

***GRILLES DE FIBRE DE VERRE POUR RENFORCEMENT  
D'ENROBE ET TRAITEMENT DE FISSURES***



12/02/2018



Solutions

Renforcer pour durer

CIDEX

Présentation 6D Solutions .....	Page 3
Présentation Cidex .....	Page 3
Endommagement à la mise en œuvre.....	Page 5
Validations laboratoire .....	Page 6
Approche chantiers – chaussées semi-rigides .....	Page 13
Approche chantier – élargissement .....	Page 14
Approche chantier – gonflement .....	Page 15
Approche chantier – chaussées souples .....	Page 16
Produits / applications .....	Page 21
Mise en œuvre .....	Page 21

## 6D Solutions

La société 6D SOLUTIONS, basée à Lyon, est spécialisée dans la conception de grilles en fibre de verre pour le renforcement des enrobés. Elle réalise environ 50% de son activité en dehors de France. Elle est certifiée ISO 9001-2015 (FQA 4000187 par LRQA France) et ses produits sont marqués CE depuis mai 2009 (0334 – CPD – 1016).

Les grilles en fibre de verre conçues par 6 D Solutions sont fabriquées en France dans l'usine en Isère, et aussi en Ardèche et aux USA en partenariat avec l'entreprise Chomarat Textiles Industries.

### Pourquoi Cidex ?

Cidex pour renforcer les enrobés et limiter leur fissuration ! Mais quelles fissures ?

- Fissurations par fatigue des chaussées souples ?
- Affaissement des chaussées souples, par manque de caractéristiques du sol support ?
- Fissuration des chaussées rigides (en béton ou grave hydraulique) ?
- Fissurations au droit d'élargissement de chaussée ?
- Gonflement de chaussée ?
- Etanchéité des chaussées ?...

Afin de pouvoir répondre à certains de ces problèmes de fissuration ou de déformation des matériaux de chaussée, nous avons commencé à renforcer des produits bitumineux dans les années 1960, avec un essor particulier à partir des années 1990. Nous avons ainsi plus de 35 ans d'expérience et plus de 30 millions de m<sup>2</sup> de grilles de fibre de verre appliqués.

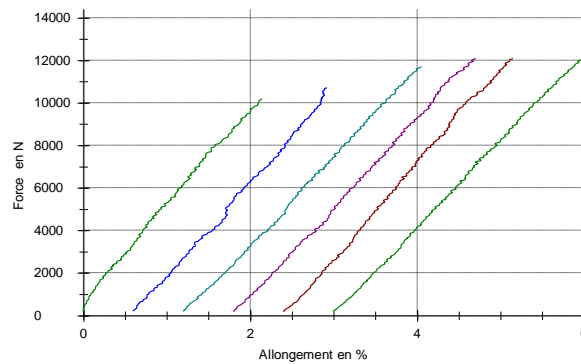
Il est important de comparer les modules d'élasticité des principaux matériaux que nous trouvons sur le marché. Les valeurs ci-après sont celles que nous trouvons dans la littérature.

Module d'élasticité dit aussi module de Young

- |                          |                        |
|--------------------------|------------------------|
| - fibre de verre         | 70 000 MPa             |
| - CIDEX                  | <b>40 000 MPa</b>      |
| - fibre de polyester     | 5 000 MPa à 10 000 MPa |
| - fibre de polypropylène | 4 000 MPa              |
| - béton bitumineux       | 5 000 MPa à 15 000 Mpa |

Quand des contraintes de traction sont appliquées au composite enrobé + renforcement, c'est le matériau à plus haut module d'élasticité, soit le renfort qui les prend en charge.

Il faut considérer les caractéristiques mécaniques du renfort dans des zones d'allongement de l'ordre de 1‰ puisque ce sont ces zones de microdéformations où l'enrobé va commencer à fissurer. Malheureusement les techniques d'essai de traction / déformation ne sont pas assez précises pour donner de telles valeurs à de si faibles allongements. Les performances mécaniques d'un renfort à plus de 1% de déformation ne sont que peu exploitées dans la structure de chaussée. Nous informons donc des capacités de renforcement à 1% d'allongement sur toute la gamme de grille.



Courbe de contrainte/déformation d'une grille de 100 KN/m de résistance mécanique.

C'est la raison principale qui nous a fait choisir en préambule la fibre de verre, avec une association de ces fils de manière tendue lors de la production. Le fil est mis en tension dès qu'une contrainte lui est appliquée.

Il a été aussi mis en évidence que les intensités des contraintes sont dépendantes des zones géographiques. Le climat et la qualité du sol support sont aussi d'une grande importance, ainsi que le drainage. L'aspect économique ne peut aussi être négligé. C'est pour ces raisons que notre entreprise 6 D Solutions propose toute une gamme de renforts, avec des résistances mécaniques allant de 10KN/ m jusqu'à 150 KN/m.

Et est-ce que toutes les grilles en fibre de verre fonctionnent de la même manière ? : NON.

La fibre de verre de Cidex est associée à un résine de type latex. Cette résine est peu sensible aux températures d'utilisations, de  $-40^{\circ}\text{C}$  à  $+150^{\circ}\text{C}$ . Ses résistances mécaniques ont été vérifiées à plusieurs niveaux de température dont  $-40^{\circ}\text{C}$ .

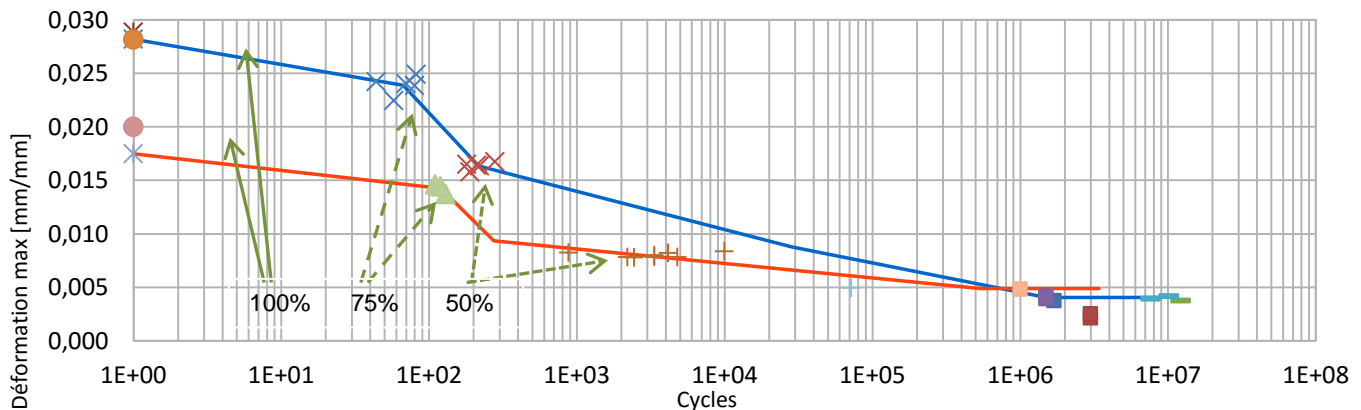
L'association des fibres de verre avec cette résine confère à la grille des résistances à la fatigue particulièrement intéressantes. Ci-après les courbes de Whöler sur les fils des grilles Cidex 50 SB et Cidex 100 SB.

