

Étude des caractéristiques photométriques des bétons bitumineux drainants



RÉSUMÉ

L'emploi des bétons bitumineux drainants (BBD_r) se généralise sur le réseau routier français. Sur les sections éclairées, on constate des écarts importants entre les niveaux de luminance obtenus sur site et ceux calculés lors du dimensionnement de l'installation. La méconnaissance de la réponse photométrique des BBD_r en est la cause. Un chantier expérimental comportant différentes formules de BBD_r a permis une étude sur l'évaluation et l'évolution dans le temps des caractéristiques photométriques.

Sur des prélèvements réalisés à différentes époques : âge zéro et après trois, six et douze mois de service, on a mesuré le coefficient de luminance.

On remarque, au temps zéro, une très grande dispersion de la réponse photométrique des revêtements et une très forte spécularité. Sous l'action de la circulation, le phénomène de spécularité diminue et la clarté du matériau se stabilise à partir de trois mois à une valeur moyenne de 0,06. La spécularité n'évolue plus après six à douze mois, le revêtement se classe alors à la limite des catégories R₂ et R₃ de revêtements standard définis par la Commission internationale de l'éclairage (CIE).

On a étudié l'influence des variations, en fonction de la formule et en fonction du temps, des caractéristiques photométriques des BBD_r sur la qualité de service de l'installation. Une méthode de dimensionnement des installations d'éclairage adaptée aux chaussées revêtues d'enrobés drainants est proposée.

MOTS CLÉS : Enrobé drainant - Photométrie - Éclairage public - Luminance - Essai - Laboratoire - Vieillissement.

Corinne BRUSQUE
Ingénieur des travaux publics de l'Etat
Chef de la section Exploitation de la route et visibilité

Jean PEYBERNARD
Directeur de recherche
Chef de la division
Division Exploitation, signalisation, éclairage
Laboratoire central des Ponts et Chaussées

Jean-Luc PAUMIER
Charge de recherche
Michel PAGE
Technicien supérieur
Laboratoire régional des Ponts et Chaussées
de Clermont-Ferrand

Introduction

Depuis 1989, l'emploi des bétons bitumineux drainants (BBD_r) s'est généralisé sur l'ensemble du réseau routier français pour répondre essentiellement à un objectif de réduction des projections d'eau ou pour réduire le niveau du bruit généré par le trafic routier. Ces matériaux sont employés sur divers types de voiries.

Sur les voies éclairées, revêtues de BBD_r, on a constaté, lors du contrôle de réception des installations d'éclairage, des écarts importants entre les niveaux de luminance mesurés sur le site et les valeurs prédictes par les calculs de dimensionnement de l'installation. Seules des différences importantes entre les caractéristiques photométriques réelles des BBD_r et les caractéristiques standard utilisées pour les calculs d'éclairage peuvent expliquer ces écarts.

Un chantier expérimental a permis l'évaluation et l'étude de l'évolution dans le temps de sept formules de BBD_r. Dans l'article, les formules seront notées A, B, C, D, E, F. Des prélèvements sur la voie de droite de la chaussée ont été faits avant la mise en service de la chaussée (âge zéro) et après trois, six et douze mois de service. Le trafic était d'environ 10 600 véhicules par jour.

Pour chacune des formules et à chacune des dates, trois échantillons de matériau ont été prélevés, c'est donc au total 84 échantillons qui ont servi de support à l'étude.

Caractérisation photométrique des revêtements de chaussée

On caractérise la réponse photométrique d'un revêtement de chaussée par le coefficient de luminance q du matériau.

Par définition, le coefficient de luminance est le quotient de la luminance de la surface par l'éclairement reçu par la surface :

$$q = \frac{L}{E}$$

il est exprimé en $\text{cd}/\text{m}^2/\text{lux}$.

Le coefficient de luminance dépend de l'état de la surface, de la position de la source d'éclairage et de la direction d'observation de la surface.

Méthode de mesure du coefficient de luminance q

On mesure le coefficient de luminance q à l'aide d'un goniophotomètre. Le Laboratoire régional des Ponts et Chaussées (LRPC) de Clermont-Ferrand est équipé de cet appareil.

La figure 1 présente la définition des conditions de mesure du coefficient de luminance en un point P d'une surface.

- α est l'angle d'observation de la surface au point P .
- β est l'angle entre le plan d'éclairage et le plan d'observation.
- γ est l'angle d'incidence de la lumière.
- δ est l'angle entre le plan d'observation et l'axe de la chaussée.

En général, on fait l'hypothèse que les surfaces routières sont isotropes et l'on peut alors négliger l'influence de l'angle δ . En pratique, dans le cas

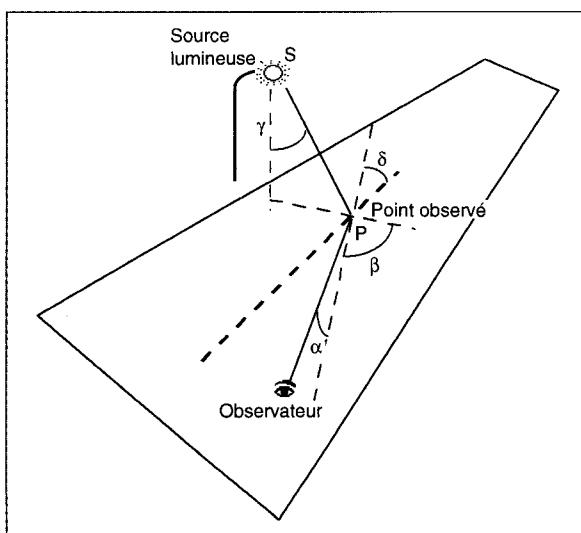


Fig. 1 - Définition des angles de mesure du coefficient de luminance.

de la conduite automobile, le conducteur observe la chaussée à une distance comprise entre 60 et 160 m en avant du véhicule ; dans ces conditions, l'angle δ reste toujours inférieur à 20° . On a pu vérifier que, pour cette faible étendue de valeurs de δ , l'hypothèse d'isotropie est bien réelle.

