

**PROJET DE RÉFECTION MAJEURE D'UNE CHAUSSÉE :
RÉUTILISATION DES MATÉRIAUX EN PLACE**

Bruno Marquis, ing.
Guy Bergeron, ing.
Direction du laboratoire des chaussées
Ministère des Transports du Québec

Exposé préparé pour
la séance sur l'utilisation des matériaux recyclés dans la conception des routes

Congrès annuel 2003
Association des transports du Canada
Saint John's (Terre-Neuve)

RÉSUMÉ

Le ministère des Transports du Québec (MTQ) a recours de plus en plus aux techniques de recyclage des matériaux de chaussée dans le cas de ses interventions sur le réseau routier supérieur. Le projet présenté est l'aboutissement des travaux de recherche sur le recyclage des matériaux de chaussée et sur la stabilisation à l'aide d'un liant mixte (émulsion de bitume et ciment portland) des matériaux granulaires. Les résultats de ces recherches ont été transposés dans des normes et des clauses contractuelles. Ces documents permettent de mieux encadrer l'utilisation de matériaux recyclés en précisant divers aspects liés aux propriétés des matériaux et exigences contractuelles.

Un projet de réfection majeure réalisé en 2002 sur l'autoroute 20 à Villeroy (entre Québec et Montréal) est un bel exemple d'application des innovations résultant des travaux de recherche du MTQ au cours des dernières années. Ce type de projet est d'autant plus intéressant qu'il s'intègre à la politique de valorisation des matières résiduelles (Politique québécoise de gestion des matières résiduelles) énoncée dans un plan d'action du ministère de l'Environnement du Québec en 1998 visant à réduire la quantité de ce type de résidus dans les dépôts de matériaux secs.

Le projet, d'une longueur de 4,7 km, a consisté à élaborer un matériau granulaire à partir du revêtement en place constitué d'une dalle de béton de ciment (d'une épaisseur de 14 à 16 cm) surmontée d'un enrobé bitumineux (d'une épaisseur de 18 à 24 cm) et d'une partie de la fondation granulaire en place. Chacune des couches a été enlevée séparément et concassée pour la fabrication du matériau recyclé en centrale. Plus de 50 000 t de matériaux recyclés ont été fabriqués et utilisés pour la sous-fondation et la fondation après stabilisation à l'aide d'un liant mixte (émulsion de bitume et ciment). La conception de la chaussée prévoit un premier cycle de vie anticipée de 20 ans et une sollicitation de 38×10^6 ECAS. Des relevés de déflexion FWD, réalisés après les travaux, ont confirmé l'atteinte des objectifs initiaux fixés lors de la conception.

1 INTRODUCTION

Le ministère des Transports du Québec (MTQ) a recours de plus en plus aux techniques de recyclage des matériaux de chaussée à l'occasion de ses interventions majeures de réhabilitation sur le réseau routier supérieur. À cet égard, la norme NQ 2560-600 traitant des matériaux recyclés (MR) constitués de résidus de béton, d'enrobés et de briques a été rendue officielle au cours de l'année 2002¹. Depuis plus de 10 ans, le MTQ a entrepris le suivi de performance de diverses sections d'essais comportant des matériaux recyclés stabilisés² à froid (en place et en centrale) à l'aide de divers types de liants hydrocarbonés et mixtes.

Le projet de reconstruction de l'autoroute 20 à Villeroy se veut un exemple de l'aboutissement de travaux de recherche effectués au MTQ dans le domaine du recyclage des résidus provenant de la démolition d'une chaussée et de la stabilisation par des procédés à froid. Le Ministère a élaboré des documents normatifs et contractuels décrivant les exigences et caractéristiques des matériaux de même que les points de contrôle qui permettent de mieux encadrer l'utilisation de MR et favoriser leur utilisation sur une base plus fréquente.

2 LOCALISATION DU PROJET ET PROBLÉMATIQUE

Le projet, d'une longueur de 4,7 km, est situé sur l'autoroute Jean-Lesage (RTS A20-05-125) en direction ouest entre Québec et Montréal (figure 1). Le débit journalier moyen annuel (DJMA) a été évalué à 21 600 véhicules, dont 16 % sont des véhicules lourds.

