cinq mètres;
- épandage d'une couche d'accrochage en émulsion sur la géogrille à un taux de 0,35 l/m²;
- pose de la deuxième couche d'enrobé SP10PE d'environ 50 mm;
- enlèvement de la géogrille et de la deuxième couche d'enrobé SP10PE à cause de la détérioration rapide observée du revêtement et de l'instabilité du mélange manifesté par le glissement de la deuxième couche sur la première couche;
- nettoyage de la surface et épandage d'une couche d'accrochage **Supercol** à un taux de 0,5 l/m²;
- pose et compactage de la deuxième couche d'enrobé SP10PE d'environ 50 mm;
- épandage d'une couche d'accrochage **Supercol** à un taux de 0,5 l/m²;
- pose et compactage de la troisième couche d'enrobé SP10PE d'environ 50 mm.

La technologie est limitée à tester l'utilisation de l'enrobé bitumineux modifié au polyéthylène SP10PE. Son aspect innovateur porte sur l'utilisation du liant Supercol et de l'enrobé bitumineux de type SP 10 PE.

Le site des travaux est localisé sur la rue Hochelaga, sur environ 260 m vers l'ouest, à partir du boulevard Langelier. La rue Hochelaga est soumise à une circulation élevée estimée à 20 000 DJMA pour 3,2 millions ÉCAS sur 15 ans.

2.8 Enrobé recyclé à froid et couche d'usure

C'est une technique d'entretien correctif majeur appliquée sur chaussée mixte modérément sollicitée. Elle a consisté à stabiliser et à réparer les fissures déficientes de la dalle de béton, à mettre en place un **enrobé bitumineux recyclé à froid**, suivi d'une couche de roulement constituée d'un **enrobé polymère à chaud de type MB-10**.

La mise en place de la technique comprenait les étapes suivantes:

- planage et enlèvement complet de la couche bitumineuse ainsi que la correction simultanée du profil du support de béton;
- traitement des fissures principales de la dalle de béton par injection des vides sous la dalle et par réparation en surface du béton dégradé;

- traitement des fissures de retrait thermique à la surface de la dalle dont l'ouverture excède 10 mm;
- épandage d'une couche de liaison (1,5 l/m²) constituée d'une émulsion polymère de type HF-150;
- mise en place d'une couche d'enrobé bitumineux, de 85 mm d'épaisseur, recyclé à froid par ajout d'une émulsion régénérante en polymère de type HF-150;
- épandage d'une couche de liaison (1,0 l/m²) constituée d'une émulsion polymère de type HF-150;
- mise en place de 30 mm d'enrobé polymère à chaud de type MB-10.

Le Centre de recherche et de contrôle appliqué à la construction (CRCAC) a rapporté que pour réparer la dalle de béton, l'entrepreneur a procédé d'abord au planage généralisé de la dalle sur une profondeur de ± 50 mm et de ± 90 mm au niveau des fissures et à l'enlèvement par marteau-piqueur pneumatique du béton friable. Ensuite, et après nettoyage des surfaces par jet d'eau, une barbotine au latex a été posée ainsi qu'un treillis métallique pour la majorité des réparations. Enfin, il a procédé au bétonnage des réparations en utilisant un béton modifié au latex et à la fumée de silice.

Dès la deuxième année, une dégradation localisée et une fissuration de la couche de roulement ont été constatées. Pour réparer la couche de roulement, l'entrepreneur a procédé au planage de l'enrobé dégradé et d'une partie de l'enrobé recyclé à froid, et à la pose d'un nouvel enrobé bitumineux à chaud de 35 mm d'épaisseur.

L'aspect innovateur est caractérisé par :

- traitement des fissures de la dalle en utilisant un béton modifié au latex et à la fumée de silice;
- injection des vides sous la dalle;
- utilisation d'une couche de base en enrobé recyclé à froid;
- couche de liaison constituée d'une émulsion polymère de type HF-150.

La technique a été expérimentée sur le boulevard Saint-Joseph Est, entre l'avenue Papineau et la rue Garnier. Le boulevard Saint-Joseph est soumis à une circulation **modérée** estimée à 17 000 DJMA pour 1,9 million d'ÉCAS, sur 15 ans.

2.9 Microplast, Bétonplast-C et Gripfibre

Cette technique a été utilisée pour l'entretien correctif majeur de la chaussée par la mise en place combinée des enrobés Microplast, Bétonplast-C et Gripfibre.

Les étapes de réalisation de la technique sont les suivantes :

- planage à froid et enlèvement du matériel bitumineux existant jusqu'à une profondeur de 10 mm dans la dalle de béton;
- pose d'une couche d'accrochage à l'émulsion RS-1 au taux de 0,35 l/m² ;
- mise en place de l'enrobé Microplast 0/5 mm sur 20 à 30 mm d'épaisseur à des taux de 50 et 70 kg/m²;
- pose d'une seconde couche d'accrochage à l'émulsion RS-1 au taux de 0,35 l/m²;
- mise en place de l'enrobé à module élevé Bétonplast-C sur 60 mm d'épaisseur;
- mise en place de 10 mm de couche de roulement en enrobé à froid Gripfibre 0/6 mm.

L'aspect innovateur réside dans la superposition de trois types d'enrobés ayant chacun une fonction spécifique pour assurer la performance du revêtement :

- le Microplast pour l'étanchéité de la base et contre la remontée des fissures de la dalle de béton ;
- le Bétonplast-C pour renforcer le support et permettre une bonne résistance à la fatigue et à l'orniérage ;
- le Gripfibre pour avoir une surface de roulement rugueuse, imperméable et durable.

Les travaux ont été réalisés sur le boulevard Saint-Joseph Est, entre l'avenue Des Érables et la rue Chabot avec une circulation **modérée** estimée à 17 000 DJMA pour 1,9 million d'ÉCAS, sur 15 ans.

2.10 Flexiplast, Bétonplast-C et Gripfibre

Cette technique qui a été utilisée pour l'entretien correctif majeur de la chaussée par combinaison consiste en un enrobé conventionnel et des enrobés modifiés Bétonplast-C et Gripfibre, ainsi que d'une membrane bitumineuse Flexiplast intercalée entre l'enrobé conventionnel et les enrobés modifiés.

Les étapes de la construction sont les suivantes :

- planage à froid et enlèvement du matériau bitumineux existant jusqu'à une profondeur de 10 mm dans la dalle de béton;

- injection de coulis stabilisateur sous les portions de dalle où le battement est supérieur à 50/100 mm;
- épandage d'une couche d'accrochage à l'émulsion RS-1 à un taux de 0,35 l/m²;
- mise en place d'une couche de correction en enrobé bitumineux MB-6 sur 20 mm d'épaisseur;
- mise en œuvre du procédé Flexiplast comprenant une membrane au bitume polymère Elastoplast et un enrobé coulé à froid Gripfibre totalisant une épaisseur d'environ 10 mm;
- mise en place d'enrobé à module élevé Bétonplast-C sur 50 mm d'épaisseur;
- mise en place d'une couche de roulement en béton Gripfibre 0/6 mm.

L'aspect innovateur réside dans la superposition du Flexiplast et de deux types d'enrobés pour assurer la performance de la structure de la chaussée :

- le procédé Flexiplast permet d'avoir une membrane imperméable, un découplage efficace des couches et une bonne résistance à la fissuration;
- le Bétonplast-C permet de renforcer le support et d'avoir une bonne résistance à la fatigue et à l'orniérage;
- le Gripfibre permet d'avoir une surface de roulement rugueuse, imperméable et durable.

Le site des travaux se trouve sur le boulevard Saint-Joseph Est, entre l'avenue Des Érables et la rue Fullum. Le boulevard Saint-Joseph est soumis à une circulation **modérée** estimée à 17 000 DJMA pour 1,9 million d'ÉCAS, sur 15 ans.

2.11 Technique Novatherm et Gripfibre sur chaussée modérément sollicitée

Cette technique est appliquée pour la correction majeure de chaussées mixtes modérément sollicitées. Elle est basée sur la combinaison de la mise œuvre du **procédé Novatherm** et de **l'enrobé Gripfibre**, applicable aux chaussées moyennement sollicitées.

La mise en œuvre de la technique comprend les étapes de construction suivantes :

- planage des rives sur une profondeur de 0 à 25 mm;
- réalisation du procédé Novatherm, comprenant l'ajout d'un enrobé correcteur, sur une épaisseur totale d'environ 60 mm;
- mise en place de la couche de roulement en enrobé à froid discontinu Gripfibre (0-6 mm) sur 10 mm d'épaisseur.

Le procédé Novatherm n'a pas été appliqué tel que prévu initialement en raison des difficultés rencontrées lors de la réalisation de travaux similaires (Novatherm et Gripfibre pour chaussée

fortement sollicitée) dans la rue Hochelaga par la même entreprise, tels que : engorgement du malaxeur et surdosage en bitume. Le malaxage des matériaux de planage et du bitume s'est réalisé à l'usine et le matériau obtenu est introduit au mélange comme un seul produit.

Les travaux ont été réalisés sur le boulevard Saint-Joseph Est, entre la 6^e Avenue et la 2^e Avenue.

Le boulevard Saint-Joseph est soumis à une circulation **modérée** estimée à 17 000 DJMA pour 1,9 million d'ÉCAS, sur 15 ans. Il comporte quatre voies de circulation, soit deux voies dans chaque direction.

2.12 Technique Novatherm et Gripfibre sur chaussée mixte fortement sollicitée

Cette technique est expérimentée pour réaliser la correction majeure de chaussées mixtes fortement sollicitées. Elle est basée sur la combinaison de la mise œuvre du **procédé Novatherm** et de **l'enrobé Gripfibre** applicable aux chaussées fortement sollicitées.

La réalisation comprend les étapes de construction suivantes :

- planage des rives sur une profondeur de 0 à 25 mm;
- réalisation du procédé Novatherm, comprenant l'ajout d'un enrobé correcteur, sur une épaisseur totale d'environ 60 mm;
- mise en place de la couche de roulement en enrobé à froid discontinu Gripfibre (0-6 mm), sur 10 mm d'épaisseur.

L'aspect innovateur réside dans la combinaison du procédé Novatherm (avec malaxage en usine) et de l'enrobé Gripfibre, et la réutilisation des matériaux excavés de la chaussée.

Les travaux ont été exécutés sur la rue Hochelaga, entre la rue Arcand et le boulevard Langelier. Cette rue est soumise à une circulation élevée estimée à 20 000 DJMA pour 3,2 millions d'ÉCAS, sur 15 ans. Elle comporte quatre voies de circulation, soit deux voies dans chaque direction.

2.13 Chape en béton armé de fibres

Cette technique est expérimentée pour l'entretien correctif majeur de chaussées mixtes fortement sollicitées. Elle consiste à remplacer le revêtement bitumineux en place par une **chape en béton armé de fibres d'acier**.

