

L'éclairage en nappe

Jean MÉNARD

Chef de la section Physique des rayonnements
Laboratoire régional des Ponts et Chaussées
de Rouen

Gilles MALATERRE

Directeur de recherche
Laboratoire de Psychologie de la conduite
Institut national de recherche sur les transports
et leur sécurité



Vue d'une installation expérimentale d'éclairage en nappe.

RÉSUMÉ

L'« éclairage en nappe » désigne une installation d'éclairage public routière où les sources de lumière, disposées le long de la chaussée, sont des projecteurs qui émettent un faisceau lumineux, parallèle à la surface de la chaussée.

L'étude a pour but, d'une part, de définir les caractéristiques des matériels, en particulier des projecteurs, à mettre en œuvre pour obtenir les performances attendues et, d'autre part, de vérifier si ces matériels peuvent être employés sans incidences néfastes sur le comportement et la sécurité des usagers.

L'expérimentation réalisée sur piste a montré que, malgré un certain nombre de défauts, l'« éclairage en nappe » est relativement bien accepté par les usagers. Mais on peut déjà affirmer que l'« éclairage en nappe » n'est pas appelé à remplacer les installations classiques à base de luminaires et de candélabres et que son usage sera réservé aux cas où seule la chaussée doit être éclairée.

MOTS CLÉS : 85 - Éclairage public - Matériel - Caractéristiques - Orientation des projecteurs - Expérimentation - Sécurité - Comportement - Usager de la route - Rayonnement - Chaussée (trafic) - /Projecteur.

Introduction

L'« éclairage en nappe » désigne une installation d'éclairage public routière où les sources de lumière, disposées le long de la chaussée, sont des projecteurs qui émettent un faisceau lumineux, parallèle à la surface de la chaussée. L'installation d'« éclairage en nappe » est un concept original dont le principe a été défini dans le cadre d'un brevet.

La mise au point et la qualification de ce procédé d'éclairage ont nécessité une étude dans laquelle étaient associés l'inventeur, la Société d'études et d'entreprises en électricité (SEEE), la société VALEO, l'Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité (INRETS) et la section Physique des rayonnements du LRPC de Rouen (CETE Normandie-Centre).

L'étude entreprise a pour but, d'une part, de définir expérimentalement les caractéristiques des matériels, en particulier des projecteurs, à mettre en œuvre pour obtenir les performances attendues et, d'autre part, de vérifier si ces matériels peuvent être employés sans incidences néfastes sur le comportement et la sécurité des usagers [1].

Présentation de l'étude

Éclairage en nappe - Principe

À l'origine, le brevet définissait l'installation de l'« éclairage en nappe » et ses avantages de la manière suivante.

Les projecteurs sont installés sur des supports verticaux le long de la partie gauche de la chaussée par rapport au sens de circulation des véhicules, à une hauteur de 90 cm de façon à ce que le faisceau lumineux passe au-dessus des glissières de sécurité (fig. 1 et 2).

L'ouverture du faisceau est limitée par des écrans disposés de part et d'autre de son axe pour ne pas provoquer de gêne pour les usagers.

Par son principe, l'« éclairage en nappe » n'éclaire pas la surface de la chaussée. La lumière se propage parallèlement à la surface. Lorsqu'un obstacle situé sur la chaussée coupe le faisceau des projecteurs de l'« éclairage en nappe » il se trouve donc fortement éclairé sur un fond sombre. Son contraste positif est très important. Le niveau de visibilité des obstacles ainsi obtenu est supposé garantir de meilleures conditions de détection. Bien entendu, seule la partie inférieure des obstacles est illuminée par les projecteurs. La partie supérieure, au-dessus de 80 cm du sol, ne reçoit que la lumière des phares du véhicule.

La lumière étant utilisée pour éclairer les obstacles verticaux situés sur la chaussée, la quantité d'énergie employée pour obtenir ce résultat est nettement moins importante que celle nécessaire pour éclairer de grandes surfaces horizontales, comme c'est le cas pour une installation classique d'éclairage. La puissance installée est donc moindre.

