

## OUTILS D'ÉVALUATION DE LA VISIBILITE NOCTURNE ET DE L'ÉBLOUISSEMENT SUR LES ROUTES NON ECLAIREES



**E. DUMONT**

Université Paris-Est,  
LEPSiS, INRETS-LCPC,  
Paris, France



**R. BREMOND**



**K. B. CHRISTIANSON**

UC Berkeley,  
Visual Detection Lab,  
Berkeley, California



**D. S. GREENHOUSE**

### Résumé

De nuit sur route non éclairée, seuls les phares permettent au conducteur d'anticiper sa trajectoire. Malheureusement, ils sont également susceptibles d'éblouir les usagers en sens inverse. Maximiser la visibilité tout en minimisant l'éblouissement est donc un défi pour les équipementiers automobiles. Néanmoins, il est également de la responsabilité du gestionnaire de la route d'évaluer la qualité de service de son réseau, et de mettre en place des contre-mesures aux endroits où des problèmes sont identifiés. Pour les y aider, nous proposons deux outils complémentaires pour évaluer l'éblouissement et la visibilité de nuit sur les routes non éclairées : une méthode de calcul du niveau d'éblouissement à partir d'images de scènes routières mesurées avec un vidéo-photomètre, et une méthode de calcul de la distance de visibilité nocturne à partir du coefficient de rétro-réflexion du revêtement de chaussée mesuré avec l'appareil à grand rendement ECODYN (mlpc®).

**Mots-clés:** visibilité, éblouissement, phares, route, nuit, luminance, rétroréflexion, mesure.

### Abstract

Headlamps provide guidance and visibility to the driver at night, but they also cause glare to oncoming drivers. While providing maximum visibility to the driver without disabling other road users is a challenge for vehicle lighting designers, it is also the responsibility of highway operators to monitor their network and implement countermeasures where visibility or glare problems are diagnosed. We propose two complementary monitoring tools to help road operators assess headlight glare and visibility levels on highways devoid of road lighting: a computational model for the level of headlight glare based on luminance maps grabbed with an imaging photometer, and a computational method for the headlight visibility distance based on pavement retroreflectivity as measured along the roadway by ECODYN (mlpc®).

**Keywords:** visibility, glare, headlight, highway, night, luminance, retroreflectivity, measurement.

## 1. Introduction

Près du tiers des accidents de la route se produisent la nuit, alors que la circulation nocturne représente seulement 10% de la circulation totale (ONISR, 2008). Ces statistiques de l'Observatoire national interministériel de la sécurité routière sont relativement stables d'une année sur l'autre. Elles montrent clairement l'enjeu que représente la circulation nocturne en termes de sécurité routière. Même si ce n'est pas le seul facteur en cause (on peut notamment citer l'alcool), l'absence d'éclairage naturel contribue largement au problème. En effet, la perte de visibilité qui en découle perturbe les performances et le comportement des usagers de la route de manière significative (CIE, 1993 ; Wanvik, 2009).

Pour pallier cette perte de visibilité et rendre possible la circulation de nuit, tous les véhicules sont réglementairement équipés de phares. En éclairant la route et les abords, ces sources lumineuses doivent permettre aux conducteurs d'anticiper des difficultés éventuelles et d'adapter leurs comportements. Idéalement, les phares devraient éclairer la route comme en plein jour, mais se pose le problème de l'éblouissement des autres usagers, et notamment des conducteurs circulant en sens inverse. Les feux de croisement, conçus pour maximiser la visibilité tout en minimisant l'éblouissement, sont une réponse à ce problème. Néanmoins, basés sur un compromis, ils ne constituent pas une panacée.

La visibilité mobilisable par les conducteurs en conditions nocturnes ne dépend toutefois pas uniquement des performances des phares. La route et ses équipements ont également un rôle important sur ce plan. De fait, la distance de visibilité figure en bonne place dans la doctrine technique relative à l'aménagement des routes (SETRA, 1994). Néanmoins, s'il existe des systèmes permettant de relever la distance de visibilité géométrique le long d'un itinéraire, les gestionnaires ne disposent à ce jour d'aucun moyen pour caractériser la visibilité offerte aux usagers nocturnes sur leurs réseaux.

