

Vers l'étude de l'influence de la tâche de conduite sur les modèles de conception de l'éclairage

Anaïs Mayeur

Laboratoire Central des Ponts Chaussées, 58 bd Lefebvre, 75015 Paris

Université Paris Descartes, 45 rue des Saints Pères, 75006 Paris

anaïs.mayeur@lcpc.fr

01 40 43 53 74

Roland Brémond

Laboratoire Central des Ponts Chaussées, 58 bd Lefebvre, 75015 Paris

roland.bremond@lcpc.fr

01 40 43 65 34

Christian Bastien

Université Paul Verlaine Metz, BP 30309, île du Saulcy, 57006 Metz

christian.bastien@univ-metz.fr

03 87 54 74 66

Résumé de la soumission :

L'évaluation de l'éclairage routier repose sur un indice calculé à partir de données issues de données expérimentales de détection de cibles en vision fovéale. Ce modèle de Visibilité de Petites Cibles fait apparaître un certain nombre de limites théoriques et méthodologiques auxquelles la présente étude tente de pallier. L'objet de cet article est donc d'évaluer l'effet de l'ajout d'une activité sensorimotrice sur les performances de détection de cibles en vision périphérique, dont le contraste et l'excentricité varient, en vision mésopique. Dans la première phase de l'expérience, 39 participants devaient détecter des cibles présentées en périphérie dont le contraste et l'excentricité variaient. La seconde phase de l'expérience permettait de mesurer l'impact d'une tâche sensorimotrice sur le Seuil Individuel de Détection. Les résultats indiquent que la tâche sensorimotrice diminue les performances de détection. Ces résultats sont interprétés et discutés dans le cadre du modèle d'éclairage routier et de ses limites.

Liste des mots clés :

Conception de l'éclairage public, seuil de détection, vision mésopique, paradigme de la double tâche

Nom et la version du logiciel utilisé pour écrire la soumission :

Microsoft Word 97-2003 Document

Forme de participation de la soumission choisie :

Communication de recherche

Vers l'étude de l'influence de la tâche de conduite

sur les modèles de conception de l'éclairage

Anais mayeur

Laboratoire Central des Ponts Chaussées, 58 bd Lefebvre, 75015 Paris
Université Paris Descartes, 45 rue des Saints Pères, 75006 Paris
anais.mayeur@lcpc.fr

Roland Brémond

Laboratoire Central des Ponts Chaussées, 58 bd Lefebvre, 75015 Paris
roland.bremond@lcpc.fr

Christian Bastien

Université Paul Verlaine - Metz BP 30309, île du Saulcy, 57006 Metz
christian.bastien@univ-metz.fr

RESUME

L'évaluation de l'éclairage routier repose sur un indice calculé à partir de données issues de données expérimentales de détection de cibles en vision fovéale. Ce modèle de Visibilité de Petites Cibles fait apparaître un certain nombre de limites théoriques et méthodologiques auxquelles la présente étude tente de pallier. L'objet de cet article est donc d'évaluer l'effet de l'ajout d'une activité sensorimotrice sur les performances de détection de cibles en vision périphérique, dont le contraste et l'excentricité varient, en vision mésopique. Dans la première phase de l'expérience, 39 participants devaient détecter des cibles présentées en périphérie dont le contraste et l'excentricité variaient. La seconde phase de l'expérience permettait de mesurer l'impact d'une tâche sensorimotrice sur le Seuil Individuel de Détection. Les résultats indiquent que la tâche sensorimotrice diminue les performances de détection. Ces résultats sont interprétés et discutés dans le cadre du modèle d'éclairage routier et de ses limites.

MOTS CLES : conception de l'éclairage public, seuil de détection, vision mésopique, paradigme de la double tâche

ABSTRACT

The aim of this work is to assess the effect of the addition of an activity related to a driving task to detection performances in peripheral vision of targets varying both in contrasts and eccentricities, under mesopic conditions. The main index used to evaluate the quality of the lighting installations is calculated for simple detection tasks of objects presented in the foveal region for a given contrast. Such Small Visibility Target (SVT) models raise some methodological and theoretical questions. In the first phase of the experiment, 39 participants were asked to detect a target presented in the peripheral region according to different luminance contrasts and eccentricities. The second phase of the experiment was designed to measure the impact of a sensorimotor task on the Individual Detection Threshold. The mean variation between the preliminary experiment and the double task condition

showed a global decrement. We suggest that the results give evidence that the STV vision models developed for road lighting applications are limited.

KEYWORDS: Road lighting design, detection threshold, mesopic vision, double task paradigm.

INTRODUCTION

La nuit représente moins de 10% du trafic routier, mais pour l'année 2006, 35% des blessés hospitalisés et 44% des personnes tuées [27]. Par ailleurs, près de la moitié des accidents de la route impliquent un dysfonctionnement de la prise ou du traitement de l'information par l'utilisateur [16], pour lequel la vision est le canal sensoriel principal [33]. L'amélioration de la perception visuelle nocturne est donc un moyen efficace d'améliorer la sécurité routière. L'éclairage public joue un rôle primordial dans la conception de l'environnement routier car il remodèle l'espace en mettant en valeur ou en occultant divers éléments. La relation entre l'éclairage et la sécurité routière n'est pas directe, mais la *Commission Internationale de l'Eclairage* (CIE) a publié une revue de question qui montre une corrélation positive entre la qualité de l'éclairage et la sécurité routière [10]. La fonction principale de l'éclairage est de compenser la faible performance de nuit du Système Visuel Humain. Cette baisse de performance par rapport au jour est due à la faible sensibilité des photorécepteurs (cônes) en vision mésopique (entre 0,01 et 3,0 cd/m²) [37], qui correspond au domaine de la conduite de nuit. L'éclairage public augmente les performances visuelles des conducteurs pour la détection d'objets en augmentant le niveau d'adaptation visuelle et en diminuant les effets de l'éblouissement.

