



HAL
open science

Stratégies visuelles des conducteurs en virage selon le degré d'automatisation et la vitesse du véhicule

Damien Schnebelen, Otto Lappi, Callum Mole, Franck Mars

► To cite this version:

Damien Schnebelen, Otto Lappi, Callum Mole, Franck Mars. Stratégies visuelles des conducteurs en virage selon le degré d'automatisation et la vitesse du véhicule. 10ème colloque de Psychologie Ergonomique (EPIQUE 2019), Jul 2019, Lyon, France. pp.66-71. hal-02294211

HAL Id: hal-02294211

<https://hal.science/hal-02294211v1>

Submitted on 23 Sep 2019

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.

Stratégies visuelles des conducteurs en virage selon le degré d'automatisation et la vitesse du véhicule

Damien Schnebelen

Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes (LS2N), 1, rue de la Noë - 44321 Nantes Cedex 03
damien.schnebelen@ls2n.fr

Otto Lappi

Department of Digital Humanities, PO BOX 9, FI-00014 University of Helsinki, Finlande
otto.lappi@helsinki.fi

Callum Mole

University of Leeds, School of Psychology, 4 Lifton Pl, Leeds LS2 9JZ, Royaume-Uni
C.D.Mole@leeds.ac.uk

Franck Mars

Laboratoire des Sciences du Numérique de Nantes (LS2N), 1, rue de la Noë - 44321 Nantes Cedex 03
franck.mars@ls2n.fr

RÉSUMÉ

Pour négocier un virage, les conducteurs alternent entre des prises d'informations de court terme (guidage du véhicule ; 1-2s) et d'anticipation (>2s). Pour autant, en conduite autonome, le conducteur passe d'un rôle actif (contrôle du volant et des pédales) à un rôle passif (supervision), ce qui peut modifier son comportement visuel à l'approche et dans le virage. Pour mieux comprendre l'impact de la conduite autonome sur les coordinations visuomotrices, l'étude, effectuée sur un simulateur de conduite, a porté sur les stratégies visuelles à la fois à l'approche du virage (ligne droite) et dans la phase d'entrée du virage (courbe). Le comportement visuel global (localisation spatiale des prises d'informations sous forme de distributions angulaires) ainsi que la dynamique de l'alternance guidage-anticipation (fréquence, durée moyenne et cumulées des fixations d'anticipation) de 18 participants ont été étudiées en fonction de la situation de conduite (active ou passive) et de la vitesse du véhicule dans le virage. Les résultats montrent qu'en conduite autonome, les conducteurs anticipent plus loin et de manière plus dynamique qu'en conduite manuelle, mais réduisent les prises d'informations relevant du guidage du véhicule. Ce comportement est observé dans les deux sections du virage, mais est plus marqué lors de l'entrée dans le virage. La vitesse n'influe pas directement sur la localisation des prises d'informations visuelles mais augmente la fréquence des transitions entre le guidage et l'anticipation, en particulier dans la phase d'approche du virage. Ces résultats amènent à discuter la fonction même des fixations d'anticipation en conduite autonome, dont certaines relèvent plutôt du contrôle visuel de trajectoire alors que d'autres relèvent de la recherche de dangers potentiels. De plus, ils révèlent que la coordination visuomotrice des conducteurs au moment de négocier un virage sera fortement impactée dans les véhicules autonomes.

MOTS-CLES

Stratégies visuelles ; Conduite autonome ; Coordination visuo-motrice ; Contrôle du volant ; Conduite en virage

1. PROBLEMATIQUES ET HYPOTHESES

La tâche de conduite est une tâche complexe qui nécessite la prise et le traitement continus d'informations visuelles par le conducteur. Avec le développement des véhicules autonomes, cette tâche de conduite va être déléguée à l'automate, faisant du conducteur un superviseur du véhicule. Le conducteur sera alors totalement hors de la boucle de contrôle du véhicule, ce qui peut impacter ses stratégies visuelles et être préjudiciable pour sa sécurité en cas de reprise en main soudaine du véhicule autonome. L'objectif de cette étude est d'explorer les différences de prises d'informations visuelles entre la conduite active (manuelle) et passive (autonome) à l'approche de virages, avec un point particulier apporté à l'anticipation visuelle lointaine sous différentes contraintes spatio-temporelles.

