



MUlti-Recyclage des Enrobés tièdes

Synthèse de la tranche 1

Décembre 2016



Convention de subvention N° 13 MGC S 008

Site internet : www.pnmure.fr

Plateforme collaborative : www.omnispace.fr/pnmure

Président : Philippe REDOULEZ

Directeur : Jean-Eric POIRIER

Directeur adjoint : Christine LEROY

Gestion administrative et financière : IREX (www.irex.asso.fr), 9 rue de Berri 75008 PARIS, contact@irex.asso.fr

Sommaire

Sommaire	2
1 Résumé / Abstract.....	3
2 Introduction	5
3 Thème 1 – Procédé de vieillissement accéléré.....	6
3.1 Spectroscopie Infrarouge : Protocole expérimental de préparation des échantillons et calcul des indices de vieillissement	7
3.2 Expérimentation de vieillissement industriel en tambour de recyclage.....	7
3.3 Expérimentation de vieillissement accéléré avec machine de thermo-régénération	8
3.4 Méthode retenue pour les chantiers	9
4 Thème 2 – Stock d’agrégats d’enrobés AEO	9
5 Thème 3 – Chantiers expérimentaux.....	10
5.1 Principe des chantiers expérimentaux	10
5.2 Chantiers réalisés à 40% d’agrégats d’enrobés.....	11
5.3 Chantiers expérimentaux à 70% d’agrégats d’enrobés.....	14
5.4 Chantier expérimental avec une technique basée sur l’emploi d’un additif de régénération	14
5.5 Etude paramétrique sur le rabotage	15
6 Thème 4 – Caractérisation des agrégats d’enrobés.....	16
7 Thème 5 – Caractérisation des enrobés.....	16
7.1 Procédure de fabrication des enrobés	16
7.2 Essais réalisés.....	17
7.3 Essais avancés Improvmure.....	18
8 Thème 7 – Durabilité	18
9 Thème 8 – Aspects sanitaires et environnementaux.....	19
10 Thème 9 – Eco-logiciels.....	19
11 Thème 11 – Valorisation	20

1 Résumé / Abstract

Résumé

Le Projet National MURE (Multi-recyclage des enrobés tièdes - www.pnmure.fr) est un projet de recherche collaborative, prévu sur 4 ans à partir de 2014, qui rassemble 33 organismes ayant des activités liées à la conception, la construction et la gestion d'infrastructures routières. Il a pour objectif de lever les verrous techniques, scientifiques, matériels, sanitaires et environnementaux liés à la pratique conjointe du recyclage, du recyclage multiple et de l'abaissement des températures de fabrication des enrobés. Pour y parvenir le travail a été décomposé en différentes tâches. Certaines sont financées dans le cadre du Projet National MURE soutenu par le MEEM¹ ; d'autres, qui visent à répondre aux questions scientifiques le sont dans le cadre du projet IMPROVMURE² soutenu par l'ANR³. La première tranche du projet national MURE s'est déroulée de mars 2014 à septembre 2016.

La réalisation de **chantiers expérimentaux**, ou démonstrateurs, constitue le cœur du projet dans la mesure où ils sont des objets d'observation et des sources d'échantillons à étudier pour valider les conclusions issues des travaux de laboratoire. Ils sont aussi une preuve objective et concrète de savoir-faire. Ces chantiers expérimentaux reposent sur la mise au point préalable d'une **procédure de vieillissement accéléré des agrégats d'enrobés à l'échelle industrielle**. Les travaux de la tranche 1 ont permis de montrer, à travers plusieurs expérimentations à grande échelle, que la méthode de vieillissement par thermo-régénération est une solution pertinente à l'échelle d'un chantier expérimental. Cette avancée repose également sur la mise au point, en début de projet, d'une méthode fiable et partagée d'analyse du vieillissement des liants au moyen de la spectroscopie infrarouge. Les opérations de vieillissement accéléré à l'échelle industrielle appliquées aux chantiers expérimentaux seront conduites lors de la tranche 2.

L'implication forte des maîtres d'ouvrages et des entreprises de travaux a permis la **réalisation de 5 phases de chantiers expérimentaux** en tranche 1, à partir de 3 techniques de fabrication des enrobés (chaud, tiède additifs, tiède mousse). Ces chantiers font l'objet d'investigations avancées sur les matériaux prélevés et d'un suivi dans le temps.

Les aspects environnementaux et sanitaires ont fait l'objet de deux études lors de la tranche 1. La première concerne le relargage de substances dans l'eau par les enrobés recyclés. Il a été montré que l'introduction de 40% d'agrégats d'enrobés dans la composition des enrobés testés, ou le mode de production de ces enrobés, **ne modifie pas de façon significative le comportement à la lixiviation**. La seconde concerne les méthodes d'extraction utilisées pour la caractérisation des agrégats d'enrobés. L'évaluation simplifiée du risque chimique a montré que la substitution des solvants chlorés était possible pour des opérations de nettoyage, en revanche, il n'existe pas à ce stade de solution alternative pour les opérations d'extraction.

L'influence des agrégats d'enrobés ou de l'abaissement des températures des enrobés lors d'une production est modélisée dans différents éco-logiciels utilisés par la profession. Les travaux engagés dans le PN MURE permettront de consolider la base de données d'entrée, d' étoffer l'analyse comparative et de quantifier les lois d'évolution paramétriques afin d'améliorer ces modèles. Une première **série de données** a été collectée en tranche 1 à **l'occasion des chantiers expérimentaux**.

¹ Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (<http://www.developpement-durable.gouv.fr/>)

² Innovation en Matériaux et PROCédés pour la Valorisation du Multi-Recyclage des Enrobés

³ Agence Nationale de la Recherche (<http://www.agence-nationale-recherche.fr/>)

Différentes actions de valorisation ont été menées, dont l'organisation d'une journée d'échanges sur le thème « Sensibilité à l'eau et adhésivité » le 12 octobre 2015 à Lyon, ou encore la publication de plusieurs articles techniques ou scientifiques.

Abstract

The National Project MURE (Multi-recycling of warm mixes - www.pnmure.fr) is a collaborative research project started in 2014. It is planned over four years, bringing together 33 organizations with activities related to the design, the construction and the management of road infrastructures. It aims to address technical, scientific, material, healthy and environmental issues related to the joint practice of recycling or multi-recycling with reduction of production temperatures of asphalt mixtures (warm mixes). To achieve this, the research programme has been decomposed into different tasks. Some of them are supported by the French Ministry of environment, energy and sea (MEEM) in the framework of the National Project MURE. Others, aiming to answer scientific questions, are supported by ANR (Agence National de la recherche) in the IMPROVMURE project. The first phase of the MURE project was conducted from March 2014 to September 2016.

The realization of experimental road sites, or demonstrators, constitutes the core of the project. They are observation subjects and sources of samples that allow to validate the conclusions resulting from laboratory work. They are also actual skill evidence. These experimental large-scale works are based on the development of an accelerated aging procedure, on an industrial scale, for reclaimed asphalt pavement. The work of phase 1 has shown, through several large-scale experiments, that the method of aging by thermo-regeneration is a relevant solution on the scale of an experimental site. This result is also based on the development, at the beginning of the project, of a reliable and shared method of binder aging analysis using infrared spectroscopy. The accelerated aging operations on an industrial scale applied to the experimental sites will be carried out during phase 2.

