

Application aux enduits superficiels et aux enrobés coulés à froid d'un nouveau procédé de fabrication d'émulsions

Jacques SAMANOS

Directeur Développement
SCREG

Christine DENEUVILLERS

Adjointe au Directeur du laboratoire
Recherche technique entreprise

Michel BERTAUD

SCREG Sud - Ouest

Didier DESMOULIN

SCREG Est

A new process for manufacturing bituminous emulsions : application to surface dressings and microsurfacing

► Introduction

L'émulsion constitue probablement le moyen le plus élégant de disposer sous forme liquide à l'ambiante, d'un bitume qui, dans les mêmes conditions de température, serait sinon solide, du moins pâteux.

Il est courant d'attribuer son invention au chimiste Hughes Alan Mackay qui, le 9 mai 1922, déposa un brevet sur ce nouveau produit. Depuis, son usage s'est largement développé puisque la production française à elle seule est voisine d'un million de tonnes par an.

Les émulsions se caractérisent par leur qualité transitoire. Sous forme d'émulsion, le bitume, dispersé en fines gouttelettes, ne présente pas de caractère adhésif ni de propriétés rhéologiques intéressantes pour l'ouvrage à construire. En revanche, il est facilement stockable, pompable, transportable et répandable. Il ne retrouve ses propriétés qu'après rupture de l'émulsion et évacuation de l'eau.

L'émulsion routière n'est donc qu'un état temporaire qui doit céder sa place au bitume dès que la mise en œuvre est effectuée. Ceci la distingue des émulsions des autres industries (cosmétique, alimentaire, etc.) qui sont formulées pour rester stables.

► Rappel des performances souhaitées pour les émulsions

Elles seront différentes selon leur utilisation, par exemple en :

Enduits superficiels

L'émulsion idéale devra alors pouvoir être stockée aussi longtemps que nécessaire (souvent plusieurs semaines), être pompable et transportable sans rupture, répandable sans bouchage des jets, mouiller parfaitement le support et les gravillons et, sitôt en contact avec ces derniers, rompre et laisser en place un liant suffisamment adhésif et cohésif pour permettre l'ouverture au trafic dans des délais les plus brefs quelles que soient les conditions climatiques. Il est souhaitable, par ailleurs, que la répartition de l'émulsion sur la chaussée soit aussi régulière que possible et, en particulier, qu'elle ne se modifie pas par déversement vers les points bas si la chaussée est en pente ou déformée.

Enrobés coulés à froid (ECF)

L'émulsion idéale devra, comme pour les enduits, pouvoir être stockée, pompée et transportée sans rupture prématurée. Elle devra, par ailleurs, être suffisamment stable pour enrober le squelette minéral de granularité 0/4, 0/6, voire 0/10, contenant des fines, sans rompre ni durant le malaxage ni pendant l'application par le traîneau. En revanche, elle devra rompre et monter ensuite en cohésion le plus rapidement possible pour autoriser l'ouverture au trafic dans les meilleurs délais, et ceci d'autant plus que la chaussée sur laquelle l'ECF est appliqué supporte un trafic plus dense. Certaines de ces exigences sont contradictoires et un compromis est recherché en général par l'optimisation de la formulation, c'est-à-dire le choix des composants, origine du bitume, type et dosage des émulsifiants, additif, etc. L'objet de cet article est de présenter les bénéfices apportés par un nouveau procédé de fabrication des émulsions pour les enduits superficiels et les enrobés coulés à froid.

► Introduction

Bitumen emulsion is probably the most «elegant way» to get liquid bitumen at ambient temperature.

Its invention is commonly ascribed to the research chemist Hughes Alan MACKAY who applied for a patent on this new product the 9th of May 1922. From this date, its use has widely developed : as an example, the French production alone is close to 1 million tons per year.

The emulsions for road applications are characterised by their temporary status. When it is in emulsion form, the bitumen, dispersed in small droplets, is not sticky and does not present relevant rheological properties for the works to be built. In compensation, it is easy to store, to pump, to transport and to spray. It regains its properties when the emulsion breaks and water is drained off.