Les prises d'informations visuelles dans un virage ont fait l'objet de nombreux travaux en conduite manuelle. Les différentes études évoquent une anticipation à court terme qui permettrait de guider les véhicules en anticipant les changements de courbure de la route (fixations de guidage ; (Land & Lee, 1994; Mars, 2008)). D'autres études ont mis en évidence des stratégies visuelles d'anticipation plus lointaine (fixations d'anticipation, look-ahead fixations en anglais, Mars & Navarro, 2012). Lehtonen, Lappi, Koirikivi et Summala (2014) ont par ailleurs montré que les fixations d'anticipations diffèrent selon qu'on approche le virage (phase d'approche) ou que l'on entre dans le virage (phase d'entrée).

En conduite passive, ce comportement d'anticipation lointaine est plus marqué (Mars & Navarro, 2012), ce qui semble indiquer une meilleure capacité d'anticipation des conducteurs, ce qui pourrait s'accorder avec les résultats de Mackenzie et Harris (2015). Cependant, cette meilleure capacité d'anticipation est acquise au détriment des prises d'information pour le guidage. Navarro, François et Mars (2016) ont d'ailleurs montré qu'être hors de la boucle de contrôle du véhicule peut provoquer une désorganisation du comportement visuel lorsqu'un obstacle apparaît sur la route.

Le but précis de cette étude est d'analyser l'équilibre entre les fixations de guidage et d'anticipation avec (conduite manuelle) ou sans (conduite passive) contrôle du volant lors d'un virage. Pour ce faire, les caractéristiques temporelles (durée, durée cumulées et fréquence) des transitions entre les fixations de guidage et d'anticipation ont été calculées. Le comportement visuel global a été analysé via des distributions angulaires horizontales dans deux différentes sections du virage (approche ou entrée du virage). Les contraintes spatio-temporelles imposées aux conducteurs sont fixées par la vitesse du véhicule dans le virage (60, 75 ou 90 km/h).

Deux hypothèses sont formulées :

- Les différences de comportements visuels entre la conduite active et passive sont plus marquées dans la phase d'entrée du virage que dans la phase d'approche. En effet, dans la phase d'entrée, la coordination visuomotrice est importante en conduite active pour adapter la trajectoire du véhicule aux changements de courbures de la route, mais pas nécessairement en conduite passive dans la mesure où la trajectoire est contrôlée par l'automate

- Les prises d'informations d'anticipations employées par les conducteurs dépendent des contraintes spatio-temporelles. Lorsque la vitesse du véhicule est élevée, le temps d'anticipation visuel est réduit, et on peut supposer que les fixations d'anticipations soient plus fréquentes mais moins longues.

