

# ARTICLES

1. Enrobés scintillants pour zones urbaines et de loisirs
2. SCINTIFLEX : Lumières et scintillements sur la route
3. Enrobés scintillants : Un moyen de rendre la voirie plus attrayante
4. Enrobés scintillants : Pour mieux voir la route



# ENROBES SCINTILLANTS POUR ZONES URBAINES ET DE LOISIRS

Technical Session 4 : *Alternative application and novel approaches for Asphalt Mixes*

Pierre BENSE - Directeur du laboratoire central – SCREG - France

## INTRODUCTION

En une cinquantaine d'années, les ingénieurs routiers ont mis toute leur science et leur enthousiasme à apporter aux routes françaises ce que l'on peut appeler les besoins essentiels.

Dans un pays donné, l'état d'avancement du patrimoine routier suit toujours le même cycle d'évolution :

- d'abord la route en terre, donc à poussière;
- puis la route empierrée avec enduit, donc revêtue, donc sans poussière, mais le trafic reste modeste et l'uni médiocre,
- ensuite la route recouverte d'enrobé pour améliorer un peu le confort,
- enfin la route à grande circulation ou l'autoroute possédant confort, uni, adhérence,
- mais aujourd'hui apparaît la route « sophistiquée » pour laquelle les améliorations portent sur d'autres éléments, d'autres envies (recherche de la route « silencieuse », changement des couleurs, route intelligente, etc.). Bien entendu cette sophistication reste attachée aux pays avancés, riches et à une population ayant de plus en plus le goût d'un grand confort et même d'un certain luxe.

Bien d'autres formes de sophistication sont possibles et on aborde, dans cet article, comment exploiter les différentes formes de lumière : la lumière ambiante, l'éclat du soleil, les éclairages artificiels, celui des phares, etc..., dans le domaine de la route.

## **2. - L'OPTION TECHNIQUE CHOISIE**

Dès que l'on parle de photométrie, on pense couleur, soit du granulats, soit du liant, soit du cumul des deux. Ici la technique choisie a été celle de l'exploitation aussi intense que possible de la lumière existante, quelle qu'elle soit et on a donc pensé à exploiter les propriétés optiques du miroir sous forme de points lumineux.

L'étude préliminaire a été menée en totale coopération avec l'industrie verrière.

## **3. - ETUDE DE L'ENROBE**

### 3.1 - Choix des paramètres d'étude

La première partie de l'étude, et c'est une évidence, a consisté à étudier de manière approfondie les paramètres de base de ce nouvel enrobé :

- en premier lieu, l'étude de la taille des particules à effet optique (0/2 - 2/6 - 3/8 - 6/10)
- en deuxième lieu, le dosage à préconiser, compte tenu des effets recherchés, et on a balayé la zone de 10 à 40%
- en troisième lieu, l'étude des propriétés mécaniques de ce type d'enrobé compte tenu des particularités du miroir (problème d'adhésivité sur la matière en elle-même et de frottement interne compte tenu du caractère lisse et poli du verre)
- en quatrième lieu, la correction des défauts éventuellement identifiés

### 3.2 - Choix des tests

On ne détaillera pas ici, bien évidemment, les tests classiques de la technique routière (PCG, orniéreur, essai Duriez, etc.) car ils sont trop connus.

Par contre, dès que l'on incorpore des morceaux de miroir concassés dans un enrobé et une fois la surface décapée, ce qui s'effectue rapidement après quelques jours d'exposition aux éléments climatiques (soleil, vent, pluie), on retrouve les propriétés optiques connues du miroir et de la source lumineuse; l'observateur voit ou non le rayon réfléchi selon sa propre position.

Devant un grand nombre de petits éléments de miroirs disposés au sol et dont la position angulaire est aléatoire, pour une position donnée de l'observateur et de la source, quelques éléments s'illuminent et frappent l'oeil de l'observateur qui, ainsi, voit quelques points lumineux sur le sol.

Par contre, dès que l'observateur se déplace, ces quelques points lumineux s'éteignent et d'autres points, auparavant éteints, s'allument. En d'autres termes, dès que quelque chose se déplace, soit la source lumineuse (phare, par exemple), soit le plus souvent l'observateur (piéton qui marche, cycliste ou automobiliste qui circule) ce dernier voit à chaque instant des points s'allumer au sol et d'autres s'éteindre. L'effet, très agréablement surprenant, est une sorte de crépitement d'étoiles, car c'est bien de scintillements qu'il s'agit. L'impression d'animation du sol est réelle et on dirait qu'il vit.

Pour que l'effet de scintillement soit pleinement opérationnel, il faut que l'un des acteurs, soit la source lumineuse, soit l'observateur se déplace. On a donc deux grands cas de figure :

a) - **La source lumineuse est fixe** et c'est le cas soit du soleil, soit des éclairages publics. Si l'observateur est lui aussi fixe, il voit quelques points lumineux au sol et c'est tout. Si l'observateur se déplace, il voit une succession de points différents s'allumer, puis s'éteindre, et le sol « s'anime ».

b) - **La source lumineuse est mobile** et c'est le cas courant des phares de véhicules. Que l'observateur soit fixe (cas d'une personne assise qui regarde passer les véhicules) ou mobile (cas du piéton qui marche sur le trottoir ou le conducteur du véhicule), l'effet de « crépitement d'étoiles » au sol est extrêmement net. C'est alors la vitesse de déplacement de la source lumineuse qui fixe la vitesse d'apparition des scintillements et donc l'intensité de l'animation.

C'est pourquoi un des meilleurs domaines d'application de cette technique est la route bordée de terrasses et largement fréquentée par les piétons qui flânent : l'effet de crépitement d'étoiles du sol, sorte de feu d'artifice permanent, y est très spectaculaire.

Les villes touristiques devraient ici trouver de quoi rendre la route plus attirante et moins monotone pour le grand public.

Pour illustrer cet effet et en donner des valeurs chiffrées, plusieurs études ont été engagées, mais l'effet est ponctuel à un instant donné et donc le résultat instantané fourni par les appareils, en matière d'augmentation mesurée de la lumière, est toujours décevant. La meilleure méthode consisterait à éclairer la surface par une demi-sphère lumineuse et à recueillir, pour une position donnée d'observateur, celle du piéton, du cycliste ou de l'automobiliste, le potentiel lumineux cumulé possible, pour une (ou toutes) les intensités lumineuses incidentes possibles (lumière naturelle, soleil, phares, candélabres, etc.).

C'est un travail qui n'a pas été actuellement engagé, pour la simple raison qu'on ne voit pas bien à quoi il correspond dans la réalité des événements quotidiens.

Sur un plan plus pratique, on pourrait illustrer l'effet instantané par le nombre de points lumineux visibles pour un observateur et une source donnés, ce qui implique de disposer d'un très grand nombre de points potentiels. En d'autres termes, il faut déjà avoir fait un chantier de plusieurs centaines de mètres carrés et ce n'est pas du tout une méthode de laboratoire.

Faute de méthode appropriée trouvée à ce jour, on ne fournira donc pas, dans le présent article, de mesures relevant de la science optique ... mais les études se poursuivent sur le sujet.

#### **4. - LES CARACTERISTIQUES DE LABORATOIRE**

##### 4.1 - Choix de la granularité

Les études préliminaires concernant la taille des particules ont rapidement montré :

- qu'en dessous de 2 mm de dimension, l'effet optique est masqué et ne présente qu'un piètre intérêt et surtout un très mauvais rapport qualité/prix,
- qu'au-dessus de 8 mm de dimension, on a l'impression que la surface de la route manque d'homogénéité car la distribution de ces grands morceaux est trop aléatoire. En outre, le verre-miroir, généralement peu épais, se casse en flexion et risque de périr en petits débris.

On a donc retenu la coupure granulométrique soit 2/6, soit 3/8, cette dernière étant la plus efficace.

##### 4.2 - Etude du dosage en particules réfléchissantes

Du point de vue taux d'emploi, l'effet est très faible à 10% mais apparaît suffisant entre 20 et 30%. On a donc retenu, dans les cas courants, cette plage de dosage, mais, pour autant, il n'y a aucune discontinuité ni minimum requis et donc tout est question des effets recherchés qui peuvent être plus ou moins intenses, en fonction de l'objectif poursuivi.

C'est donc toute « une palette de lumière » qui est possible.

##### 4.3 - Méthode d'introduction et de stockage

Après quelques tâtonnements préalables, le 2/6 miroir se dose désormais comme tout 2/6 de roche naturelle et il n'y a aucune particularité propre au dosage, au stockage ou à l'écoulement du matériau. Le matériau ne craint ni la pluie, ni le soleil et ne présente aucune difficulté à être repris au chargeur, ni à s'écouler dans une trémie. Ce matériau est à considérer comme une simple roche vitrifiée.

##### 4.4 - Type de liant bitumineux et dosage en liant

Ici également, on n'observe aucune particularité et cet enrobé s'utilise aussi bien avec un bitume pur qu'avec un bitume modifié par les fibres ou un bitume polymère.

Par contre, pour tenir compte des particularités adhésives du verre et de ses surfaces particulièrement lisses, le liant est systématiquement dopé. Quelques essais de laboratoire ont rapidement permis de sélectionner les quelques dopes d'adhésivité particulièrement efficaces. Sur le plan dosage en liant, on est conduit à tenir compte que le verre miroir présente, d'une part des surfaces totalement planes et souvent parallèles, donc à surface spécifique réduite, d'autre part une porosité strictement nulle.

#### 4.5 - Type de formule granulométrique

De nombreux essais sur plaque ont permis de montrer que l'effet lumineux obtenu s'accommodait mieux des formules compactes dans lesquelles les particules de verre sont bien incrustées que des formules ouvertes.

En outre, avec des formules très poreuses du type des enrobés drainants, une partie de l'effet lumineux est perdu pour des raisons géométriques évidentes.

On retient donc une formule grenue ou semi-grenue, mais en version très mince ou mince (2 à 4 cm d'épaisseur), là aussi pour des raisons évidentes d'efficacité puisque toute particule de miroir n'ayant pas accès à la surface de l'enrobé est totalement perdue pour l'effet recherché. On choisit une formule de granularité fine ou moyenne 0/10, 0/6 ou même 0/4, car la vocation de ce type d'enrobé n'est pas l'application sur des itinéraires à grande vitesse.

