



### Science Arts & Métiers (SAM)

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers Institute of Technology researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <https://sam.ensam.eu>  
Handle ID: <http://hdl.handle.net/10985/10025>

#### To cite this version :

Jean-Michel BOUCHEIX, Sabrina BELOUFA, Fabrice CAUCHARD, Stéphane ARGON, Benjamin VAILLEAU, Joël VEDRENNE, Andras KEMENY, Frédéric MERIENNE - Apprendre le règles d'éco-conduite sur simulateur de voiture: Effet de guidages attentionnels, visuel et auditifs - In: Activités humaines, technologies et bien-être : 7e conférence de psychologie ergonomique (EPIQUE), Belgique, 2013-07-10 - Références en Santé au Travail - 2013

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository

Administrator : [archiveouverte@ensam.eu](mailto:archiveouverte@ensam.eu)



---

# **Apprendre les règles d'éco-conduite sur simulateur de voiture**

## **Effet de guidages attentionnels visuels et auditifs**

**Jean-Michel Boucheix<sup>a</sup>, Sabrina Beloufa<sup>a,b,c</sup>, Fabrice Cauchard<sup>a</sup>, Stéphane Argon<sup>a</sup>, Benjamin Vaillau<sup>b</sup>, Joël Vedrenne<sup>c</sup>, Andras Kemeny<sup>b,c</sup>, & Frédéric Mérienne<sup>c</sup>**

<sup>a</sup>Lead-CNRS, Université de Bourgogne, Dijon, France, [Jean-Michel.Boucheix@u-bourgogne.fr](mailto:Jean-Michel.Boucheix@u-bourgogne.fr)

<sup>b</sup>RENAULT, Technocentre, Centre technique de Simulation, – TCRAVA 013, 1 avenue du Golf 78288 GUYANCOURT, [sabrina.beloufa@renault.com](mailto:sabrina.beloufa@renault.com), [benjamin.vaillau@renault.com](mailto:benjamin.vaillau@renault.com), [andras.kemeny@renault.com](mailto:andras.kemeny@renault.com)

<sup>c</sup>Arts & Métiers Paristech – Institut image ENSAM – 2 rue Thomas Dumorey 71100 Chalon sur Saône ; [frederic.merienne@ensam.eu](mailto:frederic.merienne@ensam.eu), [joel.vedrenne@ensam.eu](mailto:joel.vedrenne@ensam.eu)

---

### **RÉSUMÉ**

Dans le cadre le cadre du projet GeDriver, cette étude a testé expérimentalement l'efficacité de guidages attentionnels externes, associés à une leçon multimédia préalable, sur l'apprentissage de règles d'éco-conduite. L'apprentissage des règles était effectué sur un simulateur de conduite de voiture éco<sup>2</sup> dans lequel a été intégré un logiciel en mode « game-play », avec des parcours réalistes. Trois types de guidage, visuels, auditifs et haptique ont été conçus. Trois groupes de participants avec ou sans guidage et leçon ont conduit sur 4 parcours : (i) initial (pré-test), (ii) apprentissage 1, entraînement aux règles 1, (iii) apprentissage 2, entraînement aux règles 2, (iv) final (post-test). Le mouvement des yeux des participants était enregistré (système Face-Lab). Des scores d'apprentissage des règles d'éco-conduite, comme la quantité de CO<sup>2</sup> émise, étaient calculés. Les principaux résultats ont montré l'efficacité d'un court apprentissage déclaratif suivi de guidages attentionnels pour l'acquisition de règles d'éco-conduite. Après deux sessions d'entraînement de 8 et 10 minutes, les émissions de CO<sup>2</sup> ont diminué de plus de 10% pour le groupe avec leçon et guidage externes.

### **MOTS-CLÉS**

Apprentissage, Eco-conduite, Simulation, Guidages sensoriels, Game-Play mode

---

## **1 INTRODUCTION**

### **1.1. L'éco-conduite des véhicules et son apprentissage sur simulateur**

La diminution des émissions de CO<sup>2</sup> par les véhicules thermiques et un enjeu sociétal majeur, qui a d'ailleurs motivé la conception des moteurs avec des technologies hybrides ou électriques. L'évolution des véhicules peut aussi être utilement accompagnée, en formation, par l'acquisition de compétences à la conduite « écologique » qui visent à donner au conducteur la capacité de réduire et de maîtriser ses émissions de CO<sup>2</sup>, et plus généralement sa consommation énergétique, par des comportements de conduite adaptés, ne se réduisant pas à une conduite plus lente. L'objectif de cette communication est de présenter les résultats principaux d'une étude (projet GeDriver) portant sur la conception puis l'évaluation ergonomique de type expérimentale, de l'effet de guidages attentionnels externes (visuels et auditifs), associés à des leçons explicites (vidéos), sur l'apprentissage de règles d'éco-conduite. Cet apprentissage était effectué individuellement, en