2. MILIEU D'IMPLEMENTATION ET METHODES

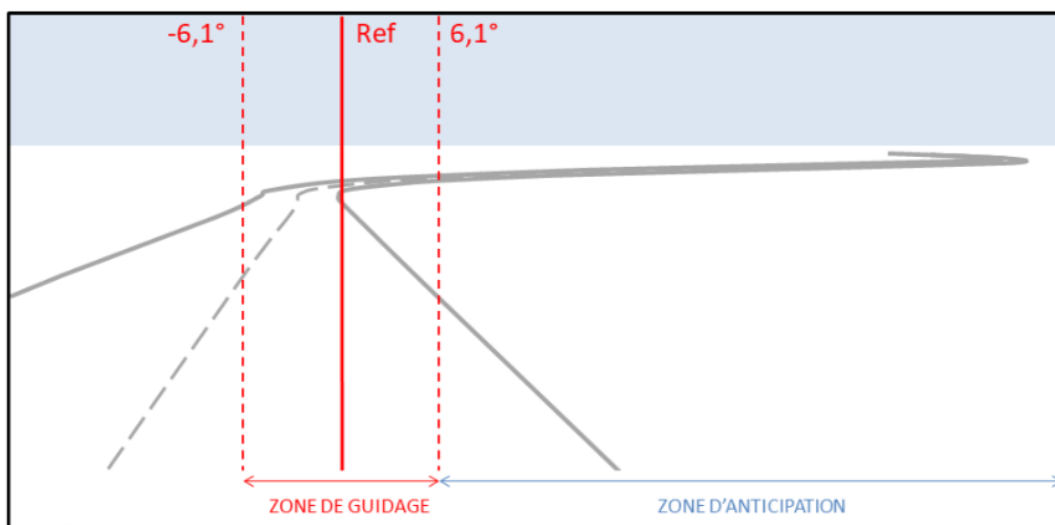
L'expérience s'est déroulée sur un simulateur de conduite à base fixe, composé d'une cabine standard (volant, boîte de vitesse et pédales), de trois écrans affichant la scène visuelle (route à virages dans un environnement péri-urbain) et d'un oculomètre Smarteye (4 caméras). Les dix-huit participants ont expérimenté les deux modes de conduite (passive et active) à trois vitesses

différentes (60, 75 et 90 km/h), soit au total 6 conditions de conduite par participant. Les données oculaires étaient analysées pour six virages à géométrie identique (3 orientés à gauche, 3 orientés à droite).

Tout d'abord, et de manière analogue à Lehtonen et al. (2014), une valeur angulaire de référence pour le comportement visuel a été définie : à chaque position du véhicule, la valeur angulaire de référence correspond à la médiane de l'ensemble des prises d'information visuelles de tous les participants. La distribution angulaire horizontale par rapport à la valeur de référence a ensuite été calculée pour chacune des sections du virage, en considérant des valeurs positives lorsque le regard est dirigé vers la sortie de virage.

Afin de distinguer ce qui relève du guidage de ce qui relève de l'anticipation, un modèle de mélange gaussien a été appliqué à la distribution angulaire du regard en conduite active. L'objectif de ce modèle est d'extraire la gaussienne centrale, que l'on considère par hypothèse comme la distribution des fixations de guidage (zone de guidage). A partir de là, le seuil angulaire séparant la zone de guidage de la zone d'anticipation à long terme peut être calculé. Un schéma récapitulatif présentant la position de référence, le seuil, la zone de guidage et la zone d'anticipation est donné en figure 1 pour la phase d'approche et en figure 2 pour la phase d'entrée du virage.

L'objectif des travaux étant d'étudier l'équilibre entre fixations de guidage et d'anticipation, un intérêt particulier a été porté sur les transitions entre la zone de guidage et d'anticipation. Pour ce faire, la fréquence de ces transitions a été calculée. Lorsqu'au moins une transition a été détectée pour une section de virage, la durée moyenne d'une fixation et la durée cumulée des fixations sur la zone d'anticipation ont été calculées.