The strong involvement of owners and contractor companies led to the realization of 5 phases of experimental sites in phase 1, using 3 different techniques for asphalt mixes manufacturing (hot, warm with additives, warm with foam bitumen). These sites are studied with advanced investigations on the sampled materials, and they are also monitored.

Environmental and healthy aspects were the subject of two different studies in phase 1. The first deals with the release into water of dangerous substances from recycled mixes. It has been shown that the introduction of 40% of reclaimed asphalt pavement into the composition of the tested materials, or the method of production of these mixtures, does not significantly modify the leaching behaviour. The second deals with the extraction methods used for the characterization of reclaimed asphalt pavement. The simplified chemical risk assessment showed that substitution of chlorinated solvents was possible for cleaning operations. However, there is no alternative solution for extraction operations at this stage.

The influence of recycled materials or of the reduction of asphalt temperatures during a production is simulated in different commonly-used software solutions. The work carried out in the MURE project will consolidate the input database, improve comparative analysis and quantify parametric evolution laws in order to improve the models. A first series of data was collected in phase 1 during large-scale experimentations.

Dissemination actions were carried out, including the organization of an exchange day on the theme "water sensitivity and stripping" on the 12th of October 2015 in Lyon, and the publication of several technical or scientific papers.

2 Introduction

Ce rapport présente une synthèse des travaux de la première tranche du projet national MURE (Multi-recyclage des enrobés tièdes) qui s'est déroulée de mars 2014 à septembre 2016.

Le programme MURE est un projet de recherche et développement collaboratif, prévu sur 4 ans de 2014 à 2018, qui rassemble un grand nombre d'acteurs ayant des activités liées à la conception, la construction et la gestion d'infrastructures routières : maîtres d'ouvrages publics ou privés, entreprises de travaux, industries productrices de matières premières ou de composants de la construction, ingénieries, organismes de recherche, associations et fédérations professionnelles. Le budget global est de 4,7 M€ sur 4 ans dont une partie est financée dans le cadre du Projet National MURE (PN) soutenu par le Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer et l'autre dans le cadre du projet IMPROVMURE (Innovation en Matériaux et PROCédés pour la Valorisation du Multi-Recyclage des Enrobés) soutenu par l'ANR.

Le programme MURE vise principalement à répondre à deux questions :

- la première concerne la mise en œuvre conjointe du recyclage et de l'abaissement des températures de production des enrobés, les enrobés tièdes ;
- la seconde trouve son origine dans le fait que le recyclage concerne désormais des couches d'enrobés qui contiennent déjà des matériaux recyclés : combien de fois peut-on recycler sans altérer les performances d'usage des enrobés ?

Pour chacune de ces problématiques, sont pris en compte les aspects techniques, matériels, sanitaires, environnementaux, économiques, normatifs et réglementaires.

Une partie des réponses sera apportée par le projet ANR IMPROVMURE dont l'objectif principal est de qualifier la remobilisation du liant issu des matériaux recyclés à l'aide du liant d'apport et d'évaluer son impact sur la durabilité des enrobés.

MURE mobilise 33 partenaires :



- **8 entreprises de travaux** (ou syndicats/fédérations) : Colas, Eiffage Infrastructures, Eurovia, FNTF (Fédération Nationale des Travaux Publics), Malet, Roger Martin, Siorat, USIRF (Union des Syndicats de l'Industrie Routière de France)
- **8 industriels** (ou syndicats/fédérations) : Arizona Chemical, Cargill, Marini-Ermont, Ingevity, Labotech, Nynas, Total, UNPG
- **3 ingénieries** : Epsilon, Ingerop, Ginger CEBTP
- **5 organismes de recherche** : Cerema, ENTPE, ESITC Cachan, ESTP, Ifsttar
- **7 maîtres d'ouvrages** : ATMB, Cofiroute, Communauté d'agglomération du Muretain, Conseil Départemental du Puy de Dôme, DGITM (Direction Générale des Infrastructures, des Transports et de la Mer), Métropole de Lyon, SANEF
- **2 clusters** : INDURA et CEAHD

A côté de ces partenaires, on doit souligner le soutien ponctuel de sociétés qui par l'aide qu'elles apportent au projet en facilitent le déroulement. C'est le cas pour LafargeHolcim qui a fourni une partie des granulats naturels utilisés lors des chantiers expérimentaux.

Les actions du programme MURE sont structurées selon 11 thèmes (et groupes de travail associés) :

- GT1 - Procédé de vieillissement accéléré
- GT2 - Stock AEO
- GT3 - Chantiers Pilotes
- GT4 - Caractérisation des agrégats d'enrobés
- GT5 - Caractérisation des enrobés
- GT6 - Caractérisation de la fabrication des enrobés
- GT7 - Durabilité
- GT8 - Aspects sanitaires et environnementaux
- GT9 - Ecologiques
- GT10 - Acceptabilité socio-économique
- GT11 - Valorisation

Les résultats de la tranche 1 sont synthétisés dans le présent rapport pour chacun des sujets.

Le thème 6 « Caractérisation de la fabrication » n'a pas donné lieu à des actions de recherche en tranche 1.

Le thème 10 « Acceptabilité socio-économique » n'a pas été traité dans le cadre de la tranche 1.

3 Thème 1 – Procédé de vieillissement accéléré

Des procédures de vieillissement accéléré, praticables en laboratoire, ont été développées avant le projet national MURE pour pouvoir étudier la durabilité des enrobés. Le projet RE-ROAD a exploité en particulier la méthode proposée par la RILEM (Mouillet et al 2013, Mollenhauer et al 2013). RE-ROAD a confirmé que cette méthode produisait des enrobés vieillis de façon accélérée ; leurs propriétés étant très proches de celles d'enrobés vieillis naturellement. Les experts scientifiques du projet sont d'accord pour admettre que c'est ce que l'on peut faire de mieux, même si de nombreuses questions se posent encore quant à la représentativité des phénomènes mis en œuvre par cette méthode, en comparaison de ceux qui sont à l'œuvre dans un enrobé en situation réelle.

Pour caractériser le vieillissement d'un enrobé, et faire notamment la comparaison entre vieillissement naturel et artificiel, 2 types de critères ont été retenus par le PN MURE :

- le premier permet de suivre l'effet du vieillissement sur **la chimie des bitumes**. Il est obtenu en exploitant des spectres infrarouges (région à 1530 cm^{-1} , caractéristique des fonctions carbonyles, région comprise entre 1000 et 1105 cm^{-1} , caractéristique des sulfoxydes).
- le second relatif à la **rhéologie** (mesure de pénétrabilité et de la température bille et anneau et/ou mesure du module complexe en cisaillement) qualifie l'effet du vieillissement sur les propriétés viscoélastiques du bitume.

