

Conception de l'éclairage routier Vers la prise en compte du contexte et de l'activité de conduite

Anaïs MAYEUR
Chercheur en ergonomie, LIMSI-CNRS

Roland BREMOND
Chercheur, LCPC

La visibilité en conduite est primordiale, puisque c'est la détection des objets routiers qui permet au conducteur d'analyser et d'évaluer son environnement. La fonction principale de l'éclairage routier est d'améliorer la détection d'objets présents sur la chaussée la nuit, pour permettre leur évitement, et ce, grâce à l'anticipation rendue plus performante.

L'effet de l'éclairage sur les performances visuelles est décrit au moyen de grandeurs photométriques, telles que l'éclairement, la luminance et le contraste. Le *niveau de visibilité (VL)* permet de quantifier la performance d'un observateur à partir du contraste de luminance (fig. 1). Le modèle classique proposé par Adrian (1989) permet le calcul du VL d'une petite cible sur un fond uniforme, et se fonde sur des données psycho-physiques de laboratoire (Blackwell, 1946). L'AFE le décrit comme suit : « le VL définit, pour un objet donné de luminance L_c , le rapport entre l'écart absolu de luminance objet/fond et l'écart absolu de luminance de l'objet/fond au seuil de visibilité, pour un état d'adaptation donné » (AFE, Recommandations relatives à l'éclairage des voies publiques, 2002, p.84). Dit autrement, $VL=5$ signifie que le contraste de luminance de la cible est 5 fois le contraste nécessaire pour détecter cette cible en situation de laboratoire. Le principal intérêt du VL pour décrire la visibilité est que, contrairement à d'autres indicateurs comme l'éclairement ou la luminance, il prend en compte la performance de détection d'une cible, qui est l'aspect de la conduite que l'éclairage routier vise à améliorer.

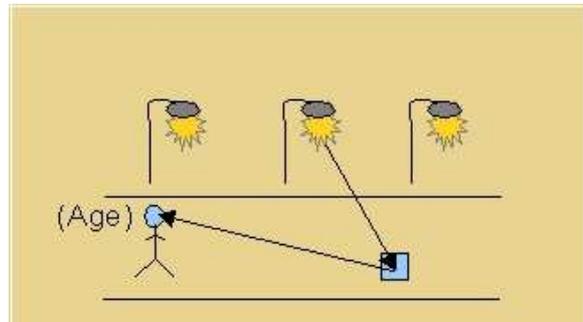


Figure 1 : Principe de calcul du Niveau de Visibilité (VL) : détection d'une cible sur une chaussée éclairée.

En France, le VL est évoqué dans les Recommandations de l'AFE, mais aucun scénario de calcul et de mesure n'y est associé, ce qui rend cet indicateur peu opérationnel et contribue à sa faible utilisation par les praticiens. De plus, cet indicateur n'est pas mentionné dans la norme européenne EN 13201 (2005) traitant de l'éclairage public. Aux Etats-Unis, le VL sert de socle au modèle *Small Target Visibility (STV)*, qui propose un scénario de mesure et utilise un « scénario de référence », centré sur la détection de cibles en situation de conduite (IESNA 2000, Cf. Fig. 2).