L'exemple ci-après présente les résultats obtenus entre une formule d'enrobé classique 0/10 et sa version scintillante.

CARACTERISTIQUES	Enrobé scintillant	Enrobé témoin
Granulat	Microdiorite	
Granularité	0/10	
Formulation :		
6/10 Microdiorite (%)	37	39
2/6 Microdiorite (%)		22
2/6 Miroir (%)	25	
0/2 Microdiorite (%)	37	38
Fines calcaires (%)	1	1
Bitume 35/50 (ppc)	5,5	5,8
Dope particulier		
Répartition granulométrique :		
Passant à 10 mm (%)	96	96
Passant à 6 mm (%)	65	64
Passant à 4 mm (%)	48	51
Passant à 2 mm (mm)	38	38
Passant à 0,08 mm (%)	8	8
MVR (t/m <sup>3</sup> )	2,59	2,63
Essai de compactage à la PCG (NF P 98-252)		
Pente	3,5	3,7
Vides à 10 girations (%)	15,5	16,1
Vides à 25 girations (%)	12,0	12,4
Vides à 200 girations (%)	5,2	5,1
Essai DURIEZ (NF P 18-251-1)		
Vides hydrostatiques (%)	8,8	8,3
R 18°C (MPa)	10,4	10,4
r après Im.18°C (MPa)	8,7	9,2
Rapport r/R	0,83	0,88
Essai de durabilité de la rugosité géométrique des BBTM (NF P 98-253-1)		
HSv en mm avant essai	0,65	0,56
Hsv en mm après essai	0,62	0,50
Durabilité de la rugosité géométrique	1,0	0,9

#### 4.6 - Méthodes de fabrication et de mise en oeuvre

La fabrication de l'enrobé est adaptée à tous les types de postes d'enrobage. La fraction particulière de miroir 2/6 est dosable en trémie comme toute fraction 2/6 de matériau naturel.

La mise en oeuvre s'effectue avec un matériel classique. Sur le plan du compactage, si l'on veut faire apparaître très tôt les particules réfléchissantes, l'emploi du compacteur à pneus avec dispositif d'arrosage est particulièrement conseillé car il provoque un premier décapage du verre, favorable à cette apparition.

### 5. - LES REALISATIONS

La technique, très originale dans son aspect final, a été brevetée en 1997 et depuis cette date une dizaine de chantiers a été réalisée, le plus souvent à titre d'essai pour une application nouvelle ou un site d'un nouveau type. De la rue étroite en ville au pays du Champagne, au grand boulevard à Toulouse, en passant par la corniche éminemment touristique de Biarritz ou au parking d'Hermanville-sur-Mer, tout le panel des possibilités de valoriser la lumière sur les voies circulées, s'agrandit jour après jour et les quelques photographies ci-après le montrent.

Le site en parking (Photo N° 1) illustre parfaitement ce qui sépare un enrobé classique (mat à gauche sur les emplacements de stationnement) de l'enrobé scintillant qui, ici, brille sur la route de mille feux sous le soleil.

La vue prise dans la ville rose (Photo N° 2) montre l'éclat particulier de cet enrobé la nuit, sous les phares des véhicules qui allument au sol un nuage « d'étoiles filantes ».

Dans un site aussi prestigieux que cette corniche à Biarritz (Photo N° 3), entre le casino et le rocher de la Vierge, le revêtement ajoute au féérique du site. A remarquer, au premier plan, les points lumineux vert et rouge des enseignes lumineuses qui se reflètent partiellement au sol, sous la forme « d'étincelles » colorées.

### 6. - LES APPLICATIONS POSSIBLES

Les domaines d'emploi visés concernent les sites particuliers pour lesquels on recherche une fonction utile aux scintillements observés, soit avec le soleil, soit avec l'éclairage public, soit avec les phares des véhicules.

L'objectif général est de différencier visuellement les zones de celles en enrobés traditionnels. Ceci peut concerner différents usages :

- les voies urbaines que l'on veut mettre en valeur : les places, les abords des monuments historiques ou les bâtiments et ponts prestigieux,
- les trottoirs ou zones piétonnes,
- les revêtements de tunnels,
- les zones où l'on veut attirer l'attention de l'automobiliste (carrefours, giratoires, bordures des zones en virages, etc...),
- les voies réservées à certains usagers ou à certains véhicules (pistes cyclables, tramways, bus) et qui se remarquent par une visibilité et un balisage très différents,
- les routes des villes à forte vocation touristique (corniches, bords de mer, allées de châteaux, etc...).

En l'absence de soleil, les particules de miroir renvoient la lumière blanche de la voûte céleste et se comportent alors comme des granulats parfaitement blancs (Photo N° 4). On exploite alors l'éclaircissement global de la surface et l'esthétique de l'enrobé, la présence de particules blanches contrastant agréablement avec les granulats naturels.

Il y a encore très probablement bien d'autres applications à trouver, car, vous l'aurez remarqué ..., c'est un enrobé qui fait réfléchir ...

## **7. - CARACTERISTIQUES EN PLACE**

Sur le plan adhérence, mesurée par le coefficient de frottement longitudinal ainsi que la hauteur au sable vraie, on peut remarquer que le niveau obtenu est classique pour l'enrobé semi-grenu utilisé.

En d'autres termes, le verre incorporé à faible taux, n'ajoute rien à l'adhérence, mais n'enlève rien non plus.

	Vitesse (km/h)	
	40	60
Valeur moyenne du CFL	0,47	0,35
Hauteur au sable - Moyenne (mm)	0,6	

## **8. – L'EMPLOI DE VERRE COLORE : L'ALLIANCE DE LA LUMIERE ET DE LA COULEUR**

La version couleur de cet enrobé existe également puisque les verres colorés existent, souvent issus de produits de luxe comme les flacons de parfum. Cette variante, plus récente dans ses applications, apporte sur la route quelques couleurs vives inconnues dans les roches naturelles, sauf à faire appel aux pierres dites précieuses, exclues de notre industrie pour des raisons évidentes.

La photo N° 5 montre une palette des couleurs possibles, du blanc au turquoise en passant par le beige sable, le gris souris ou le vert tendre.

Il y a peu de particularités dans la fabrication et l'on peut voir, sur la photo N° 6, un exemple de réalisation sur trottoir dans la ville de Château-Thierry, chère à notre célèbre La Fontaine ... et dont il aurait probablement fait une fable s'il était de notre époque.

Ici, l'alliance heureuse réside :

- d'une part dans l'arrivée de couleurs très vives, parfois crues pour des applications très particulières,
- d'autre part dans la pérennité absolue de cette couleur et dans son caractère totalement non salissant car le verre, vitrifié par définition, n'est pas sensible aux taches et ne s'imprègne pas d'impuretés, solides ou liquides.

Pour le moment, les réalisations, y compris en enrobé coulé à froid, se développent.

## **9. - CONCLUSION**

La technique ici présentée est une nouvelle touche apportée aux innovations dans l'industrie de la route et à l'exploration de nouveaux domaines ou de nouvelles propriétés.

Des couches très minces, puis ultraminces, en passant par les enrobés antibruit puis aux routes composites armées de nouveaux matériaux métalliques ou plastiques, etc ... à toute cette palette il manquait l'exploration des sciences de l'optique et de l'esthétique.

Avec l'exploitation de la lumière au sol dans les domaines de la sécurité routière, de l'esthétique et de la curiosité, on entre dans un nouveau concept de « route-lumière » et bientôt nous l'espérons de « ville-lumière » toutes proportions gardées bien évidemment.

Puisse cet article contribuer à réconcilier tous nos concitoyens avec LA ROUTE considérée si souvent comme sombre et triste et contribuer ainsi à leur faire partager notre passion pour ce métier.

### **RESUME**

Le présent article expose un nouveau type d'enrobé à propriétés photométriques particulières et consistant à faire apparaître des scintillements au sol issus de particules de miroir concassé mélangées dans l'enrobé.

L'auteur expose les propriétés routières de cet enrobé qui sont très classiques et s'attarde sur le côté esthétique qui crée au sol une animation lumineuse originale.

La technique, protégée par un brevet, est destinée à singulariser des surfaces particulières dans un but soit de sécurité routière (tunnels, voies réservées, ...), soit d'esthétique générale et de mise en valeur de sites prestigieux ou touristiques (châteaux, ponts, monuments, etc.).

## VOIRIE URBAINE

# Scintiflex : lumières et scintillements sur la route

Pierre BENSE

▼  
**Pierre BENSE**  
directeur du laboratoire  
central  
SCREG

**Le présent article expose un nouveau type d'enrobé à propriétés photométriques particulières et consistant à faire apparaître des scintillements au sol issus de particules de miroir concassé mélangées dans l'enrobé.**

**L'auteur expose les propriétés routières de cet enrobé qui sont très classiques et s'attarde sur le côté esthétique qui crée au sol une animation lumineuse originale.**

**La technique, baptisée Scintiflex et protégée par un brevet, est destinée à singulariser des surfaces particulières dans un but soit de sécurité routière (tunnels, voies réservées...), soit d'esthétique générale et de mise en valeur de sites prestigieux ou touristiques (châteaux, ponts, monuments...).**



Photo SCREG

Photo 1  
Site en parking  
*Parking site*

## A b s t r a c t

### Scintiflex: lights and flickering on the road

This article reviews a new type of bituminous mix with special photometric properties designed to produce surface flickering coming from crushed mirror particles incorporated in the mix.

The author describes the road properties of this mix, which are quite conventional, and notes the aesthetic effect created on the pavement surface by this original luminous process.

The technique, christened Scintiflex and protected by a patent, is designed to singularise special surfaces either for road safety purpose (tunnels, right-of-way lanes, etc.) or for their general aesthetic enhancement as in the case of prestigious or tourist sites (castles, bridges, monuments, etc.).

## Introduction

En une cinquantaine d'années, les ingénieurs routiers ont mis toute leur science et leur enthousiasme à apporter aux routes françaises ce que l'on peut appeler les besoins essentiels.