plusieurs sessions avec un logiciel d'environnements routiers en mode « game-play » réaliste, intégré dans un simulateur de voiture de type éco2 (Figure 1a,b). Il s'agissait d'un simulateur à écran (180°) avec un poste de conduite réel (Renault Clio).

Fig. 1a



Fig. 1b



Fig. 1c



Fig. 1d

Figure 1. Simulateur éco<sup>2</sup> (Fig. 1a) et tableau de bord avec les guidages visuels et un environnement routier virtuel en temps réel (Fig. 1b et 1c, logiciel SCANNER). Tâche préalable de détection périphérique (Fig. 1d)

Si l'activité de conduite automobile a fait l'objet de très nombreuses études (Hoc, Young, & Blosseville, 2009), les recherches empiriques sur les mécanismes d'apprentissage restent plus rares, et en particulier dans le cadre de simulations « réalistes » utilisant des modalités de type « game-play » pour l'apprentissage, Connolly, Boyle, MacArthur, Hainey, & Boyle (2012). En revanche de nombreux travaux dans le domaine de l'apprentissage multimédia et de l'ergonomie des IHM, ont montré le bénéfice de l'utilisation de guidages de l'attention, visuels, linguistiques et sonores ou haptiques dans l'apprentissage de procédures ou de notions techniques (Lowe & Boucheix, 2011 ; Boucheix & al., 2013).

## **1.2. Problématique et démarche générale de l'étude**

L'objectif de l'étude était de tester l'efficacité d'un apprentissage de règles d'éco-conduite à partir de guidage attentionnels associés à une exposition préalable explicite à des règles d'éco-conduite. Cet apprentissage était effectué dans le cadre d'une formation courte sur simulateur de voiture type éco<sup>2</sup>( Figure 1a, b) dans lequel a été intégré une série de scénarii très réalistes d'environnements routiers, de trajets et de tâches de conduite en réalité virtuelle.

Deux séries de règles étaient la cible de l'apprentissage. La première série concernait trois règles de base au cours de la conduite (i) passer le rapport de vitesse supérieur avant 2500 tours minutes, (ii) conduire au rapport de vitesse le plus élevé possible (iii) maintenir une vitesse la plus constante possible une fois lancé, si la route est dégagée. La deuxième série correspondait à un complément nécessaire à la mise en œuvre des règles de base (i') regarder au loin pour anticiper les décélérations (ii') pour décélérer, en absence d'urgence, 1) lâcher les gaz, 2) rétrograder, 3) freiner si nécessaire (iii') couper le moteur pour un arrêt de plus de 30 secondes.

Il s'agissait de tester, pendant l'activité de conduite, l'efficacité de guidages attentionnels externes présents ou absents après une exposition explicite du conducteur (leçon multimédia) à chaque règle. L'apprentissage était réalisé dans le cadre de parcours routiers contrôlés (en termes de temps, de longueur, de type de parcours, d'environnement géographique, de nombre de voitures, de croisements, de lignes droites, de virages, de signalisations, et de comparabilité). Des scores d'éco-conduite, correspondant à la quantité de CO<sup>2</sup> économisé et à l'acquisition de chaque règle, étaient calculés et portaient sur la différence entre le parcours initial (pré-test) et le parcours final (post test) après les sessions d'apprentissages en fonction des conditions expérimentales testées (cf. section méthode).

En ce qui concerne les guidages attentionnels, la présente communication sera limitée à l'étude concernant l'effet des guidages visuels sur le tableau de bord de la voiture (règles 1,2 et 3) et auditifs sous la forme de messages (règles 1', 2' et 3'), dans l'apprentissage des règles d'éco-conduite. Pour chaque règle, trois modalités sensorielles différentes de guidage ont été initialement conçues. La modalité visuelle est présentée dans la section méthode ci-dessous (voir figure 1, b, c). La modalité auditive correspondait à des messages d'instructions délivrés à des moments précis. La modalité haptique consistait en un capteur tactile émettant des vibrations sur le corps du conducteur (par exemple quand il dépassait 2500 tours minute avant le passage à la vitesse supérieure). Notons, entre parenthèse, que lors d'une première série de deux expériences (non présentées ici) qui ont précédé la présente étude, « l'équivalence » de ces modalités de guidage en terme de charge attentionnelle et cognitive a été mesurée par à une tâche de temps de détection en vision périphérique de spots de couleur au cours de la conduite (Figure 1d).

