

## **Chaussées bitumineuses claires et éclaircies**

### **Note de synthèse**



Le plus souvent la couche de surface d'une chaussée de tunnel est en béton bitumineux très sombre (chaussée dite noire), mais il est possible "d'éclaircir" ce type de revêtement avec un liant et/ou des granulats plus clairs. Le coût de fourniture/mise en oeuvre de la chaussée est alors plus élevé, mais les performances photométriques sont améliorées ce qui permet d'économiser sur l'énergie consommée par l'installation d'éclairage.

Le travail effectué a donc eu pour objectif de caractériser les chaussées claires et éclaircies en tunnel et d'apprécier leur intérêt économique par rapport à des chaussées traditionnelles en béton bitumineux.

Les chaussées en béton, de mise en oeuvre plus délicate en tunnel, ne sont pas abordées dans l'étude effectuée. Toutefois, elles présentent, d'un point de vue photométrique, des caractéristiques très proches de certaines chaussées claires. La démarche retenue pour apprécier l'intérêt des chaussées claires et éclaircies de type bitumineux pourra être utilisée pour caractériser l'intérêt d'une chaussée béton, mais il conviendra de conduire une analyse intégrant l'ensemble de la chaussée (de la couche de fondation à la couche de surface).

### **1 But de l'éclairage en tunnel**

Le but principal d'une installation d'éclairage est de permettre au conducteur de percevoir en temps utile un éventuel obstacle situé sur la chaussée, en assurant un contraste suffisant entre les luminances<sup>1</sup> respectives de l'obstacle et de la chaussée. Ces luminances dépendent de l'éclairage installé, mais aussi de la clarté de la chaussée.

### **2 Rôle de la chaussée dans l'éclairage d'un tunnel**

La chaussée joue un rôle important dans la visibilité de la route. Elle occupe une grande part du champ visuel du conducteur et constitue le principal fond sur lequel se détache un éventuel obstacle.

Le revêtement de chaussée se comporte comme un réflecteur qui renvoie vers le conducteur une part plus ou moins importante de la lumière qu'il reçoit. En optique il y a deux types de réflexion lumineuse :

- spéculaire (dans une direction privilégiée) ;
- diffuse orthotrope (dans tout l'espace).

En réalité, les revêtements de chaussée renvoient la lumière des deux façons à la fois : elle est réfléchie dans toutes les directions de l'espace, mais avec une direction privilégiée. C'est un mode de réflexion mixte.

---

<sup>1</sup> Luminance : Intensité lumineuse émise par une surface (Candelas/m<sup>2</sup>) Cf Dossier pilote des tunnels 4.2 (CETU)



La CIE<sup>2</sup> a décrit le comportement photométrique des revêtements de chaussée. De façon simplifiée, celui-ci peut être caractérisé par deux paramètres :

- le coefficient de luminance moyenne  $Q_0$ , qui rend compte de la clarté de la surface (il augmente proportionnellement au pourcentage de la lumière reçue qui est réémise) ;
- le coefficient de spécularité  $S_1$ , qui caractérise l'aptitude du revêtement à renvoyer la lumière dans une direction privilégiée (il augmente d'autant plus que le revêtement a tendance à se comporter comme un miroir).

Ces paramètres sont indépendants ; il est possible d'avoir une surface très spéculaire ( $S_1$  élevé) et très sombre ( $Q_0$  faible), par exemple une peinture laquée noire, ou inversement une surface peu spéculaire ( $S_1$  faible) et très claire ( $Q_0$  élevé) comme dans le cas d'une peinture blanche mate

Pour les besoins d'un projet d'éclairage, on assimile souvent la chaussée à une surface parfaitement diffusante. En utilisant la loi de Lambert généralisée, qui permet de passer de la luminance moyenne de chaussée à l'éclairement moyen que doit fournir l'installation d'éclairage, on peut écrire  $E = \pi/c * L$

La clarté réellement perçue par l'automobiliste sous son angle de vision s'exprime alors par le rapport  $c = \pi * L/E$ , où  $L$  est la luminance moyenne de la chaussée vue par l'automobiliste et  $E$  l'éclairement moyen reçue par celle-ci.

Ce rapport simple, appelé **coefficient de clarté**, résume les interactions complexes entre les caractéristiques photométriques de chaussée et celles des luminaires contribuant à l'éclairage de celle-ci. Plus la clarté d'un revêtement est importante, plus la proportion de lumière renvoyée est grande par rapport à la lumière absorbée. Une chaussée standard en béton bitumineux (granulats et liant sombres ; chaussée de type R2 dans la classification CIE) possède un coefficient de clarté de 0,18.