Dans le présent article, nous proposons deux outils complémentaires visant à identifier les problèmes de visibilité nocturne et d'éblouissement sur les routes non éclairées, afin de pouvoir localiser les zones à risque et décider des solutions à déployer. Le premier outil est une méthode de calcul du niveau d'éblouissement à partir d'images de scènes routières mesurées avec un vidéo-photomètre. Le second outil est une méthode de calcul de la distance de visibilité nocturne à partir du coefficient de rétro-réflexion du revêtement de chaussée, mesuré avec l'appareil à grand rendement ECODYN (mlpc®). L'article décrit les deux méthodes de calcul, présente des exemples de leur mise en œuvre, et discute des travaux à mener pour les rendre opérationnels.

## 2. Évaluation de l'éblouissement

L'éblouissement est un phénomène complexe qui se caractérise par deux types d'effet, parfois concomitants : l'éblouissement inconfortable (sentiment de gêne visuelle) et l'éblouissement perturbateur (réduction des performances visuelles).

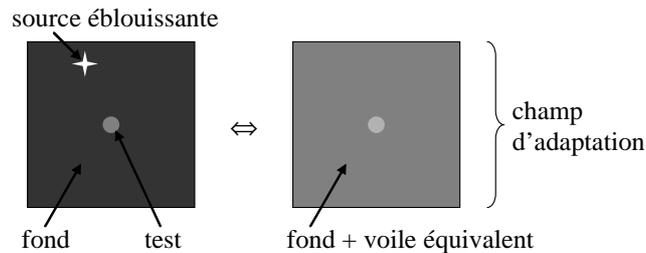
### 2.1 Indicateurs d'éblouissement

#### *Éblouissement inconfortable*

L'éblouissement inconfortable est un phénomène subjectif, généralement transitoire, dont les mécanismes sont encore indéterminés. Parmi les indices utilisés pour l'évaluer, le plus courant est l'échelle de De Boer, qui comprend des niveaux allant de 1 pour insupportable à 9 pour négligeable (Vos, 2003).

### ***Éblouissement perturbateur***

L'éblouissement perturbateur est un phénomène objectif généré par la diffusion de la lumière dans les yeux, qui se traduit par une diminution de la sensibilité au contraste. Il est établi que l'effet est équivalent à celui d'un voile lumineux uniforme se superposant à la distribution de luminance de la scène observée. L'importance de ce phénomène dépend de plusieurs paramètres, parmi lesquels l'intensité de la source éblouissante, son excentricité par rapport à la direction du regard, ainsi que l'âge de l'observateur. La CIE (2002) propose une formule normalisée qui permet de calculer la luminance de voile équivalente en fonction de ces paramètres.



**Figure 1** – La présence d'une source éblouissante dans le champ de vision induit une réduction de la sensibilité au contraste équivalente à celle que produirait un voile lumineux uniforme (CIE, 2002).

## **2.2 Méthode de mesure**

Le niveau d'éblouissement subi par un conducteur, qu'il soit inconfortable ou perturbateur, est déterminé par la distribution de luminance dans son champ de vision, luminance qui constitue le signal d'entrée du système visuel. Nous proposons donc d'évaluer l'éblouissement en analysant cette distribution de luminance, qu'il est possible de mesurer avec un vidéo-photomètre. Les résultats présentés ont été obtenus avec un vidéo-photomètre Radiant Imaging PR-1613F-2. Les calculs ont été confrontés à des observations, non pour valider les modèles sous-jacents (ce qui aurait nécessité un nombre plus important de sujets), mais pour vérifier la conformité de leur mise en œuvre.

Pour quantifier l'éblouissement inconfortable, nous commençons par localiser les sources éblouissantes dans l'image de la scène. Connaissant leur position et leur luminance, nous utilisons la méthode décrite par Baer (2006) pour évaluer un indice d'inconfort. Nous appliquons ensuite une méthode décrite par Vos (2003) pour convertir cet indice en un score sur l'échelle de De Boer. Cette méthode de calcul de l'éblouissement inconfortable a été validée par une série d'expériences de laboratoire. Des photographies de scènes routières nocturnes ont été présentées sur un moniteur à 15 sujets, en présence ou en l'absence d'éblouissement. L'éblouissement était généré au moyen d'une source de type LED de forte intensité placée devant le moniteur pour simuler les phares d'un véhicule en sens inverse, source dont on faisait varier la position et l'intensité. Nous avons obtenu une bonne correspondance entre les scores subjectifs produits par les sujets et les scores objectifs calculés avec l'outil d'évaluation de l'éblouissement inconfortable proposé.

