

Assistance au  
contrôle longitudinal

Publié dans :

- Koustanaï, A., Cavallo, V., Delhomme, P., et Mas, A. (2010). Familiarization with critical situations when using a forward collision warning : effects on driver-system interactions. *Proceedings of European Conference on Human Centred Design for Intelligent Transport Systems*, pp. 37-47.
- Koustanaï, A., Mas, A., Cavallo, V., et Delhomme, P. (2010). Familiarization with a forward collision warning on driving simulator : cost and benefice on driver-system interactions and trust. *Proceedings of Driving Simulation Conference*, pp. 169-179.
- Koustanaï, A., Cavallo, V., Delhomme, P., et Mas, A. (2012, sous presse). Simulator training with a Forward Collision Warning system : effects on driver/system interactions and driver trust. *Human Factors*.

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet européen MATISS, en partenariat avec Arnaud Koustanaï, Viola Cavallo et Patricia Delhomme de l'IFSTTAR (anciennement INRETS). Ces travaux ayant déjà été commencés lors de mon arrivée au Centre Technique de Simulation, ma participation à ce projet n'a été que partielle. Néanmoins, ce chapitre en présente succinctement les résultats principaux, compte tenu de leur pertinence par rapport à mon sujet de thèse.

## 5.1 Introduction

L'introduction de systèmes d'aide à la conduite dans les véhicules est un défi majeur pour la sécurité routière. Les systèmes d'alerte, en particulier, pourraient aider à éviter ou à limiter les conséquences de nombreux accidents de la route. Cependant, l'automatisation entraîne des changements dans le comportement des conducteurs, qui peuvent mener à des réactions non adaptées,

que ce soit en raison de la distraction, de la complaisance, ou de la surcharge attentionnelle des conducteurs (Bainbridge, 1983; Kantowitz, 2000; Parasuraman et Riley, 1997). Le développement des systèmes d'aide à la conduite nécessite donc des méthodes efficaces pour étudier la coopération conducteur/système, afin de garantir que leurs interactions ne soient pas néfastes pour la sécurité.

Le Forward Collision Warning (FCW) est un système d'alerte destiné à prévenir le conducteur lors d'une diminution critique de la distance de sécurité au véhicule le précédant. Ce système d'aide illustre bien les problèmes de coopération précédemment cités. En effet, le FCW peut par exemple générer des alertes inutiles, qui peuvent même être nuisibles, lorsque la situation ne présente pas de réel danger pour les conducteurs (Zador et al., 2000). C'est par exemple le cas lorsque le véhicule de devant ralentit pour tourner, ou lorsque le conducteur se prépare à dépasser un véhicule plus lent (LeBlanc et al., 2008). A l'inverse, certaines alertes sont volontairement ignorées par le système afin de diminuer le nombre de fausses alertes. Par exemple, le FCW testé par General Motors Corporation (2005) ignorait la détection d'objets immobiles, qui correspondent la plupart du temps à des objets sur le bord de la route, et était également désactivé en-dessous de  $50\text{km/h}$ , afin d'éliminer de nombreuses situations non dangereuses (zones urbaines, congestion, etc). Le système n'émettait pas non plus d'alerte pour les véhicules roulant dans une direction différente de celle du véhicule équipé, pour ne pas tenir compte des véhicules venant en sens inverse. Cependant, il est possible que la suppression d'alertes augmente le temps de réaction des conducteurs et diminue l'efficacité perçue du système (Parasuraman, 2000).