### Essais de fatigue sur les fils des grilles Cidex

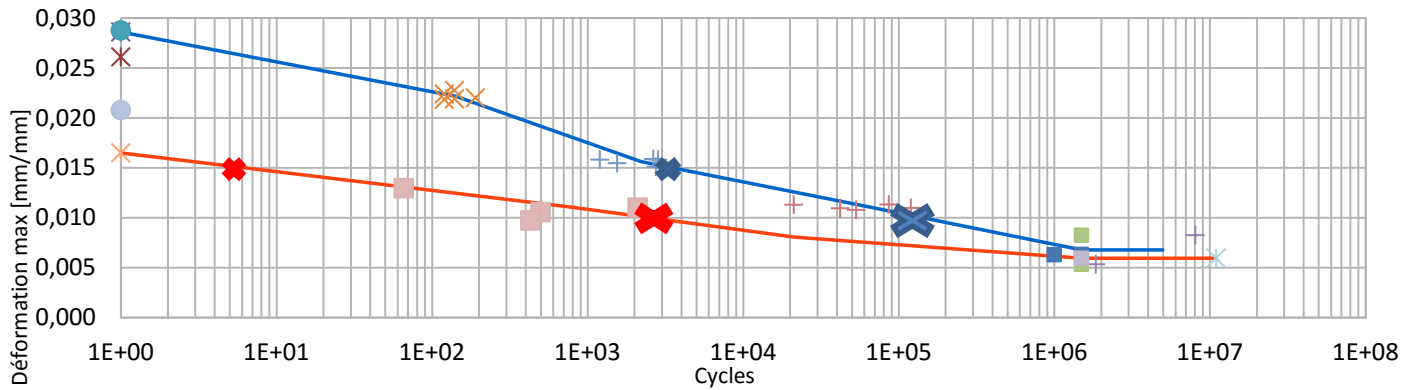
Principe de l'essai :

- Détermination de la résistance mécanique ultime avec allongement ultime.
- Essai de fatigue en déformation constante de 75%, 50%, 35%, 25%, 10% de cet allongement ultime.
- Le fil est mis en prétention de 20% de la déformation constante (rapport de charge).
- Il est suivi la force nécessaire pour obtenir la fatigue du matériau. Quand cette force obtient 50% de la force initiale, l'éprouvette est considérée comme rompue. Cette rupture est effectivement constatée visuellement pour les forts allongements, mais pas pour les faibles allongements.

Comparaison **en déformation** - grille CIDEX 50SB et grille A - fils sens production ( CH)



Comparaison en déformation - grille CIDEX 50SB et grille A - fils sens transversal à la production (TR)



Ainsi, pour une déformation de 1%, le nombre de cycles de traction pour que les fils perdent 50% de leur module est:

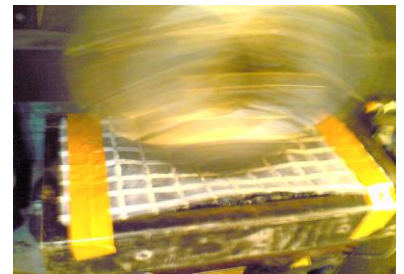
	Nombre de cycles	
	1% de déformation	1,5% de déformation
Cidex 50 SB	150 000	3 600
Grille A	2 500	6

**Conclusion :** ces résultats montrent nettement l'importante résistance à la fatigue de Cidex et donc du concept unique utilisé pour le fabriquer.

Nous pouvons constater que certaines grilles de mêmes résistances mécaniques ultimes de 50 KN/m ont une résistance à la fatigue **60 fois inférieure** que celle de Cidex 50 SB à 1% de déformation, jusqu'à **600 fois inférieure** à 1.5% d'allongement pour les fils sens transversaux.

**Endommagement à la mise en œuvre - Essais de circulation sur la grille avec l'orniéreur LCPC**  
RGRA 949 d'oct. 2017

Chargement à 6 tonnes. Grille fixée avec un adhésif.  
Essais de traction après 500 passages :  
Résistances mécaniques résiduelles de **80 à 96%** en fonction des Cidex.  
(Certaines grilles en perdent jusqu'à 95% de leurs résistances mécaniques)  
Module d'élasticité résiduel sécant de plus de **97%**.



**Endommagement à la mise en œuvre - Essais de compactage**  
RGRA 949 d'oct. 2017



1 : Essais de compactage in situ.

Cet essai est particulièrement agressif du fait des plaques d'aluminium appliquées sur environ 50% de la surface. Ces zones protégées permettent de récupérer les échantillons avec des parties non salies pour permettre de pincer les fils de la grille dans le mors du dynamomètre sans les détériorer par la pression exercée. Ces plaques d'aluminium qui n'ont pas reçues de couche d'accrochage ont certainement amplifié les mouvements des granulats lors du compactage. Cet essai permet toutefois de comparer les produits.

**2 : Essais de compactage en laboratoire.** Un autre essai de simulation du compactage a été réalisé suivant une procédure mise en place par un groupe de travail ad hoc du CEN TC 189, qui à ce jour ne sera pas normalisé faute d'avoir trouvé un consensus. Il consiste à remplacer le bitume de l'enrobé par une paraffine de même viscosité à la température de compactage. Il est ainsi facile de retirer la grille sans qu'elle ne soit salie par le bitume et des parties fines d'agrégats. Il n'est donc pas utilisé de couche d'accrochage ce qui est là aussi un élément pénalisant car l'enrobé a tendance à plus glisser sur son support et donc de plus agresser la grille. Là aussi cet essai permet de comparer les produits. Dans les deux essais il est mesuré les résistances mécaniques résiduelles ainsi que les modules sécants résiduels. Les valeurs diffèrent en fonction des résines employées.

	Résistances mécaniques résiduelles	Modules d'élasticité résiduels
Essais 1	> 45% à > 55%	> 80%
Essais 2	64 à 78%	91 à 97%

D'après deux études indépendantes publiées dans RGRA 944 et dans le Geosynthetic journal 2014 « Damage evaluation during installation... », Santanders University, des grilles perdent jusqu'à 100% de leur résistance mécanique lors de la mise en œuvre.

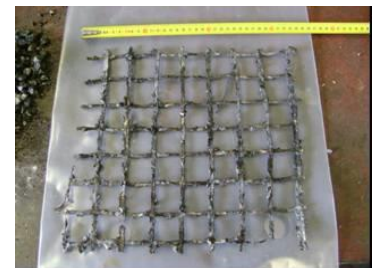
### Endommagement du fait du trafic lourd à long terme

Une autre question importante par rapport aux grands nombres de cycles et le comportement à long terme est la capacité de la grille de résister au poinçonnement et au cisaillement du fait du trafic.

Etat de la grille à la fin de l'essai de fatigue suivant EN 12697-24, après lavage au solvant, visuellement elle est intacte.



Un essai réalisé au manège de fatigue de Nantes avec Ifsttar ainsi que des réalisations de plus de 15ans d'usage montrent que les Cidex sont peu détériorés et peuvent donc apporter les performances de renforcement escomptés.



Etat de Cidex appliqué sur un support raboté, sous un BBTM. Prélèvement de Cidex après 3,3 millions de passages, à la fin de l'étude page 12.

« L'examen de la géogrille a montré qu'elle était en bon état, sans rupture de brins, après compactage sur un support raboté » : RGRA janvier 2011

Deux approches ont été mises en place afin de valider cette technique de renforcement : une phase laboratoire afin d'obtenir une bonne estimation de ce que peut apporter un renfort, et surtout une approche pragmatique de terrain, avec des chantiers suivis de très près.

## I - La validation des renforts en laboratoire

Nous pouvons citer :

- le passage de la grille au « Manège de Fatigue de Nantes » en 1999 par un grand groupe français qui permet de valider après quelques semaines le comportement de la structure dite souple, simulant plusieurs années de trafic; puis en 2004 et 2008, dont certains résultats sont remis ci-après.

- l'essai de « Flexion Dynamique 4 Points » à NPC (Netherlands Pavement Consultant) en Hollande, qui permet de comparer des enrobés armés avec des témoins sans armatures, avec une durée de vie multipliée par un facteur de 10;
- l'essai de « Fissuration thermique » au Centre de Recherches Routières en Belgique, simulant le retrait thermique d'une chaussée en béton, et qui classe les fibres de verre comme les plus performantes;
- une étude à l'Université de Nottingham en Angleterre qui met en valeur la distribution des contraintes dans le renfort et l'importance de l'ouverture de maille et du collage;
- l'essai de « Retrait / Flexion » du Laboratoire Régional des Ponts et Chaussée de Autun qui classe les grilles de la gamme de 10 KN/m, 50 KN/m et 100 KN/m comme très efficaces, de 10% à 50% meilleures que des procédés de bonne réputation.

