

## **ENROBES A FROID : QUELLES SPECIFICATIONS POUR LA CONSTRUCTION ET L'ENTRETIEN?**

Jean-Pierre SERFASS -  
SCREG (Groupe COLAS) - 4, Rue Jean Mermoz - 78772 MAGNY LES HAMEAUX  
CEDEX - France - (serfass@rte.screg.fr)

Les enrobés à froid, plus précisément à l'émulsion, présentent plusieurs particularités (présence d'eau, réactivité granulats-émulsion, caractère évolutif), qui les différencient nettement des enrobés à chaud. Divers types d'enrobés à froid connaissent aujourd'hui un développement significatif : graves-émulsion, bétons bitumineux ouverts, enrobés stockables. D'autres présentent un caractère innovant, comme les bétons bitumineux denses ou les graves-bitume à froid, sont apparus récemment, certains étant encore en phase expérimentale. Les divers types de mélange sont décrits. Les méthodes d'étude existantes sont peu nombreuses et presque totalement empiriques. Les essais de caractérisation sont essentiellement des dérivés d'essais concernant les enrobés à chaud; ils s'avèrent peu ou non adaptés aux propriétés particulières des enrobés à l'émulsion. Il n'est pas surprenant que les spécifications concernant les enrobés à froid soient restées, à ce jour, très limitées et, parfois, décalées par rapport aux besoins réels. D'importantes recherches, menées récemment, ont permis de proposer une méthode d'étude spécifique pour les enrobés à froid. Les grandes lignes de cette méthode sont exposées. Elles comportent les étapes suivantes : qualité d'enrobage, cohésion au jeune âge, compactabilité, mûrissement accéléré, tenue à l'eau, résistance à l'orniérage et module de rigidité. Les divers essais la constituant sont conçus pour déboucher sur un ensemble de spécifications performantielles. Par ailleurs, on analyse des réalisations de chaussées et de revêtements en enrobés à froid, dont le suivi fournit des indications précieuses. Les données concernant le comportement in situ sont mises en regard des caractéristiques mesurées en laboratoire. Cet exercice fait le lien entre comportement en place et propriétés en laboratoire. Il se concrétise par une meilleure définition des limites du domaine d'emploi de tel ou tel type d'enrobé à froid, en termes de position dans la chaussée, d'épaisseur, de trafic admissible, etc. L'ensemble des travaux menés conduit à une meilleure connaissance des propriétés des mélanges à froid. Il permet d'avancer dans la modélisation et le dimensionnement des structures comprenant des enrobés à froid. Une autre retombée est l'élaboration de projets de spécifications complètes et adaptées.

### **MOTS-CLES**

ENROBES A FROID / EMULSION / METHODE D'ETUDE / SPECIFICATIONS

Les enrobés à froid sont utilisés dans plusieurs pays depuis des décennies. Ils sont, sous diverses versions, principalement destinés à l'entretien et à la réhabilitation des chaussées à trafic léger ou moyen. Cependant, les recherches menées ici et là se concrétisent depuis quelques années par la mise au point de produits plus performants. Ces innovations permettent l'élargissement progressif de leur domaine d'emploi vers des trafics plus lourds et vers la construction neuve.

Force est toutefois de constater que les spécifications concernant les enrobés à froid restent limitées, voire embryonnaires et qu'elles sont, le plus souvent, non reliées au comportement réel du produit en place. Le besoin de progrès apparaît clairement.

## 1. - PRINCIPALES PARTICULARITES DES ENROBES A FROID

Il convient de préciser que les enrobés à froid (EAF) dont il s'agit ici sont des mélanges granulaires dans lesquels est incorporé du bitume sous la forme d'émulsion. Ne sont pas concernés les enrobés au bitume fluxé ou fluidifié, peu sympathiques vis-à-vis de l'environnement.

Les enrobés à l'émulsion ont, surtout dans les premières phases de leur vie, un comportement spécifique, différent à maints égards de celui des enrobés à chaud (EAC).

