

# EVALUATION DES PERFORMANCES DES ENROBES COULES A FROID A BASE D'AGREGATS D'ENROBES

F. DELFOSSE

EUROVIA MANAGEMENT, Centre de Recherche, France

[frederic.delfosse@eurovia.com](mailto:frederic.delfosse@eurovia.com)

JE. URBAIN

EUROVIA MANAGEMENT, Direction Technique, France

[jean-etienne.urbain@eurovia.com](mailto:jean-etienne.urbain@eurovia.com)

## RESUME

Dans le cadre de la préservation des ressources naturelles et de la valorisation des déchets, de nombreux procédés ont été développés ces dernières années à base d'agrégats d'enrobés.

Cet article porte sur la valorisation des agrégats d'enrobés dans la formulation des enrobés coulés à froid (ECF).

Le projet a été lancé en 1998. En 2001, une charte Innovation a été signée pour développer et caractériser ce procédé. Deux chantiers ont été suivis.

Le premier en septembre 2002 sur la Nationale 11 près de Poitiers et le second en juillet 2004 sur le Pont Scorff en Bretagne (RD6).

Ces chantiers ont été réalisés avec une teneur en agrégats d'enrobés de 70 à 80 % dans des conditions de trafic et des configurations (zones ombragées, virage...) très différentes.

Cet article résume les essais de laboratoire et l'évaluation des performances des enrobés coulés à froid sur chantier jusqu'à 5 ans après la mise en œuvre.

Le comportement général des ECF à base d'agrégats d'enrobés est très satisfaisant et comparable aux ECF de référence à base de granulats au niveau des propriétés de surface : macro texture, adhérence.

## 1. INTRODUCTION

La prise en compte de l'épuisement des ressources naturelles non renouvelables (bitume...), la valorisation des anciennes chaussées...ont amené la profession routière à proposer des solutions pratiques, innovantes et économiquement acceptables en accord avec les objectifs de développement.

L'amélioration des étapes de récupération, de stockage, de concassage et de criblage d'un enrobé recyclé permettent de garantir actuellement des approvisionnements homogènes et fiables des matériaux de construction routiers.

Des premiers essais ont été réalisés en 1998 pour valider l'incorporation d'agrégats d'enrobés dans les ECF. En 2001, une charte Innovation a été signée avec l'administration française afin de mettre en œuvre et d'évaluer le procédé. Deux chantiers ont été réalisés : RN 11 (86 – Poitiers) et RD 6 (56 – Pont de Scorff).

Ce document résume les tests de laboratoire et l'évaluation des performances des enrobés coulés à froid sur ces chantiers après 3 ans pour la RD6 et après 5 ans pour la RN11.

## 1.1. Etudes en Laboratoire

Les tests utilisés pour le développement des formules des ECF sont :

- Le temps de maniabilité. Cet essai évalue la compatibilité entre les agrégats d'enrobés, l'émulsion et les additifs. Ce test est utilisé pour déterminer les proportions optimales des différents ingrédients afin d'obtenir un temps minimal de fluidité.
- Le temps de rupture. Cet essai définit le temps pour lequel la totalité de l'émulsion a rompu sur les granulats. Une feuille de buvard est appliquée sur un échantillon d'ECF sous une pression de 0.2 MPa. Le temps de rupture correspond au temps pour lequel la couleur de l'eau absorbée est claire.
- Le test de cohésion (NF EN 12274-4). Cet essai est réalisé avec un cohésivimètre Benedict. Ce test évalue la cinétique de montée en cohésion de l'ECF, avec des mesures réalisées à différents temps de mûrissement. La cohésion minimum considérée pour ouvrir au trafic est prise à 20 kg/cm. Le temps d'obtention de cette valeur doit être < 30 minutes.
- Le WTAT (Wet Track Abrasion Test) modifié. Ce test évalue l'influence des conditions de mûrissement (température, humidité) sur les propriétés mécaniques au jeune âge. Comparativement à l'essai normalisé ASTM D3910, le mode opératoire de cet essai peut être réalisé à trois températures différentes (10, 18 ou 30 °C) et à deux niveaux d'hygrométrie (55 et 100%). Des spécifications internes corrélées avec le chantier nous permettent de différencier et valider les formules.

