



Texte original*.

Effet du champ de vision sur le comportement de conduite en moto : implication pour la conception des casques

Antoine H.P. Morice¹, Violaine Sevrez¹, Rob Gray² and Gilles Montagne¹

¹Aix-Marseille Université, Marseille, ²Arizona State University
antoine.morice@univ-amu.fr

Résumé : Si le port du casque est le moyen le plus efficace pour limiter la gravité des accidents de moto, il pourrait également augmenter le risque d'être impliqué dans un accident puisqu'il limite le champ de vision du motard. Nous avons analysé ici l'effet d'une manipulation du champ de vision sur le comportement de conduite en moto. La tâche consistait à négocier des virages sur un simulateur de moto à base fixe, alors que la hauteur de l'ouverture du casque et la nécessité de contrôler sa vitesse sur un compteur fixé sur le guidon étaient manipulées. Des ouvertures de casque inférieures à 30 deg. environ dégradaient la capacité du conducteur à maintenir sa vitesse et sa position dans la voie; cet effet était d'autant plus marqué dans les conditions impliquant de regarder le compteur de vitesse. Ces résultats ont des implications directes quant à la gestion du compromis entre les contraintes physique et perceptive dans la conception de casques de moto.

Mots-clés : Perception visuelle, performance, législation, simulateur

Effect of field of view on motorcycle steering behavior: implications for helmet design

Abstract. While helmet wearing reduces the severity of injuries in motorcycle crashes, it may also increase the likelihood of getting involved into a traffic accident through a reduction in the rider's field of view. We thus investigated the perceptual effects of helmet wearing when riding a motorcycle. The task consisted of negotiating curves in a fixed-based motorbike simulator while the helmet visor vertical dimension and need to check the handlebar-mounted speedometer were manipulated. Decreasing the vertical aperture below roughly 30 deg significantly impaired a rider's ability to maintain their lane position and speed; with the effect of aperture being significantly greater when speedometer checking was required. The present findings help to quantify the tradeoff between physical and perceptual effects in helmet design.

Keywords: Visual perception, performance, legislation, use of simulator

*Ce texte original a été produit dans le cadre du congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française qui s'est tenu à Marseille du 21 au 23 septembre 2016. Il est permis d'en faire une copie papier ou digitale pour un usage pédagogique ou universitaire, en citant la source exacte du document, qui est la suivante :

Morice, A.H.P., Sevrez, V., Gray, R., Montagne, G. (2016). Effet du champ de vision sur le comportement de conduite en moto : implication pour la conception des casques, Actes du 51^{ème} Congrès de la SELF, Marseille, 21-23/09/16.

Aucun usage commercial ne peut en être fait sans l'accord des éditeurs ou archiveurs électroniques. Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page.

INTRODUCTION

Les deux-roues motorisés, tels que les motos et les mobylettes, sont surreprésentés dans les accidents mortels de la circulation. Ils constituent de plus le seul moyen de transport pour lequel la mortalité annuelle en Europe est en constante augmentation (Bogerd et al., 2010). L'un des moyens les plus efficaces pour réduire le risque de décès et de lésion de la tête lors des accidents de moto est le port d'un casque certifié (e.g., Abbas, Hefny, & Abu-Zidan, 2012). Ce constat a motivé l'obligation du port du casque (article R431-1 du code de la route) et la normalisation des tests de protection à l'impact (ECE/TRANS/505 RV.1/Add.21/Rev.4, 2002). Le fait que le port d'un casque conçu pour être optimal en termes de protection à l'impact puisse affecter le comportement perceptivo-moteur du motard et augmenter ainsi la probabilité qu'il soit impliqué dans un accident reste cependant peu étudié.

Le paradoxe entre l'aspect protecteur du casque de moto et son potentiel effet accidentogène atteint son paroxysme en ce qui concerne la perception visuelle. En effet, l'ouverture frontale du casque devrait être aussi petite que possible pour assurer la solidité structurelle du casque, mais devrait au contraire être aussi grande que possible pour offrir un champ de vision permettant de prélever les informations visuelles nécessaires à la conduite. McKnight et McKnight (1995) ont étudié l'effet du port du casque sur la perception visuelle en demandant à 50 motards de réaliser des changements de voie en réponse à un signal auditif dans trois conditions : sans casque, avec un casque jet et avec un casque intégral. Ils ont observé que les rotations de la tête des motards augmentaient proportionnellement aux restrictions de champ de vision horizontales engendrées par le casque porté. L'effet de la restriction du champ de vision vertical sur la trajectoire produite par les motards reste cependant inexploré, alors même que la tâche de conduite impliquerait de prélever des informations à la fois proche et lointaine (e.g., Land & Horwood, 1995; Salvucci & Gray, 2004). Salvucci et Gray (2004) ont par exemple montré que la conduite automobile en virage nécessiterait l'utilisation conjointe d'informations visuelles en provenance de deux points distribués verticalement dans le champ de vision du conducteur (un point *proche* juste devant le véhicule et un point *lointain* tel que le point tangent du virage à venir).

