

ECOLOGIQUES, SECURITAIRES, CONFORTABLES, LES ENROBES DE DEMAIN SE FERONT AUTREMENT : PRESENTATION DES ENROBES TIEDES

Par : Yves BROSSEAUD
Directeur de Recherche au LCPC

INTRODUCTION

Les préoccupations des politiques routières des pays industrialisés se concentrent sur l'amélioration de la sécurité des usagers et sur le confort des déplacements routiers, mais également sur la protection vis-à-vis des populations riveraines, des travailleurs et d'une façon plus générale sur l'environnement. Cette amélioration passe par un aménagement des tracés qui tient compte de l'environnement traversé. Un choix judicieux des structures (durabilité), mais surtout de la nature de la couche de roulement, permet d'offrir une combinaison de meilleures conditions d'adhérence tout en autorisant une baisse significative du bruit de roulement et un meilleur partage de l'espace mis à la disposition des divers usagers de la route.

La protection de l'environnement représente un enjeu majeur, avec la signature des accords de Kyoto. L'Union Européenne s'est même engagée dans une réduction supérieure à ces accords, en plaçant la barre de réduction des gaz à effets de serre, à un niveau deux fois inférieurs. Depuis le début des années 2000, cette préoccupation de protection de l'environnement a été placée au cœur des axes de travail des services de recherches et développement des grandes entreprises routières et des sociétés pétrolières. La mise au point des enrobés tièdes représente une étape importante de ce programme et constitue une concrétisation opérationnelle des démarches de développement durable et de protection efficace de l'environnement. L'article se propose de décrire les différents procédés, de dresser un bilan sur les recherches en cours concernant les enrobés à chaud, faits autrement, à savoir les enrobés tièdes et semi tièdes.

I – Pourquoi des enrobés tièdes : mode ou nécessité

Les attentes dans le domaine des enrobés sont nombreuses et fonction des différents acteurs qu'ils soient des usagers, des opérateurs (*travailleurs*), ou des gestionnaires :

- moindre gêne lors des travaux : rapidité d'exécution, remise en service dès la fin du compactage, ...
- disposer immédiatement des performances mécaniques, sans période de murissement (fort trafic),
- bénéficier en exploitation de : confort, bruit, esthétique, adhérence, propriétés multicritères,
- améliorer la sécurité des agents et des riverains : absence ou limitation d'émissions, de pollutions, ...

ou des préoccupations beaucoup plus globales vis-à-vis de critères sur le respect de l'environnement et du développement durable :

- gestion intelligente des ressources,
- économie de « matières »,
- valorisation des matériaux et des déchets,
- recyclabilité,

- durabilité.

Pour répondre à ces attentes, les enrobés tièdes constituent une voie intéressante.

Pourquoi

Les enrobés tièdes contribuent à une :

- diminution des nuisances (fumées, odeurs, gaz) tant à la fabrication, qu'à la mise en œuvre,
- limitation de la production des gaz à effets de serre,
- réduction de la consommation énergétique lors du séchage partiel des granulats,
- diminution des émanations de vapeurs, particulièrement important dans les espaces confinés peu aérés (tunnels, stationnements étagés et/ou intérieurs, centre-ville ...).

Ils participent pleinement à la politique générale à laquelle se sont engagés les pays signataires du protocole de Kyoto. Les entreprises routières ont su développer des innovations techniques conduisant à produire des enrobés « écologiques » opérationnels pour contribuer à cet effort de protection de l'environnement

Comment

Le principe général des enrobés tièdes vise à baisser la température d'enrobage, tout en conservant la maniabilité du mélange pour le répandage et le compactage. Il s'agit de trouver un procédé de fabrication (additifs, double enrobage, enrobage séquentiel, liant spécial, moussage par le sable humide, ajout d'eau, ...) pour maintenir artificiellement la viscosité du liant, durant toute la période d'application qui peut être étendue jusqu'à 3 ou 4 heures (y compris les attentes imprévues), permettant un compactage efficace (teneur en vides conformes aux spécifications) et bonne mise en place de l'enrobé (texture, uni, homogénéité,...).

Ces dispositions quant à l'enrobage « fait autrement » peuvent générer des modifications plus ou moins importantes des centrales d'enrobage. Certaines entreprises ont, dans leur cahier des charges de mise au point de ces mélanges « tièdes », imposé l'usage des installations traditionnelles, continues ou discontinues, sans aucune modification du circuit de séchage ou de malaxage.

