HAL
open science

Analyse des conditions de lumière sur un site d'accident nocturne en milieu urbain

Marie Claude Montel, Paul Verny, Joël Magnin, Fabrice Lopez

To cite this version:

Marie Claude Montel, Paul Verny, Joël Magnin, Fabrice Lopez. Analyse des conditions de lumière sur un site d'accident nocturne en milieu urbain. Carnets d'accidentologie, 2016, 2016, pp.25-44. hal-01459286

HAL Id: hal-01459286

https://hal.science/hal-01459286

Submitted on 10 Feb 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Carnets d'accidentologie

ISSN 2495-6872

Vol. 2016, p. 25-44

Analyse des conditions de lumière sur un site d'accident nocturne en milieu urbain

Marie-Claude Montel*, Paul Verny**, Joël Magnin*, Fabrice Lopez**

Résumé : L'analyse approfondie de cas d'accidents permet d'identifier les déterminants des dysfonctionnements intervenant dans l'enchaînement des mécanismes accidentels. Concernant les dysfonctionnements de la perception et du traitement de l'information visuelle en période nocturne, la recherche d'éléments explicatifs parmi les conditions de lumière présente certaines difficultés en termes de recueil de données et de modélisation des processus. Ce texte rend compte de l'étude approfondie des conditions de lumière d'un cas d'accident nocturne, issu d'une base de données d'un programme d'étude détaillée d'accidents, pour lequel des dysfonctionnements liés à la perception sont susceptibles d'avoir contribué à sa survenue. L'analyse spécifique de ce cas s'inscrit dans le cadre d'un travail exploratoire visant à tester les apports de méthodes et d'outils de diagnostic des conditions de lumière sur des sites d'accidents nocturnes pour la compréhension des dysfonctionnements perceptivo-cognitifs, notamment ceux liés à la visibilité et à la conspicuité dans la scène visuelle.
Mots clés : accident de la circulation, étude détaillée d'accident, nuit, éclairage, visibilité, conspicuité.

Abstract: ***Analysis of light conditions at a nighttime accident site in an urban environment***. In-depth investigation on traffic crashes makes it possible to identify determinants of dysfunctions involved in accidents processes. Regarding dysfunctions of visual information perception and treatment by night, to search explanations in light features presents difficulties in data gathering and process modelling. This text reports an in-depth analysis of an accident case that occurred by night, coming from the database of an in-depth investigation programme on traffic crashes. The process of this accident involves perceptive dysfunctions. The specific analysis of this accident takes place within the framework of an exploratory work aiming to test the contribution of methods and tools of light features diagnosis for the understanding of perceptive dysfunctions, in particular those dealing with visibility and conspicuity in the visual scene.
Keywords: road accident, in-depth investigation, night, lighting, visibility, conspicuity.

1. Introduction

La nuit, le risque d'accident de la circulation est plus élevé qu'en période de jour et les accidents sont, de surcroît, plus graves (ONISR, 2008). La conduite nocturne se caractérise évidemment par des conditions de lumière spécifiques (absence de lumière du jour, lumières artificielles des feux de véhicules et de l'éclairage public et privé) et une performance visuelle réduite, mais aussi par d'autres éléments de contexte qui, bien que non exclusifs à la nuit, sont plus fréquents en cette période. Ce sont par exemple la fatigue, l'alcoolisation, la glissance de la chaussée due à l'humidité nocturne, des vitesses pratiquées élevées en raison de la faible circulation.

* IFSTTAR, TS2, LMA (Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux, département Transport, santé et sécurité ; laboratoire Mécanismes d'accidents), F-13300 Salon de Provence.

** CEREMA, DTerMed, DAT, SARTU (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement, direction territoriale Méditerranée, département Aménagement des territoires, service Aménagement, réseaux et transports urbains), F-13290 Aix en Provence.

Plusieurs travaux se sont attachés à évaluer l'effet des conditions de lumière nocturne indépendamment des autres facteurs liés au contexte nocturne (Coate et Markowitz, 2004 ; Stevens et Lord, 2006 ; Sullivan et Flannagan, 2002, 2007 ; Johansson *et al*., 2009). Il apparaît que, de façon générale, le risque d'accidents est plus élevé en conditions de lumière nocturne qu'en conditions de lumière diurne. Ce sur-risque est encore plus important pour les accidents mortels.

Ces travaux confirment que les conditions de lumière constituent un des éléments expliquant le sur-risque nocturne, mais il convient de comprendre comment elles interviennent dans les processus conduisant à l'accident. Les conditions de lumière nocturne peuvent de façon évidente expliquer des problèmes d'accès à l'information en contribuant à une mauvaise visibilité. Mais leur participation aux processus d'accident ne se limite pas aux problèmes de visibilité. Elles peuvent aussi jouer un rôle dans la conspicuité d'un élément, sa capacité à être détecté (Twisk et Reurings, 2013). Au-delà des dysfonctionnements du prélèvement de l'information, les conditions de lumière peuvent également intervenir au niveau du traitement de l'information, dans le diagnostic et le pronostic d'évolution de la situation par l'usager (conducteur, piéton), par exemple dans des problèmes de lisibilité des voies et de leur environnement et de développement inapproprié d'attentes vis-à-vis des évènements susceptibles de se produire (Montel *et al*., 2004).

L'analyse approfondie de cas d'accidents permet d'identifier les dysfonctionnements intervenant dans l'enchaînement des mécanismes accidentels et leurs différents déterminants. Mais rechercher, parmi les conditions de lumière, les éléments qui expliquent les dysfonctionnements de la perception et du traitement de l'information visuelle présente certaines difficultés. En premier lieu, cela suppose de caractériser les conditions de lumière nocturne sur le site de l'accident et ses approches dans les mêmes circonstances d'observation que les personnes impliquées. Cela suppose ensuite de pouvoir apprécier ces caractéristiques en termes notamment de visibilité des différents éléments composant la scène visuelle. Il s'agit d'aller au-delà du simple respect des normes et recommandations en matière d'éclairage ou d'une appréciation subjective de « bonne » ou « mauvaise » visibilité, de présence de « trous noirs » (ou défauts d'uniformité d'éclairage) ou de sources éblouissantes. L'évaluation de la visibilité des éléments de la scène visuelle nécessite le recours à un modèle intégrant à la fois les caractéristiques photométriques de ces éléments et les performances visuelles humaines. Au-delà des questions de visibilité, cela suppose enfin de pouvoir évaluer, à partir des caractéristiques de lumière, la capacité des éléments de la scène visuelle à être facilement perçus dans leur environnement, et la capacité de la scène visuelle à être comprise et interprétée, ce qui implique de pouvoir appréhender la scène dans sa globalité.

Ce texte présente l'étude approfondie d'un cas d'accident nocturne issu de la base de données de l'Etude détaillée d'Accidents (EDA)[1] de l'IFSTTAR, pour lequel des dysfonctionnements liés à la perception ont contribué à sa survenue. L'analyse de ce cas s'inscrit dans un travail exploratoire[2] visant à tester les apports de méthodes et d'outils de diagnostic (mesures photométriques, traitements d'image) des conditions de lumière sur des sites d'accidents nocturnes pour la compréhension des dysfonctionnements perceptivo-cognitifs intervenant dans le prélèvement ou le traitement de l'information visuelle, notamment ceux liés à la visibilité, à la conspicuité (ou saillance visuelle) et à la perception globale de la scène visuelle.

1. Le lecteur pourra trouver une description sommaire de la base de données de l'EDA dans la publication de Brenac *et al*. (2016) dans les *Carnets d'accidentologie*. Voir aussi Ferrandez *et al*. (1995).

2. Cette étude a fait l'objet de financements de la DSCR dont une partie dans le cadre de l'Opération de recherche stratégique et incitative de l'IFSTTAR « Impact des informations visuelles sur les comportements de conduite ».

Comme pour chacun des accidents faisant l'objet de ce travail exploratoire, l'étude de l'accident développée ci-après repose sur une analyse du dossier réalisé dans le cadre de l'EDA, orientée plus particulièrement sur les aspects perceptifs (voir la présentation de l'accident en partie 2). Un recueil spécifique de données, complémentaire au recueil déjà réalisé pour l'enquête EDA, est ensuite effectué sur le site de l'accident afin de caractériser les conditions de lumière. Il consiste d'une part en un relevé complémentaire des caractéristiques du site et de l'installation d'éclairage, et d'autre part en des mesures ponctuelles d'éclairement et des prises de vue du site pour la mesure des champs de luminance[3]. Ces données sont ensuite exploitées à l'aide de différents modèles de calcul afin d'analyser la répartition de la lumière, la visibilité d'éléments du site et de la scène visuelle globale, et la saillance des éléments de la scène (voir partie 3).