- La présence d'eau a énormément d'influence sur le comportement au jeune âge. L'eau joue un rôle utile à la mise en œuvre, en tant que lubrifiant, mais ensuite elle retarde la formation d'un film de bitume solide, contribuant ainsi à rendre le matériau fragile tant que la coalescence des globules de liant n'est pas totale.

- Les réactions chimiques à l'interface granulat-émulsion ont des conséquences majeures sur la qualité d'enrobage.

- Les enrobés à froid sont des matériaux évolutifs. Certains se comportent, à l'état initial, comme des matériaux non liés, puis acquièrent progressivement une cohésion notable, pour aboutir à un matériau fortement lié, assimilable à un enrobé à chaud.

- Le pourcentage des vides est systématiquement plus élevé au jeune âge dans un enrobé à froid, par rapport à l'enrobé à chaud "équivalent". Une recherche récente a montré que, dans l'enrobé à froid, les vides ont des tailles nettement plus petites que dans l'enrobé à chaud "équivalent". Les vides minuscules résultant de la coalescence des globules de bitume sont englobés dans le liant, ou le mastic, d'enrobage. Les compacteurs n'arrivent pas à les éliminer. Ils ne disparaissent, très progressivement, que par les actions combinées du mûrissement et de la consolidation sous trafic. La compacité initiale n'a donc pas la même signification dans un enrobé à froid et dans un enrobé à chaud. Dans l'état actuel du savoir-faire, il faut admettre des niveaux de compacité initiale plus modestes pour les EAF. A long terme, on peut, par contre, escompter des compacités approchant celles des EAC.

## 2. - LES DIVERS MELANGES

### 2.1 - Terminologie

Afin de préciser et parfois de compléter la terminologie actuelle, nous proposons les définitions ci-après :

- Tout d'abord, comme dit plus haut, il est souhaitable de préciser que, lorsque l'on parle d'enrobés à froid, cela implique l'utilisation d'émulsion. Serait défini comme enrobé à froid tout mélange bitumineux dont :

- . la préparation finale a lieu sans séchage, ni chauffage,
- . la mise en œuvre s'effectue à température ambiante.

- Pour les couches de roulement, nous proposons d'appliquer systématiquement le terme de béton bitumineux à froid (BBF). La définition pourrait être : "Enrobés à froid, non stockables ou à courte stockabilité, utilisés uniquement en couche de roulement, de granularité 0/D ou d/D, dont tout ou partie des granulats a été enrobé avec une émulsion

de bitume modifié ou non, dont au moins une partie des granulats n'a pas été séchée et dans lequel tous les granulats sont recouverts d'un film de liant".

- Pour les couches d'assise, nous suggérons les définitions suivantes :

"Grave-émulsion (GE) : mélange d'une grave 0/D et d'une émulsion de bitume, dans lequel le liant est fixé préférentiellement sur la partie "mortier". Peut être utilisée soit en couches d'assise, soit en reprofilage. Pour ce dernier usage, la grave-émulsion peut être stockable".

"Grave-bitume à froid (GBF) : enrobé à froid non stockable, utilisé uniquement en couche d'assise, de granularité 0/D, dont tout ou partie des granulats a été enrobé avec une émulsion de bitume modifié ou non, dont au moins une partie des granulats n'a pas été séchée et dans lequel tous les granulats sont recouverts d'un film de liant".

- Enfin, les enrobés à froid stockables se définissent ainsi : "Enrobés à froid pouvant être stockés pendant plusieurs semaines ou plusieurs mois, destinés à l'entretien courant (réparations localisées, déflachage, etc.) ou à de petits travaux. Ils ne peuvent jouer de rôle structurel dans la chaussée que pour des trafics très légers (à préciser)".

Ces définitions laissent la porte ouverte à tous les types de centrale de malaxage. De plus, elles englobent les mélanges dont un des constituants peut avoir été auparavant fabriqué à chaud (cas des agrégats d'enrobés recyclés à froid ou des procédés de double enrobage).

Le tableau 1 résume les types et les gammes d'épaisseur normalement pratiquées.

