



**Soutenir la recherche  
pour prévenir les risques**



## **Projet ADVISE**

***Evaluation ergonomique et spécification fonctionnelle d'un ADAS  
adapté aux capacités visuelles des seniors***

*Étude réalisée par Streetlab*

Livrable C

Rapport final

Document rédigé par :

**Julie Pieyre** : Chargée d'étude - Ergonome

**Julien Adrian** : Chef de projet - Ergonome PhD

**Caroline Tiévant** : Optométriste

Juin 2016

# Sommaire

<b>I.</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>3</b>
<b>II.</b>	<b>DESCRIPTION DE LA POPULATION.....</b>	<b>4</b>
<b>III.</b>	<b>INTERFACES EVALUEES.....</b>	<b>6</b>
<b>IV.</b>	<b>PHASE 1 .....</b>	<b>8</b>
1.	PASSATIONS.....	8
2.	PROCEDURE EXPERIMENTALE.....	8
3.	SCENARIO DE CONDUITE .....	10
4.	RESULTATS .....	11
	<i>Comportement de conduite.....</i>	<i>11</i>
	Faits d'anticipation.....	13
	Réaction au volant et à la traversée .....	14
	Sorties de voie .....	15
	Ecart sur la voie.....	16
	<i>Comportement de regard .....</i>	<i>18</i>
	<i>Données subjectives .....</i>	<i>20</i>
<b>V.</b>	<b>PHASE 2 .....</b>	<b>27</b>
1.	PASSATIONS.....	27
2.	PROCEDURE EXPERIMENTALE.....	27
3.	SCENARIO DE CONDUITE .....	28
	<i>Test unitaire.....</i>	<i>28</i>
	<i>Test en situation complexe.....</i>	<i>29</i>
4.	RESULTATS - TEST UNITAIRE DE L'ALERTE DE COLLISION AVANT .....	30
	<i>Comportement de conduite.....</i>	<i>30</i>
	<i>Données subjectives .....</i>	<i>31</i>
5.	RESULTATS - TEST EN SITUATION COMPLEXE .....	37
	<i>Interface d'alerte de collision avant .....</i>	<i>37</i>
	<i>Interface de type blind spot.....</i>	<i>42</i>
<b>VI.</b>	<b>DISCUSSION .....</b>	<b>45</b>
<b>VII.</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>48</b>

# I. Introduction

---

L'étape préliminaire du projet ADVISE a permis de produire les spécifications fonctionnelles d'une interface d'ADAS correspondants aux besoins et aux capacités des conducteurs âgés.

L'objectif était donc d'évaluer, à l'aide d'un simulateur de conduite, les effets de cette interface sur la performance de conduite et les comportements de conduite de ces conducteurs.

L'approche méthodologique du projet Advise est divisée en deux séries de tests expérimentaux.

- La première visait à valider l'interface pour les situations de Blind Spot (ou angle mort) de manière unitaire en conduite afin de s'assurer de son utilisabilité et de son efficacité pour la population considérée. Cette première expérimentation avait pour objectif de garantir que l'interface, indépendamment de toute autre contrainte liée à la conduite ou des interactions avec les autres sources d'informations internes au véhicule, puisse répondre aux besoins de la population considérée dans cette étude et de manière plus efficace que les interfaces standards dédiées à ce type d'information.
- La seconde visait à évaluer cette interface dans une expérimentation intégrant la complexité des véhicules actuels. Cette seconde expérimentation avait pour objectif d'évaluer de quelle façon l'interface peut s'intégrer aux autres systèmes d'informations embarqués sans altérer la performance de conduite. La seconde phase de conduite permettra également d'évaluer de manière unitaire l'interface d'alerte de collision à l'avant.

Dans le document précédent, nous avons pu définir la méthodologie générale de l'étude utilisée pour ces deux phases ainsi que les procédures mises en place.

Dans ce document nous présentons les résultats de chacune de ces deux phases d'évaluation, précédée par une description complète des caractéristiques de la population rencontrée et d'un rappel des interfaces évaluées.

## II. Description de la population

---

Dans cette étude, 29 sujets âgés de 62 à 78 ans (âge moyen 70 ans) ont participé, dont 13 femmes et 16 hommes. Ces sujets étaient pour la plupart bien-voyants, cependant certains présentaient un déficit visuel débutant. Leurs caractéristiques visuelles sont présentées ci-après.

