

Béton Bitumineux à Froid et Enrobés Coulés à Froid pour couches de roulement colorées

J.-E. POIRIER,
Direction Scientifique de Colas S.A. Magny les Hameaux. France
poirier@lcr.colas.fr

T. DELCROIX, G. DURAND et M. BALLIE
Direction Technique de Colas France. Magny les Hameaux. France

RESUME

Les revêtements bitumineux et colorés sont utilisés pour embellir les voiries des sites urbains ou touristiques, mais aussi pour apporter des éléments de confort et de sécurité. Le bitume, de couleur noire, y est remplacé par un liant de synthèse translucide en film mince et dont la couleur peut être modifiée facilement par des pigments. C'est par exemple le cas pour la réalisation de couche de roulement dans les tunnels. Ces revêtements clairs y sont préférés aux revêtements traditionnels noirs car ils apportent une amélioration de la visibilité et de la sécurité avec un gain en éclairage d'environ 30%. En employant des enrobés à l'émulsion on s'affranchit des problèmes posés par l'évacuation de la chaleur et des émanations produites par l'application des enrobés à chaud. L'objectif de cette communication est de présenter les résultats d'une recherche qui a permis de mettre au point deux produits à l'émulsion colorés capables de répondre aux spécifications des couches de roulement pour tunnel. La première partie de la communication concerne la mise au point d'un enrobé coulé à froid coloré de granulométrie 0/6 continue ou discontinue. On y présente l'étude de formulation en laboratoire. Différentes réalisations, en blanc et en rouge, sont ensuite décrites. La seconde partie de la communication est consacrée à un béton bitumineux clair, à l'émulsion, de granulométrie 0/6, appliqué au finisseur en 2 à 3 cm d'épaisseur. On rapporte les résultats des études de laboratoire qui ont établi les performances de ce produit en terme de maniabilité, de résistance à l'orniérage et d'adhérence. Un cas de chantier est ensuite présenté. Ce produit a remporté le Grand Prix Siemens de l'Innovation en 2001.

MOTS CLEFS

Couche de roulement, Couleur, Emulsion

1. LE BESOIN

Les revêtements bitumineux colorés permettent de répondre à l'une des préoccupations majeures des maîtres d'ouvrage : la différenciation des voies de circulation et l'embellissement des sites urbains. Le développement de l'utilisation des liants de synthèse pigmentables ont grandement contribué au développement de l'intérêt de la couleur dans le domaine routier (Brosseaud, Y et Saint Jacques, M, 2002).

Les chantiers où sont mis en œuvre les matériaux colorés sont rarement de grande taille. De plus ils nécessitent l'utilisation de matériels de fabrication et d'application parfaitement

propres pour ne pas altérer la couleur recherchée. Les contraintes d'organisation sont donc plus fortes que pour un chantier réalisé à partir de matériaux traditionnels. Les matériaux traités à l'émulsion, s'ils nécessitent une grande compétence technique, apportent une souplesse de mise en œuvre appréciable dans cette circonstance.



Figure 1 : ECF rouge appliqué en 2000 sur les quais de la Seine à Rouen

Un autre domaine est particulièrement concerné par les revêtements de couleur. C'est celui des chaussées pour tunnel. Les revêtements clairs y sont préférés aux revêtements traditionnels noirs : ils procurent d'une part une amélioration de la visibilité et de la sécurité et d'autre part ils permettent de réduire le niveau d'éclairage environ 30 %

(Apville, 2002). L'emploi d'enrobés à chaud pour réaliser ces couches de roulement est maintenant bien maîtrisé. Cependant il pose la question de l'évacuation des calories et des fumées. Les contraintes associées à la résolution de ces problèmes compliquent l'organisation des chantiers. Une réponse efficace et élégante à cette question consiste à réaliser cette couche de roulement à l'aide de matériaux traités à l'émulsion. On s'affranchit alors des questions liées à la température et à l'évacuation des fumées.

Ainsi la mise au point d'enrobés colorés à l'émulsion permet de répondre à ces différents besoins.