So, a bituminous emulsion is condemned to give up its seat to bitumen as soon as it is laid. This is basically different from the other types of emulsions which are designed to remain emulsion.

► Main requirements for bituminous emulsions

Requirements for emulsion depend on what they are used for :

Surface dressings

The ideal emulsion can be stored for a time as long as necessary (often several weeks), it is easily pumped and transported without breaking, it does not block up nozzles when it is sprayed, it is able to wet the surface of the pavement and when it is in contact with chippings, it breaks immediately and leaves in place a sticky binder, cohesive enough to allow the traffic to be open in a very short delay whatever the climatic conditions.

The rate of binder on the surface must remain constant even if there are deformation or if the slope of the pavement is high.

Microsurfacing

The ideal emulsion, as for surface dressing, can be stored, pumped and transported without premature breaking. It is stable enough to coat aggregates 0/4 - 0/6 or 0/10 containing fines without breaking during mixing and laying with the spreader.

It breaks immediately after laying and the cohesion build up is very rapid so the traffic can be open in a very short delay.

Some of these requirements are contradictory that is why the design of the emulsion is often a compromise obtained by selecting components, origine and type of bitumen, type and content of emulsifiers, additives, etc.

This paper presents benefits brought by a new process for manufacturing bituminous emulsions.

▶ Rappels des méthodologies d'études et de formulation des enduits et enrobés coulés à froid

L'optimisation en laboratoire des formules à mettre en œuvre pour la bonne réalisation des enduits et ECF fait appel à toute une panoplie d'essais dont certains sont spécifiques à chaque entreprise.

Méthodologie d'étude et de formulation des enduits

La batterie de tests couramment utilisée chez SCREG pour optimiser la formulation des liants pour enduits a fait l'objet d'une publication récente [1]. Outre les qualités intrinsèques du liant résiduel qui conditionnent la tenue à long terme de l'enduit, les caractéristiques de l'émulsion et son comportement à la rupture sont des éléments clés pour la qualité de la mise en œuvre.

Seuls quelques-uns d'entre eux feront l'objet de commentaires ici.

La finesse de l'émulsion est caractérisée à l'échelle macroscopique par les résidus sur tamis de 630 μ et 63 μ , et à l'échelle microscopique par la courbe de distribution des particules.

La quantité de résidus sur tamis détermine l'aptitude de l'émulsion à être répandue à l'aide d'une rampe munie de jets sans risque d'obturation des orifices par de grosses particules.

La courbe granulométrique est généralement caractérisée par le diamètre médian et la déviation standard qui sont le plus souvent mesurés à l'aide d'un granulomètre à laser. Cette répartition conditionne des propriétés importantes de l'émulsion, en particulier, sa viscosité et son comportement à la rupture [2, 3].

> La viscosité d'une émulsion doit être suffisamment basse pour lui permettre d'être pompée et répandue sans difficultés à température modérée mais doit être également assez élevée pour ne pas se déverser dans les points bas après répandage, lorsque le support est déformé ou en pente. Une certaine thixotropie peut être souhaitable.

> La rupture et la montée en cohésion du liant résiduel :

En enduit, cette caractéristique est essentielle. La vitesse de rupture est mesurée par les tests au filler (NF T 66 017). Cette mesure est complétée chez SCREG par l'essai ACTE (Adhésion - Cohésion Test ESSO) [4] qui permet de tracer des courbes de montée en cohésion du liant après gravillonnage et d'avoir un bon pouvoir prédictif sur le comportement de l'enduit pendant les premières heures, voire les premières minutes.

Méthodologie d'étude et de formulation des enrobés coulés à froid

La plupart des méthodes d'essais relatives à la formulation des ECF a été développée par l'ISSA (*International Slurry Surfacing Association*) [5, 6, 7] et sert de base aux normes d'essais européennes en cours d'élaboration. Pour optimiser la formulation des émulsions pour ECF, SCREG a développé, en complément des méthodes déjà existantes, un essai d'évaluation de la maniabilité afin de simuler le comportement des matériaux pendant la phase de malaxage/répandage et deux essais destinés à évaluer le comportement au jeune âge des ECF :

> le test HCT (*Hilt Cohesion Test*),

> le TCSS (Test de Cohésion Superficielle SCREG).