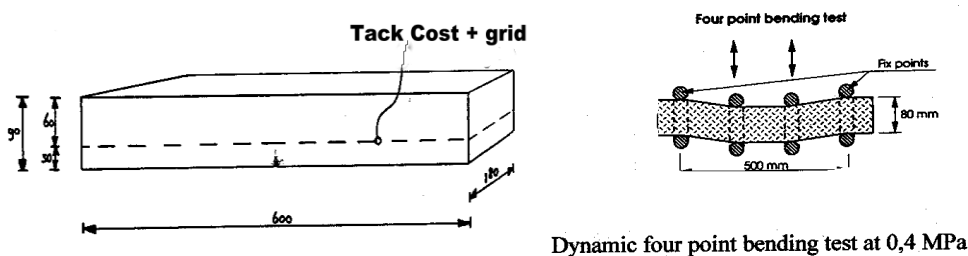
Un certain nombre de résultats ont été publiés lors du congrès international RILEM sur le traitement de fissures à Liège en 1993, à Maastricht en 1996, sur la Revue Générale des Routes de septembre 1993 à fin 2017...

Il est intéressant notamment de suivre les réalisations des chantiers publiés à RILEM 1996, après 20 / 25 ans de services, les cinq chaussées sont toujours en usage fin 2017!

Nous reprenons les principaux essais :

### I – 1 - Essai avec la machine de flexion dynamique 4 points de NPC

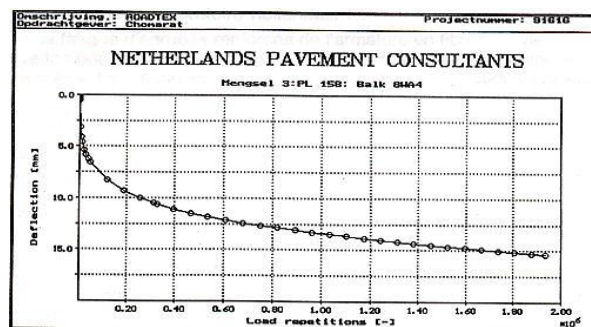
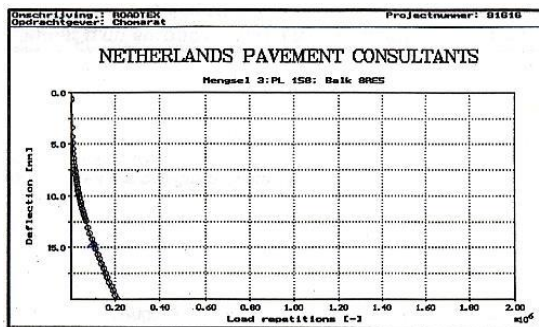
Principe : des plaques de 600 mm de long et 180 mm de large sont constituées. Sur une première épaisseur d'enrobé de 30 mm est appliquée la couche d'accrochage, puis la grille de fibre de verre pour les éprouvettes renforcées, et ensuite 60 mm d'enrobé. Les deux points d'appuis sont séparés de 500 mm et les deux points de flexion espacés de 167 mm. Afin de simuler la réalité d'une chaussée, les charges constantes n'ont été appliquées que dans un sens, d'une position neutre à une position de déflexion. L'essai est réalisé dans une enceinte climatique.



Dans un premier temps il a été enregistré les modules de rigidités en début d'essai avec des éprouvettes renforcées et des éprouvettes non renforcées à partir d'une charge de 400N. Nous avons pu constater un plus haut module pour les éprouvettes renforcées (cf. RILEM Liège 1993), mais cette information n'est pas toujours confirmée sur chantier. Elle n'est donc pas exploitée.

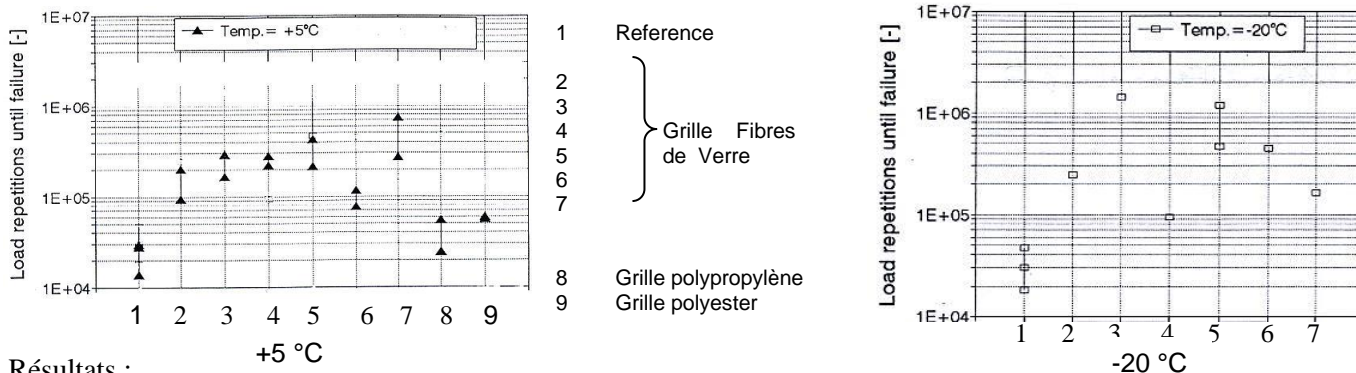
Dans un deuxième temps, il a été suivi l'évolution des déflexions et de la déformation permanente. L'essai a été réalisé à 15°C, à une fréquence de 30 Hz. D'autres essais ultérieurs à 10 Hz ont montré le même type de résultats. Les plaques témoins ont montré une durée de vie théorique de 100 000 cycles de charge, pour une déformation permanente de 15 mm, alors que la durée de vie des plaques renforcées a été de 1,8 millions de cycles pour la même déformation permanente. Soit une augmentation de 18 fois la durée de vie (uniquement en flexion). Ceci montre la forte amélioration de la structure en enrobé à supporter des charges répétées après plus de 1 million de cycles. (cf. RILEM Liège 1993)

A partir de ces éléments il a pu être estimé l'apport structurel, dont vous trouverez les conclusions dans les cas de chantiers détaillés plus loin.



Dans un troisième temps, il a été étudié le temps qu'il fallait à une fissure pour remonter à la surface des plaques. Notre souci était d'optimiser la matière première, et la méthode de production du renfort. Pour cet essai, il a été pré-fissuré les plaques sur 25 mm, soit 5 mm en dessous de la grille. L'essai est réalisé à une vitesse de 30 Hz à + 5°C avec une charge de 4500 N. Il a été comparé les témoins avec différentes grilles (cf. RILEM, Maastricht 1996).

Les schémas ci-après montrent un type de grille testé par colonne, et le nombre de charges répétées pour que la fissure arrive en haut des éprouvettes. Les résultats sont donnés en échelle logarithmique.



Résultats :

- A + 5°C, la fissure remonte en moyenne au bout de 20 000 cycles pour les témoins, au bout de 260 000 cycles pour l'ensemble des grilles en fibre de verre, 40 à 55 cycles pour les grilles en synthétiques. Les grilles utilisées avaient le même niveau de résistance mécanique et le même niveau de prix de revient.

- Nous avons ensuite renouvelé l'essai à - 20°C avec une charge de 8500 N, pour valider les éléments importants constituant la grille. Les témoins fissurent au bout de 33 000 cycles en moyenne. Et nous pouvons maintenant constater une grande dispersion de résultats avec des grilles qui ont des caractéristiques proches les unes des autres :

Les grilles des colonnes 2,3,4,5,6,8 et 9 ont les mêmes résistances mécaniques à la rupture de 50 KN/m.

Référence : 20 000 cycles pour que la fissure remonte

Grilles fibre de verre 50 KN/m : 90 000 cycles

Cidex 50 KN/m : > 200 000 cycles

**Ce n'est donc pas la résistance mécanique qui apporte la performance, mais la conception de la grille.**

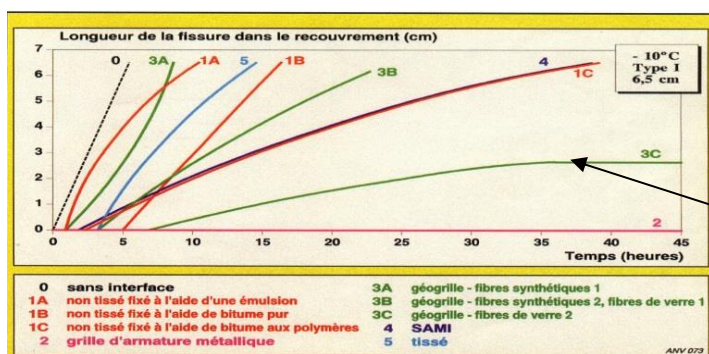
Les éléments les plus sélectifs sont :

**une grille en fibre de verre - une ouverture de maille adaptée à la granulométrie - une enduction spécifique** afin de protéger correctement la fibre des agressions mécaniques, d'apporter le bon module à la grille, d'avoir de bonnes résistances à la fatigue, d'avoir une bonne adhérence aux bitumes- **des résistances mécaniques en fonction du problème à traiter - un fil tendu.**

## I – 2 - Essai de fissuration thermique au Centre de Recherches Routières en Belgique.

Bulletin CRR 3/1995 publié par le professeur L. Francken

« Le CRR a mis au point un appareil d'essai pour évaluer l'efficacité des interfaces anti-fissures, notamment en cas d'application sur des dalles en béton soumises à la dilatation et au retrait thermique. La figure ci-dessous présente l'évolution d'une fissure dans le recouvrement bitumineux lors d'essais réalisés sur différents systèmes d'interface ». Cet essai est un essai de traction semi-statique à -10°C simulant le mode 1 des fissurations.



