

Médaille Maurice MILNE

LIANT INNOVANT D'ORIGINE VÉGÉTALE POUR ENROBES ROUTIERS ET REVÊTEMENTS DE VOIRIES

Par Michel BALLIÉ et Thierry DELCROIX, Colas S.A. (France)

Photos © COLAS

Maurice Milne Medal

INNOVATIVE PLANT-BASED BINDER FOR ROAD MIXES AND PAVEMENT SURFACINGS

By Michel BALLIÉ and Thierry DELCROIX, Colas S.A. (France)

Pictures © COLAS

La plus grande partie du réseau routier français est réalisée et entretenue avec des enrobés bitumineux ou avec des revêtements de surface à base de bitume issu du pétrole brut. La consommation annuelle de bitume en France est de l'ordre de 3,5 millions de tonnes, dont 90% pour le domaine routier. Afin d'utiliser le pétrole de la façon la plus pertinente possible du point de vue de la durabilité du développement, il est important d'identifier, dès à présent, des alternatives à l'utilisation du bitume en technique routière.

Ainsi, concevoir un liant routier de caractéristiques physico-chimiques comparables à celles du bitume, mais entièrement composé de matières premières issues de la filière agricole est un objectif innovant qui s'inscrit au cœur de la problématique des ressources énergétiques et des gains environnementaux. Au cours de ces quatre dernières années, d'importants moyens de recherche ont été engagés pour formuler une famille de liants végétaux susceptibles d'être une alternative à l'utilisation des différents grades de bitume pour la formulation d'enrobés destinés à la construction et l'entretien des routes, mais également à la réalisation de revêtements pour l'aménagement esthétique en zone urbaine et dans d'autres espaces où ils s'intégreront harmonieusement à l'environnement architectural.

Des études approfondies en laboratoire et de nombreuses expérimentations in situ, avec l'aide de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, France), ont permis :

- d'établir des règles de formulation de ces liants végétaux,
- de définir les compositions adaptées des mélanges

granulats - liant qui seront appelés par la suite « enrobés au liant végétal ».

Les agro-matériaux qui entrent dans leur composition sont déjà produits à échelle industrielle et ne nécessitent pas une nouvelle filière de production. La fabrication de ces liants nécessite une unité spécialisée. Elle ne présente pas de complexité particulière, avec cependant la nécessité du dosage précis des composants, de la maîtrise du mélange et de la prévision des stockages des matières premières et des liants produits. Les centrales de fabrication et les engins d'application utilisés habituellement pour les chantiers d'enrobés bitumineux conviennent parfaitement pour réaliser les enrobés à base de liant végétal. Le savoir-faire de l'entreprise n'est pas perturbé par la mise à disposition de ces liants végétaux avec la logistique adéquate.

DESCRIPTION DU LIANT VÉGÉTAL

Le liant est obtenu en mélangeant plusieurs composants issus de la transformation de matières premières végétales. L'invention est protégée par un brevet français et européen ; pour raison de confidentialité, les principes de formulation de ces liants ne sont pas présentés ici.

Le liant est fabriqué en contrôlant strictement la proportion de ses composants, la température et le temps de mélange. En effet, ses propriétés finales dépendent de l'état d'avancement d'une réaction de polymérisation qui se produit entre les composants et probablement également avec les granulats et l'oxygène de l'air. La réaction se poursuit au cours des étapes de fabrication, de l'application et après compactage des enrobés.

Most French roads are either constructed and maintained with bituminous mixes or use bitumen in their surfacings. This bitumen is obtained by refining crude oil. To give an idea of the quantities involved, France's annual consumption of bitumen is of the order of 3.5 million tonnes, 90% of which is used in roads. In order to make the best possible use of oil from the point of view of sustainable development, it is important at the present time to find alternatives to this use of bitumen in highway engineering.

Therefore, the development of a road binder that can be used to manufacture mixes with physicochemical characteristics similar to those of bitumen but which is made entirely of raw materials obtained from the agricultural sector is an innovative objective which is central to the problems of energy resources and environmental gains. On this basis, in the last four years, large resources have been committed to research to develop a family of plant-based binders that could eventually provide an alternative to the different grades of road bitumen. These binders are intended to be

used to manufacture surfacings in urban areas and other spaces where they will blend well with the architectural environment.

In-depth laboratory studies and a large number of field trials, conducted with assistance from the French Energy Conservation Agency (ADEME), have:

- established mix design rules for these plant-based binders,
- identified the appropriate aggregate mixture – binder compositions for producing what will be referred to in what follows as “plant-based binder mixes”.

The agricultural raw materials they require are already produced on an industrial scale so there is no need to create a new production channel. Manufacture of the binder requires a special industrial unit. It is not particularly complex, but the proportioning of the constituents must be precise, the process of mixing must be controlled and the stockpiling of raw materials and processed binders must be foreseen. Conventional bitumen mixing plants and present-day laying equipment are perfectly satisfactory to manufacture plant-based binder mixes. The know-how of the contractors currently operating in the sector will still

be valid when working with these binders with appropriate logistics.

THE PLANT-BASED BINDER

The binder is obtained by mixing a number of constituents obtained by processing raw materials of vegetable origin. The invention is protected by French and European patents. On the grounds of confidentiality it will not be possible to explain in greater detail the design principles used for these binders.