Tableau 1 - Spécifications Eurovia

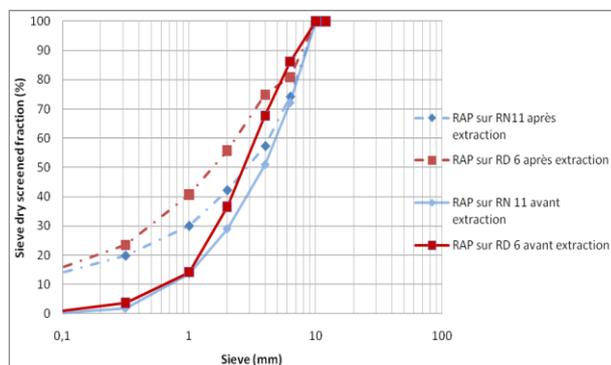
	Spécifications Internes
Temps de maniabilité (s)	<b>&gt; 90 s</b>
Temps de rupture (min)	<b>&lt; 20 min</b>
Temps de cohésion (min) : 20 kg.cm	<b>&lt; 30 min</b>
WTAT	
% perte (18°C, 55 %)	<b>&lt; 5 %</b>
% perte (18°C, 100 %)	<b>&lt; 25 %</b>

## 1.2. Résultats de laboratoire

### 1.2.1. Analyse des agrégats d'enrobés (RAP)

Tableau 2 - RAP Analyse du bitume provenant des Agrégats d'enrobés

	RAP sur RN 11	RAP sur RD 6
- Teneur en bitume	5.8 ppc	5.6 ppc
Caractéristiques du bitume :		
- Pénétrabilité (NF EN 1426)	16 1/10 mm	33 1/10 mm
- Température bille et anneau (NF EN 1427)	65.6 °C	55.8 °C



Graphique 1 : RAP Courbes granulométriques

### 1.2.2. Etudes des ECF

Pour ces deux études, l'émulsion est à base de bitume polymère (60%) : Emulvia Grip P. La teneur en émulsifiant dans ces deux émulsions a été adaptée afin d'obtenir 90 s de temps de maniabilité à 25°C.

Les principaux résultats sont présentés dans le tableau 3. L'impact additionnel de granulats vierges (0/2, 4/ ou 4/6) sur les caractéristiques de l'ECF a été évalué.

**Tableau 3 : Résultats de laboratoire**

Etude de formulation	80% RAP RD 6 + 20% 0/2 de carrière Guiligomarc'h	80% RAP RD 6 + 20% 4/6 de carrière Guiligomarc'h	80% RAP RD 6 + 20% 0/6 de carrière Guiligomarc'h	80% RAP RN11 + 20% 0/2 de carrière Mazières	80% RAP RN11 + 20% 4/6 de carrière Mazières
Teneur en eau	10 ppc	9 ppc	10 ppc	10 ppc	9 ppc
Teneur en émulsion	8 ppc	8 ppc	8 ppc	8 ppc	8 ppc
Teneur en chaux	0.5 ppc	0.5 ppc	0.5 ppc	0.5 ppc	0.5 ppc
Fibres	0.1 ppc	0.1 ppc	0.1 ppc	0.1 ppc	0.1 ppc
Temps de maniabilité	90 s	100 s	90 s	90 s	100 s
Temps de rupture	10 min	10 min	10 min	15 min	10 min
Test de cohésion: - 20 min.	20 kg.cm	17 kg.cm	20 kg.cm	20 kg.cm	20 kg.cm
- 30 min.	22 kg.cm	20 kg.cm	21 kg.cm	21 kg.cm	22 kg.cm
- 60 min.	23 kg.cm	21 kg.cm	22 kg.cm	23 kg.cm	24 kg.cm
Temps de cohésion	20 min.	30 min.	20 min.	20 min.	20 min.
Test WTAT :					
- 18°C, 55% humidité	<1	<1	<1	1	1
- 18°C, 100% humidité	5	7	4	6	5

### 1.2.3. Conclusions

Des résultats mécaniques similaires sont obtenus en laboratoire entre un ECF à base de granulats « vierges » et un ECF contenant 80 % d'agrégats d'enrobés + 20 % de granulats « vierges ».