Avant les travaux, le secteur présentait un état de dégradation avancé, caractérisé par de nombreuses fissures transversales souvent multiples et du carrelage dans le sentier des roues. On dénote également sur plus de 900 m la présence d'une fissure de centre ouverte et décalée en période hivernale.

L'historique du comportement de la chaussée indique que les interventions de recouvrement bitumineux effectuées dans ce secteur ont une durée de vie inférieure à cinq ans. Le mauvais comportement de la chaussée et le taux de fissuration élevé est étroitement lié au comportement gélif de la chaussée.

3 ÉTAT DE LA CHAUSSÉE

De nombreux relevés ont été effectués au cours des années 1997-1998 afin d'établir un diagnostic précis sur les causes des dégradations observées et pour ensuite recommander la solution la plus appropriée.

3.1 Relevés visuels

Les relevés visuels ont permis de reconnaître les types de dégradations et d'en déterminer la sévérité. On note la présence de fissures transversales rapprochées

(environ 5 m) et multiples, des fissures longitudinales et du carrelage dans les pistes de roues, ainsi qu'une fissure longitudinale sévère au centre de la chaussée. Le tableau 1 résume l'ensemble des dégradations observées.

3.2 Relevé de profilométrie

Les différents relevés de profilométrie (n° réf. 0020-05-120(31)90) effectués depuis 1993 sur le tronçon à l'étude, à l'aide de roulemètres et de profilomètres inertiels, indiquent une décroissance rapide de la qualité de roulement à la suite d'une intervention et d'une variation significative de la qualité du roulement en période hivernale, notamment entre les chaînages 0+000 et 2+900, de même qu'entre les chaînages 3+800 et 4+700.

La qualité de roulement, exprimée par l'indice de rugosité international (IRI), sur la voie de gauche et la voie de droite, est respectivement de 2,2 et 1,8. Les relevés effectués en période hivernale révèlent un différentiel d'IRI ($IRI_{\text{hiver}} - IRI_{\text{été}}$) de l'ordre de 1,4 pour chacune des voies, ce qui dénote un comportement gélif de la chaussée. Ces mêmes relevés ont mis en évidence que l'appauvrissement de la qualité de roulement est étroitement lié à la profondeur du gel dans le sol d'infrastructure. On note également une amélioration substantielle de la qualité de roulement lorsque la chaussée subit un dégel de surface.

3.3 Relevé de nivellement GPS

Des relevés de nivellement effectués en période hivernale et estivale confirment que la chaussée se soulève de 5 cm par l'action du gel, notamment entre le chaînage 0+500 et 1+200.

3.4 Mesure de l'ouverture des fissures

L'instrumentation de certaines fissures (figure 2) a permis de mesurer leur ouverture hivernale. Au cours de l'hiver 1998, des ouvertures variant de 8 mm à 15 mm ont été mesurées entre les chaînages 0+500 à 2+000.

3.5 Ornières

La profondeur des ornières sur le site varie de 4 à 9 mm avec une moyenne de 6 mm.

3.6 Sondages

Les sondages effectués sur le site ont permis de connaître l'épaisseur et la nature des différentes couches de matériaux composant la chaussée et le sol support ainsi que la profondeur de la nappe phréatique. Les principaux résultats se résument comme suit :

- un revêtement bitumineux de 18 à 24 cm d'épais (moyenne de 21 cm);

- une dalle de béton de 14 à 16 cm d'épais (moyenne de 15 cm) entre les chaînages 2+700 et 3+700;
- une fondation granulaire supérieure d'une épaisseur variant de 30 à 70 cm, composée d'un sable graveleux entre les chaînages 0+000 et 1+600 et d'un gravier entre 0+160 et 4+700, tous deux ayant moins de 13 % de passant 80 µm;
- une sous-fondation granulaire d'une épaisseur variant de 27 à 63 cm, composée d'un sable silteux ayant de 11,9 % à 19,7 % de passant 80µm;
- le sol d'infrastructure est un sol silteux organique d'une épaisseur de 100 et de 150 cm respectivement entre les chaînages 0+400 et 1+200 et au chaînage 4+000; cette information a été confirmée par l'analyse de photos aériennes indiquant la présence d'une tourbière entre les chaînages 1+000 et 1+300;
- la nappe phréatique a été atteinte à 220 cm, 200 cm, 120 cm, 163 cm, 220 cm aux chaînages 0+400, 0+700, 1+250, 1+600 et 2+000 respectivement.