Ces essais [8] sont couramment utilisés pour prédire le comportement en vraie grandeur des ECF, immédiatement après l'application.

▶ Le procédé SAM et ses bénéfices

SAM est un procédé de fabrication des émulsions de bitume en continu permettant, à formule donnée, de faire varier plus ou moins indépendamment les caractéristiques intrinsèques de l'émulsion, à savoir le diamètre moyen

▶ Methodologies for studying and designing surface dressings and microsurfacing

Laboratory studies for designing surface dressing and microsurfacing are based on a serie of tests methods among them some are developed by contractors.

Methodology for studying and designing surface dressings

The serie of tests commonly used by SCREG for designing surface dressing binders has been presented in a recent paper [1]. In addition to the intrinsic properties of the residual binder which govern the long term behaviour of the surface dressing, the characteristics of the emulsion and its breaking behaviour are key points for the quality of laying.

The fineness of the emulsion is characterized, at macroscopic scale, by sieving residues (at 630 μ m or 63 μ m) and, at microscopic scale, by particle size analysis.

The amount of residues on sieves represents the ability of the emulsion to be spread by a spraybar with no risk of blocking nozzles with large particles.

The particle size distribution is generally characterized by median diameter and standard deviation. These properties are now determined very often by laser equipments. It has been demonstrated that important characteristics of emulsions, like viscosity or breaking behaviour, are linked to the particle size distribution [2, 3].

The emulsion must be fluid enough to be easily pumped and spread at moderate temperature but viscous enough to remain on the surface without flowing if the substrate is deformed. Some thixotropy can be helpful.

The breaking and cohesion build up of residual binder : for surface dressings this characteristic is a key point. The breaking behaviour of an emulsion can be measured by filler test according to the French test method NF T 66 017 In addition, SCREG carry out the ACTE (Adhesion-Cohesion Test ESSO) [4]. As a result of this test, a curve giving the cohesion build up of the binder after chippings are spread can be drawn. This test has a good predicting power for the behaviour of surface dressing during the first hour or even first minutes.

Methodology for studying and designing microsurfacing

Most of test methods for designing slurry systems, have been developed by ISSA (International Slurry Surfacing Association) [5, 6, 7] and are now used as a base for preparing European test methods. In addition to that, SCREG has developed a workability test used to check the ability of the slurry to be prepared in the mixer and laid with the spreader without any problem and two other tests aimed at predicting the cohesion build up just after laying :

> HCT : Hilt Cohesion Test,

> TCSS : Test de Cohésion Superficielle SCREG.

These test methods have been described in a previous paper [8] and are commonly used.

▶ The SAM process and ITS benefits

The SAM is a new process to manufacture bituminous emulsion in a continuous way. It allows, for a given formula, to vary more or less independently the intrinsic characteristics of the produced emulsion,

Application aux enduits superficiels et aux enrobés coulés à froid d'un nouveau procédé de fabrication d'émulsions

A new process for manufacturing bituminous emulsions : application to surface dressings and microsurfacing

● ● ● et la déviation standard de la courbe granulométrique. Il est, de ce fait, possible de modifier dans une large gamme, la viscosité et la vitesse de montée en cohésion du liant résiduel. Il ne nécessite pas de matériel particulier (d'où son nom SAM « Sans autre matériel »). Ce procédé fait l'objet d'un dépôt de brevet.

Bénéfices du procédé pour les enduits superficiels

Les améliorations recherchées pour les émulsions pour enduits concernent principalement :

- > La viscosité : pour des concentrations de 60 % ou 65 % de liant, la viscosité peut, dans certains cas, être un peu faible et conduire à des accumulations dans les points bas ou les bas-côtés sur les chaussées en pente. Une augmentation modérée ou une légère thixotropie permet de limiter ces phénomènes.
- > La montée en cohésion : elle doit être aussi rapide que possible après gravillonnage.

