

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 50 (1959)
Heft: 12

Artikel: Éclairage et sécurité de circulation sur les autoroutes
Autor: Boer, J.B. de
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057803>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 25.12.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

ORGANE COMMUN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS (ASE) ET
DE L'UNION DES CENTRALES SUISSES D'ELECTRICITE (UCS)

Eclairage et sécurité de circulation sur les autoroutes

Par J. B. de Boer, Eindhoven

628.971.6 : 625.711.3

La probabilité des accidents nocturnes sur une route bien éclairée est de l'ordre de 70 % de celle sur une route non ou mal éclairée. Une route peut être considérée comme bien éclairée à condition qu'entre autre l'éblouissement soit suffisamment limité et le niveau de l'éclairage soit assez élevé. Une limitation suffisante de l'éblouissement est assurée par l'application des luminaires défilés, de telle façon que pas de lumière soit émise à des directions qui font un angle de 80° ou plus avec la verticale vers le bas. Le niveau d'éclairage sur une route à circulation intense est assez élevé pour assurer en premier lieu une visibilité satisfaisante et en deuxième lieu «l'aise visuelle» des usagers de la route, si la luminance de la surface de la route est au moins égale à 2 cd/m². Ce niveau correspond à un éclairage moyen d'environ 30 lx pour des luminaires non-éblouissantes.

Die Wahrscheinlichkeit von nächtlichen Unfällen auf einer gut beleuchteten Strasse beträgt ungefähr 70 % derjenigen auf nicht oder schlecht beleuchteten Strassen. Die Beleuchtung einer Strasse ist als gut zu betrachten, wenn die Blendung ausreichend begrenzt und das Lichtniveau genügend hoch ist. Eine ausreichende Begrenzung der Blendung ist gesichert durch Verwendung abgeschirmter Leuchten, wobei kein Licht unter Richtungen, die einen Winkel von 80° oder mehr mit der Senkrechten nach unten bilden, ausgestrahlt wird. Das Lichtniveau auf einer Strasse mit regem Verkehr ist genügend hoch, um erstens eine gute Seheleistung und zweitens ein visuelles Wohlbefinden des Strassenbenützers zu gewährleisten, wenn die Leuchtdichte der Strassendecke mindestens gleich 2 cd/m² beträgt. Dieses Niveau entspricht einer mittleren Beleuchtungsstärke von etwa 30 lx bei Verwendung von nicht blendenden Leuchten.

1. Introduction

La conclusion générale tirée des analyses statistiques sur les accidents dans la circulation routière et sur l'influence de l'éclairage public sur la probabilité de tels accidents [1; 2; 3]¹⁾ doit être telle que sans aucun doute l'éclairage public constitue une aide importante aux efforts entrepris dans le but de réduire les dangers de la circulation routière. L'analyse très soignée d'un grand nombre d'accidents montre que l'éclairage public peut entraîner une réduction de l'ordre de 30 % des accidents nocturnes. D'autre part il ne faut pas oublier que cette réduction de 30 % ne peut être attendue que si l'éclairage public est vraiment satisfaisant.

Alors se pose immédiatement la question: quelle norme doit être appliquée à la qualité de l'éclairage public afin que cet éclairage puisse être considéré comme «bon» d'un point de vue de sécurité. Il a été proposé d'étudier cette question sur la base de la fréquence des accidents sur route et d'évaluer la qualité d'un éclairage public selon la mesure dans laquelle l'éclairage permet d'arriver à une sécurité comparable à celle se présentant de jour. En principe une telle définition de la qualité de l'éclairage public semble très exacte et bien déterminée.

Malheureusement cette définition ne se prête pas à l'application dans la pratique de l'éclairage public pour la raison suivante. Si l'on veut baser la qualité d'éclairage sur le rapport de la fréquence des accidents de nuit à ceux de jour, il faut enregistrer un nombre assez élevé d'accidents dans les deux circonstances. Sinon, les chiffres accumulés n'auront

pas de signification eu égard à la dispersion qui se présente inévitablement dans la fréquence des accidents.

On peut rassembler des chiffres assez élevés de deux façons: ou bien faire l'enregistrement pendant une période assez longue ou bien le faire sur un tronçon de route d'essai de longueur suffisante. La première procédure s'élimine en raison des circonstances de trafic se modifiant sans cesse. Reste la deuxième procédure. Or, l'expérience de l'étude statistique des accidents routiers a montré qu'il faut au moins quelques centaines de kilomètres de routes d'essai pour arriver à un nombre d'accidents suffisamment élevé dans un délai assez court, pour que les conditions du trafic sur la route sous étude puissent être considérées comme inchangées. Il n'est pas besoin de dire qu'une telle procédure doit être considérée comme trop coûteuse pour se former un jugement de la qualité d'un certain système d'éclairage. Pour la même raison l'analyse des accidents ne peut pas aboutir à une méthode de recherche adéquate pour l'étude de divers facteurs tels que le niveau moyen, l'éblouissement etc., influençant la qualité d'un système d'éclairage.

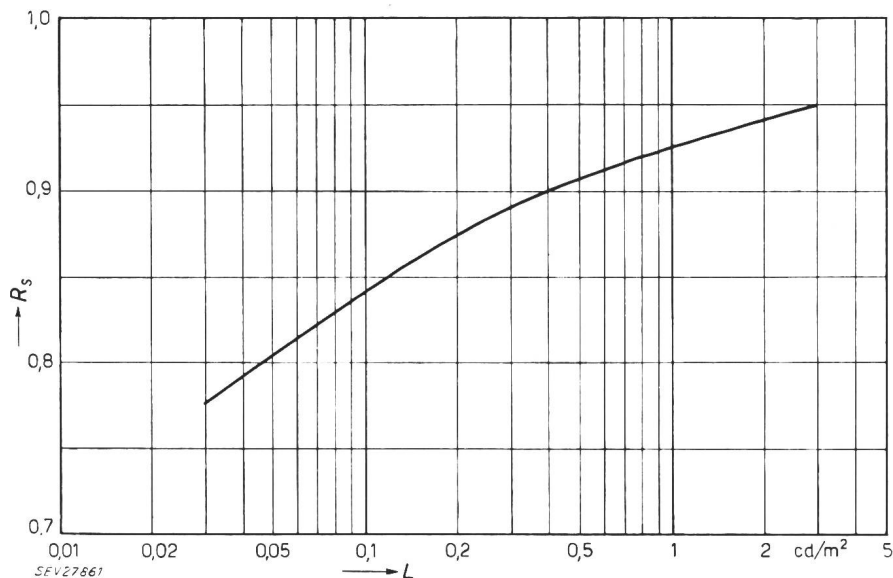
Même si l'objection mentionnée ci-dessus n'existait pas, il est fort douteux si l'étude des critères pour la qualité de l'éclairage public puisse se baser exclusivement sur l'analyse des accidents routiers quant aux considérations de sécurité. Il est très vraisemblable qu'à partir d'une certaine qualité de l'éclairage public, une plus grande réduction du nombre des accidents sera difficile à obtenir, quoique en réalité une amélioration importante du champ visuel de l'utilisateur de la route correspondant

¹⁾ Voir bibliographie à la fin de l'article.