Tableau 1 - Types d'enrobés à l'émulsion et épaisseurs usuelles

Utilisation	Couche de roulement		Couche d'assise			Reprofilage		Entretien courant	Petits travaux
	BBF		GE		GBF	GE			
Type	BBF		GE		GBF	GE		EAF	EAF
Stockabilité	Non	Oui (limitée)	Non	Oui (limitée)	Non	Non	Oui	Oui	Oui
Epaisseurs (cm)	5-8	-							
	3-5	3-5	6-12	6-10	6-12	0-12	0-12	ns	Variable
	2-3	2-3							

## 2.2 - Commentaires sur les divers types d'enrobé à froid

- Les bétons bitumineux à froid (BBF) peuvent être soit denses (composition granulaire 0/D avec proportion notable de sable et de fines), soit ouverts (d/D, pas ou très peu de sable et de fines).

- La grave-émulsion (GE tire une partie de ses propriétés du fait que le liant est fixé préférentiellement dans son mortier. La richesse de celui-ci et le grade relativement mou du bitume employé confèrent à la GE souplesse, collant et capacité d'auto-réparation. Ce matériau est donc particulièrement bien adapté aux épaisseurs variables, aux reprofilages, aux supports à forte déflexion. Par contre, il n'est pas rare que les gros éléments soient peu enrobés.

- La grave-bitume à froid (GBF) se différencie par une répartition plus homogène du liant sur les différentes fractions granulaires et par l'obtention d'un module de rigidité plus élevé. Ce matériau est essentiellement destiné aux couches de base ou de fondation.

### 3. - METHODES DE FORMULATION D'ETUDE DES ENROBES A FROID

#### 3.1 - Insuffisances des méthodes actuelles

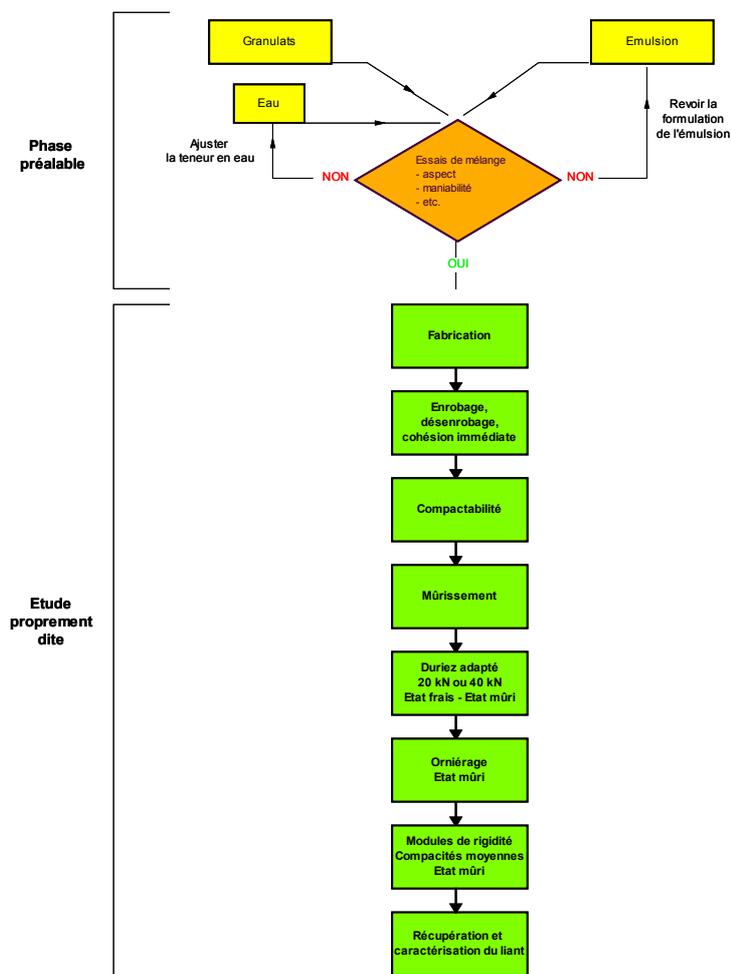
Les méthodes en vigueur sont du type "recette". Les caractéristiques des composants y sont spécifiées. Des formulations-types sont indiquées. Généralement, un ou deux essais de résistance mécanique : compression simple (dont Duriez), traction indirecte par fendage (dont Marshall), stabilité Hveem, etc. sont préconisés, avec des valeurs-seuils visant surtout à différencier les mélanges, mais sans relation établie avec le comportement en place.