Par conséquent, l'objectif de la présente étude est de déterminer la dimension verticale (i.e., hauteur) optimale de l'ouverture du casque de moto, en observant l'effet de sa manipulation sur la performance de motards dans une tâche de conduite simulée. Nous attendons une dégradation de la performance pour les ouvertures les plus petites. Pour approfondir cette problématique d'ergonomie de produit, nous avons également comparé deux tâches de conduite, dans lesquelles le motard devait contrôler ou non sa vitesse de déplacement (conditions *Compteur* et *Libre*), en utilisant si nécessaire un compteur de vitesse fixé sur le guidon. Étant donné que l'empan de la zone verticale contenant les informations pertinentes pour la tâche est plus important dans la condition avec *Compteur*, l'effet de la taille de l'ouverture sur la trajectoire produite par le motard devrait être plus important dans cette condition que dans la condition *Libre*.

MATERIEL ET METHODES

Population

Huit sujets de sexe masculin sans expérience de conduite en moto et avec une vision normale ou corrigée ont participé à cette expérimentation. Tous les participants étaient titulaires du permis B de conduite automobile.

Matériel

Le dispositif expérimental (Figure 1) était composé d'un simulateur de moto à base fixe conçu pour l'occasion, placé en face d'un écran (hauteur : 2.3 m – largeur : 3 m) offrant des angles de vue de 117deg. verticalement et 130deg. horizontalement. Les mouvements du guidon et des leviers d'accélérateur et de frein entraînaient des potentiomètres dont les signaux analogiques étaient convertis en signaux numériques (BU0836A, LeoBodnar, Silverstone, UK) avant d'être utilisés par un logiciel de réalité virtuelle OpenGL. Ce dispositif permettait d'actualiser en temps réel la direction et la vitesse de la moto et de générer la scène virtuelle qui était rétro projetée sur l'écran par un vidéoprojecteur (Barco IQ R500, Patay, FR) avec une fréquence de rafraîchissement de 60 Hz.

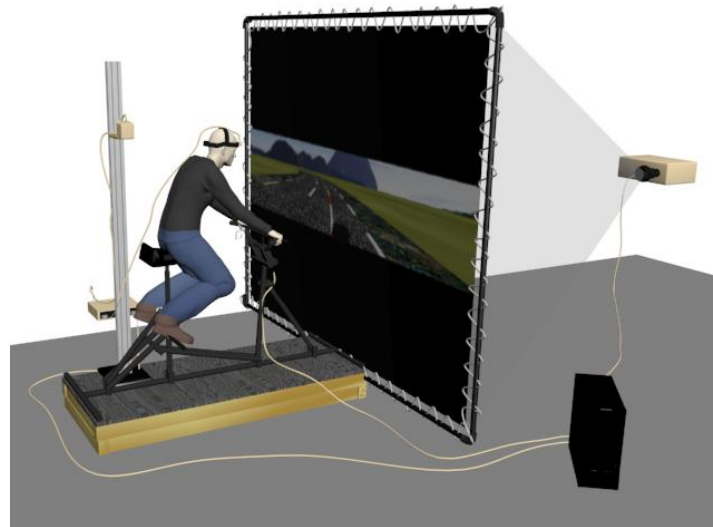


Figure 1 : Représentation schématique du simulateur de moto et de la scène virtuelle

La scène visuelle consistait en un sol texturé d'herbe sur lequel était superposée une route sinueuse texturée de goudron faite de deux clothoïdes de 90deg. orientées dans des directions opposées et séparées par des portions de ligne droite. Conformément à la réglementation française applicable aux routes de campagne, la route mesurait 7m de large et trois lignes pointillées (de 0.12 m de large) définissaient son milieu et ses limites latérales. La scène virtuelle comportait également une ligne pointillée blanche et rouge (de 0.12 m de large) au centre de la voie de droite matérialisant la trajectoire à suivre et un panneau d'instruments projeté sur l'écran à un emplacement correspondant au centre du guidon et comportant, entre autre, un compteur de vitesse (en km/h). Les sujets n'étaient pas munis de casques, mais la conséquence optique de l'ouverture verticale d'un casque virtuel était matérialisée par un masque composé de deux bandes noires horizontales asservies à la tête du sujet projetées dans la scène virtuelle (cf., Figure 1).