L'ajout de 20% de sable pourrait améliorer la montée en cohésion au détriment des propriétés de surface (macrotecture...). Pour assurer de bonnes caractéristiques de surface, les formules suivantes ont été retenues pour les chantiers (tableau 4) :

**Tableau 4 : Formules finales**

Chantiers	RN 11		RD 6	
	80% RAP + 20 % 4/6	0/8 (référence)	70% RAP + 30 % 4/6 *	0/6 d (référence)
Teneur en eau	10 ppc	10 ppc	10 ppc	10 ppc
Teneur en chaux	0.5 ppc	0.5 ppc	0.5 ppc	0,5 ppc
Fibres	0.1 ppc	0.1 ppc	0.1 ppc	0,1 ppc
Teneur en émulsion	8 ppc	11,2 ppc	8 ppc	11,4 ppc

\*une légère modification a été faite sur le chantier (de 80/20 à 70/30) pour prendre en compte les variations de granulométrie.

Les variations de température observées le jour de la mise en œuvre nous ont conduit à ajouter un additif pour ajuster le temps de maniabilité. La quantité maximale de cet additif est de 0.5 ppc/agrégats.

## 2. CHANTIERS

### 2.1. RN 11

Les travaux ont été effectués le 10 septembre 2002 au sud de Poitiers (86) sur un trafic T1 (= 500 véhicules lourds par jour).

Le RAP a été homogénéisé avant d'être utilisé. Une granulométrie de 0/8 mm avait été obtenue par une procédure spécifique de concassage.

20 % des 4/6 d'agréats vierges des carrières Mazières ont été mélangés avec ces agrégats d'enrobés.

La fabrication et la mise en œuvre de l'ECF ont été réalisés avec des machines ordinaires équipées d'un système spécifique afin d'éviter l'agglomération des agrégats d'enrobés dans la trémie. Cette modification consiste à l'incorporation d'un système mécanique de « brassage » (photo 1).

Le jour de la mise en œuvre la température de l'air était de 22°C et une surface totale de 3500 m<sup>2</sup> a été répandue (500 m \* 7 m). Le 02/09/2010, un ECF 0/8 de référence a été mis en œuvre : ECF 0/8 avec les granulats de la carrière Mazières.

En comparaison, nous n'avons pas observé de différence de temps de rupture mais une légère baisse de cohésion avec la formule contenant des agrégats d'enrobés. L'utilisation d'un compacteur à pneus (2 passes) pour expulser l'eau de l'ECF a permis d'améliorer les performances mécaniques.

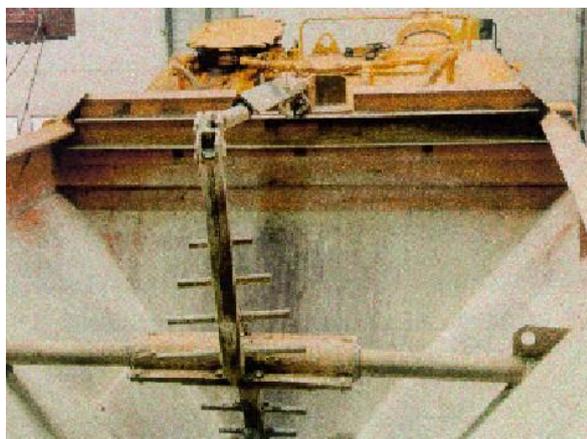


Photo 1 - Système de brassage



Photo 2 - Mise en œuvre d'ECF

### 2.2. RD 6

Les travaux ont eu lieu le 7 juin 2004 entre Quévin et Pont Scorff (56) sur un trafic T2 (= 250 véhicules lourds par jour). Comme pour l'autre chantier, l'agrégat d'enrobé a été concassé et homogénéisé pour obtenir une granularité de 0/8. La même machine a été utilisée. Durant la mise en œuvre, la température de l'air était de 22 °C. Le jour suivant un ECF 0/6 d de référence a été mis en oeuvre avec des granulats de la carrière Guilligomarc'h (granite). Les dosages étaient compris entre 10 et 11.6 kg/m<sup>2</sup> (sans eau)

pour la formule à base d'agrégats d'enrobés et entre 11.2 et 11.5 kg/m<sup>2</sup> pour la formule de référence.