La démarche expérimentale comportait pour chaque participant, et après une période de familiarisation, 4 étapes de conduite sur le simulateur : (i) un parcours d'évaluation initiale de la conduite sans aucune consigne spécifique (le pré-test) ; suivi de (ii-iii) deux parcours différents d'apprentissage, l'un dédié aux règles 1,2, et 3, et le deuxième dédié aux règles 1', 2' et 3' ; et enfin (iv) un parcours final, post-test similaire au pré-test. La mesure principale de l'effet de

l'apprentissage était la quantité de CO<sup>2</sup> émise pendant le parcours (notamment au moment de l'application de la règle comme le régime moteur moyen au moment des passages de rapport de vitesse montants) associée à d'autres mesures dépendantes concernant la sécurité de la conduite (voir section méthode).

Trois groupes de participants ont été testés. Le groupe expérimental, avec Leçon et avec Guidages (L+G+) bénéficiait, aux phases d'apprentissages, d'une leçon multimédia (vidéo présentée sur l'écran central du simulateur) où un expert expliquait la règle avec la nature des guidages liés à celle-ci. Cette leçon était immédiatement suivie d'une session de conduite pour l'entraînement avec la présence des guidages. Le groupe contrôle 1 bénéficiait des leçons mais ensuite, lors de la phase d'apprentissage, n'avait pas les guidages (L+G-). Le groupe contrôle 2 n'avait ni leçon, et ni guidage (L-G-) aux phases d'apprentissage. A dessein, il n'y avait pas de groupe sans leçon et avec guidage car la compréhension du guidage (au moins pour un apprentissage de court terme comme ici) nécessitait de connaître la règle associée à la leçon, un tel groupe aurait pu avoir une signification très ambiguë. Enfin, pour les 4 étapes de la conduite, le mouvement des yeux de chaque participant était enregistré en synchronisation avec les mesures de conduite (appareillage binoculaire Face-Lab).

## 2 METHODE

72 participants divisés en trois groupes de 24 personnes (L+G+, L+G-, L-G-) ont participé à l'expérience d'apprentissage (conducteurs depuis au moins 1 an, avec 9000km/an en moyenne). Après un temps de familiarisation avec le simulateur (conduite de prise main), l'expérience comportait 4 phases, avec 4 parcours de conduite différents (i) une évaluation initiale avec un parcours de 8 minutes de conduite ; (ii) une première phase d'entraînement pour l'apprentissage des règles 1, 2 et 3 (avec une leçon vidéo d'un expert -figure 2- de 1'43" et 8 mn de conduite) ; (iii) une seconde phase d'entraînement pour l'apprentissage des règles 1', 2' et 3' (avec une leçon vidéo de 2'10" et 10 mn de conduite) ; et (iv) l'évaluation finale avec un parcours de conduite de 8mn, similaire au pré-test, mais différent.

Enfin, un questionnaire individuel utilisant des échelles subjectives évaluait le plaisir pris par le conducteur et sa satisfaction éventuelle concernant la séquence d'apprentissage.



Figure 2. Capture d'écran de la leçon vidéo, avec l'expert éco-conduite et quelques supports utilisés