Les opérations d'entretien et de maintenance de l'installation d'« éclairage en nappe » sont facilitées du fait de la faible hauteur des supports et de l'accessibilité aisée aux appareils. Par contre, cette accessibilité augmente le risque de vandalisme et la fréquence de nettoyage des optiques qui sont davantage exposées aux projections d'eau et de polluants.

Les paramètres de l'installation

L'installation peut être modifiée en agissant sur sa géométrie ou sur le réglage des projecteurs. Le paramètre géométrique de l'installation le plus sensible est l'orientation des projecteurs. L'ouverture horizontale ou verticale du faisceau du projecteur permet également de modifier la répartition spatiale de la lumière.

Critères d'évaluation des performances

L'originalité de l'installation ne permet pas d'utiliser, pour quantifier sa qualité de service, les critères habituels de niveau et d'uniformité de luminance de la chaussée. Il fallait donc définir des critères pertinents pour évaluer l'impression de confort visuel et le niveau de visibilité des obstacles dans la nappe.

La visibilité d'un obstacle est considérée comme satisfaisante lorsque son contraste est suffisamment important pour qu'il soit perçu et identifié sans ambiguïté par l'utilisateur. Par ailleurs, si cet obstacle est mobile, il ne faut évidemment pas que son contraste varie de façon importante quand il se déplace dans le sens longitudinal ou transversal de la chaussée. Son niveau de visibilité doit rester à peu près constant. Le critère le plus pertinent pour qualifier la visibilité est, dans ce cas, l'uniformité d'éclairement vertical U_{EV} . On définit U_{EV} comme le rapport entre les valeurs maximale (E_V maximal) et minimale (E_V minimal) de l'éclairement sur un profil.

uniformité d'éclairement vertical :

$$U_{EV} = \frac{E_V \text{ maximal}}{E_V \text{ minimal}}$$

L'uniformité de la nappe de lumière sera jugée en examinant :

- l'uniformité du gradient vertical d'éclairement sur la hauteur de la nappe,
- l'uniformité d'éclairement sur des profils longitudinaux,
- l'uniformité d'éclairement sur des profils transversaux.

Pour quantifier ces uniformités, six mesures d'éclairement vertical ont été faites à des altitudes de 10, 30, 50, 70, 90 et 110 cm de la surface de la chaussée en chaque point d'un maillage défini entre deux projecteurs.

Le confort visuel est correct quand la luminance ambiante est suffisante pour que l'œil de l'observateur s'adapte à la vision nocturne dans le domaine « mésopique haut », c'est-à-dire pour des luminances d'adaptation minimales de l'ordre de 0,20 Cd/m² [2]. Dans ce domaine de vision, les performances visuelles deviennent admissibles pour ce qui concerne l'acuité visuelle, la largeur du champ visuel et l'appréciation des distances.

Par ailleurs, il convient que l'éventuelle gêne visuelle due à l'émission directe de lumière des projecteurs vers l'utilisateur soit réduite à un niveau acceptable. Il s'est ainsi avéré nécessaire de tenir compte de la gêne induite par les réflexions de la lumière dans les rétroviseurs et par l'illumination brève de l'habitacle quand le véhicule passe

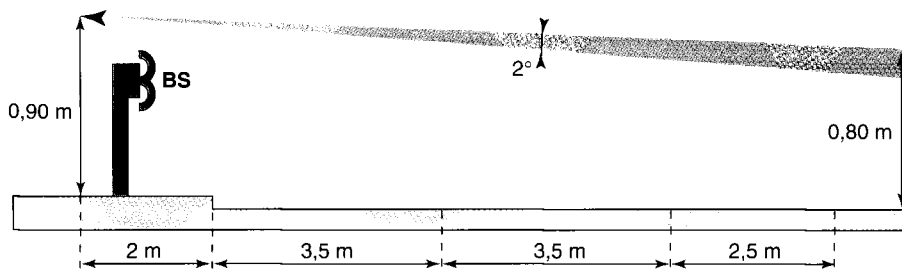


Fig. 1 - Les projecteurs sont placés à 90 cm de haut, de façon à ce que le faisceau lumineux passe au-dessus des barrières de sécurité (BS). Le faisceau est légèrement plongeant, la coupure supérieure doit être nette et atteindre 80 cm de l'autre côté de la chaussée, son ouverture verticale est de 2°. La chaussée n'est pas éclairée.

