

Étude d'un modèle de visibilité pour le calcul des installations d'éclairage public

RÉSUMÉ

Cet article est consacré à la vérification du modèle de calcul des niveaux de visibilité utilisant des cibles hémisphériques mis au point par J. Lecocq (Société Thorn Europheane). On a confronté les résultats de ce nouveau modèle aux notes d'appréciation données par des observateurs.

L'expérimentation confirme la fiabilité des calculs des niveaux de visibilité ainsi obtenus. La relation entre les niveaux de visibilité et la notation des observateurs est élevée. La dispersion des notes est aussi relativement constante pour l'ensemble des observations.

On a comparé les résultats de l'expérience avec les cibles hémisphériques à ceux obtenus avec des cibles planes. L'étude montre qu'il est possible d'utiliser l'un ou l'autre de ces modèles de calcul des niveaux de visibilité.

MOTS CLÉS : 85 - Éclairage public - Évaluation - Calcul - Visibilité - Perception sensorielle - Luminance - Qualité de service - Obstacle - Revêtement (chaussée) - /Cible.

Alexis BACELAR
Chargé de recherche
Section de physique des rayonnements
Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Rouen

Jacques LECOCQ
Responsable recherche et développement en optique et éclairagisme
Laboratoire de photométrie de Thorn Europheane, Les Andelys

Jacques CARIOU
Assistant
Chef de la section de physique des rayonnements

Michel HAMARD
Technicien supérieur
Section de physique des rayonnements

Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Rouen

Introduction

Les critères pris actuellement en compte pour juger de la qualité de service d'une installation d'éclairage public sont d'une part, la luminance moyenne de la chaussée et d'autre part, l'uniformité de la luminance. En 1989, M. Keck (USA) a proposé, à la Commission internationale de l'Éclairage (CIE), une nouvelle approche permettant, lors du dimensionnement d'une installation d'éclairage, de vérifier si la solution proposée est satisfaisante en termes de perception d'obstacles. Cette méthode repose sur l'évaluation du niveau de visibilité VL, de cibles de référence disposées en différents points de la chaussée. Les niveaux de visibilité des cibles sont calculés à l'aide du modèle de visibilité développé par W. Adrian [Adrian, 1989].

Une première expérience, réalisée en 1990 à la demande de la CIE, sur la piste d'éclairage du CETE Normandie-Centre [Ménard et Cariou, 1992], a permis, par comparaison des valeurs de VL à des appréciations d'observateurs, de valider l'utilisation du niveau de visibilité comme indicateur de la visibilité de cibles planes de dimensions réduites posés sur la chaussée. Ces travaux ont également servi à déterminer une valeur minimale pour le niveau de visibilité des obstacles dans le cas de l'éclairage routier : VL = 7.

Cependant, le choix fait par M. Keck de cibles de référence planes carrées (20 cm × 20 cm) pour représenter un obstacle, a soulevé un certain nombre d'objections, leur forme paraissant trop différente de celle d'un obstacle réel posé sur la chaussée.

Suite à ces réserves et dans le but de mieux approcher la réalité, J. Lecocq a préconisé l'emploi de cibles hémisphériques et a développé une méthode pour évaluer leurs niveaux de visibilité [Lecocq, 1992]. En effet, à la différence des cibles planes, dont la luminance peut être supposée uniforme, les cibles hémisphériques présentent, du fait de leur forme, une variation de luminance le long de leur surface. L'originalité de la méthode proposée par J. Lecocq repose sur la prise en compte du gradient lumineux de la cible dans le calcul du niveau de visibilité.

Le principe de calcul développé par J. Lecoq a fait l'objet d'une expérimentation sur la piste d'éclairage de Rouen. On a comparé les niveaux de visibilité des cibles hémisphériques, calculés à partir de leurs caractéristiques géométriques et photométriques, à des appréciations subjectives formulées par des observateurs sur la qualité de la visibilité des cibles. Le protocole expérimental employé est identique à celui utilisé lors de l'étude de la visibilité des cibles planes.

Dans la suite de l'exposé, après un rappel du principe de calcul des niveaux de visibilité à l'aide du modèle de W. Adrian, on développe son application aux cas de cibles planes et de cibles hémisphériques. Les résultats de l'expérimentation réalisée avec les cibles hémisphériques sont présentés et comparés aux résultats obtenus précédemment avec les cibles planes. Enfin, l'intérêt d'utiliser l'un ou l'autre des deux types de cibles pour évaluer la qualité d'une installation d'éclairage est discuté.

Principe du calcul du niveau de visibilité

Niveau de visibilité

Le niveau de visibilité VL d'un objet permet de quantifier la capacité d'un observateur à le détecter avec plus ou moins de facilité. La méthode de calcul du niveau de visibilité généralement employée est celle développée par W. Adrian [Adrian, 1989].