Pour vérifier le bien-fondé du procédé pour les enduits, des émulsions de type ECR 65 et ECR 69 ont été fabriquées de façon conventionnelle dans un moulin Moritz et selon le procédé SAM avec la même formule à deux niveaux différents de conversion.

i.e. median size and standard deviation of the particle size distribution. It is therefore, possible to modify in a large extent, viscosity of the emulsion and speed of cohesion build up of the residual binder. No specific equipment is necessary (SAM means : "Sans Autre Matériel" : No Specific Equipment) in all factories using colloid mills. This process has been patented.

Benefits of the process for surface dressings

In order to check in surface dressings the benefits brought by the process, emulsions ECR 65 and ECR 69 (Rapid setting 65% and 69% of binder) have been manufactured with the conventional way in a colloid mill (Moritz type) and by the SAM process with the same mill at two different levels of conversion. The design of these emulsions was constant (same binder content, emulsifier content, ...).

The results are given in the following table 1. They show a significant change of the particle size distribution especially the standard deviation which leads to an increase of the viscosity.

Design	R.S. 65			R.S. 69		
Type of emulsion	R.S. 65	Neofix 65	Neofix 65	R.S. 69	Neofix 69	Neofix 69
Process	Conventional	SAM	SAM	Conventional	SAM	SAM
Conversion level		Level 1	Level 2		Level 1	Level 2
Residue on sieving 630 µm (%)						
Residue on sieving à 160 µm (%)						
Water content (%)	35,3	35,2	35,3	31,1	31,2	31,5
pH						
Breaking index	81	71	69	83	89	69
Efflux time at 25°C	8s	12s	21s	133s	375s	554s
Median Diameter (µm)	8,8	7,2	6,2	8,5	7,5	5,9
Standard Deviation	0,33	0,29	0,29	0,33	0,30	0,28

▲ Tableau 1

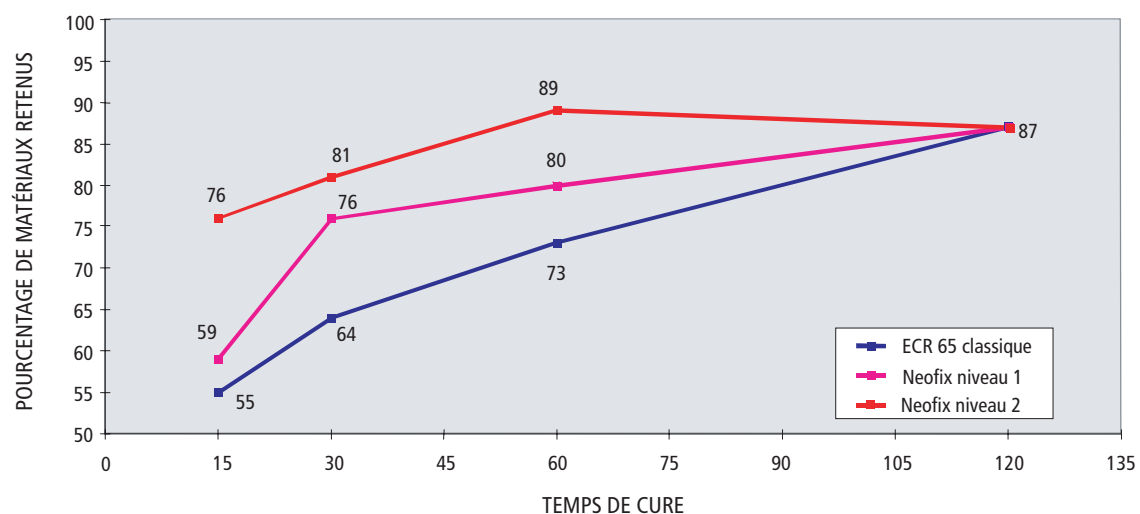
Les résultats sont donnés dans le tableau 1 et font apparaître une modification de la courbe granulométrique, en particulier de la déviation standard qui conditionne la viscosité.