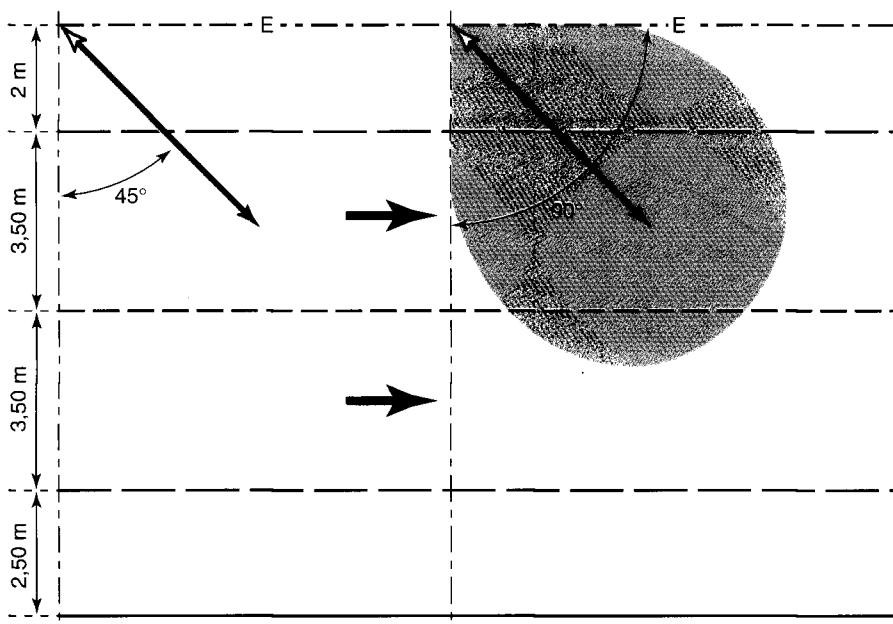


Fig. 2 - Les projecteurs sont implantés sur une ligne parallèle à la chaussée, en retrait de celle-ci, derrière les barrières de sécurité. L'ouverture théorique du faisceau est de 90°. L'indicatrice principale fait un angle de 45° avec l'axe longitudinal de la chaussée. Bien entendu, une telle installation n'est concevable que sur les chaussées à sens unique.

au droit d'un projecteur. Pour quantifier l'influence de ces deux sources de gêne, nous avons placé un luxmètre à la hauteur de la tête du conducteur (mesure de l'éclairement E_{VH}). Par ailleurs, un luminancemètre vise en permanence le rétroviseur. La luminance du rétroviseur $L_{\text{rétro}}$ est enregistrée en continu.

Étude photométrique

On conçoit que les données photométriques des sources et de l'installation décrites dans le brevet soient assez générales. Cette première partie de l'étude avait donc pour objectif de définir, de façon précise, les caractéristiques de la source lumineuse à utiliser et du faisceau émis, ainsi que la géométrie de l'installation.

Mise au point des projecteurs

Les premiers essais ont été entrepris avec des projecteurs d'éclairage public équipés de lampes au sodium haute pression SHP de grandes dimensions et d'une puissance de 70 W. Mais ce type de projecteur s'est vite avéré inutilisable.

Par la suite, nous avons utilisé des phares antibrouillard fournis par l'entreprise VALEO. En fonction des résultats obtenus, les projecteurs ont été modifiés pour tenter de se rapprocher des objectifs. La figure 3 montre l'évolution de l'un des paramètres de confort, éclairement vertical mesuré sur la glace, suivant le modèle de projecteur. Le niveau d'illumination de l'habitacle est quantifié par l'éclairement E_{VH} mesuré à la hauteur de la tête du conducteur.

