

DES ENROBES ENVIRONNEMENTAUX ECONOMES EN ENERGIE

X. Carbonneau
CST Colas, France
carbonneau@campus.colas.fr

J.P Henrat
Direction technique Colas, France
henrat@dt.colas.fr

F Létaudin
Direction technique Sacer, France,
letaudin@dt.sacer.fr

RESUME

Une tendance marquée dans la construction routière est la prise en compte de manière plus systématique de l'influence de l'activité sur l'environnement mais également sur les collaborateurs, les usagers et les riverains. Cela passe par de meilleures connaissances et maîtrises des techniques accompagnées par des actions toujours plus importantes pour abaisser leur impact global. Engagée dans une démarche volontaire de développement durable, l'entreprise a étendu ses réflexions en mettant au point la fabrication d'enrobés appelés communément tièdes. L'objectif est la diminution de la consommation énergétique et des émissions de gaz à effet de serre, mais également des émissions de fumées, qui peuvent présenter une gêne pour les usagers, les riverains et le personnel d'application. Cette démarche s'est déroulée dans un cadre strict avec de fortes contraintes sur les résultats visés, et notamment une réduction de 40°C de la température de production et de mise en oeuvre des enrobés. Parmi les nombreuses voies technologiques existantes, l'entreprise n'en a conservé que deux, garantissant la production d'enrobés environnementaux et économes en énergie. Elles sont basées toutes deux sur la maîtrise de la rhéologie du liant. La première est axée principalement sur la viscosité du liant et l'autre sur le procédé de fabrication. Par le choix d'une température finale des mélanges supérieure à 100°C, l'élimination complète de l'eau, garantit un niveau de performance des enrobés « tièdes » ainsi produits strictement équivalent à celui des solutions traditionnelles en enrobés à chaud. Par ailleurs, ces solutions sont directement applicables avec l'outil industriel existant, ce qui limite l'investissement et facilite leur développement. La mise en oeuvre de ces enrobés se déroule également avec les moyens classiques en conservant la maniabilité. Ces solutions ont été testées depuis 3 ans avec succès dans toutes les configurations de chantier et sous trafic poids lourd intense. Elles sont suivies par les services techniques publics et le comportement est tout fait satisfaisant. Les émissions de fumées sont notablement réduites à la grande satisfaction de tous et les mesures de consommations énergétiques confirment les estimations établies dans le cadre d'analyse partielle du cycle de vie des produits. Elles démontrent une diminution de l'énergie consommée à la fabrication de 18% au moins et une réduction de 20% des émissions de gaz à effet de serre.

1. INTRODUCTION

La fabrication des enrobés bitumineux à chaud nécessite de sécher et chauffer les granulats à une température de l'ordre de 180°C avant d'injecter le bitume à une température telle que sa viscosité soit suffisamment basse pour :

- Effectuer un enrobage total et satisfaisant des granulats secs suivant les textes réglementaires en vigueur.
- Conférer aux enrobés une maniabilité élevée pour leur mise en œuvre dans des conditions normales.

Dés lors, la température de fabrication des enrobés bitumineux est nécessairement élevée. Par exemple, elle est au moins de l'ordre de 160 °C avec un bitume de classe de pénétration 35/50 utilisé pour les bétons bitumineux semi-grenus de classe 3 utilisés fréquemment pour l'entretien des chaussées sous trafic poids lourd important.

A ces températures, ces enrobés présentent une maniabilité élevée. L'application au finisseur et les opérations de compactage s'effectuent alors sans difficultés notoires en respectant les règles de l'art.

Depuis plusieurs années, des recherches ont été menées sur les procédés de réduction de la température de fabrication des enrobés bitumineux en centrale à chaud. Elles ont abouti à la mise au point de différentes techniques réduisant notablement cette température.

Ainsi, un abaissement de 40°C est obtenu au moment du processus de fabrication et de mise en œuvre en conservant la maniabilité des enrobés assurant l'application et l'efficacité du compactage. En conséquence, une nette réduction des émanations gazeuses est également obtenue. En effet, une division par un facteur 1.5 à 2 de la production des émanations est admise par intervalle de température de 10 à 12 °C [3].

La réduction des températures de travail de ces enrobés par rapport à celles d'un enrobé classique entraîne une économie d'énergie notable et en conséquence la diminution des émissions de gaz à effet de serre.

