

Introduction

Partie I : béton bitumineux à grande résistance à la fatigue

- ✓ Contexte
- ✓ Problématique des fissures réfléchives
- ✓ Conception de la solution en BBGRF
- ✓ Exécution de la solution

Partie II : dopage des bitumes de raffinage à l'aide des bitumes naturels

- ✓ Contexte
- ✓ Problématique de l'hétérogénéité performancielle des bitumes
- ✓ Conception de la solution de dopage au bitume naturel
- ✓ Exécution de la solution

Conclusion

Introduction :

Elaboration d'une stratégie d'entretien adaptée à l'écosystème national.

Création de comités techniques pour mener une analyse critique de l'ensemble des solutions de renforcement des chaussées autoroutières.

Un comité d'experts d'ADM PROJET, du LPEE et de l'international a étudié et implémenté deux expériences innovantes :

- Enrobé bitumineux à grande résistance à la fatigue
- Dopage des liants de raffinerie à l'aide de bitumes naturels



L'efficacité et la performance du secteur autoroutier reposent essentiellement sur la pertinence de la politique d'entretien de son patrimoine notamment la chaussée

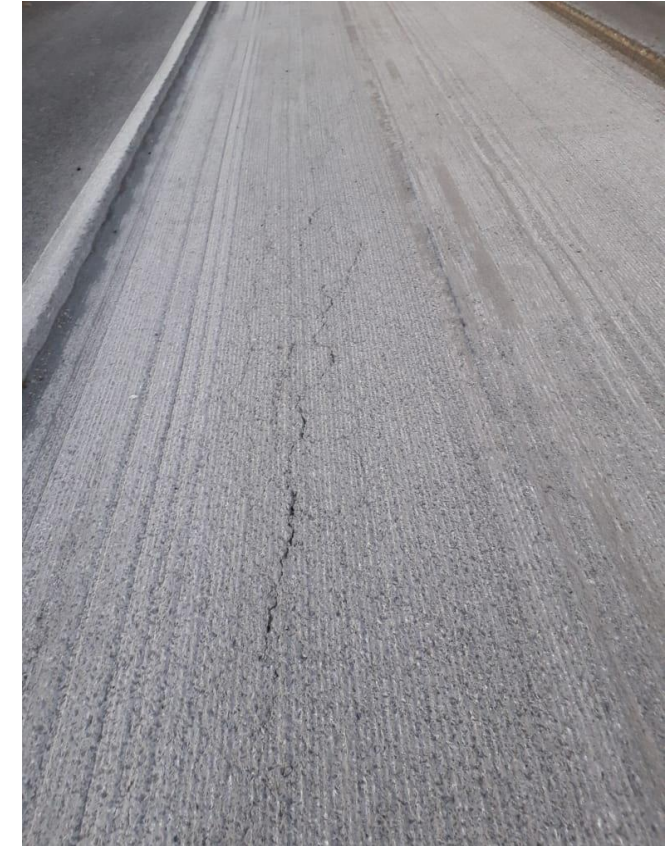
Dégradations de la couche de roulement de la section à renforcer



Contexte

Pour la majorité des cas étudiés, les dégradations observées au niveau de la couche de roulement sont la conséquence des **fissures de fatigue des couches inférieures** de la chaussée