The proportions of the constituents, the temperature and the mixing time must be strictly controlled. The reason for this is that the binder's final properties depend on the progression of a polymerization reaction which takes place in particular between the constituents, and probably with the aggregate and the oxygen in the air too. This process continues during manufacture and placement of the mixes and after compaction.

It is this polymerization mechanism which gives the mixes the cohesion and mechanical performance that road materials require. The existence of this “curing” phase explains the method chosen to evaluate plant-based binder properties.

CLASSE	1	2	3
Viscosité initiale - <i>Initial viscosity</i> (Pa.s) Appareil Brookfield - <i>Brookfield viscosity</i> , (SC 4-27), 70 °C, 1.4 s-1	33 à / to 45	16 à / to 24	11 à / to 14
Température de pompabilité (°C) - <i>Pumpability temperature</i> (°C)	100		
Densité à 25°C - <i>Density at 25°C</i>	0,95 à 1,05 (0.95 to 1.05)		
Point d'éclair Cleveland (°C) - <i>Cleveland Flashpoint</i> (°C)	> 210		
Module G*(MPa) (20 °C ; 7.8Hz) - <i>Complex modulus at 20°C; 7.8Hz</i>	> 2,5 (2.5)	> 0,8 (0.8)	> 0,2 (0.2)

Tableau 1 : Classes actuelles et principales caractéristiques rhéologiques de liant végétal

Table 1: Current classes and principal rheological characteristics of the plant-based binder

Ce mécanisme de polymérisation confère aux enrobés la cohésion et les performances mécaniques nécessaires. L'existence d'une phase de « mûrissement » fait que s'il est possible de pratiquer, sur ce liant, les essais de caractérisation des bitumes routiers, les règles habituelles de sélection du liant pour une application donnée ne sont pas utilisables à partir des résultats de ces essais.

Une gamme de liant a été définie pour répondre aux différents usages routiers des liants hydrocarbonés : enduisage et enrobage. Ces liants peuvent être mis en émulsion, rendant alors possible, en fonction de la formulation retenue pour l'émulsion, la réalisation de divers revêtements : enduits superficiels, enrobés coulés à froid, enrobés à froid élaborés en centrale de malaxage.

Cette communication est centrée sur les applications les plus avancées : les enrobés à chaud pour la réalisation d'enrobés pour couche de surface ou couche de base. *Le tableau 1, ci-dessus*, indique quelques caractéristiques des principales classes actuelles de ce liant avant polymérisation.

QUELQUES PROPRIÉTÉS INTÉRESSANTES DU LIANT VÉGÉTAL

La composition du liant végétal peut être choisie pour conférer à ce liant un caractère transparent en couche mince. Il peut alors être utilisé pour confectionner au choix des enrobés colorés ou ayant la couleur naturelle des granulats. A ce jour, ce sont surtout des liants végétaux transparents qui ont été appliqués (*photos 1A-C et 2 page de droite*).

La seconde caractéristique très intéressante à souligner est la viscosité du liant végétal. Le processus d'enrobage à chaud est identique à celui des enrobés bitumineux.



Photo 3 : Chargement d'un camion à la centrale de fabrication

Photo 3: Loading a truck at the manufacturing plant



Photo 4 : mise en oeuvre des enrobés

Photo 4: laying the same mix

Il est réalisé avec des granulats secs et chauds à une température dépendant de la viscosité du liant végétal et autorisant un enrobage correct des granulats. *La figure 1, page de droite*, montre que le liant végétal présente des



Photos 1: Logo sans liant (A) / With and without plant-based binder (B) / With and without bitumen (C)

Photos 1 : Logo sans liant (A) / Avec et sans liant végétal (B) / Avec et sans bitume (C)



Photo 2: Enrobé au liant végétal ayant la couleur naturelle des granulats

Photo 2: Enrobé au liant végétal ayant la couleur naturelle des granulats

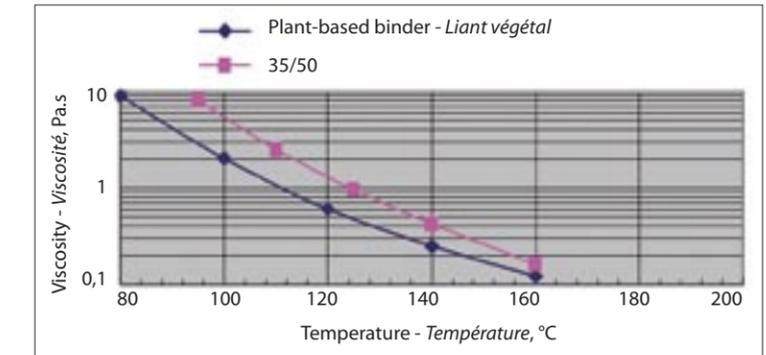


Figure 1: Comparaison entre la viscosité du liant végétal et d'un bitume pur 35/50

Figure 1 : Viscosités comparées du liant végétal et d'un bitume pur 35/50

Consequently, although it is possible to use the same characterization tests as for road bitumens for these binders, the usual rules for selecting a binder for a given application cannot be applied to the results.

A binder range has been specified in this way. It aims to match the different ways in which hydrocarbon binders are used - spraying and coating. These binders can be emulsified. As a function of the emulsion design, different types of surfacings can be produced: surface dressings, microsurfacing and cold mixes manufactured in a central mixing plant.

This document will present those applications which are at a sufficiently advanced stage of development, i.e. hot mixes manufactured with the plant-based binder. *Table 1, left page*, presents some characteristics of the current principal classes prior to polymerization.