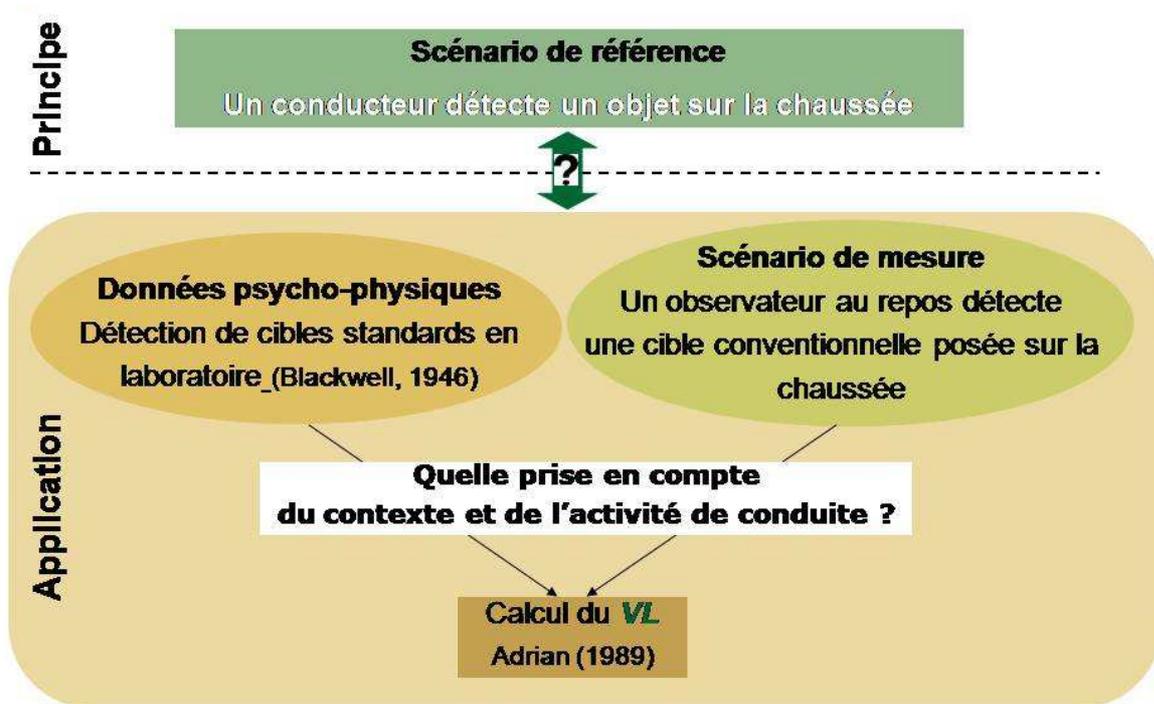


Figure 2 : Relations entre le VL, le scénario de référence et les données psycho-physiques de référence.

Les données utilisées pour le calcul du VL correspondent à des conditions d'observation « statiques », en laboratoire, où les cibles sont présentées en vision centrale. La différence avec la détection d'une cible sur chaussée éclairée, en situation de conduite automobile, apparaît donc importante. Pour y pallier, un facteur correctif (*field factor*) est appliqué, avec pour objectif la prise en compte de l'activité de conduite. A ce jour, plusieurs niveaux ont été proposés pour l'éclairage routier, s'appuyant sur des études ne prenant pas toujours en compte la conduite, avec des valeurs allant de $VL = 1,6$ à $VL = 30$, ce qui illustre un manque de consensus (Adrian, 1987; AFE, 2002; IESNA, 2000; Lecocq, 1991;1999).

A partir du modèle de calcul du VL, nous avons introduit différents aspects de l'activité et du contexte de conduite à travers trois expérimentations :

1. La première expérimentation, en laboratoire, a montré deux limites du VL par rapport à la conduite automobile. Nous avons observé l'effet de l'excentricité et de l'ajout d'une tâche sensori-motrice sur la détection de cibles.
2. La deuxième expérimentation, en laboratoire également, a mis en évidence deux autres limites du VL, liées à l'influence du contexte routier et de la dynamique visuelle sur la détection de cibles.
3. La troisième expérimentation, sur circuit d'essai, a permis d'observer en situation réelle l'effet de l'activité de conduite sur la détection de cibles.

2. Effet de l'excentricité et de l'activité sensori-motrice sur la détection de cibles

Les données de référence utilisées pour le calcul du VL ont été établies dans des conditions de laboratoire, en vision fovéale. Or, en conduite, la détection s'effectue essentiellement en vision périphérique, après quoi le regard se déplace pour amener

l'objet d'intérêt sur la fovéa. Ainsi, l'attention est attirée sur un objet saillant grâce à la vision périphérique. De plus, la tâche de conduite comporte simultanément des activités de commande du véhicule et de traitement de l'information. La détection n'est donc qu'une tâche parmi d'autres pour le conducteur, ce que le modèle de calcul du VL ne prend pas en compte.

Une expérimentation en laboratoire a montré un effet quantitatif de ces deux facteurs (Mayeur, Brémond, & Bastien, 2008). Cette expérimentation a permis de mesurer l'effet d'une tâche sensorimotrice sur le taux de détection de cibles en vision périphérique, dans le domaine mésopique, pertinent pour la conduite de nuit. Les cibles étaient présentées sur un écran contrôlé en luminances, et variaient en excentricité et en contraste. Les excentricités étaient cohérentes avec les processus de prise d'information visuelle en conduite (entre 1,5° et 7°).