Des procédures de cure ou de mûrissement accéléré sont stipulées, mais elles sont généralement courtes et, là encore, sans afficher de lien avec l'évolution prévisible in situ. De manière plus large, il n'existe pas de méthode complète d'évaluation d'un enrobé à froid qui soit reconnue et validée par la communauté technique.

#### 3.2 - Méthode proposée

Pour combler ce vide, notre groupe a lancé en 1997 une importante recherche qui a abouti fin 2000 à la méthode dont les différentes étapes sont illustrées par la figure 1.

Figure 1 - Logigramme de la méthode d'étude proposée



Cette méthode a été décrite en détail dans diverses publications (Serfass, 2002). Combinée avec les observations de comportement en place, elle devrait contribuer à une meilleure connaissance des enrobés à froid, et permettre d'élaborer des spécifications performantielles.

#### 4. - EBAUCHE DE SPECIFICATIONS POUR LE MELANGE EN COURS DE FABRICATION ET DE MISE EN ŒUVRE

##### 4.1 - Phase préalable : choix et dosage des constituants

Pour le choix des granulats, chaque pays possède des spécifications précises, plus ou moins étayées par la pratique, qu'il n'est pas possible de détailler ici. Les granulats pour BBF, donc couche de roulement, sont soumis aux mêmes contraintes que ceux mis dans les bétons bitumineux à chaud. Ils doivent donc répondre aux mêmes spécifications en termes de dureté, résistance à l'usure, au polissage, angularité, forme, etc.

La formulation de l'émulsion relève essentiellement du savoir-faire du fabricant. Les spécifications locales stipulent généralement une catégorie d'émulsion, définie en termes de vitesse de rupture, de teneur en liant, etc. Notons au passage que le bitume de base peut aller du 35/50 (dans les pays chauds) au V 12 000 (dans les pays nordiques).

La courbe granulométrique du minéral est largement une affaire de pratique. Chaque pays utilisant des EAF a défini des fuseaux de composition. La quasi-totalité des courbes 0/D est de type continu (de manière à assurer la stabilité mécanique immédiate).

A partir des données définies plus haut, la formulation de l'enrobé est affinée à partir d'essais de mélange "en gamelle" réalisés manuellement. L'observation visuelle donne des indications sur la compatibilité des constituants, l'allure générale et la consistance du mélange, etc. Ainsi sont validés ou réorientés les choix des constituants et l'ajustement de la teneur en eau. Si nécessaire, l'émulsion est reformulée pour parvenir à un mélange convenable. Cette étape est empirique et largement basée sur l'expérience du formulateur.

##### 4.2 - Fabrication de l'enrobé

Il n'existe aujourd'hui aucun malaxeur de laboratoire permettant de simuler fidèlement un malaxage en centrale. Du reste, il paraît difficile de construire un tel pilote dans des conditions économiques raisonnables. On est donc contraint de faire avec ce qui existe : malaxeurs à axe vertical et arbre à palettes ou à arbres horizontaux fermés.

Nos travaux ont montré la grande influence de la température des matériaux durant le malaxage. Afin d'éliminer tout biais et de faciliter les comparaisons, nous proposons de spécifier une plage de température représentative des conditions locales moyennes. Pour les régions à climat tempéré; telle que l'Europe de l'Ouest, la plage préconisée est 18 - 25°C, ce qui est facilement praticable dans tous les laboratoires.

Pour d'autres régions du monde, il convient d'ajuster la température de fabrication aux conditions locales prévisibles au moment des chantiers. Par exemple, on peut imaginer 30 - 40°C pour des zones très chaudes ou, inversement, 10 - 20°C pour des (très) fraîches.