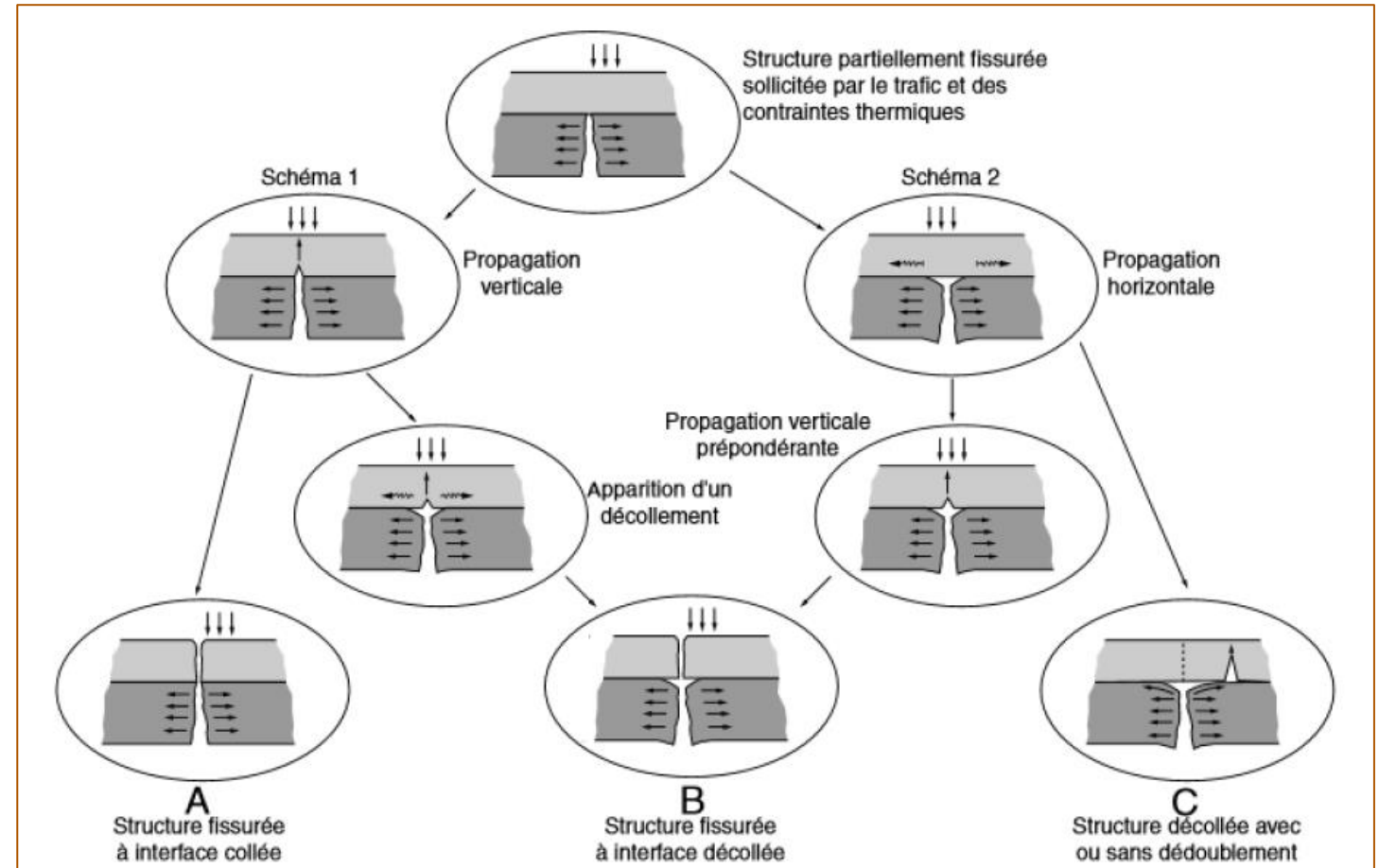
Les travaux de renforcement se font généralement sur des **supports fissurés**, qui ont atteint leurs cycle de vie utile



Etat du support après rabotage de l'épaisseur prévue par l'étude

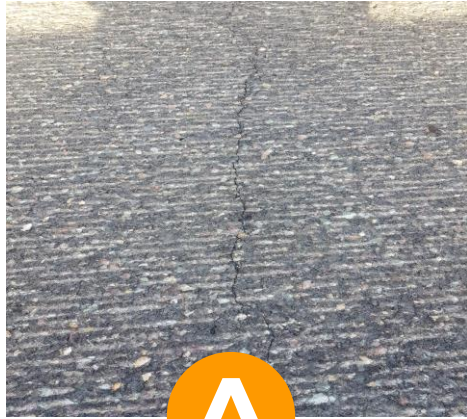
Fissures réfléchives :

- On parle de **fissures réfléchives** lorsque la fissuration au niveau de la nouvelle couche reflète la forme de celle existante au niveau du support sous-jacent ;
- Le mécanisme de la fissuration réfléchive comprend deux processus : **sollicitations du trafic** et **contraintes thermiques**



Principe de la remontée de fissures (CEREMA DL Autun – COTITA avr-16)