Les enrobés tièdes ne suivent donc pas une mode passagère, mais répondent bien à une réalité d'aujourd'hui et demain, de pouvoir réaliser des enrobés performants et adaptés aux fortes contraintes des chaussées modernes, tout en privilégiant le respect de l'environnement et en réduisant les coûts énergétiques souvent reprochés aux enrobés à chaud.

II – Terminologie – définition - tentative de classification des enrobés tièdes

1 - Définition des enrobés tièdes

Les enrobés tièdes se composent d'une famille d'enrobés préparés à chaud, dont la température de fabrication varie entre 80 °C et 130 °C, selon différents procédés de mélange, tout en respectant les normes ou spécifications sur le produit bitumineux ainsi fabriqué et mis en service. Cela signifie que les performances de ces enrobés tièdes sont strictement identiques à celles de enrobés à chaud, dès la fin de leur mise en œuvre ou de leur mise en service (à la différence des enrobés à froid, nécessitant une période plus ou moins longue de murissement).

La température de fabrication et de répannage constitue un des moyens de classer les produits bitumineux (graphe 2), en mélanges à froid ($< 60^{\circ}\text{C}$), tièdes ou semi tièdes (entre 60°C et 130°C), à chaud ($> 130^{\circ}\text{C}$). Pour les enrobés tièdes, on peut considérer deux familles de produits : les enrobés élaborés au dessus et en dessous de 100°C (température d'évaporation de l'eau), que l'on désignera respectivement par les enrobés tièdes et les enrobés semi-tièdes. On rappellera que la chaleur latente de vaporisation de l'eau constitue une grande partie de l'énergie consommée au niveau d'un poste d'enrobage. On estime cette quantité d'énergie de chauffage au voisinage de 2 kg/t , ce qui représente près de 20% de l'énergie totale pour chauffer les granulats jusqu'à 170°C .

Un second moyen de classification est la nature du procédé de modification :

- sans ajouts majeurs (autre que des agents moussant ou d'adhésion) où le procédé consiste en la maîtrise de la teneur en eau sous forme de vapeurs dans mélange final,
- enrobage séquentiel, ou multiple, avec ou non usage de mousse de bitume,
- avec ajouts de nature à modifier la viscosité du bitume (liant spécial, additif apportant de l'eau ou maintenant l'eau résiduelle, paraffines ou dérivées),

certains procédés associent deux de ces principes (par exemple : mousse de bitume et filler hygroscopique).

2 - Objectifs et moyen

L'objectif est de fabriquer des enrobés à chaud à température moins élevée (séchage des granulats, enrobage), tout en conservant des performances identiques aux enrobés à chaud de même type (qualité de l'enrobage, maniabilité, compacité, caractéristiques de surface). Le but poursuivi est la diminution de la facture énergétique globale (séchage, vaporisation de l'eau), la réduction des différentes nuisances associées aux techniques bitumineuses à chaud : les gaz à effets de serre, la quantité et la qualité des fumées à la centrale de fabrication et sur le chantier d'application.

Le principe est d'enrober autrement qu'à chaud (140 à 180°C) pour avoir :

- un enrobage complet et uniforme,
- un liant sans agents fluxants ou fluidifiants,
- des propriétés mécaniques nominales dès la fin de la mise en œuvre,

par un abaissement des températures de fabrication et de compactage, selon un procédé de fabrication, avec ou sans ajout, capable de maîtriser la viscosité du liant, jusqu'à la fin de la mise en œuvre.

Les enrobés tièdes sont conformes aux normes françaises (bientôt européennes au 1/1/2007)) sur les enrobés à chaud et doivent respecter les propriétés en laboratoire (caractéristiques mécaniques et d'état) et sur chantier (texture, teneur en vides, épaisseur). La seule différence concerne le respect des conditions de températures qui doivent être précisées dans la fiche technique du procédé de l'entreprise. Il n'y aura pas de norme spécifique sur les enrobés tièdes tant au niveau français, qu'europpéen. Ces techniques d'enrobés tièdes sont en cours de développement dans quelques pays européens. Certains procédés sont mis en point simultanément dans différents pays, on peut citer le cas d'un projet de recherche franco-allemand (cas de enrobés à base d'Aspha-Min).