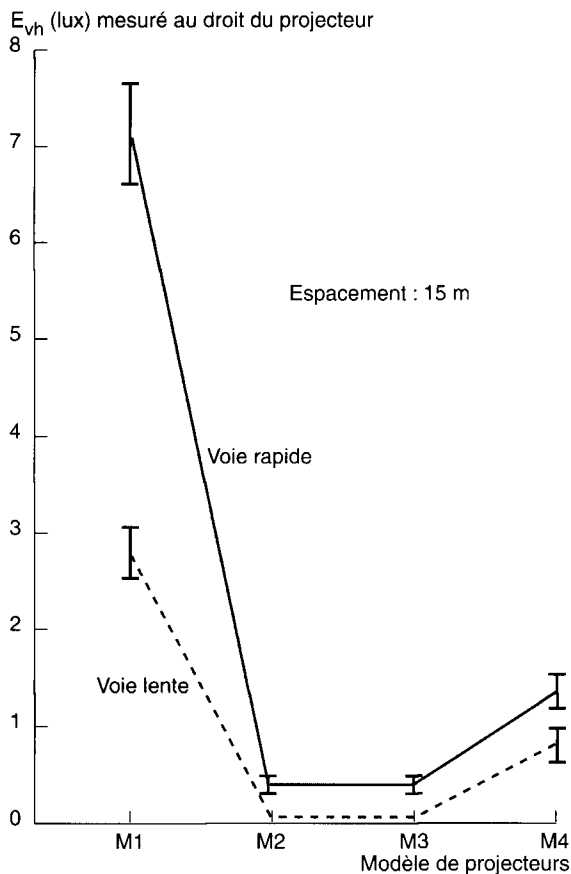


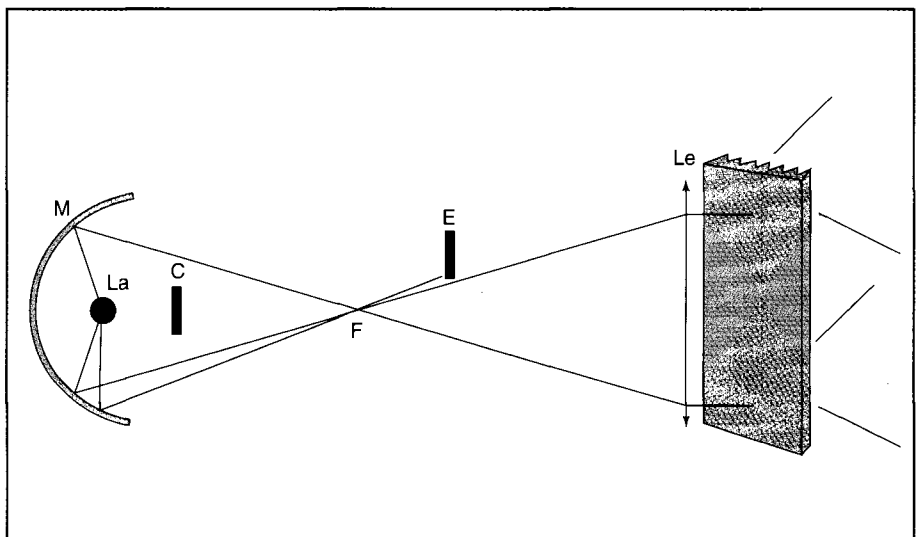
Fig. 3 - Valeur de l'éclairage vertical mesuré sur la glace avant gauche au niveau de la tête du conducteur suivant l'évolution des modèles de projecteurs.

La valeur de l'éclairage traduit la netteté de la coupure. Plus la valeur est faible, moins l'habitacle est éclairé lors du passage du véhicule au droit du projecteur.

Le résultat des essais a conduit à la réalisation du matériel définitif, qui est décrit sur la figure 4.

Fig. 4 - Schéma de principe du projecteur.