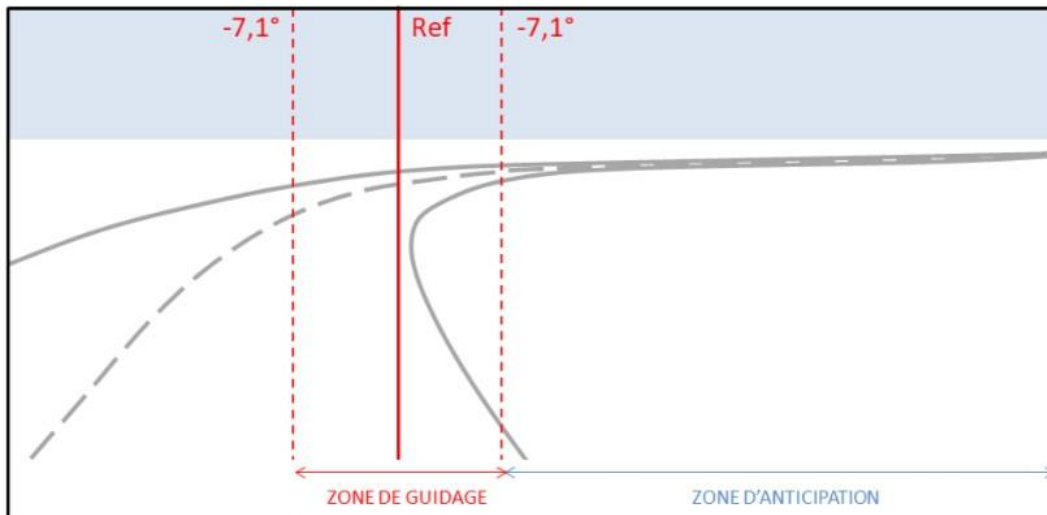


Figure 2. Visualisation des zones d'anticipation et de guidage dans la phase d'entrée

3. RESULTATS

L'analyse des distributions (figure 3) montre que le nombre de points dans la zone de guidage (proche de la valeur de référence) est plus faible en conduite passive qu'en conduite active. Dans le même temps, la proportion de points dédiés à l'anticipation lointaine ($>18^\circ$) est significativement plus élevée en conduite passive. Ce pattern a été observé dans la phase d'approche et de façon plus marquée dans la phase d'entrée (pics décentrés, maximum atteint pour $>18^\circ$ en conduite passive). Des prises d'informations visuelles sans rapport avec la conduite (opposé à la sortie du virage, excentricité $<-11^\circ$) ont également été observées.

L'analyse statistique sur les distributions angulaires démontre un effet de l'excentricité considérée, un effet du mode de conduite et une interaction significative entre les deux variables. En revanche, aucun effet de la vitesse n'est trouvé.