à cette qualité de l'éclairage, soit très bien imaginable et réalisable. Un tel phénomène se manifeste par exemple dans l'éblouissement. Comme il sera encore expliqué plus en détail ci-dessous une certaine limitation de l'éblouissement est nécessaire pour assurer que la visibilité sera optimum pour la luminance moyenne donnée de la surface de la route. Néanmoins dans le but d'éliminer la gêne provoquée par l'inconfort de l'éblouissement il est nécessaire d'aller encore plus loin dans la limitation de l'éblouissement. Une influence d'une telle limitation plus rigoureuse sur la réduction du nombre des accidents, ne pourra pas être constatée. Un pareil raisonnement est valable par exemple pour l'uniformité de luminance de la surface routière.

De telles considérations semblent montrer qu'à la situation actuelle dans l'éclairage public, c'est-à-dire, tenant compte du développement et des possibilités d'aujourd'hui dans ce domaine, la voie la plus directe vers la technique d'éclairage la plus appropriée pour assurer l'optimum de sécurité routière, est celle de l'étude des conditions visuelles dans le champ d'observation de l'utilisateur de la

Fig. 1
Rapport R_s des sensibilités aux contrastes (avec et sans éblouissement) en fonction de la luminance L du revêtement



route. En effectuant une telle étude on se trouve bientôt amené à considérer les facteurs les plus importants déterminant la qualité de l'éclairage public, facteurs tels que le niveau de l'éclairage, l'éblouissement, l'uniformité de la luminance de la route et la couleur de la lumière. A titre d'exemple nous donnerons dans ce qui suit un aperçu de quelques résultats de recherches exécutées et partiellement encore en cours dans le Laboratoire d'Éclairagisme de Philips à Eindhoven, Pays Bas et à Turnhout, Belgique. Pour rester dans le cadre de cette communication nous nous limitons aux sujets «éblouissement» et «niveau de l'éclairage».

2. L'éblouissement

L'éblouissement occasionné par l'éclairage routier se manifeste de 2 façons, à savoir par une diminution des performances visuelles et par une sensation de malaise qui, à la longue, devient de la fatigue et mène ainsi à une régression de la capacité de perception. La première forme d'éblouissement — définie comme «disability glare» dans la littérature anglo-américaine — peut être, par voie expérimentale, nettement distinguée de la seconde forme d'éblouissement — «discomfort glare». Dans des cas notamment où l'éblouissement est tellement faible qu'il est difficile de constater une régression des performances visuelles — constatation que l'on peut établir par exemple par des mesures de la sensibilité

au contraste, de l'acuité visuelle ou de la vitesse de réaction — on peut néanmoins éprouver cette sensation de malaise. On peut en conclure inversement que si l'éblouissement ne nuit pas au confort visuel, il n'y a certes pas à craindre non plus une diminution de la capacité de perception.

A cause de l'importance de cette conclusion, nous allons en donner ci-après une exposition plus détaillée, et à cet effet mettons à contribution les résultats trouvés lors de mesures de la performance visuelle et de l'éblouissement sur une route d'essai [4]. On a pu déterminer la sensibilité aux contrastes, l'acuité visuelle et la vitesse de réaction pour différentes luminances du revêtement routier et des sources éblouissantes. Outre ces essais de visibilité, des

observations ont été faites par un grand nombre de personnes quant à l'éblouissement admissible en tenant compte du confort visuel.

Comme dans la circulation routière le contraste joue un grand rôle dans la perception, les mesures concernant la sensibilité aux contrastes sont à regarder comme un exemple particulier. Elles ont été effectuées pour différentes luminances du revêtement, tant avec que sans éblouissement. L'éblouissement était assez fort. L'éclairement sur l'œil de l'observateur était environ le triple de la valeur «satisfaisante». (Par valeur «satisfaisante» nous entendons la moyenne de l'éblouissement qui a été éprouvé par les observateurs comme étant encore supportable.) Des détails sur ce degré d'éblouissement, que nous avons désigné ici d'une manière encore assez vague, vont suivre dans le cours de notre exposé.

Le rapport trouvé pour les deux sensibilités aux contrastes (à savoir avec et sans éblouissement) a été consigné dans la fig. 1 en fonction de la luminance moyenne du revêtement. Pour une luminance routière de 2 cd/m² la sensibilité aux contrastes dans le cas d'éblouissement, n'est que de 6% inférieure à celle trouvée dans l'absence d'éblouissement. Cela s'applique même dans le cas où l'éclairement sur l'œil de l'observateur s'élève au triple de la valeur limite admissible eu égard au confort visuel. Dans ces conditions et même pour une luminance du re-

vêtement de seulement $0,4 \text{ cd/m}^2$, la diminution de la sensibilité aux contrastes ne dépasse toujours pas 10 %.

Il a été dit ci-dessus qu'on n'a pas à se soucier de l'amointrissement de la performance visuelle à condition que l'éblouissement demeure à l'intérieur des limites de la valeur «satisfaisante». Mais comment ces limites peuvent-elles être déterminées?

Les essais requis à cet effet peuvent en grande partie être effectués en laboratoire; les résultats ainsi acquis doivent cependant être vérifiés dans des circonstances qui se rapprochent le plus possible de celles d'une route éclairée normalement [4; 5; 6; 7]. Pour ces essais, on procède de la façon suivante:

- ou bien, on montre aux observateurs un mode d'éclairage et on demande leur avis sur l'éblouissement subi,
- ou bien on leur donne l'occasion de modifier un des facteurs influençant l'éblouissement — par exemple l'éclairage produit par les sources de lumière éblouissantes, sur l'œil des observateurs.

Les observateurs peuvent dès lors régler eux-mêmes l'éblouissement sur une limite définie préalablement. Dans le premier cas, où l'on demande à connaître l'avis des observateurs, il y a lieu de définir clairement à ceux-ci une limite d'éblouissement maximum admissible et leur avis consiste donc à établir si, d'après eux, l'éblouissement se situe en dessous ou au-dessus de cette limite. Il est très important dans ce cas, que la limite d'éblouissement en question soit définie d'une façon qui ne prête pas à équivoque. Ainsi par exemple, la limite à laquelle l'éblouissement subi peut être considéré comme «satisfaisant» sera définie comme suit: «quoiqu'un

certain éblouissement puisse être constaté, vous n'en éprouverez, en tant qu'automobiliste, aucune gêne, même après un certain temps, tandis qu'une faible augmentation de l'éblouissement occasionnerait à la longue de la fatigue».