En revanche, l'utilisation de matériaux non totalement séchés a été totalement exclue, car le risque encouru paraît trop important pour la qualité d'enrobage et pour la perte inexorable de maniabilité des enrobés par départ de l'eau avant leur mise en œuvre. Bien entendu, comme la vaporisation de l'eau consomme une quantité d'énergie spécifique fixe, le bilan pourrait être encore meilleur en produisant des enrobés contenant encore 2 à 3 % d'eau.

Après deux années de réalisations courantes d'enrobés économes en énergie, toutes réussies et plus de 30 000 tonnes réalisées, le bilan des deux principaux procédés retenus basés sur la maîtrise de la rhéologie du liant peut être dressé sur le plan technique et environnemental. Il contribue à apporter les éléments de réponses aux questions légitimes des gestionnaires de réseaux sur l'intérêt et l'efficacité technique et environnementale de ces enrobés.

Les évolutions des procédés sont enfin présentées pour les enrobés utilisant des liants modifiés aux élastomères, pour les enrobés à module élevé et des enrobés recyclés.

2. EXEMPLE DE PERFORMANCES PHYSICO-MECANIQUES DES ENROBES ECONOMES EN ENERGIE

A partir des granulats de la carrière de Voutré, une formule de béton bitumineux semi grenus 0/10 a été étudiée selon les normes en vigueur avec un bitume 35/50 et les liants des différents procédés.

La composition est la suivante :

6/10 Voutré : 50%

2/6 Voutré : 15 %

0/2 Voutré : 33%

Filler calcaire : 2 %

Bitume de classe 35/50 de pénétration : 5.6% par rapport aux granulats secs, soit 5.4 % par rapport à l'enrobé.

Le tableau 1 récapitule les principales performances obtenues avec les différents procédés.

Tableau 1- Performances des enrobés

Type d'enrobé		BBSG Témoin, au bitume 35/50	Enrobés économes en énergie
Température d'enrobage (° C)		160	125
P.C.G., % de vides	à 10 girations	14.5	14.2 à 14.8
	à 60 girations	8.1	7.5 à 8.4
Duriez,	% de vides	8.2	6.8 à 7.5
	R à 18°C, en MPa	9.7	9.8 à 9.9
	r / R	0.78	0.75 à 0.80
% d'Ornière, à 60°C	à 30 000 cycles	3.5	3.0 à 4.0

Ces résultats montrent que :

- L'enrobage est satisfaisant quel que soit le procédé employé.
- La maniabilité des enrobés est conservée à une température de 125 °C, comme le démontrent les essais PCG (presse à cisaillement giratoire).
- Les caractéristiques physico mécaniques des enrobés sont équivalentes à celles d'enrobés traditionnels de même formulation, notamment vis-à-vis de la résistance au désenrobage par l'eau testé par l'essai Duriez, et vis-à-vis l'orniérage.

Par ailleurs, les mesures du module complexe et du comportement en fatigue en flexion alternée ont démontré un comportement analogue à celui des enrobés traditionnels.

3. COMPORTEMENT DES CHANTIERS

A cette fin, des suivis détaillés des chantiers ont été effectués avec des contrôles de fabrication et de mise en œuvre, des relevés précis de température aux cours des différentes phases, des vérifications des performances physico mécaniques des enrobés et de leurs qualités d'usage. Un suivi technique très poussé du chantier expérimental de la RN 157 a ainsi été réalisé par les services techniques publics. Cette chaussée supporte un trafic de 960 poids lourds par jour (estimation 2004). En juin 2005, trois planches expérimentales d'enrobés économes en énergie ont été comparées à une planche d'enrobé témoin en BBSG 0/10 de classe 3 [1]. Tous les autres chantiers, d'importance moindre en général, ont fait l'objet de contrôles classiques.

Pour le volet environnemental, des suivis de consommation d'énergie ont été effectués. Des mesures et analyses des gaz en sortie de centrale d'enrobage ont été également réalisées. Enfin, les émissions gazeuses à la mise en œuvre ont également été évaluées afin d'apprécier l'impact de l'utilisation des enrobés tièdes au niveau des personnels d'application et du voisinage du chantier.