Actuellement, le domaine de l'éclairage public est caractérisé par un manque de fondements scientifiques [34]. Un certain nombre de méthodes ont été proposées dans la littérature scientifique et technique, notamment par la CIE et l'*Illuminating Engineering Society of North America* (IESNA), mais la pratique et les

recommandations réelles [13] se basent largement sur des accords d'experts plutôt que sur les modèles scientifiques [5]. Ce manque de fondement théorique des pratiques nous semble en partie dû à la faiblesse des modèles qui ont été proposés jusqu'ici, particulièrement en termes de validité écologique par rapport à la situation de conduite réelle.

Le modèle de Visibilité de Petite Cible (Small Target Visibility (STV) est la méthode principale pour évaluer la qualité de l'éclairage routier en termes de performance visuelle [11; 32]. L'idée est de caractériser une installation d'éclairage en considérant une petite cible (carré uniforme de 18 centimètres de côté) posée sur la chaussée à une distance correspondant à la prise d'information par les automobilistes. Ce modèle permet de calculer un seuil ΔL_s de détection d'une cible en prenant en compte différents critères concernant la cible (taille, facteur de réflexion et polarité de contraste), l'environnement (luminance de la chaussée, temps d'observation et éblouissement) et le conducteur (âge). Le niveau de visibilité (VL) est ensuite calculé comme le rapport entre l'écart réel de luminance ($\Delta L_{réel}$) que doit présenter l'objet pour être détecté et le seuil différentiel de luminance (ΔL_s) calculé pour une probabilité de détection donnée. Le calcul du seuil différentiel de luminance (ΔL_s) se fonde sur les données psychophysiques de sensibilité au contraste [4]. Un niveau de visibilité (VL) de 5 signifie que le contraste de luminance de la cible est 5 fois le contraste dont a besoin un observateur standard pour détecter cette cible en situation de laboratoire. Le modèle STV implique, pour des applications d'éclairage routier, de trouver le VL spécifique à la détection de cible pendant une tâche de conduite. Toutefois, à ce jour, plusieurs seuils ont été proposés pour l'éclairage public avec des valeurs allant de VL=4 à VL=30, ce qui montre un manque de consensus [1; 14; 15]. La valeur VL=7 est recommandée en France [e.g. AFE, 2].

Dans cette étude, nous avons considéré ce qui nous apparaît comme les deux principales différences entre la situation de référence du modèle STV et la situation de conduite : (a) Tout d'abord, le modèle STV est basé sur une tâche de détection de cibles sans aucune autre tâche à effectuer, alors qu'en situation de conduite la détection est une tâche parmi d'autres [12]. Plus précisément, le modèle ne prend pas en considération la tâche de conduite qui comporte en même temps des activités de commande du véhicule et de traitement de l'information. (b) En second lieu, le modèle STV est basé sur une tâche de détection fovéale, qui n'est pas le seul mode de détection en conduite. En effet la conduite exige l'utilisation simultanée de la vision centrale et périphérique, notamment pour la détection de cible, où la vision périphérique est primordiale [28]. Ce constat nous a amené à concevoir une expérimentation qui montre l'effet d'une tâche

sensorimotrice sur le taux de détection de cibles en vision mésopique ; cibles dont on a fait varier l'excentricité et le contraste. Les degrés d'excentricités ont été choisis pour être pertinents par rapport au processus de prise d'information visuelle en conduite.

Trois phases ont été définies (figure 1) : (i) La première phase de l'expérience (tâche simple, détection de cibles périphériques) est basée sur un protocole psychophysique proche de celui utilisé par Blackwell [4]. Le but de cette phase était de mesurer le Seuil Individuel de Détection (SID) en vision périphérique pour chaque sujet et selon trois excentricités (1,5°, 4° et 7°). Les performances correspondantes aux SID collectés durant cette première phase serviront pour des comparaisons lors d'une condition de double tâche en phase 3. (ii) La seconde phase de l'expérience a consisté en une tâche sensorimotrice (SM), dans laquelle le participant devait déplacer un mobile sur un circuit avec deux manivelles, sur le même écran que dans la phase 1. L'objectif de cette phase était, d'une part, d'évaluer les performances des participants lors d'une tâche sensorimotrice avant d'y ajouter une tâche secondaire, et d'autre part de contrôler les différences possibles entre les deux groupes en phase 3. (iii) Dans la troisième phase, basée sur le paradigme de la double tâche [30], les sujets de G1 devaient faire la même tâche sensorimotrice que dans la phase 2 (déplacement d'un mobile sur un circuit) et parallèlement la même tâche de détection périphérique que dans la phase 1. Les stimuli périphériques avaient la même excentricité que dans la phase 1. Le contraste était choisi pour chaque sujet et pour chaque excentricité selon le SID individuel calculé sur la base des données récoltées lors de la phase 1 de l'expérience. Le but de la phase 3 était d'évaluer l'impact d'une tâche primaire (sensorimotrice) sur une tâche de détection périphérique.