Sa mise en œuvre comprend les étapes suivantes de construction :

- planage complet du revêtement bitumineux et de la dalle de béton sur une épaisseur de 80 mm;

- traitement des fissures stables dont l'ouverture excède 3 mm et réparation des fissures instables;
- pose d'une chape de béton armé de fibres d'acier d'une épaisseur de 80 mm liaisonnée à la dalle existante avec un coulis de ciment.

L'utilisation d'une chape de béton armé de fibres d'acier comme recouvrement de dalle de béton de la chaussée constitue l'aspect innovateur de la technique.

Les travaux ont été exécutés sur la rue Hochelaga sur une longueur de 210 m à partir de la rue Cadillac vers l'est. Cette rue est soumise à une circulation élevée estimée à 20 000 DJMA pour 3,2 millions d'ÉCAS, sur 15 ans. Elle comporte quatre voies de circulation, soit deux voies dans chaque direction.

2.14 Planage complet/partiel et revêtement conventionnel

Ces deux techniques ont été mises en œuvre dans le cadre de l'entretien correctif majeur sur chaussée mixte. La première consiste au **planage complet** du revêtement bitumineux existant et à la pose d'un nouvel enrobé. La seconde consiste au **planage partiel** du revêtement bitumineux existant et à la pose d'un nouvel enrobé.

Le **planage complet** a été appliqué sur deux sites différents selon les étapes de réalisation suivantes :

Site n° 1 : rue Notre-Dame, entre Dickson et Sainte-Catherine

- planage complet du revêtement bitumineux existant jusqu'à la dalle de béton;
- correction et nivellement des regards et des puisards;
- réparations superficielles de la dalle (fissures moyennement dégradées);
- réparations en profondeur de la dalle (fissures très dégradées);
- nettoyage des surfaces au balai mécanique;
- pose d'une couche d'accrochage;
- pose d'une couche d'enrobé MB-10 d'épaisseur 60 mm (enrobé provenant de l'usine Francon à Montréal-Est).

Site n° 2 : rue Notre-Dame, entre Haig et Clarence-Gagnon

Il s'agit du planage du revêtement bitumineux existant sur une épaisseur de 60 mm. L'épaisseur résiduelle de l'enrobé après planage a été estimée supérieure à 40 mm.

Ce planage a été suivi par les opérations de correction, réparation, nettoyage et pose identiques à celles utilisées dans le site 1.

Le planage partiel a été appliqué sur la rue Hochelaga, entre Langelier et Duquesne, comme suit :

- planage du revêtement bitumineux sur 40 mm;
- correction et nivellement des regards;
- nettoyage des surfaces au balai mécanique;
- pose d'une couche d'accrochage;
- pose d'une couche d'enrobé MB-10 d'épaisseur 40 mm.

Ces deux techniques n'ont aucun contenu innovateur mais servent de témoin et de base comparative aux nouvelles technologies expérimentées dans divers lieux de la ville de Montréal.

Par ailleurs, la rue Hochelaga était soumise à une circulation élevée estimée à (DJMA) 20 000 véhicules pour 3,2 millions d'ÉCAS sur 15 ans, alors que la rue Notre-Dame était soumise à une circulation élevée estimée à 32 000 véhicules par jour, soit 13,3 millions d'ÉCAS sur 15 ans. Ces deux rues comportent quatre voies de circulation chacune, soit deux voies dans chaque direction.

2.15 Essai de nouveaux liants d'accrochage et d'enrobés bitumineux

Dans le cadre du projet **Champ 97-6**, deux nouveaux liants d'accrochage et deux nouveaux enrobés bitumineux ont été expérimentés :

- **Griplast + EB-10S** : couche d'accrochage innovateur **Griplast** et pose d'un enrobé bitumineux conventionnel **EB-10S** selon les étapes suivantes :
 - ✓ planage de la surface existante, 20 à 40 mm, pour corriger son profil et pour permettre la pose d'une couche de roulement d'épaisseur uniforme;
 - ✓ réparation de certaines fissures;
 - ✓ nettoyage de la chaussée;
 - ✓ pose du liant d'accrochage Griplast, d'épaisseur 4 mm soit un taux de pose de 5 à 7 kg/m²;
 - ✓ mise en place d'une couche de 40 mm d'épaisseur d'enrobé conventionnel EB-10S.
- **RS-1 + Hitech400** : couche d'accrochage en émulsion conventionnelle de type **RS-1** et pose d'un enrobé bitumineux innovateur à base de scories d'acier (**Hitech400**) :
 - ✓ planage de la surface existante pour en corriger le profil et pour permettre la pose d'une couche de roulement d'épaisseur uniforme;
 - ✓ réparation de certaines fissures;

- ✓ nettoyage de la chaussée;
 - ✓ pose d'un liant d'accrochage conventionnel type RS-1;
 - ✓ mise en place d'une couche de 35 mm d'épaisseur d'enrobé bitumineux HiTech400.
- **RS-1p + Tapiplast 0/10 mm** : couche d'accrochage conventionnel à l'émulsion polymère (**RS-1p**) et pose d'un enrobé bitumineux innovateur mince **Tapiplast 0/10 mm** :
- ✓ planage de la surface existante, 20 à 40 mm, pour en corriger le profil et pour permettre la pose d'une couche de roulement d'épaisseur uniforme;
 - ✓ réparation de certaines fissures;
 - ✓ nettoyage de la chaussée;
 - ✓ pose d'un liant d'accrochage conventionnel composé d'une émulsion de bitume polymère à rupture rapide RS-1p posée à un taux de 0,5 l/m²;
 - ✓ gravillonnage léger de la surface avec la pierre concassée de calibre 2,5/5 mm à un taux approximatif de 2 kg/m²; pour limiter l'accrochage du liant aux pneus des engins du chantier;
 - ✓ mise en place d'une couche de 40 mm d'épaisseur d'enrobé bitumineux Tapiplast.
- **Colnet + EB-10S** : couche d'accrochage innovateur **Colnet** et pose d'un enrobé bitumineux **EB-10S** conventionnel :
- ✓ planage de la surface existante sur environ 40 mm pour en corriger le profil et pour permettre la pose d'une couche de roulement d'épaisseur uniforme;
 - ✓ réparation de certaines fissures;
 - ✓ nettoyage de la chaussée et pose du liant d'accrochage Colnet;
 - ✓ Mise en place d'une couche de 40 mm d'épaisseur d'enrobé bitumineux conventionnel EB-10S.

L'enrobé bitumineux conventionnel utilisé, de type EB-10S, est constitué de granulats de classe 1A entièrement fracturés et d'un bitume de classe de performance PG 58-34.

2.16 Interventions ponctuelles

Le projet **CHAMP 9708** comprenait deux nouvelles technologies en matière de matériaux spécifiques de correction de chaussées. Les matériaux choisis pour l'expérimentation portaient sur l'enrobé Hitech 100 et l'enrobé Enrocolor selon les objectifs suivants:

- **enrobé Hitech100** pour chaussées fortement sollicitées : les corrections limitées et ponctuelles réalisées avec ce nouvel enrobé bitumineux s'effectueront sur des tronçons de chaussées aux arrêts d'autobus et aux intersections sur une surface de 400 m²;
- **enrobé Enrocolor** pour le traitement de traversées piétonnières : réparations ponctuelles sur des traversées piétonnières.

Les aspects innovateurs sont indiqués comme suit :

- **Enrobé Hitech100** : l'innovation présentée par l'enrobé Hitech100 provient de la méthode d'incorporation et du pourcentage de polymère dans le liant utilisé. Le bitume conventionnel sera modifié sur le site de la centrale d'enrobage par l'ajout des polymères;
- **Enrobé Enrocolor** : utilisation de l'enrobé Enrocolor pour colorer les traversées piétonnières achalandées afin de rendre la circulation plus sécuritaire. Comparativement à la réalisation de traversées en béton ou en pavé de béton, cette intervention est moins complexe, moins onéreuse et nécessite un délai de réalisation plus court.

3. SUIVI DE LA PERFORMANCE DES TECHNIQUES

3.1 Déroulement du programme de suivi

Le suivi de la performance des différentes techniques expérimentées a été réalisé par différents consultants durant la période de 1996 à 2008. Les différentes interventions sont résumées comme suit :

- 1996-2001 – LVM-FONDATEC sur le volet réhabilitation (Projet TI-95.5 ; recyclage et stabilisation de fondation et enrobés;
- 1996-2001 – CRCAC sur le volet entretien correctif majeur avec expérimentation de nouveaux enrobés (Projet TI-95), de nouveaux liants d'accrochage (Projet Champ 97-6) et des travaux d'interventions ponctuelles aux enrobés Hi-Tech 100 et Encolor (Projet Champ 97-8);
- 2008 – QUALITAS sur l'ensemble des projets;
- 2009 – CERIU compilation des données et des résultats.

3.2 Paramètres mesurés

Les indicateurs de performance évalués sont notifiés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1 : Indicateurs de performance mesurés

Indicateurs de performance	Description	Paramètres mesurables
État de la surface	Fissuration	Longueur et ouverture de la fissure
	Défauts de surface	Nids-de-poule, plaque de ressuage, pelade, désenrobage, arrachement, dénivellation
Uni	Qualité et confort au roulement	Indice de rugosité international iri
	Soulèvements différentiels dus au gel	Différentiels d'iri
	Désordres du profil	Accumulation d'eau
Texture et adhérence	Glissance	Hauteur de sable et indice bpn
Orniérage	Résistance à la déformation permanente	Profondeur de l'ornière
Capacité structurale	Portance de la chaussée	Déflexion représentative et module de surface

4. ÉVALUATION GLOBALE DES TECHNIQUES

4.1 Données de base de l'évaluation des techniques

Le récapitulatif du suivi de performance est traduit sous la forme de tableaux (annexes 2 à 7) montrant l'évolution des indicateurs dans le temps, avant et après les travaux.

Pour fins d'évaluation, les données suivantes ont été utilisées :

- taux de fissuration moyen de 0,02 à 0,130 m/m² habituellement observé sur des chaussées standards du MTQ après cinq ans;
- orniérage moyen de 0 à 7 mm habituellement observé sur des chaussées standards du MTQ après cinq ans et seuil d'alerte de 10 mm correspondant à la valeur maximale d'orniérage de faible ampleur;
- au plan de la texture de la surface de roulement d'une chaussée, des valeurs au pendule britannique (indice BPN) supérieures à 50 et des valeurs de hauteur de sable supérieures à 0,60 sont généralement jugées satisfaisantes;
- indice de rugosité international (IRI), évolution moyenne de 0,1 à 0,2 m/km par an, habituellement observé sur des chaussées standards du MTQ après cinq ans. Le tableau 2 indique la qualité de l'uni par rapport à l'IRI dans un contexte municipal.

Tableau 2 : Seuils de déficience de l'uni et cote de confort au roulement

IRI (m/km)	Qualité du confort au roulement	
Artère principale et collectrice	Résidentielle et cul-de-sac	
IRI ≤ 2.5	IRI ≤ 3.2	Bon
2.5 ≤ IRI ≤ 5.4	3.2 ≤ IRI ≤ 6.2	Passable à moyen
IRI ≥ 5.4	IRI ≥ 6.2	Mauvais

(Source : Projet de guide d'entretien des chaussées municipales, CERIU, 2009)

- La capacité structurale est évaluée par rapport aux données du tableau 3, adapté au contexte municipal.