Il est évident qu'en dépit de toutes les précautions prises lors de tels essais, les résultats montreront que les avis individuels sont très partagés, tandis qu'aussi bien l'avis d'un seul et même observateur sur une même situation, sera sujette à de sensibles variantes. Afin d'arriver à un résultat quelque peu sûr, il y aura donc lieu de faire effectuer par un grand nombre d'observateurs, un grand nombre d'observations.

La fig. 2 donne le résultat d'essai sur l'éblouissement admissible produit par une seule source lumineuse. Cette figure donne l'éclairage E_b maximum qu'une source lumineuse peut provoquer sur l'œil d'un observateur, pour que celui-ci considère encore d'après la définition donnée l'éblouissement subi comme «satisfaisant». L'éclairage E_b est donné en fonction de la luminance moyenne du revêtement routier L et de l'angle δ entre la ligne de jonction œil-source lumineuse et le plan horizontal. L'angle solide ω sous lequel l'observateur perçoit la source lumineuse, est le paramètre. La figure donne l'éclairage E_b admissible pour 3 valeurs de cet angle solide ω . Il est évident que la gêne provoquée par l'éblouissement augmente à mesure que l'éclairage sur l'œil E_b augmente. Chacune des 3 surfaces courbées donne une combinaison de situations, où l'éblouissement subi correspond avec la limite admissible, en vue du «discomfort glare». Il en résulte que si l'éblouissement subi était renforcé par un accroissement de l'éclairage E_b , cette augmentation de l'éblouissement pourrait, à nouveau, être neutralisée par une modification des 3 autres facteurs, ce qui serait possible par:

- a) une augmentation de la luminance moyenne L du revêtement routier, ou
- b) une augmentation de l'angle δ (en éloignant davantage la source lumineuse de la partie centrale du champ visuel), ou
- c) une augmentation de la surface produisant l'angle solide ω .

Cela signifie donc aussi que l'éblouissement provoqué par une source lumineuse est, pour une valeur déterminée de l'éclairage, plus faible au fur et à mesure que la luminance du revêtement routier est plus grande, que la source lumineuse est plus éloignée de la partie centrale du champ visuel, et que la source lumineuse est plus grande.

En matière d'éclairage routier, l'éblouissement est pratiquement toujours occasionné par un grand nombre de sources lumineuses. Si une de ces sources lumineuses provoque sur l'œil de l'observateur, un éclairage correspondant, d'après la fig. 2, à la limite «satisfaisant», le degré d'éblouissement correspondant à cette limite serait par conséquent dépassé, si d'autres sources lumineuses également contribuaient à l'éclairage sur l'œil. Si:

$E_{b,n}$ est le plus grand éclairage sur l'œil pouvant être produit par la n^{e} source lumineuse, dont la limite correspond, d'après la fig. 2, à l'impression «satisfaisant», et si

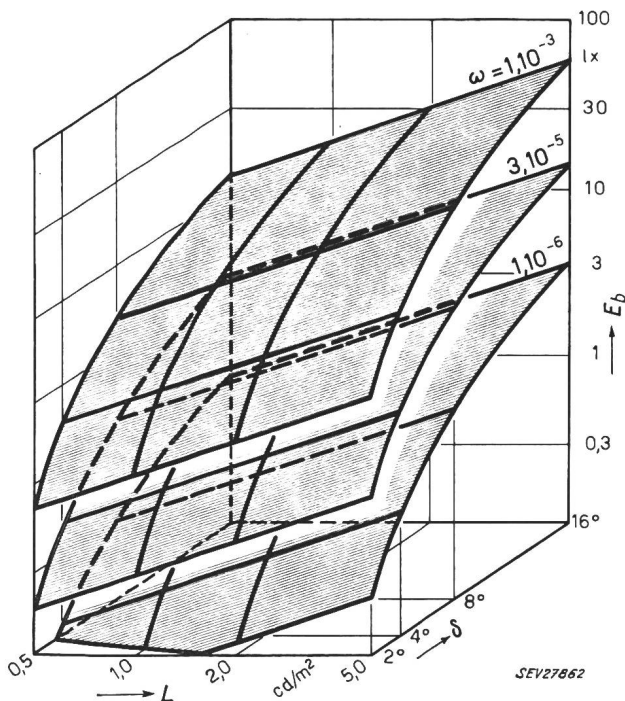


Fig. 2

L'éclairage sur l'œil E_b , provoqué par une seule source lumineuse, correspondant au critère d'éblouissement «satisfaisant» en fonction de la luminance moyenne L du revêtement routier et de l'angle δ entre la ligne de jonction œil-source lumineuse et le plan horizontal pour quelques valeurs de l'angle solide ω sous lequel est vue la source lumineuse

$E_{w,n}$ est l'éclairement réel sur l'œil, provenant de la n^e source,

les résultats des recherches effectuées jusqu'à présent sur l'éblouissement par plusieurs sources lumineuses simultanées, montrent que la limite d'éblouissement «satisfaisant» n'est pas dépassée tant que la somme de tous les rapports $E_{w,n}$ à $E_{b,n}$ reste en dessous de 1. On obtient ainsi la formule:

$$\sum_{n=1}^{n=N} \frac{E_{w,n}}{E_{b,n}} \leq 1$$

Il ressort de ce qui précède que la luminance moyenne du revêtement routier étant connue, on peut calculer quel éclairement maximum les différentes sources lumineuses peuvent provoquer sur l'œil de l'utilisateur de la route, pour que la limite ad-

Un autre groupe de courbes calculé pour la même combinaison de luminaires et de surface de route donne la luminance moyenne réelle en fonction des mêmes paramètres. Si pour une installation donnée la luminance réelle selon le deuxième groupe de courbes dépasse celle nécessaire pour compenser l'éblouissement d'après les courbes du premier groupe, l'installation peut être considérée comme convenable. Il nous faut toutefois nous borner ici à ces indications et renvoyer à la littérature [7] pour des renseignements plus détaillés.