Cidex avec 70 KN/m correspond à la courbe 3C.

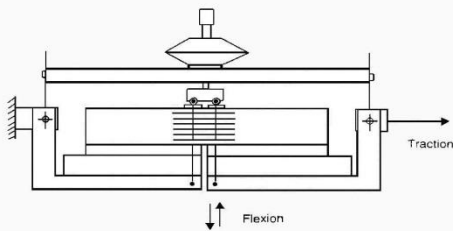


### I - 3 - Essai de « retrait/flexion » du Laboratoire Régional des Ponts et Chaussée de Autun.

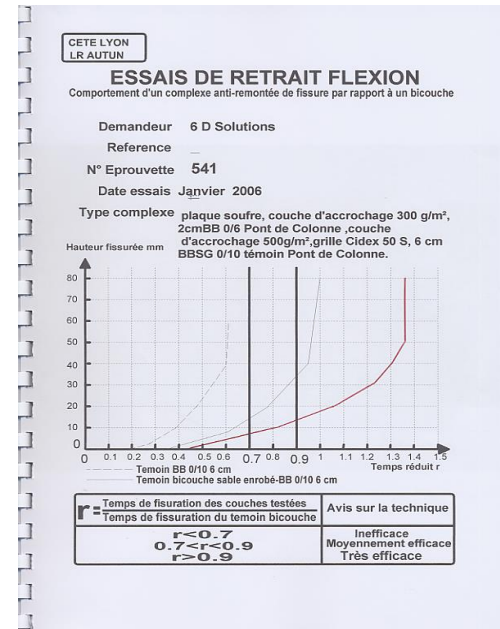
« Cet essai consiste à suivre la remontée d'une fissure au travers d'un complexe constitué d'un système destiné à retarder la réapparition des fissures en surface et d'une couche de roulement » (témoins BB 0/10 bitume 60/70 ou formule propre à l'entreprise). Chaque éprouvette (560 x 110 x e mm) ainsi constituée est soumise simultanément à deux sollicitations à une température de 5 °C. Une traction longitudinale continue lente, 0,6 mm/heure, simulant le retrait thermique. L'ouverture maximum de la fissure à la fin de l'essai est de 7,3 mm. Une flexion verticale cyclique, de fréquence 1 Hz et de flèche 0,2 mm, simulant le trafic. La remontée de fissure dans l'éprouvette est suivie à l'aide de capteurs latéraux. Le complexe étudié est comparé à deux témoins par l'intermédiaire du temps réduit de remontée de fissure. ( $r$  = temps de fissuration des couches testées / temps de fissuration du témoin bicouche)

Témoins : - 6 cm BB 0/10 au bitume pur 60/70, temps réduit  $r = 0,6$   
 - 2 cm sable à 10 % bitume 80/100 + 6 cm BB 0/10 bitume pur 60/70, temps réduit  $r = 1$ . L'expérience française sur route a prouvé l'efficacité de ce procédé.

La machine de « retrait/flexion »



#### Résultat avec Cidex 50SB



Les éprouvettes testées étaient constituées de 2 cm d'enrobé, de Cidex 50SB imprégné de 0,5 kg/m² de bitume pur 180/220 et de 6 cm d'enrobé.

Résultat : les éprouvettes testées avec Cidex ont un temps relatif de remontée de fissure de  $r = 1,35$ .

« Le système 2cm d'enrobé + Cidex 50 est considéré comme très efficace. »

### I – 4 – Essai de fatigue en flexion dynamique constante 4 points en compression

Source : CILA Rio de Janeiro 2011

#### 1 – Les éprouvettes.

Ces essais ont été réalisés au laboratoire Epsilon Ingénierie France. L'objectif est l'évaluation, par des essais de laboratoire, de l'apport des géogrilles dans les renforcements des chaussées en termes de fatigue.

Les détails ont été publiés à Cila Rio de Janeiro 2011 et Rilem Delft 2012. Les éprouvettes confectionnées sont :

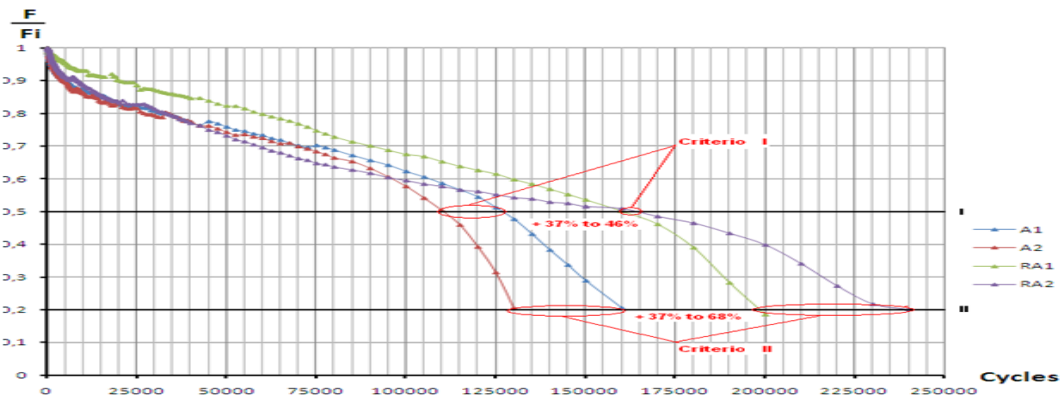
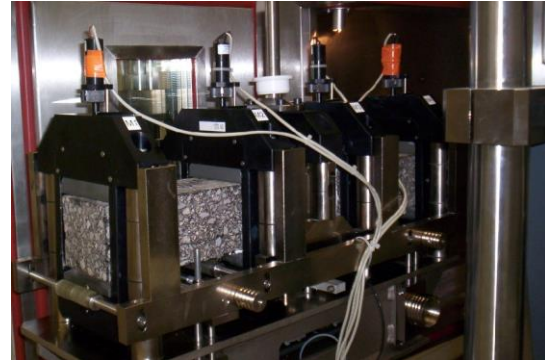
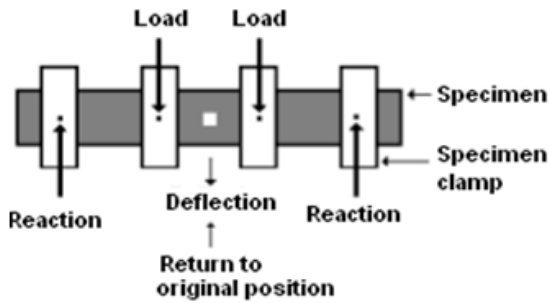
- T1 et T2 : éprouvettes témoins sans renforcement, 30mm et 60 mm d'enrobé, soit un total de 90 mm d'épaisseur.
- R1 et R2 : éprouvettes de même épaisseur renforcées avec Cidex 100SB.

#### 2 – Essais de fatigue en flexion unilatérale quatre points sur éprouvettes

Quatre éprouvettes sont testées: T1, T2, R1 et R2. L'essai de fatigue en flexion quatre points est réalisé avec un niveau de déformation de 200 µm/m et à une température de 10°C (dans une enceinte thermique à + ou - 0,2°C). Pendant l'essai de fatigue, la poutre subit une flexion en compression de manière sinusoïdale. La distance entre les brides est de 200 mm. Soit au total 600mm de long plus le débord de 10 mm de chaque côté, soit la longueur de plaque de 620 mm. L'enrobé est un BBSG algérien, les granulats venant de la carrière de Djouab ( Médéa).