Le thème 1 s'est fixé deux objectifs en tranche 1 :

- la mise en place d'un protocole précis, fiable et partagé de mesure du vieillissement des liants par la méthode de spectroscopie infrarouge ;
- **la mise au point d'un procédé de vieillissement accéléré des enrobés bitumineux à l'échelle industrielle.** En effet, dans le cadre du PN MURE, la réalisation de chantiers expérimentaux constitue le cœur du projet. Ces chantiers constituent des objets d'observation et des sources d'échantillons à étudier pour valider les conclusions des travaux de laboratoire. Ils sont aussi une preuve objective et concrète de savoir-faire. La réalisation d'ouvrages permettant l'expérimentation du multi-recyclage d'agrégats d'enrobés dans un enrobé tiède a donc nécessité le développement d'une méthode de vieillissement accéléré applicable à plusieurs dizaines de tonnes d'enrobés.

3.1 Spectroscopie Infrarouge : Protocole expérimental de préparation des échantillons et calcul des indices de vieillissement

La validation d'une méthode de vieillissement accéléré des enrobés bitumineux sur site doit s'appuyer sur une méthode fiable et partagée d'analyse de vieillissement des liants. Un des premiers objectifs du thème 1 était donc de définir une méthode d'analyse du **vieillissement des liants bitumineux** au moyen de la **spectroscopie infrarouge (IR)**, **qui serait commune à l'ensemble des partenaires**. Cette méthode porte à la fois sur la procédure de préparation des échantillons, sur la façon de produire les spectres infra-rouge et sur la manière de quantifier des indicateurs de vieillissement. Les indices d'oxydation carbonyle (ICO) et sulfoxyde (ISO), caractéristiques de l'oxydation des liants, sont désormais calculés selon des bornes fixes ou via la méthode de vallée à vallée- *les deux options restent possibles, le choix sera fait en fin de projet de privilégier l'une plutôt que l'autre*. Ils sont déterminés avec le logiciel fourni avec l'appareil, ou à l'aide de la macro développée pour le PN.

La mise en place de cette méthode s'est appuyée au préalable sur la réalisation d'essais croisés portant sur la détermination par la méthode de spectroscopie infrarouge des indices ICO et ISO de bitumes à différents niveaux de vieillissement. Pour cela, 8 passages successifs à l'essai normalisé RTFOT (*Restrained Thin Film Oven Test*) ont été appliqués à un bitume 50/70. Les indices d'oxydation ont été déterminés sur le bitume avant vieillissement ainsi que sur les 8 bitumes aux différents états de vieillissement. Ces essais croisés ont permis de démontrer que les indices ICO et ISO mesurés sont dans les mêmes ordres de grandeur pour tous les partenaires qui ont réalisé les mesures.

La méthode retenue a fait l'objet d'un article et d'une présentation sous format poster à l'occasion du congrès Eurobitume & Eurasphalt à Prague, en juin 2016.

3.2 Expérimentation de vieillissement industriel en tambour de recyclage

Une première expérimentation visant à établir un procédé de vieillissement accéléré industriel s'est déroulée en Suisse, sur le site d'Ertec (Colas Genève) les 18 et 19 décembre 2013 dans le cadre du montage du projet national MURE. L'objectif de cette expérimentation était de reproduire les conditions de vieillissement obtenues en laboratoire avec la méthode RILEM, voire de simuler le vieillissement *in situ*. Pour cela, une installation d'enrobage avec un système de recyclage à chaud de type tambour parallèle a été utilisé ; elle permet de réchauffer les agrégats d'enrobés (AE) indépendamment des granulats naturels.

Le chantier a été exécuté par une équipe de l'entreprise Colas Suisse. Le protocole expérimental était le suivant :

- fabrication d'un enrobé bitumineux à chaud sans AE ;
- application de cet enrobé bitumineux en deux couches de 8 cm d'épaisseur ;
- une fois refroidi, la couche est rabotée ;

- le fraisât est introduit dans le tambour tiédisseur où il est chauffé aux alentours de 120 °C
- appliqué en couche de 12 cm, puis fraisé, il devient l'AE de première génération
- **ce cycle est répété encore deux fois.**

L'expérimentation a été complétée par un essai de vieillissement naturel sur couche foisonnée mince. Des échantillons ont été prélevés à chacune des étapes.

Le niveau d'évolution de matériaux vieillis artificiellement a été caractérisé en laboratoire. En se basant sur les résultats de consistance et le degré d'oxydation mesuré par spectroscopie infrarouge, il en est ressorti que ni l'expérimentation industrielle de la simulation du vieillissement en tambour tiédisseur ni la méthode de vieillissement par foisonnement ne permettent de produire des matériaux dont les propriétés seraient suffisamment proches de celles d'un agrégat d'enrobé représentatif d'un stock moyen.

Néanmoins, il est à noter que le vieillissement le plus poussé est obtenu après 30 jours de mûrissement / oxydation à l'air libre de la couche d'enrobés foisonnés, même si l'évolution reste relativement faible en comparaison de l'enrobé initial (76 % de pénétrabilité restante, 2,8°C d'accroissement de TBA, 1 % d'accroissement de carbonyles et 2,6 % d'accroissement de sulfoxydes).

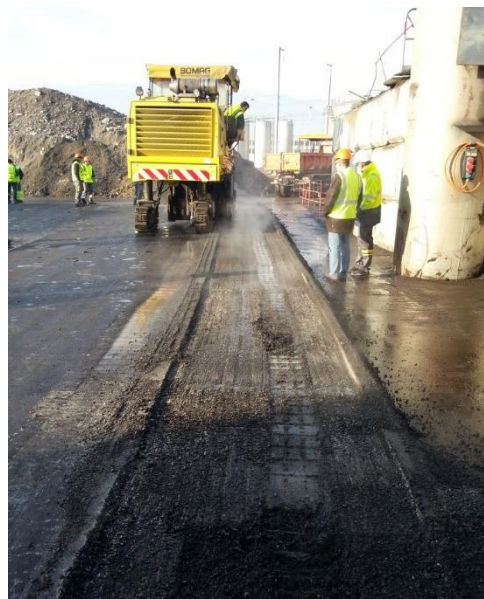


Figure 1. Expérimentation de vieillissement accéléré à grande échelle en centrale d'enrobage (décembre 2013)

3.3 Expérimentation de vieillissement accéléré avec machine de thermo-régénération

Une seconde expérimentation de vieillissement accéléré a été menée en février 2015 à Arnas (69) sur le site de l'installation d'enrobage SLE, en utilisant une machine de thermo-régénération de type réchauffeur de joint, composée de 3 panneaux de radiants alimentés par un brûleur au gaz d'une longueur de 5 mètres et d'une largeur de 80 cm. Un enrobé de type BBSG 0/10 a été préalablement appliqué sur une bande de 2m x 20m.