Le niveau de visibilité est égal au rapport entre l'écart de luminance réel $\Delta L_{réel}$, (différence entre la luminance de l'objet L_{cible} et la luminance de son fond L_{fond}) et du seuil différentiel de luminance ΔL_{seuil} (valeur minimum pour pouvoir détecter l'objet) :

$$VL^* = \frac{|\Delta L_{réel}|}{\Delta L_{seuil}}$$

avec

$$\Delta L_{réel} = L_{cible} - L_{fond}$$

Le niveau de visibilité est fonction de différents paramètres dépendant de l'objet et de l'observateur (fig. 1).

ΔL_{seuil} dépend de l'âge de l'observateur, du temps de présentation de l'objet, de la dimension angulaire de l'objet, de la polarité du contraste et de la luminance d'adaptation.

La luminance d'adaptation est considérée comme égale à la luminance de la chaussée située au voisinage de l'objet à détecter.

Dans le cas de l'éclairage public, où l'installation comporte de nombreux luminaires, il faut aussi tenir compte de la luminance de voile qui caractérise la baisse des performances de l'œil consécutive à l'éblouissement provoqué par les sources de lumière.

Niveau de visibilité des cibles planes

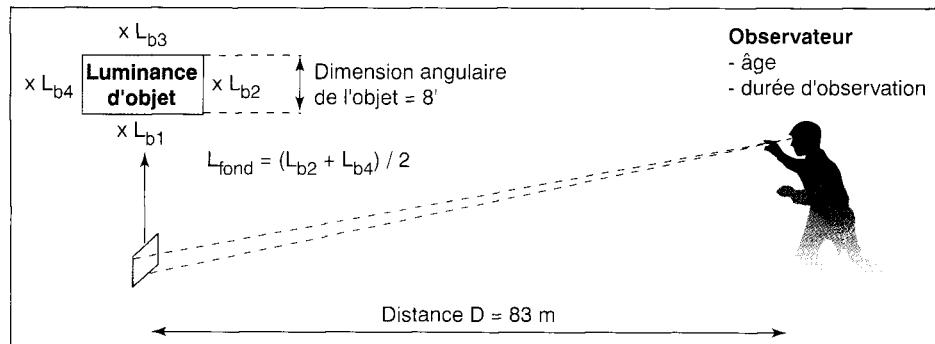
L'éclairement qui atteint les cibles planes diffusantes placées sur la piste est uniforme, par conséquent leur luminance est également uniforme. Le calcul du niveau de visibilité est donc relativement simple.

Les paramètres suivants, permettant de déterminer le contraste de la cible, ont été mesurés à l'aide d'un luminancemètre (fig. 1) :

- la luminance de fond est donnée par la moyenne de deux mesures effectuées de part et d'autre de la cible dans le plan horizontal (L_{b2} et L_{b4}),
- la luminance d'adaptation est égale à la luminance de fond.

*VL = Visibility Level

Fig. 1 - Calcul du niveau de visibilité d'une cible plane.



Niveau de visibilité des cibles hémisphériques

On suppose que la cible a les caractéristiques d'un diffuseur parfait. L'hémisphère observé de la cible est décomposé en 25 éléments de surface. Le découpage est fait de sorte que la surface apparente de la cible soit divisée en N éléments d'aire équivalente et égale à $\pi R^2 / N$ où R est le rayon de la cible. La partition est construite à partir d'une facette circulaire centrée sur l'axe d'observation de la cible et en fractionnant en huit éléments trois couronnes concentriques dont les rayons ont été déterminés de manière à respecter l'égalité des surfaces apparentes (fig. 2a).

Au centre de chaque surface élémentaire (fig. 2a), on a repéré par P le point d'intersection d'un rayon vecteur issu du centre de la sphère avec la surface. L'éclairement reçu par chaque élément de surface provenant des différents luminaires de la scène est obtenu, par approximation, en calculant l'éclairement reçu au point P sur le plan normal au vecteur rayon et tangent à l'hémisphère observé (fig. 2b).

On dispose donc, après cette évaluation, des 25 valeurs des éclairements des éléments de la cible. Dans un deuxième temps, les éclairements sont traduits en luminances ponctuelles grâce à la loi de Lambert, en affectant un facteur de réflexion diffuse identique à tous les éléments de surface de la cible.

Partition de la cible en deux zones de luminance homogène

À la différence des cibles planes dont la luminance est supposée uniforme, la cible hémisphérique a, du fait de sa forme, un gradient lumineux suivant sa surface. Pour tenir compte de ce gradient dans le calcul du niveau de visibilité de la cible, on va partager l'hémisphère en deux zones : une zone claire et une zone sombre (fig. 3).

La moyenne arithmétique des 25 valeurs de luminance de la cible L_c sert alors de valeur de référence pour affecter les surfaces élémentaires dans la zone claire ou dans la zone sombre suivant que leur luminance est supérieure ou inférieure à L_c .