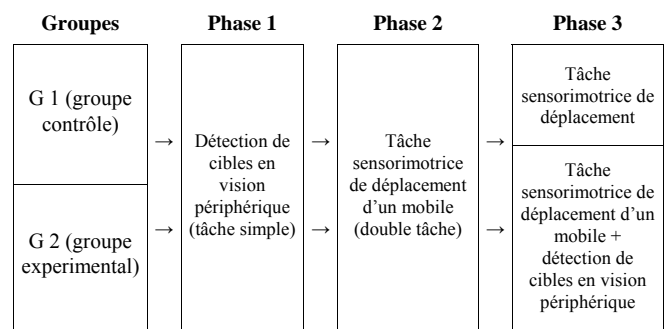


Figure 1. Schéma décrivant le protocole expérimental

La diminution des performances de détection en fonction de l'excentricité de la cible dépend fortement du niveau d'adaptation. Cette diminution est plus faible dans le domaine mésopique (ou crépusculaire) que dans le domaine photopique (vision de jour) [37]. Notre expérimentation se situe dans le domaine mésopique,

pertinent pour la situation de conduite de nuit. En référence à une situation routière, pour un automobiliste qui regarde au centre de sa voie, une amplitude de 7° inclut comme objet d'intérêt tout objet situé sur la voie à plus de quinze mètres du véhicule, ce qui est bien sûr une simplification du comportement visuel des conducteurs [35]. Plusieurs auteurs ont montré que la complexité de la tâche fovéale pouvait augmenter le seuil de contraste pour une tâche de détection périphérique, selon l'excentricité de la cible. D'autre part, la tâche de détection périphérique peut avoir un effet sur la tâche fovéale selon sa complexité [23]. Cependant, dans ces expériences, la tâche fovéale est soit purement visuelle [18] soit cognitive [8; 29]. Il n'y a aucune composante sensori-motrice. Ce constat nous a amené à choisir une tâche sensorimotrice (SM), selon nous plus pertinente par rapport à la situation de conduite. Dans cette étude, la tâche SM consiste à déplacer sur un écran un mobile sur un circuit avec deux manivelles. Cette tâche SM est adaptée d'un test psychotechnique de Lahy [20], toujours utilisé en France lors du recrutement des chauffeurs de bus à la RATP. Ce test mesure la coordination sensori-motrice fine dans un contexte d'attention soutenue. Dans la troisième partie de l'expérience, la tâche SM est considérée comme la tâche primaire puisque l'activité principale d'un conducteur est la conduite du véhicule (guidage, navigation, etc.). La tâche secondaire est la tâche de détection dans le champ visuel périphérique.

METHODE

Participants

39 adultes (13 femmes et 26 hommes) avec une moyenne d'âge de 35.5 ans ($ET = 11.2$) ont participé à l'étude. Ils étaient titulaires du permis de conduite et avaient une vision bonne ou corrigée. Les sujets, naïfs par rapport au but de l'expérience, ont été recrutés au *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* (LCPC) et à l'Université Paris Descartes. Les sujets étaient assignés à un groupe. Le groupe 1 (ou groupe contrôle) était composé de 19 sujets (6 femmes et 13 hommes) avec un âge moyen de 36 ans ($ET = 12,5$). Le second groupe (ou groupe expérimental) était formé de 20 sujets (7 femmes et 13 hommes) avec une moyenne d'âge de 35 ans ($ET = 9,8$). Aucune différence statistique entre les deux groupes n'a été observée en terme d'âge ($t(37) = 0.271, p = 0,781$).

Salle Expérimentale et Matériel

L'expérience a eu lieu dans une salle photométriquement contrôlée (sans fenêtre, murs peints en noir). La salle était équipée d'un écran, d'un vidéoprojecteur, d'un ordinateur exécutant le protocole expérimental, d'un dispositif comportant deux manivelles (prêt RATP) et d'une pédale qui permettait d'enregistrer les réponses des sujets (voir

figure 2). Pour les trois phases, la luminance de l'écran était mésopique (0.65 cd/m^2), ce qui est cohérent avec les recommandations en éclairage routier [entre 0,5 et 1,5 cd/m^2 , par ex. 17]. Le champ visuel de l'écran est de 30° en verticale (1.50 m) et 40° en horizontale (2 m) (figure 2).

Phase 1: Détection de Cibles en Vision Périphérique (Tâche Simple)

Stimuli. Lors de la première phase de l'expérience, un carré de fixation de couleur noire (luminance $0,1 \text{ cd/m}^2$) et de $0,25^\circ$ d'angle visuel est placé au centre de l'écran. Une seconde après l'émission d'un bip auditif (amorce), une cible apparaît de manière aléatoire pendant 150 ms sur une plage temporelle de 3 secondes, selon différentes excentricités et différents contrastes. Les stimuli sont tous des carrés de $0,25^\circ$ d'angle visuel.

La première variable indépendante est l'*excentricité* des stimuli. Trois valeurs d'excentricité ont été choisies : $1,5^\circ$, 4° and 7° . Ces valeurs permettent au sujet d'explorer trois régions du champ visuel : (a) la proximité de la fovéa, (b) la région para-fovéale et (c) la région péri-fovéale (Legrand, 1972). La seconde variable indépendante est le *contraste de luminance* de la cible. Le contraste de luminance est défini par la fraction de Weber $C = (L_c - L_f) / L_f$, où L_c correspond à la luminance de la cible et L_f à la luminance du fond. Une étude exploratoire a montré que des contrastes compris entre 0 et 0,6 devraient amener 100% de taux de détection pour le plus fort contraste, pour les trois excentricités. Six valeurs de contraste ont été utilisées durant cette expérience (0 ; 0,1 ; 0,21 ; 0,33 ; 0,41 et 0,60).