SOME OF THE PLANT-BASED BINDER'S INTERESTING PROPERTIES

The composition of the plant-based

binder can be selected to make it transparent in a thin layer. It can then be used to manufacture mixes which take on the natural colour of the aggregate or which can be coloured as desired. So far, applications have primarily involved this type of plant-based binder. *Photos 1A-C and 2* show the interesting consequences of this property on the appearance of mixes.

The second very interesting characteristic to highlight is the viscosity of the plant-based binder. As has been stated above, the hot coating process is identical to that for bituminous mixes. It is performed with hot dry aggregate at a temperature that depends on the viscosity of the plant-based binder and the temperature at which it can be sprayed to ensure effective coating of the aggregate particles. *Figure 1, above*, shows that the viscosity values of the plant-based binder are considerably lower than a 35/50 pen pure bitumen. It is therefore possible to manufacture hot mixes at a lower temperature than bituminous mixes. The coating temperature can be reduced by 40 to 50 °C, without any reduction in workability. This

valeurs de viscosités nettement plus faibles que celles d'un bitume pur de grade 35/50. Dès lors, la température d'enrobage peut être réduite de 40 à 50°C sans perte de maniabilité. De ce fait, la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre sont probablement également diminuées.

Les photos 3 et 4, page précédente, illustrent cette propriété : très faibles émissions gazeuses à la fabrication en centrale d'enrobés au liant végétal à environ 110°C et lorsqu'ils sont appliqués à une température de l'ordre de 95°C.

La cohésion du liant, autre propriété importante, résulte de la polymérisation du liant. La figure 2, page de droite, présente une courbe de cohésion au mouton pendule Vialit en fonction de la température, obtenue avec un liant de classe 3 ayant subi un vieillissement RTFOT selon la norme NF EN 12607-1.

PERFORMANCES PHYSICO-MÉCANIQUES DES ENROBÉS

Elles ont été déterminées sur des enrobés avec des granulats de la carrière de La Noubleau, de granularité 0/6 mm, continue et comportant 5.7 % en poids de liant végétal par rapport aux granulats secs.

COMPACTIBILITÉ

La compactibilité est évaluée à l'aide de l'essai à la presse à cisaillement giratoire suivant la norme NF P 98-252. Les enrobés se compactent sans difficulté, même pour des valeurs faibles de température jusqu'à 100 °C, d'où le gain de maniabilité des enrobés amené par la viscosité plus faible du liant végétal.

EVOLUTION DES RÉSISTANCES DANS L'AIR ET APRÈS IMMERSION DANS L'EAU

Pour évaluer le comportement de l'enrobé vis-à-vis de la tenue à l'eau, il est nécessaire de modifier le protocole de l'essai Duriez (NF 98-251-1). Avant essai, les éprouvettes d'enrobés sont conservées à 18°C et 50% d'humidité. Dans ces conditions, la résistance des éprouvettes évolue dans le temps jusqu'à environ 60 jours de cure, puis se stabilise, marquant la fin du mécanisme de polymérisation (figure 3, page de droite). Les propriétés physico-mécaniques sont satisfaisantes ; l'immersion dans l'eau provoque un ralentissement du mûrissement des enrobés mais n'entraîne ni désenrobage, ni dégradation des éprouvettes.

RÉSISTANCE À L'ORNIÉRAGE

La résistance à l'orniérage a été évaluée avec l'orniéreur LPC, suivant la norme NF 98-253-1. La durée de conservation des éprouvettes avant essai est de 7 jours à température ambiante pour tenir compte de la polymérisation du liant. Deux valeurs de compacité géométrique des plaques d'essais ont été testées. La température de l'essai est de 60 °C. Les résultats donnés dans le tableau 2, ci-dessous, montrent la forte résistance à l'orniérage de ces enrobés destinés à être appliqués en couche très mince.

MODULE DE RIGIDITÉ ET RÉSISTANCE À LA FATIGUE

Le tableau 3, page suivante, regroupe les résultats des essais de module et de fatigue en flexion alternée (NF P 98-260-2 et NF P 98-261-1) obtenus sur des enrobés de même composition avec : un bitume pur 50/70, un liant à fort taux d'élastomères (type SBS) et le liant végétal. Les temps de

Nombre de cycles Number of cycles	Compacité faible - Low density 85,2% (85.2%)	Compacité forte - High density 87,9 % (87.9%)	Spécification pour BBTM Specification for very thin asphaltic concrete (XP P 98 - 137)
3 000	2,8 % (2.8%)	2,1 % (2.1%)	≤ 20 %
30 000	4,0 % (4.0%)	2,9 % (2.9%)	
100 000	4,4 % (4.4%)	3,5 % (3.5%)	

Tableau 2 : Résistance à l'orniérage d'enrobés au liant végétal
Table 2: Rutting resistance of mixes using the plant-based binder

means that energy consumption and greenhouse gas emissions will also probably be reduced.

Photos 3 and 4, page 180, illustrate this property. Gas emissions are very low during the manufacture of plant-based binder mixes in a central mixing plant at about 110°C and when they are laid at a temperature of about 95°C.

Another important property, the cohesion of the binder results from the polymerization of the binder. Figure 2, below, shows a plot of cohesion against temperature obtained from a Vialit pendulum test. This plot was obtained with a class 3 binder after RTFOT ageing as specified in the standard NF EN 12607-1.

PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF THE MIXES

These were determined for mixes containing aggregate from the

La Noubleau quarry, with 0/6 mm continuous grading and a plant-based binder content of 5.7 % in relation to the dry aggregate.

COMPACTABILITY

Compactability was measured using the gyratory shear press as described in the French standard NF P 98-252. The mixes can be compacted without difficulty, even at temperatures as low as 100 °C, which explains the improved mix workability that results from the plant-based binder's lower viscosity.

STRENGTH IN AIR AND AFTER IMMERSION IN WATER

To evaluate the water resistance of the mix, the Duriez test procedure (NF 98-251-1) must be modified. Before the test the specimens are conserved at 18°C and 50% relative humidity. Under these conditions, the strength of the specimens continues to increase during the first 60 days of curing. Their stabilization after this period marks the end of the polymerization process, as can be seen in figure 3. The

physicomechanical performance is quite satisfactory. Immersion in water slows the curing of the mixes but does not lead to binder stripping or damage to the mix specimens.

RUTTING RESISTANCE

Rutting resistance was measured using the LPC rutting machine as specified in the standard NF 98-253-1. The specimens were conserved for 7 days at ambient temperature in order for the polymerization process to have an effect. Two geometric compaction values of the test plates were tested. The test was conducted at 60°C. The data are set out in table 2, left page, and show the good rutting resistance of the plant-based binder mixes intended to be laid in very thin layers.

STIFFNESS MODULUS AND FATIGUE STRENGTH

Table 3, following page, presents the results of mechanical tests to establish the modulus and the flexural fatigue performance (NF P 98-260-2 and NF P 98-261-1) performed on mixes with the same composition. The binders were, respectively, a pure

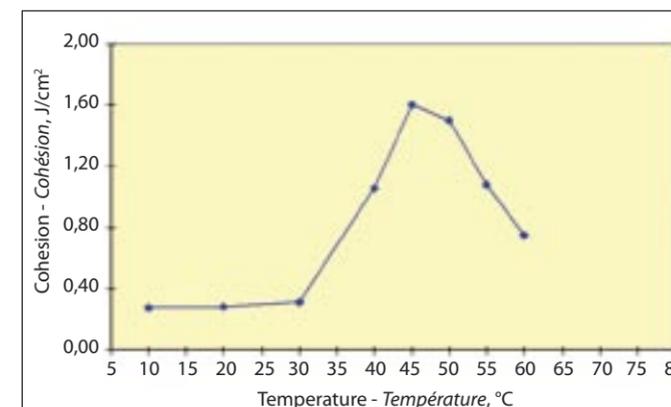


Figure 2: Plot of the cohesion of the plant-based binder (class 3) after RTFOT
Figure 2: Courbe de cohésion du liant végétal (classe 3) après RTFOT

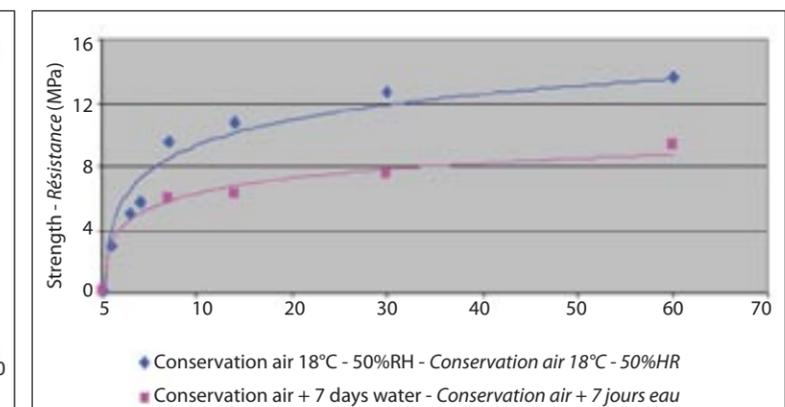


Figure 3: Duriez strength versus curing time
Figure 3: Evolution des résistances Duriez en fonction du temps de mûrissement

mûrissement des éprouvettes à température ambiante sont les mêmes pour les trois liants, soit un et neuf mois.

Ces valeurs montrent que les enrobés 0/6 pour revêtement de chaussée possèdent des performances en module de rigidité et de fatigue particulièrement intéressantes, voire significativement supérieures à celles obtenues avec des bitumes fortement modifiés par des élastomères et ceci est encore plus vrai après mûrissement des enrobés après 9 mois.

L'ensemble de ces valeurs confirme que ces enrobés conviennent tout à fait pour l'usage visé.

RÉALISATION DE CHANTIERS ET PERFORMANCES IN SITU DES ENROBÉS AU LIANT VÉGÉTAL

« ROUTE DU FUTUR »
TECHNOPOLE DE PLOUFRAGAN
(Côtes d'Armor, France). Avril 2003

Ce tout premier chantier sur chaussée circulée a été réalisé en partenariat avec le Conseil Général des Côtes d'Armor dans le cadre de son projet innovant : la « Route du Futur ».

Il s'agissait d'une couche de roulement en enrobés très minces de teinte naturelle des granulats pour environ la moitié de la chaussée à revêtir et de couleur blanche pour l'autre partie. La granularité 0/6 mm est continue, la teneur en liant de 6% par rapport aux granulats secs. Les granulats utilisés sont issus de la carrière Bégard et sont conformes aux exigences pour couche de roulement. Les enrobés ont été fabriqués avec une centrale discontinue comportant une ligne spécifique pour l'introduction et le dosage du liant végétal. Ils ont été mis en oeuvre en 2.5 cm d'épaisseur après application d'une couche d'accrochage à l'émulsion de bitume traditionnelle légèrement gravillonnée pour éviter les remontées de bitume dans l'enrobé (3 l/m² de gravillons 4/6).