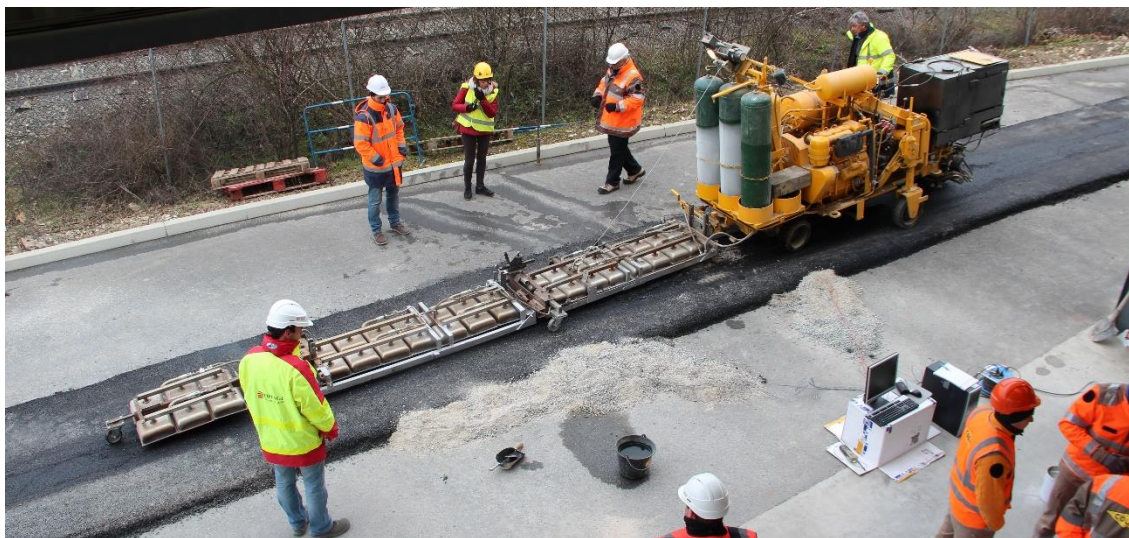


Figure 2. Expérimentation de vieillissement accéléré à grande échelle avec machine de thermo-régénération (février 2015)

Trois phases de dix passes (cinq aller-retour) ont été appliquées sur le BBSG 0/10 compacté. Une pause de 2h a été assurée entre chaque phase pour permettre le refroidissement. La structure a été instrumentée à l'aide de 8 jauges de températures pour obtenir le gradient des températures dans l'épaisseur de l'enrobé. Les températures relevées par des sondes à différentes épaisseurs de l'enrobé n'étaient pas très élevées, en particulier à cœur

En complément de ces essais, un enrobé foisonné composé de 20 % d'AE a été mis en œuvre sur site, puis vieilli via le dispositif de thermo-régénération (deux passages). Il a été constaté une montée en température beaucoup plus rapide, et la surface de l'enrobé a atteint des températures très élevées. Des échantillons de cet enrobé ont été prélevés et analysés. Il a été constaté que les propriétés du liant récupéré ont clairement évolué (péné = 15 à 13 1/10e mm, TBA = 74,4 à 78,8 °C). Après le premier passage de thermo, les indices carbonyle et sulfoxyde ont significativement augmenté.

Compte tenu des indicateurs de vieillissement retenus par le projet, **l'enrobé foisonné a été vieilli de manière satisfaisante par la machine de thermo-régénération**. Cependant, il paraît difficile d'appliquer ce dispositif dans les conditions de chantier pour les planches prévues par le projet en raison de sa faible dimension (5 m × 0,8 m) et de la vitesse appliquée. Le rendement apparaît trop faible. Il est donc nécessaire d'accéder à un **matériel à rendement supérieur** pour vieillir les enrobés dans les conditions des chantiers.

3.4 Méthode retenue pour les chantiers

Les travaux de la tranche 1 ont permis de montrer que la méthode de vieillissement par thermo-régénération peut être transposée à l'échelle du chantier (plusieurs dizaines de tonnes sont à vieillir).

Même s'il reste quelques incertitudes sur l'applicabilité de cette méthode dans les conditions des chantiers expérimentaux MURE, les ressources nécessaires ont en principe été identifiées ; il s'agit de la machine HM4500 fabriquée par la société Wirtgen.



Figure 3. Machine de thermo-régénération de type HM4500 (Wirtgen)

Les opérations de vieillissement accéléré à l'échelle industrielle appliquées aux chantiers expérimentaux seront conduites lors de la tranche 2, probablement au premier trimestre 2017.

4 Thème 2 – Stock d'agrégats d'enrobés AE0

Cette tâche consistait à constituer un lot d'agrégats d'enrobés, ayant subi un vieillissement « naturel », en quantité suffisante pour la réalisation des chantiers expérimentaux.

Une première ressource d'agrégats d'enrobés a été identifiée, homogénéisée, échantillonnée, caractérisée et stockée dans des conditions maîtrisées afin de préserver leurs propriétés. Ces agrégats d'enrobés ont été utilisés dans le cadre de trois chantiers expérimentaux réalisés en septembre 2015 :

- Chantier de Villeurbanne (69)
- Chantier de Ronno (69)
- Chantier de Moriat (63)

Compte tenu de la difficulté logistique et financière, ce premier lot d'agrégats d'enrobés n'a pas pu être utilisé pour les autres chantiers réalisés dans le cadre de la tranche 1.

Un deuxième lot fabriqué avec la même procédure a été utilisé pour le chantier de Portet-sur-Garonne (31).

Un troisième lot a été utilisé pour les deux chantiers réalisés sur le territoire du maître d'ouvrage ATMB (74).



Figure 4. Agrégats d'enrobés du projet national MURE

5 Thème 3 – Chantiers expérimentaux

Dans le cadre du PN MURE, la réalisation de chantiers expérimentaux constitue le cœur du projet. Ces chantiers constituent des objets d'observation et des sources d'échantillons à étudier pour valider les conclusions des travaux de laboratoire. Ils sont aussi une preuve objective et concrète de savoir-faire.

La première tranche du projet a permis le démarrage de 6 chantiers expérimentaux selon les modalités suivantes :

- 1 taux de recyclage (40%). La moitié du parc des centrales actuellement installées en France peut recycler aux alentours de 30 à 40%. Le deuxième taux de substitution sera appliqué en tranche 2 ;
- 3 techniques de fabrication des enrobés (à chaud, tiède mousse et tiède additif). Ces techniques sont accessibles à toutes les entreprises.

L'expérimentation *in situ* apportera au projet national MURE des connaissances relatives :

- à la validation des conclusions tirées des études de laboratoire par la comparaison entre les propriétés des enrobés confectionnés en laboratoire avec celles des enrobés produits industriellement sur chantier ;
- à l'applicabilité d'un procédé de vieillissement accéléré à l'échelle industrielle à des chantiers ;
- aux données qualifiées et quantifiées qui seront autant d'éléments de réponse aux questions de nature technique, environnementale et sanitaires posées par la problématique.

5.1 Principe des chantiers expérimentaux

Un chantier expérimental consiste en la réalisation d'une section de 2000 m² environ, idéalement 400 m de longueur sur 5 m de largeur. Cette section est homogène du point de vue des sollicitations de trafic auxquelles elle est exposée.