Lorsqu'ils utilisent un système tel que le FCW, les conducteurs doivent ajuster leur réponse à la situation, plutôt que de réagir automatiquement. Par conséquent, ils peuvent éprouver des difficultés à faire confiance au système, c'est-à-dire à déterminer si le système va les aider à identifier les événements inattendus, dans des situations caractérisées par l'incertitude et la vulnérabilité (Bliss et Acton, 2003). Ces problèmes de confiance peuvent mener à des interactions conducteur/système moins efficaces. Des études sur route à grande échelle (*Field Operational Tests*), où la précision des instructions est primordiale, ont suggéré que la description détaillée des fonctionnalités du système ainsi que l'entraînement en situation normale ne sont pas suffisants pour que les conducteurs fassent confiance au système (voir par exemple General Motors Corporation (2005); Portouli et Papakostopoulos (2006); Regan et al. (2006); LeBlanc et al. (2008)). Selon General Motors Corporation (2005), les conducteurs explorent le fonctionnement du FCW en conditions extrêmes afin de mieux comprendre ses possibilités et ses limites. De même, d'après Cahour et Forzy (2009), la mise en situation avec un régulateur de vitesse améliore l'exploration et la confiance dans le système. Les auteurs ont remarqué que les conducteurs avaient une meilleure compréhension du fonctionnement du système après avoir regardé une vidéo présentant des situations critiques, plutôt qu'après simple lecture des instructions. Par conséquent, les simulateurs de conduite pourraient être des outils adaptés pour mettre les conducteurs dans de telles situations, tout en garantissant leur sécurité.

Cette étude a pour but d'évaluer l'influence de la familiarisation avec quelques cas d'usage du FCW sur le comportement des conducteurs et leur confiance dans le système. L'hypothèse était que la connaissance du fonctionnement du système dans des situations critiques améliorerait la

performance des conducteurs utilisant un FCW, par rapport à ceux conduisant sans assistance. De plus, il était attendu que la performance et la confiance des conducteurs augmente dans le cas où cette connaissance serait acquise par la pratique, plutôt que par la lecture d'instructions.

## 5.2 Méthode

### 5.2.1 Matériel

Cette expérimentation a été menée sur le simulateur CARDS2 du Centre Technique de Simulation Renault. Le simulateur est constitué d'une cabine équipée d'un tableau de bord entièrement fonctionnel, avec une boîte de vitesse manuelle à cinq rapports, et un volant à restitution d'effort. L'image est projetée sur trois écrans, offrant un angle de vision de 150° horizontalement et 40° verticalement. Deux écrans LCD sont placés dans les rétroviseurs extérieurs, et l'image du rétroviseur central est projetée sur la partie haute de l'écran central. Le simulateur est monté sur une plateforme à 6 degrés de liberté, permettant un déplacement de  $\pm 20$  cm et une rotation de  $\pm 20^\circ$ . Pour une description plus complète du simulateur, voir Reymond et Kemeny (2000). La figure 5.1 présente le dispositif expérimental.

La restitution des mouvements était désactivée pour cette expérimentation. La perception du *time-to-collision* impliquant principalement la composante visuelle (McLeod et Ross, 1983), la restitution de mouvements n'était donc pas considérée comme un élément crucial pour cette expérimentation.

En conduisant, les sujets devaient réaliser une tâche secondaire, connue comme la "surrogate reference task" (Mattes et Hallén, 2009; Petzoldt et al., 2011). Le but de cette tâche était de localiser une cible circulaire (150 mm de diamètre et 4 mm d'épaisseur) parmi 35 distracteurs (125 mm de diamètre et 3 mm d'épaisseur), affichés sur un écran déporté. Les sujets devaient alors sélectionner la zone où se trouvait la cible, en déplaçant un curseur vertical à l'aide d'un petit clavier. La tâche se terminait lorsqu'ils appuyaient sur une touche de validation, qui éteignait alors l'écran. Chaque nouvelle tâche était déclenchée manuellement par l'expérimentateur. La consigne donnée aux sujets était de réaliser la tâche le plus rapidement possible lorsqu'elle apparaissait, mais en donnant toujours la priorité à la sécurité de la conduite.