Quel que soit le pays, le patrimoine routier suit toujours le même cycle d'évolution :

- d'abord la route en terre, donc à poussière;
- puis la route empierrée avec enduit, donc

revêtue, et par conséquent sans poussière, mais le trafic reste modeste et l'uni médiocre;

- ensuite la route recouverte d'enrobé pour améliorer un peu le confort;
- enfin la route à grande circulation ou l'autoroute possédant confort, uni, adhérence. Mais aujourd'hui apparaît la route « sophistiquée » pour laquelle les améliorations portent sur d'autres éléments, d'autres besoins (recherche de la route « silencieuse », changement des couleurs, route intelligente, etc.). Bien entendu cette sophistication reste attachée aux pays avancés, riches et à une population ayant de plus en plus le goût d'un grand confort voire d'un certain luxe.

Bien d'autres formes de sophistication sont possibles et SCREG présente aujourd'hui comment exploiter les différentes formes de lumière : la lumière ambiante, l'éclat du soleil, les éclairages artificiels, celui des phares, etc., dans le domaine de la route.

## L'option technique choisie

Dès que l'on parle de photométrie, on pense couleur soit du granulat, soit du liant, soit du cumul des deux. S'il existe aussi une version teintée du Scintiflex que l'on exposera plus loin, ici la technique choisie a été celle de l'exploitation aussi intense que possible de la lumière existante, quelle qu'elle soit. On a donc pensé à exploiter les pro-

priétés optiques du miroir sous forme de points lumineux.

L'étude préliminaire a été menée en coopération avec la société Saint-Gobain (ancienne manufacture royale des glaces de Louis XIV).

## Etude de l'enrobé

### Choix des paramètres d'étude

La première partie de l'étude a consisté à étudier de manière approfondie les paramètres de base de ce nouvel enrobé :

- en premier lieu, l'étude de la taille des particules à effet optique (0/2, 2/6, 3/8, 6/10);
- en deuxième lieu, le dosage à préconiser, compte tenu des effets recherchés; on a ainsi étudié un taux compris entre 10 et 40 %;
- en troisième lieu, l'étude des propriétés mécaniques de ce type d'enrobé selon les particularités du miroir (problème d'adhésivité sur la matière en elle-même et de frottement interne en raison du caractère lisse et poli du verre);
- en quatrième lieu, la correction des défauts éventuellement identifiés.

### Choix des tests

On ne détaillera pas ici les tests classiques de la technique routière (PCG, ornièreur,

essai Duriez, etc.), car ils sont trop connus. Par contre, dès que l'on incorpore des morceaux de miroir concassés dans un enrobé et une fois la surface décapée, ce qui s'effectue rapidement après quelques jours d'exposition aux éléments climatiques (soleil, vent, pluie), on retrouve les propriétés optiques connues du miroir et de la source lumineuse; l'observateur voit ou non le rayon réfléchi selon sa propre position.

Devant un grand nombre de petits éléments de miroirs disposés au sol et dont la position angulaire est aléatoire, pour une position donnée de l'observateur et de la source, quelques éléments s'illuminent et frappent l'œil.

Dès lors que l'observateur se déplace, ces quelques points lumineux s'éteignent et d'autres points, auparavant éteints, s'allument. En d'autres termes, dès que quelque chose se déplace, soit la source lumineuse (phare, par exemple), soit le plus souvent l'observateur (piéton qui marche, cycliste ou automobiliste qui circule) ce dernier voit à chaque instant des points s'allumer au sol et d'autres s'éteindre. L'effet, très agréablement surprenant, est une sorte de crépitement d'étoiles, car c'est bien de scintillements dont il s'agit. L'impression d'animation du sol est réelle et on pourrait penser qu'il vit. C'est pourquoi il est apparu judicieux d'appeler cet enrobé Scintiflex.

Pour que l'effet de scintillement soit pleinement opérationnel, il faut que l'un des acteurs, soit la source lumineuse, soit l'observateur se déplace. On a donc deux grands cas de figure :

a) La source lumineuse est fixe et c'est le cas soit du soleil, soit des éclairages publics. Si l'observateur est lui aussi fixe, il voit quelques points lumineux au sol et c'est tout. Si l'observateur se déplace, il voit une succession de points différents s'allumer, puis s'éteindre, et le sol « s'animer ».

b) La source lumineuse est mobile et c'est le cas courant des phares de véhicules. Que l'observateur soit fixe (une personne assise qui regarde passer les véhicules) ou mobile (un piéton qui marche sur le trottoir ou le conducteur du véhicule), l'effet de « crépitement d'étoiles » au sol est extrêmement net. C'est alors la vitesse de déplacement de la source lumineuse qui fixe la vitesse d'apparition des scintillements et donc l'intensité de l'animation.

C'est pourquoi un des meilleurs domaines d'application de la route en Scintiflex est la voie bordée de terrasses et largement fréquentée par les piétons qui flânent : l'effet de crépitement d'étoiles du sol, sorte de feu d'artifice permanent, y est très spectaculaire.

Les villes touristiques devraient ici trouver de quoi rendre la route plus attirante et moins monotone pour le grand public.

Pour illustrer cet effet et en donner des valeurs chiffrées, plusieurs études ont été engagées, mais l'effet est ponctuel à un instant donné et donc le résultat instantané



**Photo 2**  
Rue de Toulouse avec chaussée en enrobé Scintiflex  
*Scintiflex-pave street in Toulouse*

fourni par les appareils, en matière d'augmentation mesurée de la lumière, est toujours décevant. La meilleure méthode consisterait à éclairer la surface de Scintiflex par une demi-sphère lumineuse et à recueillir, pour une position donnée d'observateur, celle du piéton, du cycliste ou de l'automobiliste, le potentiel lumineux cumulé, pour une ou toutes les intensités lumineuses incidentes possibles (lumière naturelle, soleil, phares, candélabres, etc.).

C'est un travail qui n'a pas été actuellement engagé, pour la simple raison qu'on ne voit pas bien à quoi il correspond dans la réalité des événements quotidiens.

Sur un plan plus pratique, on pourrait illustrer l'effet instantané par le nombre de points lumineux visibles pour un observateur et une source donnés, ce qui implique de disposer d'un très grand nombre de points potentiels. En d'autres termes, il faut déjà avoir réalisé un chantier de plusieurs centaines de mètres carrés et ce n'est pas du tout une méthode de laboratoire.

Faute de méthode appropriée, on ne fournira donc pas, dans le présent article, de mesures relevant de la science optique... mais les études se poursuivent sur le sujet.

### Les caractéristiques de laboratoire

#### Choix de la granularité

Les études préliminaires concernant la taille des particules de miroir ont rapidement montré :

- qu'en dessous de 2 mm de dimension, l'effet optique est masqué et ne présente qu'un piètre intérêt et surtout un très mauvais rapport qualité/prix;
- qu'au-dessus de 8 mm, on a l'impression que la surface de la route manque d'homogénéité car la distribution de ces grands morceaux est trop aléatoire. En outre, le verre-miroir, généralement peu épais, se casse en flexion et risque de périr en petits débris. ►

Caractéristiques	Scintiflex	Référence
Granulat	Microdiorite	
Granulat	0/10	
Formulation		
6/10 Microdiorite (%)	50	50
2/6 Microdiorite (%)		25
2/6 Miroir (%)	25	
0/2 Microdiorite (%)	21	21
Fines calcaires (%)	4	4
Bitume 35/50 (ppc)	5,6	5,8
Dope particulier	0,5 %/bitume	
Répartition granulométrique		
Passant à 10 mm (%)	91	91
Passant à 6 mm (%)	52	52
Passant à 4 mm (%)	41	37
Passant à 2 mm (mm)	24	25
Passant à 0,08 mm (%)	7,9	8,3
MVR (t/m <sup>3</sup> )	2,58	2,63
Essai de compactage à la PCG (NF P 98-252)		
Pente	3,51	3,54
Vide à 10 girations (%)	17,9	19,0
Vide à 25 girations (%)	14,5	15,7
Vide à 200 girations (%)	7,7	8,8
Essai Duriez (NF P 18-251-1)		
Vides hydrostatiques (%)	7,2	7,5
R 18°C (MPa)	9,8	9,6
r après Im.18°C (MPa)	7,9	8,7
Rapport r/R	0,8	0,9
Essai d'orniérage (NF P 98-253-1)		
Ornière à 3000 cycles (mm)	3,3	2,6
HSv en mm avant essai	0,7	0,9
HSv en mm après essai	0,8	0,7
Durabilité de la rugosité géométrique	1,1	0,8

**Tableau 1**  
**Table 1**

On a donc retenu la coupure granulométrique soit 2/6, soit 3/8, cette dernière étant la plus efficace.

### Etude du dosage en particules réfléchissantes

Du point de vue taux d'emploi, l'effet est très faible à 10 % mais apparaît suffisant

entre 20 et 30 %. On a donc retenu, dans les cas courants, cette plage de dosage, mais, pour autant, il n'y a aucune discontinuité, ni minimum requis, et donc tout est question des effets recherchés qui peuvent être plus ou moins intenses en fonction de l'objectif poursuivi.

C'est donc toute « une palette de lumière » qui est possible.



**Photo 3**  
**Enrobé Scintiflex près du Casino à Biarritz**  
**Scintiflex pavement near the Biarritz Casino**

### Méthode d'introduction et de stockage

Après quelques tâtonnements préalables, le 3/8 miroir se dose désormais comme tout granulat de roche naturelle et il n'y a aucune particularité propre au dosage, au stockage ou à l'écoulement du matériau. Il ne craint ni la pluie, ni le soleil et ne présente aucune difficulté à être repris au chargeur, ni à s'écouler dans une trémie. Ce matériau est à considérer comme une simple roche vitrifiée.