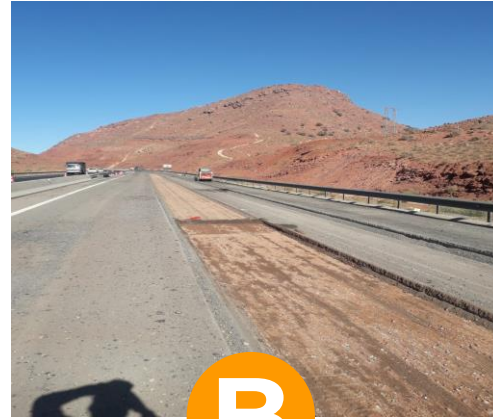
Procédés connus :



A

**Enrobés neufs
directement sur
support fissuré**

Réduction de la
durée de vie par la
remontée des
fissures



B

**Décaissement de
l'ensemble de la
chaussée**

Coût très élevé
Gêne aux usagers



C

**Membranes
bitumineuses et
géogrilles imprégnés**

Peut générer des
problèmes de collage
entre les couches



D

Sable enrobé

Difficultés de
fabrication et de mise
en œuvre
Aucun apport
structurel

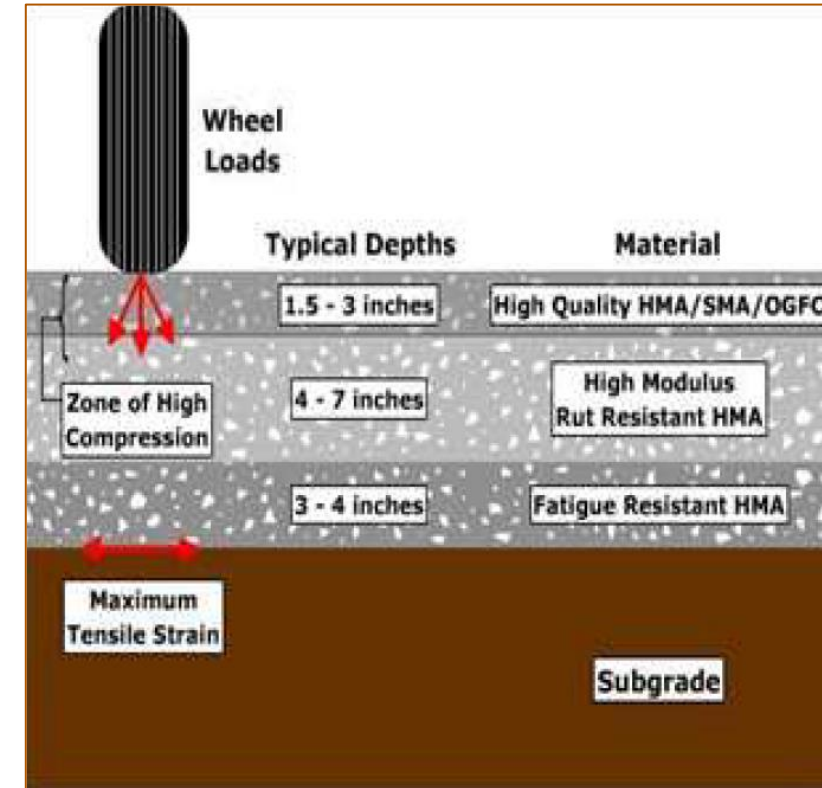


Comment améliorer la durabilité des nouvelles couches de renforcement appliquées sur un support fissuré ?

Procédé testé par ADM PROJET :

Procédé inspiré à la fois des techniques de sable enrobé et de chaussée à longue durée de vie :

- une faible granulométrie et un dosage élevé en bitume modifié ;
- une grande résistance à la fatigue ;
- une rigidité suffisante ;
- une tenue suffisante à l'orniérage



Principe de la chaussée à longue durée de vie (Newcomb et al. 2010)

Béton bitumineux à grande résistance à la fatigue

Liant

Le bitume retenu est un bitume 70/100 modifié aux élastomères

Caractéristique	Valeur mesurée
Point de ramollissement en °C	62.0
Pénétrabilité à 25°C (1/10 mm)	51
Retour élastique à 25°C (%)	80

Granulats

Valorisation des matériaux 0/4 et 4/10 prévus pour la fabrication des enrobés du projet (EME et BBME).