##### 4.3 - Qualité d'enrobage

Les constatations faites sur le terrain montrent que la qualité d'enrobage varie beaucoup selon les constituants et la technologie employés. Un enrobage partiel est acceptable pour des matériaux d'assise comme les graves-émulsion puisque la couche sera protégée par un revêtement. Par contre, un enrobage complet ou quasi-complet est nécessaire pour les BBF de couche de roulement, faute de quoi la sensibilité à l'eau et les risques de déchaussement sont importants.

La qualité d'enrobage est quantifiable par le pourcentage de surface minérale couverte par le liant bitumineux. Pour le mesurer, la méthode idéale est celle de l'analyse d'image, qui quantifie des niveaux de gris, dont celui du minéral vierge. Si le laboratoire n'est pas équipé pour l'analyse d'image, l'évaluation peut être faite par trois observateurs, dont les chiffres sont moyennés.

#### 4.4 - Sensibilité au désenrobage mécanique

Sur chantier, on observe que certains enrobés à froid, bien enrobés à la sortie du malaxeur, se désenrobent ensuite partiellement (surtout les gros éléments) sous l'action des diverses manipulations qu'ils subissent. Afin d'évaluer cette éventuelle sensibilité au désenrobage, quatre procédures successives ont été définies :

Tableau 2 - Manipulations de laboratoire et opérations sur chantier simulées

Manipulation en laboratoire	Opération sur chantier simulée
Stockage en gamelle, sous poids	Stockage en tas
Malaxage court	Reprise pour chargement
Cylindre moulé sous faible charge, puis émietté	Cisaillement dans vis du finisseur ou sous lame de niveleuse
Disque de caoutchouc pressé sur galette d'enrobé, puis enlevé	Cylindrage au pneu

A l'issue des trois dernières manipulations, le pourcentage de surface restée enrobée est quantifié. Dans l'état actuel des connaissances, les spécifications suivantes sont suggérées :

Tableau 3 – Spécifications de qualité d'enrobage suggérées

Type d'enrobé à froid	Minimum de surface enrobée à l'issue des manipulations (%)
Béton Bitumineux à froid dense	90
Béton Bitumineux à froid ouvert	90
Grave-bitume à froid	75
Grave-émulsion	60
Enrobé à froid stockable pour entretien	90

#### 4.5 - Compactabilité

Les études réalisées avec la Presse à Cisaillement Giratoire (PCG 1 ou 2 - type LCPC) réglée selon les modalités classiques pour EAC (0,6 MPa - 1° - 6 tours/min) apparaissent

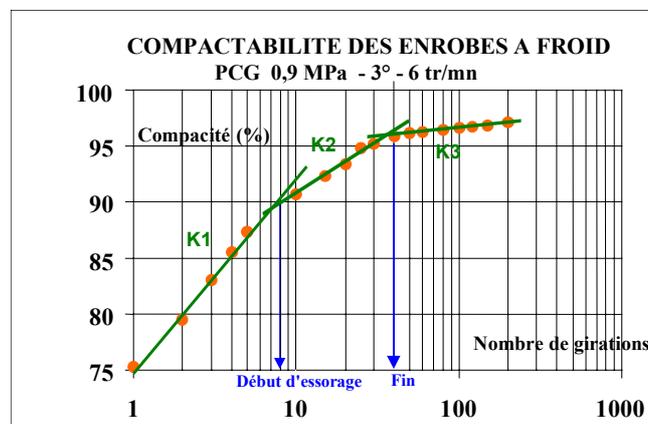
refléter essentiellement le comportement du squelette granulaire. Utilisée ainsi, la PCG est peu discriminante pour les diverses formulations d'enrobé à froid (Poirier, 2002).