Pour quantifier l'éblouissement perturbateur, nous procédons à une analyse point par point de l'image de la scène, en quantifiant la contribution de chaque point à la luminance de voile équivalente à l'aide de l'équation normalisée de la CIE (2002), puis en intégrant les résultats sur toute l'image. Nous avons testé et validé cet outil par une série d'expériences en

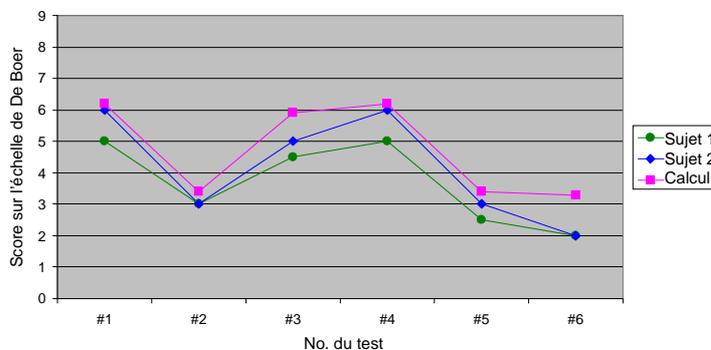
laboratoire dans lesquelles des sujets devaient effectuer une tâche de détection au seuil sur un moniteur. Le stimulus visuel était un disque gris foncé présenté sur un fond noir avec un arrière plan gris. Les sujets devaient incrémenter la luminance du disque jusqu'à le rendre juste visible par rapport au fond, avec ou sans éblouissement. L'éblouissement était généré au moyen du dispositif décrit précédemment. Le seuil de contraste a ainsi pu être mesuré dans différentes conditions d'intensité et d'excentricité de la source éblouissante, pour 15 sujets d'âges différents. Les résultats ont montré que la luminance de voile équivalente calculée par l'outil de mesure de l'éblouissement perturbateur était bien corrélée à la valeur déterminée expérimentalement.



**Figure 2** – Expériences psychovisuelles menées en laboratoire pour vérifier le calcul du niveau d'éblouissement inconfortable (à gauche) et perturbateur (à droite) par analyse d'images en luminance.

### 2.3 Résultats

Après avoir testé et vérifié l'outil de mesure de l'éblouissement en laboratoire, nous avons effectué des tests sur le terrain, en site protégé (à Richmond, en Californie). Au cours de ces tests, deux observateurs devaient évaluer l'inconfort généré par les phares d'un véhicule (immobile) dans différentes conditions : phares en position feux de route ou feux de croisement, avec ou sans éclairage public, avec ou sans écran anti-éblouissement, et avec un pare-brise propre ou sale. Les résultats ont confirmé la correspondance entre les scores fournis par les sujets et les scores calculés avec l'outil de mesure de l'éblouissement inconfortable proposé.



**Figure 3** – Comparaison des niveaux d'inconfort évalués par deux sujets (en vert et en bleu) avec le niveau estimé à l'aide de l'outil de mesure de l'éblouissement inconfortable proposé (en magenta), dans six conditions d'observation.

Nous avons également tenté de tester l'estimation de l'éblouissement perturbateur, mais la piste n'était pas assez longue pour atteindre le seuil de visibilité de la cible en conditions statiques.

### **3. Relevé de la visibilité nocturne**

#### **3.1 Indicateur de visibilité nocturne**

L'approche proposée pour caractériser la visibilité nocturne est inspirée des pratiques en conception de systèmes d'éclairage. L'éclairage public et l'éclairage automobile ont le même objectif : permettre aux usagers de la route de voir la signalisation (horizontale pour le guidage, verticale pour la navigation) et les obstacles lorsqu'ils circulent la nuit. La différence tient au fait qu'une installation d'éclairage routier peut être optimisée en tenant compte des propriétés photométriques du revêtement de la chaussée éclairée (Dumont, 2007), tandis que les phares sont susceptibles de rencontrer toutes sortes de revêtements sur diverses routes. Nous proposons donc d'évaluer l'impact du revêtement de chaussée sur la distance de visibilité d'un obstacle potentiel éclairé par les phares. Pour ce faire, nous adoptons un scénario conventionnel très largement utilisé par les concepteurs d'éclairage pour la route (IESNA, 2005) et l'automobile (Olson et al., 1990) : la détection d'une petite cible sur la chaussée.