### 5.2.2 Forward Collision Warning

Le système Forward Collision Warning (FCW) utilisé dans cette expérimentation émettait une alerte visuelle et sonore lorsque la distance intervéhiculaire (*i.e.* la distance entre le véhicule du conducteur et le véhicule qui le précède) était inférieure à une distance  $D_{alerte}$ . Cette distance était déterminée par le *Stop-Distance-Algorithm* (Wilson et al., 1997), présenté dans l'équation 5.1 :



FIGURE 5.1 – Dispositif expérimental

$$D_{alerte} = V_2 \cdot \tau + \frac{V_2^2}{2 \cdot D_2} - \frac{V_1^2}{2 \cdot D_1} \quad (5.1)$$

Où  $V_1(m/s)$  est la vitesse du véhicule de devant,  $V_2(m/s)$  est la vitesse du véhicule du conducteur,  $D_1(m/s^2)$  est la décélération supposée du véhicule de devant,  $D_2(m/s^2)$  est la décélération supposée du véhicule du conducteur, et  $\tau(s)$  est le temps de réaction supposé du conducteur. La valeur de  $\tau$  a été fixée à 1.25 s, et celle de  $D_1$  et  $D_2$  à  $5 m/s^2$  (comme par exemple dans Abe et Richardson (2006)).

L'interface visuelle du FCW était affichée sur un écran situé au-dessus du tableau de bord (barre horizontale verte sur la figure 5.1). Trois états étaient possibles :

1. En-dessous de 50 *km/h*, le système était inactif, et la barre était jaune.
2. Au-dessus de 50 *km/h*, si la distance intervéhiculaire était supérieure à la distance d'alerte, la barre était verte.
3. Au-dessus de 50 *km/h*, si la distance intervéhiculaire était inférieure à la distance d'alerte, la barre était rouge.

Une alerte sonore était également émise lorsque la barre passait de vert à rouge.

### 5.2.3 Participants

28 personnes ont participé à cette expérimentation (20 hommes et 8 femmes). Toutes étaient employées chez Renault, avaient plus de 5 ans d'expérience de conduite, et conduisaient plus de 10 000 km par an. Aucun sujet n'avait eu d'expérience préalable avec un FCW. Tous avaient une vision normale ou corrigée à la normale.

Les sujets ont été répartis en 3 groupes : un groupe contrôle (10 sujets), un groupe non familiarisé (11 sujets) et un groupe familiarisé (7 sujets).

### 5.2.4 Protocole

L'expérimentation était séparée en deux conduites : la conduite de familiarisation et la conduite de test.

Avant la conduite de familiarisation, les sujets des groupes non familiarisé et familiarisé ont lu une brochure présentant le fonctionnement du FCW. Elle précisait les différents états du système (inactif en-dessous de 50 *km/h* et actif au-dessus), et présentait quelques cas d'usage critique (non détection des véhicules à l'arrêt, des véhicules ayant une différence de vitesse supérieure à 70 *km/h* avec le véhicule du conducteur, ou des véhicules se déplaçant dans des directions différentes).

Pendant la conduite de familiarisation, les sujets ont conduit sur une route de campagne à 2 voies de circulation, pendant 20 à 25 min. Seuls les sujets du groupe familiarisé ont utilisé le FCW, les sujets des groupes contrôle et non familiarisé ont conduit sans assistance.

Au cours de cette conduite, les sujets ont rencontré différents scénarios, correspondant à différentes situations critiques : absence d'alerte (véhicule à l'arrêt, véhicule à l'arrêt démarrant à l'arrivée du conducteur, véhicule venant en sens inverse dans un virage), déclenchement d'une alerte "utile" (décélération légère du véhicule de devant de l'ordre de  $2 m/s^2$ , freinage d'urgence du véhicule de devant de l'ordre de  $5 m/s^2$ ). La conduite s'arrêtait lors du dépassement d'un véhicule plus lent, qui déclenchait une alerte "inutile".

Pendant la conduite de test, les sujets ont de nouveau conduit sur une route de campagne à 2 voies de circulation, pendant environ 65 min. Les sujets des groupes familiarisé et non familiarisé ont conduit avec le FCW, ceux du groupe contrôle ont continué sans assistance.