La section est constituée de 4 planches :

- ▶ une planche « E1 » dite « planche témoin » réalisée sans agrégat d'enrobés sur une surface de 500 m² environ ;

- ▶ une planche « E2 », 1500 m² environ, réalisée avec des enrobés contenant τ_{AE} (τ_{AE} = 40% ou 70%) d'agrégats d'enrobés (réalisation d'un 1er cycle d'entretien) ;
- ▶ une planche « E3 », 1000 m² environ, réalisée avec des enrobés contenant τ_{AE} (τ_{AE} = 40% ou 70%) d'agrégats d'enrobés issus du recyclage de la planche E2 ayant subi un vieillissement accéléré (simulation d'un 2ème cycle d'entretien) ;
- ▶ une planche « E4 », 500 m² environ, réalisée avec des enrobés contenant τ_{AE} (τ_{AE} = 40% ou 70%) d'agrégats d'enrobés issus du recyclage de la planche E3 ayant subi un vieillissement accéléré (3ème cycle d'entretien).

Le chantier expérimental représente ainsi 4 cycles de la vie d'une couche de chaussée : sa construction et 3 cycles d'entretien, c'est-à-dire, si l'on admet qu'un cycle dure en moyenne une dizaine d'année, environ 40 ans de service de la chaussée.

La réalisation des planches E1 et E2 (phase 1) ne pose pas de problème technique particulier. Elle est riche d'enseignements, en particulier à propos de la correspondance entre les propriétés des enrobés fabriqués en centrale et celles de ceux fabriqués en laboratoire.

La réalisation des planches E3 et E4 nécessite la méthode de vieillissement accéléré à l'échelle industrielle.

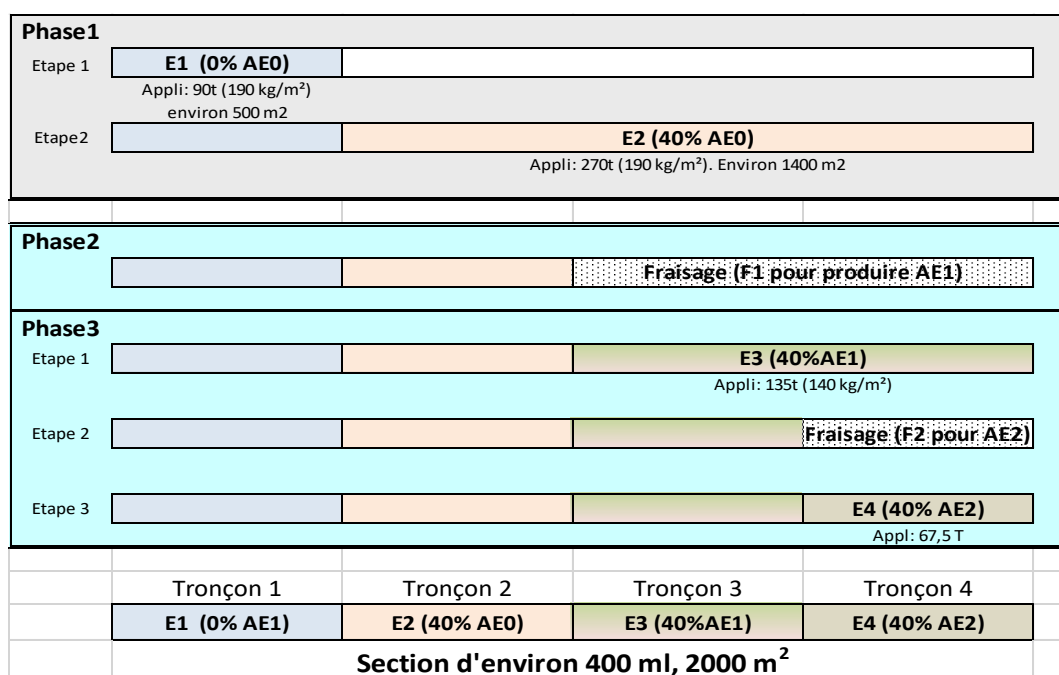


Figure 5. Schéma de principe d'un chantier expérimental MURE

5.2 Chantiers réalisés à 40% d'agrégats d'enrobés

Les 3 premiers chantiers à 40% d'AE ont été réalisés en septembre 2015. Compte tenu de la genèse du projet, les premiers maîtres d'ouvrage qui se sont portés volontaires pour des chantiers d'entretien à la disposition du projet national MURE sont situés en Région Rhône-Alpes Auvergne et membres du Cluster Indura.

Ces trois premiers chantiers sont illustrés ci-dessous :

Date : 15 septembre 2015
 Lieu : Villeurbanne (rue du Canal)
 Maître de l'ouvrage : **Métropole de Lyon**
 Entreprise de travaux : **Roger Martin**
 Centrale d'enrobage : SLE
 Procédé de fabrication des enrobés :
 tiède additif



Date : 16 septembre 2015
 Lieu : Ronno (69)
 Maître de l'ouvrage : **Département du Rhône**
 Entreprise de travaux : **Eiffage infrastructures**
 Centrale d'enrobage : SLE
 Procédé de fabrication des enrobés :
 chaud



Date : 17 septembre 2015
 Lieu : RD 909 à Moriat (63)
 Maître de l'ouvrage : **Département du Puy-de-Dôme**
 Entreprise de travaux : **Colas**
 Centrale d'enrobage : Pardines (69)
 Procédé de fabrication des enrobés :
 tiède mousse



Les phases 1 de ces 3 chantiers expérimentaux ont d'ores-et-déjà été menées à bien. Un montage vidéo a été réalisé par un professionnel à cette occasion, disponible sur ce lien :

<http://www.pnmure.fr/programme/chantiers-experimentaux/>

Chaque chantier fait l'objet d'un rapport détaillé contenant :

- ▶ les résultats des mesures et suivis en phase avant travaux (localisation, type de chaussée, diagnostics préalables) ;
- ▶ le suivi de la phase fabrication (caractéristiques des constituants et des produits mis en œuvre) ;
- ▶ le contrôle interne et extérieure de la mise en œuvre (conditions météorologiques, déroulement du chantier, contrôles de compacité, contrôle de la profondeur de macrotexture) ;
- ▶ le point zéro du suivi ultérieur (y compris carottages et prélèvement de plaques) ;

Les résultats acquis à l'occasion de ces chantiers sont en cours d'analyse, notamment dans le cadre du groupe de travail n°5 qui a coordonné une campagne expérimentale importante sur les enrobés de ces chantiers. Pour l'instant, les résultats constatés sont globalement satisfaisants. Par ailleurs, une bonne cohérence entre les résultats des matériaux fabriqués en laboratoire et ceux prélevés sur les chantiers semble se dessiner. Une analyse plus poussée sera disponible au cours de la tranche 2.

Des essais de maniabilité ont été réalisés sur enrobés fabriqués selon les différents protocoles de fabrication étudiés et selon plusieurs méthodes de mesure. Les essais réalisés présentent des résultats cohérents, avec une différence peu significative entre les deux procédés tièdes et un temps de maniabilité (durée d'usage pour le travail manuel) plus élevé avec les enrobés fabriqués à chaud. L'ajout des agrégats d'enrobés à hauteur de 40% réduit légèrement le temps de maniabilité.