Dans le scénario considéré, le conducteur circule à la vitesse réglementaire. La hauteur de ses yeux et la hauteur des phares de son véhicule par rapport au sol sont fixées par convention à respectivement 1,20 m et 0,65 m, valeurs retenues dans l'action européenne COST 331 (1999) sur la visibilité des marquages. Pour la photométrie des phares, nous utilisons par convention la distribution d'intensité médiane d'un échantillon représentatif des phares du parc automobile européen, mesurée au début des années 2000 (Schoettle et al., 2001). Pour l'obstacle à détecter, nous utilisons par convention un carré de 18 cm de côté, de couleur gris-sombre caractérisée par un facteur de luminance de 8%, placé verticalement sur la chaussée au centre de la voie devant le véhicule.

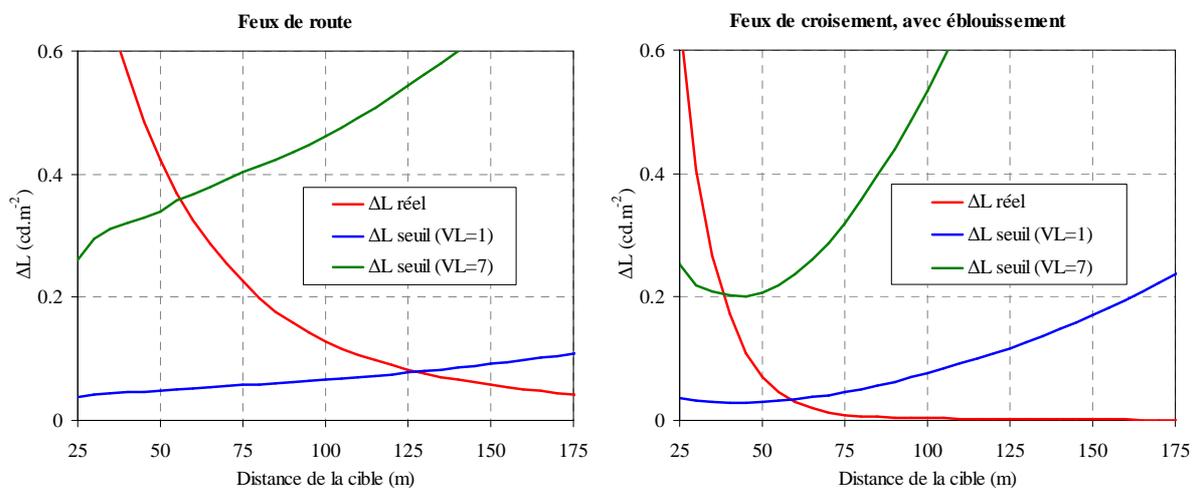
Selon le modèle empirique d'Adrian (1989), basé notamment sur les données expérimentales de Blackwell (1946) sur la vision du contraste, la visibilité d'un objet dépend principalement de la différence de luminance  $\Delta L$  entre cet objet et l'arrière-plan, et de la luminance d'adaptation de l'observateur (cf. Figure 1). Globalement, on peut considérer que plus l'environnement est lumineux, plus la différence de luminance doit être grande pour qu'un objet soit détectable. Pour des raisons d'acuité visuelle, la visibilité de l'objet dépend également de sa taille angulaire. Le modèle d'Adrian permet de calculer la différence de luminance minimale pour qu'un objet soit détectable en fonction de sa taille apparente et de la luminance d'adaptation. Des facteurs correctifs permettent de tenir compte de paramètres supplémentaires tels que le temps d'observation et l'âge de l'observateur. Le niveau de visibilité  $V$  de l'objet est défini comme le rapport entre la différence de luminance constatée et la différence de luminance minimale ainsi calculée. La condition  $V \geq 1$  est théoriquement suffisante pour garantir la visibilité de l'objet, mais les praticiens introduisent un « facteur terrain » pour tenir compte de la complexité de la tâche de conduite par rapport aux conditions de laboratoire. Par convention, nous utilisons la condition  $V \geq 7$  recommandée par l'AFE (2002) pour définir le seuil de visibilité de la cible en situation de conduite de nuit.

Ayant fixé les paramètres géométriques et photométriques du scénario conventionnel, il est possible de calculer le niveau de visibilité de la cible considérée en fonction de sa distance par rapport aux phares, et ce en tout point d'un itinéraire, à condition de connaître le coefficient

de luminance rétro-réfléchi  $R_L$  du revêtement (Brémond et al., 2007). Ce paramètre permet en effet, connaissant l'intensité émise par les phares, de calculer la luminance de la chaussée. On distingue deux cas.