La réalisation des enrobés blancs (photo 5) a nécessité un nettoyage préalable des matériels de fabrication et de mise

AGE	BITUME 50/70 50/70 PEN BITUMEN		BITUME ÉLASTOMÈRE SBS ELASTOMER MODIFIED BITUMEN		LIANT VÉGÉTAL PLANT BASED BINDER	
	1 MOIS 1 MONTH	9 MOIS 9 MONTHS	1 MOIS 1 MONTH	9 MOIS 9 MONTHS	1 MOIS 1 MONTH	9 MOIS 9 MONTHS
MODULE - MODULUS 15°C, 10Hz (Mpa)	3800	3800	4200	4600	5100	5600
FATIGUE MICRODÉF	110	114	122	125	129	161
GAIN		+4%		+3%		+25%

Table 3: A comparison between the modulus and fatigue performance of the 0/6 cm mixes with different binders as a function of age

Tableau 3 : Performances en module et en fatigue d'enrobés 0/6 avec les différents liants en fonction de l'âge



Photo 5 : mise en œuvre des tous premiers enrobés au liant végétal (couleur blanche)
Photo 5: laying the very first white plant-based binder

en oeuvre. Le compactage a été assuré par un cylindre de type VT2 double bille fonctionnant en lisse.

Principales caractéristiques de surface des enrobés

La macro texture du revêtement a une valeur moyenne de la hauteur au sable vraie de HSv de 0,71 mm. Le coefficient de frottement transversal CFT, mesuré à 60 km/h avec l'appareil SCRIM, est de 0,69 en moyenne après 4 mois. Les coefficients de frottement longitudinal CFL, évalués par la

particularly good stiffness modulus and fatigue performance, which may be even better than those obtained with modified mixes with a very high elastomer content, and this characteristic is even more the case after nine months of curing.

The values confirm that the mixes are completely suitable for their intended use.

CARRYING OUT WORKS AND THE IN-SITU PERFORMANCE OF PLANT-BASED BINDER MIXES

THE "ROAD OF THE FUTURE" AT THE PLOUFRAGAN SCIENCE PARK
(Côtes d'Armor, France).
April 2003

This was the very first application on a trafficked road and was conducted in partnership with the General Council of the Département of Côtes d'Armor in the framework of its innovation project "The Road of the Future".

It was a very thin mix wearing course with the natural colour of the aggregate on approximately half the carriageway and a similar white wearing course on the other half of the carriageway. These continuously graded 0/6 mixes with a binder content of 6% in relation to the dry aggregate. The aggregate was sourced from the Bégard quarry and met the requirements for a wearing course. The mixes were manufactured in a batch-mixing plant with a specific production line for adding and proportioning the plant-based binder. The mixes were laid in a thickness of 2.5 cm after the application of a tack coat manufactured with conventional bitumen emulsion with the addition of a small amount of chippings to prevent the bitumen from contaminating the plant-based binder (3 l/m² of 4/6 mm chippings).

Photo 5 shows laying of the white mix which required preliminary cleaning of the manufacturing and laying equipment. Compaction was performed by a type VT2 smooth roll tandem compactor.

Principal surface characteristics of the mixes

The macro texture of the surfacing was adequate when measured by the sand patch test, with an average

50/70 pen bitumen, a binder with a high elastomer content (SBS) and the plant-based binder. The curing times of the specimens at ambient temperature were the same for all three binders, i.e. one month and nine months.

These values show that the 0/6 pavement surfacing mixes exhibit

remorque ADHÉRA après 6 et 30 mois, sont présentés dans le [tableau 4](#).

L'ensemble de ces mesures caractérise une adhérence très satisfaisante similaire à celle trouvée sur des revêtements de même type réalisés avec des bitumes élastomères SBS.

Du point de vue des caractéristiques photométriques, la section « blanche » appartient à la classe R1 selon la codification du CIE (Comité International de l'Éclairage) et celle de couleur naturelle est classée R2.

Par ailleurs, la surface des enrobés peut être facilement nettoyée à l'eau sous haute pression (environ 500 à 600 bars), après 12 mois de service. Elle retrouve alors quasiment ses caractéristiques photométriques initiales, sans aucune dégradation des enrobés lors du nettoyage comme le montre la [photo 6](#).

Après 3 ans de service, dont l'été caniculaire de 2003, la couche de roulement présente un excellent aspect de surface et son comportement est tout à fait satisfaisant.

Ce tout premier chantier a été réalisé dans une région de climat tempéré, aussi pour le second chantier, une zone climatique plus continentale a été choisie, avec de forts écarts de température en hiver et avec une viabilité hivernale sévère.

CHANTIER DE LIGSDORF (Haut Rhin) Octobre 2003

Il s'agit ici du renouvellement d'une couche de roulement réalisé en enrobés très minces de couleur naturelle des granulats sur une ancienne chaussée supportant un trafic T3, avec un profil sinueux et en légère pente. Située dans le Jura alsacien, elle subit chaque année des cycles de gel dégel d'amplitude importante pendant une durée significative. Cette route départementale est également soumise à un salage important et au déneigement.