Par ailleurs, des essais ACTE ont été réalisés avec les émulsions à 65 %. La figure 1 illustre les résultats obtenus qui montrent clairement l'amélioration apportée par le procédé à la vitesse de montée en cohésion. En effet, il apparaît que le pourcentage de matériaux retenus après 15 minutes avec l'émulsion Neofix (procédé SAM), niveau 2, est à peu près équivalent à celui obtenu avec une émulsion ECR 65 de même famille au bout d'une heure et quart.

In other respects, ACTE test has been carried out with emulsion containing 65% of binder. The graph of the figure 1 clearly shows the improvement of the cohesion build up speed for the emulsions Neofix manufactured by the new process.

It appears that the percentage of retained chippings after 15 minutes with the Neofix conversion level 2 is the same as that of ECR 65 after 1.15 hour.

ESSAIS ACTE EMULSIONS S.A.M



▲ Figure 1

Bénéfices du procédé pour les ECF

Forts des résultats obtenus pour les émulsions à vitesse de rupture rapide, des essais de formulation d'émulsion pour ECF ont été réalisés. Cette fois-ci, l'objectif était de préparer des émulsions capables d'enrober sans rompre des minéraux de granularité 0/6 contenant des fines et après le temps nécessaire à l'application sur la chaussée par le traîneau, à avoir une montée en cohésion aussi rapide que possible.

Les résultats du tableau 2 mettent en évidence qu'avec trois granulats d'origine et de nature différentes, répondant à la même courbe granulaire 0/6, les émulsions Rugofix L fabriquées selon le procédé SAM donnent toujours, après 30 minutes comme après 1 heure, une perte de masse au TCSS d'environ 30 % inférieure à celle des Rugoseal L traditionnels.

Type of microsurfacing	Maximum size of aggregates 6 mm		Continuous grading curve			
Type of aggregates	Grès précambrien		Quartzite		Diorite	
Process	Rugoseal L	Rugofix L	Rugoseal L	Rugofix L	Rugoseal L	Rugofix L
TCSS 30'			481	322	407	259
Loss of mass (g) 1 hour	80	36	92	66	21	12

▲ Tableau 2

Bien entendu, ces expériences étaient réalisées sur des émulsions ayant subi le test de maniabilité permettant de s'assurer, qu'au cours du malaxage et du répandage par le traîneau, l'ECF gardait une maniabilité suffisante pour être coulé sans dommage.

► Applications industrielles

Sur la base des bons résultats obtenus en laboratoire, des chantiers expérimentaux grandeur nature ont été réalisés.

Application en enduits

Afin de valider le procédé SAM pour la fabrication des émulsions pour enduits, un programme d'expérimentation a été élaboré dans le cadre d'une convention technique avec le conseil général du Lot-et-Garonne, avec pour perspective le remplacement du bitume fluxé par le Neofix.

Deux séries de planches d'essais ont été organisées. Elles comprenaient chacune un enduit au bitume fluxé, un autre à l'émulsion de 70/100 ECR 69 et un troisième au Neofix 69. Il s'agissait de monocouches prégravillonnées 6/10 - 4/6. La première série a été effectuée sur la RD 265 avec des gravillons alluvionnaires siliceux SOEM, la seconde sur la RD 124 avec des gravillons diorite de Thiviers. Les émulsions avaient été préparées à l'usine SCREG d'Agen.

Les planches ont été réalisées entre le 31 juillet et le 2 août 2001 dans des conditions climatiques excellentes, voire très chaudes, si bien que l'émulsion ECR 69 normale rompait très vite et que les différences étaient atténuées. Les essais faits *in situ* ainsi que les observations lors de l'application ont permis de constater l'amélioration apportée par le Neofix. Le tableau 3 résume les conditions de l'expérimentation.

Application aux ECF

Afin de valider les bénéfices apportés par le procédé SAM en enrobés coulés à froid, deux chantiers ont été réalisés, l'un sur la RD 6 pour le compte du conseil général de Meurthe-et-Moselle à proximité de Vého, en juin 2001 (10 000 m²), l'autre sur la RD 392 A pour le conseil général des Vosges à La Celles-sur-Plaine, en juillet 2001 (13 000 m²). Les émulsions avaient été préparées à l'usine SCREG de Woippy.