Par rapport à un sable enrobé (0/4 ou 0/6), l'utilisation du gravillon 4/10 permet de :

- ❑ Donner plus d'ossature à l'enrobé et ainsi d'améliorer sa **rigidité** et sa résistance à l'**orniérage**
- ❑ Donner plus de liberté au formulateur pour le choix et l'**ajustement de la courbe mélange** en fonction de la nature des granulats utilisés
- ❑ Augmenter l'**épaisseur moyenne** d'application pour éviter les difficultés de mise en œuvre des sables enrobés en couches minces ($\leq 2\text{cm}$).

Formule retenue

Essais		Résultats
Granulométrie du mélange minéral (70 % SC 0/4 + 30 % G4/10)	0.063 mm	9.9 %
	2 mm	48 %
	6.3 mm	92 %
	10 mm	99 %
PCG pour un dosage en bitume de 8% module de richesse de 4.66	10 girations	14.4 %
	60 girations	7.4 %
	80 girations	6.2 %
	100 girations	5.3 %
Profondeur d'ornièrè en % pour une dalle de 5cm d'épaisseur, à 60 °C	après 10000 cycles	7.68 %
	après 30000 cycles	10.31 %
Module complexe, à 15 °C et 10Hz Dosage en bitume de 8.0%		6 655 MPa
Essai de fatigue à 10°C et à 25 Hz Dosage en bitume de 8.0%		218 µdef.



Aspect de l'enrobé formulé

Spécifications retenues pour le chantier :



Aspect de l'enrobé

Produit	Caractéristique	Spécification
Bitume 70/100 modifié	TBA en °C	≥ 60
	Péné à 25°C (1/10 mm)	≤ 55
	RE à 25°C (%)	≥ 80
Enrobé 0/10 anti-remontée de fissures	Fabrication	Même Tolérance que l'EME par rapport à l'étude
	Compactage : Pourcentage des vides	95% des valeurs € [3; 9]



Aspect de l'enrobé

Fabrication de l'enrobé :

La fabrication de l'enrobé anti-remontée de fissures reste similaire à celle des enrobés courants et ne pose aucune contrainte particulière

Caractéristique	Température de mise en œuvre °C	Dosage en bitume	Module de richesse	Granulométrie après extraction			
				0.063	2	6.3	10
Moyenne étalée sur cinq mois	149	8.02	4.71	9.5	49	90	99
Spécifications par rapport à l'étude	≥140 °C	8,0 ± 0,25	--	[8,9 ; 10,9]	[45 ; 51]	[88 ; 96]	[95 ; 100]

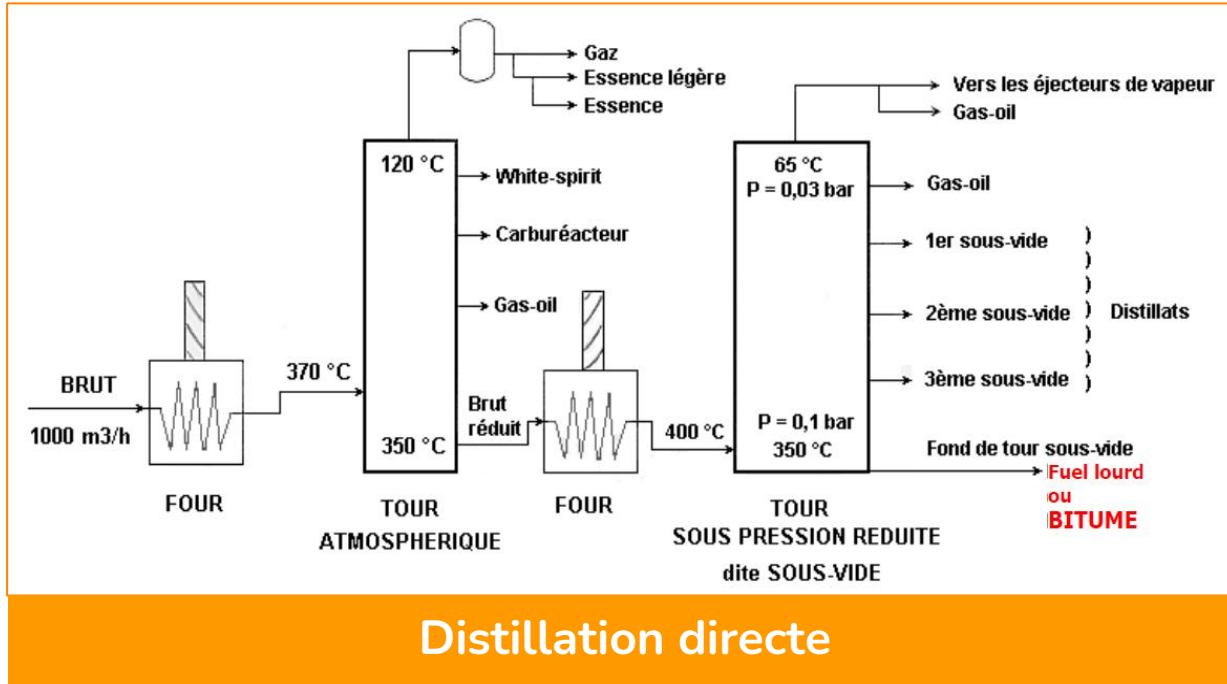
Mise en œuvre de l'enrobé :