III – Description des principales techniques

Le principe des enrobés tièdes est de pouvoir trouver un moyen de diffuser le bitume dans le squelette minéral et conserver une bonne maniabilité ou compactabilité par :

- effet de plastifiant du bitume par des ajouts, stables aux températures de service de la chaussée,
- effet de «soupe», «moussabilité», mise en émulsion, par une bonne maîtrise de l'eau lors de la phase d'enrobage, tout en conservant cet effet à l'application,
- effet de double enrobage (exemple : bitume mou enrobage classique et bitume dur injecté en mousse) ou enrobage séquentiel,
- effets des propriétés spécifiques des liants par exemple liant spécial ou liant de synthèses d'origine végétale,

Une variante des enrobés semi-tièdes, est le chauffage d'enrobé à froid (procédé Ecomac). Ce procédé étant en cours d'expérimentation, on ne dispose pas de suffisamment de données pour en faire état dans cet article.

- Paraffines :
 - Sasobit® (cires de bas poids moléculaire) [Allemagne]
- Zéolite :
 - aspha-min®, [EUROVIA]
- Ajouts d'autres plastifiants dans le bitume (liants prêts à l'emploi):
 - Procédés 3E "LT" [COLAS-Sacer]
 - ECOFLEX [SCREG]
- Double enrobage à la mousse :
 - WAM - Foam® (warm Asphalt mix foam) [SHELL]
 - Enrobés écologiques économes 3E "DM" enrob. séquentiel + mousse [COLAS]
 - LT asphalt [Nynas] filler hydroscopique et mousse de bitume [Pays Bas]
- Enrobage séquentiel :
 - procédé 3E "DB" enrobage Séquentiel bitume [COLAS]
 - procédé EBE "Enrobé Basse Energie" (avec agent spécial adhésivité) [FAIRCO]
 - LEA "Low Energy Asphalt" (USA) – idem EBE – [LEA-ca]
 - procédé EBT "Enrobé Basse Température α et β " [Appia]
- Enrobage avec un liant de synthèse à composants d'origine végétale:
 - Végécol [COLAS]
- Enrobé à froid tiédi : Ecomac [SCREG]

Graph 1 : Désignations des différentes techniques d'enrobés tièdes utilisés en France

Les procédés d'enrobés tièdes (ou semi-tièdes) développés et utilisés en France sont récapitulés au graph 1, en fonction d'une classification par nature du procédé de fabrication. On trouvera le nom commercial du produit et l'entreprise routière ou pétrolière à l'origine de son développement. Les techniques et procédés originaux sont brevetés par les entreprises.

Les principes d'enrobage sont décrits succinctement dans ce paragraphe. Pour plus de détail, le lecteur se reportera aux communications diffusées par les entreprises.

Le **procédé Sasobit** consiste à « ramollir » le liant par fusion de paraffines (100°C) et solubilisation au bitume (115°C). Le bitume ainsi « plastifié » est préparé par un mélangeur en ligne (4 à 5 % de Sasobit). Ce liant prêt à l'emploi peut être utilisé sur tout type de centrale, sans modification. Il permet la fabrication des enrobés à une température moyenne proche des 130°C (soit des températures inférieures de 30 à 40°C par rapport à l'enrobé classique à chaud). Il autorise un compactage efficace jusqu'à 80°C. L'enrobé présenterait un bon comportement aux basses températures et une meilleure résistance à l'orniérage. Cette technique est surtout

employée en Allemagne, on recense quelques applications en France. E juin 2005, une évaluation en laboratoire de cette technique a été pratiquée par le National Center of Asphalt Technology (NCAT).

Le **procédé Low Temperature Asphalt** (LT Asphalt) est développé par la société pétrolière NYNAS. Il repose sur l'enrobage du squelette minéral porté à 90°C, par de la mousse de bitume. Un filler hygroscopique (0,5 à 1% du mélange) retient l'eau résiduelle contenue dans les fractions minérales non déshydratées, et permet de maintenir une bonne compactabilité du mélange. Cette technique est encore en cours de développement dans les laboratoires de recherche aux Pays Bas. On recense quelques applications.