## ENTRAÎNEMENT N°1

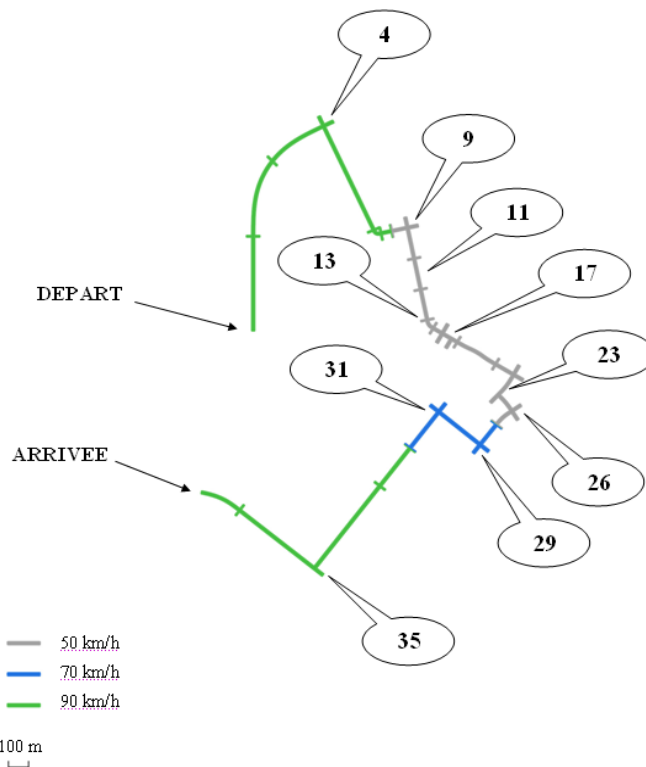


Figure 3. Exemple de parcours, le premier entraînement

Chaque parcours était composé d'une partie en campagne, suivie de l'arrivée dans une ville (banlieue) puis d'une partie ville proprement dite. Les parcours d'entraînement étaient, chacun, composés de 12 sections (avec l'opportunité de passer toutes les vitesses, et de maintenir des vitesses constantes, figure 3). Les parcours d'évaluation initiale et finale étaient similaires (A et B, avec chacun 9 sections) et l'ordre A-B ou B-A était contrebalancé entre les participants. Les informations présentes sur le tableau de bord étaient limitées à 4 indicateurs (figure 1b, 1c) : un compte tours, un indicateur de vitesse (numérique), un indicateur de rapport de vitesse et une évaluation (temps réel) du niveau d'émission de CO<sup>2</sup>.

Pendant l'entraînement, les guidages actifs aidaient le conducteur à intégrer les règles présentées (figure 1b, c). Pour la règle 1, une zone verte insérée dans le compte-tour clignotait automatiquement si le régime moteur dépassait le seuil de 2500 tr/min. Pour la règle 2, une flèche bleue à droite de l'indicateur de rapport de vitesse clignotait automatiquement si le rapport de vitesse du conducteur était trop bas. Pour la règle 3, un changement de couleur des chiffres du compteur numérique de vitesse se déclenchait si l'écart-type de la vitesse du joueur dépassait un certain seuil. Pour les règles 1' et 2', deux messages oraux ('regardez au loin' puis 'lâchez les gaz') étaient délivrés successivement si le conducteur ne lâchait pas la pédale de gaz dans les sections dédiées. Enfin, pour la règle 3', un message oral 'coupez votre moteur' était donné si le conducteur ne coupait pas son moteur aux sections dédiées. De plus, un indicateur affichait en permanence le niveau d'émission de CO<sub>2</sub>, et un message visuel 'Augmentez votre vitesse' apparaissait en bleu au centre de l'écran au tout début des parcours d'entraînement si la vitesse du conducteur était inférieure de 10 km/h à la vitesse de référence enregistrée par l'expert en éco-conduite.

Le score principal évaluant l'apprentissage de l'éco-conduite était la quantité de CO<sup>2</sup> émise (gr/km). Mais aussi, pour chaque phase et chacun des 4 parcours, à chaque règle était indexé un système de calcul de score (règle 1, régime moteur moyen au moment des passages de rapport de vitesse montants ; règle 2, différence moyenne entre le rapport de vitesse engagé et le rapport de vitesse de référence ; règle 3, écart type de la variabilité de la vitesse du véhicule aux sections dédiées ; règles 1' et 2', position moyenne de la pédale d'accélérateur aux sections dédiées ; règle 3', moteur coupé ou non au niveau des sections dédiées). A ces scores, s'ajoutaient d'autres mesures : le temps de conduite sur chaque parcours, 5 indicateurs relatifs à la sécurité (écart au centre de la voie, distances de sécurité, infractions, sorties de routes et collisions éventuelles). Enfin s'ajoutaient les mesures oculométriques (fréquence et durées moyennes et totales des fixations oculaires sur les différents indicateurs du tableau de bord).

### 3 RESULTATS

Trois résultats, parmi les principaux, seront brièvement présentés dans cette communication. Ils concernent respectivement (i) les scores d'éco-conduite et (ii) le mouvement des yeux sur le tableau de bord aux parcours initial et final. (iii) Nous rapporterons également les résultats principaux du questionnaire de motivation-satisfaction.

#### 3.1. Score global d'apprentissage de d'éco-conduite

L'effet principal de l'apprentissage au cours des deux séquences d'entraînement était évalué par les scores moyens d'émission de CO<sup>2</sup> au parcours initial (pré-test) et au parcours final (post test) qui sont présentés figure 4, pour chaque groupe de participant.