Cette analyse a conduit Colas à améliorer un produit existant, un enrobé coulé à froid, ECF, pour lui permettre de résister aux contraintes générées par les niveaux de trafic élevé. Les enseignements acquis à l'occasion de cette optimisation ont permis de mettre au point un béton bitumineux très mince à l'émulsion, BBTM, aux propriétés d'usage comparables à celle des bétons bitumineux très minces à chaud. L'objet de cet article est de présenter ces deux nouveaux produits.

2. GRANULATS ET PIGMENTS

Les granulats retenus sont choisis conformément à la norme française XP P18-540. Les caractéristiques sont au minimum celles des matériaux de la classe B III a qui prend également en compte la valeur du coefficient de polissage accéléré. La couleur des granulats est choisie en fonction de la couleur à donner au revêtement coloré. En effet après quelques mois de services, le film de liant qui recouvre les granulats finit par être décapé sous l'action du trafic et la couleur naturelle des granulats apparaît. Le mastic qui

enchâsse les granulats conserve la couleur apportée par le pigment choisi, mais il est avantageux que les granulats apportent par eux-mêmes une contribution à la durabilité de la coloration du revêtement.



Figure 2 : ECF rouge appliqué sur les quais de la Seine à Rouen en service.

Les pigments minéraux sont à privilégier par rapport aux organiques car ce sont ceux qui présentent la plus grande stabilité chimique et donc la meilleure résistance aux rayonnements UV. Le teneur en pigment est généralement comprise entre 0.5 et 2% en masse par rapport à la masse totale du squelette granulaire.

Le pigment doit être considéré comme faisant partie de la formule granulaire lorsqu'il s'agit d'évaluer la teneur en liant à introduire dans le mélange. De plus on a pu observer que la nature du pigment avait une forte influence sur la maniabilité et la montée en cohésion des ECF ou des BBTM. La compatibilité entre pigments et émulsion doit donc systématiquement être examinée en laboratoire.

Ces pigments minéraux sont des oxydes ou des sels métalliques, tableau 1.

Tableau 1- Quelques types de pigments minéraux.

Couleur recherchée	Nature du pigment
Rouge, Jaune	Oxydes de Fer
Jaune clair	Chromate de Plomb
Vert	Oxyde de chrome
Blanc	Oxyde de Titane
Bleu	Oxyde ou aluminat de Cobalt

La teinte finale dépend de la qualité de la dispersion du pigment dans le mélange final.

Le pigment choisi peut être introduit dans le mélange granulaire juste avant l'entrée dans le malaxeur. On peut également envisager d'introduire le pigment dans l'émulsion. Cependant cette méthode, qui a l'avantage de simplifier la fabrication de l'enrobé, nécessite de régler la question de la stabilité de la dispersion du pigment dans l'émulsion. De plus en associant le liant et le pigment dans le même vecteur, on ne peut plus faire varier séparément teneur en liant et teneur en pigment. Enfin, dans les cas des ECF, les pigments peuvent être introduits dans le mélange granulaire au moment de la reconstitution de la formule granulaire. Cette dernière solution permet d'assurer un dosage et un mélange homogènes de la coloration. Elle impose de bien évaluer les quantités de matériaux nécessaires pour la réalisation du chantier.

3. L'EMULSION

Il s'agit d'une émulsion cationique à rupture lente ou semi lente, dosée à 60% en liant de synthèse. La classe de ce liant est de type 70/100 ou 50/70 suivant les contraintes de trafic ou de climat auxquelles sera soumise la couche de roulement. Dans le cas d'un trafic supérieur à T2, on recommande l'emploi d'une émulsion de liant modifié par des élastomères. Colas produit maintenant sa propre gamme de liant de synthèse.

La formulation de l'émulsion est réalisée de façon à conférer aux ECF, ou BBTM, les propriétés de maniabilité et de montée en cohésion requises par l'application, (Deneuillers, 2000, Serfass, 2002,). Les caractéristiques moyennes de ces émulsions sont portées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Caractéristiques moyennes des émulsions utilisées pour les enrobés colorés

Caractéristique	Valeurs moyennes	Normes d'essai
Teneur en eau, %	39 à 41	NF EN 1428
Homogénéité par tamisage		NF T66-016
refus à 630 μ , %	< 0.1	
refus à 160 μ , %	< 0.1	
Pseudo-viscosité, STV, sec. (4mm, 25°C)	< 10	NF EN 12846
pH à 25°C	< 3.0	NF EN 12850
Décantation à 7 jours, %	< 10	NF EN 12847
Indice de rupture	> 120	NF EN 13075-1

Le dosage de l'émulsion par rapport au mélange granulaire dépend du type de produit réalisé.