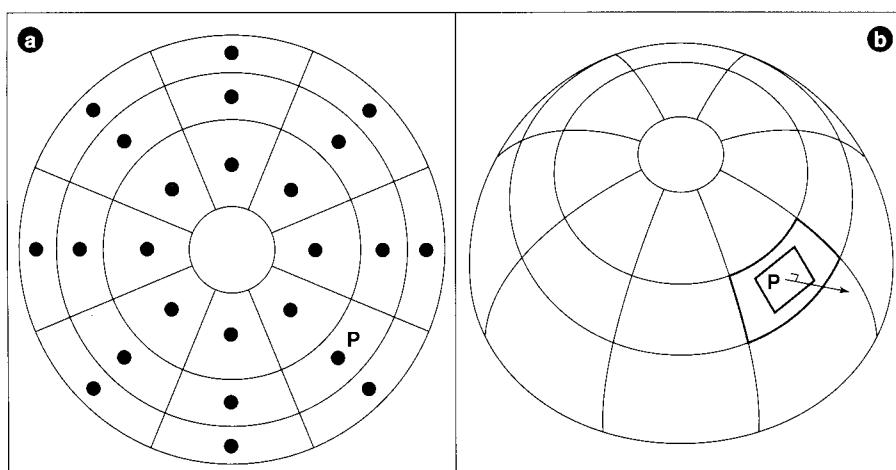


Fig. 2 -
Découpage de la cible hémisphérique en 25 surfaces élémentaires (a) et principe de calcul de l'éclairement reçu par chaque élément de surface (b).

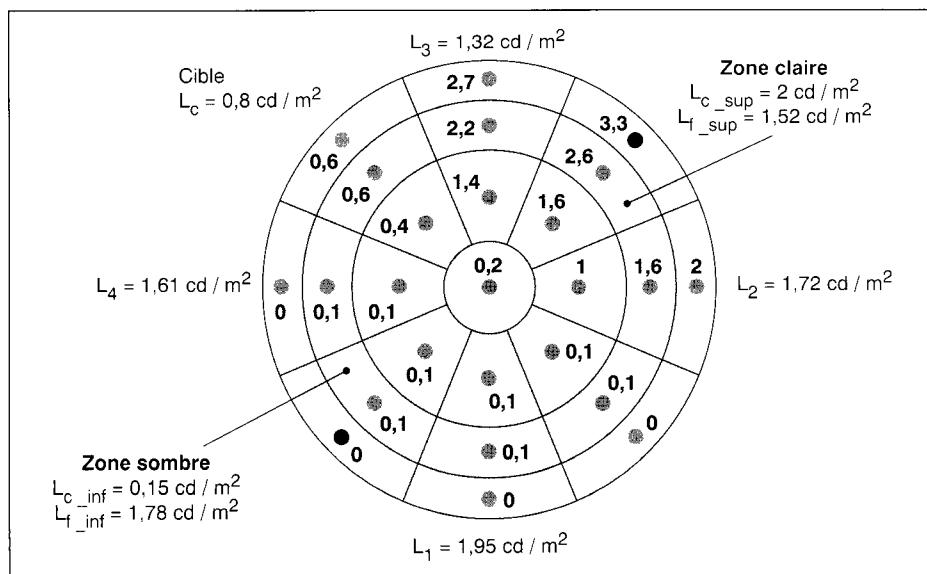


Fig. 3 -
Calcul des luminances des parties sombre et claire d'une cible hémisphérique.
Les luminances de la chaussée sont reportées autour du disque apparent.

On caractérise, pour chaque zone, la luminance moyenne de la zone :

- la luminance moyenne de la zone claire de la cible est notée L_{c_sup} ,
- la luminance moyenne de la zone sombre de la cible est notée L_{c_inf} .

On détermine ensuite les luminances de fond « locales » L_{f_sup} et L_{f_inf} associées à chacune des zones. Le calcul des deux luminances L_{f_sup} et L_{f_inf} est présenté à partir des données de l'exemple de la figure 3. Soient L_1 , L_2 , L_3 et L_4 les luminances ponctuelles de la chaussée au voisinage immédiat de la cible.

La valeur maximale L_{max} des luminances de la partie claire de la cible est égale à $3,3 \text{ cd/m}^2$. Cette valeur est repérée sur la figure 3 par un point rouge qui représente l'intersection du rayon vecteur passant par le centre de cet élément de surface. On recherche la luminance ponctuelle ou le couple des luminances ponctuelles qui, parmi L_1 , L_2 , L_3 et L_4 , lui sont le (ou les) plus proche(s). La valeur de la luminance de fond locale attachée à la zone claire de la cible est égale, dans l'exemple de la figure 3, à la moyenne arithmétique des luminances de la chaussée qui entoure l'élément de surface : $L_{f_sup} = (L_2 + L_3)/2 = 1,52 \text{ cd/m}^2$.

On applique la même procédure pour rechercher la valeur de la luminance minimale de la cible (repérée sur la figure 3 par un point bleu) et pour déterminer la luminance de fond locale L_{f_inf} correspondant à la zone sombre, dans l'exemple : $L_{f_inf} = (L_1 + L_4)/2 = 1,78 \text{ cd/m}^2$.