Par ailleurs, on considère que, dans les conditions habituelles de conduite d'un véhicule léger, l'œil du conducteur est situé à une hauteur d'environ 1,5 m de la surface de la chaussée. Compte tenu de la distance d'observation de la chaussée, 60 à 160 m, cela situe l'angle α à une valeur comprise entre $0,5$ et $1,5^\circ$. Par conséquent, on mesure le coefficient de luminance pour une valeur de α voisine de 1 degré.

La valeur de l'angle α est de $1,3^\circ$ sur le goniophotomètre du LRPC de Clermont-Ferrand. On a vérifié que les valeurs du coefficient de luminance étaient peu sensibles aux variations de α dans l'intervalle de $0,5$ à $1,5$ degré.

En conclusion, si l'on se place dans des conditions d'observation d'une surface équivalentes à celles de la conduite automobile, on peut admettre que le coefficient de luminance d'un revêtement de chaussée dépend seulement des angles β et γ .

Le coefficient de luminance $q(\beta, \gamma)$ est mesuré pour $\alpha = 1,3^\circ$, pour vingt valeurs de l'angle β , variant de 0 à 180° , et vingt-neuf valeurs de $\tan \gamma$ variant de 0 à 12 , soit au total 580 valeurs.

Afin de faciliter le calcul de la luminance, on a défini le coefficient réduit de luminance r :

$$r(\beta, \gamma) = q(\beta, \gamma) \cos^3 \gamma$$

L'ensemble des 580 valeurs du coefficient réduit de luminance constitue la table qui caractérise les propriétés photométriques du revêtement.

La luminance L , en un point de la chaussée éclairé par un seul luminaire, est donnée par la relation suivante :

$$L = qE = q \frac{I}{h^2} \cos^3 \gamma = r \frac{I}{h^2}$$

où

- E : éclairement reçu au point considéré,
- I : intensité lumineuse du luminaire dans la direction du point considéré,
- h : hauteur du luminaire

Les coefficients de clarté Q_o et de spécularité S_1 et S_2

Les coefficients de clarté Q_o et de spécularité S_1 et S_2 se déduisent des mesures du coefficient de luminance. Ils ont été définis par la Commission internationale de l'éclairage (CIE) [1] pour résumer le pouvoir de réflexion des surfaces routières.

Un revêtement réfléchit la lumière suivant un modèle complexe où contribuent à la fois des composantes spéculaires (effet miroir) et des composantes diffuses.

Le coefficient de luminance moyenne Q_o décrit la clarté du revêtement, il vaut :

$$Q_o = \frac{\int_0^{\Omega_o} q d\Omega}{\Omega_o} \quad d\Omega = \sin \gamma d\gamma d\beta$$

où Ω_o : angle solide, mesuré en un point de la chaussée, contenant toutes les directions suivant lesquelles l'énergie lumineuse en provenance d'un luminaire sera prise en compte pour le calcul de la luminance en ce point.

Les coefficients de spécularité S_1 et S_2 décrivent le caractère spéculaire du revêtement :

$$S_1 = \frac{r(0,2)}{r(0,0)} \quad S_2 = \frac{Q_o}{r(0,0)}$$

où

- $r(0,2)$: coefficient réduit de luminance pour $\beta = 0$ et $\tan \gamma = 2$ ($\gamma = 63,4^\circ$),
- $r(0,0)$: coefficient réduit de luminance pour $\beta = 0$ et $\tan \gamma = 0$.

Les quatre revêtements standard de la CIE

Il y a une trentaine d'années, sur la base d'une étude statistique des caractéristiques photométriques de revêtements de chaussée, la CIE a défini quatre classes de revêtements, en fonction de la valeur du coefficient de spécularité S_1 .

Les spécifications relatives aux valeurs de S_1 pour les quatre classes sont indiquées dans le tableau I.

Pour chacune des quatre classes, la CIE a également défini une table type du coefficient réduit de luminance correspondant à un revêtement dit standard. Chaque revêtement standard est également caractérisé par ses coefficients de clarté et de spécularité déduits de sa table type. Le tableau II donne les valeurs des coefficients Q_o , S_1 et S_2 des quatre revêtements standard.

Les coefficients S_1 et S_2 sont fortement liés, aussi, dans la suite de l'exposé, on considère seulement les coefficients Q_o et S_1 pour caractériser les matériaux.

En pratique, pour dimensionner une installation d'éclairage, on évalue à quelle classe de revêtement standard appartient le matériau de la chaussée considérée et on utilise, pour le calcul de l'installation d'éclairage, la table type correspondante en pondérant éventuellement par une estimation du paramètre Q_o , afin de prendre en compte la clarté du revêtement.