Pour rappel, lors du bilan visuel réalisé en amont de l'expérimentation, différentes mesures ont été effectuées telles que :

- l'acuité visuelle monoculaire et binoculaire en vision de loin : Cette mesure représente la capacité de l'œil à discerner un détail. Ce test standardisé, appelé ETDRS, est réalisé ici à un contraste maximal (>90%) et sur une échelle de progression logarithmique à 4 m des yeux du sujet.
- le champ visuel cinétique : Cette mesure permet d'évaluer l'étendue de la perception visuelle des participants lorsqu'ils regardent un point fixe droit devant eux. De plus, selon les protocoles de test utilisés, cet examen permet de connaître la présence, la localisation, l'étendue et l'intensité d'un déficit visuel (central, périphérique ou mixte) résultant de pathologies ophtalmiques. Ici, le champ visuel a été réalisé en binoculaire à l'aide de l'Octopus 900. Le stimulus utilisé pour cette évaluation est de taille III (1.4 mm<sup>2</sup>) et de luminosité 4 (1000 asb) (protocole standardisé lors d'évaluations pour la conduite).
- la courbe de sensibilité au contraste (Metrovision) : Cette mesure permet de connaître le pic de sensibilité de l'œil dans les bas contrastes de luminance selon des fréquences spatiales testées, exprimées en cycle par degré (cpd). Cette fonction peut être impactée par l'altération de la transparence des milieux oculaires (ex : cataracte), les maladies de la rétine (ex : DMLA) et du nerf optique (ex : glaucome). Dans la littérature (Hirvelä, 1995), on observe avec l'âge un décalage du seuil de sensibilité de l'œil vers les basses fréquences spatiales passant de 4 cpd à 20 ans à 2 cpd à 70-80 ans. Ainsi pour cette étude, nous observerons le seuil de sensibilité aux contrastes à 2 cpd, et l'allure globale de la courbe.

Le tableau ci-dessous récapitule des différents critères visuels étudiés sur l'ensemble des sujets.

	Acuité Visuelle vision de loin (LogMAR)	Sensibilité aux contrastes à 2 cpd (dB)	Champ visuel horizontal (degrés)	Champ visuel vertical (degrés)
<b>Moyenne (ET)</b>	-0.07 (0.07)	24.86 (2.36)	160 (8.13)	107.59 (6.89)
<b>Minimum</b>	0.08	16	140	90
<b>Maximum</b>	-0.20	27	170	120

**Tableau 1 : Tableau récapitulatif des critères visuels étudiés**

### *Acuité visuelle*

La moyenne des acuités visuelles binoculaire est de -0.07 Log Mar ce qui correspond à  $10/10^{+3/5}$  ( $10/10^{\text{ème}}$  plus 3 lettres de la ligne de 12/10 lues). L'acuité minimum est de +0.08 logMAR ( $8/10^{\text{ème}}$ ) et l'acuité maximum est de -0.20 logMAR ( $16/10^{\text{ème}}$ ).

### *Sensibilité aux contrastes*

La moyenne de la sensibilité aux contrastes est de 24.86 dB (décibel) qui correspond à une sensibilité de 0.33%. Le minimum de 16 dB (2.51%) et le maximum est de 27 dB (0.20%).

Le participant ayant une sensibilité aux contrastes diminuée est atteint de rétinopathie diabétique. Cette pathologie provoque des remaniements rétiniens et rend la rétine moins fonctionnelle. Ceci explique la diminution de ce paramètre.

### *Champ visuel*

Pour le champ visuel horizontal, la moyenne est de 160° avec un minimum de 140° et un maximum de 170°. Pour le champ vertical, la moyenne est de 107.6°, le minimum de 90° et le maximum de 120°. La norme des étendues de champ visuel dépend de l'âge, au-delà de 60 ans, elle se situe aux environs de 150° à l'horizontal et 120° à la verticale.

Quatre participants ont un champ visuel présentant une anomalie. Deux d'entre eux ont un léger déficit périphérique (supérieur pour l'un et latéral pour l'autre).

Malgré de légères atteintes visuelles chez certains, les valeurs mesurées pour l'ensemble des paramètres visuels sont nettement supérieures aux limites légales nécessaires pour l'activité de la conduite et ce, pour tous les participants.

### III. Interfaces évaluées

---

Au cours de cette étude, différentes interfaces ont été évaluées. Nous rappelons ici les aspects visuels de ces dernières développées par l'équipe Streetlab (Interface Advise) ainsi que le modèle prototypique choisi comme support de comparaison (interface standard). Dans la suite de ce rapport nous utiliserons toujours les termes interface Advise ou interface standard pour les distinguer.