Détermination de la taille angulaire des deux zones de la cible

Soit R le rayon de la cible hémisphérique. La cible est divisée en N surfaces élémentaires d'aire apparente identique égale à $\pi R^2/N$.

Si n et $N-n$ sont respectivement le nombre d'éléments de surface constituant la zone claire et la zone sombre de la cible, alors, $\pi R^2/N$ et $\pi(N-n)R^2/N$ sont respectivement les surfaces apparentes des deux zones. Pour calculer la taille angulaire de ces deux parties de l'hémisphère, on assimile chacune d'elles à une surface circulaire d'aire équivalente.

Si α est la taille angulaire de la cible, la zone claire et la zone sombre de l'hémisphère ont respectivement une taille angulaire à α_{sup} et α_{inf} égale à :

$$\alpha_{sup} = \alpha \sqrt{\frac{n}{N}} \text{ et } \alpha_{inf} = \alpha \sqrt{1 - \frac{n}{N}}.$$

Calcul du niveau de visibilité de la cible

À ce stade, toutes les grandeurs nécessaires au calcul du niveau de visibilité de la cible à l'aide du modèle d'Adrian sont connues.

On détermine l'écart de luminance seuil ΔL_{seuil} d'une cible de taille angulaire α . La luminance d'adaptation L_f est donnée par une combinaison linéaire entre L_1 , L_2 , L_3 et L_4 , leur moyenne arithmétique par exemple.

On calcule l'écart de luminance entre les deux zones de la cible : $L_{c_sup} - L_{c_inf}$ que l'on compare à ΔL_{seuil} .

– Si $L_{c_sup} - L_{c_inf}$ est inférieur à ΔL_{seuil} , la dichotomie de la cible n'est pas nécessaire car le gradient lumineux de la cible n'est pas perceptible. Le niveau de visibilité VL_c de la cible est déterminé en prenant pour la luminance de la cible la luminance moyenne L_c et comme luminance de fond L_f .

La cible est visible si $VL_c > 7$.

– Si $L_{c_sup} - L_{c_inf}$ est supérieur à ΔL_{seuil} , on divise la cible en deux zones, ce qui conduit au calcul des deux niveaux de visibilité : VL_{c_sup} et VL_{c_inf} , pour chacune des zones de la cible hémisphérique. Les niveaux de visibilité VL_{c_sup} et VL_{c_inf} sont déterminés en prenant respectivement comme taille angulaire α_{sup} et α_{inf} , comme luminance de cible L_{c_sup} et L_{c_inf} et comme luminance de fond L_{f_sup} et L_{f_inf} .

Pour conclure sur la visibilité de la cible, on compare donc les valeurs absolues des niveaux de visibilité VL_{c_sup} et VL_{c_inf} à la valeur limite de perception égale à 7.

– Ainsi, si $|VL_{c_sup}|$ ou $|VL_{c_inf}|$ est supérieur à 7, les conditions de détection sont remplies dans une zone au moins, sinon la totalité de la cible est visible.

– En revanche, si les deux niveaux de visibilité $|VL_{c_sup}|$ et $|VL_{c_inf}|$ sont inférieurs à 7, la cible peut tout de même être perçue par un effet dit « d'auto-visibilité », pour lequel la luminance de fond locale n'entre pas en jeu.

C'est le cas si : $L_{c_inf} < L_f < L_{c_sup}$.

Dans ces conditions, le niveau de visibilité de la cible s'exprime par la somme algébrique : $VL = VL_{c_sup} + VL_{c_inf}$.

Les conditions de détection sont remplies seulement si : $|VL| \geq 7$.

Évaluation de la visibilité des cibles hémisphériques

Procédure de présentation de la cible aux observateurs

L'expérimentation s'est déroulée sur la piste d'éclairage du CETE Normandie-Centre située à Rouen.

La piste est constituée d'une chaussée de 7 m de large, revêtue d'un béton bitumineux dont les caractéristiques photométriques sont de type R2 et dont le coefficient de clarté Q_0 vaut 0,10. L'installation d'éclairage de la piste comprend cinq foyers dont on peut faire varier la hauteur, l'espacement et l'avancée. Afin de simplifier les opérations, on a fixé la hauteur des luminaires à 8 m et leur espacement à 60 m (fig. 4). Un calcul préalable avait montré que dans ces conditions géométriques, on couvre une large gamme de valeurs de niveaux de visibilité pour les cibles.

La cible est placée successivement aux nœuds d'un maillage implanté entre les luminaires 2 et 3. Le maillage, de dimensions 1,75 m × 5 m, est défini par quatre lignes parallèles à l'axe de la piste, numérotées de 1 à 4, et treize travées repérées par les lettres de A à M. On dispose de 52 positions possibles pour la cible (fig. 5).