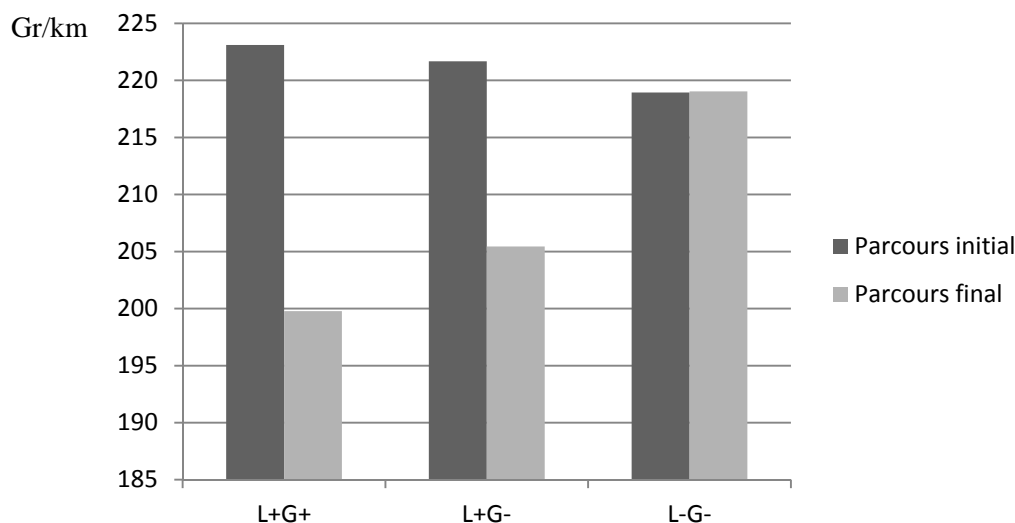


Figure 4. Niveaux d'émission de CO<sup>2</sup> pour l'évaluation initiale et finale, en moyenne dans chaque groupe.

L'ANOVA réalisée sur les scores d'émission de CO<sup>2</sup> a montré d'abord une diminution significative entre les parcours initial et final,  $F(1,69) = 30.7, p < .0001, \eta_p^2 = .31$ . De plus, l'interaction significative entre le facteur groupe et le facteur parcours (initial vs final),  $F(2,69) = 8.55, p < .001, \eta_p^2 = .20$ , a révélé que cette diminution concernait seulement les groupes avec leçon et guidage ( $F(1, 69) = 32.20, p < .0001$ ), puis avec leçon et sans guidage ( $F(1,69) = 15.66, p < .001$ ), mais non le groupe contrôle sans leçon et sans guidage ( $F(1,69) < 1, p = .98$ ). Les trois groupes étaient équivalents en ce qui concerne les émissions au parcours initial,  $F(2,69) = 0.21, p = .80, ns.$ , mais différents pour les émissions au parcours final,  $F(2,69) = 5.21, p = .007, \eta_p^2 = .13$ . Les temps de conduite n'étaient pas différents selon les groupes ( $F(2,69) < 1, p = .76$ ). Les mesures de sécurité ne variaient pas non plus

en fonction des groupes. Ce sont surtout les scores aux règles 1, 3, 1', 2, 3' qui diffèrent entre les groupes, et contribuent à la réduction des émissions de CO<sup>2</sup>.

### 3.2. Mouvement des yeux

Les durées totales des fixations oculaires sur les informations du tableau de bord sont présentées figure 5.

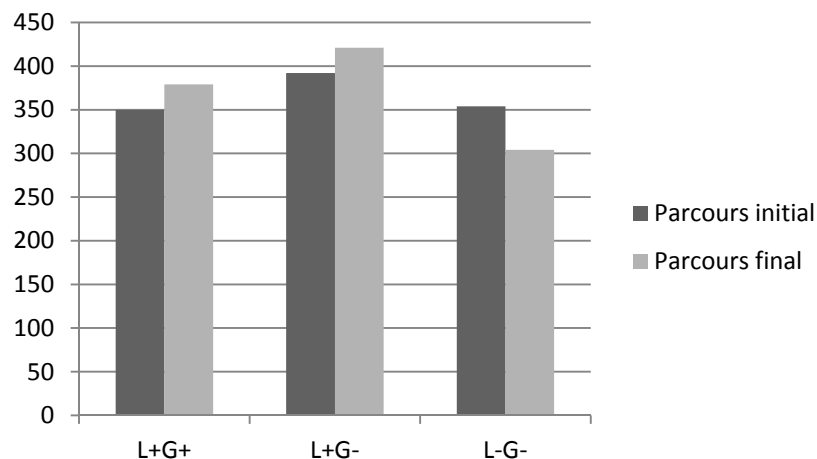


Figure 5. Durée totale des fixations oculaires (gazes) sur les indicateurs du tableau de bord, pour l'évaluation initiale et finale, dans chaque groupe