Benefits of the process for slurry systems

Based on the improvements obtained by the process for rapid setting emulsions, tests on emulsions for microsurfacing have been carried out in laboratory. The goal was to prepare emulsion stable enough to coat without breaking, the aggregates 0/6 containing fine filler, to obtain a slurry fluid enough to be laid by the spreader and to have a very rapid cohesion build up after laying.

Microsurfacing based on Rugofix L, an emulsion manufactured according to the SAM process, have been compared with Rugoseal L a microsurfacing based on a conventional emulsion at the TCSS test (table 2). The design of emulsions (binder content emulsifiers) was the same. The sources of aggregates have been tested.

The maximum size of aggregates was 6 mm. The results plotted in table 2 show that the loss of mass after 30' as well as after 1 hour 30% lower for Rugofix L system based on SAM process than for Rugoseal L. Of course, the experiments had been carried out on systems passing the workability test.

► Full scale trials

Based on the good results obtained in laboratory, full-scale trials have been carried out in 2001.

Surface dressings

In order to definitively approve the new process for manufacturing surface dressing emulsions, a program of full scale trials have been prepared in the frame of an agreement with the «Conseil Général du Lot-et-Garonne» (the authority in charge of maintaining the road network of Lot-et-Garonne department in South West of France). The goal was to check the possibility to replace fluxed bitumen by Neofix emulsion.

Two series of comparative tests have organized : each of them included one stretch of surface dressing based on fluxed bitumen, one stretch of surface dressing based on ECR 69 a conventional rapid setting emulsion at 69% and one stretch of surface dressing based on Neofix 69 a SAM rapid setting emulsion at 69%. These emulsions were prepared in SCREG emulsion plant in Agen. The design of the surface dressing was one layer of 6/10 chipping, one layer of binder and one layer of 4/6 chipping. The first serie has been carried out on the road RD 265 with alluvial chippings. The second was on the road RD 124. Chippings were diorite types. The test trials have been carried out from July 31st till August 2nd 2001 with very good climatic conditions. The temperature was so high that the setting of the conventional emulsion was very rapid and so the difference with the Neofix was smaller than expected. Nevertheless, the ACTE tests made on site as well as observations during laying confirmed the improvement brought by the SAM process. The table 3 summarize the main conditions of test trials.

Microsurfacing

Two full scale trials of Rugofix, a microsurfacing based on emulsion manufactured by SAM process have been carried out :



Application aux enduits superficiels et aux enrobés coulés à froid d'un nouveau procédé de fabrication d'émulsions

A new process for manufacturing bituminous emulsions : application to surface dressings and microsurfacing

Binder	RD 124			RD 265		
	Fluxed bit. 1200/1600	R.S. 69	Neofix 69	Fluxed bit. 1200/1600	R.S. 69	Neofix 69
Rate of laying (kg/m ²)	1.45	1.75	1.75	1.50	1.80	1.80
Spraying temperature (°C)	160	80	85	160	70	85
Chippings	Alluvial SOEM			Diorite Thiviers		
6/10 (l/m ²)	6 - 7			6 - 7		
4/6 (l/m ²)	7			7		
ACTE in situ 5' (% retained)		52	63		44	66
ACTE in situ (% retained)		67	67		70	70

▲ Tableau 3

Préalablement, des essais de HCT avaient montré, en laboratoire, avec les granulats utilisés, le meilleur comportement au jeune âge du Rugofix N (procédé SAM) par rapport au Rugoseal L.

Les chantiers réalisés, l'un dans des conditions climatiques moyennes (température environ 20°C), l'autre dans des conditions plus chaudes (température 28 à 33°C) ont confirmé de façon très claire la montée en cohésion plus rapide du Rugofix N, sans pour cela diminuer le temps de maniabilité de l'enrobé dans le malaxeur et le traîneau d'application. Ceci permet d'ouvrir le trafic plus rapidement.

► Conclusion

Les essais réalisés tant en laboratoire qu'en grandeur réelle montrent que la mise au point du procédé SAM pour la fabrication des émulsions trouve toute sa justification dans les enduits et dans les enrobés coulés à froid.