Six types de scénarios ont été présentés aux sujets lors de cette conduite :

- Deux scénarios où un véhicule traversait une intersection à 3 secondes devant le sujet. Ces scénarios ne déclenchaient pas d'alerte.
- Deux scénarios où le sujet devait dépasser un véhicule roulant à  $70 km/h$ . Ces scénarios déclenchaient une alerte.
- Deux scénarios où le véhicule de devant freinait (avec une accélération de  $-3 m/s^2$ ). Ces scénarios déclenchaient une alerte.
- Deux scénarios où le véhicule de devant tournait à une intersection, appliquant également une accélération de  $-3 m/s^2$ , mais activant son clignotant 5 secondes avant. Ces scénarios déclenchaient une alerte.
- Un scénario, à la fin de la conduite, où le véhicule de devant effectuait un freinage d'urgence, avec une accélération de  $-5 m/s^2$ . Ce scénario déclenchait une alerte.

Après la conduite de test, les sujets ont répondu aux mêmes questionnaires qu'après la conduite de familiarisation.

Pendant les deux conduites, la tâche secondaire était déclenchée manuellement par l'expérimentateur 1.5 s avant chaque scénario. Pour éviter que les sujets n'associent cette tâche avec l'apparition de dangers sur la route, la tâche secondaire était également déclenchée aléatoirement à plusieurs reprises en dehors de ces scénarios.

A la fin de chaque conduite, les sujets ont répondu à un questionnaire leur demandant d'évaluer la confiance qu'ils avaient en leurs propres performances de conduite, leur capacité à contrôler le simulateur, ainsi que la difficulté perçue de chacun des scénarios. Ces scores étaient mesurés sur une échelle à 7 niveaux.

## 5.3 Analyse de données

Pour chaque scénario, les indicateurs objectifs suivants étaient mesurés :

- Temps intervéhiculaire (TIV, voir 2.3.1, équation 2.3) moyen, mesuré pendant le scénario et 5 secondes avant.
- Vitesse  $V(m/s)$ .
- Temps de réaction ( $s$ ), mesuré entre le déclenchement du scénario et la réponse du conducteur (relâchement de l'accélérateur et/ou freinage).
- Pourcentage de sujets ayant réagi, c'est-à-dire ayant relâché la pédale d'accélérateur et/ou ayant freiné.
- Décélération maximale ( $m/s^2$ ) pendant le scénario.

Pour le groupe contrôle, l'algorithme de déclenchement du FCW a également été utilisé sur chacun des scénarios pour savoir si les sujets se trouvaient dans une situation qui déclencherait une alerte si le FCW était présent. Cela a permis de comparer, entre les groupes, la proportion de sujets conduisant trop près du véhicule de devant, selon le critère présenté précédemment.

## 5.4 Résultats

### 5.4.1 Tous scénarios confondus

Les résultats ont montré que les sujets des groupes contrôle (20.6 %) et non familiarisé (23.56 %) ont déclenché plus d'alertes (ou d'alertes potentielles dans le cas du groupe contrôle) que les sujets du groupe familiarisé (4.22 %), respectivement  $\chi^2(1) = 4.82; p < 0.03$  et  $\chi^2(1) = 6.66; p < 0.02$ .

Nous avons observé un effet significatif du groupe sur le TIV avant les scénarios ( $F(2, 25) = 3.6; p < 0.04$ ) ainsi que pendant ( $F(2, 25) = 5.38; p < 0.01$ ), le temps de réaction ( $F(2, 25) = 42.28; p < 0.001$ ) et la décélération maximale ( $F(2, 25) = 4.49; p < 0.02$ ). La figure 5.2 résume ces résultats. Les tests post-hoc ont montré que les sujets du groupe familiarisé adoptaient un TIV plus grand que les deux autres groupes avant et pendant les scénarios, et que les sujets utilisant le FCW (familiarisés et non familiarisés) réagissaient plus rapidement et décéléraient moins que les sujets du groupe contrôle.