4 PROJET DE RECONSTRUCTION PARTIELLE - CHAUSSÉE SOUPLE

L'ensemble des données recueillies permet de relier la présence des nombreuses fissures et le mauvais comportement hivernal de la chaussée à la nature des sols supports et aux conditions hydriques qui existent sur le site. L'historique des interventions indique qu'une approche par la surface (planage + recouvrement) n'est pas adaptée dans un tel contexte, puisqu'elle ne peut pas empêcher la remontée rapide des fissures, qu'elle conduit à une détérioration rapide de la qualité du confort de roulement et qu'elle réduit par conséquent la durée de vie de l'intervention.

La solution définitive proposée consiste à mettre en place une structure de chaussée permettant de réduire les effets du gel tout en respectant les contraintes propres au site. L'enlèvement du revêtement et d'une partie de la fondation existante est inévitable et représente une quantité de résidus de l'ordre de 50 000 t. Le rehaussement du profil est à toutes fins impossibles dans le secteur concerné compte tenu de la présence d'un pont d'étagement et d'une halte routière. Dans les secteurs jugés susceptibles aux effets du gel, la pose d'un isolant thermique a été considérée comme la meilleure approche pour limiter la progression du gel au niveau des sols supports tout en limitant la profondeur d'excavation (secteur en tourbière).

Dans le but de limiter la quantité de matériaux à mettre au rebut et la durée des travaux, une approche selon laquelle les matériaux en place sont utilisés a été considérée. La conception de la chaussée, prévue pour un premier cycle de vie de 20 ans, prévoit une utilisation optimale des matériaux élaborés à partir des résidus de démolition. L'utilisation de MR au niveau de la sous-fondation et d'un MR stabilisé à l'aide d'un liant mixte (émulsion-ciment) au niveau de la fondation permet certaines modifications quant au dimensionnement structural, qui sont attrayantes sur le plan économique. Les propriétés mécaniques d'un MR stabilisé sont meilleures qu'un

matériau granulaire conventionnel, ce qui se traduit par une réduction de l'épaisseur du revêtement par rapport à une chaussée conventionnelle pour supporter le trafic anticipé. Le tableau 2 montre les épaisseurs des couches selon deux scénarios : une chaussée avec MR et une chaussée conventionnelle. La figure 3 illustre la section type du projet réalisé. Des suivis de performance et des études internes effectuées par le MTQ indiquent que le module de déformation d'un MR stabilisé à l'aide d'un liant mixte est de deux à cinq fois plus élevé qu'un matériau granulaire conventionnel². On estime que l'option adoptée comportant le recyclage des matériaux s'est traduite par une économie variant de 16 % à 22 % par rapport à une approche dite classique, où seuls des matériaux neufs sont utilisés, et ce, pour atteindre les mêmes objectifs de conception et la même durée de vie utile anticipée.

Au chantier, la séquence des opérations se décrit ainsi : déblai et récupération des matériaux en place jusqu'à 60 cm sous le profil final; pose des drains longitudinaux et des exutoires; pose d'un isolant thermique dans les zones sensibles au gel; pose des fondations composées de MR; pose du revêtement bitumineux.

4.1 Déblai et récupération des matériaux en place

Les travaux de déblayage se résument ainsi :

- enlèvement du revêtement bitumineux par planage;
- fragmentation et enlèvement la dalle de béton;
- enlèvement de la fondation existante sur toute la largeur de la chaussée jusqu'à une profondeur de 60 cm par rapport au profil final.

Les matériaux de déblai sont récupérés de façon sélective de façon à former des réserves séparées.

4.2 Drainage de la chaussée

Considérant l'élévation de la nappe phréatique sur le site des travaux, des drains perforés de 150 mm de diamètre sont posés en bordure de la chaussée. Des exutoires en béton non armé de 200 mm de diamètre sont posés tous les 150 m, perpendiculairement à la chaussée.

4.3 Isolation de la chaussée

Un isolant thermique a été posé uniquement sur le secteur le plus sensible aux effets du gel, entre les chaînages 0+600 à 2+150. Le polystyrène satisfait aux exigences de la norme 14301 du Ministère et la mise en œuvre a été conforme à la pratique (tome II, chapitre 2, isolation des chaussées⁷).