Figure 1 : Interface Advise de type Blind spot



Figure 2 : Interface Advise d'alerte de collision avant



Figure 3 : Interface standard de type Blind spot



Figure 4 : Interface standard d'alerte de collision avant

# IV. Phase 1

---

L'objectif de cette première phase de test était de valider l'interface pour les situations de Blind Spot (ou angle mort) de manière unitaire en conduite afin de s'assurer de son utilisabilité et de son efficacité pour la population considérée.

## 1. Passations

Les passations de tests se sont déroulées entre le 19 avril 2016 et le 4 mai 2016.

Au total 14 sujets ont participé, dont 6 femmes et 8 hommes, de moyennes d'âge respectives de 67 et 70 ans. Leurs caractéristiques respectives sont à retrouver dans la partie précédente (cf Description de la population)

## 2. Procédure expérimentale

Le jour du test, à leur arrivée, les participants sont, dans un premier temps, invités à lire et à signer certains formulaires : le consentement libre et éclairé de participation, le droit à l'image. Il leur est également fourni une notice d'information leur expliquant l'objectif de l'étude et le cadre dans lequel celle-ci est passée.

Les participants réalisent ensuite un bilan visuel d'environ 45 minutes.

A la suite de ce bilan visuel, une rapide expertise des fonctions cognitives est réalisée à l'aide du Mini-Mental State Examination (MMSE).

Les participants sont ensuite conduits et installés sur simulateur par les expérimentateurs qui leur présentent rapidement le simulateur ainsi que les types d'alerte rencontrés, différents pour chacune des conditions expérimentales.

Ils sont ensuite invités à réaliser une phase de familiarisation avec le simulateur avant d'effectuer le test effectif.

La phase de test sur simulateur se divise en 2 conditions selon l'interface évaluée (interface standard et interface Advise). Tous les participants évaluent les deux interfaces, néanmoins, l'ordre dans lequel sont présentées les interfaces est contrebalancé d'un participant à l'autre (un premier groupe commence par l'interface standard tandis que le deuxième commence par l'interface Advise). Pour

chaque condition, la conduite est séparée en 2 séquences pendant lesquelles les participants rencontrent le même scénario principal (décrit ci-après).

Pendant l'une des 2 séquences de chacune des 2 conditions, les participants sont équipés d'un eye-tracker, permettant d'évaluer le temps de réaction pour la visualisation des alertes, le balayage visuel de la scène routière ainsi que la ressource attentionnelle allouée aux alertes. Le port de l'eye tracker est contrebalancé au sein d'une condition, d'une phase de conduite à l'autre (cf Tableau 2).

	Durée	Interface		Eye tracker			
		Groupe 1	Groupe 2	1	2	3	4
Accueil, consentement	5 min						
Bilan visuel	45 min						
MMSE et explications préliminaires	15 min						
Familiarisation avec le simulateur et les interfaces	15 min						
1ere séquence de conduite	10 min	Standard	Advise	x		x	
2eme séquence de conduite	10 min	Standard	Advise		x		x
Questionnaires	15 min						
3eme séquence de conduite	10 min	Advise	Standard	x			x
4eme séquence de conduite	10 min	Advise	Standard		x	x	
Questionnaires finaux	15 min						

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des passations de test de la phase 1

### 3. Scénario de conduite

---

#### Contexte :

Beau temps, visibilité maximale

Parcours autoroutier, 2 fois voies 2 voies

---

#### Consignes données aux participants :

Rouler à 110 km/h et être attentif à conserver cette vitesse.

Suivre le véhicule avant, même dans les changements de voie.

Réaliser les changements de manière sécuritaire en tenant compte des autres usagers de la route.

Conduire exactement comme ils le feraient avec leur propre véhicule.

---

#### Situation :

Le participant s'engage sur une voie rapide.

Un véhicule le précède (1) (TIV<sup>1</sup> à 2 sec) et deux véhicules le suivent (2 et 3) (TIV à 3.5 sec).

Le véhicule 1 change régulièrement de voie.

Lorsque le véhicule 1 change de voie, le participant le suit et le véhicule à l'arrière positionné dans la voie de destination (2 ou 3) accélère ( $50 \text{ m/s}^2$ ) vient se placer dans l'angle mort pendant 5 secondes.

