



ENROBÉS EN COUCHE MINCE

S. OUADRHIRI
Service Recherches

INTRODUCTION

Il y a quelques années, il a été constaté qu'il est excessif de mettre en œuvre des couches de 6 ou 8 cm d'épaisseur sur des chaussées ayant des structures encore suffisantes, uniquement pour restaurer les qualités de leurs couches de roulement et qui dans ces cas l'enduit superficiel ne pouvait convenir, d'où la nécessité de créer une nouvelle "famille" d'enrobé dont les objectifs étaient :

- ramener les épaisseurs à 3-4 cm, en restant dans la même gamme de compacité ;
- restituer un niveau de service satisfaisant pour l'utilisateur Imperméabiliser, si nécessaire , le corps de chaussée ;
- assurer ces fonctions pour une durée équivalente à celle des bétons bitumineux semi-grenus.

Cette " famille " d'enrobé n'était alors destinée qu'aux chaussées dont le support ne présente ni dégradations étendues ni déformations importantes des profils en travers . Ceci limite la technique dans son domaine d'utilisation . En effet des niveaux de déflexion admissible en fonction du trafic ainsi que des déformations maximales tolérables du profil en travers sont établies comme stipulé dans la directive pour enrobés en couche mince (voir plus loin)

L'enrobé mince se présente sous forme de formules discontinues 0/10 ou 0/14 et ce afin de pouvoir garder des compacités comparables à celles des enrobé épais ainsi qu'une bonne tenue à l'ornièrage (le détail de ces formules figure dans la directive)

La présente communication a pour objet de présenter l'introduction de la technique au Maroc, les résultats obtenus ainsi que la directive pour enrobés en couche mince .

INTRODUCTION DE LA TECHNIQUE AU MAROC

Les enrobés en couche mince ont été expérimentés au Maroc dans deux régions différentes. Ils étaient réalisés au Centre-Sud en octobre 90 sur la RP1 et au Nord-Ouest en Août 91 sur le CT 2524.

1- PRÉSENTATION DES SECTIONS EXPÉRIMENTALES

Les sections expérimentales sont présentées dans le tableau ci-dessous :
Route section

Route	section PKd PKf	Long-section (m)	Etat support	Trafic	Structure ancienne
RP 1	212+600 215+000	2400	Déflexion : 30 à 45 Uni : 1650 Déformation : néant Fissuration : longitudinale	7097 37% PL	25 à 40 EB 5 à 10 PC 20 Blocage
RP 1	217+000 218+000	1000	Déflexion : 35 à 50 Uni : 1345 Déformation : ? Fissuration : fine L et T ramifiées par endroits Arrachets : rares localisées	7097 37% PL	25 à 40 EB 5 à 10 PC 20 Blocage
RP 1	221+000 223+000	2000	Déflexion : 25 à 30 Uni : 1321 Déformation : ? Fissuration : fine L et T gravement ouverts par endroits Arrachets : rares	6713 37% PL	17 à 20 EB+ES 6 à 10 PC 20 à 25 blocage
CT 2524		600	Déflexion : 76 Uni : 1700 bon support de la chaussée dégradations très localisées à l'élargissement	4960 30% PL (Période estivale)	

2- FORMULES EXPÉRIMENTÉES

Deux types de formules ont été expérimentées comme le montre le tableau ci-dessous

Route	Type de formule
RP 1	Type 3 : 0/10 discontinu 4/6 avec 7 à 9 % de fines
CT 2524	Type 3 : 0/14 discontinu 4/6 avec 7 à 9 % de fines

Ces formules ont été testées au laboratoire dont les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-dessous

Route	Formulation adoptée	Résultats des essais de laboratoire	Performances recommandés
RP 1	45 % Gravette Bhalil 55 % sable Sbaâ Ayouné 5.7 % BP 40/50	Discontinuité moyenne : 2.5/5 teneur en fines élevée : 11% Duriez r : 0.84 PCG C10 : 88 C40 : 93.5 Ornière 1000 cycles : 6.67 3000 cycles : 8.42	7 à 9 % ➤ 0.8 < 91 % ➤ 93 < 96% < 10 mm < 20 mm
CT 2524	45 % sable oued Yekem 15 % Gravette Oued Bouregreg 40 % Gravette Oued Bouregreg 4.9 à 5.1 BP 40/50	Discontinuité : palier = 46 teneur en fines : 8 % Duriez r : 0.88 à 0.89 PCG C10 : 87 à 89.5 C40 : 94.5 à 95.5 Ornière 1000 cycles : 5.5 à 7 3000 cycles : 7.8 à 8.9	7 à 9 % ➤ 0.8 < 91 % ➤ 93 < 96% < 10 mm < 20 mm