### 5.4.2 Par scénario

Lors des scénarios de freinage, nous avons observé un effet significatif du groupe sur le TIV moyen avant les scénarios ( $F(2, 25) = 3.05; p < 0.03$ ) et sur le temps de réponse ( $F(2, 25) = 28.37; p < 0.001$ ). La figure 5.3 illustre ces résultats. Les comparaisons post-hoc montrent que les sujets avec FCW ont adopté un TIV plus grand avant les scénarios et ont réagi plus rapidement

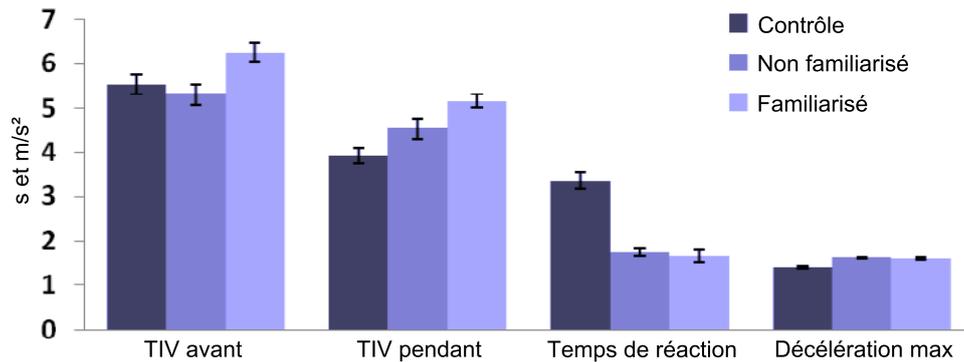


FIGURE 5.2 – Tous scénarios confondus : TIV moyen avant et pendant les scénarios, temps de réponse et décélération maximale. Les barres d’erreur représentent les erreurs types.

que les sujets du groupe contrôle.

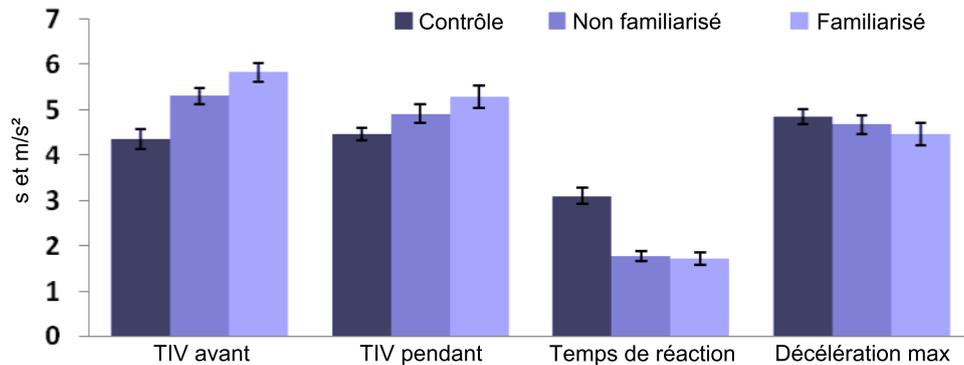


FIGURE 5.3 – Scénarios de freinage : TIV moyen avant et pendant les scénarios, temps de réponse et décélération maximale. Les barres d’erreur représentent les erreurs types.

Lors du freinage d’urgence, une différence significative entre les groupes a été observée sur le TIV moyen avant les scénarios ( $F(2, 25) = 3.94; p < 0.03$ ) et pendant les scénarios ( $F(2, 22) = 4.99; p < 0.01$ ), ainsi que sur le temps de réaction ( $F(2, 22) = 3.67; p < 0.04$ ) et la décélération maximale ( $F(2, 22) = 3.67; p < 0.04$ ). La figure 5.4 résume ces résultats. Les analyses post-hoc ont montré que les sujets avec FCW ont réagi plus rapidement que les sujets du groupe contrôle. Les sujets du groupe familiarisé ont adopté un TIV plus grand avant et pendant le scénario que les autres sujets, et ont décéléré moins fort que les sujets du groupe contrôle. De plus, lors de ce freinage d’urgence, aucun des sujets du groupe familiarisé n’est entré en collision avec le véhicule de devant, contre deux sujets du groupe non familiarisé et quatre sujets du groupe contrôle.

Lors des scénarios de dépassement, les résultats ont montré un effet significatif du groupe sur le TIV minimum ( $F(2, 25) = 5.51; p < 0.01$ ). Selon les tests post-hoc, le TIV minimum était plus faible chez le groupe contrôle que les deux autres groupes.