Au cours de l'expérience, un luminaire complémentaire éclaire la zone où évoluent les observateurs de manière à les maintenir dans une ambiance lumineuse constante ; les luminaires 4 et 5 éclairent la partie de la piste située en arrière de la cible (fig. 4).

La cible hémisphérique est un ballon de 20 cm de diamètre et de facteur de réflexion de 0,2.

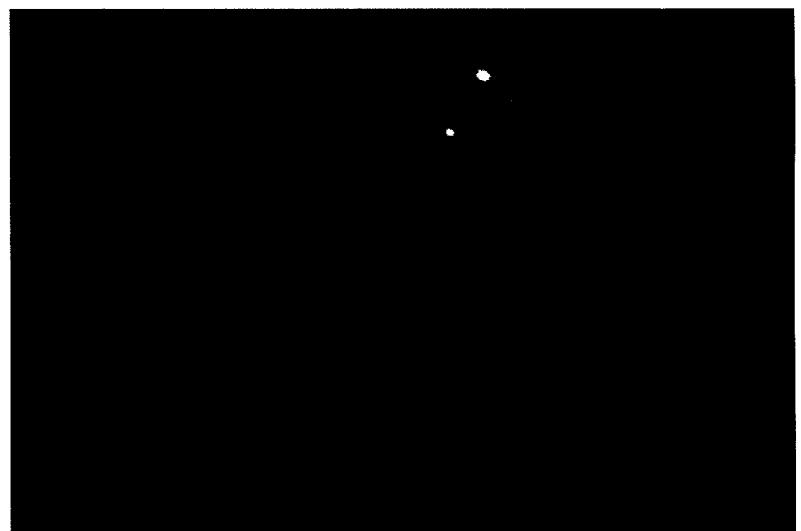


Fig. 4 - Visibilité d'une cible hémisphérique sur la piste du CETE de Rouen.

Procédure d'évaluation de la visibilité des cibles par les observateurs

La procédure employée est identique à celle définie lors de l'expérimentation sur les cibles planes en 1991.

Vingt-trois observateurs ont pour tâche d'évaluer la visibilité des cibles. Leur âge varie de 18 à 55 ans avec une moyenne de 27 ans. Les conditions d'observation imposées sont les suivantes :

Les observateurs, par groupe de 3, sont placés à 83 m dans l'axe de la cible, le dos à la cible. La hauteur moyenne d'observation est de 1,60 m, ce qui correspond à un angle de visée de la cible de 1,1 degré.

Au premier signal sonore, les observateurs se tournent face à la cible et, au second signal sonore, ils reprennent leur position initiale. L'intervalle de temps entre les signaux sonores est fixe et correspond à des temps d'observation compris entre 200 et 500 ms.

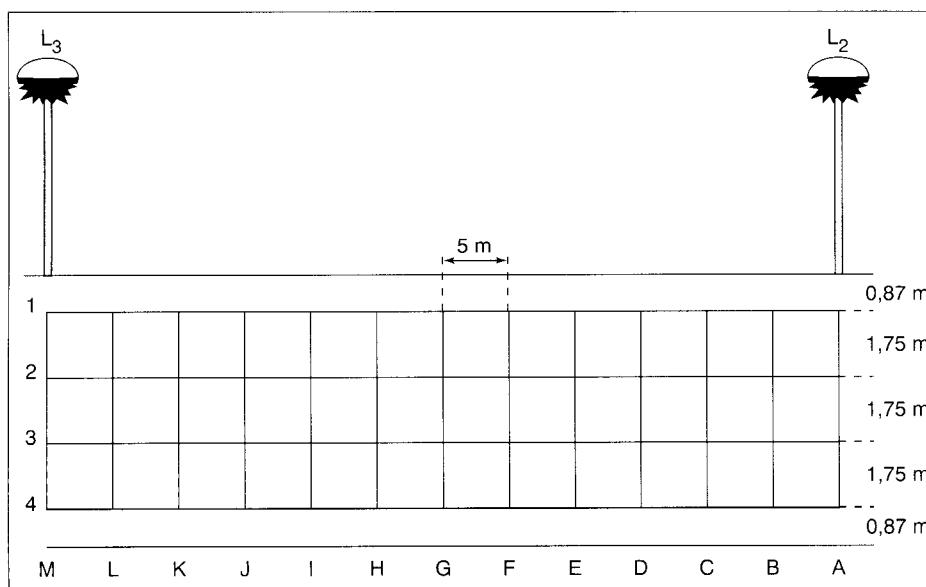


Fig. 5 -
Maillage des positions de la cible hémisphérique.

Chaque observateur exprime son appréciation de la visibilité de la cible suivant une échelle à cinq niveaux :

- 0 Cible non visible,
- 1 Cible peu visible,
- 2 Visibilité passable.
- 3 Visibilité satisfaisante,
- 4 Bonne visibilité.