La fréquence de sollicitation est de 25Hz et l'amplitude de déplacement initial imposée est de 0,341 mm. La force, le déplacement et le retard de phase sont enregistrés régulièrement pendant toute la durée de l'essai. Le critère de rupture prévu par la norme considère que la rupture conventionnelle du mélange bitumineux est celle où le module de rigidité perd la moitié de sa valeur initiale (mesurée après 100 cycles de chargements). Dans un essai piloté en mode flèche constante, cela se traduit par une diminution de la moitié de la force initiale. Comme actuellement, il n'y a pas de spécifications normalisées concernant la fatigue des matériaux composites, un

deuxième critère a été considéré. Ce critère associe la durée de vie en fatigue à une diminution de 80% du module de rigidité initiale.



### 3 - Conclusion

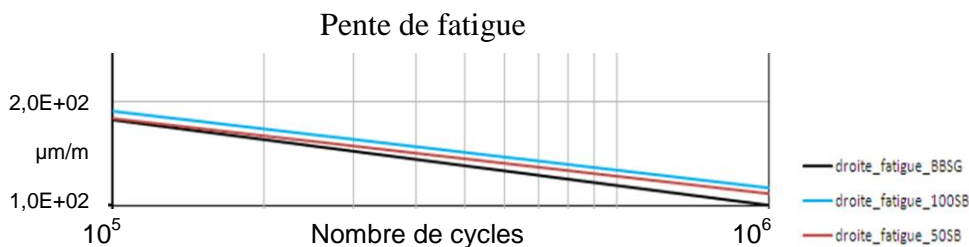
On constate une nette différence entre les courbes représentant les éprouvettes témoins et celles renforcées. Le gain en durée de vie pour les éprouvettes renforcées est évalué, en moyenne, à **52%**.

Le gain moyen en durée de vie apporté par la grille Cidex 100SB est d'environ 41% par rapport à la durée de vie des éprouvettes témoins pour le critère 1, et de **45% pour le critère 2**.

## I – 5 – Essai de fatigue en flexion dynamique constante 4 points alternée traction / compression - source : thèse I. Arseni Strasbourg 2013

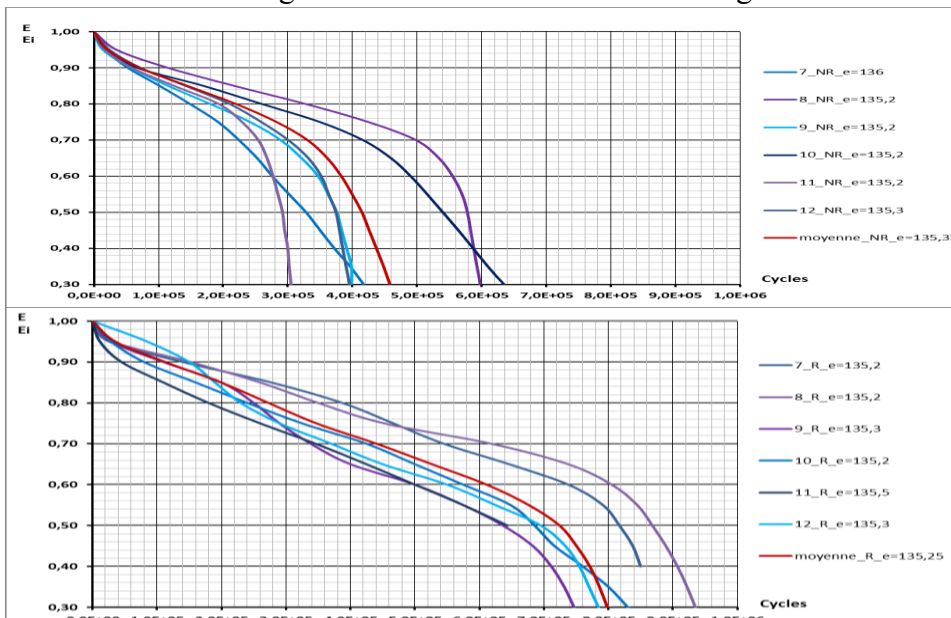
Les essais sont de même type qu'en point 4, sauf qu'ils sont réalisés en flexions alternées positives et négatives afin de suivre la norme européenne sur les essais de fatigue des enrobés EN 12697-24 annexe D. Pour ce faire les éprouvettes sont confectionnées en trois couches de 25mm – grille – 50 mm – grille – 25 mm, avec une couche d'accrochage adaptée à chaque produit. Les essais sont réalisés à température et vitesse constantes de 10°C et 25hz à différents niveaux de déformations afin de pourvoir en déterminer la pente de fatigue. 38 éprouvettes sont testées.

La taille des éprouvettes est de 630mm x 100mm x 100mm<sup>3</sup>. Grilles testées : Cidex 50 et Cidex 100 SB.



$\epsilon_i$ [ $\mu\text{m}/\text{m}$ ]	Durées de vie en fatigue expérimentales			Durées de vie en fatigue par la droite de fatigue			Nombre des cycles à la rupture par le modèle Castro-Sanchez			
	$N_{f,R}$ [cycles]	$N_{f,NR}$ [cycles]	$\frac{N_{f,R}}{N_{f,NR}}$	$N_{f,R}$ [cycles]	$N_{f,NR}$ [cycles]	$\frac{N_{f,R}}{N_{f,NR}}$	$N_{r,R}$ [cycles]	$N_{r,NR}$ [cycles]	$\frac{N_{r,R}}{N_{r,NR}}$	
<b>150</b>	354 240	257 873	1,37	374 942	242 903	1,54	670 824	336 521	1,99	
<b>135</b>	724 416	414 752	1,75	698 342	420 700	1,66	1 241 000	582 844	2,13	
<b>115</b>	1435 665	≈ 1 034 805	1,39	1 779 408	1000 000	1,78	3 184 454	1 380 662	2,30	
Rapport moyen $N_f$ expérimental			<b>1,50</b>	Rapport moyen $N_f$ prédit avec la dr.fat			<b>1,66</b>	Rapport moyen $N_f$ prédit avec C-Sanchez		2,14

Courbes d'endommagement de l'enrobé du fait de la fatigue à déformation constante de 135 $\mu\text{def}$ .



Témoin

Renforcé de Cidex 100SB

Comparaison Cidex 50SB, Cidex 100SB et témoin

Type de structure :	Epsilon 6	Augmentation de la durée de vie à partir des pentes de fatigue
BBSG classe 3		
Reference	115 $\mu\text{def}$	/
Renforcé Cidex 50 SB	<b>121 <math>\mu\text{def}</math></b>	<b>&gt; 30%</b>
Renforcé Cidex 100 SB	<b>127 <math>\mu\text{def}</math></b>	<b>&gt; 60%</b>

Conclusion

A un million de chargements ou par rapport à la pente de fatigue, les deux grilles augmentent la durée de vie de la structure en enrobe respectivement de plus de 30% pour Cidex50SB et de plus de 60% pour Cidex 100SB. Il semble aussi qu'à très long terme cet essai montre que la différence entre Cidex 50SB et Cidex 100 SB est peu importante.

## MANEGE DE FATIGUE IFSTTAR DE NANTES

Une expérimentation a été mise en place en 2004 par le projet européen FORMAT sur le traitement de fissures par grille. 6D Solutions a proposé la grille Cidex 3570 pour cet essai.

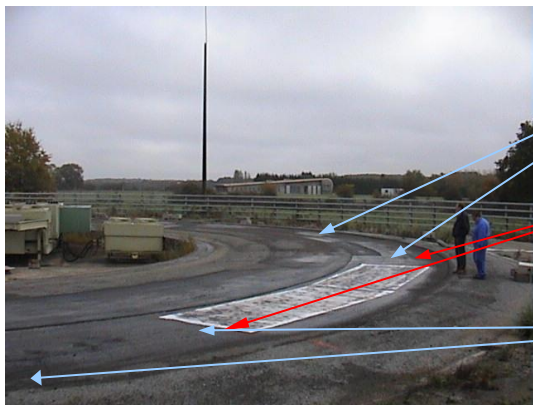
Trois zones de 10 mètres linéaires ont été définies

A - enrobé de 4 cm d'épaisseur      B - grille Cidex et BBTM de 2,5 cm      C - BBTM de 2,5 cm

Le projet devait informer du comportement après 1 million de cycles de charge de 6,5 tonnes ( 13 T / essieu). Travaux en janvier 2004, circulation jusqu'en avril 2004. Il s'est avéré qu'à cette étape, des fissures fines ont été notées sur l'ensemble des trois sections.

