

LIANT INNOVANT D'ORIGINE VEGETALE POUR ENROBES ROUTIERS ET REVETEMENTS DE VOIRIES

Johan TRIGALLEZ,
Colas Belgium

Michel BALLIE,
Colas France

Thierry DELCROIX,
Campus Scientifique et Technique Colas

Résumé

De nombreuses chaussées sont réalisées et entretenues avec des enrobés dont le bitume est obtenu par raffinage de pétrole brut. Or cette ressource naturelle n'est pas inépuisable. 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.

Depuis quelques années, un programme de recherche a été engagé au sein de Colas pour formuler des liants végétaux susceptibles d'être à terme une alternative à l'utilisation des bitumes.

Fabriqués à partir de matières premières renouvelables, ils s'inscrivent dans la logique du développement durable. Ils sont destinés à la fabrication de revêtements s'intégrant harmonieusement dans l'environnement.

Plusieurs chantiers ont été réalisés en Europe, et notamment en Belgique.

Samenvatting

Talrijke rijbanen met mengsels waarvan de bitumen verkregen zijn door raffinering van ruwe petroleum zijn tot stand gebracht en onderhouden. Maar deze natuurlijke bron is echter niet onuitputbaar. Teneinde de petroleum vanuit het standpunt van duurzame ontwikkeling op de meest relevante manier te gebruiken, is het belangrijk om vanaf nu alternatieven gelijk te stellen met het gebruik van bitumen voor de techniek op de weg.

Sedert enkele jaren is een onderzoeksprogramma in dienst getreden binnen Colas om plantaardige bindmiddelen te ontwikkelen die in staat zijn om op termijn een alternatief te zijn bij het gebruik van bitumen.

Gemaakt van hernieuwbare grondstoffen sluiten zij aan op de logica van de duurzame ontwikkeling. Zij zijn bestemd voor het vervaardigen van een wegdek dat zich harmonieus integreert in de omgeving.

Verschillende werven werden in Europa verwezenlijkt met name in België.

1. Exposé du problème

Une grande partie des réseaux routiers français et belge est réalisée et surtout entretenue avec des enrobés bitumineux ou avec des revêtements de surface à base de bitume issu du pétrole brut. A titre indicatif, en Belgique, la consommation annuelle de bitume en construction routière est de l'ordre de 0.2 millions de tonnes. Afin d'utiliser le pétrole de 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.

A partir de cette réflexion et au cours de ces cinq 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 de laboratoire et de nombreuses expérimentations in situ, avec l'aide de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) en 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 leurs compositions sont déjà produits à l'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 maîtriser leur mélange et de prévoir le stockage des matières premières et des liants produits.

Les centrales de fabrication et les engins d'applications 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.

2. 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.

Il 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 notamment entre les composants, probablement avec les granulats et l'oxygène de l'air. Elle se poursuit au cours des étapes de fabrication, de

l'application et après compactage des enrobés. Par ce mécanisme de polymérisation, il confère aux enrobés la cohésion et les performances mécaniques nécessaires aux matériaux utilisés en technique routière. L'existence de cette phase de « mûrissement » est à l'origine de la méthode adoptée pour évaluer ces propriétés.

En conséquence, si 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 pourront être utilisées à partir des résultats de ces essais.

Il faut en effet tenir compte de la réaction d'évolution liée à la polymérisation qui se produit après l'enrobage des granulats et le compactage des enrobés. Par ailleurs, il possède des propriétés rhéologiques particulières. C'est pourquoi, il est nécessaire d'accumuler les données des essais de laboratoire et de les valider par les comportements in situ. Elles permettent de choisir une composition de liant végétal en fonction de l'usage recherché pour les enrobés fabriqués à partir de ce liant végétal. La gamme de liant a été ainsi définie. Elle vise à correspondre aux différents usages routiers des liants hydrocarbonés : enduisage et enrobage.

Ces liants peuvent être mis en émulsion. En fonction de la formulation retenue pour l'émulsion, la réalisation de divers revêtements est alors possible : enduits superficiels, enrobés coulés à froid (RBCF), enrobés à froid élaborés en centrale de malaxage.