Par ailleurs, la société Eurovia a mis à disposition du projet son expertise en matière de désenrobage séquencé. C'est une méthode de mesure qui donne accès au degré de mélange entre liant de l'agrégats d'enrobé et le liant d'apport. Le résultat des mesures permettra de porter un jugement factuel quant à l'influence que pourrait avoir la température de fabrication sur la qualité de mélange des liants.

Enfin, le comportement de enrobés mis en œuvre lors de ces chantiers fait l'objet d'un suivi par le Cerema, pendant la durée du projet et au-delà.

En août 2016, un quatrième chantier à 40% d'AE a été mis en œuvre sur la commune de Portet-sur-Garonne. Le maître d'ouvrage est la Communauté d'Agglomération du Muretain, partenaire du projet.

Le chantier a été conduit avec succès, de nuit, par l'entreprise Malet. Les enrobés bitumineux ont été produits par une centrale d'enrobage mobile (Ermont RF 500) installée à 10 km du chantier à partir d'un bitume d'ajout modifié aux polymères.

Outre les essais de caractérisation des matériaux et de suivi du chantier, des essais de maniabilité avec différentes techniques ont été réalisés lors de la mise en œuvre. Ils permettront de comparer les différents appareillages mais aussi les différentes procédures d'essais testées à cette occasion.



Figure 6. Chantier expérimental de Portet-sur-Garonne réalisé par l'entreprise Malet (16/08/2016)

De nombreux échantillons ont été prélevés à l'occasion de ces chantiers. Ils serviront notamment à établir la correspondance entre les propriétés des enrobés produits en laboratoire et celles des enrobés produits en centrale d'enrobage.

5.3 Chantiers expérimentaux à 70% d'agrégats d'enrobés

Les chantiers à 70% d'agrégats seront conduits dans le cadre de la tranche 2 du projet. Le maître d'ouvrage a été identifié (ATMB) ainsi que les sites d'accueil et les entreprises qui mettront en œuvre les enrobés.

Les chantiers sont programmés en octobre 2016.

5.4 Chantier expérimental avec une technique basée sur l'emploi d'un additif de régénération

Dans le cadre de la tranche 1 du PN MURE, un chantier permettant l'expérimentation d'une technique innovante de recyclage des matériaux de chaussée a également été mis en œuvre dans le Département de la Gironde. L'expérimentation consiste à employer un additif dit de « régénération » ou réjuvenant adapté au recyclage et au multi-recyclage d'agrégats d'enrobés dans un enrobé.

La réalisation d'un chantier basé sur cette technique n'avait pas été clairement identifiée lors de l'étude de montage. Compte tenu des développements récents aux niveaux national et international sur ce sujet ainsi que du retour d'expérience de certains pays, il est apparu utile et opportun de s'y intéresser et de conduire un chantier de démonstration. Il est à noter que plusieurs industriels fournisseurs de régénérants ont adhéré au PN MURE en 2016.

L'opération a été conduite par l'entreprise Sanz TP Médoc, sur la RD 1215E1 à 2x2 voies entre Verdon et Bordeaux, dont la gestion est assurée par le Conseil Départemental de la Gironde. Le chantier a été réalisé sur une section de 1200 mètres linéaires, représentant environ 1300 tonnes d'enrobés fabriqués avec la technique « tiède mousse ». Quatre planches d'environ 300 mètres linéaires chacune sont réalisées :

- ▶ une planche de référence en enrobé réalisée avec une formule ne contenant pas d'agrégats d'enrobés recyclés ;
- ▶ une planche d'enrobé avec un taux de recyclage conventionnel de 30% ;
- ▶ une planche d'enrobé recyclé fabriqué avec un taux de recyclage de 50%, en utilisant une méthode de formulation conventionnelle (loi des mélanges entre bitume des agrégats d'enrobés et bitume d'ajout de type « mou ») ;
- ▶ une planche d'enrobé recyclé avec le même taux de recyclage, en utilisant une formulation d'enrobé avec un additif de régénération et bitume d'ajout de même grade que pour un enrobé sans agrégats d'enrobés.



Figure 7. Chantier expérimental réalisé le 8 octobre 2016 sur le territoire du département de la Gironde (33)

Cette expérimentation *in situ* apportera au projet national MURE des connaissances relatives à l'utilisation d'une technique basée sur l'emploi d'un additif régénérant visant à améliorer la durabilité des enrobés recyclés. Cette technique encore peu utilisée est susceptible d'apporter une réponse aux questions du multi-recyclage des enrobés tièdes qui sont à l'origine du projet, et est par conséquent un enjeu majeur pour la profession.

Ce chantier est donc complémentaire aux autres chantiers expérimentaux basés sur les 3 cycles de recyclage.

5.5 Etude paramétrique sur le rabotage

La réalisation des cycles 2 et 3 de certains chantiers expérimentaux est programmée pour le deuxième trimestre 2017 (tranche 2). Les partenaires du projet ont souhaité mener une étude préalable permettant de définir une méthode pour optimiser l'élaboration des agrégats d'enrobés utilisés sur les planches 3 et 4. Il s'agit en fait de d'apprécier la nécessité ou non de concasser et/ou cribler les fraisâts avant le passage aux étapes de vieillissement et d'enrobage. Pour cela, une expérimentation sur chantier réel a été mise en œuvre : les fraisâts et l'état du support obtenus ont été qualifiés directement après rabotage en fonction de plusieurs paramètres machine, principalement les vitesses de cloche et d'avancement.

Les opérations ont eu lieu sur un chantier autoroutier, A2 Onnaing, en mai 2016. La société Fraisage TP a réalisé le rabotage avec une machine Wirtgen W210i. Trois vitesses de cloche ont été utilisées, chacune avec 4 vitesses d'avancement de la fraiseuse. Les caractéristiques de granulométrie après désenrobage des fraisâts et d'état du support (PMT⁴ et analyse visuelle) ont été analysées.



Figure 8. Opération de rabotage sur un chantier autoroutier (A2 Onnaing) en mai 2016 par la société Fraisage TP

Les analyses effectuées ont montré que le paramètre prépondérant pour la granulométrie est la vitesse de cloche. Une vitesse de cloche élevée génère une granulométrie avec un plus fort pourcentage d'éléments fins. Elever la vitesse d'avancement permet au contraire de diminuer légèrement la proportion des éléments fins. Toutefois, il est à noter que les écarts observés selon les modalités de vitesse d'avancement testées sont faibles.

Concernant l'état de surface du support après rabotage, les analyses des résultats d'essais PMT ont mis en évidence qu'une élévation de la vitesse de cloche ou de la vitesse d'avancement entraîne une élévation de la PMT du support. Pour cette caractéristique, les vitesses de cloche et d'avancement affectent dans le même sens l'état du support. La vitesse de la cloche a un impact plus important que la vitesse d'avancement.

Au regard de ces observations, les modalités de rabotage pour les chantiers seront discutées au sein du groupe de travail N°3.