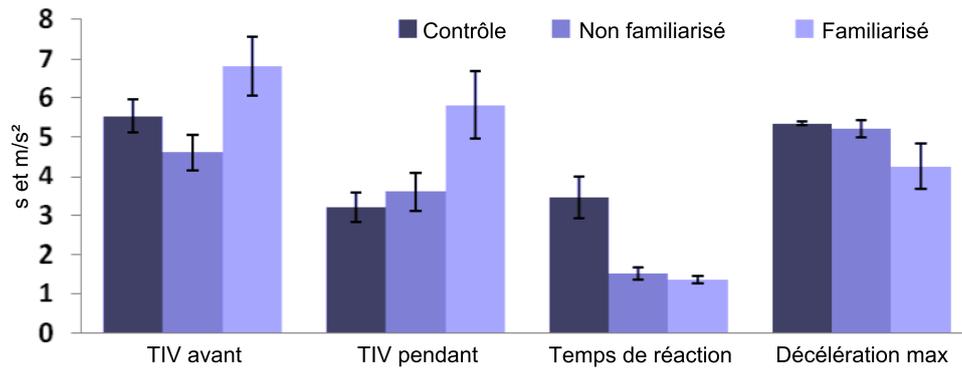


FIGURE 5.4 – Scénario de freinage d’urgence : TIV moyen avant et pendant le scénario, temps de réponse et décélération maximale. Les barres d’erreur représentent les erreurs types.

Lors des scénarios où un véhicule traversait l’intersection, 50 % des sujets du groupe familiarisé et 53.84 % des sujets du groupe non familiarisé avaient déjà relâché l’accélérateur lorsque le véhicule est rentré dans l’intersection, alors que 90 % des sujets du groupe contrôle étaient encore en train d’accélérer (respectivement  $\chi^2(1) = 4.41; p = 0.035$  et  $\chi^2(1) = 4.79; p = 0.03$ ).

Lors des scénarios où le véhicule de devant tournait à une intersection, les alertes se sont avérées utiles : 83 % des sujets conduisant avec FCW ont relâché la pédale d’accélérateur après l’alerte. De plus, le groupe a eu un effet significatif sur le temps de réaction ( $F(2, 24) = 11; p < 0.001$ ) : les sujets avec FCW ont réagi plus rapidement que les sujets du groupe contrôle.

### 5.4.3 Données subjectives

Après la conduite de familiarisation, les sujets du groupe familiarisé ont reporté avoir une meilleure confiance en leurs performances que les sujets du groupe contrôle ( $t(14) = 3.39; p < 0.004$ ). Ils ont aussi évalué leur capacité à conduire le simulateur plus faiblement, par rapport aux sujets du groupe contrôle ( $t(14) = 3.24; p < 0.005$ ).

Après la conduite de test, les sujets du groupe familiarisé ont également jugé leur performance de conduite plus faible par rapport aux sujets du groupe contrôle ( $t(14) = 2.24; p < 0.04$ ). En revanche, les sujets des groupe familiarisé et non familiarisé ont jugé plus facile d’éviter le véhicule effectuant un freinage d’urgence, par rapport aux sujets du groupe contrôle (respectivement  $t(14) = 2.55; p < 0.02$  et  $t(20) = 2.91; p < 0.008$ ).

## 5.5 Discussion

### 5.5.1 Tous scénarios confondus

Les résultats ont confirmé l'efficacité du FCW, les sujets conduisant avec ce système montrant des temps de réaction plus courts, qu'ils soient familiarisés ou non. Ils ont également appliqué une décélération plus faible que les sujets du groupe contrôle, témoin d'une réaction plus souple et d'une meilleure anticipation.

Les sujets familiarisés avec le FCW ont déclenché moins d'alerte et ont adopté un TIV plus grand, avant et pendant les scénarios, que les sujets des autres groupes. La familiarisation a donc eu pour effet bénéfique d'inciter les conducteurs à adopter des distances de sécurité plus importantes.