Nos expérimentations ont conduit à retenir des paramètres de réglage différents :

- pression : 0,9 MPa - angle de giration : 3° - vitesse de rotation : 6 tours/min

Avec ces réglages, l'essai PCG renseigne beaucoup plus. La courbe de densification (idéalisée sur la figure 2) se décompose en 3 parties, assimilables à des droites. La première (pente K1) correspond à l'élimination de l'air. La compacité atteinte au point de changement de pente (intersection K1 - K2) est proche de celle que l'on peut escompter après un compactage de chantier bien mené. La deuxième (pente K2) correspond à l'expulsion d'eau. La troisième (pente K3) est très proche de l'horizontale. La compacité atteinte à l'intersection K2-K3 est approximativement celle que l'enrobé atteindra sous trafic à long terme.

Figure 2 - Courbe de densification selon la procédure PCG proposée



La PCG doit être équipée d'un dispositif d'essorage et de recueil de l'eau. On note le nombre de girations et la compacité au moment où l'eau commence à sortir; de même pour celui où elle cesse. Ces deux points sont normalement proches des deux points d'intersection K1 - K2 et K2 - K3 respectivement.

On peut espérer être en mesure de spécifier, à partir de cet essai, le niveau de compacité à atteindre à l'issue du compactage. Pour l'instant, les résultats disponibles sont trop peu nombreux pour fixer des chiffres. Par ailleurs, les recherches se poursuivent afin de déterminer comment d'autres types de PCG peuvent être utilisés dans la même optique.

## 5. - LA QUESTION DU MURISSEMENT

Les caractéristiques des EAF évoluant fortement au cours des premiers moments de leur vie, il est indispensable de définir une méthode de mûrissement en laboratoire, mûrissement qui doit être, à l'évidence, accéléré pour que les délais d'étude soient raisonnables.

Plusieurs procédures de mûrissement ont été évaluées; les conclusions (très résumées) sont les suivantes :

- A basse température (5°C), le matériau n'évolue quasiment pas.

- La pratique d'une température élevée (50°C) est très tentante pour accélérer le mûrissement. Nous ne l'avons toutefois pas retenue pour diverses raisons :

- a) Cette température ne règne pas dans la masse des couches de chaussée.
- b) Elle dépasse de beaucoup la température de ramollissement (Bille-Anneau) des bitumes couramment employés, d'où risque de remaniement.
- c) Elle engendre un dessèchement très rapide des éprouvettes, provoquant la fissuration des plus volumineuses.

- La cure des EAF pendant 14 jours à 18°C et 50% d'humidité relative (HR) correspond à quelques mois (2 à 6 environ) in situ ("état frais").

- Le mûrissement pendant 14 jours à 35°C et 20% HR amène le matériau dans un état voisin de celui évalué en place au bout de 1 à 4 ans sous climat tempéré. Nous proposons donc cette procédure pour simuler l'"état mature". Ce choix est étayé en particulier par le rapprochement fait entre les modules de rigidité mesurés en laboratoire et sur carottes prélevées en place (Serfass, 2003).

Nous avons vérifié que ce mûrissement accéléré amène le bitume dans le même état (non vieilli) que l'évolution en place, que la cinétique de départ de l'eau est réaliste et qu'aucune fissuration n'apparaît.

Nota :

1) Les procédures retenues ci-dessus correspondent aux pays à climat tempéré. Des climats différents (tropical, nordique, etc.) justifient des conditions de mûrissement accéléré différentes (à définir).

2) Ces procédures sont applicables aux enrobés à liant non fluxé (ou très peu). Pour les mélanges à liant fluxé émulsionné, il faut encore définir une procédure assurant le départ de l'essentiel du fluxant, puis le mûrissement. La recherche continue dans ce sens.

## 6. - SPECIFICATIONS PROPOSEES POUR LES ENROBES A L'ETAT FRAIS

Elles concernent les EAF à l'issue de leur cure de 14 jours à 18°C - 50% HR, ce qui correspond à la norme française actuelle. (D'autres pays pratiquent par exemple 23°C et une durée plus courte).