Les **enrobés tièdes à base de Zéolithe**, sont développés par l'entreprise EUROVIA, depuis près de 4 ans. La zéolithe utilisée est de l'Aspha-Min, composée de cristaux de silicate d'alumine hydratés, se présentant sous la forme d'une poudre. En présence des granulats à 150°C, la zéolithe (dosée aux environs de 0,3% du mélange) libère son eau cristallisée (taux d'eau cristalline environ 20%), produisant vapeurs et expansion sous forme de mousse du bitume chaud, favorisant enrobage et maniabilité. Cet additif réduit la température de fabrication des enrobés de l'ordre de 30°C. Une évaluation de cette technique en laboratoire a été pratiquée par le National Center of Asphalt Technology (NCAT).

Le **procédé Enrobé à Basse Température - EBT (Low Temperature Asphalt (LTA)** pour l'export) a été mis au point par l'entreprise APPIA. La fabrication est réalisée selon un procédé spécifique de séchage :

- tous les granulats à 95°C (procédé α),
- ou une partie des granulats à 130°C et l'autre partie à température ambiante et à humidité contrôlée, introduite par un circuit adapté (anneau recycleur, tapis lanceur, dans le malaxeur) (procédé β).

Dans le malaxeur de l'eau est ajoutée pour avoir une teneur en eau totale, proche de 1,5%, puis le bitume chaud est injecté. L'eau résiduelle fait mousser naturellement le bitume, créant spontanément l'auto-expansion du bitume, favorisant l'enrobage des granulats. L'enrobés tièdes est ainsi préparé à une température de 90°C. Un additif améliorant la qualité de l'adhésion est parfois ajouté avec certains granulats. Ce procédé ne nécessite que des adaptations mineures sur les centrales : montage d'une rampe à eau dans le malaxeur, équipée d'un débitmètre. Actuellement une quinzaine de poste est actuellement équipée de ce dispositif. Le compactage demande une énergie légèrement supérieure à celle des enrobés à chaud classiques. La température de compactage est comprise entre 70 et 90°C.

Le **procédé Enrobé à Basse Energie - EBE, encore désigné Low Energy Asphalt (LEA)** pour l'export, constitue le premier procédé selon la méthode des enrobés semi-tièdes (en dessous des 100°C), dont l'originalité consistait à l'introduction du sable humide après enrobage des gravillons secs par le bitume. L'idée, pour la moins originale, a été introduite par l'entreprise FAIRCO (société LEA-co pour l'export). La réussite du procédé réside dans la maîtrise de la teneur en eau finale de l'enrobé semi-tiède, pour conserver pendant une durée suffisante, sa maniabilité au compactage. Le principe apparaît très simple, mais encore fallait-il y croire et travailler sur le mode d'introduction du sable humide, et par conséquent prévoir quelques modifications du poste d'enrobage. Le procédé EBE privilégie l'approche thermodynamique, sans délaisser l'aspect physico-chimique. Les gravillons sont déshydrater et chauffer à 130°C et mélanger avec le bitume chaud, puis le sable est introduit à température ambiante, son humidité étant ajustée pour que le mélange final soit à une teneur en eau voisine de 0,5%. Ainsi, le procédé mobilise successivement les propriétés du bitume selon différents états : à chaud et donc à faible viscosité pour bien enrober les gravillons déshydratés, sous forme expansée (ou mousse) et d'émulsion, lorsque ce bitume chaud en excès pour les gravillons, est mis en contact avec l'eau libre du sable. Un additif (0,3 à 0,4% du poids du bitume) est ajouté lors de la fabrication pour favoriser l'adhésion (de certain

granulat peu adhésif) et la moussabilité du liant. Cette technique permet donc la fabrication des enrobés à une température voisine de 90 °C et son application entre 60 et 90 °C.

Des calculs de déperditions thermiques, validés par des expérimentations, ont montré que la vitesse de refroidissement des enrobés à basse température était beaucoup plus faible que celle des enrobés classiques à chaud (130-140 °C) et que la période de mise en œuvre (et par conséquent de compactage) pouvait être doublée. Ceci permettrait d'étendre la période d'application des enrobés par des températures plus fraîches.

Cette caractéristique a également été validée au Canada, où l'on a réussi à appliquer, des enrobés à chaud produit à moins de 100 °C (selon un processus mis au point par une société canadienne), par des températures de 5 °C, avec une bonne maniabilité.