Pour chaque position de la cible, on calcule l'appréciation moyenne, qui est égale à la moyenne arithmétique des appréciations exprimées par les vingt-trois observateurs.

Relation entre les niveaux de visibilité des cibles et les appréciations des observateurs dans le cas des cibles hémisphériques

Le graphique de la figure 6 compare les niveaux de visibilité de la cible hémisphérique calculés pour les différentes positions de la cible sur la piste et la note moyenne d'appréciation de la visibilité de la cible attribuée par les observateurs.

On a tracé sur le graphique une courbe de tendance permettant de suivre l'évolution de l'appréciation des observateurs en fonction de la croissance du niveau de visibilité.

On remarque qu'à la valeur 2 de la note moyenne (la valeur 2 correspond à l'appréciation de visibilité passable) correspond sensiblement la valeur 7 pour le niveau de visibilité. Ce résultat confirme les recommandations qui précisent qu'un obstacle sur la chaussée doit avoir un niveau de visibilité au moins égal à 7 pour être perçu par les usagers.

Comparaison des évaluations de la visibilité des cibles planes et des cibles hémisphériques

Le protocole de l'expérimentation réalisée en 1990 à l'aide de cibles planes était semblable à celui employé dans le cas des cibles hémisphériques, à une variante près. On avait en effet, lors de cette expérience, la possibilité de fixer trois valeurs pour la distance entre les luminaires : 30, 45 et 60 mètres.

Le graphique de la figure 7 présente, pour l'expérimentation avec les cibles planes, la relation entre les appréciations des observateurs et les niveaux de visibilité calculés à l'aide du modèle d'Adrian.

On remarque que la forme générale du nuage de points est semblable à celle observée sur la figure 6. Cependant, la dispersion des points autour de la courbe de tendance (fig. 7) est plus grande dans ce cas que dans celui de l'expérience réalisée à l'aide des cibles hémisphériques. Cette plus grande dispersion des résultats est sans doute due aux changements de l'espacement

entre les luminaires au cours des essais, lesquelles induisent des variations des paramètres de visibilité non prises en compte par le modèle.

La comparaison des appréciations des observateurs sur la visibilité des deux types de cibles ne peut donc se faire que pour des conditions expérimentales identiques, c'est-à-dire en sélectionnant, dans l'expérience avec les cibles planes, les résultats correspondant à un espacement de 60 m des luminaires.

Comparaison de la visibilité des cibles planes et des cibles hémisphériques

Le graphique de la figure 8 présente, pour une distance de 60 m entre les luminaires, les appréciations des observateurs en fonction du niveau de visibilité pour les deux types de cibles planes et hémisphériques. On a tracé sur le graphique les courbes de tendance correspondantes.

On remarque les très faibles écarts entre les résultats obtenus avec les deux types de cibles. Les différences entre les valeurs du niveau de visibilité correspondant à un même niveau d'appréciation sont également assez faibles.

On peut donc conclure à la validité des méthodes de calcul du niveau de visibilité d'obstacles sur la chaussée par les méthodes proposées par E. Keck (cible plane) et par J. Lecocq (cible hémisphérique). Cela n'implique pas que, pour une position donnée de la cible sur la piste, les niveaux de visibilité calculés avec les deux modèles soient égaux.

Influence du type de cible sur la qualité de service de l'installation

On a constaté précédemment que les relations entre les appréciations des observateurs et les niveaux de visibilité pour les modèles de cible plane et de cible hémisphérique sont équivalentes. Mais, lorsque l'on compare les niveaux de visibilité pour chacune des positions des cibles, des différences, qui peuvent influer sur l'évaluation de la qualité de l'installation, apparaissent.

Le tableau I présente les niveaux de visibilité pour les deux types de cibles dans le cas d'une installation où la distance entre les luminaires est de 60 mètres. Il faut préciser que l'installation ne satisfait pas aux recommandations actuelles pour l'uniformité générale U_G et l'uniformité longitudinale U_L de la luminance de la chaussée éclairée. Les valeurs $U_G = 0,3$ et $U_L = 0,13$ de la luminance de la chaussée de la piste sont très inférieures à celles indiquées dans les recommandations ($U_G \geq 0,4$ et $U_L \geq 0,7$), et on constate des niveaux de visibilité insuffisants pour permettre, en certains endroits, une visibilité des obstacles ($V_L < 7$).