TABLEAU I
Définition des quatre classes de revêtements de la CIE en fonction de la valeur du coefficient de spécularité S_1

Classe	Condition sur S_1
1	$S_1 < 0,42$
2	$0,42 \leq S_1 < 0,85$
3	$0,85 \leq S_1 < 1,35$
4	$1,35 \leq S_1$

TABLEAU II
Valeurs des coefficients Q_o , S_1 et S_2 pour les quatre revêtements standard de la CIE

Revêtement standard	Q_o	S_1	S_2
R_1	0,10	0,25	1,53
R_2	0,07	0,58	1,80
R_3	0,07	1,11	2,38
R_4	0,08	1,55	3,03

– Q_o : coefficient de clarté,
– S_1 et S_2 : coefficients de spécularité.

Évaluation en fonction de la formule et évolution dans le temps de la réponse photométrique des bétons bitumineux drainants

On dispose, pour chacune des sept formules de BBD_r, de trois échantillons à chacune des époques : âge zéro, trois, six et douze mois. On a mesuré les variations spatiales du coefficient de luminance de chaque éprouvette et calculé les coefficients de clarté Q_o et de spécularité S_1 .

Étude de la dispersion des réponses photométriques des BBD_r en fonction de la formule aux différents âges

L'étude de la dispersion des réponses photométriques des BBD_r aux différents âges s'appuie sur la technique de l'analyse de la variance.

Les graphiques de la figure 2 rassemblent les valeurs obtenues pour les coefficients Q_o et S_1 pour les sept formules de BBD_r aux différents âges.

À l'âge zéro, les valeurs des coefficients de spécularités S_1 et S_2 sont exceptionnellement élevées et les résultats sont, pour les deux coefficients, très dispersés.

L'effet de spécularité s'atténue rapidement sous l'action de la circulation et on note une baisse importante de la dispersion intra revêtement.

L'étude de la dispersion des résultats obtenus pour les coefficients Q_o et S_1 à chaque âge, (la

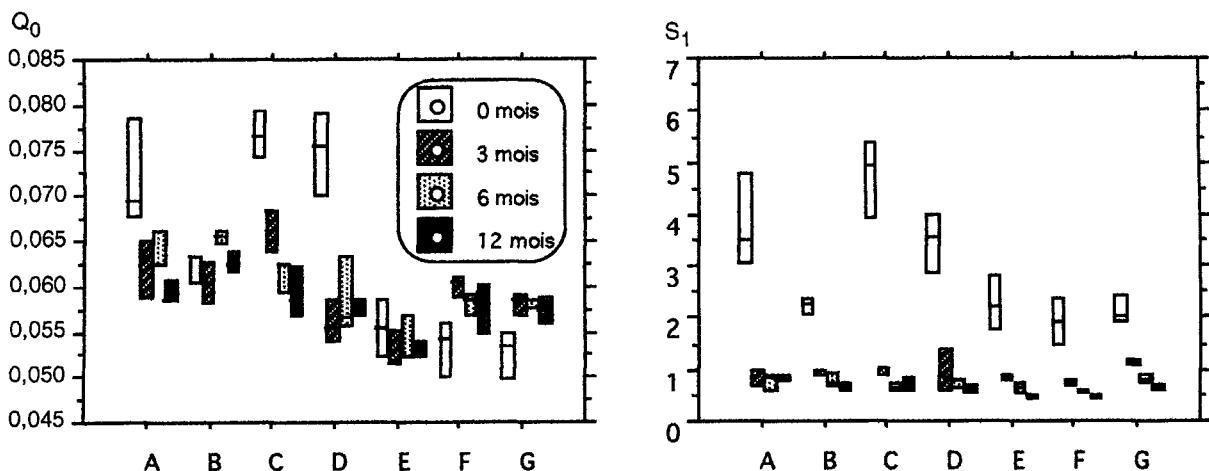


Fig. 2. - Valeurs des coefficients Q_0 et S_1 obtenues pour les sept formules de BBDr aux différents âges.

dispersion est exprimée par le coefficient de variation rapport de l'écart-type à la moyenne), montre qu'après douze mois de mise en service de la chaussée la dispersion est de l'ordre de 4 % pour le coefficient Q_0 et de l'ordre de 10 % pour le coefficient S_1 . On a vérifié que ces dispersions étaient de l'ordre de grandeur de la précision des résultats de mesure.

On a évalué la précision de la mesure à partir d'essais de répétabilité et de reproductibilité effectués sur les échantillons de la formule F d'âge six mois. Le coefficient de variation correspondant aux essais de reproductibilité est de 3 % pour le coefficient Q_0 et de l'ordre de 10 % pour le coefficient S_1 .

L'erreur relative importante sur la mesure de S_1 s'explique par le fait que ce coefficient est calculé à partir du rapport de deux valeurs ponctuelles du coefficient réduit de luminance : $r(0,2)$ et $r(0,0)$. Ces mesures du coefficient réduit sont sensibles à la position du plan horizontal moyen pris comme référence angulaire à la mise en place de l'échantillon sur l'appareil de mesure.

L'analyse statistique des résultats montre un effet significatif de la formule sur le pouvoir de réflexion :

- la clarté Q_0 dépend de la formule quel que soit l'âge,
- si l'on observe un effet très significatif de la formule sur S_1 à la mise en service de la chaussée, on constate que cet effet disparaît après trois à six mois.

Étude de l'évolution dans le temps de la réponse photométrique des BBDr

On a étudié l'évolution dans le temps de la réponse photométrique des BBDr à partir des valeurs moyennes et des coefficients de variation des coefficients Q_0 et S_1 calculés pour chaque

âge sur l'ensemble des échantillons. Les résultats sont reportés dans le tableau III.

On remarque, dans le tableau III, une décroissance très rapide de la dispersion des valeurs des coefficients Q_0 et S_1 en fonction du temps.