3 - RÉSULTATS DE SUIVI DE COMPORTEMENT DES SECTIONS EXPÉRIMENTALES

Afin de pouvoir juger la technique, il a été décidé de suivre le comportement de ces sections expérimentales sur une durée de 5 ans, le programme de suivi comporte les tâches suivantes

Nature de suivi	Périodicité
Relevé visuel des dégradations	6 mois
Uni	1 an
Déflexion	1 an
Rugosité géométrique	1 an

Par ailleurs, pour le CT 2524, il a été décidé d'évaluer également les profils transversaux

Les résultats de suivi de comportement sont récapitulés dans les tableaux et graphes ci-dessous

a • Macrorugosité

Le tableau ci-dessous récapitule les valeurs de la hauteur au sable

RP 1	Section	Mars 91	Juin 92	Mai 93
	212+600 215+000	0.60	0.57	0.54
	217+000 218+000	0.60	0.59	0.50
	221+000 223+000	0.78	0.48	0.50
CT 2524	600 ml	Août 91	Novembre 92	Novembre 93
		1	0.55	

b • Relevé visuel

RP 1	Section	Mars 91	Mai 93	Novembre 93
	212+600 215+000	-Aspect non homogène	Fissures fines longitudinales et transversales aboutissant souvent à un faïençage	Evolution de ces fissures (Voir schéma)
	217+000 218+000	-Remontées fréquentes de mortier : excès de fines et de bitume	Fissures fines longitudinales et transversales aboutissant souvent à un faïençage	Evolution de ces fissures (voir schéma)
	221+000 223+000	(Essai d'extraction : 70% des valeurs > 5.7 %)	Fissures longitudinales très ouvertes accompagnées de décrochement sur un longueur de 400 ml	même état
CT 2524	600 ml	Octobre 91	Novembre 92	Novembre 93
		.Absence de toute dégradation . Aspect homogène . texture grossière	Absence de toute dégradation	Absence de toute dégradation

Pour le CT 2524 , des relevés de profils transversaux avant et après renforcement ont également été réalisés dont les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-dessous

c • Uni transversal (au transversoprofilographe)

CT 2524	Avant renforcement	Août 91	Novembre 92
	. 5% bon 71 % .Déformation marquée . 14 % déformation importante . 10 % mauvais	. 55 % bon . 45 % déformation marquée	50% bon

d • Uni longitudinal

	Section	Avant R (89)	Mars 91	Juin 92
RP 1	212+600	1650	783	716
	215+000			
	217+000	1345	965	813
	218+000			
	221+000 223+000	1321	889	851
CT 2524	600 ml	Juillet 91	Août 91	Décembre 92
		1840	1740	2200

Le tableau montre une bonne amélioration de l'uni longitudinal sur les sections expérimentales de la RP 1 alors qu'il n'a pas évolué sur le CT 2524

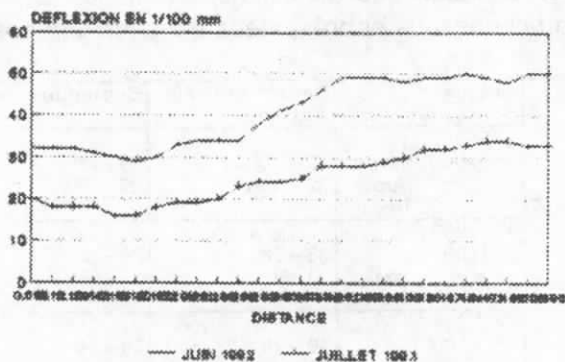
e • La déflexion

Les marges de variation des déflexions caractéristiques sont récapitulées dans le tableau ci-dessous et présentées dans les graphes ci-après