Dans le cadre de ce dossier, sont présentées les applications suffisamment développées : les enrobés à chaud à base de liant végétal.

Ces recherches ont abouti à la formulation de liants végétaux dont les propriétés d'usages sont convenables pour la réalisation d'enrobés pour couche de surface ou couche de base.

Le tableau 1 indique quelques caractéristiques des classes actuelles de liant avant polymérisation.

Classe	1	2	3
Viscosité initiale (Pa.s) Appareil Brookfield, (SC 4-27), 70°C ; 1.4 s⁻¹	33 à 45	16 à 24	11 à 14
Température de pompabilité (°C)	100	100	100
Densité à 25°C	0.95 à 1.05	0.95 à 1.05	0.95 à 1.05
Point d'éclair Cleveland (°C)	> 210	> 210	> 210
Module G* (MPa) à 20°C ; 7.8 Hz	> 2.5	> 0.8	> 0.2

Tableau 1 – Classes actuelles et principales caractéristiques rhéologiques.

Par raison de confidentialité, les principes de formulation de ces liants ne sont pas développés.

3. 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 des enrobés de

couleur naturelle des granulats ou colorés au choix. A ce jour, ce sont surtout des liants végétaux de ce type qui ont été appliqués. Les photographies 1 et 2 montrent les effets intéressants de cette propriété sur l'aspect esthétique des enrobés réalisés.



Photo 1 - Logo sans liant - Avec et sans liant végétal - Avec et sans bitume



Photo 2 - Enrobé au liant végétal, de teinte naturelle des granulats

La seconde caractéristique très intéressante à souligner est la viscosité du liant végétal. Comme il a été dit précédemment, le processus d'enrobage à chaud est identique à celui des enrobés bitumineux.

Il est réalisé avec des granulats secs et chauds à une température dépendant de la viscosité du liant végétal et autorisant sa pulvérisation pour assurer un enrobage correct des granulats.

Le liant végétal présente des valeurs de viscosités nettement plus faibles que celles du bitume correspondant. Cette caractéristique autorise de fabriquer les enrobés à une température plus faible que celle nécessaire à la confection des enrobés au bitume. 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 également diminuées.

De très faibles émissions gazeuses sont produites 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, influe sur les performances mécaniques des enrobés. Elle résulte de la polymérisation du liant.

La figure 1 donne un exemple de la courbe de cohésion au mouton pendule Vialit en fonction de la température.

Elle est obtenue avec un liant de classe 3 ayant subi un vieillissement RTFOT (NF EN 12607-1) identique à celui de l'essai normalisé pour les bitumes routiers.

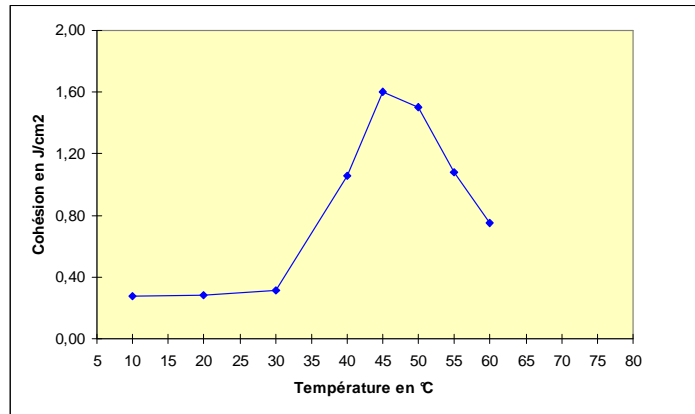


Figure 1 - Courbe de cohésion du liant végétal (classe 3) après RTFOT en fonction de la température

4. Performances physico-mécaniques des enrobés

Elles ont été déterminées sur des enrobés avec des granulats de La Noubleau (carrière située dans le département des Deux-Sèvres (79)- France), de granularité 0/6 mm, continue et comportant 5.7 % de liant végétal par rapport aux granulats secs.