- Dans le premier cas, le conducteur circule seul sur la route, en feux de route ; la luminance d'adaptation est alors prise égale à la luminance de fond, elle-même égale à la luminance de la chaussée au pied de la cible.
- Dans le second cas, le conducteur est confronté à un véhicule en sens inverse, situé à la même distance que la cible, et circule en feux de croisement ; la luminance d'adaptation est alors prise égale à la somme de la luminance de la chaussée et de la luminance de voile résultant de l'éblouissement perturbateur (cf. Section 2.1) généré par les phares du véhicule croisé.

Dans les deux cas, la distance de visibilité nocturne est définie comme la distance à laquelle le niveau de visibilité de la cible considérée est égal au seuil choisi, comme l'illustre la Figure 4.



**Figure 4** – Différence de luminance réelle (en rouge) et différence de luminance détectable (en bleu pour un observateur en laboratoire, en vert pour un conducteur) en fonction de la distance pour un revêtement dont le coefficient de luminance rétro-réfléchi est de  $15 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$ . La distance de visibilité de la cible considérée est donnée par l'intersection des deux courbes. En feux de route sans trafic (à gauche), elle est de 56 m. En feux de croisement avec véhicule en face (à droite), elle tombe à 38 m.

### 3.2 Méthode de mesure

Pour calculer la distance de visibilité nocturne selon le principe qui vient d'être présenté, il suffit de connaître le coefficient de luminance rétro-réfléchi de la chaussée. Or il existe un appareil à grand rendement qui permet de mesurer ce paramètre, quoiqu'il ait été conçu et qu'il soit habituellement employé pour caractériser la qualité de service de la signalisation horizontale. Il s'agit de l'appareil mlpc® ECODYN, présenté en Figure 5.

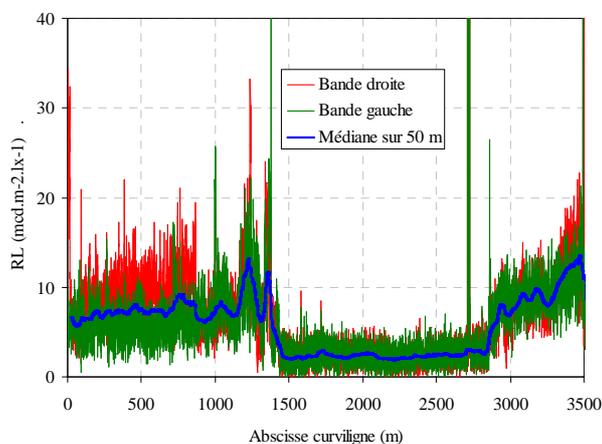
La mesure est effectuée tous les 40 cm, dans n'importe quelle condition d'éclairage, selon une géométrie définie par la norme européenne EN 1436 sur la performance des marquages : l'angle d'éclairage est de  $1,24^\circ$  et l'angle d'observation est de  $2,29^\circ$ . Cette géométrie correspond à une distance d'environ 30 m devant le véhicule. On ne devrait donc pouvoir calculer la luminance de la chaussée qu'à cette distance. Toutefois, des études passées ont montré que le coefficient de luminance rétro-réfléchi sous éclairage automobile du

revêtement de chaussée, quelle que soit sa nature, est relativement indépendant de la distance en conditions sèches (Hubert et Canestrelli, 1985). Selon le type de revêtement, le coefficient de luminance rétro-réfléchi prend habituellement des valeurs comprises entre 5 et 15  $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$ , mais il arrive qu'il dépasse 40  $\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$  dans le cas d'enduits superficiels clairs.

Dans le cas des marquages, les mesures sont habituellement intégrées sur des sections de 150 m pour faciliter l'interprétation par les gestionnaires. Pour notre application, les mesures sont débruitées à l'aide d'un filtre médian appliqué sur une base glissante de 50 m. Un exemple de profil de  $R_L$  de chaussée mesuré avec l'appareil ECODYN est présenté dans la Figure 6. La section de la chaussée comprise entre les abscisses 1 500 et 2 800 m est dotée d'un revêtement plus récent, et donc plus sombre et plus uniforme.



**Figure 5** – Le système ECODYN (mlpc®) permet de mesurer le coefficient de luminance rétro-réfléchi du revêtement de la chaussée le long d'un itinéraire.