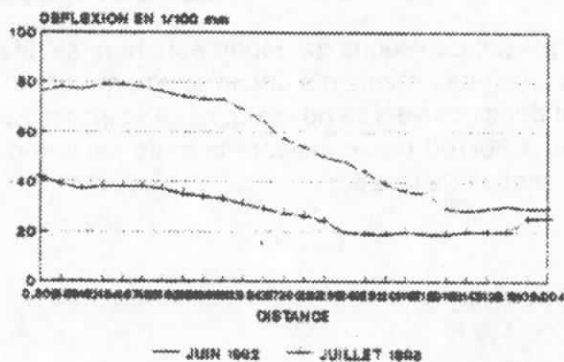
RP 1	Section	Septembre 89 Avant R	Septembre 92	Apût 93	
	212+600 215+000 Axe Rive	30 – 76 32 – 100	25 – 46 25 - 800	45 – 75 40 - 90	
	217+000 218+000 Axe Rive	35 – 58 30 - 50	30 – 55 35 - 58	50 – 78 42 - 58	
	221+000 222+000 Axe Rive	40 – 78 40 -130	50 – 98 40 - 68	80 – 115 50 - 80	
	222+000 223+000 Axe Rive	35 – 50 25 - 60	38 – 75 20 - 75	50 – 94 25 - 60	
CT 2524	Sens	Pont – RS 222		RS 222 - Pont	
		Juin 92	Juillet 93	Juin 92	Juillet 93
	Axe Rive	39 – 53 41 - 71	20 – 33 35 –65	35 – 73 58 – 73	30 –44 50 - 63

On remarque que les déflexions de départ sont bonnes, les sections ont une bonne portance, l'enrobé mince n'a aucun apport structural, l'évolution de ce paramètres est donc considérée normale, néanmoins les déflexions sont restées inférieures à 80/100 mm considéré comme seuil bon pour un trafic T0 excepté sur la section 221 - 222