Protocole expérimental

Pour chaque essai, il était demandé aux participants de suivre aussi précisément que possible la ligne blanche et rouge matérialisant le milieu de la voie de droite afin de les forcer à porter attention à la surface de la route comme ils le feraient en condition de conduite réelle pour détecter les danger (e.g. : trou, débris ou autre caractéristiques de la route pouvant compromettre leur sécurité). L'ouverture frontale du casque était manipulée virtuellement (5 tailles [1,13, 26, 39 et 52 deg.] correspondant à l'angle sous-tendu au point de vue virtuel du motard par les deux bandes noires projetées à l'écran) pour varier la dimension du champ de vision vertical du motard. Ces dimensions correspondent respectivement à 1, 25, 50, 75 et 100% de la dimension verticale minimale imposée par les normes européennes (ECE/TRANS/505 RV.1/Add.21/Rev.4, 2002) pour une visière. Les instructions données au participant en termes de vitesse variaient également afin de manipuler l'empan de la zone

contenant les informations nécessaires à la réalisation de la tâche. Dans une condition *Libre*, les participants étaient libres d'adopter leur vitesse préférentielle. Dans une seconde condition (condition *Compteur*), il leur était demandé de conduire à une vitesse constante de 90km/h en utilisant le compteur de vitesse si bien que l'excentricité des informations visuelles pertinentes pour la tâche était augmentée.

Modalités d'analyse des données

Les écarts-type de l'écart latéral de la moto par rapport à la ligne blanche et rouge de milieu de voie et de la vitesse de la moto au cours d'un essai ont été utilisés comme variables dépendantes pour caractériser la performance de conduite. Ces deux variables ont été estimées a posteriori à partir du décours temporel des positions 2D de la moto enregistrées au cours de chaque essai par le moteur de réalité virtuelle. Ces données ont été analysées au moyen d'ANOVAs à mesures répétées avec comme facteurs l'ouverture verticale du casque (5 niveaux) et la tâche (2 niveaux).

RESULTATS

Ecart latéral

La figure 2 illustre l'écart type de l'écart latéral par rapport à la ligne de milieu de voie pour les deux tâches et chacune des cinq ouvertures. L'ANOVA réalisée sur ces données a révélé un effet principal significatif de l'ouverture du casque ($F(4,28)=19,2$, $p=0.000$) et un effet significatif de l'interaction tâche \times ouverture ($F(4,28) = 9,28$, $p=0.000$). L'effet principal de la tâche était proche du seuil de significativité ($F(1,7)=5.18$, $p=0.057$). Les tests post-hoc ont révélé que l'écart type de l'écart latéral était significativement plus faible dans la condition Libre (comparé à la condition Compteur) pour les ouvertures de 1 ($t(7)=2.9$, $p=0.023$) et 13 deg. ($t(7)=2.6$, $p=0.035$), mais qu'il n'y avait pas de différence significative pour les ouvertures de 26, 39 et 52 deg. ($P_s > 0.1$).

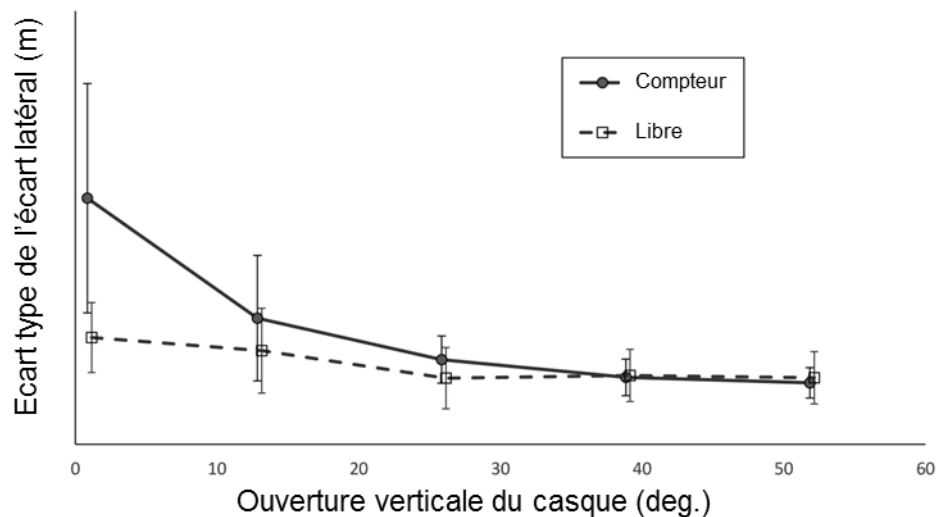


Figure 2 : Ecart-type moyen de l'écart latéral dans les différentes conditions d'ouverture verticale du casque virtuel pour la tâche *Compteur* (en noir) et la tâche *Libre* (en blanc).