Le même phénomène de cohésion a été observé sur ce chantier.

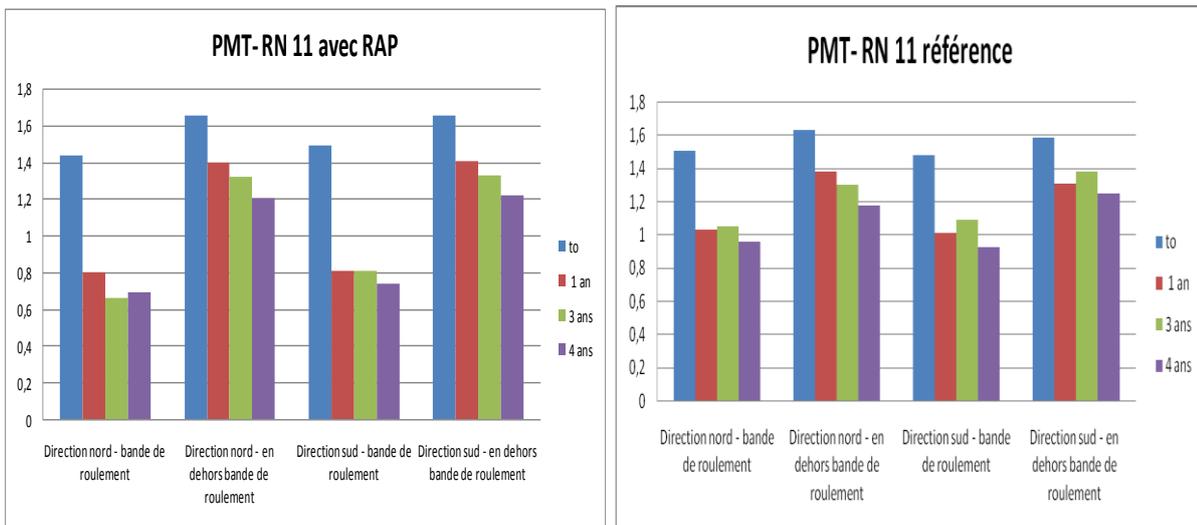
### 2.3. Evaluation des chantiers

Ces deux chantiers ont été évalués par l'administration par les tests suivants : évaluations visuelles, macro texture : hauteur au sable (PMT), coefficient de frottement longitudinale à trois vitesses différentes : 40, 60 et 80 ou 90 km/h suivant le lieu.