4.4 Fondations en matériaux recyclés

Les matériaux élaborés sont conformes à la norme NQ 2560-600 *Granulats – Matériaux recyclés fabriqués à partir de résidus de béton, d'enrobés bitumineux et de briques*. Les fondations, posées en deux couches, sont constituées d'une couche de

250 mm de MR non stabilisé à la base et d'une couche de 200 mm de MR stabilisé à l'aide d'un liant mixte (hydrocarboné et hydraulique) dans la partie supérieure.

4.4.1 MR non stabilisé

La première couche de la fondation est composée d'un MR de type MR-5, composé à parts égales de résidus d'enrobé et de granulats conventionnels. Le matériau, de calibre MG 20, est conforme aux exigences des normes 2101 et 2102 du Ministère, ce qui signifie que les caractéristiques du MR sont équivalentes à celles d'un matériau naturel.

Lors de la mise en place, la compacité exigée du matériau a été fixée à 98 % de la masse volumique sèche établie sur une planche d'essai. Cette démarche permet de déterminer le facteur de correction pour la mesure de la teneur en eau réelle dans le MR à l'aide d'un nucléodensimètre. Un essai Proctor modifié, selon la méthode CAN/BNQ 2501-255 M92, est également réalisé pour déterminer la teneur en eau optimale.

4.4.2 MR stabilisé

La partie supérieure de la fondation est également composée d'un matériau recyclé de type MR-5 constitué de résidus d'enrobé, de béton et d'un granulats d'apport. Les proportions des constituants sont respectivement de 45 %, 45 % et 10 %. La stabilisation du MR-5 a été effectuée en centrale par l'ajout d'un liant mixte composé d'une émulsion de bitume (CSS-1) et d'un liant hydraulique. Les quantités optimales de liant mixte et d'eau à ajouter ont été déterminées à la suite d'une étude de formulation, tel qu'il est décrit dans la méthode LC 26-002 du MTQ⁵. Le MR stabilisé doit satisfaire aux exigences mécaniques et de formulation prescrite au devis. La stabilité Marshall initiale à sec exigée est de 11 000 N (briquette fabriquée avec 50 coups de chaque côté). La stabilité retenue exigée après saturation est d'au moins 70 % de la stabilité Marshall mesurée à sec à 22 °C. Le pourcentage, en masse, de liant hydraulique exigé est 1,5 % et le pourcentage résiduel minimal de liant hydrocarboné, d'au moins 1,5 %.

La centrale utilisée pour la fabrication du MR stabilisé comprend des unités permettant l'apport de trois types de granulats (enrobé, béton de ciment et granulats conventionnels), le malaxage des granulats, l'ajout des liants hydraulique et hydrocarboné, ainsi qu'un dispositif servant à l'ajout de l'eau. La centrale est également munie de dispositifs permettant la mesure en continu de la masse des composants du MR, de la masse de MR produit à l'heure de même que le taux des liants hydrocarboné et hydraulique ajoutés au mélange. La production minimale exigée de la centrale est 150 t de MR stabilisé par heure.

La compacité en chantier doit être supérieure à 96 % de la densité brute sèche déterminée en laboratoire. Le temps de cure, pendant lequel aucun véhicule ne peut circuler sur le matériau, est d'au moins deux jours.

Puisque les installations de concassage servant à l'élaboration des MR ont été placées près du site des travaux, de 5 à 10 camions seulement ont été nécessaires au transport de plus de 46 000 t de MR tout en respectant les délais prévus. À lui seul, ce point s'est avéré un avantage important en faveur de cette approche, en raison de la

réduction de la durée des travaux et du temps d'encombrement du réseau municipal adjacent. Les travaux ont été complétés en 55 jours.

5 CONTRÔLE DES MATÉRIAUX

Les matériaux sont contrôlés avant la mise en œuvre afin de déterminer les caractéristiques intrinsèques (résistance aux chocs et à l'usure), de fabrication (granularité et teneur en bitume) et complémentaires (impuretés, propretés, composition du MR, matière organique, chlorure et sulfate hydrosolubles). La granularité et la composition des MR ont de plus été vérifiées après la mise en œuvre.

Le MR stabilisé, pour sa part, a fait l'objet d'une acceptation au moment de sa mise en œuvre en regard à la stabilité Marshall sèche et retenue après immersion dans l'eau à 22 °C, ainsi qu'en pourcentage de bitume résiduel, de densité brute et maximale et de pourcentage d'enrobage.