Procédure. Les sujets sont assis à deux mètres de l'écran, un pied en attente sur la pédale. Après une période d'adaptation à l'environnement lumineux mésopique de 8 minutes, les sujets ont eu pour instruction de fixer le carré au centre de l'écran et de presser la pédale dès qu'ils détectent une cible. Cent quatre vingt (180) stimuli (10 présentations \times 3 excentricités \times 6 contrastes) ont été présentés par tirage aléatoire à chaque participant. La position des stimuli est choisie aléatoirement sur un cercle correspondant à l'excentricité de ces stimuli. Durant l'expérience, l'ordinateur enregistre les performances (nombre de réponses correctes et de fausses réponses). Le seuil individuel de chaque sujet pour les trois excentricités est défini, pour chaque sujet, comme le plus petit contraste ayant un taux de détection d'au moins 70%. Ces valeurs de contrastes individuels, nommées Seuil Individuel de Détection Individuel (SDI), ont ensuite été utilisées dans la condition de double tâche.

Phase 2: Tâche Sensorimotrice de Déplacement d'un Mobile (Tâche Simple)

Stimuli. Un circuit (16° de largeur maximale, 14° de hauteur maximale, $0,8^\circ$ d'épaisseur, voir Fig. 2) était

présenté sur l'écran. La luminance du fond était la même que lors de la phase 1, et la luminance du circuit était de 0.36 cd/m². Un carré noir de 0,25° d'angle visuel, avec les mêmes propriétés que le carré de fixation utilisé dans la phase 1, servait de mobile à déplacer. Son contraste avec le fond proche, c'est-à-dire le circuit, était de 0,56. Les sujets devaient déplacer la cible grâce aux manivelles : la manivelle de gauche permet le déplacement vertical, tandis que la droite permet le déplacement horizontal. Le déplacement du carré sur le circuit avec ces manivelles demande une coordination sensorimotrice fine. La difficulté de cette tâche, incluant un contraste faible entre le mobile et le circuit, a été conçue pour s'assurer que les sujets fixeraient le mobile en vision fovéale.

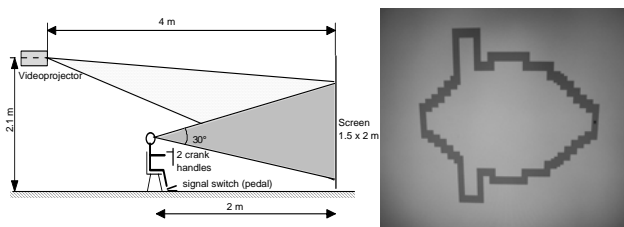


Figure 2. Schéma du dispositif expérimental (à gauche, pas à l'échelle) et du circuit apparaissant à l'écran (à droite)

Procédure. Les sujets étaient assis devant l'écran, une main sur chaque manivelle. La seule tâche à effectuer était la tâche de déplacement. Il était demandé de bouger le mobile aussi vite que possible, sans sortir du circuit. Deux indicateurs de performance ont été mesurés : la distance parcourue en 5 minutes et le nombre de sortie de circuit.

Phase 3: Effet d'une Tâche Sensorimotrice sur la Détection de Cibles en Vision Périphérique (Double Tâche)

Dans cette troisième phase de l'expérience, les sujets du groupe contrôle devaient répéter la phase 2. Les participants du groupe expérimental devaient à la fois effectuer la tâche sensorimotrice et la tâche de détection de cibles en vision périphérique.

Stimuli. Les excentricités des cibles périphériques étaient les mêmes que lors de la phase 1 de l'expérience. Le nombre de stimuli par sujet était de 60. Trente (30) cibles périphériques (10 répétitions × 3 excentricités) ont été présentées aux sujets selon leur contraste individualisé (pour chaque excentricité) qui ont été calculé lors de la phase 1 de l'expérience. De plus, quinze (15) cibles avec un contraste nul (5 répétitions × 3 excentricités) et quinze (15) avec une valeur double de contraste par rapport au SID (5 répétitions × 3 excentricités) ont été présentées. Le but était de proposer des stimuli (fort contraste) avec une forte probabilité de détection, et des stimuli (nul) permettant des fausses détections. La position des stimuli a été choisie pour éviter des intersections entre la cible et le

circuit, ce qui aurait changé le contraste de la cible. L'excentricité de chaque cible périphérique a été calculée avec l'hypothèse que les sujets fixaient le mobile en déplacement. Les mouvements du mobile durant la présentation de la cible (150 ms) n'ont pas été pris en compte pour le calcul de la position de la cible.

Procédure. Lors de la condition de double tâche (groupe expérimental), la tâche sensorimotrice était considérée comme la tâche primaire et la tâche de détection comme la tâche secondaire. Les mêmes cibles périphériques que lors de la phase 1 ont été utilisées. Il était demandé aux sujets de presser la pédale dès qu'ils détectaient une cible en vision périphérique tout en déplaçant le mobile sur le circuit. Les sujets devaient répondre aussi rapidement que possible, sans stopper la tâche de déplacement, qu'ils devaient considérer comme leur priorité. Pour le groupe contrôle, les conditions et instructions étaient semblables à la phase 2.