4. BILAN DES CHANTIERS

4-1. RN 157

La RN 157 constitue un axe très fréquenté et relie Le Mans à Orléans. C'est une chaussée bi-directionnelle, au profil rectiligne mais comportant quelques rampes prononcées et exposées Est -Ouest. En 2004, elle supportait près de 7 800 véhicules par jour, avec 25 % de poids lourds, soit un trafic très élevé de classe T0.

Les différents procédés et le témoin en Béton Bitumineux Semi Grenu 0/10 ont été mis en œuvre sur une largeur moyenne de chaussée de 7.60 m et sur environ 500 mètres chacun. L'épaisseur d'enrobé est de 6 cm, soit 140 kg/m².

L'enrobé témoin au bitume 35/50 utilise les granulats de la carrière Voutré, dont la formule est décrite au paragraphe 1. Les enrobés économes en énergie ont été fabriqués suivant cette formule avec les mêmes granulats et leur liant spécifique.

Dans les vis du finisseur, les températures des enrobés économes en énergie sont inférieures de 40 à 45 °C à celles des enrobés témoins. La température de ces enrobés est de l'ordre de 120 °C. La maniabilité est conservée et le compactage est satisfaisant. Les teneurs en vides sont identiques, voire plus faibles, que celles obtenues sur le témoin, de l'ordre de 6 %. Ces procédés entraînent une maniabilité accrue des enrobés en abaissant notablement leurs températures d'utilisation, comme l'indiquent les notes du tableau 2 caractérisant un uni longitudinal de bon niveau. Il est évalué par l'analyseur de profil en long (APL NBO) du LRPC d'Angers.

Tableau 2- Notes d'uni en petites longueurs d'onde avant et après travaux

RN 157		Planche Témoin BBSG 0/10		BB économes en énergie					
				Enrobés 1		Enrobés 2		Enrobés 3	
		sens +	sens -	sens +	sens -	sens +	sens -	sens +	Sens -
P.O.	Moyenne avant travaux	7	6	8	7	5	7	6	5
	Moyenne après travaux	9	9	9	8	8	8	9	8
	Valeur mini avant travaux	5	3	6	6	3	3	5	2
	Valeur mini après travaux	8	8	7	5	6	6	8	6
	Moyenne avant / Moyenne après	7 / 9	6 / 9	8 / 9	7 / 8	5 / 8	7 / 8	6 / 9	5 / 8

Caractérisant la macro texture, les mesures de profondeur moyenne de texture (PMT vraie) sont données en fonction du temps figure 1. Le niveau de macro texture est élevé pour ce type de formule d'enrobés et il est identique quelque soit l'enrobé considéré. L'évolution entre la fin du compactage et après deux mois de trafic est peu sensible.

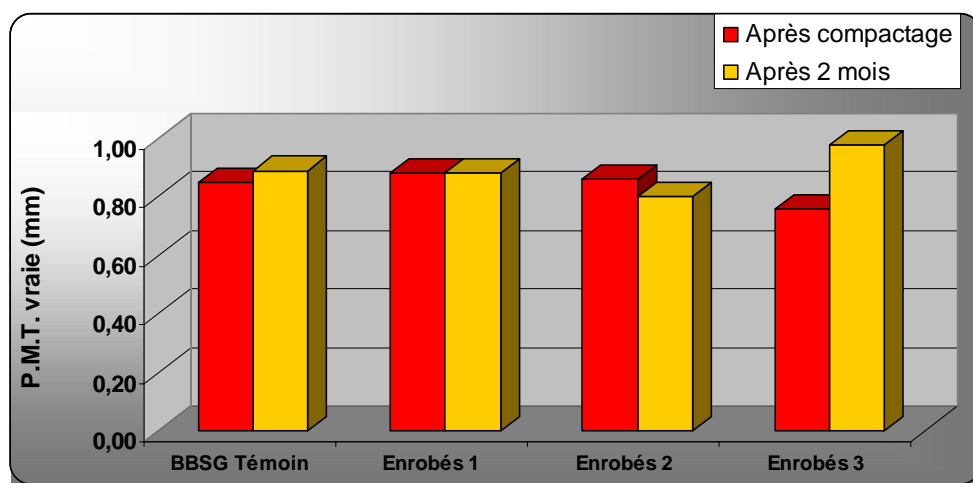


Figure 1 - Evolution de la PMT vraie (en mm) pour les trois procédés testés

Calculées à partir des mesures du rugo-laser, les valeurs de P.M.Tc révèlent un niveau élevé de macro-texture, une bonne homogénéité des mesures quelque soit le sens de circulation et la position de la mesure (axe ou bande de roulement) et quelque soit la section, avec des valeurs légèrement supérieures pour les enrobés 3.