Après trois mois, les variations du coefficient Q_0 ne sont plus significatives et l'effet de spécularité diminue de façon notable.

Après six mois, les variations des coefficients Q_0 et S_1 ne sont plus significatives.

À l'âge douze mois, le coefficient de variation est de l'ordre de 6 % pour Q_0 , donc encore de l'ordre de grandeur de la précision de la mesure, mais il est de 20 % pour S_1 .

Comparaison des BBDr aux revêtements standard définis par la CIE

Pour chaque âge, les échantillons de BBDr ont été classés dans les quatre catégories de revêtements standard de la CIE en fonction de la valeur du coefficient de spécularité S_1 , suivant les critères définis dans le tableau I.

Le tableau IV donne les résultats du classement. Ce classement permet de comparer les valeurs moyennes des coefficients Q_0 et S_1 des BBDr à chaque âge aux valeurs de références des coefficients définies pour les quatre revêtements standard (tableau II).

Les comparaisons conduisent aux commentaires suivants.

À l'âge zéro, le coefficient de spécularité S_1 d'un BBDr est très supérieur à celui d'un revêtement standard R_4 , en moyenne, il est deux fois plus grand. Par contre, le coefficient de clarté Q_0 est inférieur d'environ 20 % à celui du revêtement standard R_4 .

TABLEAU III
Valeurs moyennes et coefficients de variation
des coefficients Q_o et S_1
pour chaque âge du revêtement

Âge du revêtement (mois)	Q_o		S_1	
	Valeur moyenne	Coefficient de variation (%)	Valeur moyenne	Coefficient de variation (%)
0	0,064	17	3,04	39
3	0,060	8	1,01	23
6	0,061	7	0,81	18
12	0,059	6	0,72	20

– Q_o : coefficient de clarté,
– S_1 : coefficient de spécularité.

TABLEAU IV
Répartition des BBDr dans les classes
de revêtements standard R_2 , R_3 et R_4
en fonction de l'âge du revêtement

Âge du revêtement (mois)	Classe de la CIE		
	R_2	R_3	R_4
0	0	0	21
3	5	15	1
6	14	7	0
12	15	6	0

- À partir de trois mois, le coefficient de clarté Q_o tend vers 0,06, valeur inférieure de 14 % à celle du coefficient de clarté des revêtements standard R_2 et R_3 .
- À l'âge six mois, le coefficient de spécularité S_1 se stabilise autour d'une valeur inférieure à 0,85, limite entre les classes R_2 et R_3 .

La figure 3 présente les graphiques des valeurs des coefficients Q_o et S_1 des BBDr aux différents âges. Les échantillons sont représentés par des symboles différents en fonction de leur classement dans les quatre catégories de revêtements standard. Les traits horizontaux de couleur, portés sur les graphiques de la figure 3, correspondent aux valeurs des coefficients Q_o et S_1 des différents revêtements standard. On observe ainsi directement sur les graphiques le classement de chaque échantillon d'enrobé drainant.

Synthèses et conclusions

Les BBDr sont des revêtements de chaussée aux caractéristiques photométriques très particulières, tant du point de vue de leurs valeurs que de leur évolution dans le temps.

À la mise en service de la chaussée et quelle que soit la formule, les BBDr se caractérisent par une forte spécularité.

Après trois à six mois de mise en service de la chaussée, les caractéristiques photométriques se stabilisent et les matériaux se classent dans une catégorie intermédiaire entre les classes R_2 et R_3 de la CIE pour les valeurs du coefficient de spécularité.

Cependant, le coefficient de clarté Q_o , qui est de l'ordre de 0,06, reste inférieur aux valeurs 0,07 et 0,08 habituellement fixées pour les revêtements standard R_2 et R_3 .

En conclusion, on peut qualifier les BBDr de matériaux « sombres » et spéculaires.

Le comportement photométrique particulier des BBDr explique les difficultés rencontrées par les éclairagistes pour concevoir des installations d'éclairage de chaussées revêtues de BBDr conformes aux spécifications en matière de confort et de sécurité des usagers.

Influence de la réponse photométrique de bétons bitumineux drainants sur la qualité de service des installations d'éclairage extérieur