Tableau 3 : Capacité structurale en fonction du module de surface

Module de surface E_0 (MPa)	< 100	100 - 300	300 - 500	500 -1000	> 1000
Capacité structurale	Très faible	Faible	Moyenne	Forte	Très forte

(Source : Projet de guide d'entretien des chaussées municipales, CERIU, 2009)

4.2 Dégradations de surface

L'évolution de la fissuration est illustrée par l'annexe 2. On observe un taux de fissuration moyen de 0,011 à 0,408 m/m² après cinq ans pour l'ensemble des rues. En 2008, ce taux n'a pas été mesuré et les fissures n'ont pas été dénombrées, compte tenu de l'état de fissuration de certaines chaussées et de la lourde charge de travail. Le relevé de dégradation visait à qualifier l'état de surface et non à dénombrer les fissures.

Les techniques présentant un taux de fissuration plus élevé par rapport au taux de 0,02 à 0,130 m/m² habituellement observé sur des chaussées standards après cinq ans sont les suivantes :

- concassage par Rubblizing et S-Base : 0,335 m/m²;
- microplast+Bétonplast+Gripfibre : 0,283 m/m²;
- flexiplast+Bétonplast+Gripfibre : 0,292 m/m²;
- novatherm+Gripfibre sur chaussée fortement sollicitée : 0,254 m/m²;
- novatherm+Gripfibre sur chaussée modérément sollicitée : 0,211 m/m²;
- chape en béton armé de fibres : plus de 0,661 m/m²;
- planage partiel ou complet et revêtement conventionnel : 0,155-0,158 m/m²;
- nouveau liant et enrobé Griplast+EB-10S : 0,200 m/m²;
- nouveau liant et enrobé RS-1+Hitech400 : 0,408 m/m².

Par ailleurs, on observe après cinq ans que l'« enrobé à froid + MB10 » et le « SP10PE » sont beaucoup moins fissurés probablement en raison de la forte épaisseur mise en œuvre (plus de 100 mm).

En dehors des techniques suscitées, les taux de fissuration des autres techniques sont conformes aux valeurs normales observées sur les chaussées du MTQ après cinq ans. De plus, il

est observé que hormis le « concassage par Rubblizing et S-Base » qui offre un état de surface qualifié de médiocre après 12 ans, l'état de surface des chaussées réhabilitées est généralement acceptable 12 à 13 ans après les travaux.

4.3 Uni et confort au roulement

Si l'on admet une évolution normale de l'IRI de l'ordre de 0,1 à 0,2 m/km par année soit 0,5 à 1,0 m/km après cinq ans, seule la technique « géogrille roadtex et enrobés SP10E » ne semble pas respecter ces valeurs admissibles (2,3 m/km en 1996 et 3,6 m/km en 2001).

De plus en 2008, soit 12 à 13 ans après les interventions, l'indice IRI est compris entre les valeurs 2 et 4,5 m/km associées à un confort au roulement passable à bon en milieu urbain. L'uni de qualité passable ou moyen est obtenu pour les techniques suivantes :

- concassage par Rubblizing : 4,8 m/km;
- base stabilisée à la mousse de bitume et matériaux recyclés : 4,6 m/km;
- enrobés recyclés à froid et couche d'usure : 4,5 m/km;
- technique Microplast, Bétonplast et Gripfibre : 4,3 m/km;
- technique Novatherm et Gripfibre sur chaussée modérément sollicitée : 4,6 m/km.

En 2008, seulement 10 ans après la pose, la mise en place des nouveaux liants et enrobés « Griplast et EB-10S », « RS-1 et Hitech100 » et « RS-1p et Tapiplast » résulte en un uni de qualité passable ou moyenne (4,5 à 4,7 m/km)..

Les diverses interventions ponctuelles aux enrobés Encolor et Hitech100 n'ont pas fait l'objet de mesures d'indice de rugosité internationale depuis les travaux en 1998.

4.4 Orniérage

L'annexe 4 indique que l'orniérage maximum observé est de 6,6 mm après cinq ans et de 9 mm après 12 ans. Les plus grandes ornières sont observées sur les tronçons réhabilités à l'aide des techniques « concassage par Rubblizing et S-base » (6,6 mm après cinq ans et 9 mm après 12 ans), « Géogrille Roadtex + Enrobé SP10PE » (3,8 mm après cinq ans et 8 mm après 12 ans), « Novatherm + Gripfibre sur chaussée fortement sollicitée » (3,5 mm après cinq ans et 8 mm après 12 ans) et « Nouvel enrobé RS-1 + Hitech400 » (8 mm après dix ans).

Ce constat permet d'affirmer qu'aucune technique n'excède les valeurs habituelles de 0 à 7 mm sur des chaussées standards après cinq ans, ni n'atteint le seuil d'alerte de 10 mm du MTQ.

4.5 Texture et adhérence

Au plan de la texture de la surface de roulement d'une chaussée, des valeurs au pendule britannique (indice BPN) supérieures à 50 et des valeurs de hauteur de sable supérieures à 0,60 mm sont généralement jugées satisfaisantes.

Ainsi, 12 ans après leur mise en œuvre, seules les techniques suivantes admettent des valeurs satisfaisantes en termes d'indice BPN et de hauteur de sable :

- option B : Base stabilisée à l'émulsion de bitume et matériaux recyclés;
- géogridde Roadtex et enrobé SP10PE;
- flexiplast + Bétonplast + Gripfibre;
- nouveaux enrobés Griplast + EB-10S;
- nouveaux enrobés RS-1p + Tapilast.

4.6 Capacité structurale

La capacité structurale des nouveaux enrobés « Colnet + EB-10S » et « Griplast + Tapilast » et des interventions ponctuelles en enrobés Encolor et Hitech100 n'a pas été évaluée. De même, la chape en béton armé de fibres et le planage complet avec revêtement conventionnel n'ont été suivis que durant deux ans après leur mise en œuvre (1996 et 1997).

À la suite de l'analyse de l'évolution de la capacité structurale des chaussées réhabilitées telle que récapitulée à l'annexe 6 et 7, il ressort les observations suivantes :

- les nouveaux enrobés « Griplast + EB-10S », « RS-1 + Hitech400 » et « RS-1p + Tapilast » admettent une capacité structurale médiocre à moyenne (module de surface de 373 à 560 MPa), 12 ans après les travaux;
- la technique Rubblizing+recyclé à froid et émulsion polymère MB-10 admet une capacité structurale médiocre;
- les autres techniques admettent une capacité structurale forte à très forte (module de surface : 713 à 1708 MPa).

4.7 Niveau de performance des techniques

Le tableau 4 dresse un récapitulatif de l'état et du niveau de performance des rues réhabilitées correspondant à la mise en œuvre de chaque technique. Ce bilan est dressé en fonction des quatre principaux indicateurs pertinents correspondant au contexte urbain : état de surface (fissuration), orniérage, uni et de capacité structurale.

Tableau 4 : Bilan des techniques*

TECHNIQUE	État de surface (Fissuration)	Orniérage	Uni	Capacité structurale
Volet réhabilitation				
1. Rubblizing et S-base (2 rues)	Médiocre	Faible	Passable	Faible à moyenne
2. Base stabilisée à la mousse de bitume avec ajout de ciment	Acceptable (bon)	Faible	Bon	Très forte
3. Recyflex EBC et Gipfibre	Acceptable (bon)	Faible	Moyen	Très forte
4. Recyflex avec chaux et Gipfibre sur chaussée mixte	Acceptable (bon)	Faible	Passable	Très forte
5. Base stabilisée à la mousse de bitume et matériaux recyclés (OPTION A)	Acceptable (bon)	Faible	Moyen	Forte
6. Base stabilisée à l'émulsion de bitume et matériaux recyclés (OPTION B)	Acceptable (bon)	Faible	Moyen ou passable	Forte
Volet entretien correctif majeur				
7. Géogrille Roadtex et enrobé SP10PE	Acceptable (bon)	Faible	Passable à 5 ans et Bon à 13 ans	Très forte
8. Enrobé recyclé à froid et couche d'usure	Acceptable (bon)	Faible	Passable	Très forte
9. Microplast, Bétonplast et Gripfibre	Médiocre à acceptable	Faible	Passable	Forte
10. Flexiplast, Bétonplast et Gripfibre	Médiocre à acceptable	Faible	Moyen	Très forte
11. Novatherm et Gripfibre sur chaussée modérément sollicitée	Acceptable (bon)	Faible	Moyen	Très forte
12. Novatherm et Gripfibre sur chaussée mixte fortement sollicitée	Médiocre à acceptable	Faible	Bon	Très forte

TECHNIQUE	État de surface (Fissuration)	Orniérage	Uni	Capacité structurale
13. Chape en béton armé de fibres	Médiocre à acceptable	Faible	Passable après 5 ans	Mesure sur 2 premières années seulement
14. Planage complet / partiel et enrobés conventionnels	Médiocre à acceptable	Faible	Bon après 5ans à très bon après 13 ans (2 m/km)	Très forte
Nouveaux liants et enrobés bitumineux et interventions ponctuelles				
15. Nouveaux liants d'accrochage et nouveaux enrobés bitumineux	Médiocre à acceptable	Faible	Passable	Faible à moyenne
16. Interventions ponctuelles diverses	Acceptable (bon)	Faible	Pas de mesure	Pas de mesure

Note : (*) Le bilan des techniques reflète les caractéristiques des rues réhabilitées selon le résultat des mesures de suivi de performance réalisées par des consultants sur une période de 12 à 13 ans.

5. CONCLUSION

À l'exception de la technique de **Concassage par Rubblizing** dont les résultats ne sont pas conformes aux attentes, les cinq autres techniques du volet Réhabilitation offrent de bons résultats. Par conséquent, les trois techniques de **Base stabilisée à la mousse de bitume avec ajout de ciment, Recyflex EBC et Gipfibre** et **Recyflex avec chaux et Gipfibre sur chaussée mixte** peuvent être retenues pour des chaussées fortement sollicitées. Alors que les deux autres **Base stabilisée à la mousse de bitume et matériaux recyclés** et **Base stabilisée à l'émulsion de bitume et matériaux recyclés** peuvent être utilisées pour des chaussées faiblement sollicitées.

Les différentes techniques d'entretien correctif majeur expérimentées présentent également des résultats encourageants, et ce, 12 à 13 ans après les travaux. En effet, les mesures de suivi de performance montrent que les rues qui ont fait l'objet de ces techniques présentent un niveau de fissuration relativement acceptable, un orniérage de faible ampleur et une capacité structurale forte à très forte.

Cependant, les résultats de l'expérimentation de la combinaison des nouveaux liants d'accrochage et des nouveaux enrobés (Griplast + EB-10S, RS-1 + Hitech100, RS-1p + Tapiplast, Colnet + EB-10S et Griplast + Tapiplast) sont mitigés. Malgré un orniérage faible, l'état de la surface et la capacité structurale des sections de chaussées concernées par la pose de ces matériaux est parfois médiocre à faible. Ces nouveaux produits nécessitent d'autres champs d'expérimentation pour valider leur performance.