RESULTATS

Seuils de Détection Périphérique (Phase 1)

Le tableau 1 montre le taux de détection de cibles (% de réponses correctes) pour les trois excentricités en fonction du contraste de luminance. En moyenne, le taux de détection diminue de 57,2% à 44,4% et 30,7% pour respectivement une excentricité de 1,5°, 4° et 7°. De plus, le taux de détection augmente de 1% à 91,2% en fonction des contrastes. Il est à noter que seulement 1,2% de fausses détections ont été enregistrées, ce qui ne permet pas une analyse en termes de théorie de détection du signal [38].

Les analyses de variance multivariées pour mesures répétées (MANOVA) (Excentricité (3) × Contraste (6) × Condition (10)) indiquent que l'effet du contraste ($F(5, 701) = 559,62, p < .0001$), de l'excentricité ($F(2, 701) = 270,98, p < .0001$) et l'interaction de ces deux facteurs sont significatifs ($F(10, 701) = 51,70, p < .0001$). Cependant, le facteur Groupe n'est pas statistiquement significatif ($F(1, 701) = 0,05, p < .8194$).

Tableau 1. Pourcentage de détection de cibles en vision périphérique en fonction du contraste de luminance selon différentes excentricités, phase 1 de l'expérience, condition de tâche simple (moyenne sur 39 sujets).

Excentricités	Valeurs de contraste						μ
	0,00	0,10	0,21	0,33	0,41	0,60	
1,5°	0,5	2,8	63,6	85,9	93,8	96,4	57,2
4°	0,8	0,5	21,8	61,8	87,7	93,8	44,4
7°	1,8	0,5	3,6	30,3	64,9	83,3	30,7
μ	1,0	1,3	29,7	59,3	82,1	91,2	44,1

A partir de ces résultats, un Seuil Individuel de Détection (SID) a été calculé pour chaque participant. Le tableau 2 présente le nombre de sujets ayant un SID donné, pour les trois excentricités. Les analyses de variance multivariées pour mesures répétées (MANOVA) (Excentricité (3) × Groupes (2)) indiquent que l'effet du groupe ($F(1, 116) = 0,04; p < .8497$) n'est pas significatif. Le facteur excentricité est cependant statistiquement significatif ($F(1, 116) = 124,73; p < .0000$), ce qui n'est pas surprenant étant donné que les SID sont calculés sur les données précédentes. L'interaction entre les deux facteurs n'est pas significative ($F(1, 116) = 0,12; p < .8892$).

Tableau 2. Effectif pour chaque valeur de SID et d'excentricité pour les groupes 1 et 2, et valeurs moyennes du groupe 1 (groupe contrôle) et du groupe 2 (groupe expérimental).

SID	1,5°			4°			7°			Total
	G1	G2	Total	G1	G2	Total	G1	G2	Total	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,21	12	11	23	0	0	0	0	0	0	23
0,33	4	5	9	10	7	17	2	1	3	29
0,41	2	3	5	6	11	17	9	11	20	42
0,60	1	1	2	3	2	5	8	8	16	23
Total	19	20	39	19	20	39	19	20	39	117
SID Moyen	0,2 8	0,2 9	0,29	0,3 9	0,4 0	0,39	0,4 8	0,4 8	0,48	

L'effet de la Tâche de Détection sur la Tâche Sensorimotrice (Comparaison des Phases 2 et 3)

Deux indicateurs de performance pour la tâche sensorimotrice ont été enregistrés : la distance parcourue sur le circuit en 5 minutes et le nombre de sorties de circuit. Le tableau 3 montre le nombre moyen de sorties pour les phases 2 (SM, G1 et G2) et 3 (SM, G1 et SM + DT, G2).

Tableau 3. Performances moyennes pour la tâche SM, phases 2 et 3 de l'expérience. La condition de la phase 3 est une simple tâche pour le groupe 1 et une double tâche pour le groupe 2.

Groupes		Phase 2		Phase 3	
		Sorties	Distance	Sorties	Distance
1 (n = 19)	μ	42	3966	27	4734
	σ	25	818	18	1013
2 (n = 20)	μ	41	4245	35	4686
	σ	35	1224	33	1525

Note: Plus grande est la distance, meilleure est la performance.

Les analyses de variance multivariées pour mesures répétées (MANOVA) (Groupe (2) × Phase (2)) sur la

distance parcourue révèlent un effet significatif du facteur « Phase » ($F(1, 77) = 25,32; p < .0001$). Le facteur « Groupe » ($F(1, 77) = 0,001; p = .9799$) et les interactions entre les facteurs ne sont pas significatives. En moyenne, les distances parcourues augmentent de la phase 2 ($M = 4109,36$, c'est-à-dire 4,566 tours de circuit) à la phase 3 ($M = 4709,56$, c'est-à-dire 5,233 tours de circuit). En ce qui concerne les sorties de circuit, les analyses de variance multivariées pour mesures répétées (MANOVA) indiquent un effet significatif pour le facteur « Phase » ($F(1, 77) = 12,89; p = .0010$). Le nombre moyen de sorties diminue de 41,5 à 31 de la phase 2 à la phase 3. Le facteur « Groupe » ($F(1, 77) = 0,04; p = .8367$), et les interactions entre facteur ne sont pas statistiquement significatives. Il y a en moyenne 34,5 sorties dans le groupe 1 et 38 sorties dans le groupe 2.