### Type de liant bitumineux et dosage en liant

Ici également, on n'observe aucune particularité, et l'enrobé Scintiflex s'utilise aussi bien avec un bitume pur qu'avec un bitume modifié par les fibres ou un bitume polymère. Par contre, pour tenir compte des particularités adhésives du verre et de ses surfaces particulièrement lisses, le liant est systématiquement dopé. Quelques essais de laboratoire ont rapidement permis de sélectionner les quelques dopes d'adhésivité particulièrement efficaces. Sur le plan dosage en liant, on est conduit à tenir compte que le verre miroir présente d'une part des surfaces totalement planes et souvent parallèles, donc à surface spécifique réduite, d'autre part une porosité strictement nulle.

### Type de formule granulométrique

De nombreux essais sur plaque ont permis de montrer que l'effet lumineux obtenu s'accommodait mieux des formules compactes dans lesquelles les particules de verre sont bien incrustées que des formules ouvertes.

En outre, avec des formules très poreuses du type des enrobés drainants, une partie de l'effet lumineux est perdu pour des raisons géométriques évidentes.

On retient donc une formule grenue ou semi-grenue, mais en version très mince ou mince (2 à 4 cm d'épaisseur), là aussi pour des raisons évidentes d'efficacité puisque toute particule de miroir n'ayant pas accès à la surface de l'enrobé est totalement perdue pour l'effet recherché. On choisit une formule de granularité fine ou moyenne 0/10, 0/6 ou même 0/4, car la vocation de ce type d'enrobé n'est pas l'application sur des itinéraires à grande vitesse.

Le tableau 1 présente les résultats obtenus entre une formule d'enrobé classique 0/10 et sa version Scintiflex.

### Méthodes de fabrication et de mise en œuvre

La fabrication de l'enrobé Scintiflex s'adapte à tous les types de postes d'enrobage. La fraction particulière de miroir 3/8 est dosable en trémie comme toute fraction de matériau naturel.

La mise en oeuvre de l'enrobé Scintiflex s'effectue avec un matériel classique. Sur le plan du compactage, si l'on veut faire apparaître très tôt les particules réfléchissantes, l'emploi du compacteur à pneus avec dispositif d'arrosage est particulièrement conseillé car il provoque un premier décapage du verre, favorable à cette apparition.

### Les réalisations

La technique, très originale dans son aspect final, a été brevetée en 1997 et depuis une dizaine de chantiers a été réalisée, le plus souvent à titre d'essai pour une application nouvelle ou un site d'un type nouveau. De l'étroite rue en ville, au pays du champagne, au grand boulevard à Toulouse, en passant par la corniche touristique de Biarritz ou au parking d'Hermanville-sur-Mer, tout le panel des possibilités de valoriser la lumière sur les voies circulées, s'agrandit jour après jour.

Le site en parking (photo 1) illustre parfaitement ce qui sépare un enrobé classique (mat à gauche sur les emplacements de stationnement) du Scintiflex.

La vue prise à Toulouse (photo 2) montre l'éclat particulier du Scintiflex la nuit, sous les phares des véhicules qui allument au sol un nuage « d'étoiles filantes ».

Dans un site aussi prestigieux que cette corniche à Biarritz (photo 3), entre le casino et le rocher de la Vierge, l'enrobé Scintiflex ajoute au féérique du site. A remarquer, au premier plan, les points lumineux vert et rouge des enseignes qui se reflètent partiellement au sol, sous la forme « d'étincelles » colorées.

### Les applications possibles

Les domaines d'emploi visés concernent les sites particuliers pour lesquels on recherche une fonction utile aux scintillements observés, soit avec le soleil, soit avec l'éclairage public, soit avec les phares des véhicules. L'objectif général est de différencier visuellement les zones en Scintiflex des zones en enrobés traditionnels. Ceci peut concerner différents usages :

- les voies urbaines que l'on veut mettre en valeur : les places, les abords des monuments historiques ou les bâtiments et ponts prestigieux;
- les trottoirs ou zones piétonnes;
- les revêtements de tunnels;
- les zones où l'on veut attirer l'attention de l'automobiliste (carrefours, giratoires, bordures des zones en virages, etc.);
- les voies réservées à certains usagers ou à certains véhicules (pistes cyclables, tramways, bus) et qui se remarquent par une visibilité et un balisage très différents;
- les routes des villes à forte vocation touristique (corniches, bords de mer, allées de châteaux, etc.).

En l'absence de soleil, les particules de miroir renvoient la lumière blanche de la

	Vitesse (km/h)	
	40	60
Valeur moyenne du CFL	0,47	0,35
Hauteur au sable vraie - Moyenne (mm)	0,6	

**Tableau 2**  
*Table 2*

voûte celeste et se comportent alors comme des granulats parfaitement blancs (photo 4). On exploite alors l'éclaircissement global de la surface et l'esthétique de l'enrobé, la présence de particules blanches contrastant agréablement avec les granulats naturels.



**Photo 4**  
**En l'absence de Soleil, les particules de miroir deviennent des granulats blancs**  
*In the absence of sunshine, the mirror particles become white aggregates*

### Caractéristiques en place

Sur le plan de l'adhérence, mesurée par le coefficient de frottement longitudinal ainsi que la hauteur au sable vraie, on peut remarquer que le niveau obtenu est classique pour l'enrobé semi-grenu utilisé.

En d'autres termes, le verre incorporé à faible taux, n'ajoute rien à l'adhérence, mais n'enlève rien non plus (tableau 2).

### Scintiflex Color : l'alliance de la lumière et de la couleur

La version couleur du Scintiflex existe également puisque des verres colorés sont proposés, souvent issus de produits de luxe comme les flacons de parfum. Cette variante, plus récente dans ses applications, apporte sur la route quelques couleurs vives inconnues dans les roches naturelles, sauf à faire appel aux pierres dites précieuses... La photo 5 montre une palette des couleurs proposées.



**Photo 5**  
**Palette de couleurs proposée pour Scintiflex Color**  
*Palette of colours proposed for Scintiflex Color*

sibles, du blanc au turquoise en passant par le beige sable, le gris souris ou le vert tendre. Comme pour le Scintiflex, il y a peu de particularités dans la fabrication et l'on voit sur la photo 6 une réalisation sur trottoir dans la ville de Château-Thierry, chère à La Fontaine et dont il aurait probablement écrit une fable... s'il était de notre époque.

Ici, l'alliance heureuse réside :

- d'une part dans l'arrivée de couleurs très vives, parfois crues pour des applications très particulières;
- d'autre part dans la pérennité absolue de cette couleur et dans son caractère totalement non salissant car le verre, vitrifié par définition, n'est pas sensible aux taches et ne s'imprègne pas d'impuretés, solides ou liquides.

Pour le moment, les réalisations, y compris en enrobé coulé à froid, se développent.



**Photo 6**  
**Un trottoir bleu à Château-Thierry**  
*A blue footpath at Château-Thierry*

### Conclusion

La technique ici présentée est une nouvelle touche apportée par l'entreprise SCREG aux innovations dans l'industrie de la route et à l'exploration de récents domaines ou de propriétés récentes.

Des couches très minces, puis ultraminces, en passant par les enrobés antibruit puis aux routes composites armés de nouveaux matériaux métalliques ou plastiques, etc., à toute cette palette il manquait l'exploration des sciences de l'optique et de l'esthétique.

Avec Scintiflex, n'y a-t-il pas à nouveau une réflexion d'avance ?

Avec l'exploitation de la lumière au sol dans les domaines de la sécurité routière, de l'esthétique et de la curiosité, on entre dans un nouveau concept de « route lumière » et bientôt nous l'espérons de « ville lumière » toutes proportions gardées bien évidemment. Puisse cet article contribuer à réconcilier tous nos concitoyens avec LA ROUTE considérée si souvent comme sombre et triste et contribuer ainsi à leur faire partager notre passion pour ce métier. ■

**ENROBES SCINTILLANTS :**  
**UN MOYEN DE RENDRE LA VOIRIE PLUS ATTRAYANTE**

Jean-Pierre SERFASS - Pierre BENSE  
SCREG

Au cours des dernières années, les revêtements routiers ont considérablement évolué. Ils se sont à la fois diversifiés et améliorés. Toutes les exigences fonctionnelles peuvent maintenant être satisfaites, qu'il s'agisse de la capacité portante, de l'adhérence, de la drainabilité, du confort de roulement et de l'acoustique.

Il reste un domaine dans lequel on peut encore beaucoup progresser : c'est celui de l'aspect visuel et de l'esthétique. Ces propriétés sont maintenant prises en compte dans nombre d'opérations d'aménagement. Ainsi, les revêtements colorés, qui apportent une note de gaieté, sont devenus fréquents dans la dernière décennie. Ces revêtements ne sont d'ailleurs pas au bout de leur évolution.

Un autre moyen d'embellir un revêtement est de jouer sur la lumière et sa réflexion. C'est l'objet de la présente communication.

**1. - CONCEPT – PRINCIPES ET PARTICULARITES DE FORMULATION**

1.1 - Concept

Le concept essentiel consiste à incorporer dans le mélange bitumineux des particules de verre-miroir, qui réfléchissent la ou les lumière(s) incidente(s).

L'idée d'inclure des fragments de verre dans un enrobé n'est pas nouvelle ; SCREG utilise cette technique (sous la marque COMPOLUX) depuis des années. Le verre employé alors est du verre ordinaire, typiquement des « cassons » de bouteilles, nettoyés et criblés, ou encore des fragments de pare-brise. Ceci produit un effet esthétique indéniable, mais le contraste entre les granulats naturels et les particules de verre est assez peu marqué et l'on n'obtient pas de véritable phénomène de réflexion lumineuse. Le verre-miroir donne un tout autre effet.

La technique a été baptisée SCINTIFLEX et brevetée.

1.2 - Principes et particularités de formulation

♦ Type de béton bitumineux

Tout d'abord, l'objectif d'esthétique ne concernant que la surface, le béton bitumineux est appliqué en couche mince (3 - 4 cm) ou très mince (2 - 3 cm). Les formulations retenues en découlent.

♦ Granularité des particules de verre

Les études comparatives concernant la taille des fragments de miroir ont conduit à retenir la fraction 2 - 8 mm.