Les matériaux se sont avérés conformes avant et après leur mise en œuvre. Le tableau 3 donne les résultats d'évaluation des caractéristiques intrinsèques et complémentaires des MR. Les figures 4 et 5 montrent la granularité et les étendues observées des MR avant et après mise en œuvre. Les figures 6 et 7 indiquent les pourcentages de bitume avant et après la mise en œuvre. La figure 8 rassemble des valeurs de stabilité sèche et après immersion dans l'eau, et illustre le pourcentage de stabilité retenue.

6 RELEVÉS DE DÉFLEXION APRÈS LES TRAVAUX

Les relevés de déflexion FWD réalisés après les travaux ont permis de confirmer l'atteinte des objectifs de conception. La déflexion totale (Do) et l'indice de courbure (SCI) sur la section témoin (sans isolant thermique) sont légèrement inférieurs aux déflexions admissibles fixées au moment du dimensionnement structural, soit respectivement 201 μm et 45 μm . Ces résultats indiquent que les valeurs utilisées pour caractériser les propriétés mécaniques des MR à l'étape du dimensionnement structural sont réalistes et représentatives (réf. logiciel CHAUSSÉES de la Direction du laboratoire des chaussées). Ce constat met en évidence le fort potentiel d'utilisation des MR dans le contexte sous étude⁴, soit celui d'une autoroute fortement sollicitée.

Les déflexions (Do et SCI) sont légèrement plus élevées sur la section comportant un isolant et dépassent même les valeurs admissibles. Une analyse plus rigoureuse est requise avant de statuer sur les conséquences d'un tel constat et sur la durée de vie de la chaussée. Plusieurs facteurs doivent être considérés, entre autres le fait que les sols supports ne subissent pas de variations importantes de rigidité liées au gel et au dégel.

7 CONCLUSION

Les études, projets de recherche et suivis de performance entrepris par le ministère des Transports du Québec depuis 1996 ont conduit à l'élaboration de cahiers de charges, de devis, de normes et d'exigences contractuelles permettant de mieux encadrer l'utilisation de matériaux recyclés dans le domaine des chaussées. Cette démarche qui s'inscrit dans un plan d'action du ministère de l'Environnement du Québec (1998) vise, entre autres, à réduire le volume de déchets solides dans les dépôts de matériaux secs, et contribue à populariser et à mettre en valeur les techniques de recyclage au Québec.

L'approche proposée encadre l'utilisation de matériaux granulaires élaborés à partir de résidus d'enrobé, de béton de ciment et de granulats conventionnels³.

Le cas de l'autoroute 20 à Villeroy est un bel exemple de recyclage d'une quantité importante (45 000 t) de matériaux dans le cas de travaux de réfection majeure. Les méthodes de travail ont été adaptées pour permettre l'élaboration de matériaux recyclés (MR) répondant aux exigences. La structure de chaussée proposée a été adaptée et dimensionnée selon les propriétés des matériaux recyclés (MR). Des méthodes de contrôle (méthodes d'essai) adaptées au MR ont également été développées.

Les relevés effectués après travaux confirment que les objectifs visés au moment de la conception ont été atteints, ce qui met en évidence le fort potentiel d'utilisation des matériaux recyclés dans le contexte qui a été présenté. L'approche proposée s'avère avantageuse quant à de nombreux aspects liés à la faisabilité des travaux et aux caractéristiques techniques des MR.

La réutilisation des matériaux de démolition dans le contexte du projet présenté s'est traduite par des économies significatives, estimées à plus de 16 %, par rapport à l'approche traditionnelle où seuls des matériaux neufs sont utilisés.

8 RÉFÉRENCES

1. BUREAU DE NORMALISATION DU QUÉBEC. *Granulats – Matériaux recyclés fabriqués à partir de résidus de béton, d'enrobés bitumineux et de briques – Classification et caractéristiques*. Québec, Bureau de normalisation du Québec, 2002, 20 p. (NQ 2560-600).
2. BERGERON, Guy. *Retraitement en place à Transports Québec : Résultats des suivis de performance de 1991 à 2000*, colloque AQTR- AIMQ. Retraitement en place et autres techniques de recyclage à froid des matériaux routiers, Saint-Hyacinthe, Québec, 11 mai 2000.
3. MARQUIS, Bruno, et autres. *L'utilisation des matériaux recyclés dans les chaussées : caractérisation, exigences techniques et contrôle*, Congrès annuel de

l'Association des transports du Canada (ATC), Saint John's (Nouveau-Brunswick), 1999.