Vitesse de conduite

La figure 3 illustre l'écart-type des vitesses de conduite pour les deux tâches et chacune des cinq ouvertures. L'ANOVA réalisée sur ces données a révélé un effet principal de la tâche ($F(2,7) = 10.09$, $p = 0.016$) ; la variabilité est généralement plus faible dans la condition Compteur. Les comparaisons post-hoc ont révélé que l'écart-type de la vitesse était significativement plus faible dans la condition Libre comparé à la condition Compteur pour

les ouvertures de 1 ($t(7)=2.8, p=.02$), 13 ($t(7)=2.7, p=.028$) et 26 deg ($t(7)=2.6, p=.035$) et aucune différence significative pour les ouvertures de 39 ou 52 deg ($ps > 0.5$).

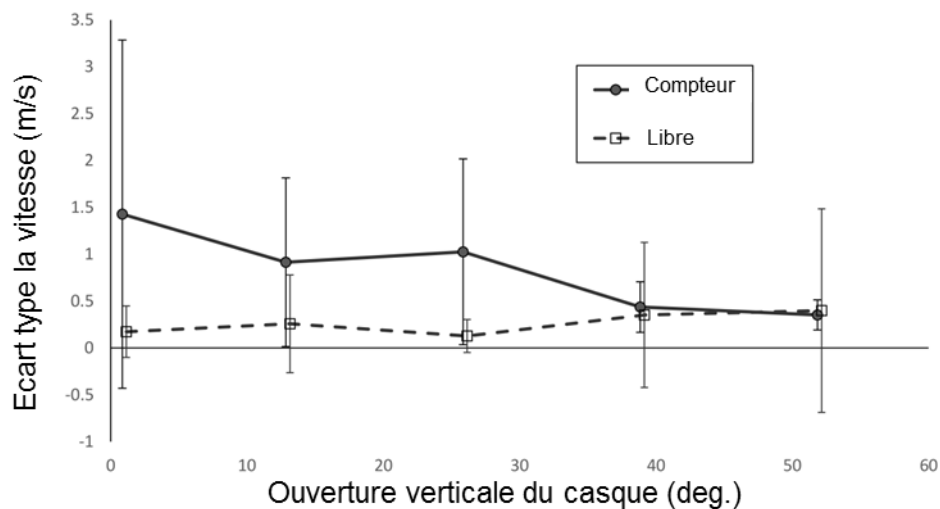


Figure 3 : Ecart-type moyen des vitesses dans les différentes conditions d'ouverture verticale du casque virtuel pour la tâche *Compteur* (en noir) et la tâche *Libre* (en blanc).

DISCUSSION

L'objectif de cette expérience était d'analyser la manière avec laquelle le champ de vision d'un casque de moto affecte les trajectoires adoptées par les motards lors d'un virage. Alors que le fait de réduire la dimension de l'ouverture frontale du casque de moto peut permettre d'améliorer sa résistance au choc, cette réduction pourrait avoir des conséquences néfastes en terme de contrôle perceptivo-moteur. Dans la présente étude, nous avons manipulé la hauteur de l'ouverture du casque dans une tâche de conduite en virage sur simulateur de moto. Comme annoncé en introduction, le contrôle de la trajectoire nécessitant l'utilisation de deux points distribués verticalement dans le champ de vision du conducteur (Salvucci & Gray, 2004), la performance de conduite devrait être altérée pour de petites ouvertures verticales.

Les résultats confirment cette hypothèse puisque la variabilité des positions latérales était maximale lorsque l'ouverture verticale était plus petite pour la condition de conduite libre (Figure 2). Comme prédit, l'effet de la hauteur de l'ouverture était plus marqué lorsque la tâche de conduite nécessitait de contrôler un compteur de vitesse fixé sur le guidon. Les variabilités d'écart latéral et de vitesse étaient toutes deux significativement plus importantes dans la tâche avec *Compteur* que dans la tâche *Libre* (Figures 2 et 3). Cette différence est d'autant plus marquée pour des petites hauteurs d'ouverture. Le résultat obtenu concernant la variabilité de la vitesse suggère paradoxalement que le fait de regarder le compteur de vitesse n'aidait pas le participant à stabiliser sa vitesse de conduite en condition de champ de vision réduit. Dans leur ensemble, ces résultats suggèrent que la stratégie utilisée par les motards était perturbée essentiellement dans la condition compteur du fait probablement de la nécessité de prendre en compte simultanément les informations utiles au contrôle de la trajectoire (point proche et point tangent) et au contrôle de vitesse (compteur).