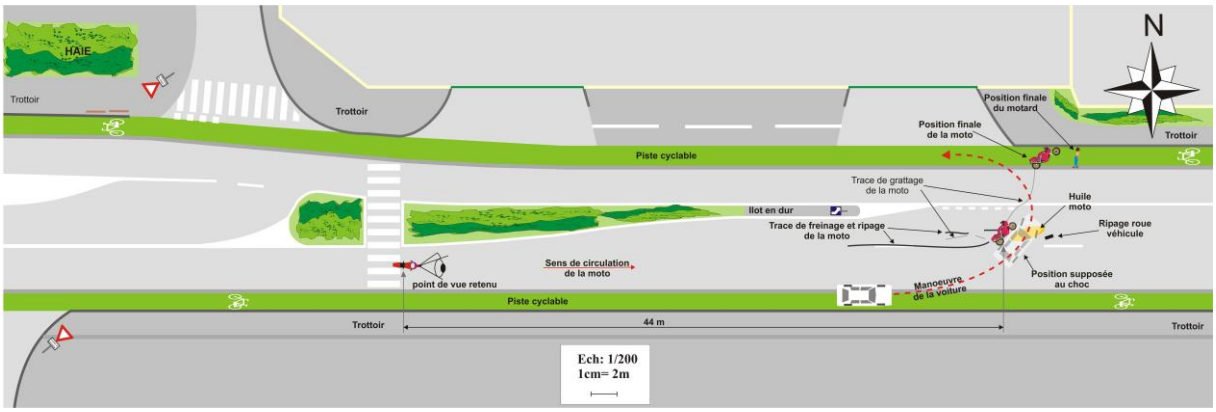
2. Présentation de l'accident

Les informations contenues dans le dossier EDA ont été analysées, en s'intéressant plus particulièrement aux aspects perceptifs de la survenue de l'accident. Des données cinématiques, spécifiquement calculées dans le cadre de ce travail, sont venues compléter la reconstruction cinématique de l'accident. Ces analyses permettent de décrire le déroulement de l'accident et de pointer les dysfonctionnements liés à la perception.

2.1. Déroulement de l'accident

D'après les enquêtes, analyses et reconstruction cinématique du dossier d'EDA, il ressort que l'accident s'est déroulé de la façon suivante :

Vers 19h 30, un samedi de février, un motocycliste quitte son lieu de travail pour rejoindre son domicile. Il doit ressortir ensuite, et se réjouit de sa soirée à venir. Deux minutes après être parti de son lieu de travail situé en centre-ville, il circule sur un boulevard dans un environnement de zone commerciale, en périphérie d'une agglomération. Il s'agit d'un trajet habituel. Il franchit un giratoire et poursuit sa progression à une vitesse de 75 km/h (donnée issue de la reconstitution cinématique) sur ce boulevard. Le tracé est rectiligne et la voie présente un terre-plein central végétalisé et une bande cyclable sur la droite. Des bâtiments commerciaux se situent de part et d'autre de la chaussée, sans être à proximité immédiate, sur lesquels sont apposées de nombreuses enseignes lumineuses. Une automobile de couleur blanche est arrêtée avec ses feux de croisement allumés, 150 m en aval du giratoire sur la piste cyclable. En sortie du giratoire, le motocycliste a la visibilité géométrique sur la voiture mais ne la détecte pas.



(Source IFSTTAR-LMA)

Figure 1. Plan de l'accident

3. L'éclairement et la luminance sont des grandeurs photométriques définies dans la partie 3 présentant le recueil et l'analyse des données.

La circulation est quasi nulle, le conducteur de la voiture démarre lentement une manœuvre de demi-tour, certainement pour éclairer avec le faisceau de ses feux le parc automobile situé sur le côté gauche du boulevard où est stationné sa future voiture (il veut la montrer à son passager). Dans un premier temps, il avance en ligne droite sur 4 m. Le motocycliste ne perçoit pas la voiture démarrer, et il poursuit sa progression.

La voiture commence à braquer sur la gauche. Elle a déjà parcouru 7,6 m lorsque le motocycliste, qui roule toujours à 75 km/h, perçoit « une grosse masse blanche » au milieu de la route. Il se situe alors à 27 m d'elle. Il comprend qu'une voiture lui coupe la route et freine violemment.

La moto se couche sur le flanc gauche, et c'est dans cette position qu'elle percute la voiture à hauteur des portières arrière et avant.

(Source CEREMA/DTER Med/DAT/SARTU)

Photo 1. Approche du lieu de l'accident selon le point de vue du motocycliste (photo avec objectif *fisheye*)

2.2. Dysfonctionnements de la perception

Pour ce cas d'accident, nous ne nous intéresserons qu'aux dysfonctionnements perceptifs du point de vue du motocycliste. Le conducteur de la voiture ayant refusé d'être interviewé, nous ne savons rien de ses prises d'information et de ce qu'il a perçu avant le choc.

Le motocycliste n'a pas perçu la voiture quand elle était à l'arrêt sur la piste cyclable, alors qu'à partir du giratoire, environ 150 m en amont, aucun masque à la visibilité n'est présent entre lui et la voiture. Il ne l'a pas perçue non plus lorsqu'elle a démarré et avancé de façon rectiligne sur le côté droit. Il n'a perçu la voiture qu'au moment où celle-ci empiète sur sa voie, il se trouve alors environ 130 m en aval du giratoire et à 27 m en amont de la voiture.

Il s'agit de comprendre si les conditions de lumière ont pu contribuer, et de quelle façon, à la non-perception de la voiture sur le côté, à l'arrêt puis en démarrage rectiligne. Deux questions se posent alors et orienteront les analyses :

La voiture était-elle visible compte tenu des conditions de lumière lorsque le motocycliste avait encore le temps d'arrêter son véhicule?

La voiture était-elle suffisamment prégnante dans la scène visuelle ?

3. Recueil et analyse des données photométriques

Afin que les conditions (activités urbaines, trafic, végétation, lumières…) soient le plus proches possibles de celles de l'accident, le recueil des données est effectué à la même heure que l'heure de survenue de l'accident, à la même période de l'année et dans des conditions météorologiques semblables.

Ce recueil ayant pour objet la compréhension de l'absence de perception de la voiture par le motocycliste, c'est le point de vue de ce dernier qui est adopté. Les mesures et observations

portent sur la voirie et l'environnement présents dans le champ de vision du motocycliste lorsque celui-ci se situait à la plus faible distance de la voiture lui permettant, compte tenu de sa vitesse, d'avoir encore le temps de mettre en œuvre un freinage d'urgence pour éviter la collision. Cette position du motocycliste est calculée sur la base de la reconstruction cinématique de l'accident réalisée dans le cadre de l'EDA. Elle est estimée à 44 m en amont du point de choc. Une voiture de couleur blanche a été positionnée à l'emplacement où se situait le véhicule impliqué dans l'accident lorsque la moto était à 44 m en amont du point de choc.

(Source CEREMA/DTER Med/DAT/SARTU)

Photo 2. Scène visuelle depuis le point de vue du motocycliste retenu pour les mesures (44 m en amont du point de choc)

3.1. Analyse de la répartition de la lumière

La répartition de la lumière, produite par les différentes sources en place, est analysée ci-après au travers des mesures d'éclairement[4] réalisées *in situ* et des éclairements calculés par simulation.

3.1.1. Description des sources lumineuses présentes sur le site

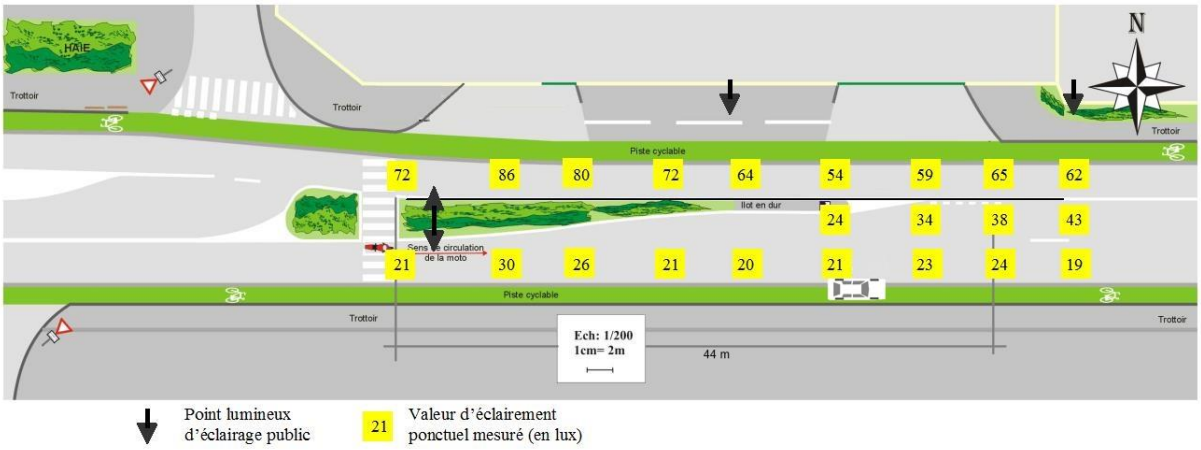
En amont du lieu de l'accident, et jusqu'à 40 m du point de choc, l'éclairage public est assuré par des luminaires positionnés dos à dos par paire sur des mâts implantés sur le terre-plein central (implantation rétro-bilatérale). Au-delà, la configuration de l'installation change au profit d'une implantation unilatérale sur le côté gauche de la chaussée par rapport au sens de circulation de la moto.