4. BERGERON, Guy. Ministère des Transports du Québec, étude interne. « Étude de réfection de l'autoroute 20 à Villeroy », secteur Expertises en chaussées du Service des chaussées de la Direction du laboratoire des chaussées, août 2000. nombres de pages ?
5. MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC - LABORATOIRE DES CHAUSSÉES, *Recueil des méthodes d'essai : LC 21-901, LC 21-040, LC 21-070, LC 21-260 et LC 26-100*, Sainte-Foy, Québec, Les Publications du Québec, 1997.
6. MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC. *Normes matériaux : Granulats, tome 7, vol. 1*, Sainte-Foy, Québec, Les Publications du Québec, 2001.
7. MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC. *Normes : Construction routière, tome 2*, Sainte-Foy, Québec, Les Publications du Québec, 2000.

Secteur		Dégradation				
		Fissure		Carrelage	Ornière	Arrachement
		Transversale	Longitudinale			
De 4+717 à 3+725		Rapprochées, multiples, de sévérité moyenne à majeure	De centre, sans dénivelé à l'hiver			X
	4+200					
De 3+725 à 2+800		zone de remblai, fissures multiples		X		
	2+900					multiples
De 2+800 à 1+460	De 2+800 à 2+300					X
	De 2+150 à 1+960		de centre			
	De 1+830 à 1+860		de centre avec décalage vertical			
De 1+460 à 0+000	De 1+460 à 0+600		de centre continue avec décalage vertical de 2 cm			

Tableau 1 Dégradations de la chaussée

Couche de matériau		Scénario de structure de chaussée	
		Matériau recyclé	Conventionnelle
Enrobés	Surface EG-10	60 mm	60 mm
	Base EB-20	80 mm	200 mm
Fondation	MR-5 stabilisé MG-20	200 mm	
	MR-5 non stab. MG-20	250 mm	300 mm
Déblais		600 mm	560 mm

Tableau 2 Structures de la chaussée

Caractéristiques intrinsèques et complémentaires	Résultat	Exigence
Essai		
Micro-Deval LC 21-070	14,3 D; 16,9 D; 13,9 D; 19,5 D	< 35 %
Los Angeles LC 21-400	21,3 B	< 50 %
Matières organiques par colorimétrie CSA A23.2 7A	1, 2, 2 et 1	< 3
Teneur en impuretés LC 21-260	0,01%	< 1,0 %
Chlorure hydrosoluble APHA 4500 Cl	0,0217%	< 0,10 %
Sulfate hydrosoluble LC 31-312	0,0013 %	< 0,20 %
Teneur en bitume, type de MR LC 26-100, LC 21-901	voir figures 6 et 7	