⁴ mesurage de la profondeur de macrotexture de la surface d'un revêtement à l'aide d'une technique volumétrique à la tâche selon NF EN 13036-1

6 Thème 4 – Caractérisation des agrégats d'enrobés

Les travaux du thème 4 s'inscrivent largement dans le cadre de la tâche 1 « caractérisation des agrégats d'enrobés » du projet ANR IMPROVMURE comprenant 3 sous-tâches :

- ▶ Impact environnemental
- ▶ Caractérisation de l'enrobage et de la miscibilité des liants
- ▶ Propriétés des agrégats et granulats (géométriques et physiques)

Les résultats et livrables de ces sous-tâches seront disponibles en fin de tranche 2 du projet national.

En complément de ces travaux, les partenaires du projet national MURE ont, dans le cadre du groupe de travail n°4, dressé un état de l'art sur les méthodes d'extraction/récupération des liants des agrégats et étudié leur impact sanitaire et environnemental. L'extraction est l'opération qui consiste à séparer le liant bitumineux de la matière minérale d'un enrobé ou d'un agrégat d'enrobé à l'aide d'un solvant organique. Elle est très largement pratiquée par les laboratoires routiers pour caractériser les agrégats d'enrobés utilisés sur les chantiers de tous les jours ; progresser sur les méthodes d'extraction est donc un enjeu important pour la communauté routière.

L'extraction bitume / solvant classiquement pratiquée en chimie organique est utilisée à des fins de contrôle pour déterminer la quantité de liant présente dans un enrobé après fabrication. Il existe une multitude de méthodes pour extraire un liant bitumineux avec un choix multiple de solvant. Plusieurs études ont montré que le type de solvant utilisé a un impact non négligeable sur les propriétés finales du liant récupéré. Une des premières démarches de cette synthèse bibliographique a été de recenser les différentes méthodes d'extraction ainsi que les solvants employés.

La qualité des opérations d'extraction et de récupération de liant dépend grandement de la solubilité du liant par rapport au solvant. Les paramètres de solubilité de Hansen⁵ et de Redelius⁶ ont été repris afin de prédire la solubilité du bitume dans un solvant. Les solvants chlorés sont très fréquemment utilisés en laboratoire routier aussi bien pour l'extraction du bitume des enrobés bitumineux ou des agrégats d'enrobés à recycler que lors d'opérations de nettoyage et de protocoles spécifiques dédiés à l'analyse chimique. L'évaluation simplifiée du risque chimique a montré que la substitution était nécessaire pour des opérations de nettoyage, en revanche, il n'existe pas à ce stade de solution alternative pour les opérations d'extraction.

7 Thème 5 – Caractérisation des enrobés

L'objectif de ce thème est de quantifier et modéliser les évolutions des propriétés thermomécaniques des enrobés utilisant les agrégats issus des recyclages successifs. Il s'appuie sur des essais de laboratoire réalisés à partir d'enrobés bitumineux prélevés sur les chantiers expérimentaux ou fabriqués en laboratoire.

7.1 Procédure de fabrication des enrobés

Une procédure harmonisée de fabrication des enrobés en laboratoire a été mise en place en début de projet et utilisée par tous les laboratoires participant à la réalisation des essais. Cette procédure précise, en complément des spécifications de la norme :

⁵ C.M. Hansen, Hansen solubility parameters: a user's handbook, CRC press (2007)

⁶ P.G. Redelius, Solubility parameters and bitumen, Fuel 79 (2000), 27–35

- ▶ la température de malaxage ;
- ▶ les modalités de préparation des granulats et du filler ;
- ▶ les modalités de préparation des agrégats d'enrobés ;
- ▶ les modalités de préparation du liant ;
- ▶ le malaxage ;
- ▶ la limite de conservation à l'étuve avant moulage.

7.2 Essais réalisés

Dans le cadre de la tranche 1, les essais suivants ont été réalisés :

N° tâche	ENROBES BITUMINEUX	Nombre d'essais réalisés
1	Essai ITSr NF EN 12697-12 (écrasement 15°C / 8 éprouvettes 2 plaques 5 cm à fabriquer)	6
2	Essai ITSr carottes chantier NF EN 12697-12 (écrasement à 15°C/ 10 carottes/chantier)	6
3	NAT 10 et 15 °C 124ms, NF EN 12697-26 C (4 carottes dans 1 plaque de 5cm à fabriquer)	6
4	NAT 10 et 15°C 124ms, NF EN 12697-26 C (5 carottes chantier pour chaque essai)	6
5	Orniérage laboratoire NF EN 12697-22	6
6	Fabrication plaque enrobé à la mousse avec Banc mousse (mode opératoire à fournir) : 6 Plaques en 5 cm + 4 plaques en 10cm	10
7	Maniabilité dans le temps 3 jour de suivi, 2 techniciens (mode opératoire à fournir)	6
8	Remobilisation LAE (mode opératoire à fournir)	3
9	Essai de fatigue fabrication laboratoire NF EN 12697-24	2
	LIANTS apports et extraits des enrobés de Laboratoire	
10	9 pénétrabilité, TBA, G*(isotherme 15°C à minima), FRASS - normes en vigueur	9
11	9 Sara, IR (mode opératoire à fournir)	9
12	7 extractions (2 pots de pénétrabilité pour chaque), le laboratoire réalisant les extractions dispatche les échantillons aux laboratoires effectuant les tâches 10 et 11 (extraction selon le protocole conventionnel préconisé par le GT4)	7
	LIANTS extraits des enrobés de chantier	
13	6 extractions (2 pots de pénétrabilité pour chacune), le laboratoire réalisant les extractions dispatche les échantillons aux laboratoires effectuant la tâche 14 (extraction selon le protocole conventionnel préconisé par le GT4)	6
14	6 pénétrabilité, 6TBA, 6G*(isotherme 15°C à minima) -normes en vigueur	6

La synthèse de tous les résultats d'essai est en cours de rédaction et sera disponible en tranche 2.

7.3 Essais avancés Improvmure

Une partie du thème 5 relatif à la caractérisation des enrobés est traitée dans le cadre du projet ANR IMPROVMURE. Plusieurs questions restent à ce jour sans réponse et nécessitent des moyens de caractérisation plus approfondis que ceux disponibles dans les textes normatifs. IL s'agit de lever certains verrous scientifiques :

- la modélisation des changements de propriétés thermomécaniques lors d'une phase de recyclage-formulation et évolution avec le nombre de recyclages ;
- l'évolution mécanique et la mobilisation des couches de bitumes autour de chaque agrégats dans l'enrobé après recyclages successifs ;
- l'obtention des propriétés thermomécaniques des enrobés à partir de celles du bitume et problème d'analyse inverse permettant l'obtention des propriétés thermomécaniques du liant à partir de celles de l'enrobé ;
- la qualification et la validation d'une méthode de production d'éprouvette en laboratoire vis-à-vis des propriétés thermomécaniques

Les éléments de synthèse ne sont pas encore rédigés.

8 Thème 7 – Durabilité

Une journée d'échange sur le thème « Sensibilité à l'eau et adhésivité » a été organisée dans le cadre du thème 7 le 12 octobre 2016. Ce séminaire ouvert à toute la profession a mobilisé des experts nationaux et internationaux et une centaine de participants.