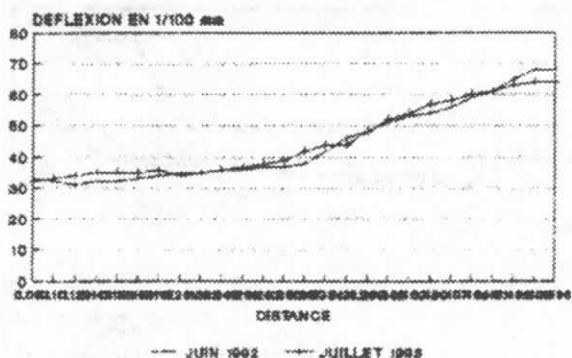
EVOLUTION DE LA DEFLEXION EN AXE SUR LE CT 2524 DANS LE SENS PONT - RS222



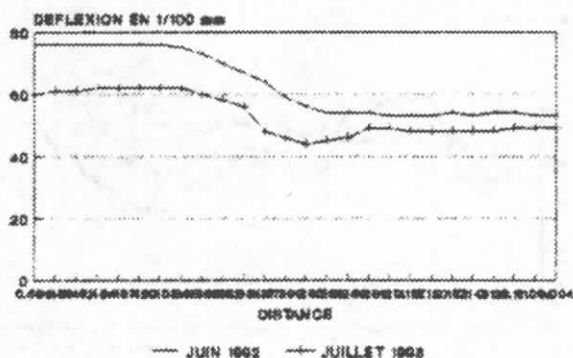
EVOLUTION DE LA DEFLEXION EN AXE SUR LE CT 2524 DANS LE SENS RS222 - PONT



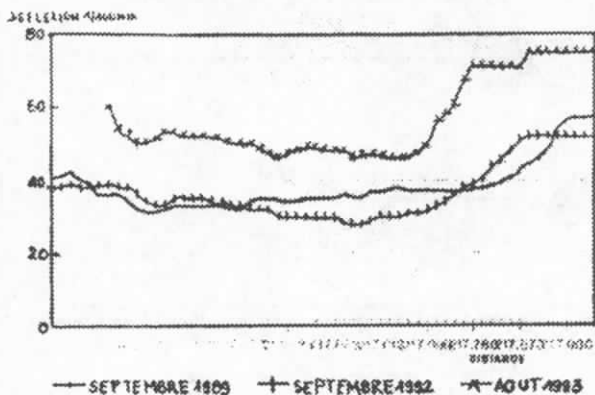
EVOLUTION DE LA DEFLEXION EN RIVE SUR LE CT 2524 DANS LE SENS PONT - RS222



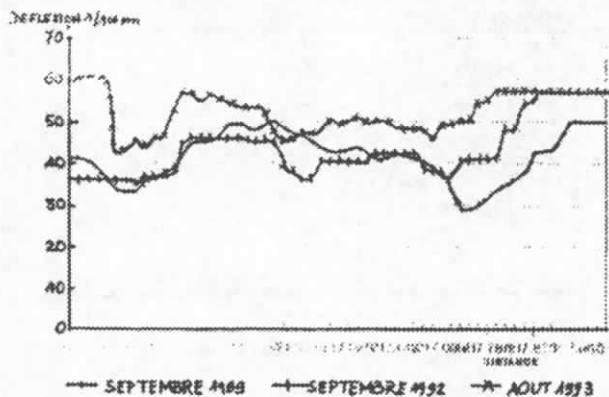
EVOLUTION DE LA DEFLEXION EN AXE SUR LE CT 2524 DANS LE SENS RS222 - PONT



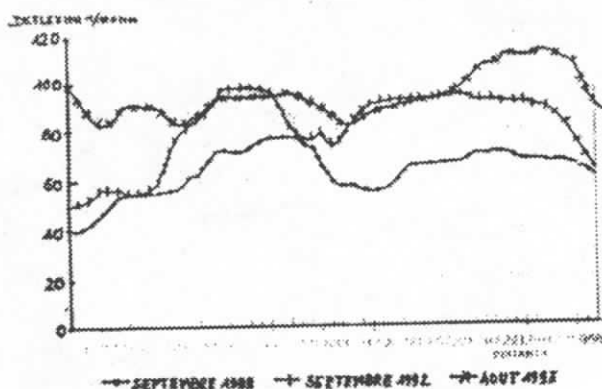
EVOLUTION DE LA DEFLEXION EN AXE SUR LA SECTION 222 - 223



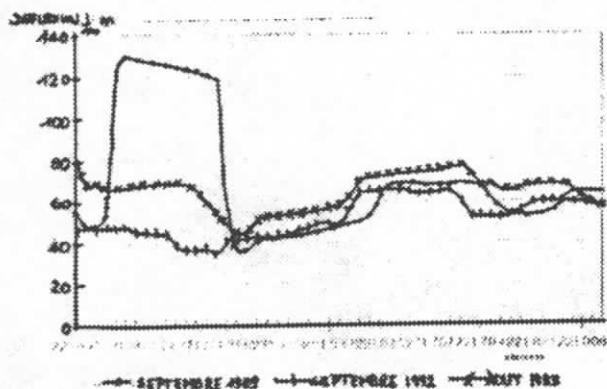
EVOLUTION DE LA DEFLEXION EN RIVE SUR LA SECTION 222 - 223



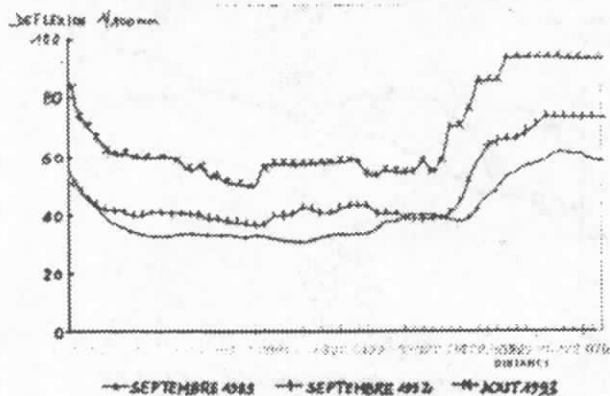
EVOLUTION DE LA DEFLEXION EN AXE SUR LA SECTION 221 - 222



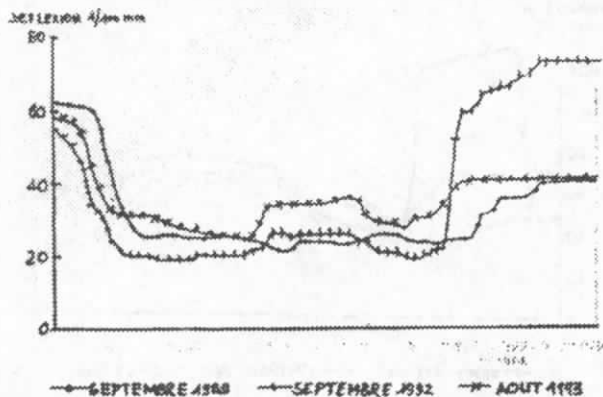
EVOLUTION DE LA DEFLEXION EN RIVE SUR LA SECTION 221 - 222



EVOLUTION DE LA DEFLEXION EN AXE SUR LA SECTION 217 - 218



EVOLUTION DE LA DEFLEXION EN RIVE SUR LA SECTION 217 - 218



Depuis la dernière campagne de mesures, il a été décidé de ne plus suivre; les paramètres adhérence, uni et déflexion et se contenter de suivre l'évolution des dégradations superficielles de la chaussée ; En effet :

Pour la section expérimentale réalisée sur le CT 2524 , une dernière inspection visuelle a été effectuée au mois de décembre 97 qui a fait constater un bon état global hormis quelques arrachements au niveau des joints transversaux

Pour les sections expérimentales réalisées dans la région du Centre-Sud , il a été décidé de suivre l'évolution, selon une périodicité de 6 mois, de la fissuration apparue en 1993 et ce afin de comprendre le processus de dégradation du tapis mince de l'enrobé. Avant de présenter les résultats, on rappelle brièvement le principe de ce suivi : 4 bandes de 50 m de longueur à raison d'une bande par section ont été sélectionnées dont les dégradations (longueur de la fissuration, ouverture et degré de ramification éventuelle) ont été relevées au mois de Décembre 94 et Août 95.

Les 4 planches sont schématisées dans les graphes ci-dessous