L'inspection visuelle a révélé la durée de vie limitée des enrobés ultra minces coulés à froid comme la Gripfibre. Ils présentent une usure importante sur tous les projets où ils ont été mis en œuvre : la couche sous-jacente était visible à plusieurs endroits.

Les techniques comportant des enrobés spéciaux n'ont pas montré de comportement amélioré ou supérieur par rapport à celles où des matériaux usuels ont été employés.

Concernant les interventions ponctuelles diverses, réalisées en 1998, l'insuffisance des mesures correspondantes ne permet pas de statuer sur leur performance.

Dans l'ensemble, la performance générale des différentes techniques semble être conforme aux attentes. D'autres projets devront confirmer la tendance de performance observée après analyse des résultats de mesures de suivi.

Par ailleurs, il est opportun de noter que les résultats de l'analyse comparative des techniques est valable que pour les conditions de sollicitations, de sol et de climat aux sites des rues réhabilitées.

ANNEXE 1 : TABLEAU RÉCAPITULATIF DES TECHNIQUES

Technique	Entreprise	Site	Année de construction
1. CONCASSAGE EN PLACE PAR RUBBLIZING ET S-BASE	Sintra inc.	Avenue Victoria, entre les rues Jean-Talon et Mackenzie	Juin 1996
2. BASE STABILISÉE À LA MOUSSE DE BITUME AVEC AJOUT DE CIMENT	Construction Soter inc.	Boulevard Cavendish, entre la rue Terrebonne et le chainage, à environ 70 m au nord de la rue Somerled	Août - septembre 1996
3. RECYFLEX AVEC EBC ET GRIPFIBRE	Construction DJL Inc.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Boulevard Cavendish, entre les points situés à 70 m et à 232 m au nord de la rue Somerled ▪ 36^e Avenue (secteur Pointe-aux-Trembles), s'étend sur une longueur de 175 m vers le nord à partir de la rue Sherbrooke 	Juin - juillet et août-septembre 1996
4. TECHNIQUE DE RÉFECTION DE CHAUSSÉE MIXTE – RECYFLEX AVEC CHAUX HYDRATÉE ET GRIPFIBRE	Construction DJL Inc.	36 ^e Avenue (secteur Pointe-aux-Trembles), entre l'Autoroute 40 et une distance de 175 m au nord de la rue de Sherbrooke	Juin - juillet 1996
5. OPTION A : BASE STABILISÉE À LA MOUSSE DE BITUME ET MATÉRIAUX RECYCLÉS	Construction Soter Inc.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rue Hamelin, entre le Boulevard Henri-Bourassa et la rue Prieur ▪ Rue Saint-Castin, entre le Boulevard Gouin et 160 m au nord du Boulevard Gouin ▪ Rue Victor-Doré, entre la rue Pasteur et le boulevard de l'Acadie 	Juillet – août 1995
6. OPTION B : BASE STABILISÉE À L'ÉMULSION DE BITUME ET MATÉRIAUX RECYCLÉS	Construction DJL Inc.	Avenue Laval, entre la rue Rachel et l'avenue du Mont-Royal	Septembre 1995

Technique	Entreprise	Site	Année de construction
7. GÉOGRILLE ROADTEX ET ENROBÉ SP10PE	Sintra Inc.	Rue Hochelaga, sur une longueur approximative de 260 m vers l'ouest à partir du boulevard Langelier	Juillet - août 1996
8. ENROBÉ RECYCLÉ À FROID ET COUCHE D'USURE	Talon Sébeq Inc.	Boulevard Saint-Joseph Est, entre l'avenue Papineau et la rue Garnier	Juin - août 1996
9. MICROPLAST, BÉTONPLAST-C-GRIPFIBRE	Construction DJL Inc.	Boulevard Saint-Joseph Est, entre l'avenue Des Érables et la rue Chabot.	Juin - août 1996
10. FLEXIPLAST, BÉTONPLAST-C-GRIPFIBRE	Construction DJL Inc.	Boulevard Saint-Joseph Est, entre l'avenue Des Érables et la rue Fullum	Juin - août 1996
11. TECHNIQUE NOVATHERM ET GRIPFIBRE SUR UNE CHAUSSÉE MODÉRÉMENT SOLLICITÉE	Construction DJL Inc.	Boulevard Saint-Joseph Est, entre la 6 ^e Avenue et la 2 ^e Avenue	Août - septembre 1996
12. TECHNIQUE D'ENTRETIEN CORRECTIF MAJEUR SUR CHAUSSÉE MIXTE FORTEMENT SOLLICITÉE NOVATHERM ET GRIPFIBRE	Construction DJL Inc.	Rue Hochelaga, entre la rue Arcand et le boulevard Langelier	Juillet – septembre 1996
13. CHAPE EN BÉTON ARMÉ DE FIBRE	Demix Construction Inc.	Tronçon de la rue Hochelaga d'une longueur 210 m à partir de la rue Cadillac, vers l'est	Juillet - novembre 1996

Technique	Entreprise	Site	Année de construction
14. TECHNIQUE D'ENTRETIEN MAJEUR SUR CHAUSSÉE MIXTE: PLANAGE COMPLET/PARTIEL ET REVÊTEMENT CONVENTIONNEL	Lafarge Canada Inc.	<p>Planage complet :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Site 1 : Rue Notre-Dame, entre les rues Dickson et Sainte-Catherine ▪ Site 2 : Rue Notre-Dame, entre les rues Haig et Clarence-Gagnon <p>Planage partiel : Rue Hochelaga, entre le boulevard Langelier et la rue Duquesne.</p>	<p>Planage complet : août 1995</p> <p>Planage partiel : septembre 1996</p>
15. ESSAIS DE NOUVEAUX ENROBÉS BITUMINEUX ET DE NOUVEAUX LIANTS D'ACCROCHAGE	<p>1- (Griplast+EB-10S) et (RS-1p + Tapiplast 0/10 mm) : Construction DJL Inc.</p> <p>2- RS-1 + Hitech 400 : Les Pavages Dorval Inc.</p> <p>3- Colnet + EB-10S : Sintra Inc.</p>	<p>1- Griplast+EB-10S : - Rue St-Jean-Baptiste, des rues Forsyth à Ontario</p> <p>2- RS-1 + Hitech 400 : - Rue Bellechasse, de la rue Viau à la 43^e Avenue</p> <p>3- RS-1p + Tapiplast 0/10 mm : - Rue St-Jean-Baptiste, de la rue Ontario à la rue De Montigny</p> <p>4- Colnet + EB-10S : - Rue St-Jean-Baptiste, de René-Lévesque à Lagauchetière</p>	<p>1 Griplast + EB-10S : Octobre 1998</p> <p>2- RS-1 + Hitech 400 : Octobre 1998</p> <p>3- RS-1p + Tapiplast 0/10 mm : octobre 1998</p> <p>4- Colnet + EB-10S : septembre 1999</p>
16. INTERVENTIONS PONCTUELLES DIVERSES	<p>Enrobé Hitech 100 : Les Pavages Dorval Inc.</p> <p>Enrobé Enrocolor : Construction DJL Inc.</p>	<p>Enrobé Hitech 100</p> <p>1- Boulevard Pie-IX : - au coin sud-est de l'intersection avec la rue Bellechasse - au coin sud-est de l'intersection avec la rue Beaubien</p> <p>2- Boulevard Saint-Michel : - au coin sud-est de l'intersection avec la rue Rosemont - au coin nord-ouest de l'intersection avec la rue Jean-Talon</p> <p>Enrobé Enrocolor Intersection entre le boulevard Saint-Michel et la rue Shaughnessy, Métro Saint-Michel</p>	Octobre 1998

ANNEXE 2 : ÉVOLUTION DES DÉGRADATIONS DE SURFACE

Taux de fissuration (m/m²)

TECHNIQUE	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2008
1. CONCASSAGE EN PLACE PAR RUBBLIZING ET S-BASE - Projet Ti-95.5	0	0,0513	0,0877	0,1278	0,1912	0,3349	État médiocre
2. STABILISÉE À LA MOUSSE DE BITUME AVEC AJOUT DE CIMENT - Projet Ti-95.5	0	0,0016	0,0021	0,0047	0,0082	0,0204	État acceptable
3. RECYFLEX AVEC EBC ET GRIPFIBRE - Projet Ti-95.5	0	0,0156	0,0163	0,0294	0,0362	0,0473	État acceptable
4. TECHNIQUE DE RÉFECTION DE CHAUSSÉE MIXTE: RECYFLEX AVEC CHAUX HYDRATÉE ET GRIPFIBRE - Projet Ti-95.5	0	0,0013	0,0034	0,0072	0,0092	0,0110	État acceptable
5. OPTION A : BASE STABILISÉE À LA MOUSSE DE BITUME ET MATÉRIAUX RECYCLÉS - Projet Ti-95.5		0,0026	0,0028	0,0032	0,0041		État acceptable
6. OPTION B : BASE STABILISÉE À L' ÉMULSION DE BITUME ET MATÉRIAUX RECYCLÉS - Projet Ti-95.5		0,0019	0,0031	0,0084	0,0131		État acceptable
7. GÉOGRILLE ROADTEX ET ENROBÉ SP10PE - Projet Ti-95	0,284*	0,016	0,032	0,050		0,071	État acceptable
8. ENROBÉ RECYCLÉ À FROID ET COUCHE D'USURE - Projet Ti-95	0,0173	0,026	0,029	0,035		0,052	État acceptable
9. MICROPLAST, BÉTONPLAST-C-GRIPFIBRE - Projet Ti-95	0,267*	0,066	0,099	0,138		0,283	État acceptable

TECHNIQUE	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2008
10. FLEXIPLAST, BÉTONPLAST -C- GRIPFIBRE - Projet Ti-95	0,185*	0,074	0,108	0,147		0,292	État acceptable
11. TECHNIQUE NOVATHERM ET GRIPFIBRE SUR UNE CHAUSSÉE MODÉRÉMENT SOLLICITÉE - Projet Ti-95	0,203*	0,019	0,050	0,186		0,211	État acceptable
12. ENTRETIEN CORRECTIF MAJEUR SUR CHAUSSÉE MIXTE FORTEMENT SOLLICITÉE NOVATHERM ET GRIPFIBRE - Projet Ti-95	0,283*	0,060	0,086	0,144		0,254	État acceptable
13. CHAPE EN BÉTON ARMÉ DE FIBRE - Projet Ti-95	0,437*	0,467	0,534	0,661			État acceptable
14.A PLANAGE COMPLET ET REVÊTEMENT CONVENTIONNEL - Projet Ti-95	0,165*	0,078	0,097	0,144		0,158	État acceptable
14.B PLANAGE PARTIEL ET REVÊTEMENT CONVENTIONNEL - Projet Ti-95	0,143*	0,100	0,117	0,142		0,155	État acceptable
15.1 NOUVEAUX ENROBÉS Griplast + EB-10S - Projet Ti-97			0,116	0,008	0,101	0,1999	État acceptable
15.2 NOUVEAUX ENROBÉS RS-1 + Hitech 400 - Projet Ti-97			0,337	0,114	0,273	0,408	État acceptable
15.3 NOUVEAUX ENROBÉS RS-1p + Tapiplast - Projet Ti-97			0,084	0,013	0,070	0,120	État acceptable
15.4 NOUVEAUX ENROBÉS Colnet + EB-10S - Projet Ti-97				0,129	0,007	0,061	État acceptable

TECHNIQUE	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2008
15.5 NOUVEAUX ENROBÉS Griplast + Tapiplast - Projet Ti-97				0,077	0,002	0,021	État acceptable
16.A INTERVENTIONS PONCTUELLES DIVERSES Enrobé ENCOLOR CHAMP 9708			Bon état			État passable	Sections refaites
16.B INTERVENTIONS PONCTUELLES DIVERSES Enrobé HI-TECH 100 CHAMP 9708			État passable			État médiocre	Sections refaites

Note : (*) Valeur avant travaux

En 2008 des fissures longitudinales et transversales sont présentes sur la majorité des projets, mais ces défauts sont usuels après 7 à 12 ans de service.