♦ Dosage en particules réfléchissantes

L'observation de la surface montre qu'il faut un minimum de 20% de verre pour que l'effet visuel soit sensible. Il est tout à fait possible de monter nettement plus haut, selon le but visé. Le taux de verre ne doit toutefois pas dépasser une certaine limite, en raison des risques de déformation permanente et, surtout, de la baisse de l'adhérence. Cette limite supérieure dépend beaucoup des conditions locales (tracé, vitesse de trafic, etc.).

♦ Formule granulométrique

Divers essais sur plaques ont conduit à retenir des formules compactes, dans lesquelles les particules de verre sont bien enchâssées et l'eau ne pénètre pas.

A l'inverse, dans des formules ouvertes, les fragments de miroir sont moins bien fixés, plus sollicités mécaniquement et, en outre, moins efficaces optiquement.

Les compositions choisies sont donc grenues ou semi-grenues, en version « mince » ou « très mince » (2 à 4 cm).

La dimension maximale des granulats peut aller de 10 à 4 mm (on ne recherche pas une macrotecture élevée, car ce type d'enrobé n'est pas destiné à des sections à circulation très rapide).

♦ Type de liant et dosage

En règle générale, on retient le type de liant (bitume pur ou modifié) et d'additif éventuel (fibres, asphaltite, etc.) que l'on choisirait pour un enrobé ne contenant pas de verre, placé dans les mêmes conditions.

Pour les zones à fortes sollicitations tangentielles (carrefours, par exemple), les enrobés fibrés conviennent tout particulièrement, car ils sont riches en mastic, d'où un bon enchâssement des particules de verre.

Par ailleurs, pour éviter tout plumage du verre, dont les parois sont lisses et l'adhésivité critique, le dopage du liant bitumineux est systématique.

## 2. - CARACTERISTIQUES MECANIQUES

Le tableau ci-après fait le parallèle entre une formulation 0/10 en microdiorite et une formulation d'enrobé scintillant 0/10 en microdiorite contenant 25% de verre-miroir. Ces deux mélanges sont formulés pour une application en couche mince.

CARACTERISTIQUES	Enrobé scintillant	Enrobé témoin
Granulat	Microdiorite	
Granularité	0/10	
Formulation :		
6/10 Microdiorite (%)	37	39
2/6 Microdiorite (%)		22
2/6 Miroir (%)	25	
0/2 Microdiorite (%)	37	38
Fines calcaires (%)	1	1
Bitume 35/50 (ppc)	5,5	5,8
Dope particulier	oui	non
Répartition granulométrique :		
Passant à 10 mm (%)	96	96
Passant à 6 mm (%)	65	64
Passant à 4 mm (%)	48	51
Passant à 2 mm (mm)	38	38
Passant à 0,08 mm (%)	8	8
MVR (t/m <sup>3</sup> )	2,59	2,63
Essai de compactage à la PCG (NF P 98-252)		
Pente	3,5	3,7
Vides à 10 girations (%)	15,5	16,1
Vides à 25 girations (%)	12,0	12,4
Vides à 200 girations (%)	5,2	5,1
Essai DURIEZ (NF P 18-251-1)		
Vides hydrostatiques (%)	8,8	8,3
R 18°C (MPa)	10,4	10,4
r après Im.18°C (MPa)	8,7	9,2
Rapport r/R	0,83	0,88
Essai de durabilité de la rugosité géométrique des BBTM (NF P 98-253-1)		
HSv en mm avant essai	0,65	0,56
HSv en mm après essai	0,62	0,50
Durabilité de la rugosité géométrique	1,0	0,9

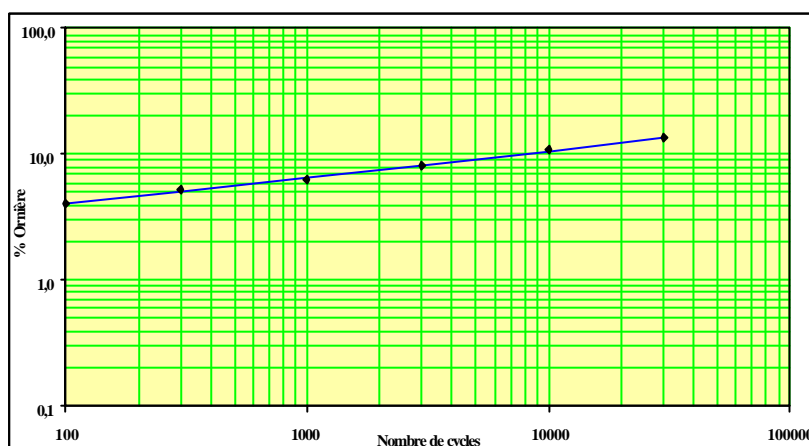
L'analyse des résultats met en évidence :

- la quasi-identité des courbes de densification à la Presse à Cisaillement Giratoire,
- la bonne tenue à l'immersion du mélange contenant du verre ( $r/R = 0,83$ ),
- la durabilité de la rugosité géométrique des deux enrobés, avec et sans verre.

Par ailleurs, l'étude de diverses formulations a inclus l'essai à l'orniéreur, dont voici un exemple de résultats :

- Formulation 0/10, de type BBM C
  - 75% de quartzite (Carayon)
  - 25% de verre-miroir
  - Bitume 35/50 dopé

La figure 1 illustre son comportement à l'orniéreur.



Les résultats obtenus :

- 10,9% à 10 000 cycles
- 13,3% à 30 000 cycles

montrent que la Classe 2 (ornière maximale de 15% à 10 000 cycles est largement atteinte. Compte tenu des niveaux de trafic auxquels les enrobés scintillants sont normalement soumis, cette résistance est amplement suffisante.

### **3. - PROPRIETES PHOTOMETRIQUES**

#### **3.1 - Recherche de la composition optimale**

Pour la sélection du type de verre, de la coupure granulométrique et de son dosage, nous nous sommes appuyés sur des mesures d'éclairement au luxmètre, avec faisceau laser sous incidence rasante. Ces mesures ont été complétées par des analyses d'image, avec caméra CCD et éclairage sous incidence normale ou rasante.

### 3.2 - Caractérisation du produit optimisé

La caractérisation photométrique du produit optimisé a été effectuée par Saint-Gobain Recherche, dans le cadre du partenariat avec SCREG sur le sujet.

Les objectifs des essais étaient d'obtenir différentes images et de les traiter pour déterminer :

- la densité des particules de verre par unité de surface et l'histogramme de leur répartition selon leur taille,
- leur répartition en deux catégories : horizontales d'une part, inclinées autour de 10 degrés d'autre part

Le brut global est de quantifier le rendu esthétique du revêtement SCINTIFLEX et la perception qu'en ont un automobiliste et un piéton.

Pour avoir la meilleure représentativité possible, les images ont été prises sur un revêtement circulé depuis plusieurs mois.

#### ♦ Synthèse des résultats

Après diverses opérations d'enregistrement et de traitement des images, en intégrant l'ensemble des résultats, la surface du Scintiflex peut être caractérisée ainsi (en nombre de particules par m<sup>2</sup>) :

- Globalement ~ **500 particules réfléchissantes/m<sup>2</sup>** :

Particules	~ 0°	~ 10°
0 – 3 mm	158	113
3 – 6 mm	158	38
6 – 10 mm	35	0
<b>Total</b>	<b>350</b>	<b>150</b>

- Plus finement :

Particules	0°	5°	10°	> 10°
0 – 3 mm	90	68	68	45
3 – 6 mm	90	68	22	15
6 – 10 mm	20	15	0	0
<b>Total</b>	<b>200</b>	<b>150</b>	<b>90</b>	<b>60</b>

#### **4. - DOMAINES D'EMPLOI**

Les domaines d'emploi visés concernent les sites particuliers pour lesquels on recherche une fonction utile aux scintillements observés, soit avec le soleil, soit avec l'éclairage public, soit avec les phares des véhicules.

L'objectif général est de différencier visuellement les zones de celles en enrobés traditionnels. Ceci peut concerner différents usages :

- les voies urbaines que l'on veut mettre en valeur : les places, les abords des monuments historiques ou les bâtiments et ponts prestigieux,
- les trottoirs ou zones piétonnes,
- les revêtements de tunnels,
- les zones où l'on veut attirer l'attention de l'automobiliste (carrefours, giratoires, bordures des zones en virages, etc...),
- les voies réservées à certains usagers ou à certains véhicules (pistes cyclables, tramways, bus) et qui se remarquent par une visibilité et un balisage très différents,
- les routes des villes à forte vocation touristique (corniches, bords de mer, allées de châteaux, etc...).

#### **5. - FABRICATION ET MISE EN ŒUVRE**

La fabrication de l'enrobé SCINTIFLEX est classique et tous les types de postes d'enrobage sont aptes à le fabriquer. La fraction particulière de miroir est dosée en trémie.

Toutes les règles de l'art habituelles applicables aux enrobés traditionnels s'appliquent aux enrobés SCINTIFLEX (propreté du support, couche d'accrochage bien dosée, etc.).

La pose de l'enrobé SCINTIFLEX s'effectue de manière classique, mais sur le plan du compactage, **l'emploi du compacteur à pneus avec dispositif d'arrosage est conseillé** car il provoque un premier décapage du verre, qui fait apparaître rapidement une partie des particules réfléchissantes.

Le compacteur lisse est préconisé lorsqu'il est impossible d'utiliser le compacteur à pneus (cas des trottoirs).

En cas d'utilisation de compacteur lisse, le recours à la vibration est déconseillé, car il risque de briser les particules de verre de surface.

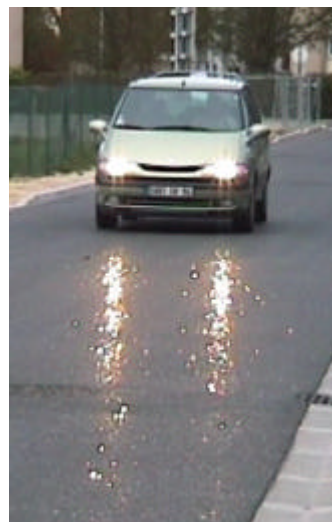
## 6. - APERCU SUR QUELQUES REALISATIONS – CARACTERISTIQUES EN PLACE

A fin 2000, une vingtaine de chantiers de SCINTIFLEX avaient été réalisés. Toutes les réalisations sont situées en zone urbanisée, parfois dans une grande ville (Toulouse, Nantes, Bordeaux, Saint-Etienne), parfois dans un lieu de villégiature (Biarritz, Uriage, Hermanville-sur-Mer, ...).