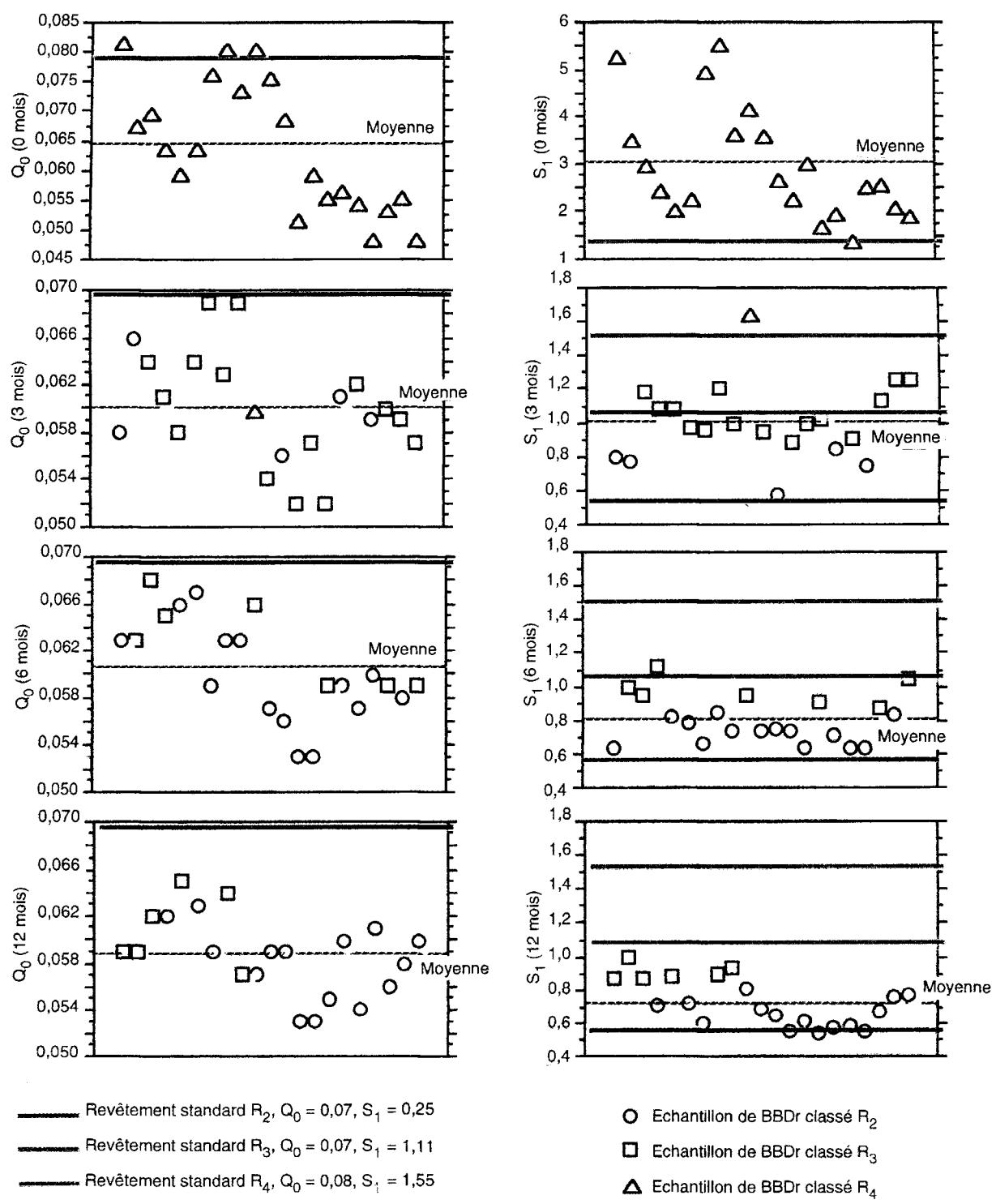
La qualité de service d'une installation d'éclairage extérieur est évaluée à l'aide de trois paramètres photométriques définis dans les recommandations de la CIE [1] et de l'Association française de l'éclairage (AFE) [2]. Les trois paramètres sont les suivants.

- La luminance moyenne de la chaussée, L_{moy} , est calculée pour un semis de points spécifiés et pour un angle d'observation de la chaussée de 1 degré.
- L'uniformité générale de luminance, U_g , est égale au rapport des luminance minimale et luminance moyenne calculées sur les points du semis précédent.
- L'uniformité longitudinale en luminance, U_l , est le plus petit des rapports $\left[\frac{L_{\min}}{L_{\max}} \right]_{\min}$, calculé sur chaque ligne du semis parallèle à l'axe de la chaussée.

Les recommandations fixent les valeurs des trois paramètres photométriques afin de garantir la sécurité et le confort des usagers au cours de leurs déplacements.

La qualité de service d'une installation d'éclairage est donc évaluée par comparaison de ces performances photométriques aux valeurs fixées par les recommandations.

Fig. 3 -
Comparaison
des valeurs
des coefficients
 Q_0 et
 S_1 , observées
pour les diffé-
rents échantil-
lons de BBDr
à celles des
revêtements
standard de
la CIE



Outre les caractéristiques photométriques du revêtement de la chaussée, les paramètres purement géométriques de l'installation et photométriques des sources lumineuses ont une contribution déterminante à la qualité de service de l'installation.

Pour évaluer l'influence des caractéristiques photométriques des enrobés drainants sur la qualité de service des installations d'éclairage, on a défini quatre installations types et procédé à des calculs d'éclairage.

Définition de quatre installations types d'éclairage extérieur

Pour définir une installation d'éclairage, on considère, en premier lieu, le type de voie à éclairer, puis on fixe le type et la puissance des luminaires à employer.

- Deux types de voies ont été choisies :
 - une chaussée à 2 voies de 3,5 m éclairée par une installation unilatérale simple,

– une chaussée à 2 fois 2 voies de 3,5 m éclairée par une installation bilatérale.

La hauteur des luminaires a été fixée à 8 mètres.

- Deux types de luminaires ont été utilisés :
 - un luminaire de type extensif,
 - un luminaire de type intensif.

Les deux types de luminaires diffèrent par la répartition de leurs intensités lumineuses. Ils sont équipés d'une lampe de 150 W et le flux lumineux des sources est de 16 klumens.

Les caractéristiques d'émission des sources ont été fournies par le laboratoire du constructeur du luminaire.

Dans un premier temps, on a calculé l'installation d'éclairage en supposant que la chaussée est revêtue du revêtement standard R_2 , c'est la démarche classique faite par l'éclairagiste lorsqu'il ne dispose pas d'information sur le revêtement de la chaussée. Le meilleur compromis entre l'espacement des points de feu (e), l'inclinaison des luminaires (incl.) et la distance du luminaire au bord de la chaussée (d) a été trouvé afin que l'installation satisfasse aux critères photométriques suivants :

- luminance moyenne de la chaussée (L_{moy}) supérieure ou égale à 1,5 candela par mètre carré,
- uniformité longitudinale en luminance (U_l) supérieure ou égale à 0,7,
- uniformité générale en luminance (U_g) supérieure ou égale à 0,4.