Quelques techniques mises en œuvre dans les années 90 ont fait l'objet de travaux depuis. C'est le cas de l'enrobé Hi-Tech 100 (champ 9708) et de l'enrobé Enrocolor (champ 9708). Lors de l'inspection effectuée dans le cadre de ce projet, il a été constaté que ces arrêts d'autobus et cette intersection ont été refaits en partie ou en totalité.

ANNEXE 3 : ÉVOLUTION DE L'UNI PAR TECHNIQUE

Uni : Indice de rugosité international (m/km)

TECHNIQUE	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2008
1. CONCASSAGE EN PLACE PAR RUBBLIZING ET S-BASE - Projet Ti-95.5		3,54*	3,45	3,90	4,11		4,51		4,8
2. BASE STABILISÉE À LA MOUSSE DE BITUME AVEC AJOUT DE CIMENT - Projet Ti-95.5		2,81	2,91	2,52	2,13		2,99		3,2
3. RECYFLEX AVEC EBC ET GRIPFIBRE - Projet Ti-95.5		3,55	3,72	2,73	2,90		3,43		3,8
4. TECHNIQUE DE RÉFECTION DE CHAUSSÉE MIXTE: RECYFLEX AVEC CHAUX HYDRATÉE ET GRIPFIBRE - Projet Ti-95.5		4,10	3,25	2,38	2,43		2,68		2,9
5. OPTION A : BASE STABILISÉE À LA MOUSSE DE BITUME ET MATÉRIAUX RECYCLÉS - Projet Ti-95.5	3,84		4,56	4,34	4,25	4,75			4,6
6. OPTION B : BASE STABILISÉE À L' ÉMULSION DE BITUME ET MATÉRIAUX RECYCLÉS - Projet Ti-95.5	2,88		4,25	3,85	4,51		4,18		3,7
7. GÉOGRILLE ROADTEX ET ENROBÉ SP10PE - Projet Ti-95	6,1*	2,3	1,7		1,7		3,6		3,3
8. ENROBÉ RECYCLÉ À FROID ET COUCHE D'USURE - Projet Ti-95	7,6*	2,9	3,2		3,3		3,8		4,5

TECHNIQUE	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2008
9. MICROPLAST, BÉTONPLAST-C-GRIPFIBRE -Projet Ti-95	10,0*	4,3	4,3		4,0		3,9		4,3
10. FLEXIPLAST, BÉTONPLAST -C- GRIPFIBRE - Projet Ti-95	6,7*	3,3	2,8		2,9		3,0		3,4
11. TECHNIQUE NOVATHERM ET GRIPFIBRE SUR UNE CHAUSSÉE MODÉRÉMENT SOLLICITÉE - Projet Ti-95	5,6*	3,3	3,2		3,4		3,3		4,6
12. ENTRETIEN CORRECTIF MAJEUR SUR CHAUSSÉE MIXTE FORTEMENT SOLLICITÉE NOVATHERM ET GRIPFIBRE - Projet Ti-95	6,0*	2,8	2,0		2,1		2,4		2,8
13. CHAPE EN BÉTON ARMÉ DE FIBRE - Projet Ti-95	6,1*	3,6	2,9		3,1		4,6		
14.A PLANAGE COMPLET ET REVÊTEMENT CONVENTIONNEL - Projet Ti-95	5,5*	3,1	3,3		3,4		3,7		
14.B PLANAGE PARTIEL ET REVÊTEMENT CONVENTIONNEL - Projet Ti-95	4,3*	2,8	2,6		2,7		3,0		2,0
15.1 NOUVEAUX ENROBÉS Griplast + EB-10S - Projet Ti-97				2,5	2,6	2,7	2,7		4,5
15.2 NOUVEAUX ENROBÉS RS-1 + Hitech 400 - Projet Ti-97				2,7	2,8	2,8	3,1		4,7
15.3 NOUVEAUX ENROBÉS RS-1p + Tapiplast - Projet Ti-97				3,2	3,1	3,0	3,2		4,7

TECHNIQUE	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2008
15.4 NOUVEAUX ENROBÉS Colnet + EB-10S - Projet Ti-97					2,6	2,5	2,4	2,7	
15.5 NOUVEAUX ENROBÉS Griplast + Tapiplast - Projet Ti-97					2,4	2,3	2,4	2,6	
16.A INTERVENTIONS PONCTUELLES DIVERSES Enrobé ENCOLOR CHAMP 9708									
16.B INTERVENTIONS PONCTUELLES DIVERSES Enrobé HI-TECH 100 CHAMP 9708									

Note : (*) Valeur avant travaux

L'écart de l'uni mesuré pour certaines sections peut s'expliquer en partie par les équipements utilisés. En effet, en 1995 et 1996, un roulemètre (moins précis) a été utilisé pour mesurer l'uni. Pour les années subséquentes, un profilomètre inertiel a été utilisé.

ANNEXE 4 : ÉVOLUTION DE L'ORNIÉRAGE (MM) PAR TECHNIQUE

TECHNIQUE	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2008
1. CONCASSAGE EN PLACE PAR RUBBLIZING ET S-BASE - Projet Ti-95.5	0	0	0	5,5		6,6		9
2. BASE STABILISÉE À LA MOUSSE DE BITUME AVEC AJOUT DE CIMENT - Projet Ti-95.5	0	0	0,5	0,7		1,0		3
3. RECYFLEX AVEC EBC ET GRIPFIBRE - Projet Ti-95.5	0	0	0,8	0,8		1,3		4
4. TECHNIQUE DE RÉFECTION DE CHAUSSÉE MIXTE: RECYFLEX AVEC CHAUX HYDRATÉE ET GRIPFIBRE - Projet Ti-95.5	0	0	0,5	0,5		0,9		3
5. OPTION A : BASE STABILISÉE À LA MOUSSE DE BITUME ET MATÉRIAUX RECYCLÉS - Projet Ti-95.5	0	0	0	0		0,3		3
6. OPTION B : BASE STABILISÉE À L' ÉMULSION DE BITUME ET MATÉRIAUX RECYCLÉS - Projet Ti-95.5	0	0	2,0	2,0		2,5		7
7. GÉOGRILLE ROADTEX ET ENROBÉ SP10PE - Projet Ti-95	0	0,7		2,8		3,8		8
8. ENROBÉ RECYCLÉ À FROID ET COUCHE D'USURE - Projet Ti-95	0	1,1		3,3		3,7		7
9. MICROPLAST, BÉTONPLAST-C-GRIPFIBRE - Projet Ti-95	0	1,6		3,7		1,4		7

TECHNIQUE	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2008
10. FLEXIPLAST, BÉTONPLAST -C- GRIPFIBRE - Projet Ti-95	0	1,8		3,8		1,7		7
11. TECHNIQUE NOVATHERM ET GRIPFIBRE SUR UNE CHAUSSÉE MODÉRÉMENT SOLLICITÉE - Projet Ti-95	0	2,0		4,2		3,5		6
12. ENTRETIEN CORRECTIF MAJEUR SUR CHAUSSÉE MIXTE FORTEMENT SOLLICITÉE NOVATHERM ET GRIPFIBRE - Projet Ti-95	0	1,9		4,5		3,5		8
13. CHAPE EN BÉTON ARMÉ DE FIBRE - Projet Ti-95	1,0	2,2		4,1		3,6		
14.A PLANAGE COMPLET ET REVÊTEMENT CONVENTIONNEL - Projet Ti-95	2,2	3,3		5,0		4,6		
14.B PLANAGE PARTIEL ET REVÊTEMENT CONVENTIONNEL - Projet Ti-95	2,6	4,1		5,6		4,7		6
15.1 NOUVEAUX ENROBÉS Griplast + EB-10S - Projet Ti-97			5,0*			1,5		8
15.2 NOUVEAUX ENROBÉS RS- 1 + Hitech 400 - Projet Ti-97			1,5*			1,4		5
15.3 NOUVEAUX ENROBÉS RS-1p + Tapiplast - Projet Ti-97			7,0*			1,5		5
15.4 NOUVEAUX ENROBÉS Colnet + EB-10S - Projet Ti-97				9,1*			3,1	

TECHNIQUE	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2008
15.5 NOUVEAUX ENROBÉS Griplast + Tapiplast - Projet Ti-97				8,1*			3,2	
16.A INTERVENTIONS PONCTUELLES DIVERSES Enrobé ENCOLOR CHAMP 9708								
16.B INTERVENTIONS PONCTUELLES DIVERSES Enrobé HI-TECH 100 CHAMP 9708								

Note : (*) Valeur avant travaux

ANNEXE 5 : ÉVOLUTION DE L'ADHÉRENCE PAR TECHNIQUE

Adhérence : Hauteur de sable (mm)/Indice BPN

TECHNIQUE	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2008
1. CONCASSAGE EN PLACE PAR RUBBLIZING ET S-BASE - Projet Ti-95.5	0,78/Xx	0,68/Xx	0,66/Xx	0,61/Xx				0,7/44
2. BASE STABILISÉE À LA MOUSSE DE BITUME AVEC AJOUT DE CIMENT - Projet Ti-95.5								0,4/53
3. RECYFLEX AVEC EBC ET GRIPFIBRE - Projet Ti-95.5	1,14/Xx	0,79/Xx	0,82/Xx					0,5/65
4. TECHNIQUE DE RÉFECTION DE CHAUSSÉE MIXTE : RECYFLEX AVEC CHAUX HYDRATÉE ET GRIPFIBRE - Projet Ti-95.5	1,46/Xx	1,06/Xx	0,81/Xx					0,5/73
5. OPTION A : BASE STABILISÉE À LA MOUSSE DE BITUME ET MATÉRIAUX RECYCLÉS - Projet Ti-95.5								0,4/50
6. OPTION B : BASE STABILISÉE À L' ÉMULSION DE BITUME ET MATÉRIAUX RECYCLÉS - Projet Ti-95.5								1,0/61
7. GÉOGRILLE ROADTEX ET ENROBÉ SP10PE - Projet Ti-95	0,5/63	0,73*/51		0,7/61		0,9*/58		1,1/66
8. ENROBÉ RECYCLÉ À FROID ET COUCHE D'USURE - Projet Ti-95	0,3/57	0,5/50		0,4/48		0,4/42		0,5/33