Les **procédés 3 E – Enrobés Environnementaux Economes en Energie (3E)** - sont le fruit de la recherche et de l'expérience acquit par le groupe COLAS dans le domaine des enrobés tièdes. Le cahier des charges associé à ce programme de recherche, prévoyait des produits de performances comparables aux enrobés traditionnels, capable d'abaisser de 40 °C les températures de fabrication et de mise en œuvre, tout en utilisant tous les types de centrale d'enrobage, sans modifications ou avec des adaptations à la marge. Les travaux de recherche ont conduit à une gamme de 3 produits dont les caractéristiques communes sont conformes au cahier des charges, soit une mise en œuvre entre 80 et 110 °C.

Procédé 3E « DB » : l'enrobage est réalisé séquentiellement pour ajuster la viscosité du liant. Les granulats sont déshydratés et chauffés vers 125 °C, puis enrobés, la pénétration finale du liant étant choisie en fonction de l'usage.

Procédé 3E « DM » : l'enrobage est réalisé séquentiellement. Les granulats déshydratés et chauffés vers 125 °C, sont enrobés par un premier bitume chaud, puis subissent un second malaxage avec de la mousse de bitume dont le grade est adapté au produit final désiré.

Procédé 3E « LT » : l'enrobage s'effectue de manière traditionnelle, à l'exception de la température de chauffage, toujours maintenue autour de 125 °C. Le liant « LT », modifié par des additifs est spécialement conçu dans les usines Colas. Il est pulvérisé sur les granulats

Le **procédé Wam Foam** résulte des recherches développement conduites par la société des pétroles Shell. Le principe d'enrobage repose sur trois étapes successives associant un bitume mou et un bitume dur. Les granulats sont déshydratés et chauffés à 110 - 120 °C pour être pré-enrobés par un bitume mou (généralement 300 de pénétrabilité), favorisant un très bon mouillage et adhésion des différentes fractions minérale. Un second enrobage par de la mousse de bitume de grade dur complète la fabrication. Le malaxage de la mousse de bitume dur et des granulats pré-enrobés de bitume mou, favorise le processus de recombinaison des bitumes (application de la théorie de mélange). L'aménagement des centrales d'enrobage est assez réduit. La fabrication de la mousse nécessite une bonne extraction d'air. Un dispositif de nettoyage des buses placées dans le malaxeur utilise un système d'air comprimé.

IV – Développement des produits

1 - Les réalisations

Il est toujours très difficile d'obtenir des chiffres suffisamment précis pour évaluer les évolutions des procédés. Cependant, les ordres de grandeur fournis par les entreprises permettent de les situer dans un contexte général et par conséquent d'en appréhender leur degré de développement, voire leur évolution.

Les études et recherches ont démarré, dans les laboratoires, durant la période comprise entre les années 2000/03. Les premières expérimentations se sont déroulées entre 2002/05 selon le stade d'avancement.

A ce jour, les réalisations sont déjà très nombreuses en terme de chantiers et parfois en tonnage, comme l'indique les données qui ont été communiquées par les entreprises routières. Ils concernent :

- **Enrobés tièdes avec Aspha-Min** : plus de 50 références en juin 2005, soit près de 130 000 t appliqués depuis 2004, dont près de 100 000 t réalisés cette année en 2006, dans différents pays : France 75%, Allemagne, Croatie, Canada, USA.
- **EBE** : les modifications apportées sur une centrale en région parisienne sont opérationnelles depuis le milieu de l'année 2005, près 15 000 t ont été appliqués en France, des expérimentations sont en cours aux USA) - 2005
- **EBT** : la technique est considérée comme opérationnelle depuis 2005, on recense plus d'une dizaine de réalisation et près de 2 à 3 000 t .
- **3^E et ECOFLEX** : quelques expérimentations (pas de données communiquées)
- **Wam Foam et Saobit** : quelques expérimentations (pas de données collectées).

Ces chiffres montrent, s'il en était besoin, le degré de développement avancé des techniques d'enrobés tièdes.

2 - Nature des enrobés fabriqués selon ces procédés tièdes ou semi-tièdes

Il semblerait que tous les types d'enrobés bitumineux, qu'ils soient utilisés en assises de chaussées, ou en couche de surface, puissent être préparés selon les modes de préparation des enrobés tièdes. Toutefois, cette affirmation reste à confirmer par les expérimentations.