Les valeurs des paramètres déterminées pour chacune des installations et pour la chaussée du type R_2 sont rassemblés dans le tableau V.

Variations de la qualité de service des quatre installations types d'éclairage en fonction de la formule du BBD_r et du temps

L'évaluation de ces variations a été faite en calculant les luminances moyennes et les uniformités en luminance pour des chaussées auxquelles sont attribuées les réponses photométriques des 84 échantillons de BBD_r, objets de l'étude.

Le tableau VI contient les valeurs moyennes et les coefficients de variation de la luminance moyenne et des uniformités en luminance obtenus pour les BBD_r aux différents âges. Ces résultats appellent les commentaires suivants.

- Aucune installation ne donne satisfaction à l'âge zéro, car les valeurs des uniformités sont particulièrement faibles.
- Les uniformités augmentent avec l'âge des revêtements, tandis que la dispersion des valeurs

TABLEAU V
Caractéristiques des quatre installations types d'éclairage optimisées pour un revêtement R_2

Installation	h (m)	e (m)	d (m)	Incl. (°)	L_{moy} (cd/m ²)	U_g	U_l
Installation unilatérale luminaire extensif	8	36	0	5	1,51	0,45	0,75
Installation unilatérale luminaire intensif	8	28	0	2	1,96	0,57	0,73
Installation bilatérale luminaire extensif	8	37	- 1	5	1,57	0,56	0,71
Installation bilatérale luminaire intensif	8	28	0	5	2,38	0,65	0,73

- h : hauteur des luminaires,
- e : espacement entre les points de feu,
- incl. : inclinaison des luminaires,
- d : distance du luminaire au bord de la chaussée,
- L_{moy} : luminance moyenne,
- U_g : uniformité générale en luminance,
- U_l : uniformité longitudinale en luminance.

diminué. Cependant, les uniformités longitudinales restent inférieures aux valeurs obtenues pour le revêtement standard R_2 et à la valeur seuil de 0,7.

□ Les variations les plus faibles de l'uniformité longitudinale sont obtenues pour l'installation unilatérale-luminaire extensif, mais cette installation ne convient pas pour les BBD_r, car l'uniformité longitudinale U_l est trop faible.

□ Les valeurs des luminances moyennes sont fortement dispersées à l'âge zéro du revêtement. À partir de six mois pour l'installation unilatérale-luminaire extensif et de trois mois pour les autres installations, les valeurs des luminances moyennes se stabilisent et tendent vers des valeurs significativement inférieures à celles obtenues pour le revêtement standard R_2 , le rapport des luminances est de 0,9 environ.

Quelques recommandations pour le dimensionnement des installations d'éclairage de chaussées revêtues de bétons bitumeux drainants

L'étude de l'évolution dans le temps de la réponse photométrique des enrobés drainants a montré qu'à la mise en service de la chaussée le revêtement est très spéculaire, il se classe dans la catégorie R_4 de la CIE avec une valeur très élevée du coefficient de spécularité S_1 . Bien que le phénomène de spécularité diminue au cours du temps, les BBD_r se classent dans une catégorie intermédiaire entre les revêtements R_2 et R_3 de la CIE. De plus, le coefficient de clarté Q_0 est de l'ordre de 0,06, donc plus faible que les valeurs retenues pour les revêtements standard.

TABLEAU VI
Valeurs moyennes et coefficients de variation des uniformités en luminance et de la luminance moyenne aux différents âges des BBDr, pour les quatre installations types d'éclairage optimisées pour un revêtement R₂

Âge des BBDr (mois)	Installation unilatérale				Installation bilatérale				
	Luminaire extensif		Luminaire intensif		Luminaire extensif		Luminaire intensif		
	Valeur moyenne	Coefficient de variation (%)	Valeur moyenne	Coefficient de variation (%)	Valeur moyenne	Coefficient de variation (%)	Valeur moyenne	Coefficient de variation (%)	
U_g	0	0,24	22	0,29	18	0,34	21	0,45	12
	3	0,41	12	0,48	7	0,52	6	0,58	5
	6	0,44	6	0,50	6	0,55	5	0,59	3
	12	0,44	8	0,52	6	0,54	6	0,61	3
U_l	0	0,58	8	0,43	15	0,31	16	0,35	14
	3	0,73	7	0,64	8	0,51	15	0,59	10
	6	0,68	5	0,64	6	0,52	9	0,59	8
	12	0,69	6	0,67	5	0,55	7	0,62	7
L_{moy}	0	1,87	25	1,83	18	1,74	22	2,07	16
	3	1,43	9	1,77	7	1,44	8	2,10	7
	6	1,37	9	1,82	7	1,40	8	2,17	6
	12	1,32	9	1,81	6	1,35	7	2,14	5

- U_g : uniformité générale en luminance,
- U_l : uniformité longitudinale en luminance,
- L_{moy} : luminance moyenne.

On a indiqué en couleur les valeurs des uniformités et de la luminance conformes aux spécifications.

TABLEAU VII
Caractéristiques des quatre installations types d'éclairage optimisées pour un revêtement BBDr

Installation	h (m)	e (m)	d (m)	incl. (°)	E_{moy} (lux)
Installation unilatérale luminaire extensif	8	30	1	2	23
Installation unilatérale luminaire intensif	8	25	0	5	33,9
Installation bilatérale luminaire extensif	8	28	- 1	10	27
Installation bilatérale luminaire intensif	8	23	0	5	46,4

- h : hauteur des luminaires,
- e : espace entre les points de feu,
- incl. : inclinaison des luminaires,
- d : distance du luminaire au bord de la chaussée,
- E_{moy} : éclairage moyen.