Les enrobés 0/6 de granularité continue sont réalisés avec des granulats issus des alluvions du Rhin à Blotzheim. Le dosage en liant végétal est de 6 % par rapport aux granulats secs. Les enrobés ont été fabriqués dans une centrale discontinue comportant une ligne spécifique de dosage pour le liant végétal. La température de fabrication a été



Photo 6 : Aspect du revêtement après nettoyage à l'eau sous pression
Photo 6: Appearance of surface after cleaning with high pressure water.

comprise entre 110 et 120°C pour une durée de transport en camions bâchés de l'ordre d'une heure.

La mise en œuvre est réalisée avec un finisseur classique et le compactage est effectué au tandem lisse de type VT2. Une pluie fine s'est produite lors de l'application, mais ne l'a pas perturbé. La forte maniabilité des enrobés a été à nouveau observée, même à une température de l'ordre de 80 à 90 °C. La [photo 7](#), page de droite, montre la mise en œuvre des enrobés.

Principales caractéristiques de surface des enrobés

La macrotexture du revêtement a une valeur moyenne HSv de 1mm. Mesuré à 60 Km/H avec l'appareil SCRIM du CETE de Lyon, le coefficient de frottement transversal CFT

AGE	6 MONTHS - 6 MOIS	30 MONTHS - 30 MOIS
CFL 40 km/h - BFC at 40 km/h	0.65 (0,65)	0.61 (0,61)
CFL 60 km/h - BFC at 60 km/h	0.53 (0,53)	0.45 (0,45)

Tableau 4 : CFL à différentes vitesses en fonction de l'âge
Table 4: BFC at different speeds as a function of age

sand patch value of 0.71 mm. The average sideways force coefficient measured at 60 km/h with a SCRIM was 0.69 after 4 months. The braking force coefficient (BFC) values after 6 months and 30 months measured by the ADHERA trailer are displayed in [table 4](#).

The set of measurements demonstrate very satisfactory skid resistance which is similar to that measured on SBS- modified bituminous surfacings of the same type.

With regard to photometric characteristics, the "white" section belonged to class R1 and the coloured section to class R2 as defined by the International Commission on Illumination (CIE).

Furthermore, the surface of the mix can be easily cleaned with high pressure water (about 500-600 bars) after 12 months of service and this practically restores its initial photometric characteristics without any deterioration of the mix during the cleaning process as shown by [photo 6](#), left page.

After 3 years of service, including the extremely hot summer of 2003, the wearing course still has an excellent surface appearance and its performance is completely satisfactory.



Photo 7: October 2003, laying the 0/6 mix at Ligsdorf
Photo 7: Octobre 2003, mise en œuvre des enrobés 0/6 à Ligsdorf

This first project was carried out in a region with a temperate climate, so for the second project a more continental climate was chosen, with large temperature variations in the winter and potentially damaging winter maintenance.

THE LIGSDORF WORKSITE (Département of Haut Rhin) October 2003

This project involved placing a very thin natural aggregate coloured wearing course on a pavement carrying T3 traffic with a bendy profile and a slight gradient. It is located in the Jura mountains in Alsace and every year is subjected to high amplitude frost-thaw cycles for a significant length of time. This county road also has to withstand a large amount of salting and snow removal.

The mix with 0/6 continuous grading was manufactured using local aggregate from alluvial deposits in the Rhine at Blotzheim. The proportion of plant-based binder was 6% in relation to the dry aggregate. The mix was manufactured in a batch-mixing plant with a special production line for adding and proportioning the plant-based binder. The manufacturing temperature was between 110 and 120°C and the duration of transport in tarpaulin covered lorries was about one hour.

Placement was performed with a conventional asphalt laying machine and the mix was compacted with a type VT2 smooth roll tandem compactor. There was light rainfall during the laying works, but this caused no problems. Once again, the

est de 0,75 en moyenne après 9 mois. Les coefficients de frottement longitudinal CFL sont donnés dans le *tableau 5, page de droite*. Ces valeurs des CFL se situent nettement au dessus de la partie supérieure du fuseau national tous revêtements après 8 et 20 mois de circulation.

Ces mesures caractérisent une adhérence très satisfaisante qui se maintient dans le temps.

Après trois hivers plutôt rigoureux, avec des cycles de gel dégel jusqu'à -15 °C, des salages et des déneigements assez fréquents, puis des étés chauds à très chauds, la couche de roulement présente un état de surface tout à fait satisfaisant. *Les photos 8A et 8B* montrent l'état actuel de la chaussée après 30 mois de trafic.

RÉALISATIONS 2004 À ET2005

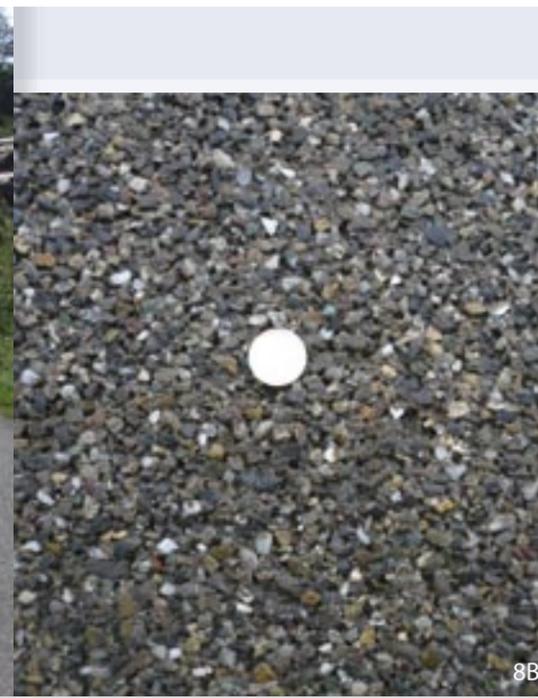
Après ces premiers chantiers sur routes circulées et suite au bon comportement d'ensemble constaté, d'autres chantiers ont été réalisés qui ont permis d'affiner les règles de formulation du liant végétal.