Les enrobés traditionnels fabriqués avec des compositions granulométriques continues et des bitumes purs classiques, de grade 35/50, comme les graves bitumes (GB) et les enrobés épais semi-grenus (BBSG) ne posent aucun problème. Ils ont été testés suivant les différents procédés.

L'usage de bitume dur (10/20 ou 20/30) pour la fabrication des enrobés à module élevé (EME), en renforcement de chaussée, a été testé avec succès, entre autre, avec les procédés EBE, EBT et Aspha-Min.

Des essais de préparation avec des matériaux recyclés à des taux compris entre 10 et 30% ont été effectués avec certains procédés et se sont avérés positifs. De même, des enrobés aux liants modifiés par des polymères ont également été produits avec certains procédés tièdes, avec succès.

Sera-t-on capable de produire l'ensemble des enrobés à chaud selon ces procédés tièdes ?

Cela reste bien entendu à démontrer, notamment en ce qui concerne les enrobés très minces (BBTM) en 2 cm d'épaisseur, et les enrobés drainants. On rappellera, que ces deux procédés ne sont pas réalisables, actuellement, selon la technique des enrobés à froid.

Mais doit-on rechercher une substitution complète des enrobés à chaud par les enrobés tièdes ? La question doit être examinée.

3 - Promotion des innovations

Dans le but d'inciter les entreprises à innover, des chartes innovations sont signées et se soldent par l'établissement d'un certificat, et des récompenses sont attribuées lors de concours sur l'innovation dans le domaine des travaux publics.

Une charte innovation autoroutière, signée entre la société concessionnaire COFIROUTE, l'entreprise EUROVIA et la direction de route, représentée par le SETRA, a été signée en 2003, sur les enrobés tièdes à base d'Aspha-Min. Un certificat délivré en 2006 atteste que «le procédé, testé sur BBSG et BBM 0/14, conduit à un abaissement de la température de séchage des granulats de 30°C, dans le malaxeur lors de l'enrobage par le bitume. Le bilan s'avère probant vis-à-vis de l'objectif de réduction de la température d'enrobage tout en conservant les caractéristiques de l'enrobé à chaud. Il permet de diminuer notablement la consommation énergétique et les nuisances associées à l'émission de fumées et de poussières dans l'atmosphère. Il contribue à réduire sensiblement les GES. »

Des concours sur la promotion de l'innovation, organisés par la profession des travaux publics et par des maître d'ouvrage, ont primé des techniques d'enrobés tièdes. Parmi ceux-ci on peut citer :

- * Palmarès de l'Innovation du Salon des Maires et des Collectivités locales (SMCL) de 2005, où le grand prix du jury a été attribué aux enrobés tièdes à base d'Aspha-Min.

- * le Concours 2005 de la fédération nationale des travaux publics (FNTP), a récompensé lors du 15^{ème} prix de l'innovation dans les TP, deux procédés d'enrobés tièdes :

- les Enrobés tièdes à base d'Aspha-Min,
- les Enrobés Basse Energie : procédé « EBE ».

Ces reconnaissances attestent d'un développement certain et d'un comportement satisfaisant, tout au moins à court terme, des techniques primées. Les enrobés tièdes entrent dans cette catégorie de techniques nouvelles reconnues.

V – Premiers bilans – performances – avantages – conséquences sur le matériel

1 - Bilan environnemental - Conditions de fabrication – Emissions

Les gains énergétiques dus aux réductions de la consommation de fuel pour le séchage des matériaux sont de l'ordre de 1 l/t pour les procédés dit tièdes, et de près de 1,5 à 2 l/t pour les procédés semi tièdes. Ceci représente un potentiel de réduction d'environ 0,7 million de tonne de pétrole, si l'ensemble des enrobés fabriqués en France étaient produits selon ce nouveau procédé (il ne semble pas opportun de vouloir généraliser à tout prix ce mode de fabrication, la diversité restant un moyen d'optimiser les productions et coûts). Les résultats attestent que les enrobés tièdes réduisent les températures de fabrication, dans une gamme de 30 à 60°C, selon la nature des procédés. Ainsi, ils contribuent tous à réduire la facture énergétique et par voie de conséquence à diminuer sensiblement les émissions gazeuses ou solides.