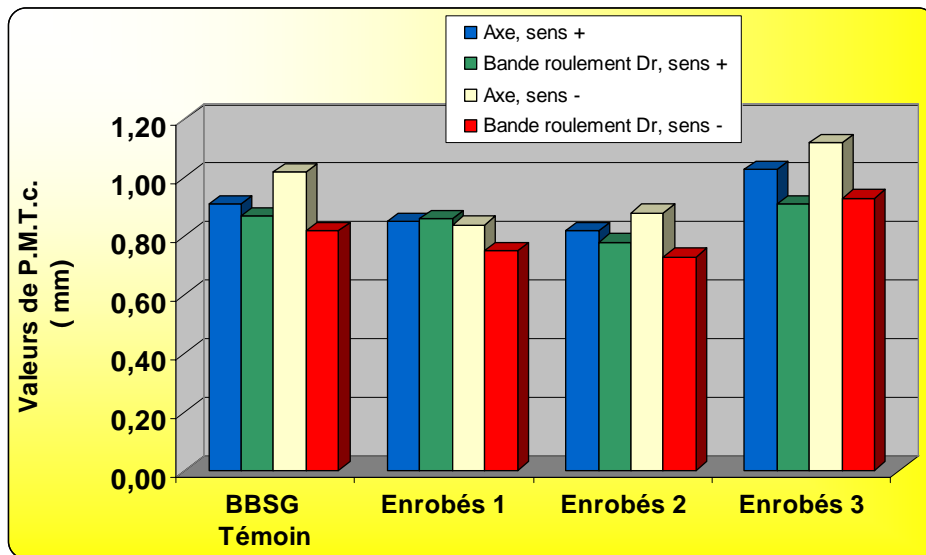


Figure 2 – Valeur de P.M.T.c. après 2 mois pour les différents enrobés testés

Mesurés sur l'ensemble du chantier après 17 mois de circulation lourde, les coefficients de frottement longitudinal (C.F.L.) se situent dans le milieu du fuseau national tous revêtements, représentatifs des bétons bitumineux semi grenus 0/10. A faible vitesse, les enrobés économes en énergie présentent la même valeur, un peu supérieure à celle de l'enrobé témoin comme le montre la figure 3. A 80 km/h, ils possèdent les C.F.L. les plus élevés.

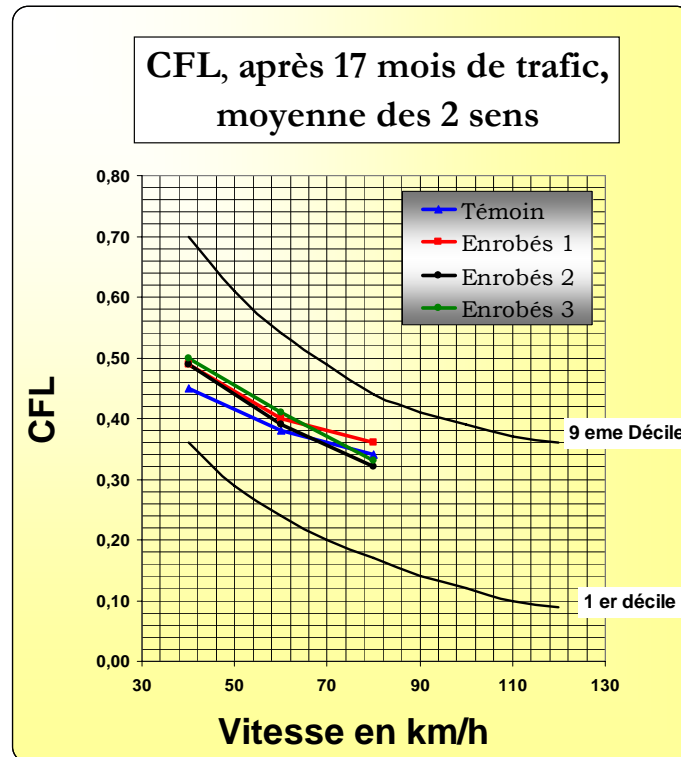


Figure 3 - CFL après 17 mois de trafic (moyenne des 2 sens)

Le niveau d'adhérence est donc satisfaisant pour ce type d'enrobés largement équivalent au témoin sous trafic élevé.