Section journalière	Epaisseur (cm)			% des vides (%)		
	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max
Moyenne étalée sur cinq mois	3.1	5.2	8.2	2.8	5.1	7.9
Spécifications adoptées	95% des valeurs ≥ 3 cm			95% des valeurs ∈ [3; 9]		




Aspect de l'enrobé

Raffinage




Distillation directe

Résidu du raffinage : rectification à l'air, désasphaltage, craquage thermique ...etc. ;



 Fragilité des bitumes durs issus du raffinage (fissuration à froid, vieillissement rapide ...etc.)

Règle « OMI 2020 » : limitation à 0,5 % de la teneur en soufre permise dans le fuel-oil utilisé par les navires


 Perturbation de l'offre mondiale en bitumes, difficultés d'approvisionnement

Contexte national

Arrêt du raffinage au Maroc : multiplication des sources d'approvisionnement, achats spot ...etc.


Hétérogénéité des performance malgré la conformité des propriétés de consistance (confirmée par des essais mécaniques et rhéologiques inopinés)

Volonté de promouvoir un recyclage à fort taux des AE : passer à un taux de recyclage de 40% et plus


 Nécessité de mieux régénérer les bitumes vieillis

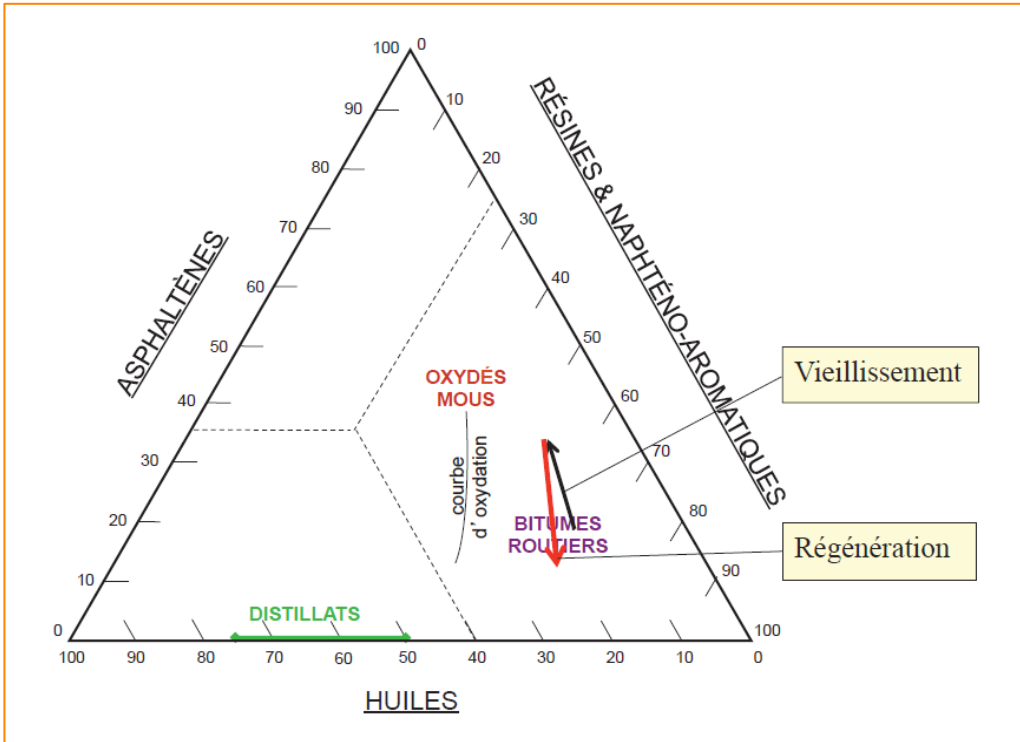


ILLUSTRATION DE LA RÉGÉNÉRATION



Comment homogénéiser les caractéristiques performanciennes des bitumes routiers et améliorer leur durabilité ?