Globalement l'effet de la phase et l'addition de la tâche secondaire présentent la même tendance en termes de distance parcourue et de nombre de sortie. En d'autres termes, la répétition de la tâche induite d'un point de vue temporel de meilleures performances, la distance parcourue augmente et le nombre de sorties diminue. L'absence de significativité en termes d'interaction indique que la tâche secondaire (détection périphérique) n'a pas d'impact sur la tâche primaire.

L'effet de la Tâche Sensorimotrice sur la Détection de Cible Périphériques (Comparaison des Phases 1 et 3)

Pour évaluer l'effet de la tâche SM sur la détection de cibles en périphérie, nous avons comparé les performances des sujets du groupe 2 (groupe expérimental) entre la phase 1 et 3. Pour la tâche de détection, la variation moyenne entre la phase 1 (simple tâche) et la condition de double tâche (phase 3) est présentée dans le tableau 4, pour les excentricités 1,5°, 4° et 7°.

Tableau 4: Pourcentage de détections correctes à la tâche de détection périphérique pour des valeurs de contraste fixées par le Seuil Individuel de Détection (SID). Les données sont extraites de la condition de la tâche simple de la phase 1, et de la condition de la double tâche de la phase 3, pour les sujets du groupe 2.

SID	Excentricités			μ
	1,5°	4°	7°	
	0,290 (σ=0,107)	0,397 (σ=0,079)	0,482 (σ=0,100)	
Phase 1 (%)	87,0	87,5	78,0	84,2
Phase 3 (%)	69,0	71,0	60,0	67,5
μ	78,8	79,5	69,3	

Lorsque nous analysons les performances de détection entre la simple tâche et la double tâche, nous trouvons une diminution globale : les performances en détection diminuent de 84,2% à 67,5% ($F(1, 119) = 32,31, p < .001$). Les performances diffèrent aussi en fonction du

degré d'excentricité ($F(2, 119) = 5,34, p = .009$). Les analyses statistiques indiquent qu'il n'y a aucune différence statistique en terme de performance entre l'excentricité 1,5° et 4° ($F(1, 39) = 0,07, p = .793$). Cependant, la performance à 7° d'excentricité diffère significativement à la fois de l'excentricité 1,5° ($F(1, 39) = 11,14, p = .0019$) et 4° ($F(1, 39) = 12,97, p = .0009$).

DISCUSSION

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact de l'ajout d'une activité à la détection de cible en vision périphérique, selon différentes excentricités. Comme dans Plainis et al. [29], les niveaux de luminance ont été choisis dans le domaine mésopique, puisque le domaine d'application de cette étude est l'éclairage routier. Une tâche sensorimotrice a été choisie dans le but de tendre vers la tâche de conduite, ce qui n'a jamais été fait dans ce contexte à notre connaissance. Nous avons étudié les excentricités allant de 1,5° à 7° en lien avec le domaine d'application de notre étude qui est l'éclairage routier, dont l'une des fonctions est de permettre/améliorer la détection de cibles sur la chaussée. Les photorécepteurs cônes semblent prédominer à ces excentricités lors de la tâche de conduite sans trafic. Ils permettent donc d'utiliser la définition de la luminance photopique ($V(\lambda)$), ce qui n'aurait pas été possible à des excentricités plus élevées [6]. Ce domaine est différent de Plainis & al. [29] qui ont exploré les excentricités de 5 à 30°.

Les taux de détection de la phase 1 ont permis de déterminer des contrastes individuels pour un taux de détection supérieur à 70%. Ces SID ont été utilisés dans la condition de double tâche pour mesurer la détérioration du taux de détection du fait de l'ajout de la tâche de déplacement d'un mobile. La position de la cible dans la condition de double tâche était calculée avec l'hypothèse sous-jacente que la demande attentionnelle de la tâche SM était suffisamment importante pour entraîner une focalisation sur le mobile à déplacer. Cela n'a pas pu être vérifié avec des données oculométriques, mais l'effet de l'excentricité sur la détection de cible (à la fois pour la tâche simple (phase 1) et la condition de double tâche (phase 3)) va dans le sens de cette hypothèse.

Les cibles sont plus difficilement détectées lorsque l'individu est déjà engagé dans la réalisation d'une activité sensorimotrice, et vont dans le sens d'autres résultats sur l'effet d'une tâche fovéale sur une tâche de détection périphérique [par ex., 23]. Ces résultats démontrent que les modèles de dimensionnement de l'éclairage public basés sur des expérimentations où l'unique tâche est la détection sont limités. Bien que la situation de notre expérience soit elle aussi une tâche artificielle, elle permet de tendre vers

des études plus écologiques pour la conception de l'aménagement routier.

L'approche que nous avons adoptée nous permet de proposer un facteur correctif au VL standard qui pourrait prendre en compte l'excentricité et l'effet de la double tâche. Classiquement un VL = 7 ou 10, basé sur une approche heuristique, est utilisé par les praticiens de l'éclairage sous le nom de « field factor ». Nous proposons d'ajouter à ce modèle un facteur (nommé φ) qui prendrait en compte l'effet de l'excentricité et de la double tâche

sous la forme
$$VL_{DT} = \frac{\Delta L}{\Delta L_s} \times \varphi$$
, ce qui donnerait une

valeur de « field factor » plus petite. Un modèle quantitatif devrait utiliser la même situation expérimentale que celle exposée dans cet article avec un échantillon représentatif de la population des conducteurs pour un pays donné. Nous sommes conscients que d'autres facteurs devront être pris en compte en référence à la tâche de conduite. Le groupe contrôle permet de montrer que l'addition de la détection périphérique n'a pas d'effet significatif sur les performances à la tâche SM, ce qui pourrait être discuté en terme de complexité de la tâche de détection [8]. Une suggestion est que la tâche SM utilisée dans cette expérience est moins demandeuse que la conduite automobile en terme de ressources attentionnelles et cognitives. Si cela est vrai, alors la situation expérimentale proposée ici est une estimation basse du facteur correctif φ .