Il est également à noter l'absence de toute déformation du profil en travers après deux étés chauds et avec un profil en long avec fortes rampes exposées au soleil et soumises à un trafic poids lourd intense.

Pour ce bon comportement d'ensemble et vu les caractéristiques des enrobés économes en énergie identiques, voire supérieures à celles d'un enrobé témoin et leur pérennité après plus de 17 mois de circulation intense, le Sétra a attribué un certificat de reconnaissance de l'innovation et probant pour le compte de la Direction Générale des Routes.

4-2. RD 2160 La Roche sur Yon

Dans le cadre du marché d'entretien des RD de Vendée, 3000 tonnes d'enrobés de type BBSG 0/10 ont été appliquées sur la RD 2160 dont 2650 tonnes sous forme d'enrobés économes en énergie. Réalisé fin novembre 2006, ce chantier a fait l'objet d'un suivi classique de fabrication et de mise en œuvre.

La diminution globale des températures a été de 40 °C. Elles ont varié de 120 à 125 °C en sortie de malaxeur durant les 4 jours de fabrication en centrale discontinue.

Effectuée sous circulation en 6 cm d'épaisseur, la mise en œuvre a été réalisée à l'aide d'un finisseur et de 2 compacteurs à jantes lisses vibrants (photo 1).

Les températures de compactage ont été comprises entre 110 et 80 °C et les pourcentages de vide en place ont été mesurés en moyenne à 5.6 %.



Photo 1 - Chantier du RD 2160, Atelier de mise en œuvre

L'impact environnemental de ce chantier et principalement le gain apporté par ce procédé de fabrication a été estimé à l'aide d'un logiciel interne de simulation et de calcul d'évaluation partielle du cycle de vie (EPCV). Cette notion est une forme simplifiée de l'analyse du cycle de vie (ACV) dont la complexité à mettre en œuvre pour un chantier routier a déjà été présentée [2]. Jugés les plus importants, deux impacts environnementaux sont pris en compte : l'émission de gaz à effets de serre et la consommation énergétique. Il est en effet actuellement difficile de quantifier précisément les économies d'énergie par mesures directes au niveau de la centrale d'enrobage, compte tenu de leur configuration.

En considérant les différents paramètres du chantier, notamment les caractéristiques de la formule mise en place et les distances entre la centrale et les lieux de production des composants, on peut évaluer les gains en faveur des enrobés économes en énergie entre

16 et 20 % pour les consommations énergétiques et les émissions de gaz à effet de serre au regard de la fabrication des mélanges.

4-3. Autres développements : utilisation d'agrégats et de liants élastomères dans les enrobés économes en énergie

Le recyclage d'agrégats dans les enrobés économes en énergie a été mis en œuvre aux USA. Sur une section de la route 80, environ 1000 tonnes d'enrobé économes en énergie avec recyclage de 20 % d'agrégats d'enrobés ont été fabriquées à 115°C et compactées entre 80 et 110 °C sans difficulté et avec les mêmes avantages pour l'environnement du chantier. Dans ce cas, les effets liés à l'économie de la ressource en granulats et en bitume sont cumulés avec celui de la réduction de l'énergie résultant du procédé de fabrication. Les études de laboratoire de la formule d'enrobé mise en œuvre confirment à nouveau les conclusions précédemment présentées. Les performances mécaniques des enrobés recyclés économes en énergie sont au moins équivalentes à celles de l'enrobé témoin.

Le développement de ces techniques a été poursuivi avec la réalisation des techniques d'enrobés en couche mince et très mince utilisant des bitumes élastomères de type SBS. Plusieurs chantiers ont été réalisés avec succès en 2006 en ville de Paris, couloir de bus et divers revêtements de rues.