4.1 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 man iabilité des enrobés amené par la viscosité plus faible du liant végétal.

4.2 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 .

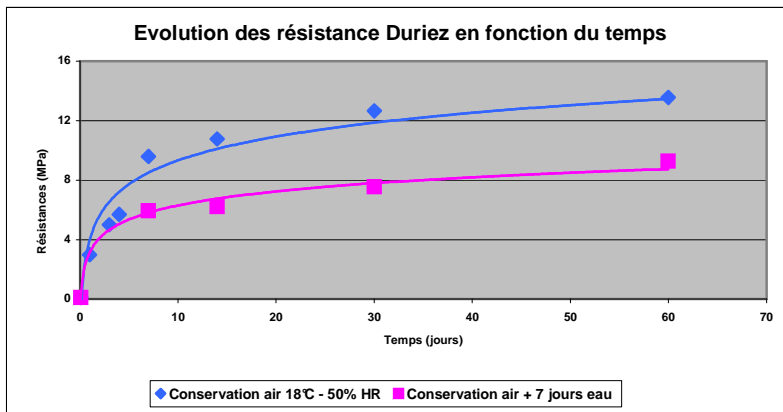


Figure 2 - Evolution des résistances Duriez en fonction du temps de mûrissement.

Dans ces conditions, la résistance des éprouvettes après conservation dans l'air à 18 °C et celle après immersion dans l'eau à la même température évoluent dans le temps jusqu'à environ 60 jours de cure, puis se stabilisent, marquant la fin du mécanisme de polymérisation, comme le montre la figure 2. Les performances physico-mécaniques sont tout à fait satisfaisantes. L'immersion dans l'eau provoque un ralentissement du mûrissement des enrobés mais n'entraîne ni désenrobage, ni dégradation des éprouvettes d'enrobés.

4.3 Résistance à l'orniérage

Suivant la norme NF 98-253-1, la résistance à l'orniérage a été évaluée à l'aide de l'orniéreur LPC. Ils sont destinés à être appliqué en couche très mince. 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 sont donnés dans le tableau 2. Ils montrent la forte résistance à l'orniérage de ces enrobés au liant végétal.

Nombre de cycles	Compacité faible : 85,2%	Compacité forte : 87,9 %	Spécification pour BBTM (XP P 98-137)
3.000	2,8 %	2,1 %	≤ 20 %
30.000	4,0 %	2,9 %	
100.000	4,4 %	3,5 %	

Tableau 2 - Résistance à l'orniérage d'enrobés au liant végétal

4.4 Module de rigidité et résistance à la fatigue

Le tableau 3 regroupe les résultats des essais mécaniques de module et de fatigue en flexion alternée (NF P 98-260-2 et NF P 98-261-1) obtenus sur les enrobés de même composition. Le liant est respectivement un bitume pur 50/70, un liant à fort taux d'élastomères (type SBS) et le liant végétal formulé pour répondre au même type d'usage qu'avec les deux premiers liants. Les temps de mûrissement des éprouvettes à température ambiante sont les mêmes pour les trois liants, soit 1 et 9 mois.

	Bitume 50/70		Bitume élastomère (SBS)		Liant végétal	
	1 mois	9 mois	1 mois	9 mois	1 mois	9 mois
Module (MPa) 15°C-10 Hz	3800	3800	4200	4600	5100	5600
Fatigue (Microdéf)	110	114	122	125	129	161

Tableau 3 - Comparaison des performances en module et en fatigue des enrobés 0/6 avec les différents liants en fonction de l'âge.

Ces valeurs montrent que ces enrobés 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 très 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.

5. Réalisation de chantiers et performances in situ des enrobés au liant végétal

5.1 « Route du Futur » Technopole de Ploufragan (Côtes D'ARMOR (22))-Avril 2003 [1]

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 a donné l'opportunité de tester, en vraie grandeur, ce nouveau concept d'enrobés sur la chaussée desservant la technopole de Ploufragan.