### 5.5.2 Par scénario

Les scénarios de freinage montrent particulièrement l'efficacité du FCW : qu'ils soient familiarisés ou non, les sujets l'utilisant ont montré une meilleure anticipation à travers un TIV plus grand avant les scénarios et un temps de réaction plus court.

Le scénario de freinage d'urgence a également montré l'efficacité du FCW sur le temps de réaction des sujets. La familiarisation a aussi montré des conséquences positives sur le TIV et la décélération maximale.

Lors des scénarios de dépassement, les sujets conduisant avec le FCW ont adopté un TIV minimum plus grand que les sujets du groupe contrôle. Ce résultat indique que ces sujets ont commencé le dépassement plus tôt pour éviter le déclenchement d'une alerte. Ce comportement peut avoir un impact négatif sur la sécurité, les conducteurs ayant alors moins de temps pour observer le trafic environnant (Wilson et Best, 1982). Dans cette situation, la familiarisation avec le FCW n'a pas suffi à empêcher ce type de comportement.

Les scénarios où un véhicule traversait une intersection devant les sujets ont montré une proportion de réaction plus importante chez les sujets conduisant avec le FCW, bien qu'aucune alerte n'était déclenchée. Nous pensons que les sujets étaient particulièrement attentifs à cette situation, car elle était détaillée dans le manuel descriptif du FCW qui leur était présenté, comme une situation où le système ne déclencherait pas d'alerte.

Lors des scénarios où le véhicule de devant tournait à une intersection, malgré l'activation de son clignotant, l'alerte du FCW s'est avérée utile. Ce résultat montre que les sujets n'ont pas réussi à percevoir le clignotant, vraisemblablement à cause de la distraction due à la tâche secondaire.

### 5.5.3 Données subjectives

Les questionnaires ont montré que la familiarisation avec le FCW réduisait la confiance des sujets en leurs propres performances de conduite. Ce résultat est cohérent avec l'étude de Ivancic et Hesketh (2000) qui ont montré que l'entraînement par essais et erreurs, s'il améliorait les capacités de conduite, diminuait la confiance en soi des conducteurs.

## 5.6 Conclusion

Cette étude a montré que le simulateur de conduite s'est montré pertinent pour évaluer l'influence du FCW sur la sécurité de conduite. En effet, la présence du système a permis aux conducteurs de réagir plus rapidement dans des scénarios où ils étaient distraits.

La session de familiarisation au système d'aide a également montré des bénéfices par rapport à la simple lecture d'un manuel, à travers l'adoption d'un TIV plus élevé pour le suivi de véhicule, et des réactions plus souples lors de situations critiques. Ces résultats montrent donc que le simulateur de conduite est un outil adapté pour observer les effets d'une telle familiarisation.

Ces résultats suggèrent que les simulateurs de conduite pourraient s'avérer très utiles pour des études à grande échelle sur les systèmes d'aide à la conduite. Les conducteurs pourraient ainsi être soumis dans un premier temps à un échantillon de situations critiques afin de se familiariser avec un système, en toute sécurité. Le transfert à court et à long terme des connaissances du simulateur à la conduite réelle resterait néanmoins une piste à étudier.

Des applications futures pourraient également viser à améliorer le processus de familiarisation. Par exemple, cette étude a soulevé un comportement néfaste des conducteurs avec FCW lors d'un dépassement, qui avaient tendance à se déporter trop tôt afin de sortir de la zone d'alerte. Une familiarisation orientée vers ce type de situations pourrait servir à corriger ce comportement. De même, la familiarisation avec le FCW a eu une influence négative sur la confiance des conducteurs en leurs propres performances. Une nouvelle étude pourrait s'intéresser à l'influence réelle de cette tendance subjective sur le comportement objectif.



## Troisième partie

# Partie expérimentale 2 : Assistance au contrôle latéral



## Chapitre 6

# Modélisation de systèmes d'aide au contrôle latéral

### 6.1 Introduction

Cette partie expérimentale a pour objectif d'étudier l'adaptation des conducteurs à des systèmes d'aide au contrôle latéral. Pour le besoin des expérimentations, réalisées sur simulateurs de conduite, des systèmes d'aide au contrôle latéral ont été implémentés spécialement. Le développement de ces systèmes ne constituant pas le cœur de cette étude, ils avaient avant tout une vocation de prototype, afin d'illustrer les mécanismes d'adaptation engendrés par ce type de systèmes.