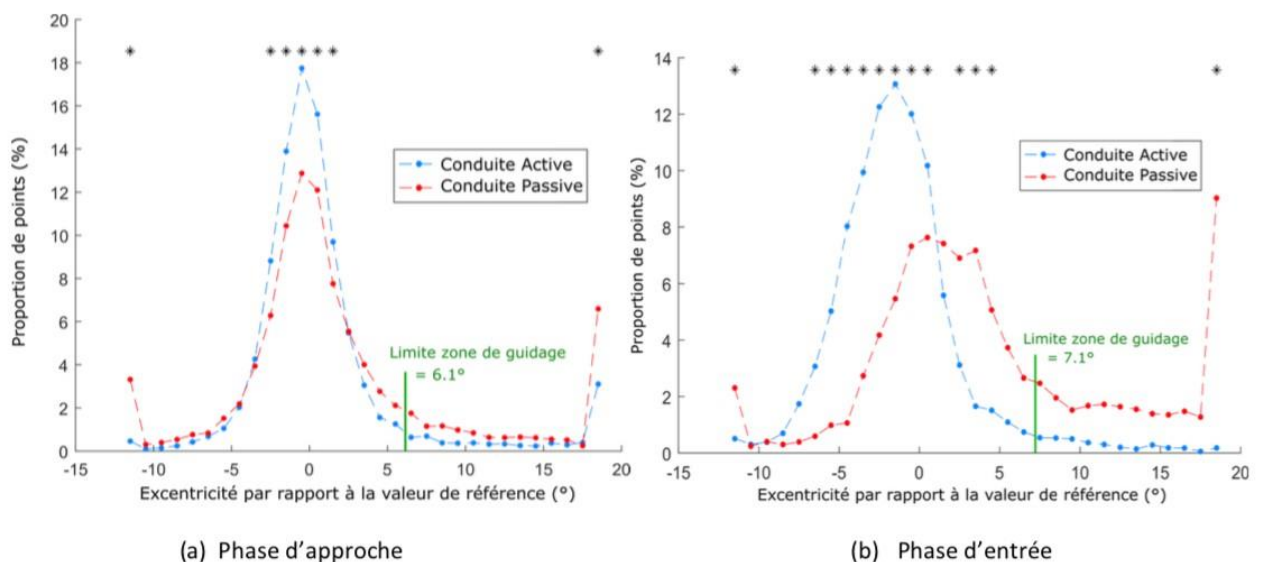


Figure 3. Distributions angulaires dans la phase d'approche (a) et dans la phase d'entrée (b) en conduite active (bleu) et en conduite passive (rouge). Les différences significatives sont indiquées avec un symbole *

L'analyse spécifique des transitions entre la zone de guidage et la zone d'anticipation indique que les transitions sont plus fréquentes en conduite passive. Aussi, lorsqu'une transition est détectée, les participants restent plus longtemps dans la zone d'anticipation en conduite passive. Ces deux indicateurs augmentent significativement avec la vitesse du véhicule (voir données pour la phase d'approche, figure 4).

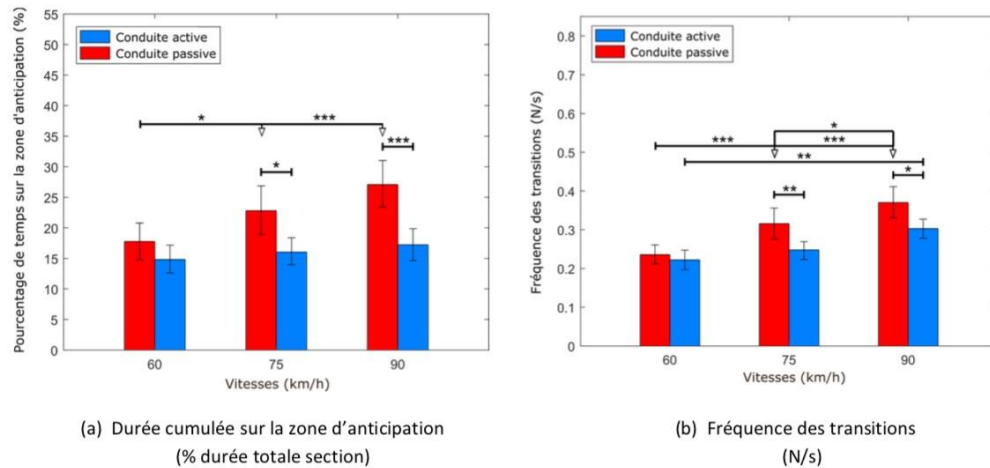


Figure 4. Caractéristiques temporelles des transitions dans la phase d'approche en conduite active (bleu) et en conduite passive (rouge). Les différences significatives sont indiquées avec le symbole *

4. DISCUSSION

L'analyse de la distribution horizontale du regard est similaire à celle de Mars et Navarro (2012) : en conduite active, la majorité des prises d'informations visuelles sont dans la zone de guidage du véhicule, avec peu de fixations d'anticipation. En conduite passive, il y a transfert des prises d'informations visuelles de la zone de guidage vers la zone d'anticipation. La distinction entre la phase d'approche et d'entrée dans le virage indique que ce transfert débute bien avant l'entrée dans le virage (phase d'approche), et est plus prononcé dans le virage (phase d'entrée). En effet, alors que les fixations d'anticipations sont rares (5%) en conduite active, elles sont bien plus nombreuses (30%) en conduite passive dans la phase d'entrée.