Si les deux installations précédemment définies ne sont pas adaptées à l'éclairage de chaussées revêtues de BBDr, c'est essentiellement dû à la lente décroissance de la spécularité du revêtement au cours du temps.

Si l'on fixe comme objectif d'obtenir une qualité de service satisfaisante de l'installation d'éclairage trois mois après la mise en service de la chaussée, il faut concevoir une installation qui

soit peu sensible à la spécularité du revêtement. Pour atteindre cet objectif, on a modifié les quatre installations précédentes en ajustant les valeurs de l'espacement entre les points de feu (e), de l'inclinaison des luminaires (incl.) et de la distance du luminaire au bord de la chaussée (d), afin que les installations satisfassent aux recommandations en luminance et uniformités pour les trois catégories de revêtements standard R₂, R₃ et R₄. La valeur du coefficient de clarté Q_o a été fixée à 0,06.

Les caractéristiques géométriques retenues pour les installations figurent dans le tableau VII.

Les graphiques de la figure 4 montrent que, quel que soit le revêtement standard considéré, les valeurs des uniformités et la luminance moyenne sont conformes aux spécifications.

On remarque, dans le tableau VII, que pour satisfaire les exigences sur l'uniformité générale U_g, paramètre particulièrement sensible à la spécularité, on a diminué l'espacement entre les luminaires dans des proportions variant de 11 à 24 %.

On a évalué l'adéquation des quatre installations pour l'éclairage des chaussées revêtues de BBDr en réalisant les calculs d'éclairage à partir des réponses photométriques mesurées sur les 84 échantillons de BBDr, objets de l'étude.

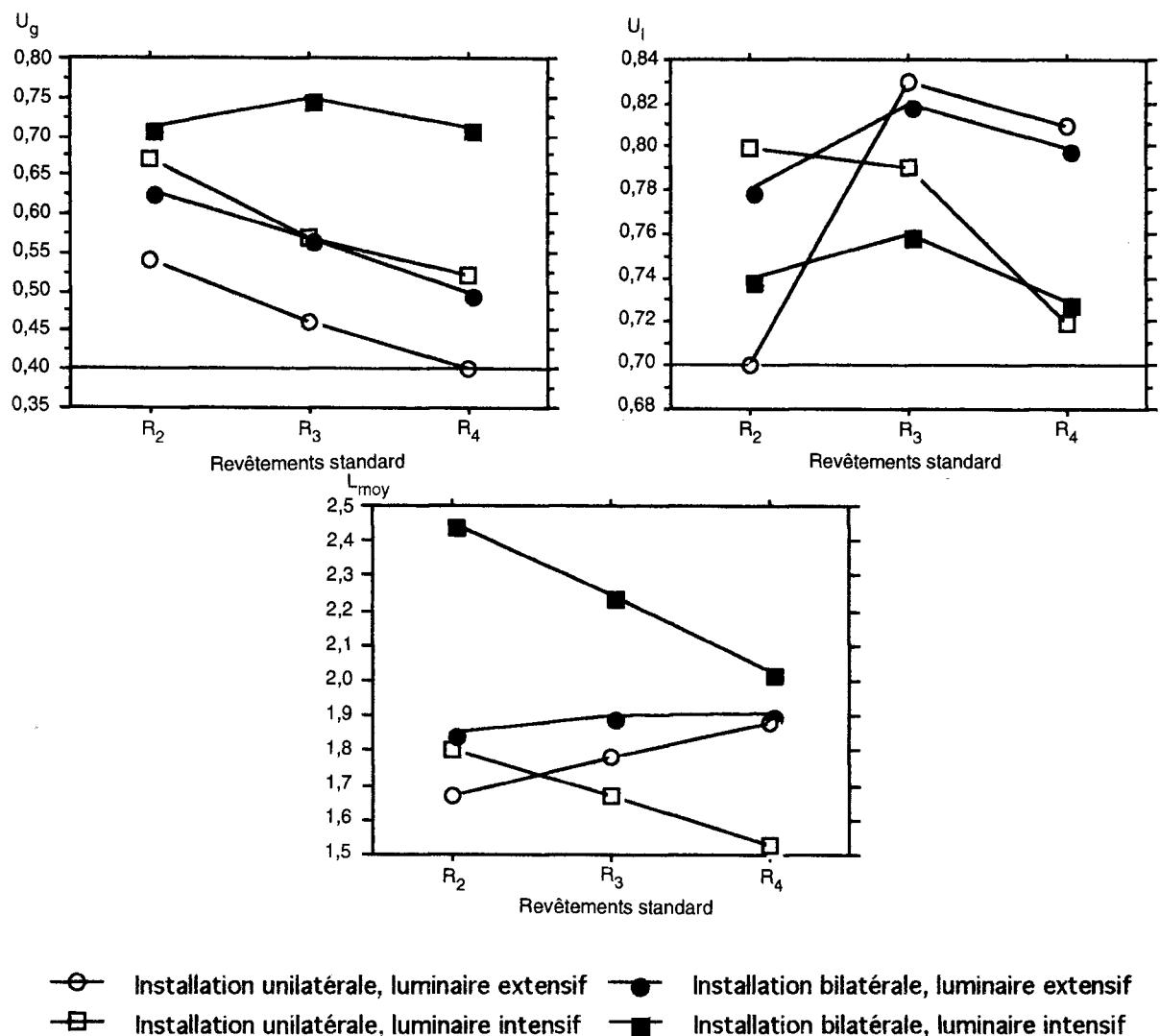


Fig. 4 - Valeurs des paramètres d'uniformités en luminance et de la luminance moyenne pour les revêtements standard R_2 , R_3 et R_4 suivant le type d'installation et de luminaire employés.