Tableau 3 Contrôle des matériaux



Figure 1 Localisation du projet



Figure 2 Instrumentation des fissures

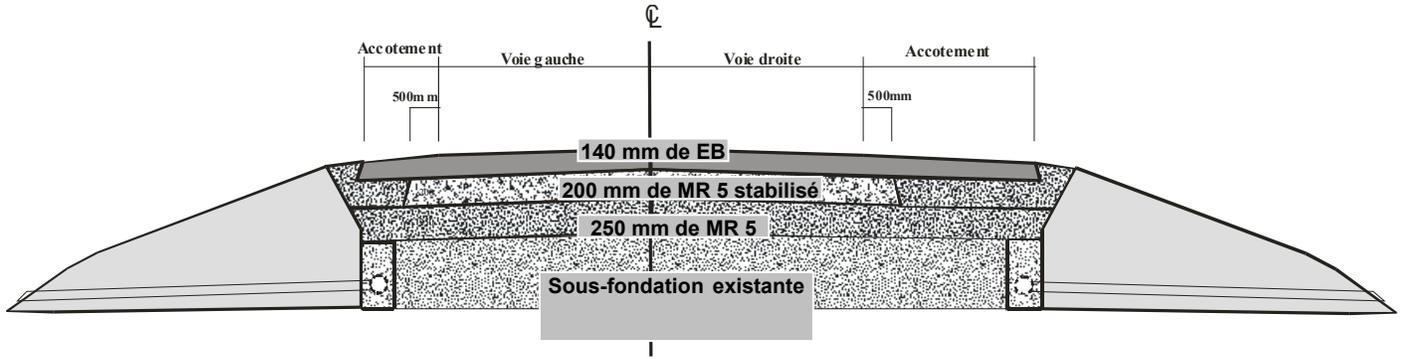


Figure 3 Section-type

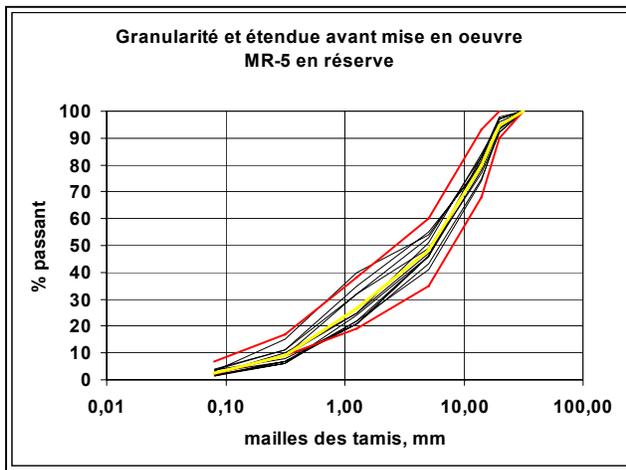


Figure 4

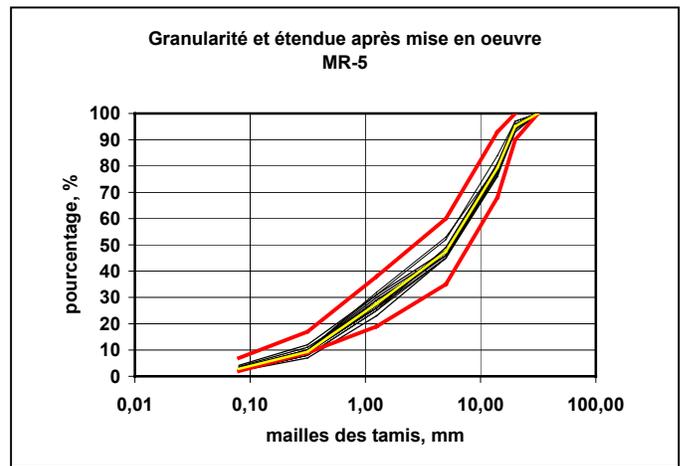


Figure 5