De plus, alors qu'en conduite manuelle l'ensemble des fixations d'anticipation ont lieu loin de la sortie du virage (excentricités $>18^\circ$), elles sont réparties sur l'ensemble des excentricités en conduite passive, ce qui suggère que les conducteurs ne vont pas uniquement chercher l'information visuelle à très long terme (excentricités $> 18^\circ$), mais regardent l'ensemble de la route à venir. De ce fait, une distinction peut être faite entre les fixations d'anticipations à moyenne et à longue distance. En effet, alors que les fixations d'anticipations les plus lointaine peuvent plus être interprétées comme une recherche d'éléments tactiques (panneaux, dangers potentiels etc...), comme suggéré par Mars et Navarro (2012), cela paraît moins pertinent lorsque l'on se rapproche visuellement de la zone de guidage du véhicule. Les fixations d'anticipation à moyenne distance, mises en évidence ici et déjà rapportées dans Lehtonen, Lappi, Kotkanen, Summala (2013), pourraient être utilisées pour une planification avancée de trajectoire. Lappi et Mole (2018) ont proposé que ces fixations d'anticipations puissent servir à la sélection ou la mise à jour d'un modèle interne de la dynamique véhicule-route.

L'analyse spécifique des transitions entre la zone de guidage et la zone d'anticipation montre qu'à la fois la fréquence des transitions et la durée cumulée des fixations d'anticipation sont accrues en conduite passive. Cette dynamique d'exploration plus élevée semble cohérente avec les résultats de McKenzie et Harris (2015) qui concluent à une meilleure capacité de détection des dangers en condition de conduite passive. Pour autant, en conduite passive uniquement, les conducteurs

prennent plus d'information dans des zones de l'environnement peu pertinentes (excentricités < -11°) et négligent partiellement les informations utiles au guidage, ce qui peut s'avérer dangereux en cas de reprise en main (Navarro et al., 2016).

La vitesse du véhicule n'influe pas sur la distribution angulaire du regard. En revanche, la fréquence des fixations d'anticipation augmente avec la vitesse. On peut en déduire que même si les conducteurs regardent la route de manière similaire pour différentes vitesses, la vitesse impacte la dynamique des prises d'informations visuelles.

5. CONCLUSION

Les stratégies visuelles mises en place par les conducteurs dépendent du mode de conduite : alors que les prises d'informations visuelles relèvent très majoritairement du guidage en conduite active, la conduite passive permet à la fois l'anticipation à moyen terme (prévision à l'avance de la trajectoire du véhicule) et l'anticipation à long terme (recherche d'aléas potentiels), mais au détriment des prises d'information relevant du guidage. Les contraintes spatio-temporelles, déterminées par la vitesse du véhicule, n'influent pas directement sur la localisation des prises d'informations visuelles mais sur la dynamique de ces dernières.

6. REFERENCES

- Land, M. F., & Lee, D. N. (1994). Where We Look When We Steer. *Nature*, 369(6483), 742- 744. <https://doi.org/10.1038/369742a0>
- Lehtonen, E., Lappi, O., Koirikivi, I., & Summala, H. (2014). Effect of driving experience on anticipatory look-ahead fixations in real curve driving. *Accident Analysis and Prevention*, 70, 195- 208. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2014.04.002>
- Lehtonen, E., Lappi, O., Kotkanen, H., & Summala, H. (2013). Look-ahead fixations in curve driving. *Ergonomics*, 56(1), 34- 44. <https://doi.org/10.1080/00140139.2012.739205>
- Mackenzie, A. K., & Harris, J. M. (2015). Eye movements and hazard perception in active and passive driving. *Visual Cognition*, 23(6), 736- 757. <https://doi.org/10.1080/13506285.2015.1079583>
- Mars, F. (2008). Driving around bends with manipulated eye-steering coordination. *Journal of Vision*, 8(11). <https://doi.org/10.1167/8.11.10>
- Mars, F., & Navarro, J. (2012). Where We Look When We Drive with or without Active Steering Wheel Control. *Plos One*, 7(8), e43858. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043858>
- Navarro, J., François, M., & Mars, F. (2016). Obstacle avoidance under automated steering: impact on driving and gaze behaviours. *Transportation Research Part F-Traffic Psychology and Behaviour*, 43, 315- 324. <https://doi.org/doi:10.1016/j.trf.2016.09.007>