Le boulevard se situant dans un contexte de zone d'activités commerciales, d'autres luminaires sont positionnés à proximité de la voie, sur des espaces privés pour éclairer notamment les parkings des établissements commerciaux, et un certain nombre d'enseignes lumineuses ou de bâtiments éclairés rendent l'environnement extrêmement lumineux.

4. L'éclairement est la quantité de lumière incidente sur une surface (de la chaussée, d'une façade, d'un plan de travail...). Il s'exprime en lux et correspond au rapport entre le flux lumineux reçu par cette surface (en lumen) et l'aire de la surface (en m²). Il ne dépend pas des caractéristiques photométriques de la surface recevant la lumière mais de sa distance à la source, de l'intensité lumineuse de la source (flux quittant la source par unité d'angle solide) et de l'inclinaison du plan de la surface.

3.1.2. Eclairements horizontaux mesurés sur le site

Des mesures d'éclairement horizontal sont réalisées au niveau de la chaussée à l'aide d'un luxmètre, en 22 points d'un maillage. Ces mesures sont reportées sur la figure 2.



(Source CEREMA/DTER Med/DAT/SARTU et IFSTTAR-LMA)

Figure 2. Mesures ponctuelles d'éclairement horizontal exprimé en lux, au niveau de la chaussée

L'éclairement moyen sur l'ensemble de la zone de mesures est de 43,5 lux. Il se situe au-delà du niveau d'une classe CE1 de la norme NF EN 13 201/2[5] applicable en éclairage public, qui requiert une valeur minimale d'éclairement moyen de 30 lux. Lorsqu'on ne considère que la zone des deux voies côté sud, celles où circulent la moto et le véhicule, on remarque une valeur d'éclairement moyen plus faible, égale à 26,5 lux. Les plus fortes valeurs d'éclairement mesurées sur la chaussée nord sont dues à l'implantation unilatérale des luminaires le long du boulevard. Cependant l'homogénéité reste bonne au regard des exigences de la norme précitée. L'uniformité générale d'éclairement[6], calculée sur l'ensemble de la zone de mesure, est en effet égale à 0,47, donc supérieure au niveau normatif de 0,4 requis.

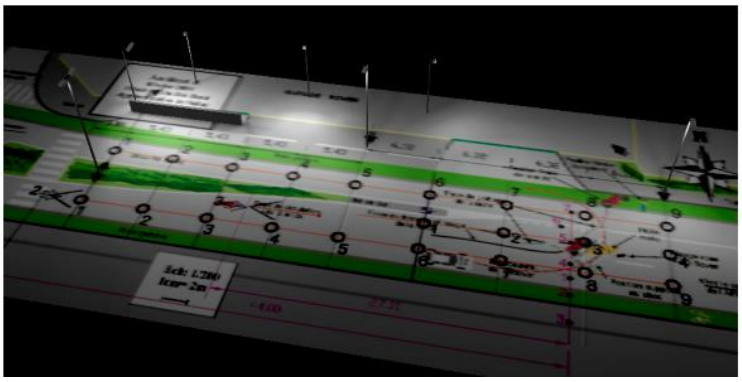
3.1.3. Simulation numérique de la répartition de lumière

Une simulation numérique de l'éclairage a été réalisée à l'aide du logiciel DIALUX (voir l'illustration de la simulation en figure 3). Outre le calcul des éclairements horizontaux sur l'ensemble du site (voir ci-après) complétant ainsi les mesures ponctuelles réalisées *in situ*, cette simulation permet le calcul d'autres paramètres photométriques non mesurés *in situ*, tels que les éclairements verticaux au niveau de certains objets de la scène visuelle (voir partie 3.1.4), et les luminances équivalentes de voile pour la prise en compte de l'éblouissement dû aux sources de lumière dans le calcul des niveaux de visibilité (voir partie 3.2.3).

Sur la base de la géométrie d'implantation[7], des types de luminaires et de lampes en place, et des 22 mesures ponctuelles d'éclairement horizontal effectuées, on procède par itération afin de faire correspondre les éclairements calculés avec les éclairements mesurés par ajustement des paramètres de l'installation d'éclairage (courbes de répartition des intensités

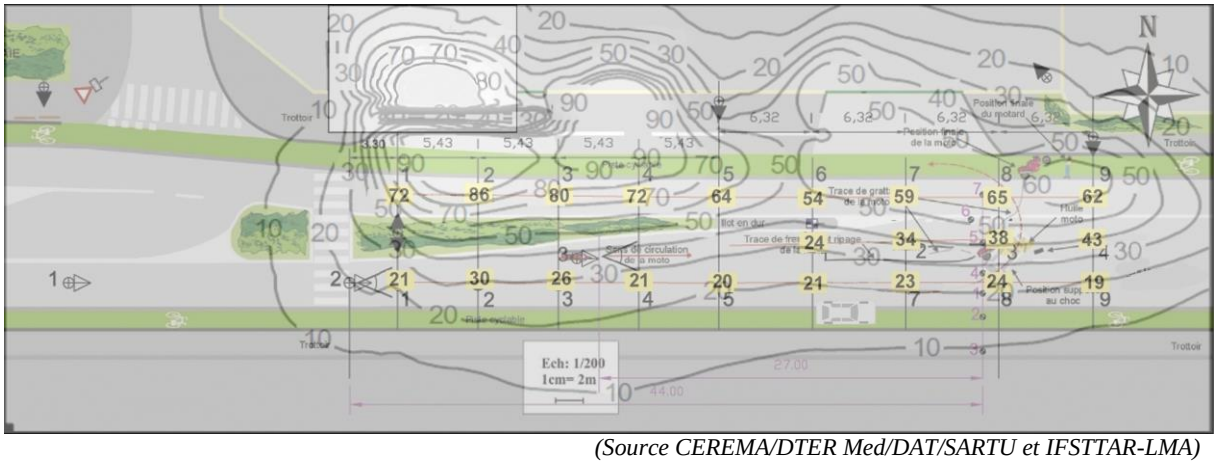
5. Dans la norme NF EN 13 201, la classe d'éclairage CE1 correspond aux exigences de performances pour une voie urbaine fréquentée à la fois par des véhicules motorisés, des cyclistes et des piétons, et présentant une complexité élevée (cas notamment des zones d'intersections multiples).
6. L'uniformité générale d'éclairement est définie comme le rapport entre l'éclairement minimum et l'éclairement moyen.
7. Dans le cas présent, la simulation prend en compte les éclairages de l'installation d'éclairage public ainsi que les éclairages dédiés au parking du bâtiment commercial situé sur le côté nord de la chaussée, et la présence d'un mur constituant une partie de la clôture de ce parking.

lumineuses des ensembles lampe/luminaire, coefficient de dépréciation prenant en compte le vieillissement de l'installation).



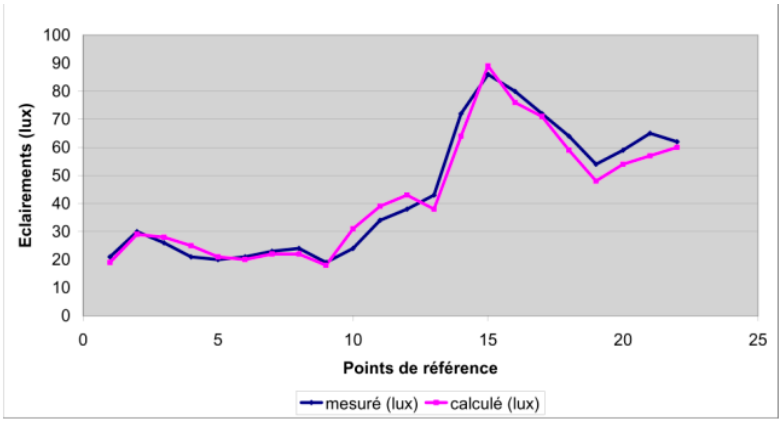
(Source CEREMA/DTER Med/DAT/SARTU)

Figure 3. Illustration de la simulation numérique par le logiciel Dialux



(Source CEREMA/DTER Med/DAT/SARTU et IFSTTAR-LMA)

Figure 4. Superposition des courbes iso-éclairement (isolux) issues de la simulation par Dialux et des mesures ponctuelles d'éclairements



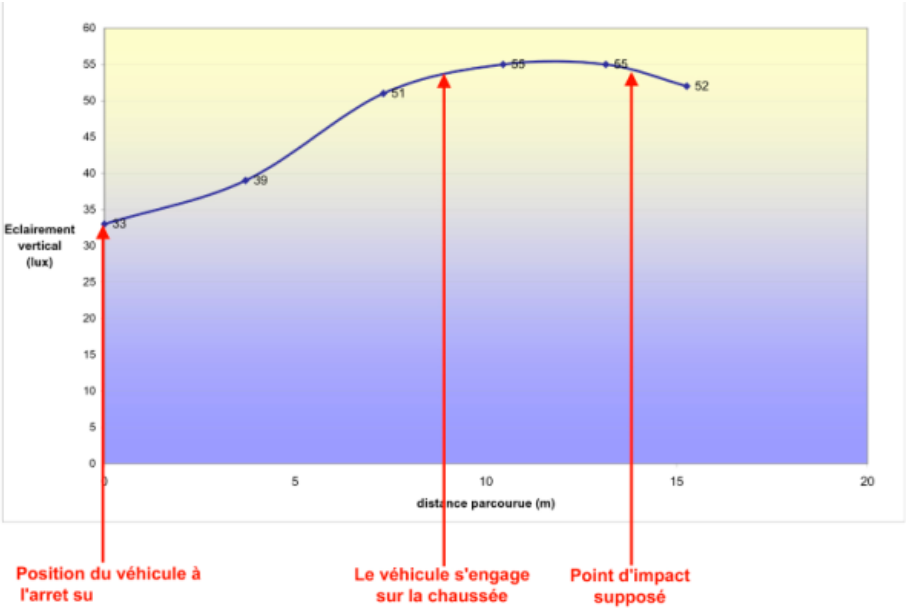
(Source CEREMA/DTER Med/DAT/SARTU)

Figure 5. Écarts entre les éclairements horizontaux mesurés et calculés par le modèle Dialux

Les figures 4 et 5 montrent une bonne corrélation entre les valeurs des éclairements horizontaux calculés à l'aide du logiciel Dialux et celles des éclairements horizontaux mesurés sur le site, validant ainsi la simulation.