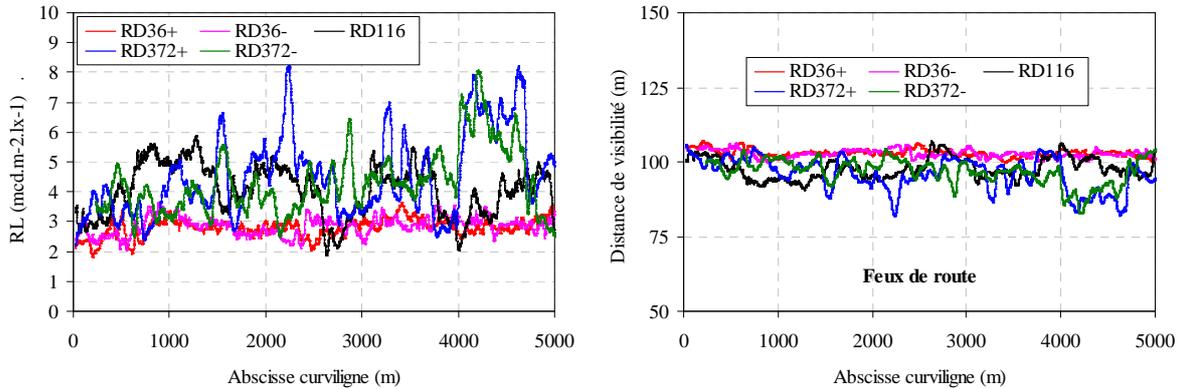


**Figure 6** – Coefficient de luminance rétro-réfléchi mesuré avec l'appareil ECODYN le long d'une section de route de 3,5 km dotée d'un revêtement en béton bitumineux (à proximité de Strasbourg). La photographie à droite montre le changement de revêtement qui explique la rupture de  $R_L$  à partir de l'abscisse 1 500 m.

### 3.3 Résultats

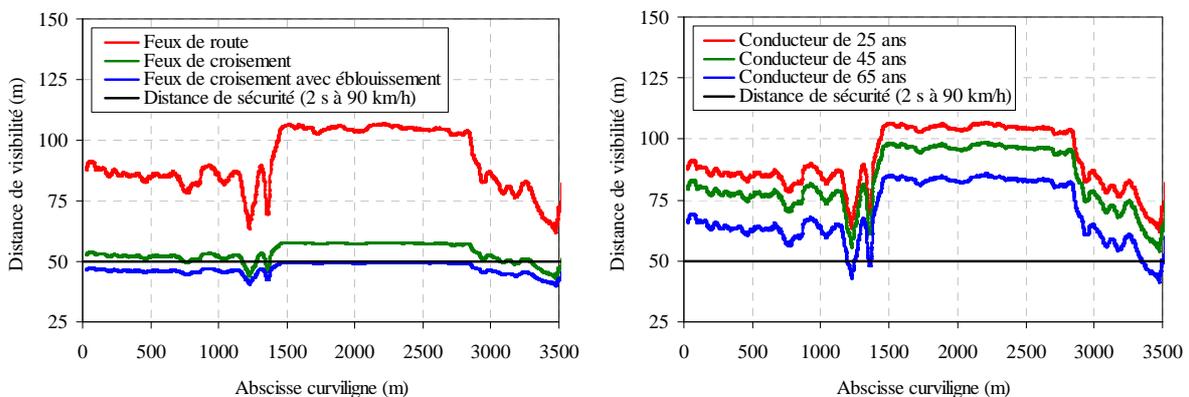
Le LRPC de Strasbourg a effectué des mesures ECODYN sur plusieurs sections de route, et nous avons évalué l'indicateur de visibilité nocturne défini précédemment. Les résultats, présentés dans la Figure 7, donnent une idée des variations de la rétro-réflexion de la chaussée

le long d'une route, et de l'évolution de la distance de visibilité nocturne qui en résulte pour un conducteur en feux de route.



**Figure 7** – Exemples de profils de  $R_L$  de chaussée mesurés avec l'appareil ECODYN (à gauche), et profils de distance de visibilité nocturne calculés pour une circulation en feux de route (à droite).