En considérant que la chaussée est homogène dans sa longueur, tout comme l'est l'installation d'éclairage (répartition régulière des luminaires) il est admis que ce rapport  $c$  est constant pour une chaussée et un type d'éclairage donné. Il peut donc prendre des valeurs différentes pour une même chaussée sous un autre type d'éclairage (symétrique ou contre-flux).

### 3 Chaussées claires et éclaircies

#### 3.1 Définitions

##### **Chaussées claires**

Ce sont des enrobés bitumineux réalisés avec un liant synthétique clair et des granulats blancs. De telles chaussées peuvent présenter un coefficient de clarté particulièrement élevé à la mise en service.

##### **Chaussées éclaircies**

Les revêtements éclaircis sont constitués d'un bitume noir classique et de granulats clairs. Ceux-ci ne s'éclaircissent toutefois qu'après disparition du film superficiel de liant soit par action du trafic au fil du temps soit par décapage lors de la mise en oeuvre.

---

<sup>2</sup> Commission Internationale de l'Eclairage

### 3.2 Coefficients de clarté

#### Chaussées claires

Les coefficients de clarté sont compris dans une plage qui va de 0,24 à 0,30 et parfois plus (jusqu'à 0,40) pour certains enrobés à la mise en service.

#### Chaussées éclaircies

Les coefficients de clarté des chaussées éclaircies se situent entre 0,18 et 0,22.

### 3.3 Pérennité des performances

#### Chaussées claires

Sous l'effet de la circulation, ces chaussées ont tendance à devenir progressivement de moins en moins claires. Cependant, au vu des mesures effectuées ces dernières années sur les quelques tunnels équipés de chaussées claires, il semble que la clarté d'une chaussée claire se stabilise sous l'effet du trafic.

En tunnel, quelle que soit l'importance du trafic, le revêtement finit toujours par se salir sous les effets des gaz d'échappement, de la pollution plus importante qu'à l'extérieur et de l'absence de lavage par la pluie. En particulier, si les gravillons restent relativement propres, le liant se noircit considérablement. Toutefois, l'usager, avec un angle de vision compris entre 0,5 et 1,5°, aperçoit essentiellement les faces claires des gravillons, le liant étant quasiment invisible. De ce fait la chaussée lui paraît toujours claire.

Ce phénomène de persistance de clarté de chaussée perçue par l'automobiliste n'est possible que si :

- la macrotexture est relativement importante : le liant noirci demeure invisible ;
- le trafic est suffisant pour nettoyer les granulats.

Les données du tableau ci-après illustrent l'évolution du coefficient de clarté dans différents ouvrages "souterrains".

OUVRAGES	Coefficients de clarté			
	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4
Paravalanche du petit Bornand	0,38	0,27 à 0,31	0,29 à 0,31	0,29 à 0,31
Tunnel du Châtelard	0,55	0,29	0,31 à 0,33	-
Paravalanche de la Pendant	0,50	0,50	0,41	0,36
Tunnel de las Planas	0,31 à 0,33	-	-	0,31 à 0,33
Tunnel de Cap de Croix (A8)	-	-	-	0,31
Tunnel de la Baume	0,30	-	-	0,29 à 0,36

Pour résumer, l'enrobé clair neuf perd de la clarté à cause de la salissure apportée par le trafic, tout en restant durablement plus clair que n'importe quel autre type de revêtement, grâce à la blancheur de ses granulats.



### **Chaussées éclaircies**

En tunnel, l'évolution de la clarté d'une chaussée éclaircie "non décapée à la mise en oeuvre" est l'inverse de celle d'un enrobé clair. En effet, le revêtement d'abord très noir, s'éclaircit au fur et à mesure que les granulats se découvrent sous l'action du trafic, pour atteindre une teinte claire durable.

## **3.4 Réparabilité**

### **Chaussées claires**

D'un point de vue général, la réparabilité des bétons bitumineux à chaud n'est pas très bonne, surtout lorsqu'il s'agit de très petites surfaces. Ces difficultés se trouvent amplifiées lorsque ces produits sont des enrobés clairs.

En effet, il est pratiquement impossible de faire coïncider la teinte de la réparation avec celle de l'ancien enrobé qui l'entoure. Néanmoins, l'évolution de la teinte, observée avec les enrobés clairs, peut atténuer ce problème. Il a été ainsi constaté qu'après une période d'un à deux ans, la zone réparée avec le même enrobé clair présente une teinte très proche de celle de l'ancien revêtement avoisinant.

### **Chaussées éclaircies**

De même que pour les enrobés clairs, une réparation récente d'enrobé éclairci est visible. La différence disparaît peu à peu au bout de quelques mois sous l'action du décapage dû au trafic.