3.1.4. Eclairements verticaux calculés par simulation numérique

Pour quantifier la quantité de lumière reçue par la surface du véhicule qui fait face au motocycliste, les éclairements verticaux perpendiculaires à la direction de circulation du motocycliste sont calculés par simulation numérique au niveau du véhicule à 1,20 m, qui correspond à la hauteur du regard du motocycliste, sur toute la trajectoire de la voiture entre sa position à l'arrêt et le point de choc (voir figure 6).



(Source CEREMA/DTER Med/DAT/SARTU)

Figure 6. Eclairements verticaux au droit de la trajectoire de l'automobile

Les éclairements verticaux évoluent de manière relativement continue et régulière le long de la trajectoire de l'automobile. On peut noter une nette augmentation entre le niveau d'éclairement vertical à la position du véhicule à l'arrêt, et les valeurs sur la fin de sa trajectoire, lorsque le véhicule s'engage sur la chaussée pour effectuer sa manœuvre (augmentation de près de 60 %).

3.2. Analyse de la visibilité

L'analyse de la répartition de la lumière est cependant insuffisante pour apprécier la visibilité par le conducteur des éléments composant la scène visuelle en approche du lieu de l'accident. La visibilité d'un élément par un individu dépend en effet de différentes caractéristiques, notamment la luminance[8] de cet élément, la luminance de son voisinage, sa taille, la luminance d'adaptation[9], la durée d'observation et les caractéristiques intrinsèques de l'observateur.

8. La luminance caractérise la quantité de lumière (intensité lumineuse) perçue par l'œil d'un observateur. Elle s'exprime comme le rapport entre l'intensité lumineuse émise en direction de l'œil et la surface apparente d'émission. L'unité est le candela/m² (cd/m^2). Elle peut être assimilée par extension à la « clarté » d'un objet. La luminance d'un objet dans une scène éclairée dépend donc directement des sources lumineuses (position, flux lumineux, angles de rayonnement...), de la position de l'observateur et enfin des propriétés de réflexion du matériau composant l'objet.

9. L'œil n'est pas uniquement sensible à la luminance de l'objet et à celle de son fond proche. Il l'est aussi à la luminance de toute la scène observée. C'est à ce niveau de luminance que l'œil s'adapte, c'est la luminance d'adaptation.

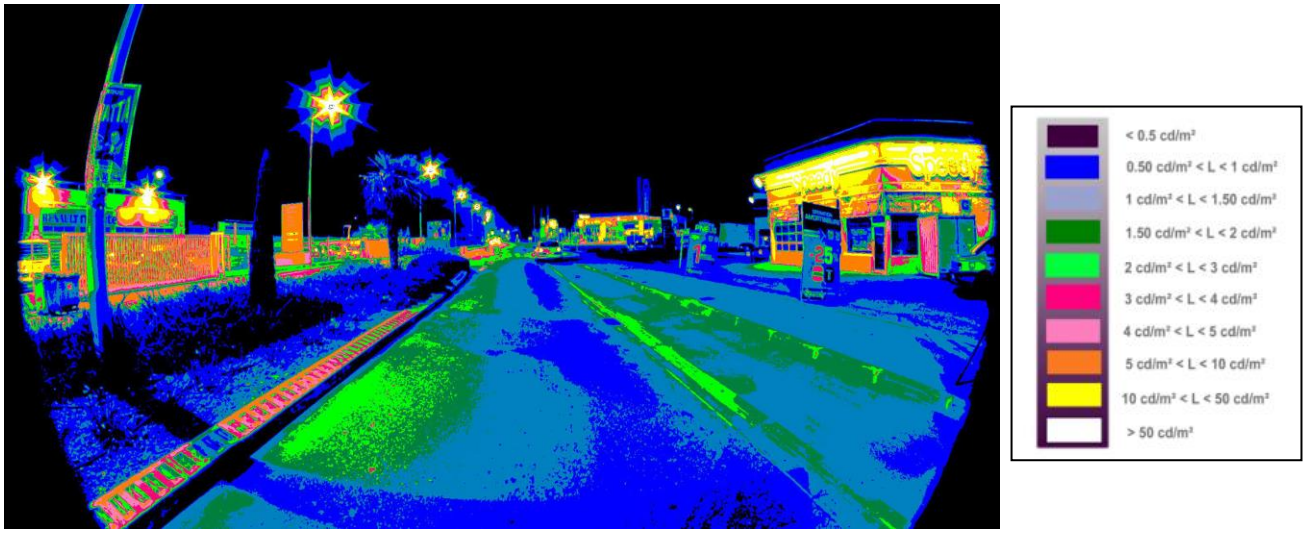
La visibilité des éléments constituant la scène visuelle est analysée à partir de valeurs ponctuelles de luminance et de la carte de champs de luminance réalisées avec l'appareil Photolux, ainsi que des calculs de niveau de visibilité.

3.2.1. Cartes de luminance

Les prises de vue Photolux sont réalisées à partir du point de vue du motocycliste, à 44 m en amont du point de choc, distance minimum à laquelle il aurait fallu qu'il détecte la voiture pour avoir le temps de l'éviter, compte tenu de sa vitesse d'approche. Les valeurs ponctuelles de luminance (voir figure 7) et la carte de champs de luminance (voir figure 8) sont produites à partir de plusieurs prises de vue effectuées avec des ouvertures et des temps de pose différents.

(Source CEREMA/DTER Med/DAT/SARTU)

Figure 7. Valeurs ponctuelles de luminance (cd/m^2) au voisinage du véhicule depuis le point de vue du motocycliste, 44 m en amont du point de choc (zoom sur le voisinage du véhicule)



(Source CEREMA/DTER Med/DAT/SARTU)

Figure 8. Carte des champs de luminance (isoluminances) depuis le point de vue du motocycliste (44 m en amont du point de choc)

On constate au premier plan, dans les espaces latéraux de la chaussée, la présence d'éléments de forte luminance et de grande taille, notamment le bâtiment commercial sur le côté droit. Entre ces éléments très lumineux la chaussée et les végétaux sur la gauche restent

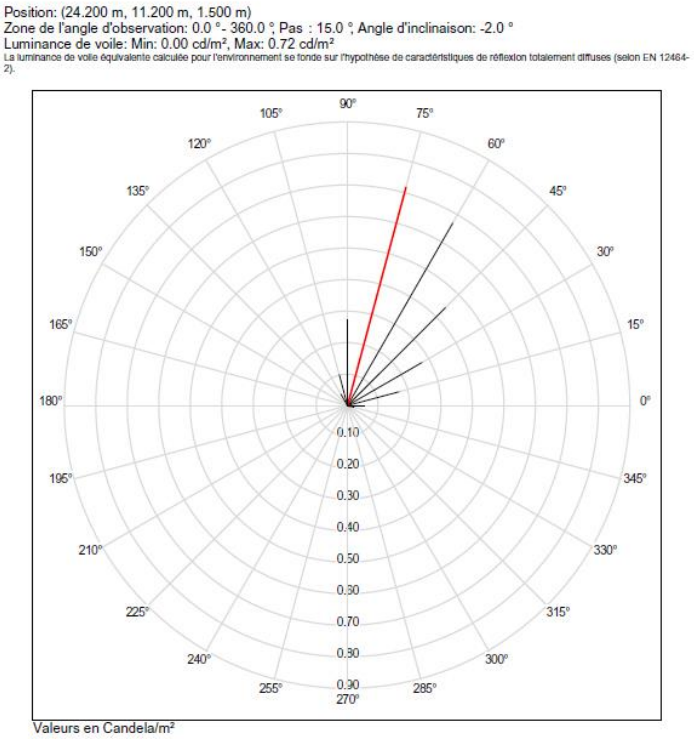
de faible luminance hormis les bordures de luminance plus élevée et l'alignement des luminaires qui suivent le tracé rectiligne de la voie. Le fond de la perspective se caractérise, quant à lui, par une multitude d'éléments de forte luminance et de petite taille parmi lesquels se trouve la silhouette du véhicule et ses feux arrière.