4. PROPRIETES COLORIMETRIQUES

La perception des couleurs est un phénomène complexe qui associe d'une part des phénomènes physiques quantifiables et d'autre part la réaction de l'observateur, elle-même influencée par sa capacité propre à distinguer les nuances de couleurs et exprimer cette différenciation en fonction de sa culture.

4.1. Les granulats

On peut tenter de réduire cette complexité en mesurant les caractéristiques colorimétriques des granulats pour fournir une aide à la décision quant à l'origine des granulats. A l'occasion de la recherche, dont les résultats sont présentés ici, nous avons été amenés à définir un mode opératoire de détermination de ces caractéristiques. En particulier dans le cas des granulats blancs, nous avons choisi de définir un critère de blancheur en nous fondant sur les travaux concernant la mesure de la blancheur dans le domaine du papier.

4.2. Le revêtement

En raison de l'essor de l'application des revêtements colorés, l'Etat français a été conduit à orienter le choix des couleurs en fonction de l'usage attendu pour l'ouvrage coloré (SETRA-CSTR, 1998). Les grandeurs mesurées concernent les propriétés photométriques

du revêtement c'est-à-dire celles qui sont mises en jeu lors de la réflexion de la lumière par la surface de la couche de roulement (SETRA-GNCSS, 1997), en particulier la couleur. Cependant cette note ne propose rien pour ce qui est de la mesure des couleurs.

Pour notre propre recherche nous sommes orientés vers un référentiel de couleurs fondées sur le système CIELAB-1976, à partir duquel on peut définir et mesurer des grandeurs qui traduisent : la clarté, la composante chromatique rouge-vert, et la composante chromatique jaune-bleu. Les observations de chantier, couplées aux études de vieillissement nous ont permis d'établir l'origine de l'évolution de la couleur au jeune âge. Nous avons alors commencé un travail de recherche pour déterminer les relations entre les paramètres de coloration initiale et ceux de la coloration après trois mois d'ensoleillement moyen en France. De même pour les caractéristiques photométriques nous avons établi des formules qui permettent de classer les revêtements clairs en question dans la catégorie R1 définie par la C. I. E.

5. ENROBES COULES A FROID

5.1 Les classes d'ECF définies

Elles sont décrites dans le tableau 3.

Tableau 3 : Les différentes classes d'ECF colorés

Granularité	0/4	0/6	0/8	0/10
Passant, %, à				
10 mm	100	100	100	95-100
8 mm	100	100	95-100	85-95
6.3 mm	100	95-100	85-95	80-95
2 mm	35-45	35-45	40-50	40-50
0.08 mm	6-10	6-10	6-10	6-10
Module de richesse	4.2	4.0	3.9	3.8

Si on dispose d'un sable défillerisé ou peu fillerisé, une formule 0/1 peut être envisagée, par exemple pour réaliser des pistes cyclables sur support neuf.

La réalisation de l'ECF ne nécessite pas de machines d'application particulières. En revanche il faut veiller à la parfaite propreté des dispositifs d'application pour obtenir la couleur désirée.

5.2 Exemples de chantiers

En 2000 puis en 2003, les quais de la Seine à Rouen ont été revêtus d'un ECF 0/4 de couleur rouge, sur une surface de 11 000 m², figures 1 et 2. Rénovés à l'occasion de la manifestation de l'Armada du siècle, ces quais sont maintenant un lieu de promenade ouvert aux piétons, cyclistes et patineurs.