Ainsi, excepté la bande où le problème d'instabilité du remblai se pose toutes les autres bandes sont affectées de nouvelles fissures fines , longitudinales et/ou transversales aboutissant alors et par endroits à des faïençages à mailles larges. Cependant on constate que la bande 4 a été totalement fissurée et ce durant 8 mois de service laquelle période est jugée courte pour que l'évolution soit aussi rapide. Quant à la bande 2, celle-ci étant caractérisée par un trafic plus faible, la dégradation n'a pas évolué ;

En conclusion , pour une classe de trafic T0 , un climat humide et un support faïencé, il est préférable d'éviter la réalisation d'enrobés minces car celle-ci serait plus coûteuse. En effet, l'enrobé mince ne pourrait empêcher la remontée des fissures ; En revanche, pour une classe de trafic T0, et un support sain, la technique de l'ECM peut s'avérer intéressante et la durée de vie pourrait même dépasser 5 années tel est le cas du CT 2524 où l'ECM se comporte encore bien après 7 ans de mise sous circulation.

Le projet de directive sur les enrobés en couche mince a été élaboré en 1996 par le CNER s'inspirant de la note technique SETRA sur les enrobés minces établie en 1977 et des deux expérimentations nationales présentées ci-avant .

Les différentes phases présentées dans ce document s'articulent autour des points suivants :

a - Domaine et limite d'utilisation

La technique des enrobés minces ne peut être prévue que pour la restauration des qualités de surface telles que l'insuffisance de l'étanchéité , le ressuage ou le polissage provoquant le phénomène de ressuage ou encore dans le cas de fissures transversales ne remettant pas en cause la structure.

Elle vient en intermédiaire entre l'enduit superficiel et l'enrobé épais (>5 cm) quand le premier s'avère insuffisant (risque de poinçonnement) et que le second est surabondant. Néanmoins, elle se trouve limitée par l'état du support tant au niveau déformabilité, profondeur d'ornièrre que fissuration. En effet on recommande les seuils suivants

Trafic	Déflexion (mm)
TPL6 - TPL5	75/100
TPL4 - TPL3	100/100
TPL2 - TPL1	150/100

Pour la profondeur d'ornièrre, 1 cm est tolérable sinon un reprofilage est nécessaire. Quant aux flèches, si la profondeur dépasse 1.5 cm alors un déflachage est nécessaire .