Dopage des liants routiers aux bitumes naturels

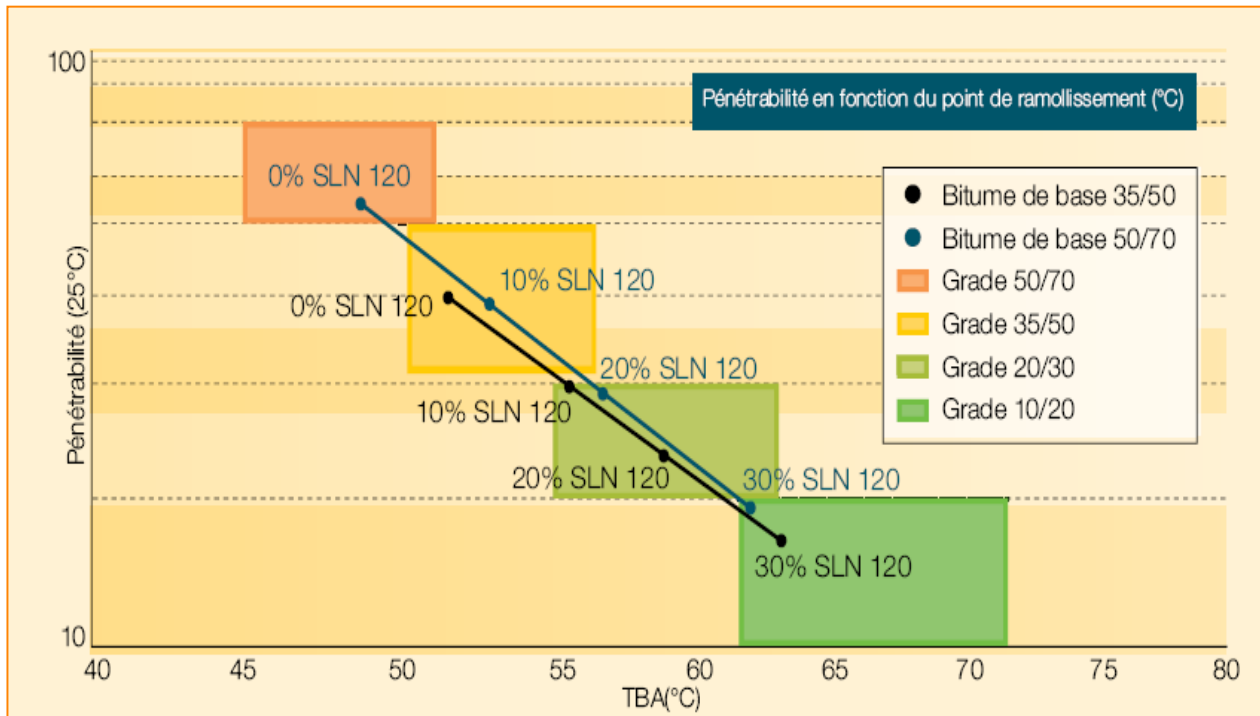
Les **bitumes naturels** sont issus de l'altération aérobie des pétroles dans leur milieu naturel

Certains gisements ont réussi à être référencés dans la Norme NF EN 13108-4 2017 (Annexe B) :

- **Gilsonite** dans l'état de l'Utah aux Etats-Unis (teneur en cendres faible)
- **Selenizza-SLN** de la mine de Selenice en Albanie (teneur en cendres moyenne)
- **TLA (Trinidad Lake Asphalt)** dans l'Amérique centrale (teneur en cendres élevée)

Bitume naturel	Bitume soluble (%)	PENE (25°C, 1/10 mm)	TBA (°C)	Asphaltènes (%)
Gilsonite	>99	0-1	160-182	<70>
Selenizza	83-85	0-1	115-120	<50>
Trinidad	52-55	0-4	93-99	<35>