Nous avons également calculé les distances de visibilité nocturne associées au profil présenté dans la Figure 6. Les résultats, présentés dans la Figure 8, montrent que la zone sur laquelle le revêtement est plus sombre offre une plus grande distance de visibilité nocturne aux usagers, et leur laisse donc plus de temps pour réagir face à la présence d'un obstacle sur la chaussée. On observe également des pics de rétro-réflexion au niveau desquels la distance de visibilité nocturne tombe à 65 m en condition de feux de route. Cette distance reste acceptable si on la compare aux 2 s de sécurité généralement préconisées, qui correspondent à une distance de 50 m à la vitesse de 90 km/h. Néanmoins, lorsque le conducteur rencontre du trafic en sens inverse et passe en feux de croisement, la distance de visibilité mobilisable tombe en-dessous de ce seuil. Et si le conducteur oublie de repasser en feux de route, la distance de visibilité mobilisable remonte tout juste au niveau de la distance de sécurité. Ces résultats s'appliquent dans le cas d'un jeune conducteur, mais si l'on considère un conducteur plus âgé, comme le permet un des facteurs correcteurs du modèle d'Adrian, on constate que sur des sections où le  $R_L$  dépasse  $10 \text{ mcd.m}^{-2}.\text{lx}^{-1}$ , il pourrait être surpris face à la présence d'un objet sombre qu'il ne détecterait que tardivement.



**Figure 8** – Effets des conditions de circulation (à gauche) et de l'âge du conducteur (à droite) sur le profil de visibilité nocturne le long de la section de route présentée dans la Figure 6.

#### 4. Conclusions et perspectives

Nous proposons deux outils complémentaires pour évaluer la visibilité et l'éblouissement de nuit sur les routes non éclairées : une méthode d'évaluation de la distance de visibilité nocturne à partir du coefficient de luminance rétro-réfléchie du revêtement de chaussée mesuré avec l'appareil à grand rendement ECODYN (Dumont et al., 2009), et une méthode d'évaluation du niveau d'éblouissement à partir d'images de scènes routières mesurées avec un vidéo-photomètre (Christianson et al., 2009). Pour plus de détails concernant les principes et les hypothèses sur lesquels reposent ces deux outils, le lecteur pourra se référer aux deux rapports précités. Leur point faible principal et commun tient dans leur nature conventionnelle, consistant à qualifier une diversité quasiment infinie de situations routières avec un nombre limité de scénarios. D'autre part, les hypothèses utilisées pour fixer les paramètres des modèles mis en œuvre, tels que la luminance d'adaptation, nécessitent des recherches complémentaires.

L'outil de mesure de l'éblouissement est destiné à évaluer la gêne subie la nuit par les conducteurs lorsqu'ils croisent d'autres véhicules. Plusieurs étapes ont été franchies pour rendre cet outil opérationnel, mais certaines difficultés limitent encore son utilisation sur le terrain. L'analyse des images de la scène n'est pas entièrement automatique, et nécessite encore l'intervention d'un expert, ce qui constitue un obstacle au déploiement de l'outil. Mais le principal problème est lié au système d'acquisition des images en luminance, qui exige actuellement plusieurs prises de vue avec différents temps d'exposition pour capturer toute la dynamique lumineuse de la scène routière. Cette contrainte impose des conditions d'éclairage et d'observation statiques difficilement compatibles avec une mise en œuvre opérationnelle. Toutefois, des solutions techniques commencent à émerger pour pallier ce problème, ouvrant des perspectives pour l'utilisation de systèmes embarqués tels que le dispositif Cyclope du LRPC d'Angers (Fournela et al., 2006).

L'outil de mesure de la visibilité nocturne est destiné à aider les gestionnaires routiers à localiser les zones de leurs réseaux sur lesquelles les usagers circulant de nuit risquent de ne pas pouvoir détecter un obstacle sur la chaussée à temps pour l'éviter, particulièrement lorsqu'ils sont gênés par les phares des véhicules en sens inverse. Avant d'envisager une mise en œuvre opérationnelle, cet outil doit être qualifié. Pour ce faire, nous proposons de sélectionner et d'étudier une ou plusieurs sections d'itinéraire non éclairées sur lesquelles le gestionnaire a observé des sur-accidents de nuit, de relever le profil de visibilité nocturne sur ces sections, et d'analyser les résultats en collaboration avec un expert en sécurité routière. Cela permettrait de démontrer le bien-fondé de l'indicateur de visibilité proposé, et de le calibrer en fixant un seuil pertinent. Dans un second temps, l'outil pourra être amélioré en tenant compte de la géométrie du tracé (pente, rayon) dans la méthode de calcul. Enfin, au-delà de leur intérêt pour le diagnostic de qualité de la route, les données relevées pourront être utilisées par les futurs systèmes coopératifs pour la sécurité, comme paramètre d'entrée des systèmes d'aide à la conduite ou des systèmes d'éclairage adaptatif des véhicules.