La carte des champs de luminance laisse apparaître une scène complexe notamment dans sa partie centrale où se situe le véhicule. Si les détails qui composent cette complexité sont visibles par l'œil humain, autrement dit si les écarts de luminance au sein de cette partie centrale de la scène sont visibles, il est possible que cette complexité ait contribué à la difficulté de perception du véhicule par le motocycliste.

3.2.2. Eblouissement généré par des sources d'éclairage public

Les sources de lumière peuvent générer de l'éblouissement qui dépend de leur intensité et de leur excentricité par rapport à la direction du regard. La diffusion de cette lumière dans l'œil crée un effet de voile qui diminue la sensibilité au contraste de l'œil. Cet effet de voile se traduit par une luminance équivalente de voile qui s'ajoute aux luminances de la scène.

Le calcul de la luminance équivalente de voile est effectué à partir de la simulation numérique.



(Source CEREMA/DTER Med/DAT/SARTU)

Figure 9. Luminance équivalente de voile pour la position du motocycliste à 44 m en amont du point de choc

Dans l'axe du boulevard (correspondant au 0° sur la figure 9) qui correspond à l'axe de vision du motocycliste, le calcul donne des valeurs de luminance équivalente de voile très faibles, voire nulles. On peut en déduire que cette luminance équivalente de voile n'est pas gênante et ne génère pas d'éblouissement qui aurait pu altérer la perception du véhicule par le motocycliste. La luminance équivalente de voile n'a cependant été calculée que pour les luminaires d'éclairage urbain et ne prend pas en compte les éclairages privatifs et enseignes lumineuses présents dans la scène.

3.2.3. Niveaux de visibilité des éléments de la scène

Dans le domaine routier, la visibilité d'un objet est évaluée à l'aide de son niveau de visibilité (V_L) qui se définit ainsi :

$$V_L = \frac{\frac{L_{objet} - L_{fond}}{L_{fond}}}{\frac{\Delta L_{seuil}}{L_{fond}}} = \frac{L_{objet} - L_{fond}}{\Delta \mathrm{L}_{seuil}}$$

où L_{objet} est la luminance de l'objet, L_{fond} celle du fond à proximité de l'objet, et où ΔL_{seuil} est la différence de luminance « au seuil de visibilité » qui correspond à la différence de luminance à partir de laquelle un objet est considéré comme visible sur son fond proche.

Le modèle d'Adrian (Adrian, 1989) définit ce seuil de détection sur la base de données issues d'expérimentations en psychophysique portant sur la sensibilité au contraste (Blackwell, 1946). Le calcul de ΔL_{seuil} prend en compte la luminance de l'objet et celle du fond proche, la luminance d'adaptation, l'éventuelle luminance équivalente de voile liée à l'éblouissement, la taille angulaire de l'élément, le temps d'observation, l'âge de l'individu, la polarité du contraste.

C'est ce modèle qui est utilisé dans le cas présent, pour calculer le niveau de visibilité d'éléments de la scène visuelle sur la base des luminances mesurées à partir de la position du motocycliste à 44 m du point d'impact. Le V_L calculé[10] pour la voiture stationnée sur l'accotement est de 14,5. Il est égal à 48 pour le bâtiment en arrière-plan dans la partie centrale de l'image, et à 143 pour le bâtiment commercial au premier plan sur la droite.

Ces valeurs de V_L, toutes très supérieures à 1, ne permettent cependant pas de conclure forcément à la visibilité des éléments de la scène correspondants. Le ΔL_{seuil} étant établi pour la détection de cible en situation de laboratoire (cible standard plane de petite taille, de luminance homogène sur fond homogène, détectée en vision fovéale par un observateur statique), un V_L égal à 1 ne permet pas la détection en situation de conduite.

Des travaux se sont attachés à déterminer expérimentalement un V_L minimum qui s'avèrerait permettre la visibilité d'une telle cible dans un contexte routier. Selon les études, les valeurs de V_L minimum proposés vont de 2 à 30 (Adrian, 1987 ; Gallagher et Meguire, 1975 ; IESNA, 2000). La valeur de V_L égale à 7 est considérée en matière d'éclairage routier comme la valeur minimale de détection d'une cible sur chaussée (AFE, 2002). Au-delà de ce manque de consensus, les conditions d'expérimentation dans lesquelles ont été produites ces valeurs minimales sont très éloignées des situations réelles de conduite qui ont pourtant une influence sur la détection. Il a par exemple été montré que la réalisation d'une tâche de gestion de trajectoire, l'excentricité de la cible, la complexité et la nature du fond ou encore le mouvement apparent des informations visuelles, ce qui correspond à une situation dynamique, rendent plus difficile la détection d'une cible (Mayeur *et al.*, 2008 ; 2010*a* ; 2010*b*).

Dès lors, le calcul du V_L pour un élément de la scène ne permet pas toujours d'en déduire de façon certaine sa visibilité ou sa non-visibilité. Néanmoins des valeurs très élevées peuvent nous permettre de la supposer. Et des valeurs en deçà des valeurs minimales permettent de trancher en faveur de la non-visibilité.

Dans notre cas, nous ne pouvons conclure de façon certaine à la visibilité de la voiture, malgré un niveau de visibilité de 14,5. On peut supposer que la complexité de la scène visuelle, notamment liée à la présence de multiples éléments, certains de forte luminance et d'autres de faible luminance, constituant un environnement très hétérogène, puisse rendre plus difficile la détection du véhicule qui se caractérise également par une luminance

10. Les calculs de V_L sont ici effectués avec un temps d'observation fixé à 0,2 s pour tenir compte de la situation dynamique.

hétérogène. De plus, cette difficulté de détection peut être accrue par les conditions dynamiques du déplacement du motocycliste. En revanche, les forts niveaux de visibilité des bâtiments nous permettent de faire l'hypothèse de leur potentialité à être détectés par le motocycliste et à jouer un rôle de distracteur dans la scène nocturne.

3.2.4. Carte des niveaux de visibilité des contours dans l'ensemble de la scène

En plus des difficultés liés à la définition des seuils minimum, l'usage du niveau de visibilité reposant sur le modèle d'Adrian s'avère peu adapté dans le cas de scènes complexes contenant de multiples objets, de formes complexes, de luminance hétérogène avec un fond non uniforme, comme c'est le cas sur ce site d'accident. D'une part le calcul prend en compte une taille angulaire, alors que la plupart des objets constituant les environnements de voirie urbaine sont de forme complexe. D'autre part il est réalisé en utilisant la luminance moyenne de l'objet et la luminance moyenne de son fond proche. Il est fait abstraction de l'hétérogénéité de l'un comme de l'autre qui pourrait cependant entrainer une perception seulement partielle de l'objet et non sa détection en tant qu'objet.

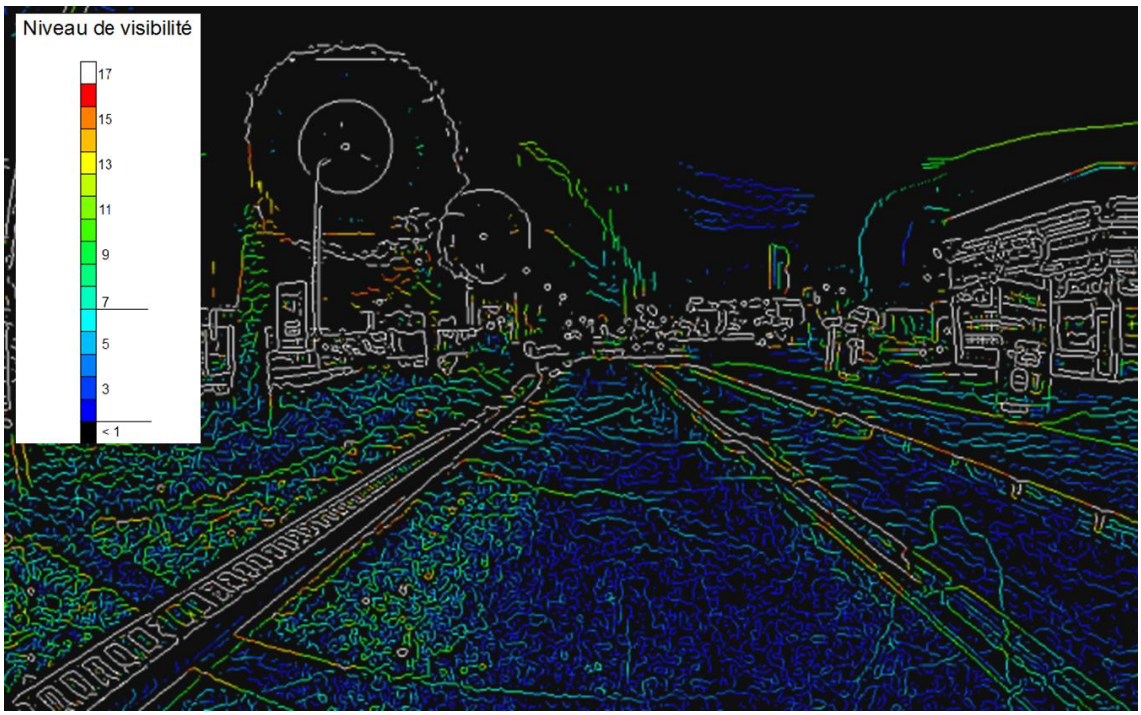
Afin de s'affranchir de l'approche par « objet » d'un modèle de visibilité tel que celui d'Adrian qui ne permet pas d'apprécier la difficulté de perception d'une scène complexe et de détection des éléments qui la constituent, des recherches se sont attachées à évaluer la visibilité dans une scène visuelle, à partir d'images numériques, en s'intéressant non pas à la visibilité d'objets physiques donnés, mais à la visibilité des contours formés par les différentes zones de luminance de la scène parmi lesquelles les contours ou parties de contours des objets. Ces travaux se sont orientés vers le développement d'un algorithme de traitement d'image, consistant à localiser les contours par une méthode de maximisation des contrastes locaux appliqués aux pixels de l'image, puis à calculer un niveau de visibilité par bloc de pixels le long de chacun des contours, en se basant sur la loi de Weber pour définir les seuils de visibilité (Hautière et Dumont, 2007). Cet algorithme a évolué pour notamment prendre en compte la sensibilité au contraste du système visuel humain qui est dépendante de la fréquence spatiale. Ainsi les courbes *CSF* (*Contrast sensitivity function*), modélisant pour différentes conditions de vision (photopique, mésopique et scotopique) cette sensibilité aux contrastes selon la fréquence spatiale, y ont été introduites aussi bien pour l'étape de localisation des contours que pour celle du calcul du niveau de visibilité (Joulan *et al*., 2011*a*, 2011*b*).