En mai 2004, une allée et une place du bois de Boulogne à Paris ont été revêtues à l'aide d'enrobés de couleur naturelle des granulats (sables de Seine). Ces enrobés ont été appliqués manuellement à une température de l'ordre de 80 °C ; ils présentent la teinte « sable mouillé » souhaitée par le maître d'œuvre.

Ensuite, dans le cadre de Charte de l'Innovation routière avec les Conseils généraux et le Sétra (*Services d'Études Techniques des Routes et Autoroutes, France*), deux chantiers ont été faits en enrobés très minces. Avec le même type de formule 0/6 mm à granularité continue et à 6% de liant végétal, ils ont été mis en œuvre sur route départementale à trafic relativement élevé, de l'ordre de T2 à T1. Ils se sont déroulés en septembre et début octobre 2004, respectivement dans les départements du Haut Rhin (RD 419) et des Côtes d'Armor (RD 712). Dans ce cadre et en 2005, afin de couvrir les zones climatiques françaises, un troisième chantier a été réalisé avec le même type de formule d'enrobé 0/6 mm pour le compte du Conseil général de Haute Garonne sur une route départementale de trafic T2 (RD 16). Le comportement actuel de ces différents revêtements est tout à fait satisfaisant ; les observations



8A



8B

Photo 8A et 8B : Aspect de la chaussée après 30 mois

Photo 8A and 8B: Appearance of the pavement after 30 months



Photo 9 : RD 419 après 20 mois de circulation

Photo 9: The RD 419 after 20 months of trafficking

confirment les bonnes caractéristiques de surface, l'absence d'orniérage et la bonne tenue dans le temps comme le montre la *photo 9*.

excellent workability of the mixes was observed, even at a temperature of about 80 to 90°C. *Photo 7, previous page*, shows laying of the mix.

Principal surface characteristics of the mixes

The macrotexture of the surfacing has an average sand patch value of 1 mm. The average sideways force coefficient measured at 60 Km/h with a SCRIM was 0.75 after 9 months. The breaking force coefficient (BFC) values are set out in *Table 5*. After 8 and 20 months of trafficking these BFC values are placed well above the upper level of the national range for all types of surfacings.

These values confirm that the skid resistance is both very satisfactory and durable.

After three fairly rigorous winters with many frost-thaw cycles as low as -15 °C, and fairly frequent road salting and snow removal followed by hot to very hot summers, the surface appearance of the wearing course is quite satisfactory. *Photos 8A et 8B* show the state of the pavement as it is now after after 30 Months of trafficking.

PROJECTS IN 2004 AND 2005

In view of the good overall performance of these first projects on roads that are open to traffic, other works were performed permitting further refinement of the mix design rules for the plant-based binder.

First, in May 2004, a path and a square in the Bois de Boulogne in Paris were surfaced using mixes with the natural colour of the aggregate (sand from the Seine, the french river). These mixes were laid manually at about 80°C and the "wet sand" colouring requested by the project manager was obtained.

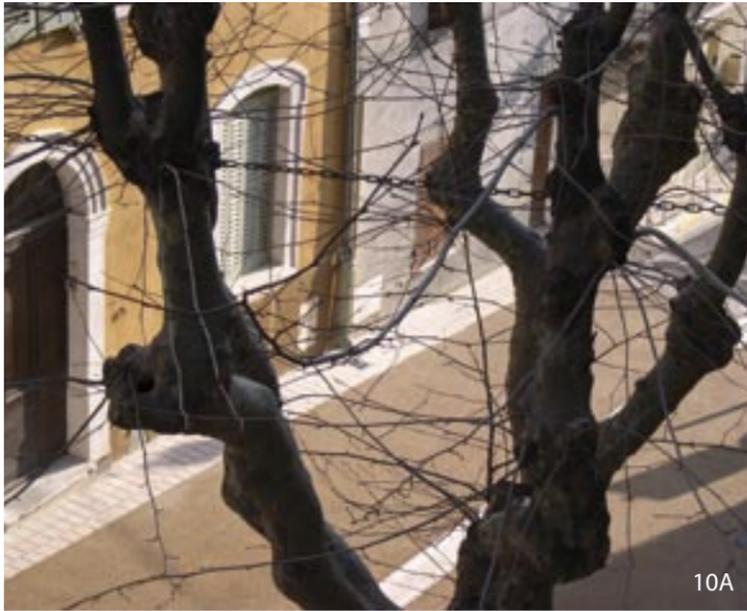
Then in the framework of a Road Innovation Charter signed with the General Councils and the SETRA, two projects involving very thin mixes were undertaken. With the same type of 0/6 mm continuously graded aggregate and a binder content of 6 % of plant-based binder, these mixes were laid on fairly heavily trafficked county roads with traffic varying between T2 and T1. The works were carried out in early October 2004, in the Départements of Haut Rhin (RD 419) and Côtes d'Armor (RD 712). In order to cover all France's climatic zones, in 2005, in the framework of this Charter, a third project was carried out, with the same 0/6 mix for the General Council of the Département of Haute Garonne on a county road T2 traffic. The performance of all these surfacings is completely satisfactory and tests have confirmed their good surface characteristics, an absence of rutting and good durability as shown by *photo 9*.