## **4 Évaluation de l'intérêt des chaussées claires et éclaircies**

### **4.1 Cadre de l'évaluation**

Pour obtenir un niveau de luminance donné en tunnel, une chaussée claire (ou éclaircie) requiert des niveaux d'éclairement moindres que ceux nécessaires avec une chaussée "classique" noire. Cela conduit à installer une puissance électrique moindre, donc moins d'appareils d'éclairage<sup>3</sup>. A ce gain en investissement vient s'ajouter un gain en exploitation : la puissance installée est plus faible donc, pour des conditions de fonctionnement identiques, la consommation d'énergie sera plus faible.

Ces gains sont toutefois à comparer au surcoût lié à la mise en oeuvre d'un tel type de revêtement car une chaussée claire (ou éclaircie) coûte plus chère qu'une chaussée classique.

Il convient donc d'évaluer l'intérêt économique des chaussées claires et éclaircies, à qualités routières comparables, par rapport à des chaussées traditionnelles sur une durée égale à la durée de vie de l'installation d'éclairage (20 ans).

---

<sup>3</sup> Lorsque les niveaux à obtenir sont faibles, en section courante notamment, le respect des uniformités peut conduire à avoir un nombre d'appareils sensiblement identiques ; la puissance unitaire des sources retenues avec une chaussée claire ou éclaircie reste toutefois plus faible.



## 4.2 Travail effectué

Un groupe de travail constitué entre le LCPC<sup>4</sup>, le CETU et deux fabricants de luminaires<sup>5</sup> pour tunnel a donc réalisé des calculs pour comparer les coûts de fourniture et pose de différents types de chaussée en tunnel (couche de roulement) ajoutés à ceux de l'installation d'éclairage mis en œuvre et de son entretien sur une période de 20 ans.

Ensuite, pour chaque solution, le coût d'investissement (installation d'éclairage et chaussée) et le coût de fonctionnement (consommation et entretien) actualisé sur 20 ans, ont été calculés. En ajoutant le coût d'investissement au coût de fonctionnement actualisé, on a obtenu un coût total pour chaque solution ce qui a permis de comparer les diverses solutions.

## 5 Résultats

Sur la base d'une comparaison avec une chaussée traditionnelle (granulats et liant sombres, revêtement de type R2 pour la classification CIE), les enseignements suivants peuvent être tirés :

- en investissement, les chaussées claires et éclaircies sont plus chères que les chaussées traditionnelles, dans un rapport de un à quatre environ pour les premières et du simple au double pour les secondes (sur la base des prix fournis par les professionnels du monde des chaussées). L'investissement global (chaussée + appareils d'éclairage) est plus élevé avec une chaussée claire ou éclaircie qu'avec une chaussée R2 (sauf dans le cas d'une chaussée éclaircie associée à un éclairage symétrique) ;
- en exploitation, les chaussées claires sont intéressantes quel que soit l'éclairage (symétrique ou contre-flux) ; les chaussées éclaircies présentent un intérêt uniquement avec une installation d'éclairage de type symétrique ;

Sachant qu'en fonctionnement un euro est souvent plus difficile à trouver qu'un euro en investissement, l'avantage que présente les chaussées claires en exploitation pourrait être un argument fort pour leur utilisation en tunnel.

- en termes de coût global de possession (investissement + exploitation sur 20 ans), il ressort de l'étude que la longueur du tunnel influence fortement les résultats. Globalement une chaussée éclaircie associée à un éclairage symétrique<sup>6</sup> est intéressante pour une longueur d'ouvrage qui ne dépasse pas 3 000 m. De même une chaussée claire est intéressante, d'un point de vue économique (investissement + exploitation sur 20 ans), pour des ouvrages de longueur inférieure à 1 200 m. (pour un éclairage à contre-flux) et inférieure à 3 000 m (pour un éclairage symétrique). Toutefois l'étude montre que si la longueur de l'ouvrage est de l'ordre de 1 200 m (en éclairage à contre-flux) ou de 3 000 m (en éclairage symétrique) il convient de faire une étude spécifique en intégrant les niveaux de l'installation d'éclairage envisagée pour déterminer l'intérêt éventuel d'une chaussée claire ou éclaircie.

---

<sup>4</sup> Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

<sup>5</sup> Les sociétés COMATELEC et PHILIPS

<sup>6</sup> Une chaussée éclaircie associée à un éclairage contre-flux ne présentant pas d'intérêt en termes de coût d'exploitation

Enfin; il faut souligner que les chaussées claires (ou éclaircies dans une moindre mesure) apportent à l'usager un confort visuel supplémentaire et rendent l'ambiance intérieure plus agréable. Cet aspect peut, à coûts globaux assez proches, être un élément suffisant pour choisir ce type de chaussée.