Une fois qualifiés, les deux outils pourront être utilisés de manière complémentaire. En effet, le profil de visibilité nocturne permettra d'abord de cibler les points d'un itinéraire où l'éblouissement par les phares constitue un risque potentiel pour les conducteurs, et qui nécessitent une analyse plus précise. Le niveau d'éblouissement permettra ensuite de vérifier l'importance du problème et, dans le cas où le gestionnaire installe des contre-mesures telles que les écrans anti-éblouissement ou l'éclairage public (Mace et al., 2001), d'évaluer leur efficacité.

## Remerciements

L'outil de mesure de l'éblouissement a été développé dans le cadre d'un projet financé par le California PATH (TO #6603). L'outil de mesure de la visibilité nocturne a été développé dans le cadre du projet VIZIR de l'action fédérative SARI, avec un financement du PREDIT (DA n°05MT6039). La complémentarité entre les deux outils a été étudiée dans le cadre de la collaboration CalFrance entre le département des transports californien et le ministère des transports français.

Les auteurs remercient Joseph E. Barton, Christina Chow, Hicham Choukour et Yannick Guillard pour leur contribution aux travaux présentés.

## Références

- Adrian, W. (1989), Visibility of Targets: Model for Calculation, *Lighting Research and Technology*, 21(4), 181-188.
- AFE (2002), *Recommandations relatives à l'éclairage des voies publiques*, Lux, Paris.
- Baer, R. (2006), *Beleuchtungstechnik: Grundlagen*, Huss-Medien, Berlin.
- Blackwell, H.R. (1946), Contrast Threshold of the Human Eye, *Journal of the Optical Society of America*, 36(11), 624-643.
- Brémond, R., Choukour, H., Dumont, E. and Guillard, Y. (2007), A Night-time Visibility Index for the Diagnosis of Rural Road Networks, *Proceedings of the 26<sup>th</sup> Session of the CIE*, CIE, Vienne, D4:104-107.
- Christianson, K.B., Greenhouse, D.S., Barton, J.E. and Chow, C. (2009), *Methods to Address Headlight Glare*, University of California Berkeley, final report.
- CIE (1993), *Road Lighting as an Accident Countermeasure*, CIE, Vienne, publication No 93-1993.
- CIE (2002), *CIE Equations for Disability Glare*, CIE, Vienne, publication No 146-2002.
- COST 331 (1999), *Requirements for Horizontal Road Marking*, European Commission, Luxembourg, final report.
- Dumont, E. (2007), *Photométrie des chaussées et éclairage public*, LCPC, Paris, rapport No CR45.
- Dumont, E., Brémond, R., Choukour, H. and Guillard, Y. (2009), *A Nighttime Visibility Meter for Secondary Roads*, LCPC, Paris, rapport technique.
- Fournela, F. and Greffier, F. (2006), *La perception visuelle de l'environnement par les usagers de la route*, Actes des 4<sup>e</sup> Journées des Sciences de l'Ingénieur, LCPC, Paris, 48-53.
- Hubert, R. et Canestrelli, M. (1985), *Mesures de rétro réflexion sur chaussées sèches et mouillées*, LCPC, Paris, rapport technique.
- IESNA (2005), *Roadway Lighting*, IESNA, New York, No RP-8-00.
- Mace, D., Garvey P., Porter, R.J., Schwab, R. and Adrian, W. (2001), *Countermeasures for Reducing the Effects of Headlight Glare*, AAA Foundation for Traffic Safety, Washington D.C., final report.
- Olson, P.L., Aoki, T., Battle, D.S. and Flannagan, M.J. (1990), *Development of a Headlight System Performance Evaluation Tool*, UMTRI, Ann Arbor, Report No 90-41.
- ONISR (2008), *La sécurité routière en France : bilan de l'année 2008*, La documentation française, Paris.
- SETRA (1994), *Aménagement des routes principales (ARP)*, Guide technique, SETRA, Bagnaux.
- Schoettle, B., Sivak, M. and Flannagan, M.J. (2001), *High-Beam and Low-Beam Headlighting Patterns in the U.S. and Europe at the Turn of the Millennium*, UMTRI, Ann Arbor, report No 2001-19.

- Sivak, M. (1996), The information that drivers use: is it indeed 90% visual?, *Perception*, 25(9), 1081-1089.
- Vos, J.J (2003), On the cause of disability glare and its dependence on glare angle, age and ocular pigmentation, *Clinical and Experimental Optometry*, 86(6), 363-370.
- Wanvik, P.O. (2009), Effects of road lighting: An analysis based on Dutch accident statistics 1987-2006, *Accident Analysis and Prevention*, 41, 123-128.