Il en résulte un rapprochement avec le véhicule arrière.

Puis, le véhicule décélère pour se placer à sa position initiale.



#### Design :

Durée du scénario : 8 minutes (environ 14km à 110km/h)

Le véhicule à l'avant change de voie environ toutes les 10 à 30 secondes pendant la durée du scénario.

1 fois sur 3 (de manière pseudo aléatoire), le changement de voie s'accompagne de l'accélération de V2 ou V3.

Soit environ 15 situations, dont 5 tests d'affichage de l'interface (véhicule arrière gêneur)

---

<sup>1</sup> Temps inter-véhiculaire

## 4. Résultats

### Comportement de conduite

#### Nombre de collisions avec le véhicule gêneur

Bien que la configuration du scénario de conduite n'ait pas pour objectif de provoquer systématiquement des accidents, il est intéressant dans un premier temps d'observer les situations où la collision n'a pas pu être évitée et de vérifier si ces situations d'accident sont plus nombreuses lorsque les sujets sont assistés d'une interface standard que lorsqu'ils sont assistés de l'interface Advise.

Parmi les 14 sujets, 8 ont rencontrés au moins 1 collision durant la phase de test, mais on en dénombre peu sur l'ensemble des essais de l'ensemble des sujets, à savoir 16 collisions sur 280 essais au total (soit 5% des observations).

Nous observons le même nombre de collisions dans chacune des deux conditions. En effet, sur 140 essais réalisés par les 14 participants assistés par l'interface standard, on dénombre 8 collisions, et autant avec l'interface ADVISE (cf Tableau 3).

Nous observons également plus de collisions à gauche qu'à droite, toute condition de conduite confondue.

	Collision à droite	Collision à gauche	Total
Interface Advise	2	6	8
Interface Standard	3	5	8
Total	5	11	16

Tableau 3 : Nombre de collisions pour les interfaces Blind spot

La moitié des collisions rencontrées avec un véhicule gêneur, toutes conditions de conduite confondues (interface ADVISE ou interface standard) sont arrivées aux premiers essais (cf Tableau 4), c'est à dire au premier changement de voie accompagné par l'arrivée d'un véhicule gêneur à l'arrière. Nous attribuons ce résultat à un éventuel effet de surprise lié à la découverte du scénario.

**Comparativement à une interface standard déjà disponible sur de nombreux véhicules, l'interface Advise se révèle donc aussi efficace pour détecter les véhicules dans l'angle mort et ainsi éviter les accidents.**

Sujet	Advise	N° - Côté		Standard	N° - Côté		
2	1	1 - G					
3				1	1 - G		
5	2	1 - G	8 - G	3	4 - D	8 - G	10 - G
6	2	1 - D	6 - G				
7				1	10 - G		
9	1	1 - D		3	1 - D	3 - G	4 - D
12	1	1 - G					
14	1	1 - G					

**Tableau 4 : Répartitions des collisions pour les interfaces Blind spot**

*Lecture du tableau :*

*Advise : nombre de collisions durant la condition de conduite avec l'interface ADVISE*

*Standard : nombre de collisions durant la condition de conduite avec l'interface standard*

*N° - Côté : Numéro des essais où se sont produites les collisions - Côté de la collision*

- G : gauche
- D : droite

### **Temps de réaction**

Les sujets ont eu pour consigne de suivre le véhicule à l'avant dans ses changements de voies. Cette demande peut être contrariée par l'apparition d'un véhicule dans l'angle mort gauche ou droit. Le sujet doit alors rester dans sa voie en attendant la fin de l'affichage pour effectuer son changement de voie et sa réaction attendue à l'apparition de l'alerte est donc une "non-réaction".

A l'inverse, la prise de décision quant à la possibilité ou non d'effectuer son changement de voie en jugeant de la bonne distance avec le véhicule arrière peut s'avérer difficile. Dans ce cas, la disparition de l'affichage intervient pour signifier au conducteur qu'aucun véhicule n'est présent dans l'angle mort. Cette fin de présentation du signal peut être interpréter par le conducteur comme un signal lui indiquant qu'il peut changer de voie en toute sécurité, ce qui n'est pas le cas. Il est donc nécessaire

de s'assurer que l'interface ADVISE ne soit pas plus « engageante » que l'interface classique. Nous avons donc mesuré le temps de réaction entre la fin de l'affichage et le coup de volant initiant le changement de voie (**TR1**) ainsi qu'entre la fin de l'affichage et la traversée de la ligne centrale par le véhicule du sujet (**TR2**). Nous vérifions ainsi si cette prise de décision intervient dans des laps de temps identiques entre les deux interfaces.