Les émulsions ainsi obtenues se caractérisent par une viscosité plus élevée que les émulsions fabriquées par les procédés conventionnels, mais surtout par une rupture plus franche et une montée en cohésion plus rapide. Ces avantages permettent d'ouvrir la circulation plus rapidement après application de l'enduit ou de l'ECF, ce qui limite la gêne aux usagers. Il autorise, en particulier pour les ECF, l'élargissement de la gamme des granulats et des liants utilisables pour cette application, ce qui contribue à diminuer les coûts.

La recherche se poursuit pour étendre l'utilisation de ce procédé à d'autres applications. ●

> on the road RD 6 for the Conseil Général de Meurthe et Moselle (the authority in charge of maintaining the road network of Meurthe-et-Moselle department) close to Veho in June 2001 (10 000 m²);
> on the road RD 392 for the Conseil Général des Vosges (the authority in charge of maintaining the road network of Vosges department) in La Celles sur Plaine in July 2001 (13 000 m²).

The emulsion was prepared in the SCREG emulsion plant in Woippy. Before the full scale trials, HCT test carried out in laboratory with emulsion prepared in the emulsion plant had shown with aggregates selected for the job, a more rapid cohesion build up with Rugofix that with Rugoseal. According to the observers, on site, both trials confirmed the more rapid cohesion build up of the Rugofix system compared with the Rugoseal. For the first trial the ambient temperature was moderate (20°C) for the second one, it was relatively high (from 28 to 33°C). In both cases, it has been possible to see that the workability time even by hot weather was not affected. Thanks to this improvement it was possible to open the traffic sooner after laying.

► Conclusion

Laboratory test as well as full scale trials show that the SAM process for manufacturing bituminous emulsion is particularly interesting for surface dressings and microsurfacing.

The emulsions manufactured according to the process, present a higher viscosity than conventional emulsion and above all a «cleaner» breaking and a cohesion build up of the recovered binder, more rapid. These changes lead to the possibility to open the traffic sooner after laying of surface dressing or microsurfacing. The consequence of that is to decrease the embarrassment for drivers. This process gives also the possibility for microsurfacing, to use more types of aggregates or binder, sources, advantages which contributes to decrease the cost. At the stage, more research work are needed to explore all the possibilities of this new process. ●

Bibliographie

- [1] « Techniques et méthodologie d'étude pour l'amélioration des enduits superficiels », J.P. SERFASS, Ch. DENEUVILLERS, A. JOLY, RGRA n° 765, septembre 1998
- [2] « Relation entre caractéristiques et propriétés des émulsions cationiques de bitume », Ch. DENEUVILLERS, J. SAMANOS, RGRA n° 780, janvier 2000
- [3] « Relationship between characteristics and properties of cationic bitumen emulsion », Ch. DENEUVILLERS, J. SAMANOS, AEMA, *International Symposium on Asphalt Emulsion Technology*, 11-14 novembre 1999
- [4] « Adhésion Cohésion Test ESSO », E. CORNET, C. LEROUX, P. LEMONNIER, 2^e Congrès mondial de l'émulsion, Bordeaux 1997
- [5] « Design Technical Bulletins », *International Slurry Surfacing Association (ISSA)*, 1990
- [6] « State of the Practice, Design, Construction and Performance of Microsurfacing », U.S. Department of Transportation. *Federal Highway Administration Publication*, Washington DC 20590, FWHA-SA-94-051-HNG-42/6-94(4M)E, juin 1994
- [7] « Les enrobés coulés à froid », B. BRULE, J. SAMANOS, RGRA n° 749, mars 1997
- [8] « Méthodologie d'étude et de formulation des enrobés coulés à froid », Ch. DENEUVILLERS, M. GALLIMARD, J. SAMANOS, RGRA n° 781, février 2000
- [9] Méthodologie d'étude et de formulation des enrobés coulés à froid, Ch. DENEUVILLERS, M. GALLIMARD, J. SAMANOS, RGRA n° 782, mars 2000
- [10] « The ESSO SMEP Process », J.L. MARCHAL, 1st World Congress on Emulsions, Paris, 1993, n1-12-208