### 2.4. Résultats

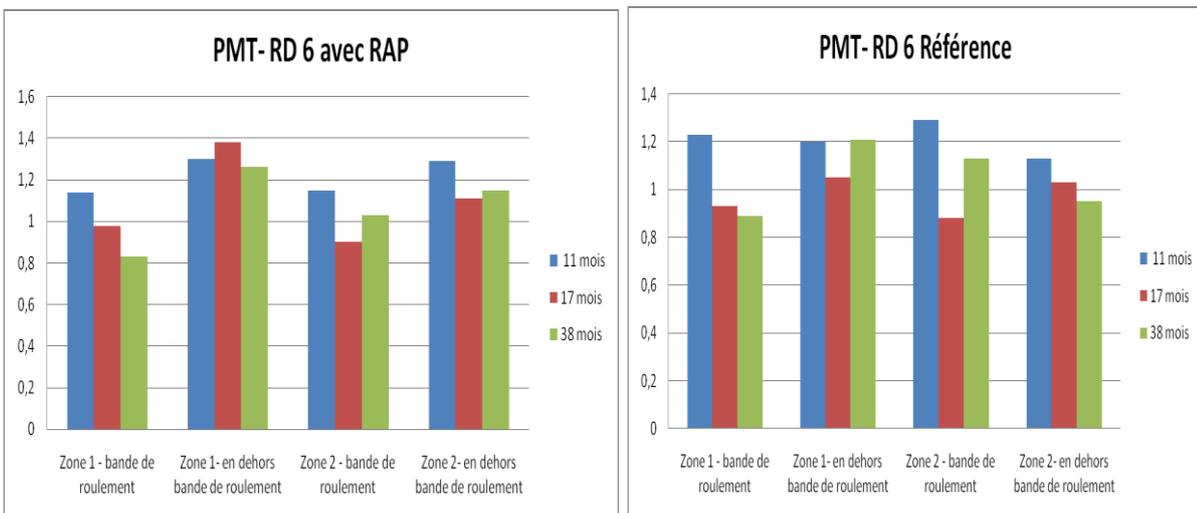
#### 2.4.1. Evolution de la PMT

#### RN 11:



Graphiques 2 et 3 - Evolution de la PMT sur la RN 11

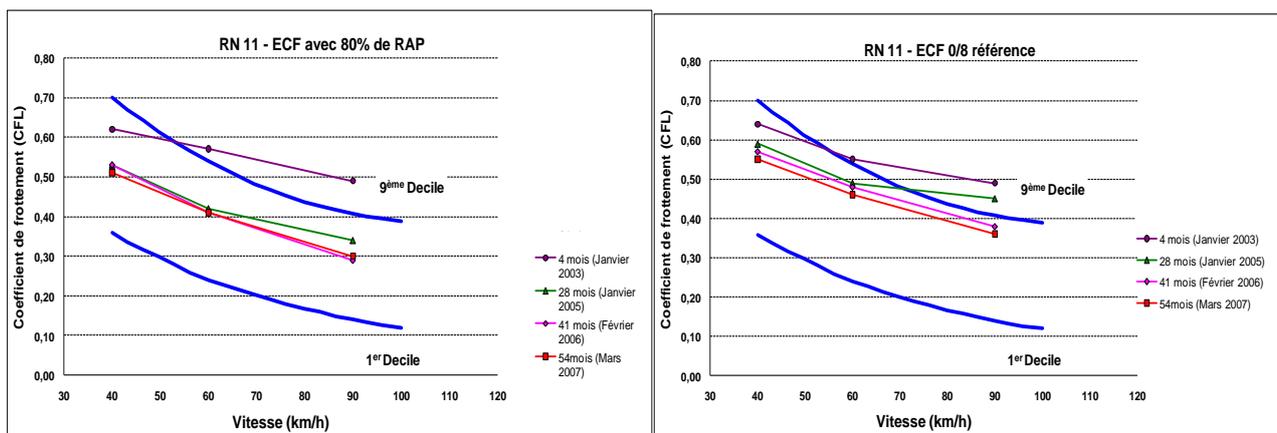
#### RD 6:



Graphiques 4 et 5 - Evolution de la PMT sur la RD 6

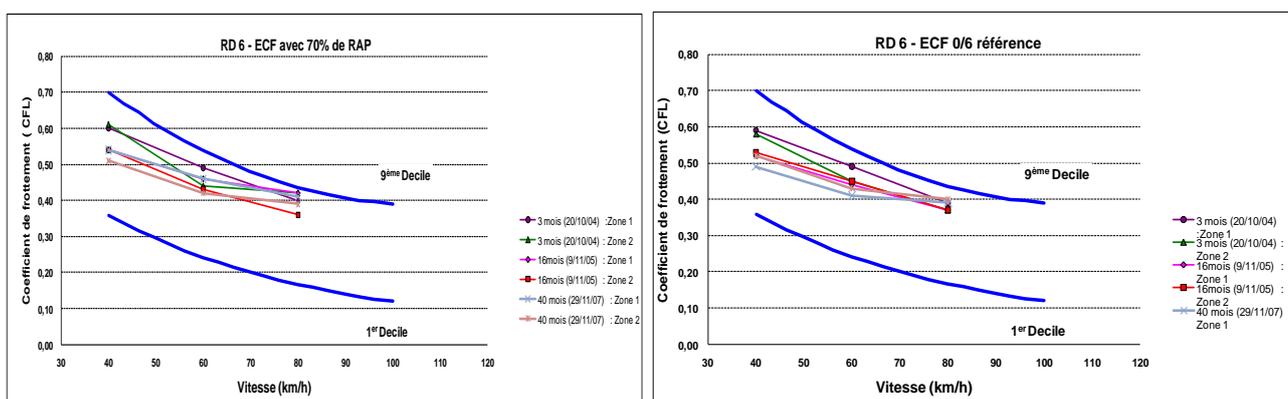
## 2.4.2. Evolution du coefficient de frottement (CFL)

### RN 11:



Graphiques 6 et 7 - évolution CFL pour la RN 11

### RD 6:



Graphiques 8 et 9 - Evolution CFL pour la RD 6

## 2.4.3. Commentaires

### R 11

Après 5 ans, le profil transversal entre les deux formules est proche. Un phénomène d'orniérage a été observé avec la formule à base d'agrégats d'enrobés sur quelques zones dans les bandes de roulement. La macrotexture (graphiques 2 et 3) de l'ECF à base d'agrégats d'enrobés est plus faible dans les bandes de roulement. Après 4 ans la PMT de l'ECF dans les bandes de roulement est d'environ 0.7 contre 0.9 pour la formule de référence. Il est intéressant de noter que la PMT évolue vite au jeune âge pour se stabiliser après 1 an.

Les résultats de coefficient de frottement longitudinal sont très satisfaisants. La référence présente une adhérence légèrement supérieure : + 4 à + 6 points à 40 km/h et 9 à 10 points à 90 km/h.

Nous observons une évolution durant les premières années pour les deux formules avant une stabilisation après 3 ans.

## RD 6

Le comportement général de l'ECF avec des agrégats d'enrobés est similaire à la formule de référence et il est généralement satisfaisant sur les points suivants :

- Macrotecture
- Adhérence de la chaussée : Après 3 ans, les valeurs de CFL sont légèrement meilleures avec la formule avec de l'agrégat d'enrobé.
- L'aspect en surface : La formule à base d'agrégats d'enrobés présente moins de phénomène de ressuage. Cette observation doit être liée en partie à la différence de granulométrie avec la référence de la formule (0/6d).

Il est important de noter que pour les deux formules, dans une des zones, après 3 ans il y a une réduction de la macrotecture de 0.3 environ dans la zone des bandes de roulement. Dans les autres zones, cette réduction est plus uniforme. Dans la zone des bandes de roulement et en dehors, une diminution de 0.12 à 0.18 est mesurée pour les deux formules.

Quelques défauts ont été observés sur les deux formules : Fissures et ressuage.

## **3. CONCLUSION**

Ces expériences ont montré qu'il était important, avant d'utiliser un agrégat d'enrobé, de procéder à des étapes de concassage, de criblage et d'homogénéisation afin d'obtenir un matériau homogène.

L'ajout de granulats « vierges » dans de l'enrobé coulé à froid contenant des agrégats d'enrobés permet de répondre aux caractéristiques de surface demandées. Un compromis doit être trouvé pour améliorer le développement de la cinétique de montée en cohésion au jeune âge et les propriétés de la surface. L'ajout d'un 0/6 semble être un bon compromis en accord avec le trafic et les conditions de mise en œuvre (avec une teneur en fines < 4%).

Le comportement général des enrobés coulés à froid (macrotecture, adhérence, aspect de surface) contenant des agrégats d'enrobés (entre 70 et 80 %) est très satisfaisant en comparaison avec des enrobés coulés à froid à base de 100 % d'agrégats vierges après plus de 4 ans de service sur la chaussée.