AGE	8 MONTHS - 8 MOIS	20 MONTHS - 20 MOIS
CFL 40 km/h - BFC at 40 km/h	0.68 (0,68)	0.66 (0,66)
CFL 60 km/h - BFC at 60 km/h	0.57 (0,57)	0.59 (0,59)
CFL 80 km/h - BFC at 80 km/h	0.52 (0,52)	0.52 (0,52)

Table 5: BFC at different speeds as a function of age
Tableau 5 : CFL à différentes vitesses en fonction de l'âge

¹Services d'Études Techniques des Routes et Autoroutes : Technical Department for Transport, Roads and Bridges Engineering and Road Safety of the French ministry for Ecology, Sustainable Development and Spatial Planning.

Depuis 2005, de nombreux chantiers ont été réalisés pour mettre en valeur l'aspect esthétique et naturel des enrobés obtenu par la transparence du liant végétal qui laisse paraître la couleur des granulats pour s'accorder avec l'environnement existant. Réalisés principalement dans le cadre d'aménagements urbains, il s'agit : de revêtement de piste cyclable, de zones piétonnières, d'agrément ou de loisir (photos 10, et 11 page de droite).



10A



10B

Photo 10 : Bormes Les Mimosas (A) et palais du Luxembourg à Paris (B)
Photo 10: Bormes Les Mimosas (A) and the Luxembourg Palace in Paris (B)

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Inscrit au cœur de la problématique des ressources énergétiques et des gains environnementaux, l'objectif innovant de mise au point d'un liant d'origine végétal a été atteint et même dépassé. Le programme de recherche et les expérimentations réalisées avec l'aide de l'ADEME ont permis de réaliser des enrobés à chaud possédant des performances physico-mécaniques très satisfaisantes.

Les revêtements de chaussées circulées se comportent à ce jour de façon satisfaisante, après 3 ans de service pour le plus ancien. Leurs caractéristiques de surface sont au moins équivalentes à celles des enrobés bitumineux de même catégorie et assurent la sécurité et le confort des usagers. L'entreprise a donc décidé de développer la gamme de ces liants pour enrobage et à ce jour plus de 1 000 tonnes ont été produites. Fabriqués à partir de matières premières renouvelables, ils s'inscrivent dans la logique du développement durable. En permettant d'enrober les granulats à une température relativement faible de l'ordre de 110°C, voire même inférieure, ils peuvent également contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Ils sont recyclables et ne présentent aucun caractère écotoxique pour l'environnement.

Jusqu'à présent le caractère transparent de ce liant est celui qui est le plus demandé. En effet, il valorise les teintes naturelles des granulats. Il est relativement aisé de concevoir des revêtements s'intégrant harmonieusement à l'environnement architectural dans lequel ils sont appliqués. La grande maniabilité donnée aux enrobés facilite la mise en œuvre manuelle souvent nécessaire pour de petites surfaces.

A terme, alternative à l'utilisation du bitume, la gamme des liants d'origine végétale témoigne de la volonté d'innovation, de s'inscrire dans le cadre du développement durable et d'y apporter des réponses pertinentes.

VERS UNE NOUVELLE ROUTE ?

There have been many projects since 2005. These have aimed to highlight the attractive natural appearance of the mixes obtained as a result of the transparency of the plant-based binder which allows the colour of the aggregate to show through and blends in with the surroundings. They have principally been used for urban streets, cycle track surfacings and pedestrian or leisure zones (photos 10, left page and 11).

CONCLUSIONS AND OUTLOOK

The targeted objectives of this innovation, i.e. energy and environmental benefits, and the innovative aim of developing a plant-based binder, have been attained, or even exceeded. As a result of the research programme and the trials with the assistance of the French Energy Conservation Agency (ADEME), hot mixes with very satisfactory physico-mechanical performance have been produced.

The road surfacings, the first of which was opened three years ago, are today performing in a very satisfactory manner under traffic. They provide surface characteristics that are at least as good as bituminous mixes of the same class, providing a safe comfortable ride for road users.

The Company has therefore decided to increase production of this range of coating binders and to date approximately 1000 tonnes have been manufactured. These mixes are manufactured from renewable

raw materials and fit in with the ideas of sustainable development. As the binders enable mixes to be manufactured at relatively low temperatures of around 110°C or even below, they also help reduce greenhouse gas emissions. They are recyclable and are not toxic for the environment.

So far, it is the binder's transparency which has most attracted our clients. This allows the natural colour of the aggregate to appear and it is straightforward to design pavements which integrate harmoniously with their architectural surroundings. The excellent workability of the mixes facilitates the manual laying which is frequently required for small surface areas.

Ultimately providing an alternative to bitumen, the range of plant-based binders illustrates commitment to innovation and to sustainable development and the desire to provide appropriate responses for it.

TOWARDS A NEW TYPE OF ROAD?

Photos 11 : Sainte-Marie-aux-Mines (A), a cycle path in Ensisheim (B), Boulogne-sur-Mer (C)
Photos 11 : Sainte Marie aux Mines (A), piste cyclable Ensisheim (B), Boulogne sur Mer (C)



11A



11B



11C