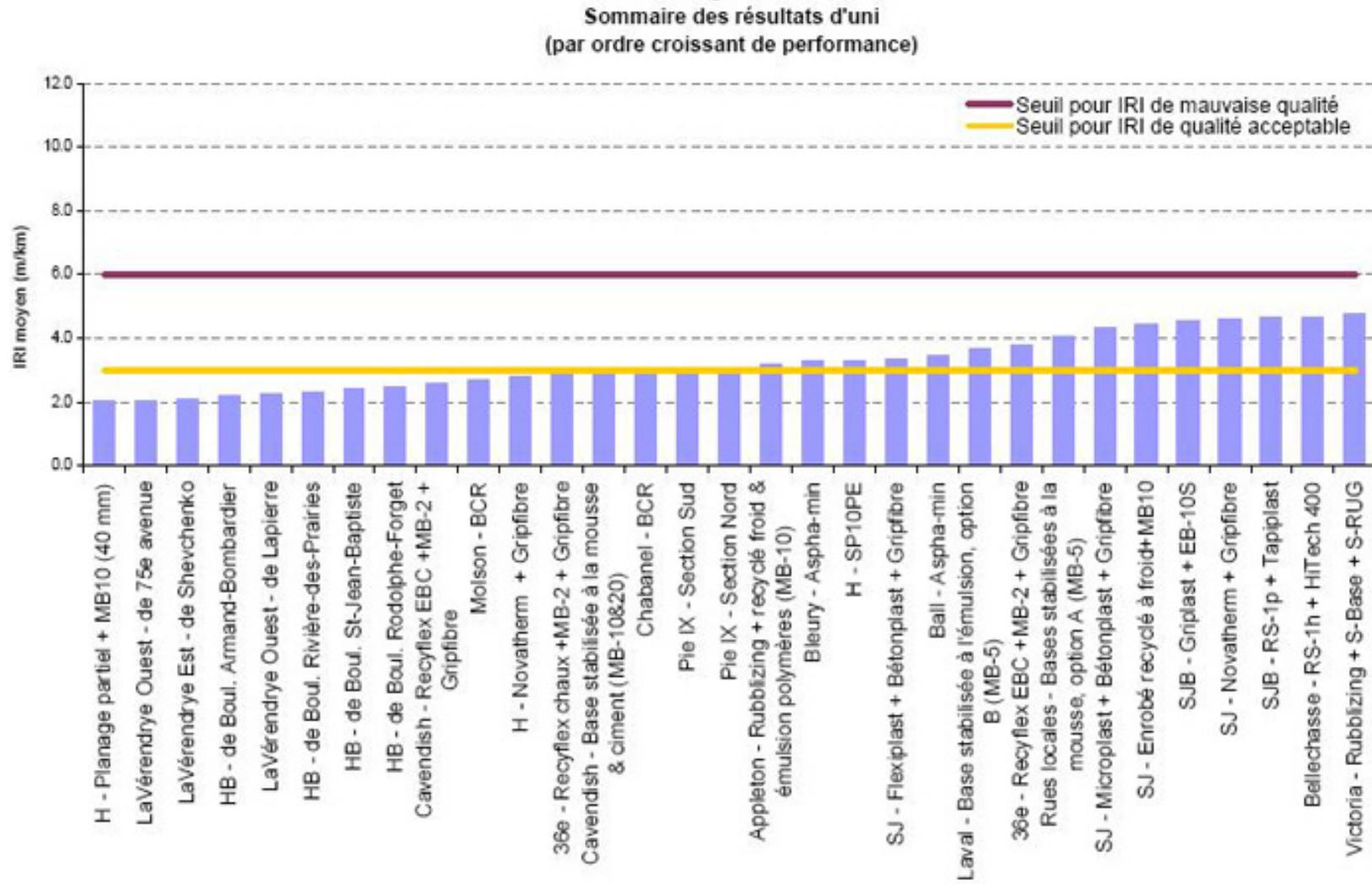
TECHNIQUE	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2008
9. MICROPLAST, BÉTONPLAST-C- GRIPFIBRE - Projet Ti-95	1,3/69	0,9/60		0,5/62		0,4/53		0,4/48
10. FLEXIPLAST, BÉTONPLAST –C- GRIPFIBRE - Projet Ti-95	1,2/72	1,0/60		0,6/59		0,4/53		0,7/56
11. TECHNIQUE NOVATHERM ET GRIPFIBRE SUR UNE CHAUSSÉE MODÉRÉMENT SOLLICITÉE - Projet Ti-95	0,9/68	0,7/54		0,4/56		0,5/52		0,5/56
12. ENTRETIEN CORRECTIF MAJEUR SUR CHAUSSÉE MIXTE FORTEMENT SOLLICITÉE NOVATHERM ET GRIPFIBRE - Projet Ti-95	1,2/70	0,9/56		0,9/61		0,6/54		0,5/57
13. CHAPE EN BÉTON ARMÉ DE FIBRE - Projet Ti-95	0,3/66	0,2/53		0,3/52		0,3/45		
14.A PLANAGE COMPLET ET REVÊTEMENT CONVENTIONNEL - Projet Ti-95	0,4/45	0,4/36		0,5/43		0,5/34		
14.B PLANAGE PARTIEL ET REVÊTEMENT CONVENTIONNEL - Projet Ti-95	0,4/42	0,4/35		0,4/46		0,4/33		0,4/51
15.1 NOUVEAUX ENROBÉS Griplast + EB-10S - Projet Ti-97			0,5/62	0,6/61	0,5/58	0,6/59		0,6/59
15.2 NOUVEAUX ENROBÉS RS-1 + Hitech 400 - Projet Ti-97			0,6/63	0,6/66	0,4/65	0,5/68		0,4/69

TECHNIQUE	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2008
15.3 NOUVEAUX ENROBÉS RS-1p + Tapiplast - Projet Ti-97			0,9/57	0,8/54	0,6/55	0,7/51		0,7/60
15.4 NOUVEAUX ENROBÉS Colnet + EB-10S - Projet Ti-97				0,7/58	0,6/55	0,8/59	0,8/Xx	
15.5 NOUVEAUX ENROBÉS Griplast + Tapiplast - Projet Ti-97				0,9/64	0,8/68	0,8/62	0,8/Xx	
16.A INTERVENTIONS PONCTUELLES DIVERSES Enrobé ENCOLOR CHAMP 9708			0,3/62	0,4/53	0,3/56	0,3/54		
16.B INTERVENTIONS PONCTUELLES DIVERSES Enrobé HI-TECH 100 CHAMP 9708			0,5/66	0,5/65	0,4/74	0,4/72		

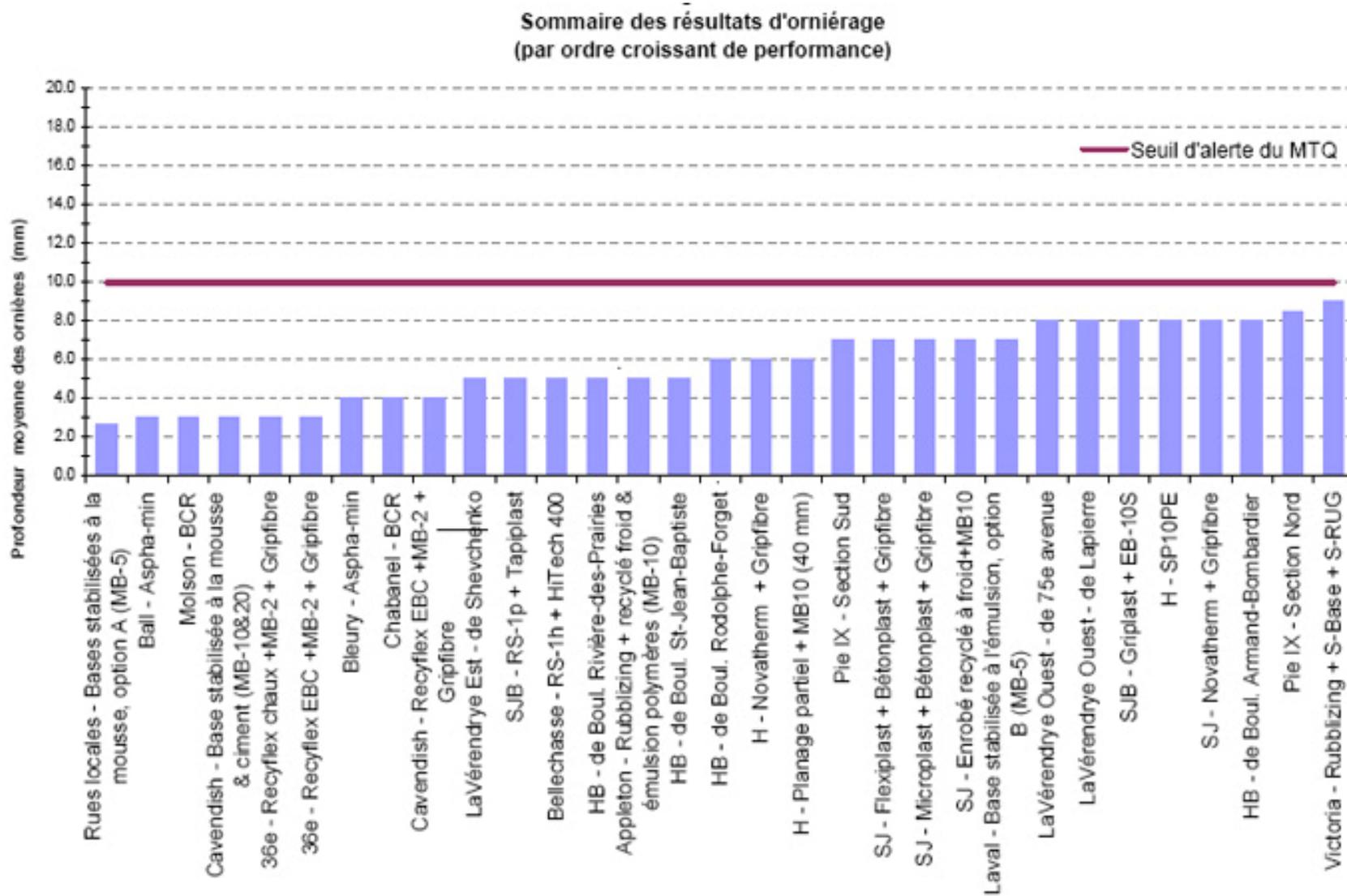
Note : (Xx) Valeur non disponible – * désenrobage observé en surface

ANNEXE 6 : DONNÉES DE SUIVI 2008 (12 À 13 ANS APRÈS LES TRAVAUX)