HÉLARY, filiale de Colas Centre-Ouest, a réalisé la 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. De granularité 0/6 mm à courbe granulométrique continue et de teneur en liant de 6% par rapport aux granulats secs, ces enrobés répondent efficacement aux exigences d'adhérence et de confort acoustique [2]. Les granulats utilisés sont issus de la carrière Bégard (22) 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 photo 3 montre la réalisation des enrobés blancs qui a nécessité un nettoyage préalable des matériels de fabrication et de mise en oeuvre. Le compactage a été assuré par un cylindre de type VT2 double bille fonctionnant en lisse.



Photo 3 - Mise en oeuvre des tous premiers enrobés au liant végétal (couleur blanche)

Principales caractéristiques de surface des enrobés :

Évaluée par mesure de la hauteur au sable vraie HSv, la macro-texture du revêtement est correcte avec une moyenne de HSv de 0,71mm.

Mesuré à 60 Km/H avec l'appareil SCRIM du CETE (Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement) de Lyon [3], le coefficient de frottement transversal CFT est de 0,69 en moyenne après 4 mois.

Évalués par la remorque ADHÉRA du CETE Nord Picardie, après 6 et 30 mois, les coefficients de frottement longitudinal CFL [3], sont regroupés dans le tableau 4.

Age	6 mois	30 mois
CFL 40 Km/H	0.65	0.61
CFL 60Km/H	0.53	0.45

Tableau 4 - CFL à différentes vitesses en fonction de l'âge

L'évolution des CFL à 40 Km/H en fonction du temps est faible. A 60 Km/H, la diminution du CFL est plus sensible (route peu circulée : salissures du revêtement ?), mais le niveau demeure correct. En effet, ces dernières valeurs se situent dans la partie supérieure du fuseau national français.

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 [4] mesurées par le LRPC (Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées) de Strasbourg, la section « blanche » appartient à la classe R1 selon la codification du CIE (Comité International de l'Eclairage) et celle de couleur naturelle est classée R2.

Toutes ces valeurs confirment les excellentes performances de ces enrobés au liant végétal.

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.

Après 5 ans de service, la couche de roulement présente un excellent aspect de surface et son comportement est tout à fait satisfaisant.

5.2 Réalisations de 2004 à 2008

Après ce premier chantier sur route circulée et suite au bon comportement d'ensemble constaté, d'autres chantiers ont été réalisés dès 2004 et qui ont permis d'affiner encore les règles de formulation du liant végétal.

Tout d'abord, en mai 2004, une allée et une place située dans le 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. Grâce à la forte maniabilité des enrobés, il a été possible de les mettre en œuvre à une température de l'ordre de 80 °C et d'obtenir la teinte « sable mouillé » souhaitée par le maître d'œuvre.

Ensuite en septembre 2004, dans le cadre de Charte de l'Innovation Routière avec les Conseils Généraux et le Sétra, 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 par rapport aux granulats secs, 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). Effectuées sous circulation, ces deux réalisations font l'objet d'un suivi précis de comportement en terme d'adhérence et de comportement général.

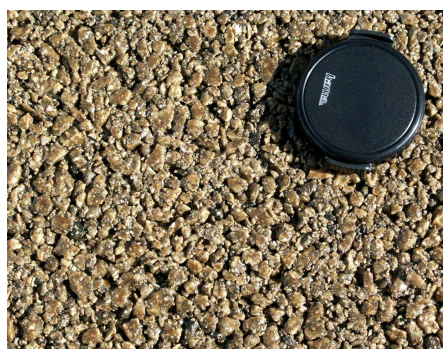
Dans ce cadre et en 2005, afin de couvrir toutes les zones climatiques françaises, un troisième et dernier chantier a été réalisé avec le même type de formule d'enrobé 0/6 mm pour le compte du Conseil Général de Haute Garonne sur une route départementale de trafic T2 (RD 16).

Le comportement actuel de ces différents revêtements est tout à fait satisfaisant et les essais confirment les bonnes caractéristiques de surface, l'absence d'orniérage et la bonne tenue dans le temps.