A ce stade, il s'agit simplement de vérifier que l'EAF a atteint une stabilité convenable et de reconnaître une "catégorie" d'enrobé. L'essai le plus facile est celui de compression simple. Une méthode éprouvée est d'opérer sur spécimens cylindriques, moulés statiquement. La méthode dite "Duriez" convient bien, mais à condition de mouler sous une pression réduite (trois fois moindre que selon la norme actuelle), ceci pour atteindre des niveaux de compacité réalistes, en ligne avec les mesures sur chantiers (Serfass, 2002).

Dans ces conditions, on peut définir des classes de résistance "à sec"  $R_f$ , par exemple :

Grave-émulsion :  $R_f$  14 jours - 18°C  $\geq$  1    1,5    2    .....    4 MPa (écrasement à 18°C)

Le choix des classes dépend des conditions locales.

La tenue à l'eau est évaluée en mesurant la résistance  $r_f$  après 7 jours à l'air, puis 7 jours d'immersion à 18°C et en calculant le rapport  $r_f/R_f$ . L'expérience acquise peut se traduire par les exigences suivantes :

- Grave-émulsion	$r_f/R_f$	$\geq 0,55$
- Grave-bitume à froid		$\geq 0,7$
- Béton bitumineux à froid ouvert		$\geq 0,75$
- Béton bitumineux à froid dense		$\geq 0,75$

Certains pays utilisent la résistance en traction par fendage. Rien n'empêche de caractériser selon les mêmes principes avec ce type d'essai. Les conditions de cure sont à adapter au climat local.

## 7. - SPECIFICATIONS PROPOSEES POUR LES ENROBES A L'ETAT MATURE

Rappelons que le mûrissement choisi pour les zones tempérées est 14 jours à 35°C et 20% d'humidité relative.

### 7.1 - Stabilité mécanique et sensibilité à l'eau

La démarche consiste à mesurer (les écrasements étant effectués à 18°C) :

- la résistance en compression simple "à sec" après 14 jours à 35°C - 20% HR :  $R_m$
- la résistance après mûrissement (14 j - 35°C - 20% HR) puis immersion (7 j - eau à 18°C) :  $r_m$
- le rapport  $r_m/R_m$

Les classes et les valeurs-seuils seront définies au fur et à mesure de l'acquisition de résultats.

### 7.2 - Résistance à l'orniérage

La procédure consiste à fabriquer la plaque d'EAF à température "ambiante" (18 à 25°C). Le lendemain, elle subit un post-compactage qui simule la densification au jeune âge observée sur les routes, atteignant ainsi un niveau de compacité voisin de celui du matériau mûri en place. La plaque est ensuite conservée 14 jours à 35°C - 20% HR.

L'essai à l'orniéreur se pratique ensuite comme pour les enrobés à chaud, à 60°C, sur plaques de 5 ou 10 cm. Les résultats disponibles à ce jour montrent que :

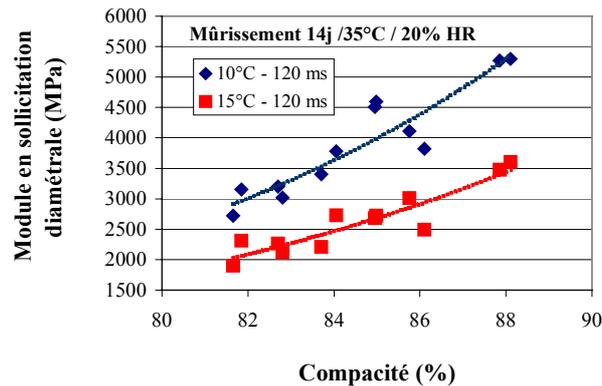
- L'orniérage résulte essentiellement de post-compactage sous la roue.
- Pour les graves-émulsion au 70/100, la limite de 10% d'ornière sur plaque de 10 cm après 10 000 cycles à 60°C semble réaliste.
- Pour les bétons bitumineux à froid denses, en couche mince, on devrait pouvoir appliquer des spécifications analogues à celles de BB à chaud minces, en limitant l'ornière sur plaque de 5 cm à 15% après 3 000 (trafic léger), 10 000 (moyen) ou 30 000 cycles (trafic lourd).