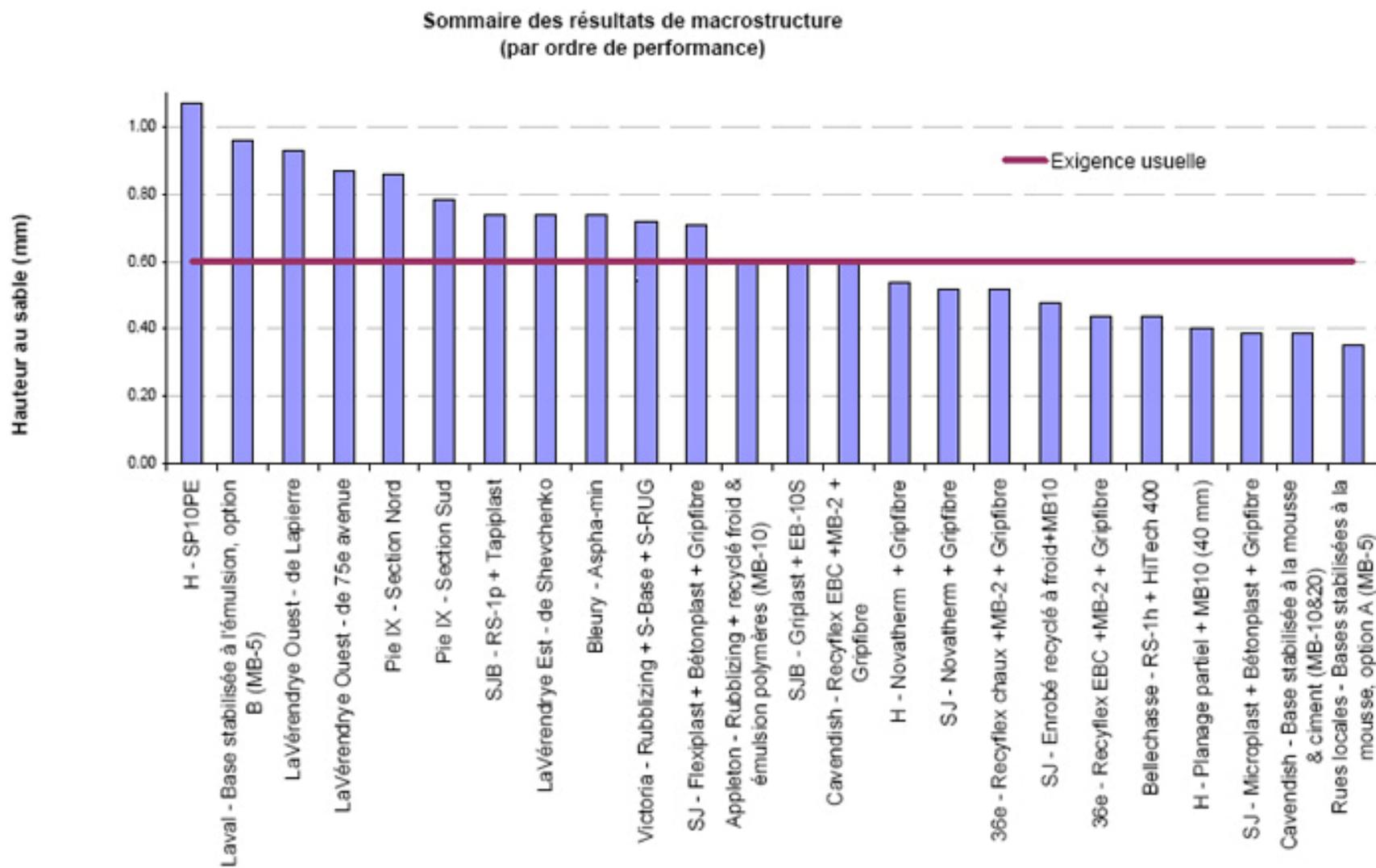
ANNEXE 6.1 : SOMMAIRE DES RELÉVÉS D'UNI, 2008



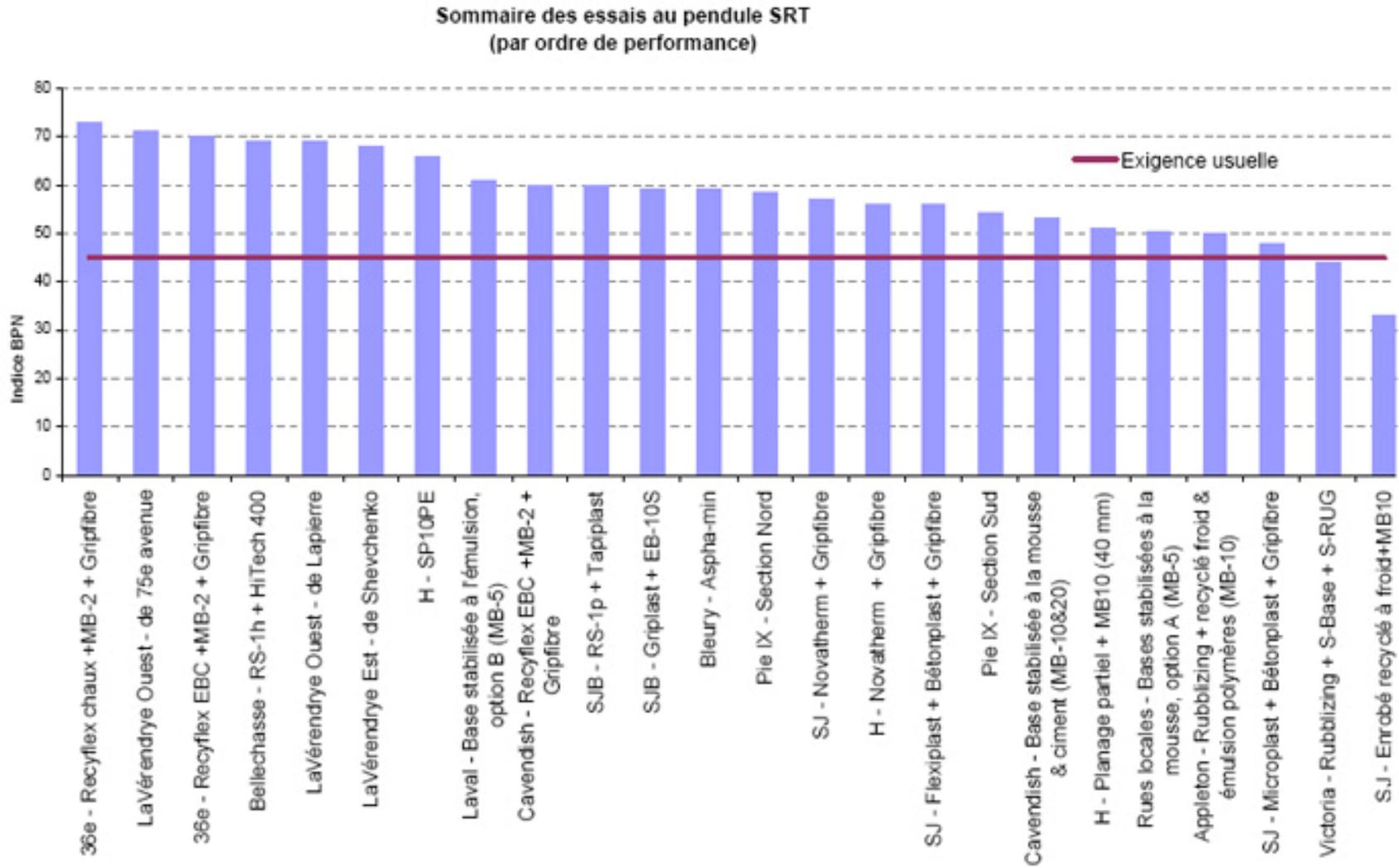
ANNEXE 6.2 : SOMMAIRE DES RELÉVÉS D'ORNIÉRAGE, 2008