La lampe (La) est placée au foyer d'un miroir (M) elliptique. Le flux émis converge sur le second foyer (F). Une lentille conjuguée (Le) transforme le flux issu de son foyer en faisceau parallèle. La coupure supérieure est réalisée par un écran (E). Par contre, on ne matérialise pas la coupure inférieure, la lumière divergente éclairant la chaussée. On place devant la lentille un diffracteur à prisme destiné à élargir et à mieux répartir l'énergie dans le plan horizontal du faisceau.



Optimisation de l'installation

Les essais montrèrent, très rapidement, que le confort de l'usager est meilleur si la surface de la chaussée est partiellement éclairée. La luminance d'adaptation est alors de l'ordre de $0,50 \text{ Cd/m}^2$ (revêtement type R2) et, surtout, on distingue au loin la surface de la chaussée, qui se détache sur les bas-côtés sombres.

Par son action sur l'uniformité longitudinale d'éclairage vertical, c'est essentiellement l'espacement entre les projecteurs qui définit la géométrie de l'installation. La géométrie optimale est obtenue quand l'uniformité est comprise entre 1 et 5. On considère que la géométrie reste acceptable quand l'uniformité atteint 10. Jusqu'à cette dernière limite, l'uniformité de luminance de la chaussée est visuellement satisfaisante. **Dans le cas des géométries étudiées**, les projecteurs sont implantés à 2 m du bord de la chaussée et les espacements convenables sont compris entre 10 et 14 m (fig. 5).

Les résultats expérimentaux obtenus permettent de construire un abaque qui fournit les ordres de grandeur des espacements à mettre en œuvre, pour obtenir l'uniformité voulue, sur l'axe d'une voie choisie, connaissant la distance d'implantation du projecteur par rapport au bord de la chaussée.

Qualification de l'installation

Pour juger des performances de l'éclairage en nappe, nous avons implanté vingt projecteurs espacés de 17 m et placés à 4 m du bord de la chaussée sur la piste d'essais du CETE Normandie-Centre. En raison de la longueur de cette piste (450 m), la vitesse de déplacement des véhicules est limitée à 50 km/h pour les deux-roues, 40 km/h pour les véhicules légers et 20 km/h pour les véhicules lents (camionnette).

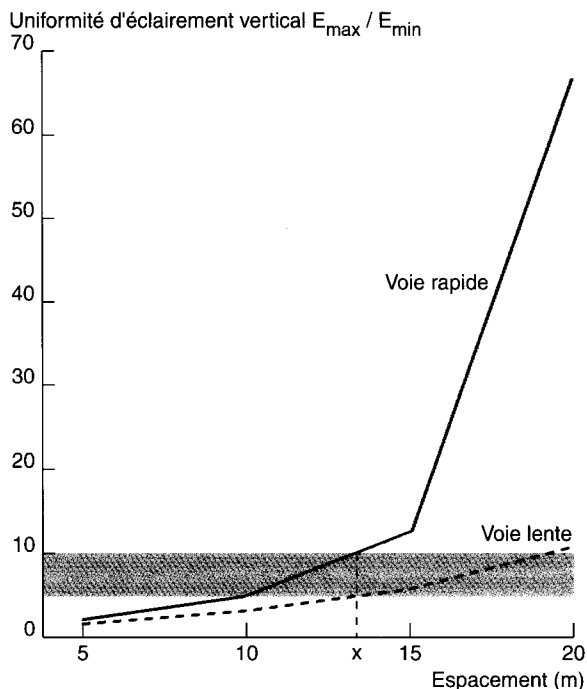


Fig. 5 - Variation de l'uniformité d'éclairage vertical mesuré à 50 cm de hauteur, en fonction de l'espacement.

Une uniformité inférieure ou égale à 5 assure un confort visuel optimal. Une uniformité inférieure à 10 est la limite admissible. Dans le cas ci-dessus, l'espacement idéal serait de 10 m. On peut tolérer un espacement maximal l de x m.