Depuis 2005, de nombreux chantiers ont encore été réalisés. Ils visent à mettre en valeur l'aspect esthétique et naturel des enrobés obtenu par la transparence du liant végétal qui laisse apparaître la couleur des granulats et s'accorder avec l'environnement existant.

Ils sont mis en œuvre principalement dans le cadre d'aménagements urbains, de revêtements de piste cyclable, de zones piétonnières, d'agrément ou de loisir.

En Belgique la première application a eu lieu dans le Limbourg en 2007. VBG, filiale de Colas Belgium, a mis en œuvre 10.000 m² d'enrobé au liant végétal de granulométrie 0/6 fabriqué à partir de gravier de Meuse. Le chantier consistait en la réalisation d'une piste cyclable à travers bois, entre Hechtel-Eksel et Beringen. C'est donc environ 1000 tonnes d'enrobé qui ont été posées, dans des conditions d'accès très difficiles (photo 4), sur une piste longue de 4 km et large de 2.5 m. Le client (Service Provincial de la province du Limbourg) désireux d'être en harmonie avec la nature souhaitait mettre en valeur la teinte naturelle du gravier de Meuse très présent dans cette région (photo 5).



Photos 4 et 5 : Province du Limbourg à Hechtel-Eksel, piste cyclable.

Citons également des applications de Colas en Hongrie, en Allemagne, en Slovaquie et en Suisse.

6. Utilisation sous forme d'émulsion

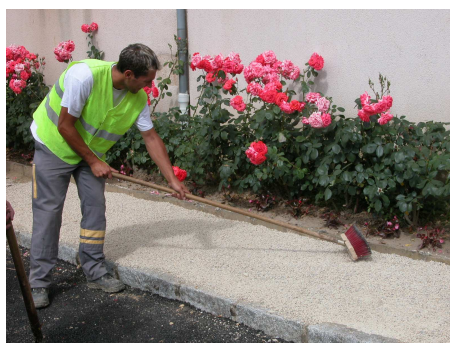
Depuis 2005, les émulsions à base de liant végétal ont été mises au point.

Utilisée pour fabriquer des enrobés à froid, cette émulsion conduit à une maniabilité adaptée pour la fabrication et la mise en œuvre avec les moyens habituels.

Les premiers chantiers ont été réalisés en 2006 en aménagement urbain et piste cyclable. La montée en cohésion des enrobés est de l'ordre de quelques heures. Leur comportement actuel est tout à fait satisfaisant.

Elle laisse présager une nouvelle avancée technologique intéressante avec une fabrication des enrobés à température ambiante, concourant une fois de plus à encore une plus grande réduction énergétique et des gaz à effet de serre.

Les photographies 6 et 7 montrent deux réalisations prometteuses.



Photos 6 et 7 - Mise en œuvre d'enrobés à froid fabriqués avec de l'émulsion de liant végétal.

7. 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 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 5 ans de service pour les plus anciens. Ils confèrent des caractéristiques de surface au moins équivalentes à celles des enrobés bitumineux de même catégorie.

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, 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.

Depuis 2006, une nouvelle application a été mise au point. Emulsionné dans l'eau, le liant végétal enrobe parfaitement les granulats et autorise la fabrication des enrobés à froid en centrale de malaxage traditionnelle. Les conditions de mise en œuvre sont ainsi facilitées. Le comportement des premiers chantiers est satisfaisant et laisse présager de nouvelles avancées en terme d'économie d'énergie et de réduction des gaz à effet de serre.

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.

Références :

[1] Françoise Marmier. Avril 2002. Sur la Route du Futur, route, véhicule et conducteur dialoguent. RGRA N°805.

[2] Michel Ballié. Juin 2004. Rugosoft, une nouvelle conception de bétons bitumineux peu bruyants à adhérence élevée. RGRA N°829.

[3] CFTR. Note d'information n°11. Mars 2005. Mesures de l'adhérence des chaussées routières.

[4] Sétra. Note d'information n° 92. Mars 1997. Caractéristiques photométriques des revêtements de chaussées.