Pour ces dernières réalisations, les liants modifiés ont été formulés pour assurer la fabrication et la mise en œuvre à température réduite à environ 125°C. La surface des revêtements représente plus de 15000 m². Ils confirment ainsi la possibilité d'étendre le procédé à des formulations à base de liants modifiés par des élastomères, destinées à des zones fortement sollicitées, notamment en couche très mince et pour lesquelles le recours à des liants performants est indispensable.

Toutes les études menées en laboratoires et l'ensemble des caractéristiques mesurées démontrent systématiquement l'équivalence de performances entre enrobés témoins et les enrobés économes en énergie à liant modifié.

5. MESURE DE FUMÉES ET DE POUSSIÈRES INHALABLES

La mise en œuvre d'enrobés dit tièdes doit conduire à une amélioration significative des conditions de travail, mais également démontrer son intérêt environnemental par rapport aux émissions gazeuses des industries. Ces questions vont bien au-delà des préoccupations traditionnelles, mais deviennent progressivement un réflexe pour tout acteur industriel. Pour apporter des réponses précises, il est indispensable de déployer des moyens de mesures importants. Les chantiers réalisés à ce jour ont donné l'occasion de mener des campagnes de mesures poussées, dont les principales conclusions sont rappelées ci-après.

L'effet immédiat de la réduction de température des enrobés est une amélioration significative de l'environnement de travail pour le personnel d'application, avec une réduction de la température ambiante au niveau du chantier et moins de fumées visibles lors de l'application. Ceci se traduit par un impact limité également au niveau des riverains, qui reprochent souvent à notre activité son caractère bruyant et l'odeur particulière de l'enrobé à chaud. Ainsi comme l'illustre la photographie 2, les enrobés économes en énergie permettent une application sans que les fenêtres des logements à proximité du chantier ne se ferment.



Photo 2 - Une gêne réduite pour les riverains.

Un premier point important concerne les émissions gazeuses lors de l'application des enrobés. Il est communément admis qu'une baisse de 12°C environ, réduit de moitié les émissions de fumées [3]. La démonstration de l'affirmation précédente s'avère cependant délicate, en raison de la faiblesse des quantités émises, mesurables dans l'environnement du chantier. Ainsi sur la RN 157, une campagne de mesures des poussières inhalables et des fumées a été menée. Elle a nécessité au préalable un choix judicieux de différents points de mesure, derrière la table du finisseur, au niveau du conducteur du finisseur, et sur le personnel d'application, comme ceci est illustré par exemple photo 3.

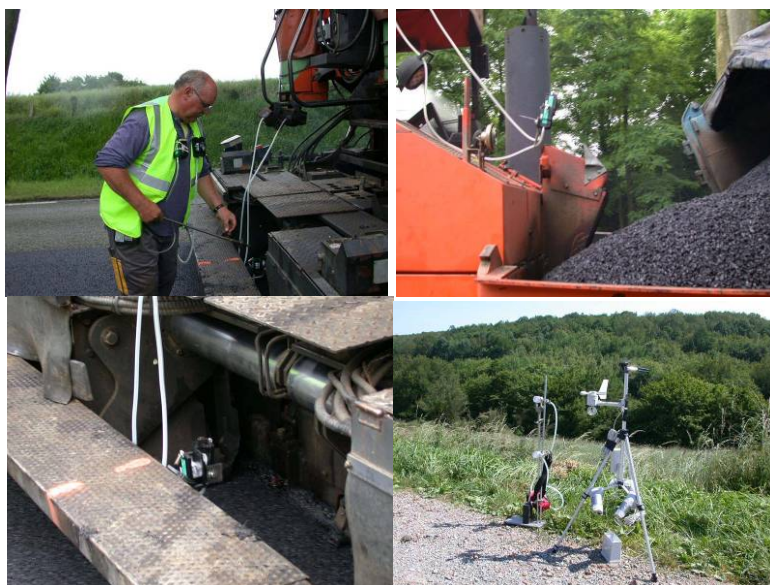


Photo 3 - Points de mesures des fumées et poussières inhalables et enregistrement des conditions météorologiques.

Malgré tout le soin apporté à cette opération, les quantités de gaz détectées sont excessivement faibles. Elles sont souvent très en deçà des seuils de détection des moyens d'analyse actuellement disponibles, y compris pour l'enrobé témoin mis en œuvre à température traditionnelle.