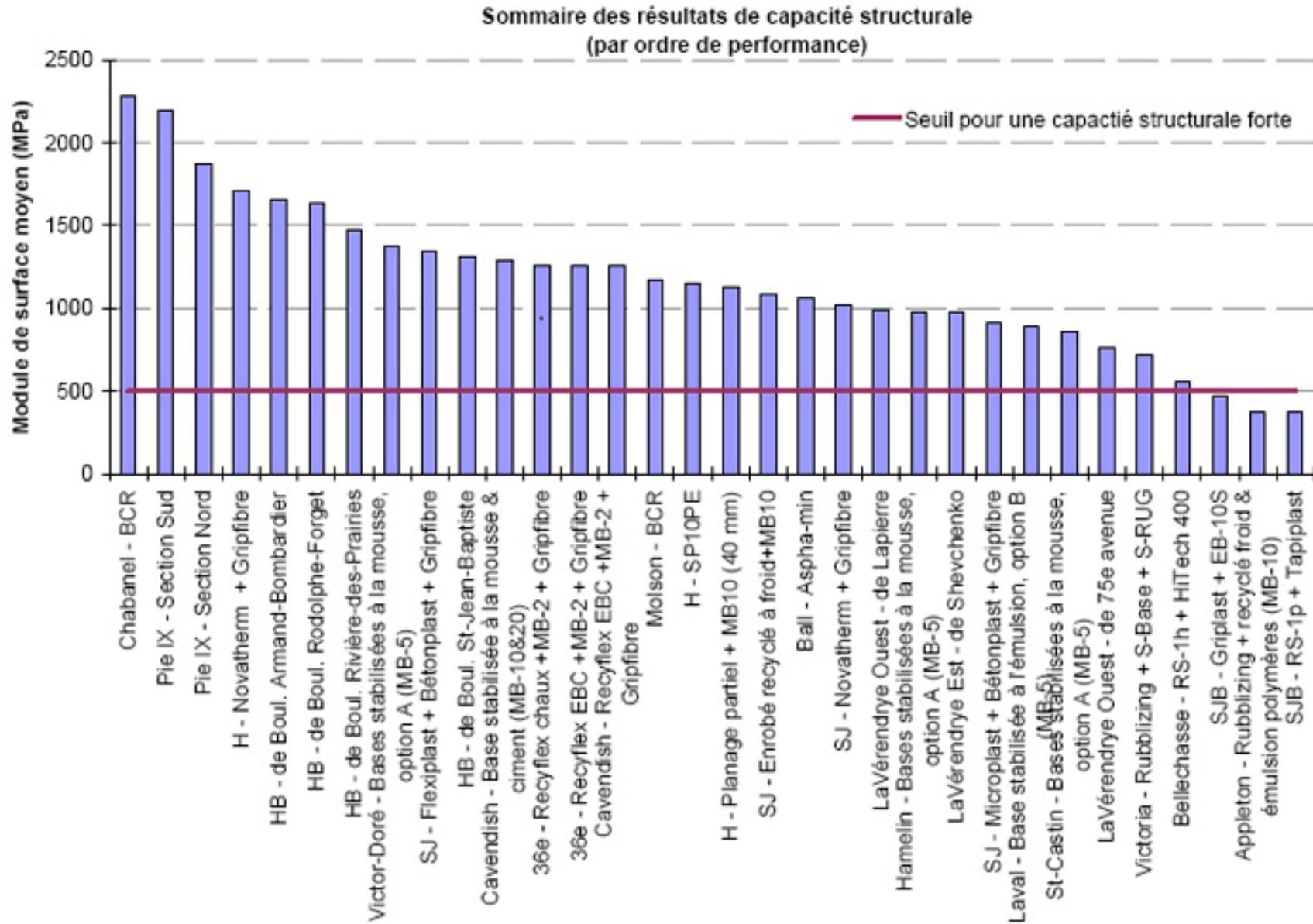
ANNEXE 6.3 : SOMMAIRE DES RELEVÉS DE HAUTEUR DE SABLE, 2008



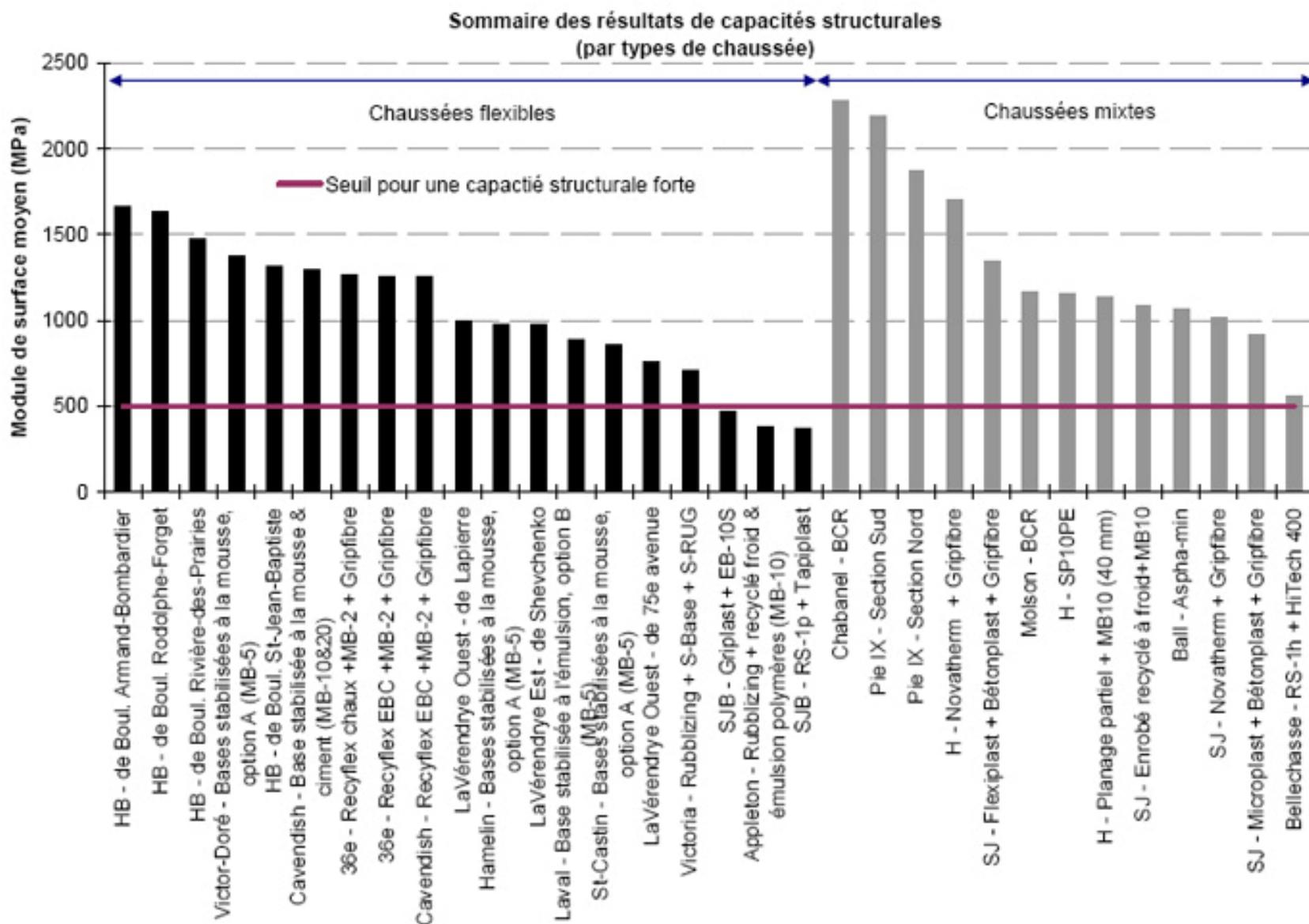
ANNEXE 6.4 : SOMMAIRE DES RELEVÉS D'INDICE BPN, 2008



ANNEXE 6.5.1 : SOMMAIRE DES RELEVÉS DE CAPACITÉ STRUCTURALE, 2008



ANNEXE 6.5.2 : SOMMAIRE DE RELÉVÉS DE LA CAPACITÉ STRUCTURALE, 2008



ANNEXE 7 : ÉVOLUTION DE LA CAPACITÉ STRUCTURALE PAR TECHNIQUE

Capacité structurale : Déflexion (0,01 mm) – Module de surface (Mpa)

TECHNIQUE	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2008
1. CONCASSAGE EN PLACE PAR RUBBLIZING ET S-BASE - Projet Ti-95.5		Xx - 3100	Xx - 3400	Xx - 3700				Xx - 713
2. BASE STABILISÉE À LA MOUSSE DE BITUME AVEC AJOUT DE CIMENT - Projet Ti-95.5		Xx - 7700	Xx - 3700	Xx - 3400				Xx - 1290
3. RECYFLEX AVEC EBC ET GRIPFIBRE - Projet Ti-95.5		Xx - 7700	Xx - 3600	Xx - 3400				Xx - 1256
4. TECHNIQUE DE RÉFECTION DE CHAUSSÉE MIXTE: RECYFLEX AVEC CHAUX HYDRATÉE ET GRIPFIBRE - Projet Ti-95.5		Xx - 4700		Xx - 3300				Xx - 1262
5. OPTION A : BASE STABILISÉE À LA MOUSSE DE BITUME ET MATÉRIAUX RECYCLÉS - Projet Ti-95.5	Xx - 550	Xx - 1600	Xx - 1300	Xx - 1200		Xx - 1300		Xx - 1071
6. B : BASE STABILISÉE À L'ÉMULSION DE BITUME ET MATÉRIAUX RECYCLÉS - Projet Ti-95.5	Xx - 400	Xx - 1300	Xx - 1000	Xx - 1100		Xx - 1000		Xx - 890

TECHNIQUE	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2008
7. GÉOGRILLE ROADTEX ET ENROBÉ SP10PE - Projet Ti-95		41 - xx	45 - xx					Xx – 1155
8. ENROBÉ RECYCLÉ À FROID ET COUCHE D'USURE - Projet Ti-95		41 - xx	48 - xx					Xx – 1086
9. MICROPLAST, BÉTONPLAST-C-GRIPFIBRE - Projet Ti-95		39 - xx	54 - xx					Xx – 916
10. FLEXIPLAST, BÉTONPLAST –C-GRIPFIBRE - Projet Ti-95		38 - xx	46 - xx					Xx – 1343
11. NOVATHERM ET GRIPFIBRE - CHAUSSÉE MODÉRÉMENT SOLLICITÉE - Projet Ti-95		44 - xx	44 - xx					Xx – 1708
12. ENTRETIEN CORRECTIF MAJEUR - CHAUSSÉE MIXTE FORTEMENT SOLLICITÉE NOVATHERM ET GRIPFIBRE - Projet Ti-95		39 - xx	39 - xx					Xx – 1015
13. CHAPE EN BÉTON ARMÉ DE FIBRE - Projet Ti-95		44 - xx	43 - xx					
14.A PLANAGE COMPLET ET REVÊTEMENT CONVENTIONNEL - Projet Ti-95		34 - xx	40 - xx					

TECHNIQUE	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2008
14.B PLANAGE PARTIEL ET REVÊTEMENT CONVENTIONNEL - Projet Ti-95		34 - xx	40 - xx					Xx – 1134
15.1 NOUVEAUX ENROBÉS Griplast + EB-10S - Projet Ti-97								Xx – 468
15.2 NOUVEAUX ENROBÉS RS-1 + Hitech 400 - Projet Ti-97								Xx – 560
15.3 NOUVEAUX ENROBÉS RS-1p + Tapiplast - Projet Ti-97								Xx – 373
15.4 NOUVEAUX ENROBÉS Colnet + EB-10S - Projet Ti-97								
15.5 NOUVEAUX ENROBÉS Griplast + Tapiplast - Projet Ti-97								
16.A INTERVENTIONS PONCTUELLES Enrobé ENCOLOR CHAMP 9708								
16.B INTERVENTIONS PONCTUELLES Enrobé HI-TECH 100 CHAMP 9708								

(Xx) Valeur non disponible

**ANNEXE 8 : RÉPERTOIRE DES PROJETS D'EXPÉRIMENTATION DE NOUVELLES
TECHNOLOGIES PAR D'AUTRES VILLES -
TRAVAUX D'INFRASTRUCTURES CANADA-QUÉBEC, 2^B ÉDITION,
GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, QC, CANADA, 1998**

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre des programmes TICQ-1994 et TICQ-1997.

A. Municipalités : Beauport, Charlesbourg, Québec, Saint-Augustin-de-Desmaures, Sainte-Foy et Vanier

1. Expérimentation de différentes techniques de réhabilitation des chaussées destinées à augmenter la résistance aux effets du gel et autres contraintes

B. Municipalité : Communauté urbaine de Québec

2. Réfection de chaussées à l'aide de mâchefers d'incinérateur

C. Municipalité : Drummondville

3. Utilisation du « Stabicol 90 » sur le boulevard Lemire
4. Expérimentation d'un enrobé avec ajout de polyéthylène sur le boulevard René-Lévesque
5. Enrobé bitumineux contenant des bardeaux d'asphalte recyclés

D. Municipalité : LaSalle

6. Expérimentation de technologies géosynthétiques sur les systèmes de drainage routier municipal

E. Municipalité : Laval

7. Stabilisation de chaussées à l'aide de bitume moussé additionné de chaux
8. Réhabilitation de chaussées par stabilisation au liant ciment-bitume

F. Municipalités : Lévis, Québec, Sainte-Foy, Boucherville et Charlesbourg

9. Enrobés bitumineux en milieu résidentiel

G. Municipalité : Québec

10. Réhabilitation de chaussées au moyen de béton compacté au rouleau

H. Municipalité : Saint-Augustin-de-Desmaures

11. Réfection du Chemin du Roy à l'aide d'un géocomposite isolant

I. Municipalité : Saint-Hyacinthe

12. Évaluation technico-économique du gain en durée de vie engendré par l'utilisation d'un système multicouche isolant, drainant et renforcé dans une structure de chaussée

J. Municipalité : Thetford Mines

13. Réfection de chaussée à l'aide d'un nouveau mélange à base de fibres d'amiante