Deux paramètres importants ont été introduits : la détection périphérique plutôt que la détection fovéale utilisée dans le modèle STV, et la double tâche plutôt que la simple tâche de détection. D'autres facteurs pourraient améliorer le modèle STV [e. g. 22; 25; 31] : la cible standard est plus difficile à détecter que la plupart des cibles réalistes qui peuvent être rencontrées sur la route, tels que les usagers vulnérables (piétons), qui diffèrent en termes de taille, de complexité de forme et de texture. Le calcul actuel du VL d'une cible ne considère pas non plus l'effet des feux du véhicule. Enfin, les modèles STV se focalisent sur la détection de cible, sans prendre en considération les autres composants de la situation dynamique et complexe qu'est la situation de conduite.

Notre approche de l'étude de la visibilité routière en relation à la tâche de conduite automobile donne des pistes pour aller plus loin. Dans cette étude, nous avons considéré les modèles actuels de visibilité routière, définis par les ingénieurs de la route et les praticiens de l'éclairage. Des situations expérimentales plus réalistes et/ou écologiques du point de vue de la conduite pourraient permettre de proposer des spécifications en éclairage routier basées sur des fondements plus scientifiques. Ces

situations expérimentales investigueraient d'autres aspects pertinents de la conduite en utilisant différents types de protocoles tels que (a) les vidéos de scènes routières (b) les simulateurs de conduite et (c) les études en conduite réelle sur piste fermée.

Le simulateur de conduite permet un meilleur contrôle de la situation expérimentale par rapport aux expériences en situations réelles. Lingard & Rea [24] ont étudié la détection fovéale dans le domaine mésopique sur simulateur de conduite (jeu vidéo). Leurs résultats suggèrent un effet de la Distribution Énergétique Spectrale (DES) de sources lumineuses pour des cibles de faible contraste dans un domaine de 12° à 29°. Cependant, la question de la validité écologique de l'étude de la perception du conducteur avec ce type de méthodologie reste ouverte [19], c'est pourquoi il faut que les limites de ce type d'étude soient posées et prises en compte dans l'interprétation des résultats. La simulation de conduite a été comparée à une situation de laboratoire utilisant les vidéos [26] en terme de comportement visuel, et des vidéos routière ont été utilisées pour évaluer la prise d'information visuelle en conduite [12]. Cependant, les expériences en conduite réelle sont plus utilisées dans le champ de la visibilité routière [Voir 7; 21 pour une discussion]. En ce qui concerne l'éclairage routier, ces études se sont intéressées, dans les années 1970 et 1980, à la mise au point d'un seuil de performance visuel [14; 15; 36]. Comme nous l'avons vu précédemment, aucun consensus n'émerge, en partie à cause de la difficulté à généraliser une étude spécifique sur piste à la conception de l'éclairage. Des études plus récentes se focalisent sur la technologie de l'éclairage [3] ou s'intéressent aux tests visuels les plus pertinents pour la conduite [39; 40].

Le cadre général de nos travaux futurs doit inclure une expérience sur piste sous éclairage public et des expériences en laboratoire, à la fois sur des vidéos de scènes routières de nuit, et sur simulateur de conduite. Les vidéos routières nous permettront d'intégrer les facteurs de sémantique, de dynamique et (jusqu'à un certain point) la photométrie de l'environnement visuel. L'utilisation de la simulation de conduite devrait permettre d'appréhender la tâche de conduite tout en contrôlant les paramètres expérimentaux et en maîtrisant le risque pour le sujet. Son coût est un réalisme moindre des propriétés visuelles de la scène et de l'environnement proprioceptif. Nous pourrions qualifier notre approche de pas-à-pas, permettant une discrimination des effets les plus importants de la vision en conduite de nuit [9] dans le but de proposer un meilleur critère de visibilité routière. Nous espérons que cette démarche contribuera à un modèle de visibilité routière plus opérationnel et conduira les spécifications des praticiens de la route lors de la conception de l'éclairage.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les sujets pour leur participation et Ludovic Simon pour son assistance dans la mise en place matérielle. Ils remercient également la RATP pour le prêt des manivelles.