Intérêt des bitumes naturels



Plusieurs publications internationales visant à évaluer l'apport de ces trois bitumes naturels dans la modification des bitumes de raffinage ont confirmé :

- ✓ Une compatibilité complète avec les bitumes de raffinage
- ✓ Une augmentation de la TBA et une diminution de la PENE
- ✓ Une augmentation du taux des asphaltènes sans altération de la susceptibilité thermique
- ✓ Une excellente tenue au vieillissement
- ✓ Un bilan CO2 inférieur aux bitumes de raffinerie

Taux de modification retenu :

Bitume de base	Bitume naturel	Taux de modification	Commentaire
35/50 (Colas)	Gilsonite (Colas)	10%	Le taux d'asphaltènes de la Gilsonite étant plus grand, son pouvoir rigidifiant est plus important
	Selenizza (Selenice Bitumi Sha)	20%	

Formules retenues :

Formule GB4 (dosage)	Bitume	Agrégat d'enrobé	Sable de concassage	Gravillon 4/10	Gravillon 10/14
20/30 Colas	5,1%	20%	35%	20%	25%
35/50 Colas	5,1%	20%	35%	20%	25%
35/50 Colas + 20% Selenizza	5,0%	20%	35%	20%	25%
35/50 Colas + 10% Gilsonite	5,0%	20%	35%	20%	25%

Résultats des études de formulation :

Caractéristique	Dosage (PPC) retenu à l'essai	20/30 Colas	35/50 Colas	35/50 Colas + 10% Gilsonite	35/50 Colas + 20% Selenizza
Tenue à l'eau (essai Duriez)	5 %	88%	85%	86%	92%
Profondeur d'ornièrè (60°C, 30 000 cycles) en %	5,25 %	2,7	5,15	1,6	1,4
Module complexe (15°C, 10Hz) en MPa	4,75 %	15 643	12 313	15 703	14 858
Résistance à la fatigue (10°C, 25Hz) en μ def	4,75 %	109	114	107	131

- ✓ une augmentation du module complexe
- ✓ Amélioration de la résistance à l'orniérage
- ✓ Amélioration de la résistance à la fatigue et de la tenue à l'eau du mélange incorporant la Selenizza.

Conditionnement de la Gilsonite

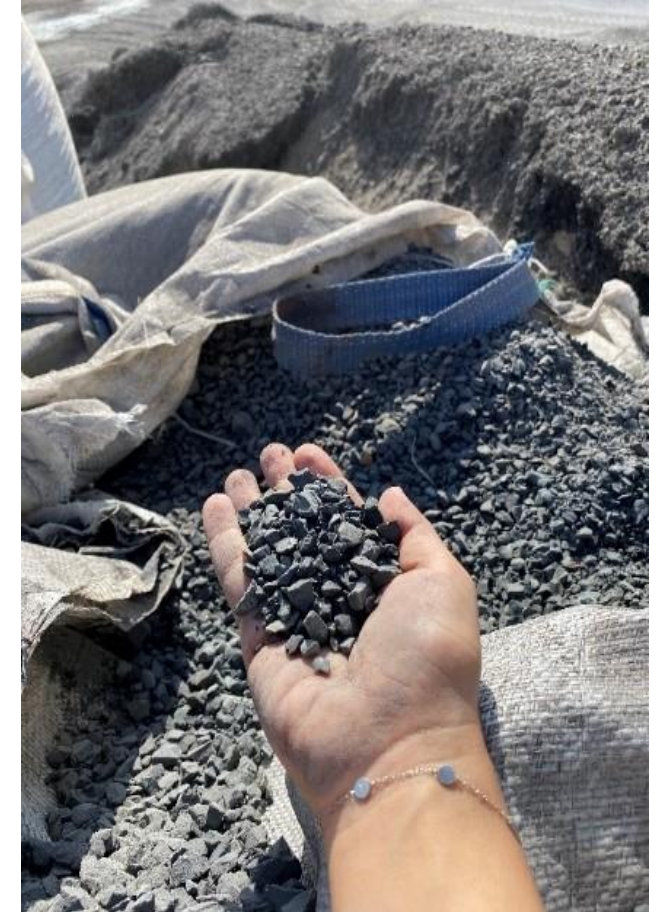


Réalisation d'une planche expérimentale à base de bitume naturel

Les bacs de bitume naturel utilisés ont été conditionnés sous deux formes :