3. Le niveau d'éclairage

L'influence du niveau d'éclairage sur les possibilités de perception visuelle apparaît clairement lors de l'opposition de deux images extrêmes, celle



Fig. 3

Partie du laboratoire en plein air avec anneaux de Landolt comme objets d'essai

missible de malaise ne soit pas dépassée. Quoique faisables ces calculs prennent beaucoup de temps et pour cette raison ils ne conviennent pas très bien à la pratique quotidienne de l'éclairage public. Une méthode plus simple consiste à calculer, sur la base des recherches décrites ci-dessus, des courbes qui donnent une fois pour toutes la luminance moyenne de la route, nécessaire pour compenser jusqu'au degré «satisfaisant» l'inconfort de l'éblouissement, en fonction de la hauteur de suspension et de l'espacement des luminaires. Un tel groupe de courbes peut être calculé pour chaque combinaison de luminaires et de surface de route que l'on veut considérer.

notamment d'une voie de communication éclairée exclusivement par la pleine lune, et celle de la même voie en plein jour. Dans ce dernier cas, il est indubitable que le niveau d'éclairage est suffisant pour atteindre une bonne visibilité. Par contre, une voie de communication éclairée par la seule lumière de la pleine lune, ne peut offrir une sécurité suffisante qu'à un chauffeur ayant une vue particulièrement bonne et qui se trouve être à ce moment seul usager de la route; ce niveau d'éclairage devient nettement insuffisant pour une circulation sûre, dès que plusieurs véhicules se trouvent sur la route et surtout lorsqu'ils circulent en sens opposé.

Il s'agit de savoir où, entre les deux extrêmes, se trouve la limite du niveau d'éclairage qu'il faut observer pour empêcher qu'une visibilité insuffisante vienne compromettre la sécurité routière.

Avant de chercher une réponse à cette question dans un sens absolu, considérons tout d'abord quelques effets relatifs du niveau d'éclairage sur les performances de l'œil humain. Dans ce but nous avons exécuté une série d'essais partiellement dans notre laboratoire en plein air, partiellement sur routes normales, auxquelles nous avons appliqué un critère de visibilité qui était convenable d'un point de vue expérimental, c'est-à-dire un critère qui permettait d'être mesuré d'une façon pas trop compliquée et assez reproductible.

Nous avons trouvé un tel critère dans la distance sur laquelle l'ouverture des anneaux de Landolt pouvait être vue. La fig. 3 montre une partie de la route d'essais, telle qu'elle est vue par les observateurs, et pourvue d'un grand nombre d'anneaux de Landolt d'un diamètre de 16 cm et d'une surface mate avec un facteur de réflexion d'environ 9%. Comme «distance de visibilité» nous avons toujours pris la distance à laquelle dans 80% des observations l'ouverture avait été exactement décelée par les observateurs. Bien entendu: une telle tâche visuelle est plus sévère que celles devant lesquelles l'utilisateur d'une voiture se trouve normalement. C'est là la raison pour laquelle les résultats de tels essais

ne peuvent servir qu'à l'étude de l'influence relative sur la visibilité de certaines caractéristiques de l'éclairage comme par exemple le niveau, la couleur, etc.

La fig. 4 donne la susdite «distance de visibilité» l en fonction de la luminance L de la surface routière.

Ainsi qu'il ressort des annexes de la fig. 4, les mesures ont été effectuées sur des installations d'éclairage équipées de différentes sources lumineuses. (Lampes à vapeur de sodium, à vapeur de mercure à haute pression à lumière corrigée, lampes fluorescentes et à incandescence.) Chaque résultat, donné dans la fig. 4 sous forme d'une croix, d'un cercle, d'un triangle ou d'un carré, représente la moyenne de 200 observations pour une même installation d'éclairage routier. Quoique des différences importantes aient été relevées dans le cas de sources lumineuses différentes, il faut se borner ici à indiquer le résultat comme une moyenne. (Voir la courbe en pointillé de la fig. 4.) Selon cette courbe, la distance de visibilité définie plus haut peut être augmentée de 10%, lorsque la luminance moyenne du revêtement routier est doublée.

Signalons à titre comparatif, que des calculs ont été faits sur la base des résultats trouvés en laboratoire par *Balder et Fortuin* [8] lors de mesures sur la sensibilité au contraste et l'acuité visuelle. On a calculé les distances auxquelles les anneaux devraient être visibles dans des circonstances identiques à celles dans lesquelles eurent lieu les expériences sur la route (luminance du revêtement routier environ 5 fois la luminance de l'objet, temps d'observations au moins 1 seconde). Les trois courbes de la fig. 4 sont valables pour le contraste moyen des anneaux de Landolt présent lors des essais sur la route. La courbe supérieure est valable pour des observateurs de 15 à 24 ans (l'âge moyen des personnes ayant collaboré aux expériences sur la route est de 25 ans), la courbe moyenne est valable comme moyenne pour un groupe d'observateurs dans lequel tous les âges de 15 à 64 ans sont également représentés, tandis qu'enfin, la courbe inférieure donne le résultat pour des observateurs dont l'âge varie entre 55 et 64 ans.

Tant les essais sur route qu'en laboratoire montrent que la distance à laquelle des objets sur la route sont perceptibles augmente considérablement lorsque la luminance du revêtement routier s'accroît; cette constatation reste valable dans tout le domaine de luminances considéré.

Un facteur qui, du point de vue de la sécurité routière est de grande importance et qui ressort clairement des observations en laboratoire représentées par la fig. 4, est l'influence de l'âge de l'observateur sur ses performances visuelles. Il en découle que, pour une luminance de 2 cd/m^2 , la distance de visibilité pour les conducteurs diminue de 6 à 7% par décennie de vieillissement de l'intéressé; inversement, la perte de visibilité par décennie de vieillissement peut être compensée en augmentant le niveau de l'éclairage de 1,5 fois. Un niveau d'éclairage suffisant est donc particulièrement important pour une bonne visibilité dans la circulation, surtout pour les conducteurs âgés.

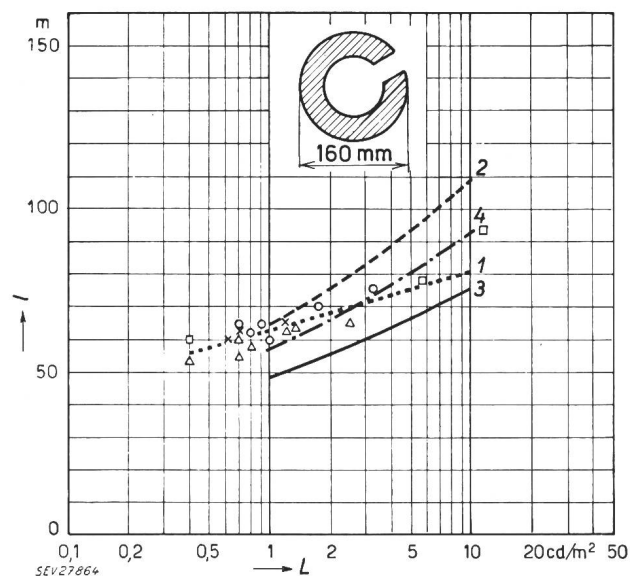


Fig. 4

Distance l , à laquelle la position de l'ouverture des anneaux de Landolt est dans 80% des observations, perçue en fonction de la luminance du revêtement routier L

- 1 Résultats de mesures de la lumière de sources lumineuses indiqués et courbe correspondante
- X lampe à incandescence
- O lampe à vapeur de mercure à haute pression à lumière corrigée
- Δ lampe à mercure à ballon fluorescent
- tube fluorescent
- 2 calculé d'après *Balder et Fortuin* (8) pour observateurs de 15 à 24 ans
- 3 calculé d'après *Balder et Fortuin* (8) pour observateurs de 55 à 64 ans
- 4 calculé d'après *Balder et Fortuin* (8) pour observateurs de 15 à 64 ans

Tandis que des essais comme ceux décrits ci-dessus donnent des renseignements très valables sur les effets relatifs à certaines caractéristiques de l'éclairage, il faut s'occuper de tâches visuelles plus semblables à celles qui sont importantes du point de vue «sécurité sur route», pour trouver des indications sur les valeurs absolues du niveau d'éclairage souhaitable.