TABLEAU I
Niveaux de visibilité des cibles planes et hémisphériques placées aux différents points du maillage
(bes luminaires sont placés en A et M)

-12,2	-16,2	-14,3	-18,6	-12,6	-18,3	-11,5	-16,2	M
-15,1	-18,7	-19,3	-23,7	-19,9	-24,3	-17,5	-20,8	L
-16,9	-18,2	-20,3	-22	-21,1	-23	-19,2	-21,2	K
-17,2	-18,6	-21,1	-22,3	-22	-23,2	-18,8	-21,5	J
-10,6	-18,3	-12	-22,1	-14,5	-24	-14,5	-23,8	I
-9,2	-16,2	-10,2	-18,8	-11,6	-20,3	-11,3	-20,3	H
-5,4	-9,6	-6,6	-11,8	-8,5	-14,1	-9,3	-14,9	G
-3,5	-1,1	-4,3	-2,4	-5,1	-4,5	-4,9	-6,6	F
-5	5,5	-4,9	6,3	-4,5	4,6	-3,8	2,2	E
-6	8,1	-7,3	11,7	7,8	10,7	5,6	7,3	D
-6,9	2,3	-7,9	5	8,2	6,7	6,3	5,4	C
-8,3	-3,6	-10,4	-1	-10	-1,3	-7,5	-2,3	B
-12,2	-16,8	-14,2	-19,5	-12,9	-19,2	-11,6	-16,3	A

4 3 2 1 Ligne

Note moyenne

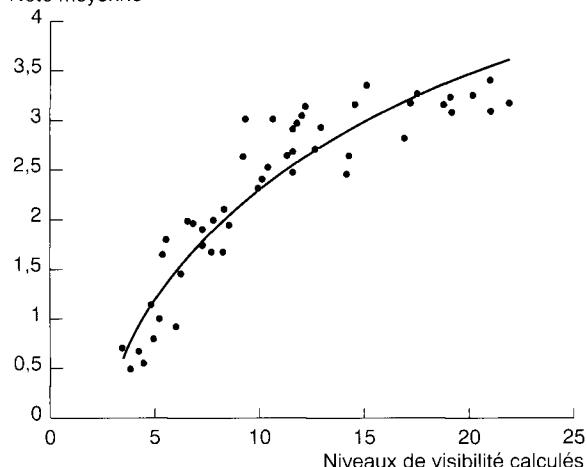


Fig. 6 - Relation entre les appréciations des observateurs (note moyenne) et le niveau de visibilité des **cibles hémisphériques** pour une installation d'espacement 60 m.

Note moyenne

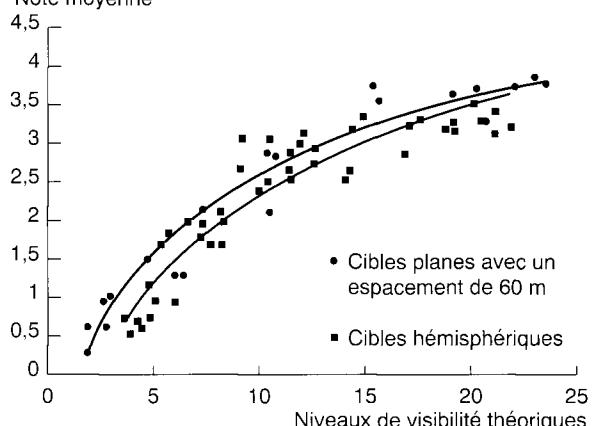


Fig. 8 - Comparaison des relations entre les appréciations des observateurs (note moyenne) et le niveau de visibilité pour les cibles hémisphériques et les cibles planes pour un espacement de 60 m entre les luminaires.

Note moyenne

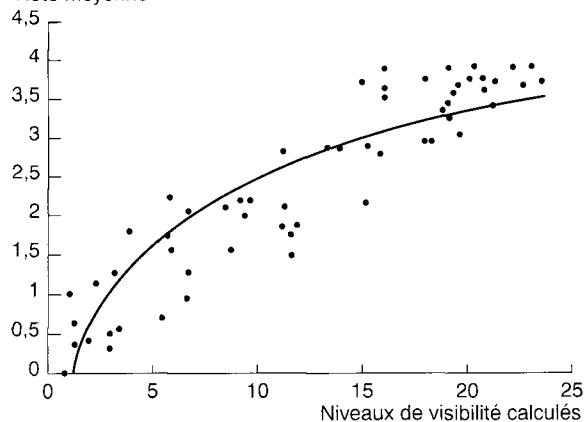


Fig. 7 - Relation entre l'appréciation des observateurs (note moyenne) et les niveaux de visibilité des **cibles planes** calculés à l'aide du modèle d'Adrian pour une installation avec différents espacements (30, 45, 60 m).

Niveau VL cibles planes

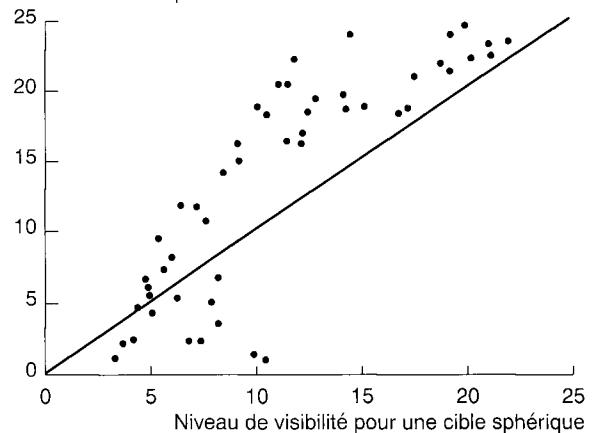


Fig. 9 - Comparaison des niveaux de visibilité obtenus avec les sphères et les cibles planes pour une installation avec un espacement de 60 m.