Pour le cas présent, le traitement algorithmique est appliqué à la carte de luminances issue des prises de vue Photolux.

La carte des niveaux de visibilité calculée en premier lieu (voir figure 10) présente les contours de la scène dont le niveau de visibilité est supérieur à 1, c'est-à-dire potentiellement visible par le système visuel humain.

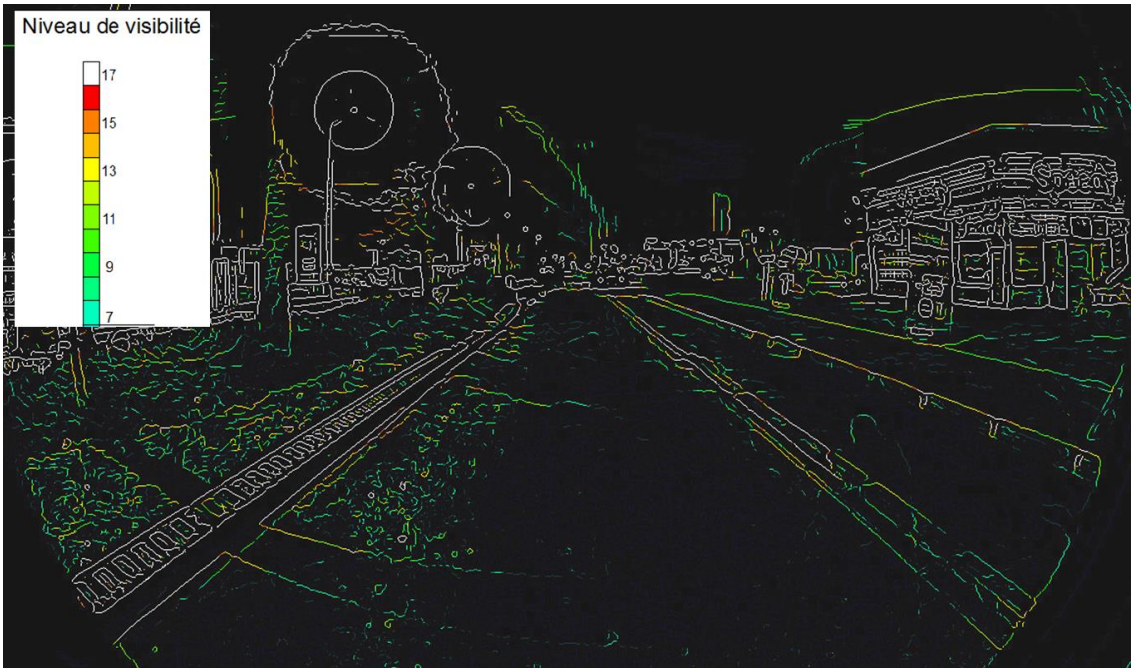
Afin de prendre en compte la plus grande difficulté de détection que génère, par rapport aux conditions de laboratoire, l'environnement routier et l'activité de conduite, deux cartes de visibilité des contours ne représentant que ceux dont le niveau de visibilité est supérieur à 7 (voir figure 11), et à 13 (voir figures 12*a* et 12*b*) ont été établies.

Ces valeurs de 7 et 13 ont été retenues en se basant sur les travaux évoqués précédemment : Adrian (1987), Gallagher et Meguire (1975), Mayeur *et al*. (2010*b*). Le premier a mis en évidence qu'une différence de luminance égale à 7 fois la différence au seuil était nécessaire pour permettre la détection d'un objet sur une chaussée éclairée. Les derniers ont montré qu'en situation dynamique de conduite un niveau de visibilité supérieur à 10 ou 15 était nécessaire pour détecter un objet. Toutefois ces valeurs minimales nécessiteraient d'être validées dans des environnements urbains complexes et pour l'exploitation de telles cartes de visibilité des contours.



(Source IFSTTAR/LEPSIS)

Figure 10. Carte de visibilité des contours de niveau de visibilité supérieur à 1



(Source IFSTTAR/LEPSIS et CEREMA/DTER Med/DAT/SARTU)

Figure 11. Carte de visibilité des contours de niveau de visibilité supérieur à 7

Les cartes de visibilité des contours confirment la très forte présence dans l'environnement nocturne visible, du fait d'un niveau de visibilité élevé, du bâtiment commercial en partie droite de la scène et des éléments composant l'espace latéral gauche de la chaussée. En vision

(Source IFSTTAR/LEPSIS et CEREMA/DTER Med/DAT/SARTU)

Figure 12*a*. Carte de visibilité des contours de niveau de visibilité supérieur à 13

(Source IFSTTAR/LEPSIS et CEREMA/DTER Med/DAT/SARTU)

Figure 12*b*. Carte de visibilité des contours de niveau de visibilité supérieur à 13 – Zoom sur le véhicule

centrale, l'alignement des luminaires et des éléments linéaires tels que les bordures et marquages sont bien identifiables et structurent la perspective. Quant au véhicule en stationnement, seules certaines parties se révèlent visibles. Il ne peut être identifiable que par ses feux arrière qui se situent de surcroît sur un fond de scène très complexe constituée d'une multitude de contours fortement visibles, rendant difficile toute hiérarchisation et interprétation des informations.

3.3. Analyse de la saillance

Au-delà de la visibilité des différents éléments composant la scène visuelle, autrement dit leur capacité à être détectés par le système visuel humain, il se pose la question de savoir quels sont, parmi les éléments visibles, ceux les plus « saillants », qui vont être prélevés en priorité.

L'activité de conduite automobile, par sa complexité et son caractère dynamique, implique en effet des processus attentionnels permettant d'opérer une sélection d'informations, parmi toutes les informations disponibles dans l'environnement. Certains processus sont de type « *bottom-up* ». L'information est perçue du fait de sa prégnance dans l'environnement, bien qu'elle n'ait pas été recherchée. D'autres sont de type « *top-down* », relevant de l'attention active et anticipatrice. Ils font intervenir les connaissances antérieures liées à la conduite automobile et les motivations pour rechercher et retenir les informations pertinentes à la réalisation de la tâche de conduite (Chapon et Bailly, 2006).

Les deux processus coexistent et sont imbriqués dans le prélèvement de l'information de façon complexe (Theeuwes, 1992 ; Van der Stigchel, 2009 ; Baluch et Itti, 2011). Cependant, nous intéressant aux conditions de lumière et à leur rôle dans les dysfonctionnements de la perception menant à l'accident, nous nous focalisons dans ce travail d'analyse sur les processus ascendants (« *bottom-up* ») et la prégnance des éléments de la scène visuelle, rejoignant la notion de conspicuité ou saillance visuelle[11]. Il s'agit d'identifier les éléments qui par leurs caractéristiques physiques et photométriques présentent une facilité à être perçus parmi la multitude d'informations parce qu'ils attirent l'attention, même sans être attendus et recherchés.

Une carte de saillance a été réalisée par traitement d'image appliqué à la photo du site de l'accident, réalisée avec un objectif 50 mn à partir de la position du motocycliste 44 m avant le point de choc. L'algorithme de calcul utilisé a été développé au sein de l'IFSTTAR-LEPSIS (Bremond *et al*., 2006) sur la base du modèle de Itti *et al*. (1998) de la saillance visuelle. Ce traitement prend en compte, à différentes échelles spatiales, les contrastes de luminance, les contrastes de couleurs et les variations d'angle.

Les zones saillantes ainsi calculées sont localisées sur la photo par des carrés centrés sur les maximums locaux (voir figure 13). Le niveau de gris des carrés est fonction de la saillance calculée de ces maximums locaux. Leur taille est fixe et égale à un vingtième de la taille de l'image.