### 7.3 - Modules de rigidité

Ils peuvent être commodément mesurés en traction indirecte (TID) par impulsions diamétrales sur éprouvettes cylindriques. Ils peuvent aussi être traduits ou mesurés en traction directe statique (TD) à la MAER, car une bonne corrélation entre les deux essais a été établie (Carbonneau, 2003).

Des études poussées ont été menées, qui ont abouti en particulier au choix de la procédure de mûrissement. Elles incluent l'évaluation de l'influence de divers paramètres. La figure 3 illustre celle de la compacité, qui, on peut le voir, est primordiale.

Figure 3 - Influence de la compacité sur le module d'une grave-émulsion 0/14



Les résultats disponibles à ce jour montrent qu'on peut normalement escompter les performances suivantes après mûrissement 14 jours à 35°C - 20% HR :

- Graves-émulsion structurantes (base ou rechargement) :

- . 0/10 ou 0/14 mm - Teneur en bitume : 4,0 à 4,7 ppc
- . Module mesuré en TID (10°C - 120 ms) ou en TD (10°C - 0,02 s) :
 

avec bitume de départ 70/100	3 000 à 5 000 MPa
avec bitume de départ 160/220	2 500 à 4 000 MPa

pour des compacités allant de 85 à 92%.

- Bétons bitumineux à froid 0/10 mm - Teneur en bitume : 5,0 à 5,6 ppc

- . Module à 10°C - 120 ms ou 10°C - 0,02 s      3 700 à 5 500 MPa  
pour des compacités de 87 à 92%.

Vu l'importance fondamentale de la compacité sur le module, il est indispensable de connaître la compacité en place prévisible, afin de mouler les corps d'épreuve à une compacité proche.

Selon ces principes, des spécifications de compacité de module pourront être adaptées aux contextes locaux.

## 8. - QUID DES PROPRIETES A LONG TERME?

Les suivis en place montrent que, à partir du moment où un EAF a atteint son état mature, il commence à se comporter pratiquement comme un EAC. A partir de cette étape, il

développe une forte cohésion, continue de se consolider (mais très lentement) et commence à être affecté par les mêmes phénomènes de vieillissement que l'EAC.

Il ne nous semble pas nécessaire de définir des spécifications relatives aux enrobés à froid à l'état vieilli. Ceci ne se fait d'ailleurs pas pour les enrobés à chaud.

Toutefois, dès lors que l'on fait participer un EAF, devenu fortement lié, au fonctionnement d'une structure de chaussée, il y a lieu de se préoccuper de sa tenue en fatigue. Les premières expérimentations ont prouvé la possibilité de tester la tenue en fatigue d'enrobés à froid bien mûris et consolidés. Il reste à accumuler des résultats et à les confronter aux constatations de comportement in situ.

## 9. - CONCLUSION

Les enrobés à froid restent encore souvent une affaire de motivation et d'expérience locales. Plusieurs aspects de leur comportement sont encore imparfaitement connus.

Mais ils présentent des avantages certains, sur le plan technique et, surtout, de l'environnement. Ils sont donc promis à un développement important. L'adoption d'une méthode d'étude universelle favorisera leur développement. Elle devrait aussi aider à la définition de spécifications performantielles adaptées aux divers contextes locaux.

## 10. - REFERENCES

Carbonneau, X (avril 2003) Evaluation de l'essai de module en sollicitation diamétrale. 6<sup>ème</sup> Symposium international RILEM.

Poirier J.E. ( mars 2002) Enrobés à froid : aptitude au compactage. Revue Générale des Routes et des Aérodrômes (R.G.R.A.), N° 804.

Serfass J.P. (janvier 2002) Avantages, particularités et mystères des enrobés à l'émulsion. R.G.R.A., N° 802.

Serfass J.P. (septembre 2002) Enrobés à l'émulsion : particularités et nouvelle méthode d'étude. 3<sup>ème</sup> Congrès Mondial de l'Emulsion.

Serfass J.P. (avril 2003) Influence du mûrissement sur les performances des enrobés à froid. 6<sup>ème</sup> Symposium international RILEM.