Pour les poussières inhalables, les niveaux sont également très inférieurs aux valeurs moyennes d'exposition professionnelles en vigueur en France, à savoir 5 mg/m³ pour 8 heures d'exposition et même au seuil de 0,5 mg/m³ recommandé par l'Association Conference Governmental Industrial Hygienist (ACGIH) américaine. Pour les enrobés

économiques en énergie, les émissions gazeuses sont encore plus faibles et deviennent très difficilement détectables.

Par ailleurs, étant donné les ordres de grandeurs de ces mesures, il est également important de rappeler leur grande sensibilité aux variations de l'environnement. La moindre pollution extérieure aux enrobés peut perturber ces données, comme celle résultant des dégagements de gaz des véhicules de la circulation et des engins de chantier, ou tout simplement la fumée de cigarette.

Ces résultats permettent néanmoins de progresser dans une meilleure connaissance de l'impact sur l'environnement.

6. EMISSIONS DE GAZ AU NIVEAU DES CENTRALES D'ENROBAGES

Des quantifications des émissions gazeuses au niveau de la centrale d'enrobage ont été réalisées sur quatre chantiers. Ces mesures sont plus classiques et elles correspondent à celles réglementaires et nécessaires pour exploiter les installations industrielles. Elles ont été effectuées sur quatre centrales d'enrobage discontinues différentes utilisant les deux procédés de fabrications des enrobés économiques en énergie. Les gaz émis sont prélevés au niveau de la cheminée du poste comme illustré sur la photo 4.



Photo 4 - Localisation de la zone de prélèvements pour les analyses de fumées sur les centrales.

Il est important de rappeler que pour être exploitables, ces mesures impliquent de vérifier un certain nombre de conditions :

- conditions météorologiques stables,
- combustible et régime de production identiques,
- humidité équivalente des granulats des enrobés témoin et enrobés économiques en énergie.

La comparaison des résultats est alors réalisée sur la fabrication du même mélange bitumineux. Une campagne de mesures satisfaisant parfaitement à tous ces critères est donc une opération lourde et délicate.

Pour le chantier de la RN 157 décrit au paragraphe 3.1, les mesures ont été menées pendant trois jours. Le sécheur a utilisé du fioul lourd.

Pour le second cas de chantier, les enrobés ont été fabriqués par une centrale avec sécheur fonctionnant au gaz. Les cadences de production étaient de 180 t/h pour le béton

bitumineux témoin et de 175 t/h pour l'enrobés économe en énergie, avec une durée d'enregistrement supérieure à 2 heures de production.

Pour le troisième cas de chantier, le sécheur de la centrale a fonctionné au fioul à très basse teneur en soufre (TBTS) et les cadences de production ont été respectivement de 193 t/h pour le témoin et de 195 t/h pour l'enrobé économe en énergie. Des intempéries n'ont pas permis de mener les mesures le même jour pour ce chantier entraînant une variation de la teneur en eau des granulats.

Enfin, dans le quatrième cas de chantier, le sécheur de la centrale a fonctionné au fioul TBTS. Les mesures ont été réalisées sur deux jours différents pour les enrobés classiques et pour les enrobés économes en énergie. Les cadences de production ont été respectivement de 90 et 110 t/h pour des formulations strictement identiques au liant près. Ces premiers résultats mettent en évidence la faible influence des deux techniques retenues sur les gaz émis en centrale d'enrobage. La comparaison des variations relatives d'émissions de CO₂ au niveau de la cheminée de la centrale montre la réduction effective de ce gaz à effet de serre. Le tableau 3 détaille les variations mesurées sur les quatre centrales instrumentées.

Tableau 3 - Variations relatives de composition des gaz de cheminée des centrales d'enrobages entre enrobés témoins et enrobés économes en énergie.

Gaz	Variation relative des émissions
CO ₂	de - 5 à -30 %
O ₂	de 0 à +14 %

Malgré une dispersion assez importante dans les variations relatives mesurées, une réduction des émissions de CO₂ est effectivement observée avec une légère augmentation des émissions d'oxygène.

7. CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE

Sur deux des chantiers précédents, la consommation énergétique a également été enregistrée avec les matériels existant sur les centrales qui ne sont pas encore suffisamment précis.