En 2001, les accotements à vocation de pistes cyclables de la route nationale 1 de l'île de La Réunion, à Saint Benoît ont été recouverts par un ECF 0/6 de couleur blanche. Des granulats blancs, quartzite ont été retenus pour cette application qui a représenté 6500 m². Le dosage en oxyde de titane était de 1%. Ce même ECF a été posé en couche de

roulement sur la RN 2- St Pierre, toujours à La Réunion. Les mesures de photométrie ont permis de classer ces revêtements en classe R1 selon la définition type de la CIE. En raison du succès de cette première application, en 2002 37 000 m² ont été appliqués en BAU pour piste cyclable sur la RN1.

6. BETON BITUMINEUX TRES MINCE A FROID

6.1 Le produit.

La recherche engagée pour la formulation de l'enrobé coulé à froid a permis de progresser en matière de formulation d'émulsions de liants de synthèse aptes à enrober des granulats 0/6 et à conférer au mélange des propriétés de maniabilité et de montée en cohésion maîtrisée. On a décidé alors d'appliquer ces connaissances à la formulation d'un béton bitumineux très mince 0/6 qui s'appliquerait au finisseur et qui présenterait des propriétés d'usage analogues à celle des B. B. T. M. à chaud. Les caractéristiques des granulats et de l'émulsion sont identiques à celles exposées plus haut.

L'enrobé est fabriqué en centrale de malaxage à froid classique. Un additif est utilisé pour ajuster la maniabilité des enrobés au cas du chantier considéré, à savoir principalement : distance de transport et conditions météorologiques. L'enrobé est appliqué au finisseur et compacté avec les moyens habituels pour ce genre d'enrobés. On rappelle que le souci d'obtenir une couleur homogène, impose d'utiliser des matériels parfaitement propres. Les premiers chantiers expérimentaux ont été réalisés par Colas Centre Ouest dans le cadre d'une charte innovante qui associe Colas, le SETRA et Cofiroute (Ballié et Poirier, 2002).

Les travaux ont été réalisés sur une aire de repos de l'autoroute A10. L'accrochage au support est obtenu grâce à une émulsion de liant de synthèse à rupture rapide, dosée à 300 g/m². L'épaisseur de l'enrobé appliqué était de 2 cm. L'atelier d'application était constitué d'un finisseur et de deux compacteurs. La teneur finale en liant de l'enrobé était de 6,1 ppc; la teneur en pigments, oxyde de titane, 1,5 %. Les caractéristiques de cet enrobé sont décrites dans la section suivante de cet article.

Le suivi à un an de ces chantiers a montré les points suivants. Pas d'évolution des caractéristiques photométriques ; le revêtement est diffusant dans toutes les directions avec un coefficient de clarté performant. La réflexion spéculaire moyenne est < 0,42; le coefficient moyen de luminance, Q_0 est élevé, et de l'ordre de 0,1. Ces résultats, homogènes quel que soit le point de mesure, confirment le classement de ce revêtement dans la catégorie R1 des revêtements standards de la C. I.E.. Les performances colorimétriques de ce BBTM à l'émulsion sont au moins équivalentes à celle des meilleurs B. B. T. M. à chaud.

La macro texture, dont on sait qu'elle participe aux caractéristiques d'adhérence du revêtement, évaluée par la mesure de la hauteur au sable vraie, HSv, n'a pas été négligée : valeur moyenne 0,6 à 1 mm suivant les réglages de l'application.

6.2 Caractéristiques d'usage

La détermination de la formule a été réalisée en adoptant les procédures internes du groupe Colas. Les articles qui décrivent ces procédures sont mentionnés dans la liste bibliographique. La formule retenue est reportée dans le tableau 4.

Tableau 4 : Composition du BBTM appliqué sur l'aire de repos de l'autoroute A10

Passant à	
10 mm, %	100
6.3 mm, %	96
4 mm, %	45
2 mm, %	31
0.08 mm, %	6.3
Pigment, oxyde de titane, %	1.5
Teneur en liant résiduel, ppc	6.1
Module de richesse	3.77

L'additif de régulation de la maniabilité est fixé à 0,5 % par l'étude. Lors de l'application son dosage a varié entre 0,3 et 0,5 % pour tenir compte des conditions météorologiques lors de l'application.

L'aptitude au compactage a été déterminée à l'aide de la presse à cisaillement giratoire. La compacité à 1 giration était de 80.7 %, à 25 girations 86,8 %. Cette valeur de la compacité correspond à peu près à la fin du départ de l'eau tel qu'on peut le détecter par cet essai. C'est donc la compacité maximale que l'on peut atteindre sur chantier au jeune âge.