L'objectif de la qualification est de faire estimer, par des observateurs, les qualités et les défauts de l'installation en termes de visibilité des obstacles, des autres usagers et de la signalisation, ainsi qu'en termes de critères de confort visuel. L'appréciation des usagers tient évidemment compte de leur expérience de la conduite nocturne, soit à la lumière des feux de croisement, soit sur des routes éclairées par des luminaires.

Il est prévu de procéder en trois étapes :

- ① une expérience préliminaire avec un nombre de sujets limité à douze,
- ② une expérience d'évaluation avec trente sujets,
- ③ une expérience avec une installation sur site réel,

mais seules les deux premières étapes ont été réalisées pour l'instant.

Expérience préliminaire

L'expérience préliminaire a été conduite comme suit. Les douze sujets sont placés en situation de conduite et parcourent, successivement, la piste éclairée en circulant sur la voie de droite puis sur la voie de gauche. Les conducteurs ne sont pas des spécialistes de l'éclairage. Ils sont accompagnés et leurs commentaires en cours de conduite sont enregistrés. Après le tour de circuit, les conducteurs interrogés précisent et justifient leurs impressions.

La synthèse des *interviews* met en évidence des appréciations convergentes, qu'elles viennent des conducteurs de véhicules ou de deux-roues, mais également quelques différences, qui tiennent souvent compte de l'influence des conditions d'observation (type de véhicule, position de conduite).

Les appréciations étant globalement les mêmes que celles de l'expérience d'évaluation, nous ne les développerons pas.

Expérience d'évaluation

L'expérience préliminaire a également permis de mettre au point un questionnaire répondant de façon plus fidèle aux préoccupations des conducteurs. Une expérience plus lourde a été conduite en s'appuyant sur ce questionnaire et des *interviews* des observateurs. Les points sensibles à explorer concernaient, principalement, la visibilité des piétons et des deux-roues et la gêne éventuellement induite par les projecteurs, soit directement dans l'habitacle, soit indirectement par réflexion dans le rétroviseur.

Les trente sujets ont subi les tests de vision nocturne, en particulier ceux de la sensibilité à l'éblouissement. Divisés en deux groupes de quinze personnes, ils ont utilisé leur propre véhicule et ont circulé soit en peloton, soit isolément.

Le premier groupe a effectué dix tours de piste, l'installation d'éclairage en nappe étant allumée et trois tours de piste l'installation étant éteinte, à la lumière des feux de croisement des véhicules.

Le second groupe a respecté un processus identique avec dix tours de piste éclairée et trois tours de piste à la lumière des feux de croisement, avec en plus trois tours sur la piste éclairée et abondamment arrosée d'eau.

Les situations suivantes ont été étudiées :

- **Sans trafic.** Le sujet roule alternativement sur les deux voies.

- **Détection d'un piéton.**

- Avec trafic : le sujet roule sur la voie de droite, une camionnette roule devant lui sur la voie de gauche et le piéton à détecter circule sur le bas côté droit.

- Sans trafic : Le sujet roule sur la voie de droite et le piéton circule sur le bas-côté gauche.

- **Dépassement à gauche.** Le sujet est dépassé normalement par une moto.

- **Dépassement à droite.** Le sujet roule à gauche et est dépassé à droite par deux véhicules légers qui se suivent.

- **Conduite en peloton.** Le sujet circule sur la voie de droite avec des véhicules devant, derrière et à sa gauche.

• **Poursuite.** Le sujet circule sur la voie de droite et rattrape un deux-roues circulant sur la même voie.

Le questionnaire

Les réponses au questionnaire sont saisies après la réalisation des tours de piste. Le questionnaire comprend treize questions :

- quatre questions concernent les nuisances,
- six questions expriment des comparaisons, du point de vue de la visibilité, avec une installation d'éclairage classique,
- deux questions portent sur les comparaisons, du point de vue de la visibilité des panneaux et des piétons, avec une conduite à la lumière des feux de croisement,
- une question demande à l'observateur quel mode d'éclairage (classique, en nappe, sans éclairage) il souhaiterait voir implanter sur des autoroutes.