Le protocole de la double tâche (Posner & Boies, 1971) a permis d'analyser l'interférence produite par la réalisation en temps partagé de deux tâches distinctes : détection de cible et tâche sensori-motrice, comme l'est le contrôle d'un véhicule. Ainsi, nous avons couplé en laboratoire une tâche de détection de cibles en vision périphérique avec une tâche de déplacement d'un mobile sur un circuit, à l'écran, à l'aide de deux manivelles. Les résultats ont montré un effet négatif de la tâche sensori-motrice sur les performances de détection en vision périphérique.

Les cibles sont donc plus difficilement détectées en périphérie par un individu engagé dans la réalisation d'une activité sensori-motrice. Ajouté à l'effet, attendu, de l'excentricité de la cible sur les performances de détection, ces résultats mettent surtout en évidence une autre limite du VL, qui s'appuie sur des données de référence où l'unique tâche est la détection. L'indicateur de la visibilité qu'est le VL pourrait être amélioré en prenant en compte la charge mentale liée à l'activité de conduite, ainsi que l'excentricité de la cible.

3. Effet du contexte routier et de la dynamique sur la détection de cibles

Dans les données psychophysiques utilisées pour le calcul du VL, la cible se détache sur un fond uniforme. Or, une scène routière présente des variations de luminance, avec un niveau de complexité variable ; de plus, elle est structurée d'une manière qui produit du sens et une lecture visuelle. Enfin, il est trivial de constater que la conduite s'opère dans un environnement dynamique.

Pour aborder l'impact de l'environnement routier sur la détection de cibles, une seconde expérimentation a été menée en laboratoire (Mayeur, Brémond, & Bastien, 2010a). Les mêmes cibles conventionnelles étaient présentées sur trois types de « fond » :

- un fond uniforme, déjà utilisé dans la première expérimentation ;
- un fond complexe statique (photos) représentant des scènes routières de nuit (milieu urbain) ;
- un fond complexe dynamique (vidéo) représentant les mêmes scènes routières de nuit.

Le protocole expérimental a permis d'évaluer deux facteurs : le contexte routier, représenté par des photographies, et la dynamique, introduite par la vidéo. Les images étaient extraites d'une vidéo routière, filmée de nuit en milieu urbain à partir d'un véhicule. Les niveaux de luminance étaient dans le domaine mésopique.

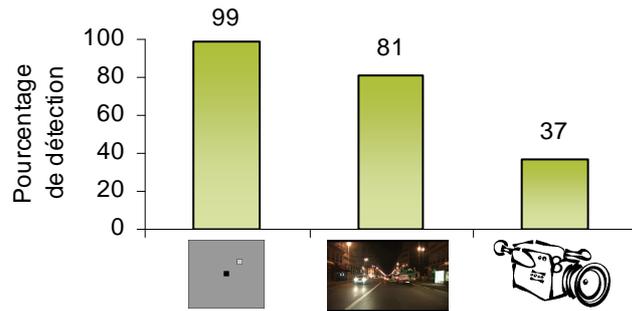


Figure 2 : Pourcentage de détection en fonction du fond sur lequel se détache la cible (fond)

Les résultats ont montré un effet négatif, à la fois du contexte routier et de la dynamique, sur les performances de détection (fig. 3). Plus précisément, on observe une diminution du taux de détection de 99% avec un fond uniforme, à 81% avec un fond complexe statique (images routières) et 37% avec un fond complexe dynamique (vidéo).

La prise en compte du fond routier complexe et de la dynamique visuelle dégradent donc les performances de détection de cibles, ce qui était déjà le cas de l'excentricité et de la tâche sensori-motrice. Globalement, les deux expérimentations présentées ci-dessus ont mis en évidence des limites du modèle de calcul du VL pour la conception de l'éclairage routier, à travers la remise en question des données de référence utilisées : excentricité, charge mentale, complexité et sémantique des scènes, dynamique visuelle. Ces facteurs ont chacun un effet négatif sur les performances visuelles de détection de cible, contribuant ainsi au « facteur terrain » (*field factor*).