Le tableau I montre que les zones où les cibles sont visibles ou non visibles sont sensiblement les mêmes quel que soit le type de modèle. Plus précisément (fig. 9), il apparaît que le modèle de cible hémisphérique, du fait de la prise en compte du gradient lumineux, donne, en chacun des points de la chaussée, des niveaux de visibilité différents de ceux obtenus avec le modèle de cible plane. Pour les faibles contrastes, les niveaux de visibilité calculés avec une sphère sont supérieurs à ceux calculés avec une cible plane. Dans le cas de contrastes moyens et élevés, les niveaux de visibilité calculés avec le modèle cible hémisphérique sont toujours inférieurs à ceux déterminés pour les cibles planes dont la surface est uniforme.

On remarque enfin que, dans les niveaux de visibilité faibles (entre les lignes B et F), il y a deux fois plus d'inversions de contraste pour les cibles planes que pour les cibles hémisphériques. La probabilité de ne pas voir la cible est donc plus grande pour une cible plane que pour une cible hémisphérique (tableau II).

TABLEAU II
Cibles planes et hémisphériques non vues

Cibles planes non vues	Cibles hémisphériques non vues
61 sur 441 réponses (14 %)	52 sur 483 réponses (11 %)

En conséquence, le calcul d'une installation d'éclairage public, à partir d'un « critère de visibilité », dépendra du type de cible utilisée. Une attention particulière devra être portée à la réduction de la zone d'inversion des contrastes en assurant des niveaux d'uniformité longitudinale des luminances corrects.

Conclusion

L'expérimentation réalisée à l'aide des cibles hémisphériques confirme que le calcul des niveaux de visibilité grâce au modèle développé par J. Lecocq est tout à fait satisfaisant. Le lien entre le niveau de visibilité et l'appréciation des observateurs est élevé et la comparaison entre les résultats des deux expérimentations (cibles planes et cibles hémisphériques) montre qu'il n'y a pas de différence significative, tant pour la relation entre le niveau de visibilité et les appréciations que pour la dispersion des résultats. La cohérence entre les résultats de deux études, réalisées à sept années d'intervalle, confirme la fiabilité et la reproductibilité du protocole d'évaluation par les sujets.

Les deux modèles de calcul du niveau de visibilité sont donc satisfaisants et peuvent être utilisés pour caractériser une installation d'éclairage public. Mais il faut noter que ces deux modes de caractérisation sont différents. En effet, la comparaison des résultats des deux modèles montre que, dans une position donnée, les niveaux de visibilité obtenus avec une cible plane et une cible hémisphérique peuvent être très différents. Le modèle de « cible plane » tend à améliorer les visibilités « moyenne » et « forte », alors que le modèle de « cible hémisphérique » renforce les niveaux inférieurs. Il apparaît cependant que la cible hémisphérique est plus représentative des obstacles que l'on peut rencontrer sur une route, et l'on suggérera donc son usage pour les calculs de visibilité.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] ADRIAN W. (1989), Visibility of targets : model for calculation. *Lighting Research and Technology*, **vol. 21**, pp. 181-188.
- [2] ADRIAN W. (1969), *Lichttechnik*, **vol. 21**, 2 A.
- [3] AULHORN E. (1964), Graefe's Archiv für Ophthalmologie 167 (1) 4.
- [4] BLACKWELL H. R. (1946), J. Opt. Soc. Amer. 36 624.
- [5] MÉNARD J., CARIOU J. (1994), Road lighting : Assessment of an installation based on the contrast of a standard target. *Lighting Research and Technology*, **vol. 26**, pp. 19-22.
- [6] LECOCQ J. (1997), Visibility in road lighting - correlation of subjective assessments with calculated values. *Lux Europa Proceedings*, Amsterdam, **vol. 1**, pp. 22-36.
- [7] LECOCQ J. (1991), Visibility level in outdoor lighting, Adrian model applied to spherical cap targets. *CIE proceedings*, Melbourne, **vol. 1**, part 2, pp. 48-51.

ABSTRACT

Study of a visibility model for the design of street lighting

A. BACELAR, J. LECOCQ, J. CARIOU, M. HAMARD

This paper covers verification of the model for computing visibility levels using hemispherical targets which has been developed by J. Lecocq (Thorn Europhane). The outputs from this model have been compared with the ratings given by observers.

The experiment confirmed the reliability of visibility calculations using the model. Good correlation was achieved between the levels of visibility and the rating given by observers. The spread of the ratings was also fairly constant for all the observations.

The results from the experiment with hemispherical targets were compared with those obtained with flat targets. The study demonstrated that it is possible to use either of these visibility level calculation models.