En conséquence, ces premiers résultats sont donnés à titre indicatif mais ils montrent la nette tendance à la réduction d'énergie consommée avec ces nouveaux types d'enrobé.

Dans le cas du sécheur au gaz, pour une réduction de température de 30°C, les consommations moyennes enregistrées ont été de 5,4 m³/h pour l'enrobé témoin et de 4,5 m³/h pour l'enrobé économe en énergie, avec des durées d'enregistrement supérieures à 2 heures et à des débits de production identiques de 180 t/h. Une réduction de la consommation de gaz de 0,9 m³/t, soit 16,5 % est mise clairement en évidence.

Dans le second cas, la consommation de fuel lourd TBTS a également été enregistrée. Une intempérie a conduit à un décalage important de teneur en eau des granulats de 1,9 % pour l'enrobé témoin et de 3,2 % pour l'enrobé économe en énergie. La cadence de production a été de 195 t/h et les mesures ont été effectuées sur la durée de production d'un tonnage sensiblement équivalent pour les deux enrobés de 230 tonnes. Une consommation de 5,91 l/t de fioul a été relevée pour le témoin et de 5,87 l/t pour l'enrobé tiède fabriqué avec des granulats nettement plus humides.

Par une approche thermodynamique plus précise, l'estimation de l'économie de fuel lourd est de 0,7l/t d'enrobés pour une réduction de 1% de teneur en eau des granulats. Cette valeur permet d'estimer la consommation à teneur en eau identique au témoin de 4,96 l/t,

soit une réduction de l'ordre de 16%. De la même manière, il est possible d'estimer l'économie d'énergie liée à une réduction de 30°C de la température de fabrication. Elle est de l'ordre de 0,7l de fuel lourd /t d'enrobés.

Ces essais montrent clairement la tendance, mais également qu'il est nécessaire d'évaluer par le calcul les économies d'énergie engendrées par ces procédés de fabrication des enrobés économes en énergie.

8. CONCLUSION

Basés sur la maîtrise de la rhéologie du liant utilisé et du processus de fabrication d'enrobage en respectant les règles de l'art, les procédés mis au point ont conduit à une réduction importante et effective de 40 à 45 °C des températures de fabrication et de mise en œuvre des enrobés. Les performances physico mécaniques et les caractéristiques d'usage des enrobés dit tièdes, mais en réalité économes en énergie, sont équivalentes à celles des enrobés traditionnels, voire même souvent améliorées.

Le suivi détaillé du chantier de la RN 157 a montré clairement ces gains de température pour les différents procédés testés. Le niveau de compacité atteint, l'uni et l'adhérence de ces enrobés sous fort trafic poids lourd et après deux étés chauds prouvent que ces procédés conduisent à l'usage attendu.

Ils sont applicables aux enrobés économes en énergie avec recyclage d'agrégats mais également aux différents types d'enrobés minces et très minces aux liants modifiés avec les mêmes avantages et succès de réalisation.

Au niveau de l'aspect environnemental, l'emploi de ces enrobés entraîne une forte diminution des émissions gazeuses et notamment des gaz à effet de serre de l'ordre de 18 à 20%, en raison de la baisse de consommation énergétique qui est prouvée.

Sur tous les chantiers d'application de ces enrobés, les émissions gazeuses sont également abaissées au point de devenir pratiquement imperceptibles et sous la limite de détection des appareils de mesure.

La pertinence du choix de ces techniques d'enrobés économes en énergie est une nouvelle fois démontrée tant au niveau écologique global par la diminution de l'énergie et de production des gaz à effet de serre, qu'environnemental proche en améliorant d'avantage les conditions de travail et de sécurité des personnels et des usagers.

REFERENCES

[1] X. Carbonneau, J.P. Henrat, F. Létaudin, « Enrobés 3E de Colas, une réponse sûre à la problématique des enrobés dits « tièdes » », RGRA N° 849, juin 2006, page 70-75.

[2] M. Chappat, J Bilal, « La route écologique du futur, analyse du cycle de vie. » Septembre 2003.

[3] H.C.Bran, P.C. de Groot « A laboratory rig for studying aspects of workers exposure to bitumen fumes », American Industrial Hygiene Association Journal, N° 60 (1999) page 182-190.