Nous trouvons dans la bibliographie deux expériences dont les résultats donnent une réponse à la question de savoir quel niveau d'éclairage est requis, du point de vue sécurité de la circulation, pour garantir une possibilité d'observation minimum [9; 4].

Sans approfondir les détails de ces recherches, nous pouvons signaler que, dans les deux cas, des observations avaient été faites par un certain nombre de personnes dans une rue éclairée, sur des objets dont le rapport de la luminance à celle du fond sur lequel ils se détachaient — dans ce cas donc sur une partie du revêtement routier — pouvait être modifié et était connu.

Les recherches de *Dunbar* [9] se rapportaient à des observateurs qui avaient perçu les objets, alors qu'ils étaient assis dans une voiture en marche, tandis que les expériences citées sous [4] se rapportaient à des observateurs à l'arrêt, qui ignoraient cependant où les objets se présenteraient. Pour ces dernières expériences, on s'était servi d'objets de 28×28 cm, à des distances allant de 50 à 200 m. Les dimensions apparentes des objets de *Dunbar* étaient d'environ 1,5 fois plus grandes.

Le résultat le plus intéressant pour notre propos est la corrélation entre la luminance du revêtement routier et le contraste nécessaire à l'observation. Le contraste est défini ici comme le rapport R_L de la luminance du revêtement routier à celle des objets à percevoir.

Les résultats des dites expériences sont résumés dans les courbes de la fig. 5; ils offrent un élément de base pour la fixation d'une limite minimum de la luminance du revêtement routier en vue d'un bon éclairage routier. Si l'on adopte en effet comme critère qu'un objet de 20×20 cm doit être nettement perceptible pour un usager de la route à une distance de 100 m, même si la luminance de cet objet atteint les $\frac{2}{3}$ de celle du fond, il ressort de la fig. 5 que la luminance moyenne du revêtement routier doit être de 2 cd/m^2 au moins.

Ce critère implique déjà le choix de deux grandeurs, notamment la grandeur de l'objet et la luminance de cet objet par rapport à l'arrière plan, ces deux grandeurs influençant la conclusion en ce qui concerne la luminance du revêtement routier. Il est évident qu'une plus grande luminance du revêtement routier s'avérerait nécessaire, si l'on désirait que de plus petits objets que ceux de l'exemple soient nettement perceptibles, ou s'il fallait tenir compte d'objets dont le contraste, par rapport au revêtement routier, serait encore inférieur au rapport de luminance cité de 2 : 3. D'ailleurs, il est certain qu'en vue de la sécurité routière, on ne peut négliger des objets de la grandeur citée et la pratique de l'éclairage routier apprend qu'il est assez souvent difficile de maintenir les différences de la luminance de l'objet et celle du revêtement routier

au dessus du rapport cité de 2 : 3. On peut dire aussi que les conclusions tirées des considérations ci-dessus n'aboutiront certainement pas à des exigences trop sévères.

Très récemment, nous avons exécuté une nouvelle série d'observations dans des conditions cinétiques afin de vérifier directement les conclusions tirées de la fig. 5.

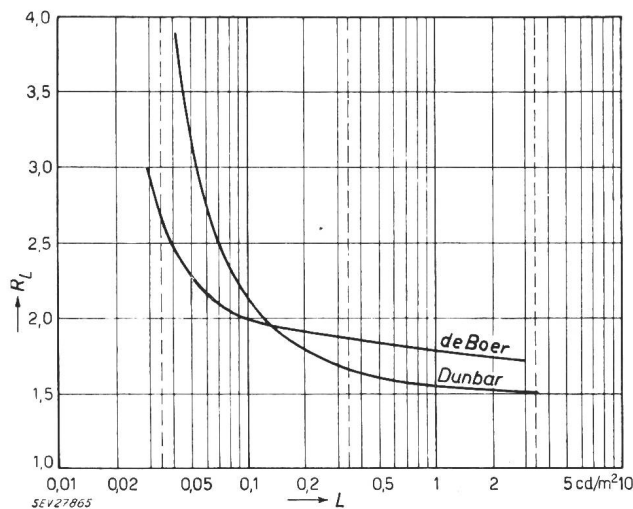


Fig. 5
Rapport R_L minimum entre la luminance du revêtement routier et la luminance de l'objet, requis pour que des objets d'environ 30×30 cm soient, à des distances de 50 à 200 m, perceptibles pour un observateur dans des conditions de trafic routier normal, en fonction de la luminance du revêtement routier L .

Des observateurs placés dans une voiture automobile, roulant à une vitesse de 50 km/h, ont examiné à quelle distance pouvait être vu un écran mat de 20×20 cm (facteur de réflexion 9%) dans quelques installations existantes. Dans chaque rue avaient été installés deux objets d'essai. Le rapport R_L de la luminance du revêtement à celle des objets d'essai variait entre 3 et 7,5. Chaque point dans la fig. 6 représente la distance de visibilité moyenne l , mesurée dans une seule rue par 4 observateurs (âgés de 24, de 29, de 30 et de 40 ans).

En plus cette figure comprend une courbe calculée de données inédites de *Balder et Fortuin* [8] sur la mesure des valeurs de seuil pour la lumière incandescente, à une valeur du rapport R_L de 5, à un temps d'observation de 0,1 s et effectuée par des observateurs dont l'âge s'échelonnait régulièrement entre 15 et 64 ans. Les résultats des essais dynamiques ont été traduits par une ligne pleine passant par leur centre de gravité, parallèlement à la pente montrée par la courbe calculée à la valeur de 1 cd/m^2 .