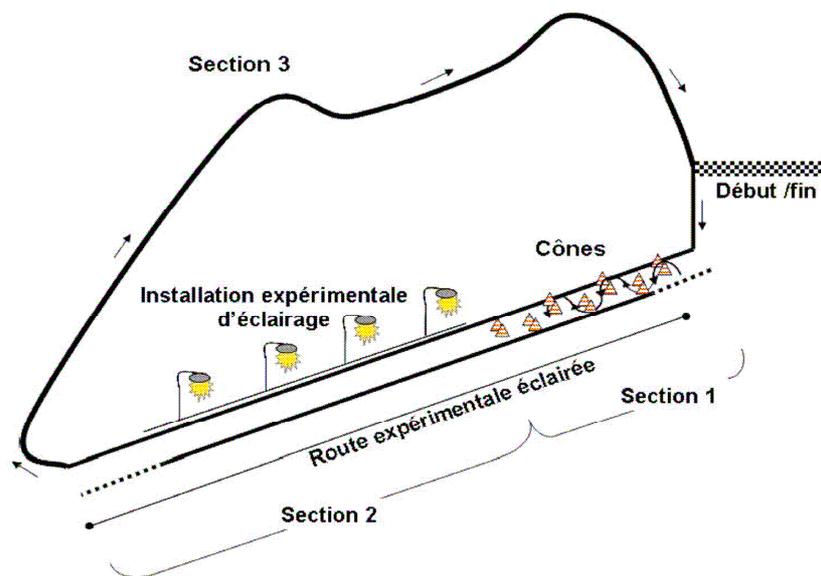


Figure 3 : Représentation schématique du circuit d'essai situé au CETE Normandie-Centre.

4. Effet de l'activité de conduite sur la détection de cibles

La charge cognitive est très largement étudiée dans le domaine de la conduite depuis l'utilisation accrue des téléphones portables et des systèmes embarqués au

sein des véhicules. Nous avons comparé, sur une piste fermée au trafic, les performances de détection de cibles entre une tâche de conduite épurée (double tâche, avec une faible charge cognitive liée à la conduite) et une situation de passager dans le même véhicule (simple tâche de détection). Pour cela, nous avons comparé les performances des mêmes individus en situation de « conducteur » et de « passager ». Le protocole expérimental permettait ainsi d'évaluer les effets de l'activité de conduite sur la détection de cibles.

Une cible était positionnée à différents endroits sur la piste, les mêmes pour les deux conditions (passager et conducteur). La tâche de détection proposée aux participants était très proche du scénario de référence utilisé par le modèle *STV*: « un conducteur détecte une cible en conduisant » (fig. 4).

L'expérimentation a eu lieu sur un circuit fermé au CETE Normandie-Centre comportant une section expérimentale éclairée (fig. 4). La hauteur des luminaires et leur espacement ont été fixés pour que la même cible soit vue avec un contraste faible ou fort (allant d'une cible « non visible » à « facilement visible ») selon sa position sur la piste (16 valeurs de *VL* ont été utilisées).

L'hypothèse, qui a été vérifiée, était que les automobilistes ont de meilleures performances comme passagers que comme conducteurs, du fait de leur charge mentale plus faible (Mayeur, Bremond, & Bastien, 2010b). Plus précisément, la distance de détection moyenne est plus courte pour les conducteurs (121,1 mètres) que pour les passagers (126,8 mètres). Cette différence est statistiquement significative, mais peu importante. Ce dernier point peut s'expliquer par la faible complexité de la tâche de conduite proposée dans l'expérimentation. En effet, il n'y avait aucun trafic et la conduite était en ligne droite à 40 km/h. Naturellement, la baisse de performance due à la conduite serait plus importante dans des conditions de conduite plus complexes.

5. Discussion et perspectives

Certaines limites du modèle de calcul du *VL* comme critère de visibilité routière ont été mises en évidence. Les facteurs étudiés expliquent en partie l'écart entre les données psychophysiques utilisées dans le modèle du *VL* et les performances de détection de cible en conduite automobile (Cf. Fig. 2).

Les résultats de la première expérimentation font apparaître un effet négatif sur les performances de détection de cible, dû à la fois à l'ajout d'une tâche sensori-motrice et à l'excentricité des cibles. Dans la troisième expérimentation, les résultats témoignent du fait que l'activité de conduite, même lorsqu'elle est peu coûteuse en termes d'attention et de contrôle du véhicule, entraîne une diminution des performances visuelles. Ainsi, la tâche de conduite comporte des aspects non pris en compte par le modèle de calcul de la visibilité proposé par Adrian (1989) et qui se réfère à une situation de laboratoire de type psychophysique. De même, l'expérimentation « vidéo » a montré l'effet du contexte routier et de la dynamique sur la visibilité. Ainsi, le fond uniforme des données psychophysiques utilisées par le modèle de calcul du *VL* n'est pas pertinent au regard du contexte dans lequel évolue un conducteur. Le concept clé nous semble être la charge attentionnelle liée à l'activité de conduite, qui dépend elle-même du contexte routier, au sens de la méthodologie proposée par l'AFE (AFE, 2002, pp. 97-99) : densité de trafic, complexité visuelle, présence de piétons, complexité de la navigation, etc.