Les résultats [3]

L'impression générale est que l'éclairage en nappe est bien accepté par les sujets, et qu'il apporte des avantages incontestables au confort visuel. Les deux-roues y sont particulièrement sensibles. Ils voient mieux, ne sont pas gênés et ont l'impression d'être mieux vus. Ce confort est dû à la luminance d'adaptation assez basse et aux conditions d'observation particulières des conducteurs, dont les yeux se trouvent dans un environnement sombre pour observer une scène plus claire.

Conclusions sur les impressions des conducteurs de véhicules légers

Du point de vue de la visibilité, la chaussée paraît claire et contrastée par rapport à l'environnement, l'impression est confortable. Le marquage horizontal et les panneaux de signalisation sont bien visibles. Les deux-roues et les autres véhicules sont bien visibles et leur identification est facilitée par la perception très nette des feux de stop et des clignotants.

Quand un véhicule circule sur la voie de gauche, il crée une ombre portée sur la voie de droite, mais ce défaut est partiellement compensé par l'éclairage des « feux de croisement » du véhicule doublé.

Lorsque l'on circule à droite et que l'on est doublé à gauche par un véhicule dont l'arrière est un plan vertical et réfléchissant (camion ou camionnette), celui-ci joue le rôle d'un miroir imparfait et réfléchit, pour une position particulière, une partie du flux du projecteur vers l'œil du conducteur doublé. Il est difficile d'apprécier l'amplitude et la fréquence de ce phénomène.

Certains conducteurs, circulant sur la voie de gauche, reçoivent plus ou moins de lumière parasite soit directement dans l'habitacle quand ils

passent au droit d'un projecteur, soit indirectement par réflexion dans le rétroviseur extérieur. La gêne par réflexion dans le rétroviseur extérieur semble plus liée au type de véhicule (hauteur de portière, réglage du rétroviseur) qu'aux caractéristiques visuelles du conducteur évaluées par les tests de vision. Certains conducteurs parlent de « coups de flash » et les jugent gênants. Par contre, sur la voie de droite, ce phénomène s'atténue au point d'être imperceptible. En ce qui concerne le rétroviseur intérieur, on ne remarque pas d'éclat parasite.

Le phénomène de gêne par réflexion dans le rétroviseur peut être réduit, soit en éloignant la ligne de projecteur de l'axe de la voie de gauche, soit en faisant plonger le faisceau de quelques degrés vers la chaussée. Le constructeur du projecteur a prévu d'équiper les appareils de série d'une visière réglable permettant de baisser le niveau de la coupure. Ce dispositif a cependant l'inconvénient de diminuer le flux émis.

Le fait pour le conducteur, de ne distinguer que des « demi-piétons » ne semble pas nuire à leur identification. Cependant, le niveau de visibilité des piétons se déplaçant sur le côté gauche n'est pas constant. Quand le piéton est entre deux projecteurs, il est invisible, car dans une zone d'ombre. Par contre, il est bien discernable quand il est dans le faisceau d'un projecteur.

L'alignement des projecteurs n'est pas gênant dans le rétroviseur intérieur. Les projecteurs sont bien défilés et on ne voit qu'une succession de taches claires. En revanche, cet alignement peut poser des problèmes d'identification de phares suiveurs qui peuvent plus ou moins se confondre avec l'alignement. L'œil est sollicité en permanence par un « bruit visuel » qui annihile l'effet d'appel et nuit à la détection et à l'identification du véhicule suiveur. Il est probable que le phénomène serait encore plus important dans les courbes. Certains conducteurs ont fait remarquer que le phare d'une moto suiveuse se préparant à doubler était mal perçu, car il se confond avec l'alignement des projecteurs. Mais d'autres observateurs assurent ne pas ressentir de gêne dans ce cas.

Conclusions des conducteurs de deux-roues

L'impression des conducteurs de deux-roues est très positive. Ils ont l'impression d'être mieux vus. La chaussée se détachant sur l'environnement sombre est clairement visible. On y distingue mieux ses irrégularités, ce qui est considéré comme une bonne chose pour le freinage. Par ailleurs, les conducteurs de deux-roues, ayant la tête nettement au-dessus de la coupure des projecteurs, ne sont pas du tout gênés par la lumière directe. Au contraire, ils apprécient le fait de ne pas avoir sur la visière de leur casque des reflets dus aux luminaires placés en hauteur.