Sur la carte de saillance, les éléments saillants apparaissent regroupés autour d'une horizontale du champ visuel, légèrement au-dessus du véhicule. La plupart correspondent à la limite ciel/bâtiments ou à des sources de lumière. Une concentration de zones, parmi les plus saillantes de la scène visuelle, se trouve sur la partie droite de la scène visuelle, confirmant la très forte prégnance des deux bâtiments commerciaux, notamment à proximité immédiate du véhicule stationné. Sur la gauche du véhicule, l'alignement des sources d'éclairage public, en fond de perspective, apparaît également saillant, à un degré moindre toutefois. Situé entre ces zones, le véhicule n'est pas identifié comme un élément saillant.

Bien que l'algorithme ne prenne pas en compte les mécanismes attentionnels descendants (« *top-down* ») qui, par l'activation des représentations mentales liées aux situations de conduite et l'inhibition des autres, sélectionnent les informations (Chapon *et al*., 2006), on

---

11. La conspicuité ou saillance visuelle d'un élément s'entend ici comme une propriété contextuelle d'un élément, en relation avec le fond, qui attire l'attention (Engel, 1991 ; Itti et Koch, 2000). On parle alors d'orientation exogène de l'attention (Theeuwes, 1992 ; Fernandez, 2010). Certains auteurs utilisent les termes de conspicuité ou saillance à propos des processus attentionnels « *top-down* », ils distinguent alors la conspicuité ou saillance de recherche se référant aux processus attentionnels de type « *top-down* », de la conspicuité ou saillance attentionnelle se référant aux processus attentionnels « *bottom-up* ». (Cole et Hughes, 1984 ; Bremond *et al*., 2006).

(Source IFSTTAR/LEPSIS)

Figure 13. Carte de saillance à partir de la photo (objectif 50 mm) prise depuis le point de vue du motocycliste

peut supposer que les éléments très saillants de l'environnement ne facilitent pas la sélection du véhicule comme information pertinente. Cela a pu contribuer à retarder sa prise en considération et la mise en œuvre d'une réaction.

4. Discussion et conclusion

L'analyse de ce cas d'accident nocturne issu des EDA, qui implique une moto et une automobile, est centrée sur la compréhension des conditions de lumière comme déterminants de la non-perception du véhicule par le motocycliste. Les différentes analyses, basées sur le dossier initial et sur le recueil complémentaire spécifiquement réalisé pour ce travail, apportent des éléments sur la potentielle contribution défavorable des informations visuelles présentes dans le champ visuel du motocycliste lorsque celui-ci se trouvait à la distance minimale à laquelle une manœuvre d'évitement aurait encore été possible, soit à 44 m du point de choc.

Le véhicule qui sera heurté est arrêté dans une zone caractérisée par les niveaux d'éclairement horizontal et vertical les plus bas de la zone de survenue de l'accident mais restent néanmoins dans des niveaux qui constituent de façon générale des conditions favorables à la visibilité.

La visibilité du véhicule se révèle cependant incertaine. Son niveau de visibilité global, calculé selon le modèle d'Adrian (1989), bien que supérieur au seuil limite de détection par le système visuel humain, se situe dans une plage de valeurs où la visibilité ne peut être établie de façon sûre, compte tenu des caractéristiques de la situation (véhicule excentré par rapport à la direction du regard du motocycliste, situation dynamique de conduite, complexité de l'environnement) qui rendent plus difficile la détection et tendent à nécessiter des niveaux de visibilité plus importants.

De plus, d'après la carte des contours visibles de la scène visuelle calculée par l'algorithme développé par Hautière et Dumont (2007) et Joulan *et al*. (2011*a*), seuls les feux du véhicule

et certaines parties de sa silhouette sont visibles, suggérant une détection et une identification difficile du véhicule par le motocycliste.

L'analyse de l'ensemble de la scène visuelle à l'aide de la carte des champs de luminance (mesurée avec Photolux) et de celle des contours visibles met en évidence une scène visuelle complexe présentant de très nombreux éléments visibles sur les abords de la voie, mais aussi et surtout dans la partie centrale où se trouve le véhicule arrêté. Cette complexité de l'environnement proche du véhicule, ajoutée à la visibilité limitée de ce dernier, contribue à entraver la détection du véhicule.

Par ailleurs, dans cet environnement complexe, les bordures, marquages et alignements des luminaires au niveau de visibilité élevé, structurent la perspective et soulignent le tracé rectiligne de la voie, incitant le motocycliste à focaliser son regard et son attention au loin dans l'axe de la voie, au centre de la perspective, au détriment de la zone où se trouve le véhicule arrêté qui est légèrement décentrée par rapport à l'axe du regard.

En dehors de la zone centrale de focalisation potentielle du regard, certains des éléments de l'environnement présentent de forts niveaux de visibilité, très supérieurs à celui du véhicule. Ce qui a pu contribuer à ce qu'ils soient détectés en priorité par le motocycliste. Ces constats sont corroborés par la carte de saillance qui, en plus des contrastes de luminance, prend en compte différents critères pour déterminer les éléments susceptibles d'attirer l'attention sans être nécessairement recherchés. Le véhicule arrêté n'est pas identifié comme un élément saillant de la scène visuelle. De surcroît, la scène présente de nombreux éléments saillants de part et d'autre du véhicule qui ont pu attirer en priorité l'attention du motocycliste.

Ces différentes analyses ne permettent pas de déterminer que les conditions de lumière de la scène visuelle rendaient impossible la perception du véhicule par le motocycliste. Elles permettent néanmoins d'affirmer que ces conditions de lumière contribuent à un contexte peu favorable à la perception du véhicule. Par ailleurs, ces analyses confirment l'apport de telles investigations pour la recherche des déterminants et la compréhension des processus d'accidents faisant intervenir des défaillances au niveau de la chaîne perceptivo-cognitive.

Concernant les outils utilisés pour mener ces analyses spécifiques, certains présentent un intérêt particulier pour de tels diagnostics de scènes nocturnes d'accidents. C'est notamment le cas des cartes de contours visibles, construites à partir des cartes de luminance, et complémentaires de celles-ci. Leur lecture aisée permet d'identifier les frontières des différentes zones de luminance constituant la scène visuelle susceptibles d'être perçues plus ou moins facilement par un individu. C'est à partir de ces frontières détectées que ce dernier va interpréter la scène. Ces cartes apportent des éléments essentiels à la compréhension des problèmes de perception de l'environnement. Elles informent notamment sur le caractère plus ou moins visible des contours des objets présents sur le site. Elles permettent aussi de mettre en évidence des frontières entre des zones de luminances contrastées qui ne correspondent pas à des contours d'objets physiquement présents mais sont cependant visibles et font partie des informations visuelles à disposition de l'individu. Ces frontières peuvent participer au « bruit visuel » au sein de la scène et nuire à la détection des informations pertinentes pour la gestion du déplacement, et contribuer ainsi à la construction d'une représentation fausse de la situation. Ces cartes permettent d'appréhender la complexité de la scène visuelle contrairement aux calculs de niveaux de visibilité effectués pour quelques objets de la scène et qui posent de surcroît plusieurs difficultés d'application (voir la partie 3.2.3.). Le problème de la détermination des seuils de détection reste cependant posé pour les cartes de contours visibles.

Les cartes de saillance, quant à elles, apportent des informations complémentaires. Un élément peut en effet être identifiable sans être saillant. Inversement un élément peut être saillant sans être identifiable. Les cartes de saillances se révèlent également utiles en permettant de mettre en évidence des « distracteurs » visuels qui attirent l'attention visuelle au détriment d'informations pertinentes pour le déplacement. Ces cartes nécessitent cependant

quelques précautions d'usage et d'interprétation. Le traitement algorithmique de la saillance, tel qu'il a été effectué ici, ne peut à lui seul permettre d'effectuer un diagnostic de la saillance des éléments de la scène visuelle d'accident. Le contexte de l'activité de conduite (recherche d'information, partage des ressources attentionnelles…) n'est en effet pas entièrement pris en compte dans le modèle qui ne considère que les processus *bottom-up* de l'attention visuelle. Des travaux se sont attachés à proposer des modèles prenant en compte la recherche de l'information pour le cas d'objets spécifiques comme les panneaux de signalisation (Simon *et al*., 2007). Par ailleurs l'algorithme utilisé pour notre analyse s'applique sur des fichiers images et non sur des mesures de luminance *in situ* comme c'est le cas des cartes de contours visibles. Il peut alors y avoir une distorsion entre les éléments saillants de l'image et les éléments saillants de la scène *in situ*. L'algorithme présente de plus certaines limites. Il n'identifie ainsi généralement pas d'éléments linéaires comme étant saillants du fait des critères pris en compte qui favorisent plutôt les extrémités. Les éléments linéaires sont pourtant fondamentaux pour la compréhension de la trajectoire à emprunter. L'algorithme est également construit de manière à représenter la zone saillante par un carré de taille fixe équivalente au vingtième de la taille de l'image. Cela implique donc un niveau de détail différent pour les éléments saillants mis en évidence, dans le cas où l'image est prise avec un objectif différent. Moyennant la prise en compte de ces réserves, la carte de saillance, de lecture facile et rapide, apparaît cependant comme un outil intéressant en complément des analyses de visibilité.