Après mûrissement à 35 °C et 20% d'humidité relative, des éprouvettes ont été évaluées quant à leurs module élastique par compression diamétrale. Les valeurs de modules sont reportées dans le tableau 5 ; la compacité des éprouvettes était de 87%.

Tableau 5 : Valeurs de modules élastique en compression diamétrale

Conditions de mesure	Modules, Mpa
10°C 20 ms	5900
10°C 25 Hz	6200
15°C 10Hz	4200

Ces valeurs sont plus faibles, environ 20%, que celles habituellement mesurées sur des BBTM au bitume pur (Poirier, et al 2001). La raison en est que le module des liants de synthèse est plus faible que celui des bitumes de grade correspondant.

La tenue à l'eau et la résistance en compression ont été mesurées par essai Duriez, tableau 6

Tableau 6 : Valeurs mesurées à l'essai Duriez

Résistance en compression, air, 18°C, MPa	4.42
résistance en compression, eau 18°C, Mpa	4.00
r/R	0.94
Compacité, %	87.6

Il ne faut pas s'étonner de la valeur élevée de la tenue à l'eau, les liants de synthèse, bien formulés, présentent généralement une excellente adhésivité. Ce point doit cependant être vérifié.

7. BILAN ET PERSPECTIVES

Les comportements des chantiers réalisés à ce jour sont très encourageants. Les deux produits sont sortis du stade de la recherche. On constate que l'emploi de l'ECF se développe régulièrement au fur et à mesure de la réussite des chantiers. En ce qui concerne le BBTM, il faudra pouvoir avoir l'occasion d'appliquer cet enrobé sur deux ou trois chantiers expérimentaux avant de pouvoir déclarer ce produit industriel et sûr.

Le caractère innovant du BBTM, s'est traduit par l'attribution du Prix SIEMENS de l'innovation en 2001..

Nous sommes persuadés qu'il existe un créneau d'application pour ce produit dès lors que l'on prend en compte l'homogénéité de la mosaïque, la durabilité du revêtement face à un trafic agressif, la nécessité de performances d'uni, et la capacité de supporter un nettoyage mécanique ; toutes performances nécessaires pour des couches de roulement sous tunnel.

REFERENCES

- Apville, J.-M. et Martin J.-C. (2002) « Caractéristiques et intérêt économiques des chaussées claires et éclaircies ». Guide Technique du Centre d'Etude Technique des Tunnels.
- Ballié, M et Poirier, J.-E. (2002) « Colasmac, de la couche de roulement épaisse à très mince », RGRA n° 812 p 40-46.
- Brosseaud, Y. et Saint-Jacques, M. (2002) « Les revêtements bitumineux colorés en France, bilan d'utilisation ». Revue Générale des Routes et Aérodrômes n° 807 pp 32-38
- Deneuvillers, C. et Meyer, V. (2000) « Evaluation de la maniabilité des enrobés à froid à l'aide de nouveaux tests de laboratoires » Revue Générale des Routes et Aérodrômes n° 788 Octobre 2000
- Poirier J.E., Deneuvillers, Ch., (2002) « Enrobés à froid : caractérisation et maîtrise de la qualité de l'enrobage » RGRA n° 803 février 2002.
- Poirier, J.E., Ballié, M, Clarac A. et Thouret D.(2001) « Colasmac : Bilan après 5 ans d'exploitation » RGRA n° 799 Octobre 2001
- Poirier, J.E., Carbonneau, X et Henrat, J.P.(2002) « Enrobés à froid : Aptitude au compactage » RGRA n° 804 mars 2002
- Serfass, J.-P. (2002) « Emulsion cold mixes : for a new design method » Revue Générale des Routes et Aérodrômes n° 808 Juillet Août 2002
- SETRA-CSTR, 1998 « Coloration des revêtements routiers et sécurité routière ». Note d'information n° 112. Mars 1998
- SETRA-GNCSS, 1997. « Caractéristiques photométriques des revêtements de chaussées ». Note d'information n° 92 de mars 1997