Des prélèvements ont montré un collage médiocre sur les trois sections.

Le projet européen s'est donc arrêté à cette étape, en tirant comme conclusion qu'il était préjudiciable de mettre des couches de roulement fines en virage sous fort trafic sur un support raboté ( cf. publication LCPC sur la Revue Générale de Routes de juin et juillet 2006).



Micro-fissures peintes en vert pour visualisation à 1 million de charges

Hors projet, la circulation s'est poursuivie jusqu'à 3.3 millions de cycles.

**Aspect : les zones A et C sans grille sont très fissurées avec de larges ouvertures.**

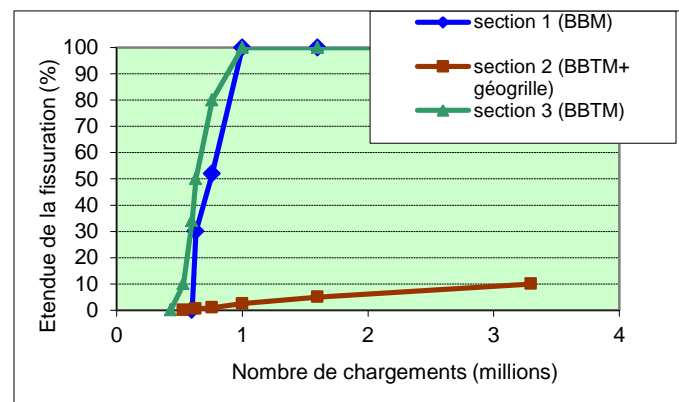
**La zone B avec Cidex ne présente pas de fissures.**



Photos prises par le LCPC de Nantes

Evolution de l'étendue de fissuration après 3,3 million de chargements.

Source Revue Générale des Routes janvier 2011



## II - Approche chantier

Les grilles étant textiles et n'ayant aucun pouvoir intrinsèque de collage, le principe de ces techniques repose sur la **qualité** de la couche d'accrochage et de sa **quantité appliquée**.

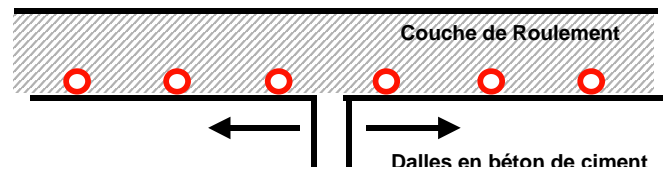
### II - 1 - Le retrait thermique des chaussées rigides ou semi-rigides



Les fissures sont assez rectilignes et très orientées transversalement à la chaussée et / ou longitudinalement. Typiquement ces fissures se retrouvent dans les enrobés appliqués sur dalles en béton ou sur graves hydrauliques.

#### Application type Rotaflex 816 SL

Les problèmes de retrait thermique des chaussées rigides peuvent être résolus en créant une interface bitumineuse entre le support fissuré et le nouvel enrobé. Ce sont les chaussées où l'on peut utiliser les S.A.M.I, les non-tissés, ou mieux les non-tissés renforcés de grilles en fibre de verre, imprégnés in situ par du bitume.



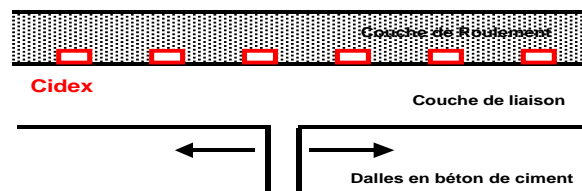
Les contraintes de la fissure sont diffusées dans la couche bitumineuse. Les fissures peuvent mettre alors 2 ou 3 fois plus de temps à réapparaître à la surface. De plus, cette fine membrane bitumineuse dans le cas des textiles améliore l'étanchéité de la chaussée. La possibilité d'utiliser un composite non-tissé renforcé d'une grille de fibre de verre permet d'appliquer éventuellement une quantité plus importante de bitume, environ 1 mm d'épaisseur. Les contraintes sont encore plus diffusées et donc les fissures plus retardées, sans pour autant créer de problèmes d'indépendance de la couche de roulement vis à vis du support. Nous pouvons faire référence à l'essai de « retrait / flexion » du LRPC d'Autun avec la grille Rotaflex 816 SL de 10 KN/m de résistances mécaniques et 800 g / m<sup>2</sup> de bitume.

Ces techniques ont un excellent rapport qualité/prix. Mais bien que le procédé Rotaflex soit le plus facile à appliquer, ils ont l'inconvénient d'être difficiles à mettre en œuvre à l'émulsion, surtout sous fortes chaleurs. Le grade du bitume constituant l'émulsion doit être adapté en conséquence.

#### Application type Cidex 50 SB – Cidex 100SB – Rotaflex 830 – Rotalex 838

Le principe du renforcement est aussi beaucoup utilisé. Nous pouvons faire référence à l'essai de « fissuration thermique » du CRR belge. Mais si les écarts thermiques sont importants, il est conseillé de séparer la partie rigide de la chaussée et le renfort par une certaine épaisseur de matériau bitumineux. Il sera par exemple mis en œuvre un sable bitume, un SAMI, une couche de liaison, ou une grave bitume sous la grille.

Entretien type



Pour ce domaine d'application nous avons la possibilité d'utiliser trois grilles avec des résistances mécaniques isotropes : Cidex 50 SB et Rotaflex 830 SL (50 KN/m) et Cidex 100 SB (100 KN/m).

Cidex est plus aisé à mettre en œuvre que Rotaflex, notamment sous fortes chaleurs ou sur supports uniformes. Rotaflex est plus aisé à mettre en œuvre que Cidex sur support raboté.

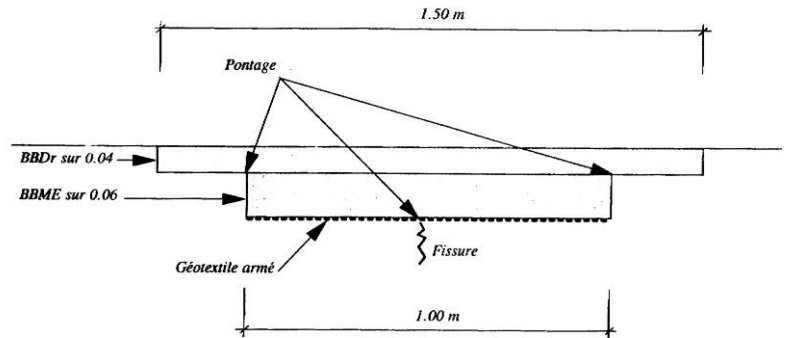
Nous tenons à la disposition des utilisateurs une liste de références, ainsi que des certificats de capacité.

Important : Lorsque la chaussée présente des mouvements de “battements de dalles”, l’amplitude de ces mouvements doit être considérée afin de vérifier quel matériau est le plus adapté. Ce sujet est très difficile à résoudre. Nous considérons que les amplitudes d’une dalle à l’autre supérieures à 0,3 mm ne peuvent plus être traitées par des moyens conventionnels (cf. essai autoroute A6 SAPRR de 1994).

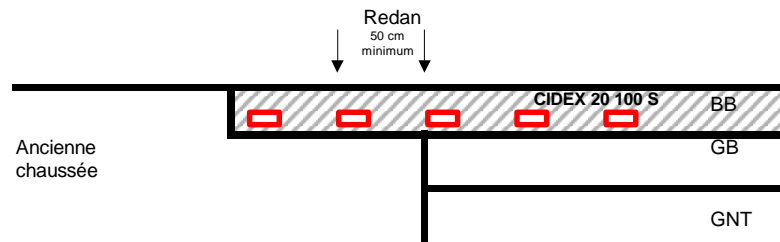
## II - 2 - Fissuration longitudinale d’élargissement de chaussée ou de tranchée

Les fissures sont longitudinales et très rectilignes.