Les conclusions qui en résultent peuvent à nouveau être basées sur l'exigence qu'un objet d'essai de 20×20 cm, dont la luminance s'élève aux $\frac{2}{3}$ de celle du fond ($R_L = 1,5$), doive être visible à une distance d'au moins 100 m. D'après des résultats inédits de *Balder et Fortuin* [8], obtenus avec des lampes à incandescence, il appert que pour l'observation d'un objet dont l'effet de contraste est équivalent à $R_L = 1,5$, une luminance est requise qui soit plus de 4 fois supérieure à celle requise pour un effet de contraste équivalent à $R_L = 5$. Cela est vrai pour une luminance d'environ 1 cd/m^2 , et un

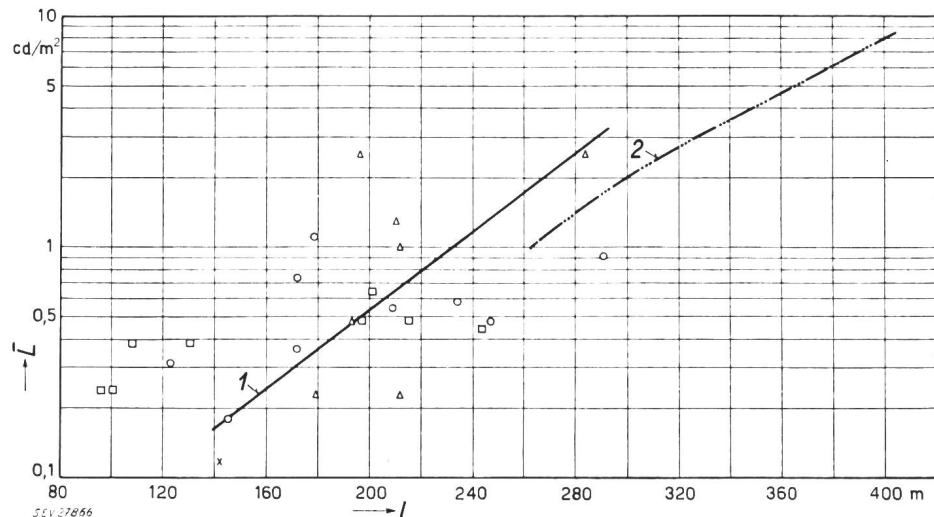
temps d'observation de 0,1 s et constitue une moyenne pour un groupe d'observateurs dont les âges se situent régulièrement entre 15 et 64 ans.

On doit également compter avec le fait que dans les essais dynamiques, les observateurs s'attendent à voir apparaître un objet quelconque. Roper [10] a constaté pour l'éclairage automobile que les obser-

Une toute autre façon de se former une opinion concernant le niveau requis pour un bon éclairage routier consiste à chercher le niveau auquel l'utilisateur moyen de la route, en prenant part au trafic, se sent à son aise sans qu'il lui soit nécessaire de faire usage de ses projecteurs d'auto. On peut se demander si une telle recherche va donner des résultats qui

Fig. 6
Essais de visibilité cinétiques

- 1 Résultat moyen d'installations existantes
- 2 Calculés d'après les essais stationnaires à l'intérieur
- x lampe à incandescence
- o lampe à vapeur de sodium
- △ lampe à vapeur de mercure
- tube fluorescent



vateurs qui s'attendent à voir surgir un objet quelconque dans leur champ de vision, perçoivent les objets 2 fois plus loin que dans le cas où ils ne sont pas prévenus. Admettant que ce facteur puisse également être appliqué dans le cas de l'éclairage

soient vraiment liés à la question de la sécurité du trafic. Nous croyons pouvoir répondre affirmativement à cette question parce qu'on ne pourra obtenir une circulation routière dans laquelle la sécurité est condition sine qua non, que si les conducteurs des véhicules ne se trouvent pas continuellement placés dans des situations dans lesquelles ils sont mentalement surchargés. Cela signifie que si les tâches visuelles demandées aux conducteurs peuvent être accomplies d'une façon tranquille et facile, alors seulement on peut être assuré que toutes leurs manœuvres de conduite resteront loin des mesures d'urgence qui, dans les cas le plus favorable, permettent encore d'échapper de justesse à l'accident.

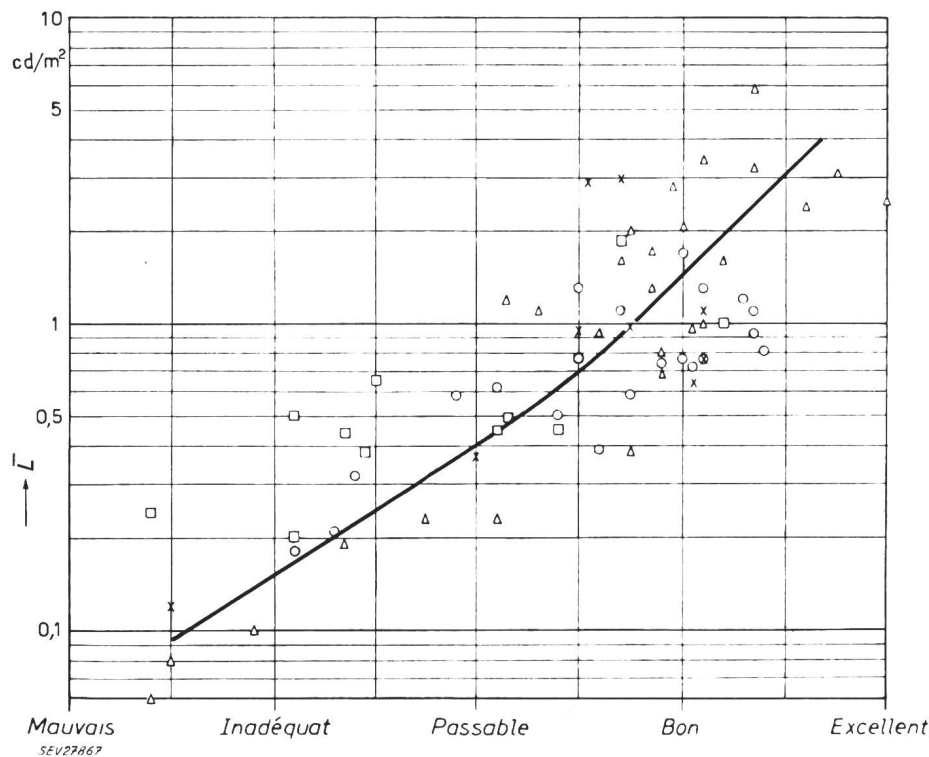


Fig. 7
Appréciations de la surface de route du niveau de luminance

- x lampe à incandescence
- o lampe à vapeur de sodium
- △ lampe à vapeur de mercure
- tube fluorescent

public, cela revient à dire que pour la luminance moyenne de la surface de la route, il faut recommander une valeur qui soit 4 fois celle qu'on a trouvée en fig. 6 pour $l = 200$ m, autrement dit une valeur moyenne de $2,2 \text{ cd/m}^2$.