L'ANOVA réalisée sur ces données oculaires, ne montrait pas d'effet du facteur groupe, ( $F(2, 67) = 1.75, p = .18$ ), ni du facteur parcours (initial vs. final), ( $F(1, 67) = .28, p = .60$ ). En revanche, l'interaction entre les deux facteurs était significative, ( $F(2, 67) = 4.71, p = .012$ ) et révélait des durées de fixation plus élevées pour le groupe L+G+ et L+G- que pour le groupe contrôle L-G-, au cours du parcours final. Ce résultat indique que les participants des groupes L+G+ et L+G- ont plus utilisé les indicateurs de bord après l'apprentissage, en vue d'un meilleur contrôle de leur conduite.

### 3.3. Perception subjective et motivation-satisfaction pour la conduite écologique

Les estimations quantitatives obtenues au questionnaire qui évaluait la perception subjective de la conduite sont présentées tableau 1, et seules les réponses questions principales y sont reportées.

Ces résultats suggèrent que les conducteurs ont eu une perception très positive de leur expérience de conduite et des bénéfices de l'apprentissage. Cette perception reste toutefois réaliste. Pour les questions qui concernaient l'apprentissage, le sentiment d'effort et de perte de temps, des différences significatives ont été mises en évidence entre les groupes avec leçon et guidage, ou leçon sans guidage d'une part et le groupe sans leçon et sans guidage d'autre part.

Questions	Estimations, échelle sur 7 points
Plaisir à conduire avec le simulateur et le « jeu »	6.00
Désir de conduire encore avec le simulateur	5.31
Sentiment d'avoir appris des compétences nouvelles	4.75*
L'éco-conduite demande un effort	4.50*
L'éco-conduite fait perdre du temps	2.7*
Maintenant, je vais me mettre à l'éco-conduite	88%*

Tableau 1. Estimations moyennes sur une échelle de 0 à 7 points (de *non pas du tout* à *oui beaucoup*) pour chaque question posée au conducteur. Pour la dernière question, il s'agit du pourcentage de participants. Les astérisques : \*, signalent une différence significative ( $p$  au moins  $< 0.5$ ) entre les groupes testés.



## 4 CONCLUSION

Cette étude a montré l'efficacité d'un court apprentissage, sur simulateur de conduite-voiture (éco<sup>2</sup>), pour l'acquisition de règles d'éco-conduite. Après deux sessions d'entraînement de 8 et 10 minutes, les émissions de CO<sup>2</sup> ont diminué de plus de 10% pour le groupe avec leçon et guidage externes. Les résultats des données attentionnelles (mouvement des yeux) suggèrent aussi que si après un court apprentissage, la règle a bien été comprise et acquise, elle n'est pas encore automatisée et un contrôle cognitif de cette règle, s'appuyant sur les guidages externes, est encore nécessaire. Cependant, ce contrôle ne semble pas entraîner un coût cognitif ajouté significativement important. En effet, les indicateurs de sécurité de la conduite ne sont en rien modifiés par rapport au groupe sans guidage. Le traitement, en cours, des données de cette recherche concernant les sessions d'entraînement pourrait apporter des informations utiles sur les mécanismes d'apprentissage en jeu dans cette situation.

## 5 REFERENCES

- Connolly, T.M., Boyle, E. A., MacArthur, E., Hainey, T. and Boyle, J.M. (2012). "A systematic literature review of the empirical evidence on computer games and serious games". *Computers and Education*, 59, 661- 686.
- Boucheix, J.M., Lowe, R.K., Putri, D.K. & Groff, J. (2013). Cueing animation: Dynamic signaling aids information extraction and comprehension. *Learning and Instruction*, 25, 71-84
- Hoc, J.M., Young, M.S., & Blosseville, J.M. (2009). Cooperation between drivers and automation: implications for safety. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 10, 135-160.
- Lowe, R.K. & Boucheix, J.-M. (2011). Cueing Complex animation: Does direction of attention foster learning processes? *Learning and Instruction*, 21, 650-663.