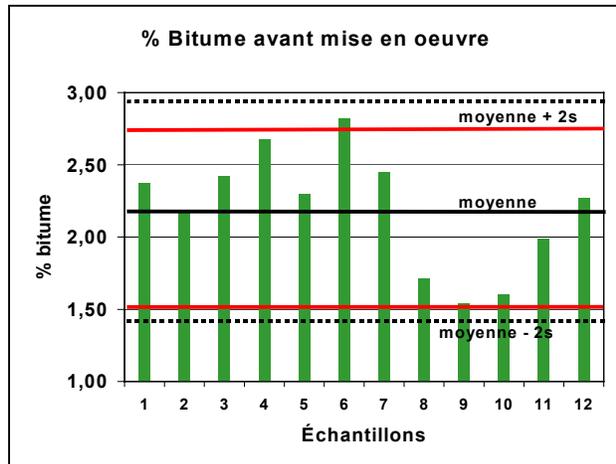


Figure 6

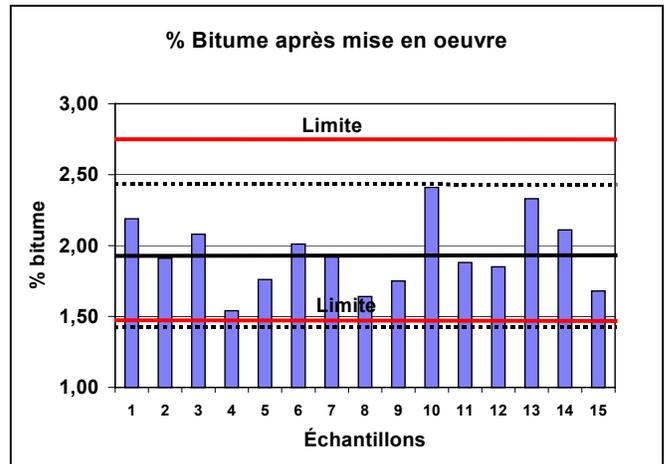


Figure 7

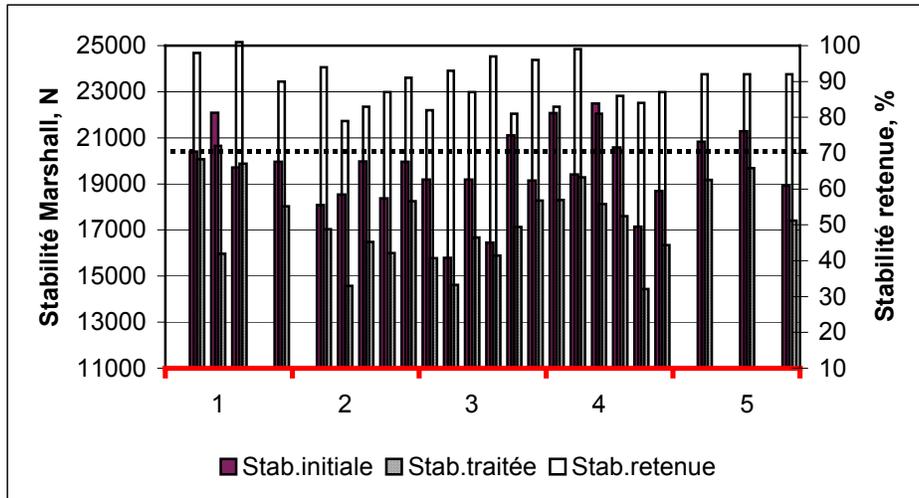


Figure 8 Stabilité Marshall du MR-5 stabilisé

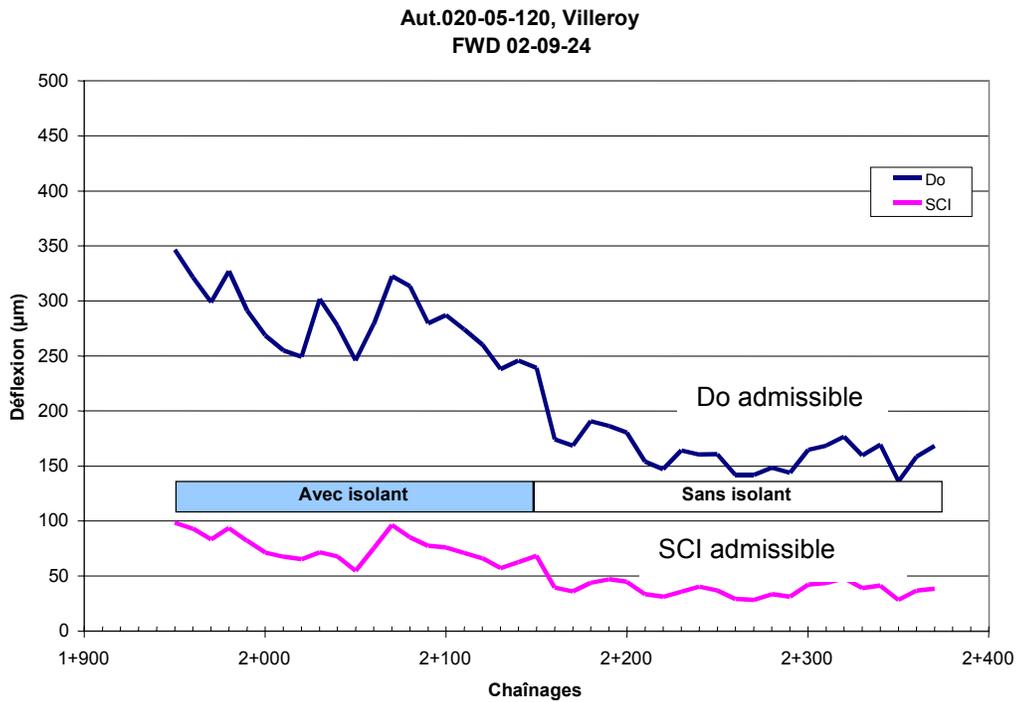


Figure 9 Relevés de déflexion FWD 2002