De deux façons, nous avons essayé de trouver des renseignements quantitatifs sur le niveau d'éclairage auquel cet «état de tranquillité» pour l'utilisateur routier pourra être obtenu. Tout d'abord, en questionnant tout simplement un nombre d'observateurs

qualifiés sur leur opinion subjective concernant le niveau présent dans diverses installations existantes et deuxièmement en enregistrant le comportement des conducteurs des véhicules en ce qui concerne l'usage de leurs divers feux sous différentes conditions d'éclairage.

Dans la première série d'essais, on a demandé l'opinion des observateurs qui regardaient l'installation à qualifier de la piste suivie par un conducteur, si selon leur opinion le niveau pouvait être considéré comme mauvais, inadéquat, passable, bon ou excellent ou bien comme une qualification entre deux des qualifications successives. Au total 70 rues et routes, dont 46 par temp sec, furent évaluées par un groupe de 6 observateurs de notre laboratoire et partiellement par un groupe comprenant 10 ingénieurs responsables pour l'éclairage public de quelques villes importantes des Pays Bas. Les évaluations des groupes montraient une concordance très satisfaisante.

Les résultats les plus importants de ces évaluations ont été donnés dans la fig. 7. Ici la moyenne des jugements individuels de tous les 16 observateurs (qui pouvait être calculée en attribuant les chiffres 1 à 9 aux qualifications mentionnées ci-dessus) a été donnée en fonction du niveau de l'éclairage exprimé dans la luminance moyenne du revêtement cd/m^2 . La relation entre la qualification

pendant la nuit sur un certain nombre de routes éclairées, artificiellement. On a déterminé à quel niveau d'éclairage, soit de la lumière diurne, soit éventuellement aussi de la lumière artificielle, les automobilistes faisaient usage de leurs projecteurs, en allumant leurs feux de position, ou leurs feux de route ou de code. Pour ce qui est des mesures en lumière diurne, on a enregistré en outre une caractéristique du décroissement de la lumière du jour en fonction du temps, afin de pouvoir donner sous forme de graphique le nombre d'automobilistes pointés dans chaque catégorie en fonction du niveau d'éclairage. Ces dénombrements ont toujours été faits sur des routes à très faible trafic, pour éviter notamment autant que possible les influences mutuelles. En effet, il est établi que si, sur des routes de grand trafic, un automobiliste allume ses feux de position ou ses projecteurs, de nombreux autres suivent immédiatement son exemple; dans ce cas, les résultats ne seraient pas valables pour l'usager de la route moyen. Au total, 900 voitures environ avaient été comptées pendant le crépuscule.

Les résultats de ces enregistrements sont reproduits dans la fig. 8, où le nombre relevé d'automobilistes roulant sans éclairage ou avec certains feux allumés, exprimé en pourcentages du nombre total compté pour chaque luminance, est donné en cd/m^2 en fonction du niveau de luminance de revêtement routier. La luminance du revêtement routier est,

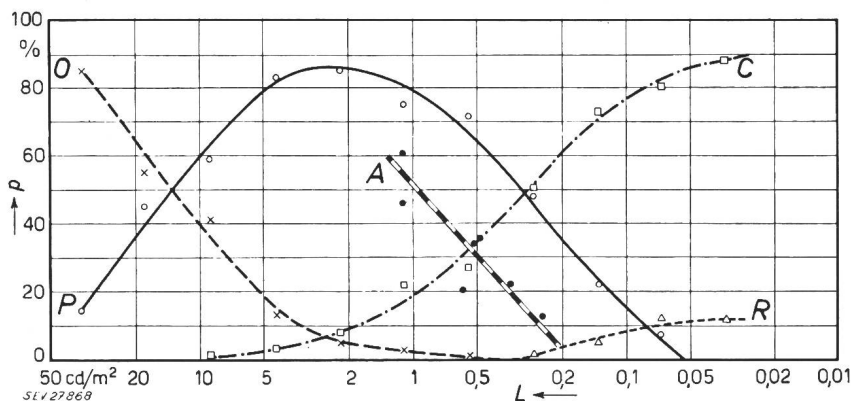


Fig. 8
Nombre de voitures p en % roulant avec les diverses possibilités d'éclairage automobile en fonction de la luminance du revêtement routier L

- O voitures roulant sans lumière
 - P voitures roulant avec feux de position
 - C voitures roulant avec projecteurs sur faisceau de croisement
 - R voitures roulant avec projecteurs sur faisceau route
 - A voitures roulant avec feux de position sur des routes éclairées à la lumière artificielle
- } à la lumière diurne
} pendant la nuit

moyenne et la luminance a été traduite par la ligne de la fig. 7. Cette ligne montre que le niveau est qualifié comme «bon» si la luminance de la route est de $1,5 \text{ cd/m}^2$ (entre $1,3$ et $1,8 \text{ cd/m}^2$ au niveau de certitude de 95 %). En considérant cette valeur, il faut tenir compte du fait que le jugement des observateurs est inévitablement lié au caractère de la route considérée. Une route d'importance moyenne comme artère de trafic sera jugée d'une autre façon qu'une route de circulation très dense. Parmi les 70 installations jugées se trouvaient 28 installations d'une faible importance du point de vue trafic. On peut s'attendre à ce que ces dernières recevraient déjà la qualification «bon» à un niveau plus bas de la luminance.

En deuxième lieu nous avons fait des enregistrements sur le comportement des conducteurs de véhicules à différents niveaux d'éclairage.

A cette fin, des enregistrements ont été faits sur une grande échelle à la tombée du jour, et en outre,

conformément à la luminance décroissante pendant le crépuscule, rendue par une échelle décroissante. La courbe O donne le nombre d'automobilistes roulant sans lumière; à un niveau de 50 cd/m^2 et plus, tout le monde pratiquement roule sans lumière. Lorsque le niveau descend à environ 5 cd/m^2 , 80 % environ des usagers de la route estiment que la lumière du jour n'est plus suffisante pour tous les besoins. Pour cette raison, ils allument leurs feux de position mais non leurs projecteurs, estimant que la visibilité est encore suffisante. La courbe P montre qu'à un niveau situé entre 5 et 1 cd/m^2 , plus de 80 % des automobilistes roulent avec leurs feux de position. La courbe C donne le nombre d'automobilistes qui utilisent leurs projecteurs en code. Lorsque la luminance du revêtement routier tombe à 1 cd/m^2 , 20 % du nombre total des automobilistes trouvent le niveau d'éclairage tellement bas, qu'ils estiment ne plus pouvoir y voir suffisamment et avoir besoin d'allumer leurs projecteurs. Ce nombre

augmente progressivement, lorsque la luminance descend en dessous de 1 cd/m^2 .