Les informations communiquées par les entreprises sur les premiers résultats concernant les émissions gazeuses résultent de mesures réalisées par des bureaux d'étude spécialisés (INERIS, VERITAS) montrent :

- pour les mesures de rejets dans l'atmosphère :

- * des émissions à la sortie de la cheminée de la centrale d'enrobage sont réduites de manière significative,

- * des émissions des composés organiques volatiles (COV) sont également favorables, les émissions de NO₂, SO₂ et CO₂ seraient réduites de l'ordre de 20% (15 à 25% selon les résultats annoncés).

Des mesures sur le personnel à la mise en œuvre ont également été effectuées. Les taux étant extrêmement faibles, et souvent à la limite de détection des appareils et méthodes utilisées, il est donc bien difficile de conclure à des améliorations. Cependant, on peut confirmer l'absence significative (avec le protocole utilisé) d'émission pour les enrobés à chaud ou tièdes.

Des recherches sont à entreprendre pour mettre au point des appareillages et des protocoles d'essais spécifiques pour quantifier les émissions (nature et taux) émis par les techniques bitumineuses dans l'environnement, quel qu'en soit le principe de fabrication. Des mesures environnementales doivent être effectuées lors des évaluations des procédés tièdes, pour attester des gains effectifs en matière de consommation, d'émission à la centrale (composés toxiques : HAP, COV, ...) et à la mise en œuvre.

2 - Bilan technique (performances et propriétés de surface)

Les formulations des enrobés tièdes sont identiques à celles des enrobés à chaud, exception faite des additifs incorporés à des dosages très faibles (quelques 0,3 pour mille à 4% dans le bitume, 1 à 2 % d'eau, ajout à raison de 0,2 à 0,4 % du mélange).

Les performances de laboratoire, des enrobés tièdes, s'avèrent tout à fait comparables aux enrobés bitumineux préparés selon le mode de fabrication conventionnel à chaud. Le tableau 1 présente des résultats communiqués par les entreprises.

	Sans - avec aspha- min BBSG (chantier A 81)	Chaud – tièdes EBT BBSG 2 - 0/10 (labo)	Chaud – tièdes EBE BBSG 2 - 0/10 (labo)
Liant	35/50	35/50	35/50
Températures (°C)		160 - 90	150 - 85
% vides	6,5 - 7,3	9 - 7 (PCG 60g)	9 - 7 (PCG 60g)
Duriez r/R (%)		0,94 - 0,84	0,9 - 0,95
Orniérage* (%)		6,4 - 6,5	6,0 - 6,1
E _{15°C – 10Hz} (MPa)	10 400 - 11 300		
Fatigue Ep 6		105 - 104**	
HSv (mm)	0,98 - 1,03		

* après 30 000 cycles

** valeur estimée à partir de la correction de teneur en vides

Tableau 1 – comparaison de performance entre enrobés à chaud et enrobés tièdes (laboratoire et chantier)

On notera qu'il convient d'examiner avec attention le comportement des enrobés tièdes vis à vis de la résistance au désenrobage (essai Duriez) et de prévoir avec certain type de granulat l'usage d'un agent spécial d'adhésivité.

Bien qu'appliqué à des températures plus basses, la maniabilité des enrobés n'en est pas pour autant affectée, comme en témoigne les résultats concernant la teneur en vides en place, les qualités de l'uni (caractéristique parfois délicate à satisfaire avec les produits bitumineux à froid), la texture de surface, l'adhérence ou la qualité des joints entre bandes de répandage. Les mesures

réalisées sur les chantiers expérimentaux conduisent aux mêmes résultats que ceux obtenus avec les enrobés à chaud traditionnels. Ainsi au jeune âge, ou après un ou deux ans de suivi, on ne semble pas constater de différences significatives

3 - Réduction du délai de remise au trafic

L'emploi des enrobés tièdes conduit à des températures de fin de compactage également plus basses que les enrobés à chaud traditionnel (55 à 80°C selon procédés). Cela constitue un avantage important car il est possible de remettre en service immédiatement la chaussée, dès la fin de la mise en œuvre.