REFERENCES

- [1] Adrian, W. (1987). Visibility levels under night-time driving conditions. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 3-12.
- [2] AFE. (2002). *Recommandations relatives à l'éclairage des voies publiques*.
- [3] Akashi, Y., Rea, M. S., & Bullough, J. D. (2007). Driver decision making in response to peripheral moving targets under mesopic light levels. *Lighting Research and Technology*, 39(1), 53-67.
- [4] Blackwell, H. R. (1946). Contrast thresholds of the human eye. *Journal of Optical Society of America*, 36(11).
- [5] Brémond, R. (2007). *Quality indexes for road lighting: a review*. Paper presented at the 26th session of the CIE, 4-11 July 2007, Beijing, China.
- [6] Bullough, J. D., & Rea, M. S. (2000). Simulated driving performance and peripheral detection at mesopic and low photopic light levels. *Lighting Research and Technology*, 32(4), 194-198.
- [7] Bullough, J. D., & Rea, M. S. (2004). *Visual Performance under Mesopic Conditions: Consequences for Roadway Lighting*. Paper presented at the 83rd Annual Transportation Research Board Meeting.
- [8] Chan, H. S., & Courtney, A. J. (1993). Effects of cognitive foveal load on a peripheral single-target detection task. *Perceptual and motor skills*, 77, 515-533.
- [9] CIE. (1992). *Fundamentals of the Visual Task of Night Driving*. Vienna.
- [10] CIE. (1992). *Road lighting as an accident countermeasure* (No. Publication CIE 93).
- [11] CIE. (2002). *The correlation of models for vision and visual performance* (No. publication n°145).
- [12] Crundall, D., Underwood, G., & Chapman, P. (1999). Driving experience and the functional field of view. *Perception*, 28, 1075-1087.
- [13] European Norm. (2004-2005). *13 201 series : Road lighting*.
- [14] Gallagher, V. P., & Meguire, P. G. (1975). *Driver visual needs in night driving* (No. TRB Special Report 156).
- [15] Hills, B. L. (1975). Visibility under night driving conditions. Part 2. Field measurements using disc obstacles and a pedestrian dummy. *Lighting Research and Technology*, 7(4), 251-258.

- [16] Hills, B. L. (1980). Vision, visibility, and perception in driving. *Perception*, 9, 183-216.
- [17] IESNA. (2000). *American National Standard Practice for Roadway Lighting, RP-8-00*. New-York.
- [18] Ikeda, M., & Takeuchi, T. (1975). Influence of foveal load on the functional visual field. *Perception & Psychophysics*, 18(4), 255-260.
- [19] Kemeny, A., & Panerai, F. (2003). Evaluating perception in driving simulation experiments. *Trends in cognitive sciences*, 7(1), 31-37.
- [20] Lahy, J. M. (1933). Le premier laboratoire psychotechnique ferroviaire français aux chemins de fer du nord. *Le Travail Humain*, 409-431.
- [21] Langham, M. P., & Moberly, N. J. (2003). Pedestrian conspicuity research: a review. *Ergonomics*, 46(4), 345-363.
- [22] Lecocq, J. (1999). Calculation of the visibility level of spherical targets in roads. *Lighting Research and Technology*, 31(4), 171-175.
- [23] Leibowitz, H. W., & Appelle, S. (1969). The effect of a central task on luminance thresholds for peripherally presented stimuli. *Human Factors*, 11, 387-392.
- [24] Lingard, R., & Rea, M. S. (2002). Off-axis detection at mesopic light levels in a driving context. *Journal of the illuminating engineering society*, 31(1), 33-39.
- [25] Mace, D. J., & Porter, R. J. (2004). *Fixed roadway lighting: The effect of lighting geometry and photometry on target visibility and driver comfort*. Paper presented at the TRB.
- [26] Martens, M. H., & Fox, M. (2007). Does road familiarity change eye fixations? A comparison between watching a video and real driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 10(1), 33-47.
- [27] Onisr. (2006). Les grandes données de l'accidentologie 2006
<http://www.securiteroutiere.equipement.gouv.fr/infos-ref/observatoire/accidentologie/index.html>
- [28] Owsley, C., & McGwin, J. G. (1999). Vision impairment and driving. *Survey of ophthalmology*, 43(6), 535-550.
- [29] Plainis, S., Murray, I. J., & Chauhan, K. (2001). Raised visual detection thresholds depend on the level of complexity of cognitive foveal loading. *Perception*, 30, 1203-1212.
- [30] Posner, M. I., & Boies, S. J. (1971). Components of attention. *Psychological Review*, 78, 391-408.
- [31] Raynham, P. (2004). An examination of the fundamentals of road lighting for pedestrians and drivers. *Lighting Research and Technology*, 36(4), 307-313.
- [32] Rea, M. S. (1982). An overview of visual performance. *Lighting design & application*, 35-41.
- [33] Sivak, M. (1996). The information that drivers use: is it indeed 90% visual? *Perception*, 25, 1081-1089.
- [34] Ullman, G., & Finley, M. (2007). *Challenges to implementation of work zone lighting guideline*. Paper presented at the 17th TRB Visibility Symposium
- [35] Underwood, G., Chapman, P., Bowden, K., & Crundall, D. (2002). Visual search while driving: skill and awareness during inspection of the scene. *Transportation Research Part F*, 5, 87-97.
- [36] Van Bommel, J. M., & Tekelenburg, J. (1986). Visibility research for road lighting based on a dynamic situation. *Lighting Research and Technology*, 18(1), 37-39.
- [37] Wandel, B. A. (1995). *Foundations of vision*: Sinauer associates Inc. USA.
- [38] Wickens, C. D., & Hollands, J. G. (2000). Signal Detection, Information Theory, and Absolute Judgment. In C. D. Wickens & J. G. Hollands (Eds.), *Engineering psychology and Human Performance*. New Jersey: Prentice Hall.
- [39] Wood, J. M. (2002). Age and visual impairment decrease driving performance as measured on a closed-road circuit. *Human Factors*, 44(3), 482-494.
- [40] Wood, J. M., & Owens, D. A. (2005). Standard measures of visual acuity do not predict drivers' recognition performance under day or night conditions. *Optometry and Vision Science*, 82(8), 699-705.