- Poudre pour la Gilsonite
- Granulés 0/6 pour la Selenizza

Les bacs ont été stockés à l'abri des conditions climatiques extrêmes, sous hangar ventilé au niveau du poste d'enrobage



Conditionnement de Selenizza

Trémie d'ajout du bitume naturel



Réalisation d'une planche expérimentale à base de bitume naturel

Les bitumes naturels ont été ajoutés en tant qu'additif dans les enrobés bitumineux

L'injection au niveau du poste d'enrobage est réalisée à travers une vis de dosage raccordée à la trémie pondérale des fraisâts

L'incorporation des bitumes ne présente pas d'impact significatif sur le temps de malaxage ou la température des enrobés au niveau de la centrale.



Injection du mélange bitume naturel/fraisât au niveau de l'anneau de recyclage

Mise en œuvre des planches :

Chaque planche expérimentale a été réalisée en deux couches en pleine largeur constituant une couche d'assise surmontée d'une couche de roulement en BBME classe 3.

Autoroute	Sens	PK début	PK fin	Voies	Bitume utilisé	Linéaire
Rabat-Kénitra	K -> R	237+930	239+257	VL+VR	35/50 Colas + SLN	1,33 Km
		239+257	240+500		20/30 Colas	1,24 Km
		240+500	263+964		35/50 Colas	Variante de base
		264+433	265+600			
		263+964	264+433		35/50 Colas + Gilsonite	470 ml

Contrôle des planches :

Type de bitume utilisé	% bitume par extraction	% de vide in- situ		
		Min	Moy	Max
20/30 Colas	5.13	2,5	3,9	5,6
35/50 Colas	5.18	1,4	4,3	9,0
35/50 Colas + 20% Selenizza	5.17	3,3	5,7	8,8
35/50 Colas + 10% Gilsonite	5.21	2,2	5,1	7,6

- ✓ Un dosage en bitume comparable à celui des études de formulations
- ✓ Un % de vide conforme aux critères exigés pour une grave-bitume GB de classe 4
- ✓ La grave-bitume GB4 a conservé des propriétés de % de vide et de teneur en bitume comparables pour les quatre variantes testées.

Conclusion et perspectives

1. Un travail d'accompagnement d'ADM/ADM PROJET de son écosystème dans un cycle d'amélioration progressif et continu ;
2. Disposition d'ADM à coopérer avec les autres organismes intéressés par des projets d'innovation ;
3. Les deux sections expérimentale de Casablanca-Berrechid et Rabat-Kénitra constituent la phase 1 d'un programme d'étude de ces deux solutions piloté par ADM/ADM PROJET et LPEE/CERIT&CEGT ;
4. La phase 2 de ce programme consistera à approfondir les essais rhéologiques et mécanique afin d'explorer les apports pouvant intéresser le contexte marocain ;
5. La phase 3 de ce programme consistera à élaborer des recommandations pour l'usage adapté de ces techniques au contexte marocain.



Aspect de la carotte
prélevé après 2 ans

تحت الرعاية السامية لصاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله
ⵓ ⵑⵉⵎⵓⵔ ⵑⵉⵔⵉⵎ ⵏ ⵓⵎⵎⵓⵔ ⵏ ⵉⵙⵓⵔⵓⵎ ⵏ ⵓⵎⵎⵓⵔ
SOUS LE HAUT PATRONAGE DE SA MAJESTÉ LE ROI MOHAMMED VI

11^{ème} المؤتمر الوطني للطرق
ⵓⵎⵎⵓⵔ ⵏ ⵉⵙⵓⵔⵓⵎ ⵏ ⵓⵎⵎⵓⵔ
Congrès National de la Route

MERCI

SOUS LE THÈME

Quels rôles de l'infrastructure
routière dans le nouveau modèle
de développement économique
et social du Maroc ?

تحت شعار

أية مكانة لتطوير البنية التحتية
الطرقية في تنزيل النموذج
الجديد للتنمية الاقتصادية
و الاجتماعية بالمغرب ؟

10 / 12
نوفمبر NOV
DAKHLA 2022

الداخلة
DAKHLA