L'éclairage public usuel d'une route crée des situations différentes par rapport à celles du crépuscule parce que dans le premier cas:

- a) il y a éblouissement;
- b) la luminance du revêtement routier n'est pas tout à fait uniforme;
- c) seule la route éclairée, avec de chaque côté tout au plus une bande de quelques mètres de largeur, est perceptible.

Dans quelle mesure, le niveau auquel l'automobiliste moyen estime ne plus y voir suffisamment, est-il influencé par ces trois facteurs, défavorables à la qualité de l'éclairage? Les résultats des enregistrements faits sur 7 routes éclairées, indiquées par des points noirs dans la fig. 8, répondent à cette question; ces résultats peuvent être exprimés approximativement par la ligne A de cette même figure. Il s'agissait chaque fois de routes éclairées sur un parcours d'au moins quelques kilomètres, et où l'éclairage au moyen des feux de position n'était pas imposé par panneaux spéciaux. Il y a lieu de signaler à ce sujet qu'aux Pays Bas, il n'est pas d'usage, comme en Belgique et en France, de rouler dans chaque rue éclairée, avec ses seuls feux de position.

Il en ressort que 80 % du nombre total des automobilistes sont persuadés de pouvoir rouler en toute sécurité avec uniquement leurs feux de position allumés, sous un éclairage artificiel d'un niveau supérieur à environ 2 cd/m^2 . L'interdiction de se servir des projecteurs en cas de trafic intense — interdiction indispensable en vue de la sécurité routière — n'est justifiée que si le niveau de luminance est de 2 cd/m^2 au moins.

4. Conclusions et conséquences pour la pratique de l'éclairage

En résumant ce qui précède nous pouvons formuler les conclusions suivantes.

1. Les statistiques sur les accidents routiers montrent que la probabilité des accidents nocturnes sur une route bien éclairée est de l'ordre de 70 % de celle qui est observée sur une route non ou mal éclairée.

2. Pour qu'une installation d'éclairage public puisse être qualifiée comme «bonne» il faut entre autres que:

- a) l'éblouissement soit suffisamment limité;
- b) le niveau d'éclairage soit assez élevé.

L'aperçu des recherches donné sous 2 montre la possibilité de vérifier si l'éblouissement provoqué pas les sources lumineuses d'une certaine installa-

tion d'éclairage peut être considéré comme passable ou non. L'application d'une telle vérification montre que des luminaires, défilés de telle façon que l'émission de lumière soit limitée à des directions qui font un angle de 80 degrés ou plus avec la verticale vers le bas, ne donneront pas trop d'éblouissement pour l'usager normal de la route.

En ce qui concerne le niveau d'éclairage, les résultats des essais de visibilité, ainsi que ceux des recherches concernant «l'aise visuelle» du conducteur, donnés sous 3, indiquent une luminance moyenne de 2 cd/m^2 de la route comme niveau souhaitable pour des routes à circulation intense. Ce niveau correspond à un éclairage moyen d'environ 30 lux pour les luminaires n'émettant pas de lumière sous des angles plus grands que 80 degrés avec la verticale vers le bas et pour les revêtements usuels aux Pays Bas. Mentionnons pour terminer que la limitation de l'éblouissement et le minimum du niveau d'éclairage, comme nous venons de les décrire, constituent deux principes importants des «Recommandations pour l'Eclairage Public» éditées très récemment par la Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde (Fondation Néerlandaise pour l'Eclairage).

Bibliographie

- [1] Borel, P.: Prévention des accidents et éclairage public. Bull. ASE t. 49(1958), n° 1, p. 8...11.
- [2] Montenez, R.: L'éclairage public, facteur délaissé de la sécurité routière. Journées de l'Eclairage Public, A.B.E.P., 4...5 novembre 1958.
- [3] Christie, A. W. et R. L. Moore: Street Lighting from the Viewpoint of Traffic and Safety. Public Lighting t. 23(1958), n° 102, p. 242.
- [4] Boer, J. B. de: Fundamental Experiments on Visibility and Admissible Glare in Road Lighting. Communication individuelle. Commission Internationale de l'Eclairage, C.I.E., douzième session, Stockholm 1951, Compte Rendu t. II, N, p. 1...7.
- [5] Hopkinson, R. G.: Discomfort Glare in Lighted Streets. Trans. Illum. Eng. Soc. (London) t. 5(1940), n° 1, p. 1...24.
- [6] Boer, J. B. de et J. F. T. van Heemskerck Veeckens: Observations on Discomfort Glare in Street-Lighting, Influence of the Colour of the Light. Commission Internationale de l'Eclairage, C.I.E., treizième session, Zurich 1955, Compte Rendu, t. II, N-B p. 2...15.
- [7] Boer, J. B. de: Blendung beim nächtlichen Strassenverkehr. Zbl. Verkehrs-Med., Verkehrs Psych. t. 3(1957), n° 4, p. 185...203.
Boer, J. B. de: Strassenleuchtdichte und Blendungsfreiheit als praktische Maßstäbe für die Güte öffentlicher Beleuchtung. Lichttechnik t. 10(1958), n° 7, p. 359...363.
- [8] Balder, J. J. et G. J. Fortuin: The Influence of Time of Observation on the Visibility of Stationary Objects. Commission Internationale de l'Eclairage, C.I.E., treizième session, Zurich 1955, Compte Rendu t. I, N-F p. 2...11.
- [9] Dunbar, C.: Necessary Values of Brightness Contrast in Artificially Lighted Streets. Trans. Illum. Eng. Soc. (London) t. 3(1938), décembre, p. 187...195.
- [10] Roper, V. J. et E. A. Howard: Seeing with Motor Car Headlamps. Trans. Amer. Illum. Eng. Soc. t. 33(1938), mai, p. 417...438.

Adresse de l'auteur:

M. J. B. de Boer, Laboratoire d'éclairagisme, Philips Gloeilampenfabrieken, Eindhoven (Pays Bas).

Photographisches Aufnehmen von Zählerständen

Von M. Keppler, Laufenburg

Es wird eine einfache Methode beschrieben, um Zählerstände in einer Schaltanlage photographisch aufzunehmen. Dadurch wird erreicht, dass sämtliche Zählerstände gleichzeitig mit geringem Zeitaufwand festgehalten werden können.

In einem Artikel im Bull. SEV Bd. 49(1958), Nr. 11, über Kommandoanlagen mit dezentralisierten Steuer-, Mess-, Relais- und Zählerstellen wurde

L'auteur décrit une méthode simple pour photographier des indications de compteurs dans une installation de commande. Il en résulte que toutes les indications de compteurs peuvent être enregistrées parallèlement en peu de temps.

kurz erwähnt, dass die Zählerstände photographisch aufgenommen werden können. Nachdem sich diese Art von Zählerablesung durch die einfache Hand-