Bien entendu, les facteurs pris en compte dans ces études doivent être complétés par d'autres facteurs, qui ont en commun le fait de ne pas être intégrés dans le modèle proposé par Adrian pour le calcul de la visibilité de cible : la nature réelle de la cible, la vitesse, le trafic routier, l'environnement (routier/urbain), etc.

L'effet de l'excentricité sur la performance visuelle a été confirmé lors des deux expérimentations en laboratoire, alors que le modèle de calcul du VL se base sur des données de référence en vision fovéale. Ce résultat pose toutefois la question des valeurs typiques d'excentricité à utiliser dans un modèle de visibilité routière. En effet, on peut imaginer que l'excentricité d'un objet sur la chaussée (par rapport à l'axe du regard) n'est pas la même sur autoroute ou en milieu urbain. Une des perspectives ouvertes par nos travaux consisterait à améliorer les connaissances concernant les valeurs d'excentricités pertinentes en conduite en fonction du contexte routier considéré. Par ailleurs, la sémantique de la cible pourrait être discutée, d'une manière complémentaire à ce qui a été dit sur sa forme géométrique (Lecocq, 1991, 1999). En effet, il est bien établi que les attentes des automobilistes, concernant par exemple les obstacles éventuels à éviter, affectent les performances de détection. De même, l'expérimentation sur piste était limitée à une faible vitesse (40 km/h). Il serait intéressant de faire varier la complexité de l'environnement routier (urbain, routier, autoroutier, géométrie de la route, etc.) ainsi que la vitesse pratiquée (Cf. Gallagher & Meguire, 1975) pour mieux comprendre l'effet de ces facteurs.

Toutefois, il nous semble à ce stade que la démarche la plus fructueuse, plutôt que d'aborder ces facteurs un par un, serait de définir des scénarios de conduite correspondant à l'usage typique des différentes catégories de sites routiers et urbains éclairés. Cette typologie pourrait se fonder sur les classifications classiques de la voirie utilisée par les éclairagistes, et devrait permettre de comprendre, dans chaque situation de référence, l'impact des différents facteurs (excentricité de la cible, charge cognitive, vitesse, complexité de l'environnement, etc.) mais aussi leurs interactions, de manière à pouvoir proposer un facteur de terrain spécifique pour chaque scénario.

Références

- Adrian, W. (1987). Visibility levels under night-time driving conditions. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 16(2), 3-12.
- Adrian, W. (1989). Visibility of targets: Model for calculation. *Lighting Research and Technology*, 21, 181-188.
- AFE. (2002). *Recommandations relatives à l'éclairage des voies publiques [Guidelines for public road lighting]*. France: Paris.
- Blackwell, H. R. (1946). Contrast thresholds of the human eye. *Journal of the Optical Society of America*, 36(11), 624-643.
- CIE (1981). An analytic model for describing the influence of lighting parameters upon visual performance (Publication N°19/2), Commission Internationale de l'Eclairage, Vienne (Autriche).
- European Norm. (2005). *13 201 series : Road lighting*.
- Gallagher, V. P., & Meguire, P. G. (1975). *Driver visual needs in night driving* (Transportation Research Board Special Report N°156).
- IESNA. (2000). *American National Standard Practice for Roadway Lighting, RP-8-00*. New-York: Illuminating Engineering Society of North America.
- Lecocq J. (1991). Visibility level in outdoor lighting. Adrian model applied to spherical cap targets. Proceedings of the 22th Session of the CIE, Vol. 1, Part 2, pp. 48-51, Melbourne (Australia).
- Lecocq, J. (1999). Calculation of the visibility level of spherical targets in roads. *Lighting Research and Technology*, 31, 171-175.
- Mayeur, A., Brémond, R., & Bastien, C. (2008). The effect of task and eccentricity of the target on detection thresholds in mesopic vision. Implications for road lighting. *Human Factors*, 50, 712-721.
- Mayeur, A., Brémond, R., & Bastien, C. (2010a). Effects of the viewing context on peripheral target detection. Implications for road lighting design. *Applied Ergonomics* 41, 461-468.
- Mayeur, A., Bremond, R., & Bastien, C. (2010b). The effect of the driving activity on target detection as a function of the visibility level. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 13, 115-128.
- Posner, M. I., & Boies, S. J. (1971). Components of attention. *Psychological Review*, 78, 391-408.