Conclusion

Une installation d'éclairage en nappe est une solution d'aménagement nocturne, elle a des caractères spécifiques et en aucun cas ne peut remplacer une installation d'éclairage classique par luminaires et candélabres.

On pourrait envisager l'emploi de ce type d'installation dans les sites où l'on doit éviter de placer des sources lumineuses en hauteur. Par exemple, face à des perspectives monumentales, ou sur des ouvrages de franchissement de vallée où l'éclairage doit être exclusivement limité à la chaussée du pont pour ne pas perturber l'environnement.

D'une façon générale, c'est une solution d'éclairage à étudier quand on se heurte, à la fois, à un problème de visibilité d'obstacles et à la nécessité de conserver une note de discrétion de la lumière localisée à la route, pour les usagers extérieurs à celle-ci.

Des études complémentaires par simulation sur ordinateur laissent espérer une efficacité particulière de ce type d'installation pour la visibilité des obstacles dans le brouillard [4]. Si l'on compare les résultats obtenus pour l'éclairage en nappe à ceux d'une installation classique com-

prenant des luminaires placés en hauteur, on constate une augmentation des distances de visibilité, toutes choses égales d'ailleurs, supérieure à 30 %. L'éclairage en nappe pourrait trouver, dans ces zones à risque de brouillard, un champ d'application, soit comme installation spécifique, soit comme installation d'appoint. Les essais sur la piste de Rouen montrent la nécessité d'une évaluation sur un site réel d'au moins 6 km de long, de façon à juger le comportement des conducteurs dans des conditions réelles de conduite.

Au point de vue économique, le coût d'investissement au kilomètre d'une installation d'éclairage en nappe est à peu près du même ordre de grandeur que celui d'une installation classique. Ceci est dû au prix actuel des projecteurs qui est susceptible d'évoluer. Le coût d'entretien et de maintenance est difficile à évaluer, c'est un des paramètres à étudier lors de l'expérience en vraie grandeur sur 6 kilomètres.

L'évaluation finale de l'installation d'éclairage en nappe, liée à l'expérimentation sur site réel, doit porter sur les phénomènes de gêne et, en particulier, sur l'influence de la régularité des flashes sur la voie rapide et sur son incidence sur la fatigue visuelle.

Remerciements.

Nous remercions, pour leur contribution à cette étude, M. Pomero (Directeur des services techniques de la ville de Béziers, Mlle Saad (INRETS), M. Danze (SEEE), M. Leleve (VALEO).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- | | |
|--|--|
| [1] J. MÉNARD (1993), <i>Éclairage en nappe - projet d'étude</i> , Publication du CETE Normandie-Centre. | [3] G. MALATERRE (1995), <i>Évaluation de l'éclairage en nappe</i> , Publication de l'INRETS. |
| [2] Y. LEGRAND (1965), <i>Optique physiologique (Tome 1)</i> , Édition de la Revue d'Optique. | [4] B. MAHEU, C. ROZE, T. GIRASOLE (1995), <i>Éclairage en nappe</i> , Rapport de recherche de l'INSA ROUEN. |

ABSTRACT

Plane beam lighting

J. MÉNARD - G. MALATERRE

The term « plane beam lighting » is used to describe a road lighting installation with lamps located along the carriageway which emit light beams parallel to the pavement surface.

The purpose of the study was to specify the characteristics of the equipment, in particular the lamps, which should be used to achieve the intended performance, and to check that this equipment can be used without an adverse effect on the behaviour and safety of road users.

The experiment which was conducted on a test track showed that, in spite of a number of faults, road user acceptance of plane beam lighting is relatively good. But it is already possible to say that plane beam lighting is not suitable for replacing conventional installations with luminaires and lighting columns and that its use will be confined to situations where only the carriageway needs to be illuminated.