Du point de vue des stratégies de contrôle perceptivo-moteur sous-jacentes, notre étude va dans le sens d'une généralisation du modèle de contrôle visuel en deux points proposé par Salvucci et Gray (2004) dans le cadre de la conduite automobile à la conduite de moto. La dégradation des performances de conduite lors de la manipulation du champ de vision (i.e., une diminution de la hauteur de la visière mettant le conducteur en difficulté pour maintenir

sa position dans la voie et sa vitesse) suggère qu'une conduite efficace nécessite l'utilisation conjointe des informations visuelles proche et lointaine. Cette étude montre que les variables perceptives et les lois de contrôle identifiées par Salvucci et Gray (2004) pour la conduite automobile sont transférables à la conduite de deux roues, malgré la présence de contraintes visuelles additionnelles liées au port du casque. Cela suggère que le « contrôle en deux points » est un principe perceptuo-moteur utilisé pour la conduite en virage indépendamment de l'effecteur ou de l'agent, tout comme la stratégie de maintien de l'angle de relèvement dans le domaine de l'interception de mobile (e.g., Morice, François, Jacobs, & Montagne, 2010).

En termes d'ergonomie de conception, cette étude suggère que la hauteur de l'ouverture d'un casque de moto ne devrait pas descendre en dessous de 39 deg. Dans les travaux à venir, nous prévoyons d'étudier la manière avec laquelle les mouvements de tête du motard sont utilisés pour compenser les variations de hauteur d'ouverture. Nous souhaitons également questionner la possible généralisation de nos résultats à d'autres postures de conduite (e.g., sportive, custom, ...). Nous souhaitons enfin tester des motards expérimentés afin d'identifier les stratégies développées avec la pratique afin de limiter les effets délétères de contraintes perceptives et biomécaniques auxquelles ils doivent faire face.

CONCLUSION

Alors que les normes définissent simplement un casque de moto comme « un équipement de protection destiné à protéger la tête en cas d'impact » (World Health Organization, 2006), nous démontrons ici que le casque doit également être conçu de manière à ne pas affecter la capacité de la personne qui le porte à prélever les informations proche et lointaine nécessaires à une conduite efficace. Les résultats de la présente étude offrent en effet un aperçu de la manière dont les contraintes perceptives liées aux dimensions du casque sont traitées lors de la conduite sur routes sinueuses.

BIBLIOGRAPHIE

- Abbas, A. K., Hefny, A. F., & Abu-Zidan, F. M. (2012). Does wearing helmets reduce motorcycle-related death? A global evaluation. *Accident; analysis and prevention*, 49, 249-252. doi:10.1016/j.aap.2011.09.033
- Bogerd, Cornelis Peter, Carley, M., Crundall, D., Otte, D., Shahar, A., Shinar, D., Bruhwiler, P. A. (2010). *COST Action 357: accident prevention options with motorcycle helmets*. St. Gallen: Empa
- ECE/TRANS/505 RV.1/Add.21/Rev.4. Prescriptions uniformes relatives à l'homologation des casques de protections et de leurs écrans pour conducteurs et passagers de motocycles et de cyclomoteurs. , E/ECE/TRANS/505 Rv.1/Add.21/Rev.4 (2002).
- Land, M., & Horwood, J. (1995). Which parts of the road guide steering? *Nature*, 377(6547), 339-340. doi:10.1038/377339a0
- Morice, A. H. P., François, M., Jacobs, D. M., & Montagne, G. (2010). Environmental constraints modify the way an interceptive action is controlled. *Experimental Brain Research*. 202(2), 397-411.
- McKnight, A. J., & McKnight, A. S. (1995). The effects of motorcycle helmets upon seeing and hearing. *Accident Analysis & Prevention*, 27(4), 493-501.
- Salvucci, D. D., & Gray, R. (2004). A two-point visual control model of steering. *Perception*, 33(10), 1233-1248.
- World Health Organization. (2006). *Helmets a road safety manual for decision-makers and practitioners*. Geneva: World Health Organization. <http://public.eblib.com/EBLPublic/PublicView.do?ptiID=284750>