Les photos 1 à 5 illustrent quelques-uns de ces chantiers.



A gauche : Scintiflex  
A droite : Enrobé normal



Revêtement Scintiflex



Vue de jour  
Scintiflex - Boulevard Atlanta  
à Toulouse



Vue de nuit  
Scintiflex à Biarritz



Mise en œuvre de Scintiflex

Il convient toutefois de signaler que l'effet de scintillement s'observe surtout en dynamique. En effet, lorsque soit la source lumineuse (feux d'un véhicule), soit l'observateur, se déplace, le revêtement donne un effet de « crépitement » lumineux remarquable. Les particules de verre réfléchissent tour à tour les rayons incidents, qu'ils soient naturels (soleil) ou artificiels (candélabres, enseignes, feux de véhicules, etc.).

## **CONCLUSION**

Dans son état actuel, la technique de l'enrobé scintillant contribue à égayer la voirie urbaine ou touristique, en apportant à la fois de la lumière et un effet dynamique.

Elle peut se combiner à la couleur, provenant de granulats naturels choisis, de pigment associé à un liant clair ou de l'inclusion de verre coloré. Cette dernière variante correspond à la version SCINTIFLEX COLOR, qui est développée parallèlement.

*Remerciements* : Les auteurs tiennent à remercier A. PRAT et P. GAYOUT, de Saint-Gobain Recherche, pour leur précieux travail sur l'évaluation photométrique d'enrobés scintillants.

## **BIBLIOGRAPHIE**

- Scintiflex : lumières et scintillements sur la route - P. Bense - Revue Générale des Routes et des Aéroports - N° 778 - novembre 1999
- Enrobés modifiés par incorporation de verre - Propriétés visuelles et photométriques - P. Bense, J.P. Serfass - Surf 2000 - 4<sup>ème</sup> Symposium International AIPCR - 22-24 mai 2000 - Nantes
- Enrobés scintillants pour zones urbaines et de loisirs - P. Bense - Eurobitume - 20 - 22 Septembre 2000 - Barcelone

## DOSSIER EN VILLE

# Enrobés scintillants : pour mieux voir la route

**Jean-Pierre SERFASS**

Directeur technique et développement  
Screg

**Pierre BENSE**

Directeur du laboratoire central  
Screg



Screg

L'article décrit un nouveau type de béton bitumineux qui présente la particularité de contenir des particules de miroir concassé.

Dans une première partie, les grandes lignes de la formulation de ces enrobés sont exposées. Outre les aspects classiques de granulométrie et de teneur en liant, on aborde les caractéristiques des éléments réfléchissants qui font la particularité de ces enrobés – matière première, taille, dosage, conditionnement, etc.

Vient ensuite un chapitre consacré aux caractéristiques photométriques mesurées en laboratoire, dans le centre de recherche d'un industriel du verre.

On donne ensuite les principales propriétés mécaniques de ces enrobés, telles que l'on peut les appréhender en laboratoire routier.

Globalement, les enrobés de ce type, appelés Scintiflex, visent à singulariser des zones particulières dans un but, soit de sécurité routière, soit d'esthétique générale, avec mise en valeur de sites prestigieux ou touristiques. Les domaines d'emploi sont variés :

- > voies et zones urbaines que l'on veut mettre en valeur ;
- > voies de villes à forte vocation touristique : bords de mer, accès à des monuments ou bâtiments prestigieux ;
- > trottoirs, zones piétonnes ;
- > revêtements de tunnel ;
- > zones où l'on veut avertir l'utilisateur : carrefours, giratoires, etc. ;
- > voies réservées (transports en commun, par exemple) ;
- > pistes dédiées (cyclables, par exemple).

Outre ses qualités d'esthétique et de sécurité, cette technique contribue au recyclage de sous-produits de l'industrie du verre.

Les revêtements routiers se sont à la fois diversifiés et améliorés au cours des deux dernières décennies.

Toutes les exigences fonctionnelles peuvent maintenant être satisfaites, qu'il s'agisse de la capacité portante, de l'adhérence, de la drainabilité, du confort de roulement et de l'acoustique.

Il reste un domaine dans lequel on peut encore beaucoup progresser : c'est celui de l'aspect visuel et de l'esthétique. Ces propriétés sont maintenant prises en compte dans nombre d'opérations d'aménagement. Ainsi, les revêtements colorés, qui apportent une note de gaieté, sont devenus fréquents dans la dernière décennie. Ces revêtements ne sont d'ailleurs pas au bout de leur évolution. Un autre moyen d'embellir un revêtement est de jouer sur la lumière et sa réflexion.

### ► Concept – Principes et particularités de formulation

#### Concept

Le concept essentiel consiste à incorporer dans le mélange bitumineux des particules de verre-miroir, qui réfléchissent la ou les lumière(s) incidente(s). L'idée d'inclure des fragments de verre dans un enrobé n'est pas nouvelle ; Screg utilise cette technique (sous la marque Compulux) depuis des années. Le verre employé alors est du verre ordinaire, typiquement des « cassons » de bouteilles, nettoyés et criblés, ou encore des fragments de pare-brise. Ceci produit un effet esthétique indéniable, mais le contraste entre les granulats naturels et les particules de verre est assez peu marqué et l'on n'obtient pas de véritable phénomène de réflexion

lumineuse. Le verre-miroir donne un tout autre effet.

La technique a été baptisée Scintiflex et est brevetée.

#### Principes et particularités de formulation

##### >> Type de béton bitumineux

Tout d'abord, l'objectif d'esthétique ne concernant que la surface, le béton bitumineux est appliqué en couche mince (3 – 4 cm) ou très mince (2 – 3 cm). Les formulations retenues en découlent.

##### >> Granularité des particules de verre

Les études comparatives concernant la taille des fragments de miroir conduisent à retenir la fraction 2 – 8 mm.

##### >> Dosage en particules réfléchissantes

L'observation de la surface montre qu'il faut un minimum de 20 % de verre

#### ► Abstract

#### Glittering asphalt: a better look of roads

The paper describes a novel type of asphalt concrete, that has the peculiarity of containing crushed mirror particles. In the first part, the main features of these mixes formulas are presented.

Beyond the classical aspects of granulometry and binder content, emphasis is put on the characteristics of the reflecting particles : raw material, size, content, packaging...

The next chapter deals with the mix photometric characteristics, as measured in the laboratory of the research center of a glass-manufacturing industrial firm.

The principal mechanical properties of the glass-containing mixes are then exposed, as they can be measured in the road-materials laboratory.

Globally, the mixes of this type, called SCINTIFLEX, have been designed to identify and enhance peculiar zones, either for road safety or for general aesthetics of remarkable sites. The fields of application are varied :

- > urban ways and areas to be valorized,
- > ways in tourism-oriented cities : sea-sides, access to or surrounding of monuments or prestigious buildings,
- > sidewalks, pedestrian zones,
- > wearing courses in tunnels,
- > warning zones, near to junctions, roundabouts...
- > reserved lanes (for mass transportation vehicles, for example),
- > dedicated tracks (for bicycles, for example)

In addition to its qualities in terms of aesthetics and safety, this technique contributes to the recycling of glass refuses.

pour que l'effet visuel soit sensible. Il est tout à fait possible de monter nettement plus haut, selon le but visé. Le taux de verre ne doit toutefois pas dépasser une certaine limite, en raison des risques de déformation permanente et, surtout, de la baisse de l'adhérence. Cette limite supérieure dépend beaucoup des conditions locales (tracé, vitesse de trafic, etc.).

#### >> Formule granulométrique

Divers essais sur plaques ont conduit à retenir des formules compactes, dans lesquelles les particules de verre sont bien enchâssées et l'eau ne pénètre pas.

A l'inverse, dans des formules ouvertes, les fragments de miroir sont moins bien fixés, plus sollicités mécaniquement et, en outre, moins efficaces optiquement.

Les compositions choisies sont donc grenues ou semi-grenues, en version « mince » ou « très mince » (2 à 4 cm). La dimension maximale des granulats peut aller de 10 à 4 mm (on ne recherche pas une macrotexture élevée, car ce type d'enrobé n'est pas destiné à des sections à circulation très rapide).

#### >> Type de liant et dosage

En règle générale, on retient le type de liant (bitume pur ou modifié) et d'additif éventuel (fibres, asphaltite...) que l'on choisirait pour un enrobé ne contenant pas de verre, placé dans les mêmes conditions. Pour les zones à fortes sollicitations tangentielles (carrefours, par exemple), les enrobés fibrés conviennent tout particulièrement, car ils sont riches en mastic, d'où un bon enchâssement des particules de verre.

Par ailleurs, pour éviter tout plumage du verre, dont les parois sont lisses et l'adhésivité critique, le dopage du liant bitumineux est systématique.

#### ▶ Caractéristiques mécaniques

Le tableau 1 fait le parallèle entre une formulation 0/10 en microdiorite et une formulation d'enrobé scintillant 0/10 en microdiorite contenant 25 % de verre-miroir. Ces deux mélanges sont formulés pour une application en couche mince. L'analyse des résultats met en évidence :

- > la quasi-identité des courbes de densification à la presse à cisaillement giratoire ;
- > la bonne tenue à l'immersion du mélange contenant du verre ( $r/R = 0,83$ ) ;
- > la durabilité de la rugosité géométrique des deux enrobés, avec et sans verre.

Par ailleurs, l'étude de diverses formulations a inclut l'essai à l'orniéreur, dont voici un exemple de résultats :

> Formulation 0/10, de type BBMC :

>> 75 % de quartzite (Carayon) ;

>> 25 % de verre-miroir ;

>> bitume 35/50 dopé.

La figure 1 illustre son comportement à l'orniéreur.