En cas de présence de fissures, si celles-ci ne mettent pas en cause la structure, leur colmatage est recommandé, dans le cas contraire, il y a lieu de penser à l'enrobé épais.

b - Constituants

b-1• Les granulats

Les caractéristiques requises pour les granulats sont présentées dans le tableau ci-dessous

Les caractéristiques requises pour les granulats sont présentées dans le tableau ci-dessous

Taïfic	TPL6	TPL5	TPL4 et TPL3	TPL2 et TPL1
Caractéristiques				
Los Angeles : LA	< 15	< 15	< 20	< 25
Micro Deval : MDE	< 10	< 10	< 15	< 20
Aplatissement : A	< 15	< 20	< 20	< 25
Concassage RC (IC)	> 6	> 4	> 4	(100)

b-2• Les sables

L'utilisation de sables de la même carrière que le gravillon est souhaitable . Cependant pour des raisons de propreté , on peut faire appel à une carrière différente tout en évitant les sables tendres ; La propreté sera alors évaluée moyennant l'essai d'équivalent de sable du sable 0/2 ou sur la fraction 0/2 du sable 0/4, celui-ci doit être :

- 45 si teneur en fines < 12%
- 40 si 12 < teneur en fines < 15
- 35 si teneur en fines > 15
- 80 si sable roulé

b-3• Fines d'apport

Dans le cas où la teneur en fines du sable de concassage est insuffisante , il faut prévoir l'adjonction d'un filler d'apport qui doit avoir la granularité suivante :

- Au moins 80% des éléments passent à 80µm
- 100 % des éléments à 0.2 mm

Quant au pouvoir nocif des fines, celui-ci peut être évalué moyennant l'essai au bleu pour lequel on recommande la valeur maximale 1

b-4/ Le liant hydrocarbonné

On utilise les bitumes purs 40/50 ou 60/70 dont les spécifications figurent au fascicule n°5 cahier n°5 du CPC

c - Formulation

Les formules d'enrobé mince sont des formules discontinues donc une ou plusieurs fractions granulométriques ont été retirées. On note 3 types comme caractérisés ci-dessous :

Type Granulométrie	1				2		3	
0/D	0/10	0/14	0/14	0/14	0/10	0/14	0/10	0/14
Palier théorique	2 et 6 mm	4 et 10 mm	2 et 10 mm	2 et 6 mm	4 et 6 mm	4 et 6 mm	4 et 6 mm	4 et 6 mm
Courbe théorique % au tamis de								
14 mm		100	100	100		100		100
10 mm	100	67	33	67	100	75	100	76
6 mm	35	34	33	34	53	50	53	50
4 mm	35	34	33	34	53	50	53	50
2 mm	35	34	33	34	38	35	38	32
0.08 mm	8	8	8	8	11	11	8	8
Teneur en liant proposée Tp pour un MVR de 2.65 à corriger par : $T_c = T_p \cdot 2.65 / \text{MVRG}$	5.7	5.7	5.7	5.7	6	6	5.7	5.7
Epaisseur moyenne	3 à 4 cm	4 cm	4 cm	4 cm	3 à 4 cm	4 cm	4 cm	4 cm

La formule d'enrobé réelle appelée discontinue réelle, constituée de fractions granulométriques commerciales, ne présente pas nécessairement un palier franc. Elle doit alors présenter au tamis $(d_1 + d_2)/2$, un tamisat égal à la hauteur du palier (figure ci-dessous)

Ainsi une fois la formule théorique choisie et, les essais de laboratoire seront réalisés sur la formule réelle adaptée .L'étude de laboratoire comprend alors deux phases, une phase d'ajustement de la formule réelle et une phase de vérification des performances recommandées. La phase d'ajustement est réalisée à l'aide de l'essai PCG, 3 cas peuvent se présenter