En entretien :



En construction :



Le principe est de contraindre les deux corps de structure à rester l’un contre l’autre. Il est connu dans la profession que le collage vertical des enrobés est souvent un point faible.

Si les mouvements différentiels sont trop importants, notamment les mouvements semi-statiques verticaux de tassement, il n’est pas possible de traiter ce problème.

La grille la plus employée est le Cidex 20 100SB, avec 100 KN/m de résistances mécaniques en sens transversal.

Nous avons plusieurs centaines de km de références en Europe. La largeur utilisée est soit 1m, soit 0,65m. Il est préférable de ne pas utiliser des largeurs plus faibles, car il est nécessaire que la grille soit ancrée de chaque côté du joint. Or l’étude à l’université de Nottingham a montré que le maximum des contraintes transmises par la grille peut être à 10 ou 15 cm de la fissure. Il faut donc la même distance au-delà de ce maximum de contraintes, soit 30 cm. Et ce de chaque côté du joint. Le risque d’une grille plus étroite est la diffusion de la fissure à chaque extrémité.

Ces mouvements sont semi-statiques, mais les contraintes assez fortes. Il faut donc une épaisseur d’enrobé suffisante, supérieure à 50 ou 60 mm, voire plus.

Nous tenons à disposition une liste de références.

## II - 3 - Gonflement de chaussées

Fissures orientées dans le sens longitudinal, avec un faïençage induit. Nous retrouvons ce type de fissurations dans les zones polaires du fait du gel, dans les zones avec un sol sensible à l'eau du type argileux ou bien du fait de dessiccation. Les fissures peuvent être très larges jusqu'à 10 cm et très profondes.



Fissuration en long



Faïençage induit



Une mise oeuvre

Trois méthodes pour traiter ce type de problème, en fonction de la sévérité des mouvements.

### II - 3 - 1 Mouvements suffisamment faibles, ouvertures des fissures réduites.

Utilisation de la grille Cidex 20 100 S, qui obtient 100 KN/m de résistances mécaniques en sens transversal. La grille est déroulée classiquement dans le sens de la chaussée, sans recouvrement des lés au niveau de la fissure.

Si la fissuration se transforme rapidement en faïençage, utilisation de Cidex 100 SB.

### II - 3 - 2 Traction importante, ouverture franche telle que montrée sur la photo ci-dessus.

Utilisation de la grille Cidex 150 20 S, avec 150 KN/m de résistances mécaniques dans le sens de la longueur. La grille est déroulée transversalement à la route afin qu'il n'y ait pas de zones de recouvrement. Attention tout de même aux limites d'emploi. Il arrive que la grille rompe quand les contraintes sont trop importantes. De plus du fait des contraintes et du lestage nécessaire pour que la grille fonctionne, il faut une épaisseur d'enrobé assez importante au dessus de la grille.

### II - 3 - 3 Fissuration très prononcée de plusieurs cm, très profonde.

Principe de la structure sandwich : sur le support fissuré, mettre successivement : enrobé de 30 à 70 mm, grille, enrobé de 30 à 70 mm, grille, couche de roulement. Utilisation de Cidex 100 SB.



### Cas d'affaissement et entretien en structure sandwich

Fissuration > 100 mm Application de Rotaflex 838, mêmes caractéristiques que Cidex 100SB (100 KN / m dans les 2 sens) avec 2 grilles séparées par une grave bitume.

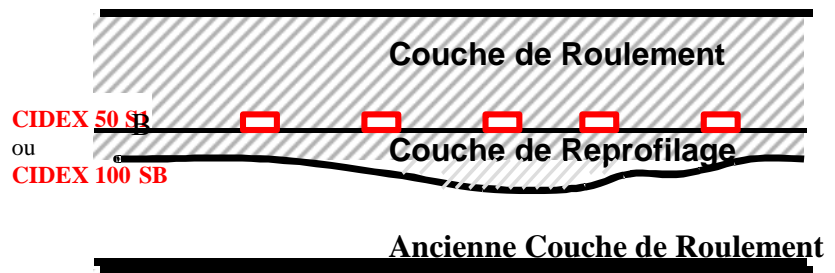
Chantier de 1994 : en 2010 pas de fissures, quelques déformations.

## II - 4 - Chaussées toutes en enrobé, dites souples

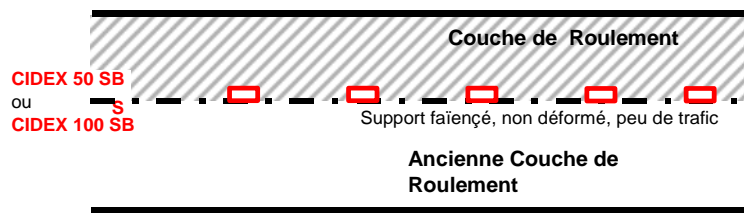
### Problème de fissures faïencées, affaissement du fait de la faiblesse du sol support



Faièncage, affaissement



Faièncage



Ce sont les fissures du fait des charges répétées du trafic lourd. Plus le trafic est important et plus les déflexions sont importantes, avec un rayon de courbure faible, plus la grille en fibre de verre améliore le comportement de la structure (avec conjointement une augmentation des épaisseurs d'enrobé). La grille doit être appliquée sous la fibre de neutre, donc le plus bas possible dans la structure. Mais pour que le principe du renfort fonctionne, il est impératif d'avoir une couche d'enrobé sous la grille.

Les grilles utilisées sont le Cidex 50SB avec 50 KN/m de résistances mécanique dans les deux sens et 20 KN/m à 1% d'allongement et plus récemment le Cidex 100SB. L'amélioration du comportement d'une structure en enrobé à supporter des charges répétées après 1 million de cycles est de l'ordre de 1,3 à 1,5.

D'une manière simple, nos clients qui emploient fréquemment cette grille considèrent que le gain en épaisseur d'enrobé est de l'ordre de 30% pour une durée de vie identique.

Nous allons présenter maintenant plusieurs chantiers où nous avons du recul, montrant les gains d'épaisseurs que les utilisateurs ont pu obtenir.



## Port la Nouvelle – 1993

Photo prise en 1994 : début des travaux

### La route

- Fondations: ballaste hétérogène, scories, charbon, déchets, pierres cassées 0/20.
- Structure hydrocarbonée : 6 à 10 cm
- déformations, fissures, nids de poule, infiltration d'eau.
- Trafic de 800 poids lourds / jour
- Déflexions : 173 / 100 mm, avec un retour à 40 / 100 mm



### Les travaux

Début oct. 1993 : du fait de la déviation prochaine de cette ville, une structure légère a été envisagée.

- Rabotage sur 6 cm
- Reprofilage 0/10 de 2 à 5 cm
- Rotaflex (grille Cidex avec un feutre)
- BB de 4 cm



### Suivi

#### Aspect 2015

Depuis 1996 le trafic est de 150 PL/j  
En 2015, 22 ans plus tard, pas de fissures.

\* Déflexions caractéristiques à la Poutre de Benkelmann

## Narbonne - Avenue Gustave Eiffel – 1994

### La route

- GB de 10cm - 10 ans
- Seuils conçus pour BB de 6cm
- Déflexions : 150/100mm (mai 1994)

Couche de roulement

Grille

Reprofilage

Ornières structurelles, grosses fissures faïencées.  
Trafic de 150 poids lourds/jour.

### Dimensionnement

D'après le catalogue des structures :  
Renforcement par BB de 14cm.

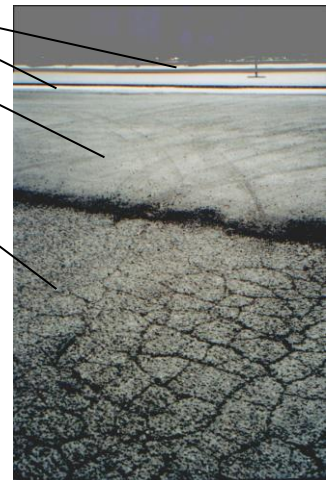
GB non revêtue avec faïencage

- Décaissement
- Blocage de l'accès à la ZI pendant 10 jours

### Les travaux

#### Fin mai 1994

- Rabotage des parties hautes des ornières
  - Reprofilage
  - Rotaflex (grille Cidex avec un feutre)
  - BB de 5cm.
- Travaux en 3 jours
  - Circulation alternée
  - Gain de 7 cm d'enrobé



### Aspect 2015

19 ans plus tard, pas de fissures,  
pas de déformations permanentes.