Les résultats obtenus :

> 10,9 % à 10 000 cycles,

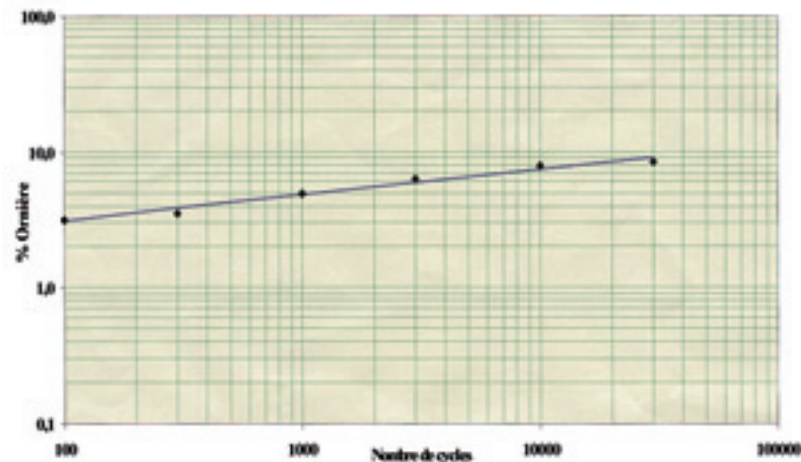
> 13,3 % à 30 000 cycles,

montrent que la classe 2 (ornière maximale de 15 % à 10 000 cycles) est largement atteinte. Compte tenu des niveaux de trafic auxquels les enrobés scintillants sont normalement soumis, cette résistance est amplement suffisante.

#### ▶ Propriétés photométriques

#### Recherche de la composition optimale

Pour la sélection du type de verre, de la coupure granulométrique et de son dosage, nous nous sommes appuyés sur des mesures d'éclairement



▲ Figure 1  
Scintiflex, essai à l'orniéreur

▲ Scintiflex, trials with rutting system

au luxmètre, avec faisceau laser sous incidence rasante. Ces mesures ont été complétées par des analyses d'image, avec caméra CCD et éclairage sous incidence normale ou rasante.

Caractéristiques	Enrobé scintillant	Enrobé témoin
Granulat	Microdiorite	
Granularité	0/10	
Formulation		
6/10 microdiorite (%)	37	39
2/6 microdiorite (%)		22
2/6 miroir (%)	25	
0/2 microdiorite (%)	37	38
Fines calcaires (%)	1	1
Bitume 35/50 (ppc)	5,5	5,8
Dope particulier	oui	non
Répartition granulométrique		
Passant à 10 mm (%)	96	96
Passant à 6 mm (%)	65	64
Passant à 4 mm (%)	48	51
Passant à 2 mm (mm)	38	38
Passant à 0,08 mm (%)	8	8
MVR (t/m <sup>3</sup> )	2,59	2,63
Essai de compactage à la PCG (NF P 98-252)		
Pente	3,5	3,7
Vides à 10 girations (%)	15,5	16,1
Vides à 25 girations (%)	12,0	12,4
Vides à 200 girations (%)	5,2	5,1
Essai Duriez (NF P 18-251-1)		
Vides hydrostatiques (%)	8,8	8,3
R 18° C (MPa)	10,4	10,4
r après Im.18° C (MPa)	8,7	9,2
Rapport r/R	0,83	0,88
Essai de durabilité de la rugosité géométrique des BBTM (NF P 98-253-1)		
HSv en mm avant essai	0,65	0,56
HSv en mm après essai	0,62	0,50
Durabilité de la rugosité géométrique	1,0	0,9

◀ Tableau 1

◀ Table 1



## Enrobés scintillants : pour mieux voir la route

### ● ● ● Caractérisation du produit optimisé

La caractérisation photométrique du produit optimisé a été effectuée par Saint-Gobain Recherche, dans le cadre du partenariat établi avec Screg sur le sujet.

#### > Objectifs

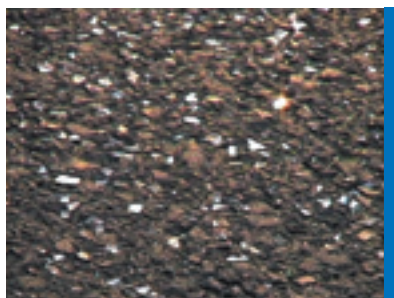
Les objectifs des essais étaient d'obtenir différentes images et de les traiter pour déterminer :

- > la densité des particules de verre par unité de surface et l'histogramme de leur répartition selon leur taille;
- > leur répartition en deux catégories : horizontales d'une part, inclinées autour de 10 degrés d'autre part.

Le but global est de quantifier le rendu esthétique du revêtement Scintiflex et la perception qu'en ont un automobiliste et un piéton.

#### >> Prises d'images

Pour avoir la meilleure représentativité possible, les images ont été prises sur un revêtement circulé depuis plusieurs mois (figure 2).



▲ Figure 2  
Revêtement Scintiflex âgé de 6 mois environ

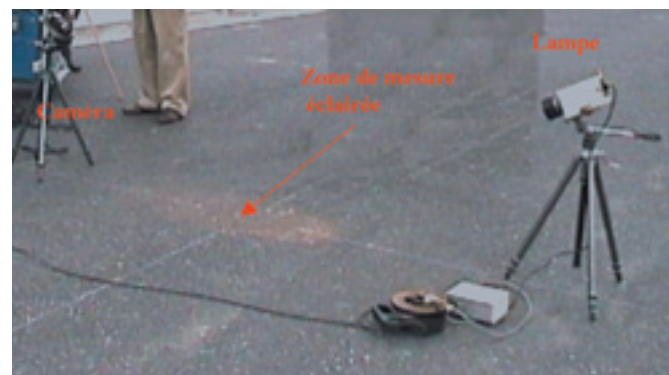
▲ Scintiflex pavement about 6 months old

Les essais ont eu lieu en fin de journée par temps couvert et sec. Les mesures ont concerné une zone carrée de 50 centimètres de côté, en utilisant les propriétés de réflexion spéculaire des particules de miroir.

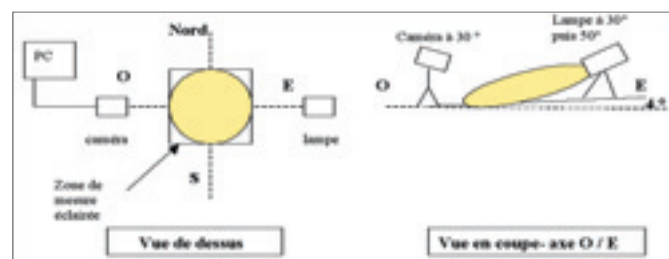
La zone était éclairée par une lampe halogène, inclinée à 30, puis à 50 degrés par rapport à l'horizontale et filmée par une caméra CCD connectée à un PC (figures 3, 4 et 5).

La caméra a été placée successivement aux quatre points cardinaux, face à la lampe.

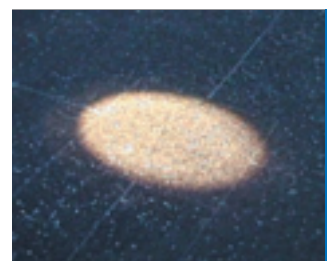
Quand la caméra et la lampe sont toutes les deux inclinées à 30°, on visualise la réflexion spéculaire sur les particules horizontales. Quand la lampe est inclinée



◀ Figure 3



◀ Figure 4



◀ Figure 5

▲ Figures 3, 4, 5  
Caméra CCD et zone observée  
◀ CCD camera and observed zone

à 50°, ce sont les particules inclinées à 10° par rapport à l'horizontale qui sont perçues.

Par ailleurs, des vues ont été prises au caméscope numérique, pour illustrer ce qu'un piéton voit de la réflexion des phares.

#### > Traitement des images

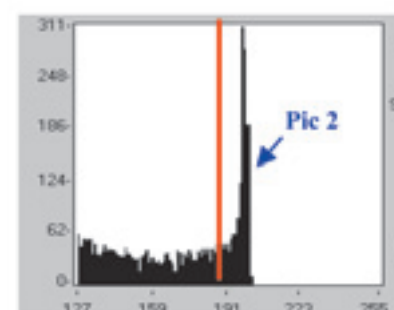
Les images enregistrées ont été traitées avec le logiciel Optimas.

#### >> Calibrage

La première étape a consisté à calibrer les images, c'est-à-dire à mesurer, pour chaque type de prise de vue, le champ filmé. Pour ceci, on a tenu compte de la géométrie du dispositif et, pour chaque position de censure, enregistré des images comportant des objets de dimensions connues.

#### >> Résolution et champ de vision de la caméra

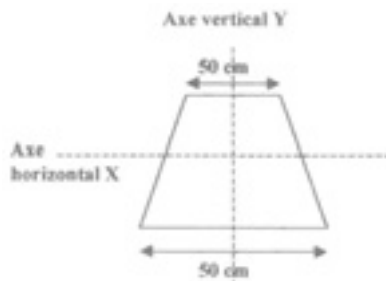
Les valeurs données ci-dessous sont des valeurs moyennes correspondant



▲ Figure 6  
Zoom sur le pic de droite

▲ Zoom on right peak

à des mesures faites sur les axes X et Y au centre des images. L'effet de perspective (figure 6) est important sur ces prises de vue. Par exemple, une particule située au premier plan (en bas des images) apparaîtra plus grande qu'une particule de dimensions identiques mais située plus loin de la caméra (en haute des images). De même, cet effet de perspective induit une différence de résolution entre l'horizontale et la verticale.



> **Résultats**

Bien que la surface des zones de mesures ait été assez réduite (de l'ordre de 0,15 m<sup>2</sup>), tous les résultats sont exprimés en nombre de particules par mètre carré.

> **Image en réflexion diffuse. Comptage des particules**

On compte environ 530 particules par mètre carré, plus de 95 % d'entre elles ont un diamètre compris entre 2 et 8 mm (des particules calculées avec un diamètre supérieur à 8 mm correspondent souvent

Pour les calculs et les traitements, les valeurs moyennes de résolution en X et Y ont été prises en compte (tableau 2).