Formule satisfaisante	continuer les essais : Orniérage , Duriez
Compacités C10 > 91% et/ou C40 > 96%	- diminuer la hauteur du palier - diminuer la teneur en liant (voir tolérances admises)
Compacité C40 < seuil	augmenter la teneur en liant et la teneur en fines

La formule ajustée, doit vérifier les performances récapitulées dans le tableau ci-dessous

Essais	Seuils recommandés
Essai de compression simple r après immersion rapport : ----- R après immersion	> 0.80
Essai de compactage giratoire - Compacité à 10 girations C10 - Compacité à 40 girations C 40 min max	< 91 % Type 1 Type 2 91 % 93 % 96 % 96 %
Essai d'orniérage Profondeur d'ornièr estimée à la compacité C 40 1000 cycles 3000 cycles	 < 10 mm < 20 mm

En plus des ces essais , il ya lieu de contrôler la durabilité de la rugosité géométrique moyennant une simulation du trafic à l'aide de l'orniéreur (les conditions de l'essai sont présentées en annexe) et on doit avoir

$$\frac{\text{Hs après trafic}}{\text{Hs avant trafic}} > 0.50$$

d - Fabrication - Mise en œuvre

d-1/ fabrication

La seule contrainte qui existe dans la fabrication des enrobés minces est la température. En effet, le problème du refroidissement rapide de l'enrobé mince oblige à élever les températures de fabrication de telle manière qu'après transport et répannage les températures suivantes soient atteintes

Type d'ECM

Type d'ECM	BP 40/50	BP 60/70
1 et 3	150 °C	140 °C
2	160 °C	150 °C

Par ailleurs, pour ce qui est de l'approvisionnement, la période d'exécution des travaux, l'organisation générale du chantier les problèmes relatifs à la fabrication en centrale d'enrobage, on propose de se référer à l'ensemble des directives sur les matériaux enrobés à chaud élaborées par la DRCR

d-2/ Mise en œuvre

Une opération très importante doit être soigneusement réalisée avant la mise en œuvre et après avoir réparé les petites dégradations éventuelles, il s'agit de la couche d'accrochage. Cette couche est une émulsion de bitume à rupture lente car celle-ci non rompue, les camions approvisionnant l'enrobé et circulant sur la couche d'accrochage, entraînant moins de liant .

Elle doit être répandue à la répandeuse et non à la lance à raison de 300g/m² de bitume résiduel afin d'assurer son homogénéité sur toute la surface de la chaussée .

Pour le répannage, il est assuré par un finisseur dont la vitesse est limitée à 5m/min afin d'éviter d'obtenir un enrobé tiré enfin le compactage réalisé à l'aide d'un compacteur à pneus et d'un autre à jante lisse et le nombre de passes, conditionnés par la température ambiante et la vitesse du vent, sont à dimensionner en fonction des résultats de la planche d'essai.

Avant de présenter les résultats attendus, on cite les contrôles à effectuer qui doivent être réalisés à deux niveaux : à la fabrication et à la mise en œuvre .

- Le premier concerne le réglage de la centrale, le débit du doseur, de la pompe à liant, de la température, de la teneur en eau des granulats etc et enfin un contrôle à posteriori qui consiste en prélèvement d'échantillons d'enrobés afin de connaître la teneur en liant et la dispersion ayant lieu à la sortie du malaxeur, dans un camion ou derrière un finisseur.

- Le second, concerne la température de répandage et les compacités obtenues

e - Résultats attendus

Trois paramètres doivent être satisfaits : la rugosité géométrique , l'état de surface et la résistance à l'ornièrage

• Rugosité géométrique

Appréciée à l'aide de la tâche au sable, doit être à la construction , comprise entre 0.8 et 1.1 mm et au bout de 5 années, elle doit être comprise entre 0.4 et 0.8 mm

• Etat de surface

L'enrobé mince doit être exempt de toute dégradation superficielle (pelades, zones glissantes) tout en tolérant quelques arrachements surtout le premier hiver.

• Résistance à l'ornièrage

L'enrobé mince n'ornièrera pas, mais il est possible de détecter ce phénomène au moyen du transversoprofilographe, surtout après le premier été sans toutefois se poursuivre car il s'agit d'un post-compactage sous l'action du trafic poids lourd.