Ces différentes analyses, visant à quantifier et qualifier les conditions de lumière de la scène visuelle du lieu d'accident juste en amont du point de choc, nécessitent des recueils spécifiques qui présentent cependant certaines difficultés de réalisation. Les mesures doivent être effectuées dans des conditions aussi proches que possible de celle de l'accident. C'est notamment le cas des conditions atmosphériques, de la période de l'année pour avoir un développement similaire de la végétation, de l'heure de la journée afin que les caractéristiques lumineuses de l'environnement soient les mêmes, particulièrement en présence de sources lumineuses riveraines comme des enseignes ou des vitrines. Malgré le soin apporté pour s'approcher au mieux des conditions qui étaient celles de l'accident, des incertitudes peuvent subsister sur la similarité de la situation. Cela concerne en particulier la présence éventuelle de feux d'autres véhicules dans le panorama mais aussi l'allumage des feux stop et clignotants de l'automobile impliquée. Une autre difficulté réside dans la réalisation même des mesures. Certaines, comme celles des éclairements ou celles des champs de luminance consistant en plusieurs prises de vue effectuées depuis le point de vue de l'impliqué, nécessitent l'arrêt de la circulation sur la voie pendant quelques minutes entraînant par la même un biais potentiel sur les conditions de trafic et le besoin de recourir aux forces de l'ordre pour sécuriser la zone. L'emploi de véhicules instrumentés pour la capture d'images calibrées en luminance et le développement d'algorithmes applicables à des images dynamiques, comme cela a déjà été amorcé pour la saillance (Itti, 2004 ; Petit *et al*., 2009), auraient l'avantage de lever cette difficulté en plus de prendre en compte la dynamique d'approche et de prise d'information. De tels recueils et analyses spécifiques, du fait de leurs difficultés de mise en œuvre, ne sont, de façon évidente, pas généralisables à l'ensemble des analyses approfondies d'accidents nocturnes, mais présentent un intérêt certain lorsque des interrogations portant sur la contribution de dysfonctionnements perceptifs aux processus d'accidents sont pointées.

Remerciements

Les auteurs remercient les enquêteurs EDA pour l'ensemble des recueils et analyses constituant les dossiers sur lesquels s'est basé le travail exploratoire portant sur 11 cas d'accidents nocturnes en site urbain parmi lesquels celui présenté dans cet article. Les auteurs remercient également Michel Lavenir et Jean-Gabriel Lopez de la direction territoriale Méditerranée du CEREMA pour leur contribution aux mesures photométriques *in situ*. Enfin,

les auteurs remercient le Laboratoire exploitation, perception, simulateurs et simulations (LEPSIS) de l'IFSTTAR, et en particulier Eric Dumont et Jean-Philippe Tarel pour leur contribution à ce travail, notamment pour la réalisation des cartes de saillance et des contours visibles.

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(4), 180-188.

AFE (2002). *Recommandations relatives à l'éclairage des voies publiques*. Collection « Recommandations ». Paris : Lux.

Baluch, F., Itti, L. (2011). Mechanisms of top-down attention. *Trends in Neurosciences* 34 (4), 210-224.

Blackwell, H.R. (1946). Contrast thresholds of the human eye. *Journal of the Optical Society of America* 36(11), 624-643.

Brémond, R., Tarel, J.P., Choukour, H., Deugnier, M. (2006). La saillance visuelle des objets routiers, un indicateur de la visibilité routière. Communication, *Journées des Sciences de l'Ingénieur 2006*, Marne la Vallée, 5-6 décembre 2006, 429-434.

Brenac, T., Perrin, C., Canu, B., Magnin J., Canu, A. (2016). Influence de la vitesse de déplacement sur le risque d'accident corporel : une étude cas-témoins. *Carnets d'accidentologie* 2016, 1-13.

Chapon, A., Bailly, B. (2006). Attention et conduite automobile. Dans : André Chapon, Catherine Gabaude, Alexandra Fort, *Défauts d'attention et conduite automobile*. Les Collections de l'INRETS, synthèse n° 52. Arcueil: INRETS, 18-22.

Chapon, A., Gabaude, C., Fort, A. (2006). *Défauts d'attention et conduite automobile*. Les Collections de l'INRETS, synthèse n° 52. Arcueil: INRETS.

Coate, D., Markowitz, S. (2004). The effects of daylight and daylight saving time on US pedestrian fatalities and motor vehicle occupant fatalities. *Accident Analysis and Prevention* 36(3), 351-357.

Cole, B.L., Hugues P.K. (1984). A field trial of attention and search conspicuity. *Human Factors* 26 (3), 299-313.

Engel, F.L. (1971). Visual conspicuity, directed attention and retinal locus. *Vision Research* 11, 563-575.

Fernandez, N. (2010). L'attention visuelle sélective : pertinence, saillance, résistance à l'interférence. Mémoire de thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2.

Ferrandez, F., Brenac, T., Girard, Y., Lechner, D., Jourdan, M., Nachtergaële, C., Michel, J.E. (1995). *L'étude détaillée d'accidents orientée vers la sécurité primaire. Méthodologie de recueil et de pré-analyse*. Paris : Presses de l'École nationale des ponts et chaussées.

Gallagher, V.P., Meguire, P.G. (1975). Driver visual needs in night driving. *Transportation Research Board Special Report 156*.

Hautière, N., Dumont, E. (2007). Assessment of visibility in complex road scenes using digital imaging. *Proceedings of the 26th Session of the CIE* in Beijing, China, 4-11 July 2007.

IESNA, 2000. *American National Standard Practice for Roadway Lighting*. New York: IESNA.

Itti, L. (2004). Automatic foveation for video compression using a neurobiological model of visual attention. *IEEE Transactions on Image Processing* 13 (10), 1304-1318.

Itti, L., Koch, C. (2000). A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention. *Vision Research* 40, 1489-1506.

Itti, L., Koch, C., Niebur, E. (1998). A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 20 (11), 1254-1259.

Johansson, Ö., Wanvik, P.O., Elvik, R. (2009). A new method for assessing the risk of accident associated with darkness. *Accident Analysis and Prevention* 41(4), 809-815.

Joulan, K., Hautière, N., Brémond, R. (2011*a*). A unified CSF-based framework for edge detection and edge visibility, *Proceedings of WBCV'11 - Workshop on Biologically-Consistent Vision*, Colorado Springs, USA, 21/12/2011.

Joulan, K., Hautière, N., Brémond, R. (2011*b*). Contrast sensitivity functions for road visibility estimation in digital images, *Proceedings of the 27th Session of the CIE*, Sun City, South Africa, 9-16 July 2011, 1144-1149.

Mayeur, A., Brémond, R., Bastien, J.M.C. (2008). Effect of task and excentricity of the target on detection tresholds in mesopic vision: implications for road lighting. *Human Factors* 50(4), 712-721.

Mayeur, A., Brémond, R., Bastien, J.M.C. (2010*a*). Effects of the viewing context on target detection. Implications for road lighting design. *Applied Ergonomics* 41, 461-468.

Mayeur, A., Brémond, R., Bastien, J.M.C. (2010*b*). The effect of the driving activity on target detection as function of the visibility level: Implications for road lighting. *Transportation Research Part F* 13, 115-128.

Montel, M.C., Nachtergaële, C., Michel, J.E., Brenac, T., Van Elslande, P. (2004). *Voies urbaines: représentations et attentes des conducteurs de jour, de nuit et en soirée*. Les Collections de l'INRETS, rapport n° 259. Arcueil: INRETS.

ONISR (2008). *Grands thèmes de la sécurité routière en France en 2006*. Paris : La documentation française.

Petit, J., Brémond, R., Tarel, J.P. (2009). Une carte de saillance adaptée aux images HDR. *Revue électronique francophone d'informatique graphique* 3(2), 1-10.

Simon, L., Tarel, J.P., Brémond, R. (2007). A new paradigm for the computation of conspicuity of traffic signs in road images. *Proceedings of the 26th Session of the CIE* in Beijing, China, 4-11 July 2007.

Stevens, C., Lord, D. (2006). Evaluating safety effects of daylight saving time on fatal and nonfatal injury crashes in Texas. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1953, 147-155.

Sullivan, J.M., Flannagan, M.J. (2002). The role of ambient light level in fatal crashes: inferences from daylight saving time transitions. *Accident Analysis and Prevention* 34(4), 487-498.

Sullivan, J.M., Flannagan, M.J. (2007). Determining the potential safety benefit of improved lighting in three pedestrian crash scenarios. *Accident Analysis and Prevention* 39(3), 638-647.

Theeuwes, J. (1992). Perceptual selectivity for color and form. *Perception and Psychophysics* 51 (6), 599-606.

Twisk, D.A.M., Reurings, M. (2013). An epidemiological study of the risk of cycling in the dark: The role of visual perception, conspicuity and alcohol use. *Accident Analysis and Prevention* 60, 134-140.

Van der Stigchel, S., Belopolsky, A.V., Peters, J.C., Wijnen, J.G., Meeter, M., Theeuwes, J. (2009). The limits of top-down control of visual attention. *Acta Psychologica* 132, 201-212.