Ces expérimentations cherchant à observer l'effet de niveaux d'automatisation différents sur l'adaptation comportementale des conducteurs, deux systèmes d'aide au contrôle latéral ont été développés, illustrant deux niveaux d'automatisation différents : le Lane Departure Warning et le Lane Keeping Assistant.

### 6.2 Principe général

Sur une voiture réelle, le retour d'effort au volant résulte de contraintes mécaniques (résistance de la colonne de direction, des pneumatiques, etc), qui sont ensuite compensées par le système de direction assistée pour améliorer le confort de conduite. En revanche, sur un simulateur de conduite, le volant n'a pas de retour d'effort en raison de l'absence de ces contraintes mécaniques. Un modèle numérique de direction est donc utilisé, afin de restituer sur le volant un retour d'effort réaliste (Mohellebi et al., 2009). Au cours de la conduite, ce modèle calcule en temps réel une valeur de couple qui est envoyée à un restituteur d'effort qui applique ce couple au volant.

Les deux systèmes d'aide au contrôle latéral présentés dans ce chapitre agissent sur le volant. Ils calculent également un couple à appliquer au volant, qui est ajouté au couple résultant du modèle de la direction. Pour calculer ce couple, les systèmes d'aide au contrôle latéral se basent sur l'écart latéral instantané du véhicule. Cette mesure correspond à la distance entre l'axe central du véhicule et le centre de la voie, et prend des valeurs positives (respectivement négatives) pour les écarts à gauche (respectivement à droite) du centre de la voie. Comme le modèle proposé par Mohellebi et al. (2009), le couple calculé est ensuite ajouté au couple résultant du modèle de direction. Le couple total est alors envoyé au restituuteur d'effort.

## 6.3 Lane Departure Warning

### 6.3.1 Fonctionnement

Ce système d'aide au contrôle latéral est un système de type "alerte" : son but est de prévenir le conducteur d'une situation potentiellement dangereuse, et de la nécessité d'une action correctrice de sa part. Pour cela, lorsque l'écart latéral du véhicule dépasse un certain seuil, le Lane Departure Warning (LDW) produit un couple qui est envoyé au volant afin de le faire osciller. La figure 6.1 illustre ce principe.

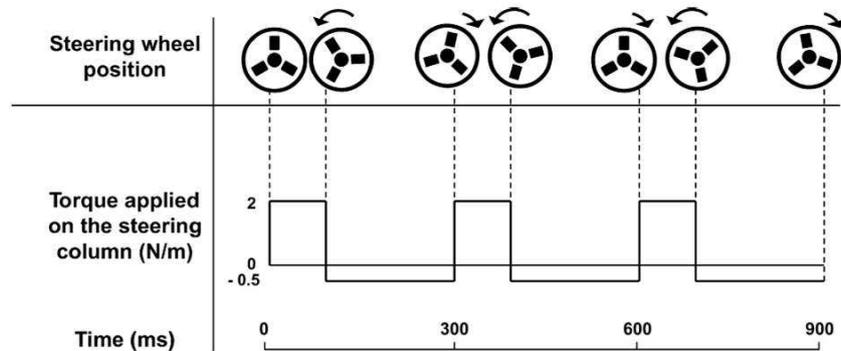


FIGURE 6.1 – Principe de l'amorçage moteur (d'après Navarro et al., 2010)

Lorsqu'il se déclenche, le LDW produit un couple volant sous forme d'un signal rectangulaire de période 300 ms. Ce signal est asymétrique, afin que le couple volant soit légèrement plus fort en direction du centre de la voie qu'en direction de la sortie de voie. Le couple généré par le LDW est de 2 N en direction du centre de la voie, et de 0.5 N en direction opposée.

En reprenant la typologie de Hoc et al. (2009), ce système d'aide correspond au mode de contrôle mutuel, et plus précisément au mode "amorçage moteur" (voir 3.2.1).