U_g : uniformité générale en luminance - U_l : uniformité longitudinale en luminance - L_{moy} : luminance moyenne.

Dans le tableau VIII figurent les valeurs moyennes et les coefficients de variation des uniformités et de la luminance moyenne déterminés pour les BBDs aux différents âges et pour les quatre types d'installations.

On remarque, dans le tableau VIII, qu'après trois mois de mise en service de la chaussée en BBDs, les quatre installations satisfont aux spécifications en matière de luminance moyenne et d'uniformités. Les valeurs moyennes des uniformités calculées sur l'ensemble des revêtements aux différents âges sont supérieures à 0,75 pour l'uniformité générale, comprises entre 0,5 et 0,7 pour l'uniformité générale et comprises entre 0,35 et 0,56 pour l'uniformité transversale. Les dispersions restent inférieures à 7 % pour l'uniformité générale, 5 % pour l'uniformité longitudinale et à 10 % pour l'uniformité transversale et la luminance.

On constate que, pour l'installation bilatérale-luminaire extensif, les valeurs moyennes de la luminance sont légèrement supérieures à $2,5 \text{ cd/m}^2$ alors que, pour toutes les autres installations, elles sont inférieures à 2 candela par mètre carré.

Cette dernière partie de l'étude confirme qu'aucune installation ne donne satisfaction lors de la mise en service de la chaussée, car les valeurs des uniformités sont trop faibles. La très grande dispersion des caractéristiques photométriques en fonction de la formule à l'âge zéro rend particulièrement difficile la prédiction de la qualité de service d'une installation d'éclairage.

TABLEAU VIII
Valeurs moyennes et coefficients de variation des uniformités en luminance et de la luminance moyenne aux différents âges des BBDr, pour les quatre installations types d'éclairage optimisées pour un revêtement BBDr

Âge des BBDr (mois)	Installation unilatérale				Installation bilatérale			
	Luminaire extensif		Luminaire intensif		Luminaire extensif		Luminaire intensif	
	Valeur moyenne	Coefficient de variation (%)	Valeur moyenne	Coefficient de variation (%)	Valeur moyenne	Coefficient de variation (%)	Valeur moyenne	Coefficient de variation (%)
U_g	0	0,32	18	0,38	16	0,41	18	0,54
	3	0,49	7	0,58	7	0,59	6	0,71
	6	0,53	6	0,60	5	0,63	5	0,70
	12	0,54	6	0,62	6	0,63	6	0,70
U_l	0	0,69	6	0,54	13	0,66	6	0,58
	3	0,79	4	0,77	5	0,76	5	0,77
	6	0,74	3	0,74	5	0,74	5	0,74
	12	0,73	4	0,76	4	0,76	4	0,75
L_{moy}	0	2,47	25	1,95	17	2,34	21	2,49
	3	1,87	8	1,90	7	1,97	8	2,53
	6	1,79	10	1,96	6	1,92	8	2,62
	12	1,73	9	1,94	6	1,85	7	2,58

- U_g : uniformité générale en luminance,
 - U_l : uniformité longitudinale en luminance,
 - L_{moy} : luminance moyenne.
On a indiqué en couleur les valeurs des uniformités et de la luminance conformes aux spécifications.

On a montré qu'il est possible de définir les caractéristiques d'une installation d'éclairage, dont la qualité de service est conforme aux spécifications, après trois mois de mise en service d'une chaussée revêtue de BBDr. Il conviendra donc de procéder aux essais de réception, en luminance, de l'installation d'éclairage après au moins trois mois, sinon six mois, de mise en service de la chaussée.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Commission internationale de l'éclairage (1982), *Calculation and measurement of luminance and illuminance in road lighting*, Publication CIE 30-2 (TC-4.6), 159 p.
- [2] Association française de l'éclairage (1988), Recommandations relatives à l'éclairage des voies publiques, *Lux*, 202 p.

ABSTRACT

The photometric characteristics of porous asphalt concretes

C. BRUSQUE, J. PEYBERNARD, J.-L. PAUMIER, M. PAGE

Porous asphalt concretes are coming into more widespread use on the French highway system. On lamp-post sections, considerable variations are observed between levels of luminance *in situ* and those calculated when the installation is designed. This is due to lack of knowledge of the photometric response of porous asphalt concretes. An experimental site incorporating different porous asphalt concrete formulations made it possible to investigate the evaluation of their photometric characteristics and how the latter change over a period of time.

Measurements were made of the coefficient of luminance of samples taken at different times between zero and three, six and twelve months of service.

It was observed that at time 0 there is a very wide dispersion of the photometric response of the road surface, and a very marked specularity. Under the effect of traffic, the phenomenon of specularity becomes less marked and after three months the brightness of the material stabilizes at an average level of 0.06. Specularity does not change after 6 to 12 months, after which the surface falls within categories R2 and R3 of standard surfaces defined by the International Commission on Illumination (ICI).

The influence of the variations of the photometric characteristics of porous asphalt concrete on the quality of service of the installation was studied in function of formulation and in function of time. A method of designing lighting installations suitable for pavements surfaced with porous asphalt is proposed.