4 - Matériels

Suivant les procédés, les modifications apportées sur les centrales d'enrobage peuvent concerner :

- le mode d'introduction de l'additif selon la nature (granulé, fines ou liquide) par l'anneau de recyclage, le circuit du filler de récupération, des sacs thermo-fusibles dans le malaxeur, un doseur en ligne, un doseur pondéral, ajout dans la citerne de liant,
- l'introduction du sable à température ambiante et ajustement de son humidité (sonde de teneur en eau, doseur en eau et dispositif d'arrosage)
- la fabrication de la mousse,
- le double enrobage, modérée (circuit séparé du sable humide).... ;

Ces modifications sont dans l'ensemble assez mineures. Il conviendra d'en évaluer l'incidence économique sur les installations actuelles. Le procédé le plus avancé actuellement, ne nécessite que très peu de modification sur la centrale pour introduire l'additif.

CONCLUSION

Les travaux de recherche des entreprises routières et pétrolières ont conduit à la mise au point de procédés opérationnels permettant de produire des enrobés tièdes.

Ainsi, il est donc possible :

- de réduire les températures des enrobés,
- de conserver leurs caractéristiques mécaniques,
- de réduire les émissions dans l'atmosphère,
- de réduire le délai de remise à la circulation,
- ... dans des conditions économiques acceptables.

La faisabilité de ces procédés a été démontrée pour l'élaboration d'enrobés classiques au bitume pur de grade 35/50 pour les assises ou les couches de surface. Certains procédés sont capables de produire des enrobés à base de bitume dur ou de liant modifié par des polymères, et d'incorporer des matériaux recyclés.

Les procédés d'enrobés tièdes s'inscrivent véritablement dans la démarche de développement durable, et des nouvelles valeurs sociétales qui privilégient l'environnement. Les enrobés tièdes répondent à ces attentes de préservation des ressources naturelles non renouvelables, d'économies d'énergie, d'un meilleur respect de l'environnement par une réduction des émissions de gaz à effets de serre, de moindre rejet des poussières. Parallèlement, ils offrent des matériaux

bitumineux conformes aux objectifs de performances des enrobés à chaud, à savoir des propriétés mécaniques et de surface toujours plus élevées, plus polyvalentes ou plus ciblées (module élevé, adhérence, couleurs, recyclabilité,...).

Le suivi et l'évaluation technico-économico-environnemental doivent être poursuivis pour se faire un avis suffisamment fiable des possibilités offertes par les techniques tièdes ou semi tièdes. Cela permettra de mieux comprendre leur mode de fonctionnement et d'en cerner précisément leur domaine d'emploi.

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué à ce recueil d'information sur les enrobés tièdes, sans qui je n'aurais pas pu dresser ce bilan. En particulier, je remercie mes collègues du Réseau Scientifique et Technique de l'Équipement, et plus spécialement mes collègues des laboratoires régionaux des Ponts et Chaussées et ceux du SETRA. Je remercie vivement les sociétés de travaux routiers qui ont répondu favorablement à mes demandes de renseignements, et qui m'ont aimablement communiqués des informations à caractère technique et environnemental, à savoir EUROVIA, FAIRCO, APPIA.

Bibliographie

« Les enrobés tièdes, une alternative » - Route Actualité – n° 136 – juillet-août 2004.

« Les applications d'enrobés tièdes se multiplient » – Route Actualité – n° 145 – juillet-août 2005.

M. Lecomte, L. Achimastis, C. Leroux – « enrobés tièdes Shell Bitumes et développement durable » - Revue Générale des Routes et Aérodrômes n°844 – novembre 2005.

Salon des maires 2005 – « les lauréats des prix de l'innovation » – Le moniteur – 25 novembre 2005 ; Ville et transports – 7 décembre 2005.

Y. Martineau, J. David – « Nouveau procédé d'enrobage, le procédé EBE permet de produire des mélanges performants, équivalents aux enrobés à chaud, à moins de 100°C » - Revue Générale des Routes et Aérodrômes n°844 – novembre 2005.

M.F. Ossola – « les basses calories font recette » - Revue Générale des Routes et Aérodrômes n°845 – janvier 2006.

F. Olard, C. Le Noan, P. Huron – « les enrobés à basse température : EBT. Une nouvelle génération d'enrobés dans la gamme des produits routiers Appia » - Revue Générale des Routes et Aérodrômes n°846 – février 2006.

X. Carbonneau, J.P. Henrat, F. Letaudin – Enrobés 3 E de Colas : une réponse sûre à la problématique des enrobés dits « tièdes » - Revue Générale des Routes et Aérodrômes n°849 – juin 2006.