Dispositif	Horizontale (X)		Verticale (Y)	
	Résolution	Champ	Résolution	Champ
Position 1	0,675	519	1,06	606
Position 30°	0,48	366	0,76	435
Position 50°	0,46	353	0,72	452

▲ Tableau 2

▲ Table 2

La résolution du système de mesure est donnée en millimètres par pixel (mm/pixel). Le champ vu est exprimé en millimètres.

La position 1 correspond à l'emplacement de la caméra utilisée pour filmer l'ensemble de la zone 50 x 50 cm et compter l'ensemble des particules.

>> **Amélioration des images**

Les images ont été transformées via une Look Up Table (LUT) afin d'identifier visuellement les particules. Un filtrage médian permet d'éliminer le « bruit » sur l'image. Une opération d'ouverture (érosion-dilatation) supprime les particules lumineuses très petites autres que les éléments de verre.

>> **Exploitation des images**

Les histogrammes bruts (nombre de pixels en fonction du niveau de gris) révèlent deux pics. Le premier, très marqué, correspond au bitume (très sombre). Le second, beaucoup moins marqué, représente les particules de verre réfléchissant la lumière. Les particules qui la diffusent sont bien moins lumineuses et sont numérisées avec des niveaux de gris intermédiaires.

En travaillant sur ces deuxièmes pics, on arrive à compter les particules et à les classer en fonction de leur taille. On utilise pour cela la notion de diamètre équivalent, en assimilant la particule à un disque de même surface.

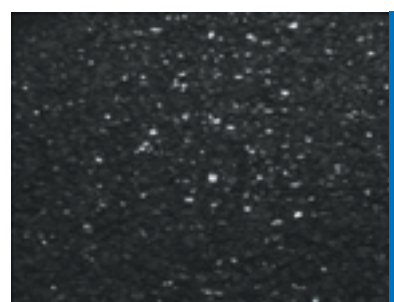
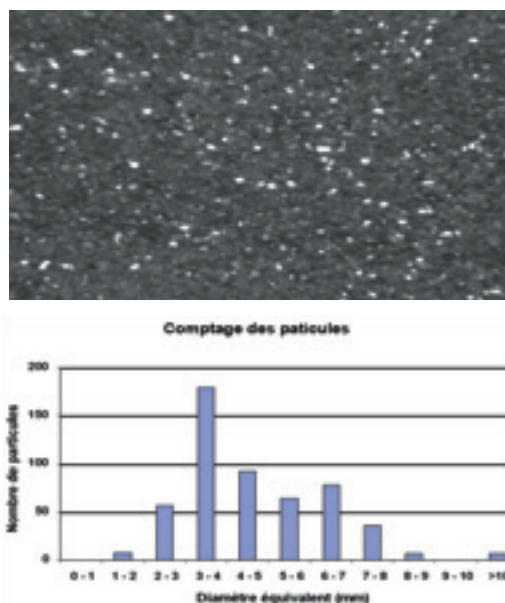
à deux particules accolées de plus faible taille), (figure 7).

Diamètre	Nb particules
0 – 1	0
1 – 2	7
2 – 3	57
3 – 4	179
4 – 5	93
5 – 6	64
6 – 7	79
7 – 8	36
8 – 9	14
9 – 10	0
> 10	7
<b>Total</b>	<b>529</b>

▲ Figure 7

Comptage et distribution des particules

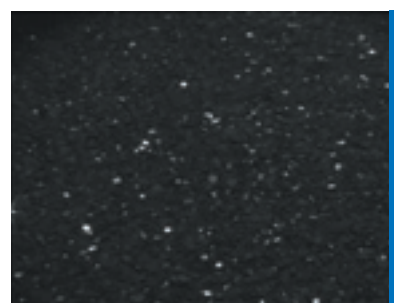
▲ Particle counting and distribution



◀ Lampe inclinée à 30° – particules horizontales

◀ Lamp inclined 30° – horizontal particles

pour compter séparément les particules proches de l'horizontale et celles inclinées de 10°.



◀ Lampe inclinée à 50° – particules à 10°

◀ Lamp inclined 50° – particles at 10°

Après diverses corrections, justifiées en particulier par la pente est-ouest descendante de 4° de la zone

>> **Orientation partielle**

La lumière étant réfléchi par les particules avec le même angle que l'angle d'incidence des rayons lumineux à leur surface, il suffit de faire varier l'inclinaison de la lampe (30° et 50°) sans changer celui de la caméra (30°)

de revêtement auscultée, les résultats principaux sont :

>> **Particules classées en trois catégories :**

- > Petites : 0 – 3 mm ;
- > Moyennes : 3 – 6 mm ;



## Enrobés scintillants : pour mieux voir la route



Particules	Est 30°	Est 50°	Ouest 30°	Ouest 50°	Sud 30°	Sud 50°
Petites	48	50	43	77	57	78
Moyennes	40	39	49	19	38	21
Grandes	11	9	6	0	5	0

▲ Tableau 3

► **Table 3**

> Grandes : 6 – 10 mm.  
Les résultats sont donnés pour 100 particules (tableau 3).

Dans tous les cas les particules plus inclinées sont de plus petite taille que les particules faiblement inclinées. Ceci correspond bien au fait que les particules inclinées sont plus sensibles à l'érosion (due au passage des voitures) que les particules horizontales et aussi que les éléments plus gros se mettent plus volontiers à l'horizontale lors de l'application.

Le tableau 4 donne une répartition grossière de la taille des particules en fonction de l'inclinaison.

Particules	0/5°	10/10°
Petites	45	75
Moyennes	45	25
Grandes	10	0

▲ Tableau 4

► **Table 4**

### >> Synthèse des résultats

Après diverses opérations d'enregistrement et de traitement des images, intégrant l'ensemble des résultats précédents, la surface du Scintiflex peut être caractérisée ainsi (en nombre de particules par mètre carré):

► Tableau 5

► **Table 5**

Particules	~ 0°	~ 10°
0 – 3 mm	158	113
3 – 6 mm	158	38
6 – 10 mm	35	0
Total	350	150

► Tableau 6

► **Table 6**

Particules	0°	5°	10°	> 10°
0 – 3 mm	90	68	68	45
3 – 6 mm	90	68	22	15
6 – 10 mm	20	15	0	0
Total	200	150	90	60

> Globalement ~ 500 particules réfléchissantes/mètre carré (tableau 5);  
> Plus finement (tableau 6):

### ► Domaines d'emploi

Les domaines d'emploi visés concernent les sites particuliers pour lesquels on recherche une fonction utile aux scintillements observés,

soit avec le soleil, soit avec l'éclairage public, soit avec les phares des véhicules. L'objectif général est de différencier visuellement les zones de celles en enrobés traditionnels.

Ceci peut concerner différents usages :

- > les voies urbaines que l'on veut mettre en valeur : les places, les abords des monuments historiques ou les bâtiments et ponts prestigieux;
- > les trottoirs ou zones piétonnes;
- > les revêtements de tunnels;
- > les zones où l'on veut attirer l'attention de l'automobiliste (carrefours, giratoires, bordures des zones en virage...);
- > les voies réservées à certains usagers ou à certains véhicules (pistes cyclables, tramways, bus) et qui se remarquent



Sereg

par une visibilité et un balisage très différents ;  
 > les routes des villes à forte vocation touristique (corniches, bords de mer, allées de châteaux...).

### ▶ Fabrication et mise en œuvre

La fabrication de l'enrobé Scintiflex est classique et tous les types de postes d'enrobage sont aptes à le fabriquer. La fraction particulière de miroir est dosée en trémie.

Toutes les règles de l'art habituelles applicables aux enrobés traditionnels s'appliquent aux enrobés Scintiflex (propreté du support, couche d'accrochage bien dosée, etc.).

La pose de l'enrobé Scintiflex s'effectue de manière classique, mais sur le plan du compactage, le compacteur à pneus avec dispositif d'arrosage est conseillé car il provoque un premier décapage du verre, qui fait apparaître rapidement une partie des particules réfléchissantes.

Le compacteur lisse est préconisé lorsqu'il est impossible d'utiliser le compacteur à pneus (cas des trottoirs).

En cas d'utilisation de compacteur lisse, le recours à la vibration est déconseillé, car il risque de briser les particules de verre de surface.

### ▶ Aperçu sur quelques réalisations – Caractéristiques en place

A la fin 2000, une vingtaine de chantiers Scintiflex ont été réalisés. Toutes les réalisations sont situées en zone urbanisée, parfois dans une grande ville (Toulouse, Nantes, Bordeaux, Saint-Etienne), parfois dans un lieu de villégiature (Biarritz, Uriage, Hermanville-sur-Mer...). Les photos illustrent quelques-uns de ces chantiers.

Il convient toutefois de signaler que l'effet de scintillement s'observe surtout en dynamique. En effet, lorsque soit la source lumineuse (feux d'un véhicule), soit l'observateur, se déplace, le revêtement donne un effet de « crépitement » lumineux remarquable. Les particules de verre réfléchissent tour à tour les rayons incidents, qu'ils soient naturels (soleil) ou artificiels (candélabres, enseignes, feux de véhicules, etc.).



### ▶ Conclusion

Dans son état actuel, la technique de l'enrobé scintillant contribue à égayer la voirie urbaine ou touristique, en apportant à la fois de la lumière et un effet dynamique.

Elle peut se combiner à la couleur, provenant de granulats naturels choisis, de pigment associé à un liant clair ou de l'inclusion de verre coloré. Cette dernière variante correspond à la version Scintiflex Color, qui est développée parallèlement ●

### Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier A. PRAT et P. GAYOUT, de Saint-Gobain Recherche, pour leur précieux travail sur l'évaluation photométrique d'enrobés scintillants.

### Bibliographie

- [1] P. BENSE, « Scintiflex : lumières et scintillements sur la route », RGRA n° 778, novembre 1999
- [2] P. BENSE, J.-P. SERFASS, Enrobés modifiés par incorporation de verre - Propriétés visuelles et photométriques, Surf 2000, IV<sup>e</sup> symposium international AIPCR, 22-24 mai 2000, Nantes
- [3] P. BENSE, Enrobés scintillants pour zones urbaines et de loisirs, Eurobitume, 20-22 septembre 2000, Barcelone