## RD 4 – Villesisclé – 1994

### La chaussée

Jusqu'en décembre 1993 : 150 PL/j  
Déflexions, oct. 1993 : **160/100<sup>ème</sup>** °  
- Janvier 1994 : le trafic est devenu 250 PL/j suite  
à l'ouverture de la sortie d'autoroute de Bram sur A61.  
Ornières structurales de 15cm, fissures ;  
Déflexions, oct. 94 : **250/100<sup>ème</sup>**



### Dimensionnement sans la grille

Renforcement ALIZE : GB+BB de 22cm.

### Les travaux avec la grille

Nov 1994

- Rabotage des crêtes d'ornières
- Reprofilage
- Rotaflex (grille Cidex avec un feutre)
- GB de 8cm + BB de 3 cm

→ Travail en circulation alternée

→ Epaisseur totale: 13 cm : Gain de 9 cm

→ Pas de coût de décaissement



### Etat actuel

2006 : pas de fissure, pas de déformations.

2007 : quelques fissures longitudinales, sans déformation. ECF appliqué en surface.

2012 : pas d'évolutions

2017 : 23 ans plus tard : un affaissement sur 50m. Le chantier réalisé dans les mêmes conditions en 1996 ne présente aucun défaut structurel



## RN1 MEDEA, aout 2009

Direction Berrouaghia

3 sections tests (largeur 7,50m)

30 ML Cidex 100 B

60 ML Cidex 50 SB

60 ML témoin 1

### Structure existante

BB 6cm – GB 14 cm – Tuf 13 cm

### Trafic

2050 PL/j (direction d'Alger, circulation PL la nuit)

### Déflexion Lacroix avril 2009, 20°C

rive: moyenne 150 100<sup>ème</sup>

axe: moyenne 250 100<sup>ème</sup>



### Travaux prévus pour durée de vie escomptée : Alizé

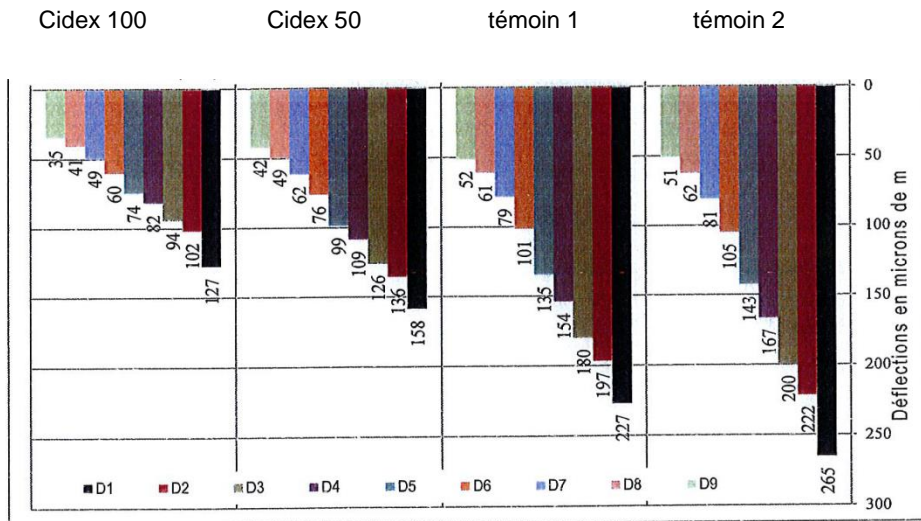
BB 6cm

1 an

**Mesures FWD**

mars 2010 – 7 mois après travaux : 19°C, surface 22°C  
 juillet 2010 – 11 mois après travaux : 41°C, surface 59°C

Résultats mars 2010



**Par rapport au témoin :**

Déflexions

Modules de surface

Hiver:	Cidex 50 SB	= - 30%	= + 47%
	Cidex 100 SB	= - 44 %	= + 87%
Été	Cidex 50 SB	= - 16%	= + 20%
	Cidex 100 SB	= - 33%	= + 58%

**Aspect visuel 3,5 ans après travaux**

Témoin

Déformation permanente (structurale): **10mm**

Fissuration de fatigue

**Cidex 100 SB et Cidex 50 S1**

**pas de déformation**

**pas de fissures**



### Qualités résumées de Cidex

- **Module de Yong de Cidex : 40 000MPa.**
- **Résistance à la fatigue des fils de la grille.**
- **Résistance à l'endommagement lors de la mise en œuvre (circulation + compactage)**
- **Ce n'est pas la résistance mécanique qui apporte la performance, mais la conception de la grille. Donc il n'y a aucun rapport entre résistance mécanique d'une grille et son pouvoir de renforcement et de lutte contre la fissuration.**
- **Résistance à la fatigue des structures en enrobé.**
- **Qualité de grille et adaptation en fonction du problème à traiter.**
- **Retour d'expérience de plus de 20 ans dans de nombreux pays.**

### III - Les produits – Leur mise en œuvre

- *Rotaflex*<sup>®</sup> est la grille de fibre de verre enduite associée avec 60/80 g/m<sup>2</sup> de fibres de polyester adaptée pour les applications aux liants anhydres et sur support raboté sous climat tempéré. Amélioration de l'étanchéité.
- *Cidex*<sup>®</sup> est la même grille associée avec un non-tissé plus fin inférieur à 20 g/m<sup>2</sup>. Elle est plus aisée à mettre en œuvre, notamment manuellement, sur support plan et sous fortes chaleurs.

Les Produits et leurs Applications : résumé

Qualité	Résistances sens long	Résistances sens large	Allongement à la rupture	Applications Chaussées types
Cidex 20100SB	<b>20</b> KN/m	<b>100</b> KN/m	< 4%	Gonflement / Elargissement / tranchées
Cidex 150 20 SB	<b>150</b> KN/m	<b>20</b> KN/m	< 4%	Gonflement
Cidex 50SB , 50R17 – Rotaflex 830	<b>50</b> KN/m	<b>50</b> KN/m	< 4%	rigides, semi-rigides / souple
Cidex 100SB, G100 – Rotaflex 838	<b>100</b> KN/m	<b>100</b> KN/m	< 4%	rigides, semi-rigides / gonflement / souple
Rotaflex 816 SL	<b>10</b> KN/m	<b>10</b> KN/m	< 4%	rigides, semi-rigides

#### Mise en œuvre :

**En résumé, le support doit être propre et exempt de toute impureté. Les fissures faisant plus de 3mm de large seront pontées avec du bitume, ou bien recouvertes d'un enrobé de re profilage. Valider la qualité et le dosage de la couche d'accrochage. Ne pas oublier les zones de recouvrement. Le respect du collage est essentiel au bon comportement à terme de la structure. Nous vous remercions de nous questionner pour le détail de la mise en œuvre.**

**Ne pas appliquer la grille sur des dalles avec battements, ou sur des routes en pente, à fort trafic et en zone de freinage. Si le rayon du virage, ou du giratoire est trop faible, cette technique n'est pas recommandée.**

#### Références

RGRA n°710 de septembre 1993	CILA, novembre 2011
RGRA n°713de décembre 1993	RILEM, Delft, 2012
RILEM, Liège, 1993	PhD, I Arseni, Strasbourg, Nov 2013
CRR, 1995	ISAP, Raleigh NC USA, Nov 2014
European Asphalt & Pavement Association. 2/95	RGRA n° 922, octobre 2014
RILEM, Maastricht, 1996	RGRA n° 923, novembre 2014
RGRA, septembre 1999	RGRA n° 944, mars 2017
RGRA n°890, janvier 2011	RGRA n° 949, octobre 2017
	PhD, L. Sagnol, Strasbourg, Déc. 2017

1. Répandage de l'émulsion  
A un dosage minimum  
indiqué sur la fiche  
technique



2. Déroulage de la grille  
Manuellement ou  
mécaniquement



Maroufler quand l'émulsion  
n'est pas rompue



Si nécessaire, Cidex est recouvert d'émulsion (Cidex 100 SB)

3. Recouvrement avec  
l'enrobé  
La grille doit être  
noircie par la couche  
d'accrochage



4. premières passes de  
compactage non  
dynamiques