La journée était structurée selon 4 ateliers :

- Atelier 1 – Adhésivité, collage : plusieurs intervenants ont pu présenter des pratiques et retours d'expériences issus d'autres secteurs que celui de la route :
 - o l'industrie des colles, mastics et adhésifs
 - o la recherche en chimie des formulations sur les adhésifs ;
- Atelier 2 – Influence de la température avec une présentation d'un fabricant de matériel de production et un fabricant d'additif ;
- Atelier 3 – Influence de produits recyclés. Sur ce sujet, des intervenants issus d'autres secteurs que le domaine routier, tels que celui de la terre cuite et celui des panneaux de bois, ont pu s'exprimer ;
- Atelier 4 : Dégradations liées à l'eau.



Le programme est disponible sur ce lien :

<http://www.pnmure.fr/journee-dechanges-sensibilite-a-leau-adhesivite-12-octobre-2015/>

Les résultats de cette journée seront capitalisés dans un document de synthèse en cours de rédaction.

9 Thème 8 – Aspects sanitaires et environnementaux

L'innocuité environnementale des matériaux de construction, notamment vis-à-vis des ressources en eau, doit être examinée conformément au règlement européen n°305/2011 sur les produits de construction (RPC) du 9 Mars 2011. L'objectif des travaux de tranche 1 était d'évaluer l'influence du procédé de fabrication (chaud, tiède « mousse », tiède « additif ») et du taux de recyclage des enrobés (0 et 40%) sur leur **relargage en substances solubles** dans l'eau. Un essai de lixiviation dynamique de surface a donc été réalisé selon le projet de norme CEN/TS 16637-2 (2013) sur six éprouvettes d'enrobés.

Il a été montré que les quantités de polluants relarguées dans les lixiviats sont faibles. En effet, les concentrations en solution des éléments recherchés sont fréquemment inférieures aux limites de quantification des méthodes d'analyse. Après 64 jours d'immersion, les enrobés émettent dans l'eau au plus 4370 mg/m² de sulfates, 890 mg/m² de chlorures, 110 mg/m² de fluorures et 1200 mg/m² de COD. A titre informatif, ces quantités sont 20 à 100 fois inférieures aux valeurs limites hollandaises d'émission pour les matériaux de construction. Ces résultats s'expliquent par le caractère hydrophobe des enrobés bitumineux qui va ralentir la pénétration de l'eau dans les pores du matériau.

Enfin, la substitution de 40% des granulats des enrobés par des agrégats d'enrobés ou la modification du procédé de fabrication ne modifient pas de façon significative le comportement à lixiviation des éprouvettes testées.

10 Thème 9 – Eco-logiciels

La modélisation de l'influence des agrégats d'enrobés ou de l'abaissement des températures des enrobés lors d'une production peut être améliorée dans les différents éco-logiciels utilisés par la profession.

Le « GT09 – ACV et éco-comparateurs » du PN MURE a souhaité mettre en place un cahier des charges permettant d'effectuer des relevés énergétiques en centrale d'enrobage et de collecter et/ou mesurer les paramètres influençant les consommations énergétiques et de fait les émissions de gaz à effet de serre.

Deux approches ont été développées :

- ▶ une approche par les relevés d'index (relevés manuels aux compteurs des combustibles) ;
- ▶ une approche par les débits instantanés des combustibles.

Dans le cadre de la tranche 1, les productions suivantes ont été analysées :

- ▶ la production le 15/09/2016 de 270t de BBSG 0/10 tiède additif à 40%AE et de 90 tonnes de BBSG 0/10 tiède additif à 0%AE (référence), à destination du chantier de la Métropole du Grand Lyon réalisé par l'entreprise Roger Martin.
- ▶ La production le 16/09/2016 de 90t de BBSG 0/10 chaud à 0%AE et de 90t de BBSG 0/10 chaud à 40%AE, à destination du chantier du CD 69 réalisé par l'entreprise Eiffage Infrastructures.
- ▶ La production le 17/09/2016 de 270t de BBSG 0/10 tiède mousse à 40%AE et de 90t de BBSG 0/10 tiède mousse à 0%AE, à destination du chantier du CD 63 à Moriat réalisé par l'entreprise Colas.

Une fois les données collectées, une analyse qualitative des résultats obtenus selon les deux méthodes a été effectuée, en prenant en compte le taux d'incorporation des agrégats d'enrobés, la teneur en eau

et l'abaissement de la température de fabrication. **L'interprétation des résultats a ensuite permis la comparaison avec les résultats de modélisation thermique fournis par l'éco-logiciel SEVE.**

Les résultats issus des autres chantiers MURE seront analysés en tranche 2. Ils permettront de consolider la base de données d'entrée, d'étoffer l'analyse comparative, de quantifier les lois d'évolution paramétriques afin de les implémenter à terme dans le modèle thermique de SEVE.

11 Thème 11 – Valorisation

Les communications et publications sur les résultats établis dans le cadre de la première tranche du projet national MURE sont fournies ci-dessous :

Article de congrès					
	MURE National Project: FTIR spectroscopy study to assess ageing of asphalt mixtures	Dony A., Ziyani L., Drouadaine I., Pouget S., Faucon-Dumont S., Simard D., Mouillet V., Poirier J.-E., Gabet T., Boulange L., Nicolai A., Gueit C.	E&E Congress 2016 - 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress	01/06/2016	Prague, République Tchèque
Article de revue spécialisée					
	MURE et IMPROVMURE : bilan à mi-parcours	Poirier J.-E., Pouget S., Leroy C., Delaporte B.	RGRA n°937	15/06/2016	
	Chantiers expérimentaux du Projet National MURE : Objets d'étude et preuves de savoir-faire	Poirier J.-E., Charmier P., Cordero M., Duplaix S., Grollier S.	RGRA n°938	31/08/2016	
	Extraction de bitume –Impacts sanitaires des solvants et évaluation des risques	BoulangéL., Ziyani L., Nicolai A., Mouillet V.	RGRA n°939	01/09/2016	
Colloque/Séminaire					
	Université d'été ESTP franco-allemande	Poirier J.-E.	ESTP	01/07/2014	Paris, France
	Journée d'échanges : Sensibilité à l'eau et adhésivité des enrobés	Projet National MURE	Projet National MURE	12/10/2015	Lyon, France
	Les avancées du Projet MURE	Poirier J.-E.	Journées Techniques Route 2016	11/02/2016	Nantes, France
	Présentation du Projet National MURE	Poirier J.-E.	Journée Technique Team² : L'économie circulaire et l'innovation dans les Travaux Publics	30/03/2016	Villeneuve d'Ascq, France

			- Enjeux et innovations de la filière minérale		
	Présentation de l'avancement du Projet National MURE	Poirier J.-E.	Congrès de l'IDRRIM / Salon INTEROUTES et VILLES	14/06/2016	Paris, France
Poster					
	MURE National Project: FTIR spectroscopy study to assess ageing of asphalt mixtures	Dony A., Ziyani L., Drouadaine I., Pouget S., Faucon-Dumont S., Simard D., Mouillet V., Poirier J.-E., Gabet T., Boulange L., Nicolai A., Gueit C.	E&E Congress 2016 - 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress	01/06/2016	Prague, République Tchèque