### *Faits d'anticipation*

Dans l'ensemble des observations, certaines valeurs du TR1 sont de valeur négative, ce que nous interprétons comme une anticipation de la part des sujets : ils précèdent la fin de l'alerte pour initier leur changement de voie. Ces faits d'anticipation représentent 17% des observations totales.

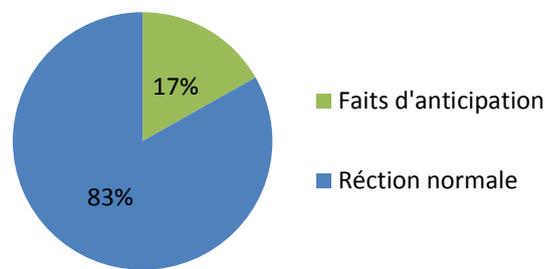


Figure 5 : Faits d'anticipation sur l'ensemble des situations de conduite avec les interfaces Blind spot

Nous remarquons que ces faits d'anticipation sont plus nombreux avec l'interface standard qu'avec l'interface Advise mais apparaissent dans les mêmes proportions à gauche et à droite. Les faits d'anticipation avec l'interface standard représentent en effet 21% des situations assistées de l'interface standard, contre 13% des situations assistées de l'interface Advise (cf Figure 10). Les résultats du Chi2 réalisé nous montre que cette différence est significative ( $K^2 = 3,09$ , ddl = 1,  $p < 0,01$ ).

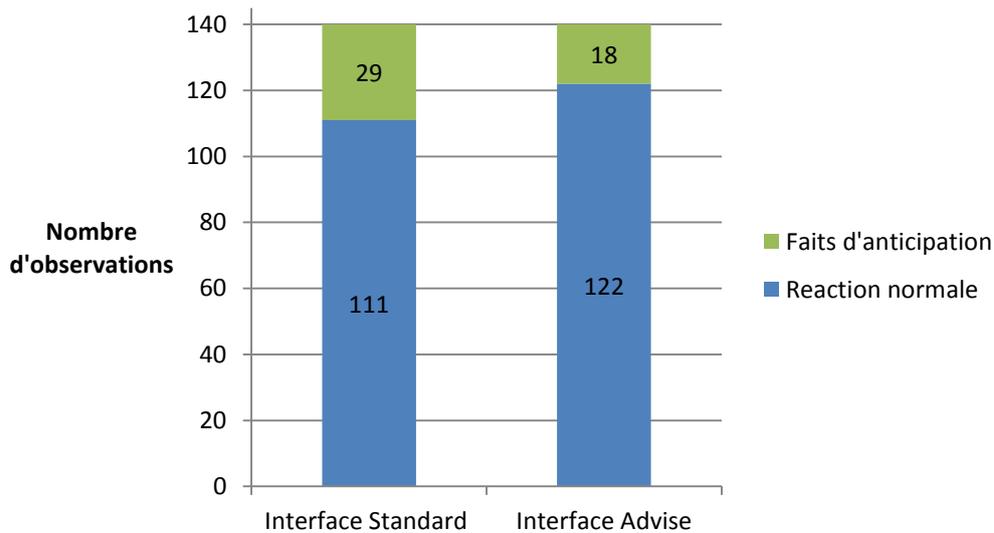


Figure 6 : Proportion des faits d'anticipation en fonction des interfaces Blind spot

Il apparait donc que **l'information de l'interface standard est plus facilement négligée que celle de l'interface Advise.**

### *Réaction au volant et à la traversée*

Pour l'analyse de la réaction volant et à la traversée (TR1 et TR2) nous avons d'abord supprimé les valeurs aberrantes dues à une erreur de mesure ou à une incompréhension de la consigne de la part des sujets et les avons remplacées par les moyennes individuelles. Par ailleurs, 2 participants ont eu des comportements particulièrement aberrants (valeurs extrêmes et nombreuses collisions). Nous n'avons donc pas pris en compte ces données pour l'analyse.

De manière les temps de réaction au volant et à la traversée semblent très proches (cf Tableau 5).

	Interface Advise		Interface standard	
<b>Temps</b> (en secondes)	TR1	TR2	TR1	TR2
<b>Moyenne</b>	1,56	3,61	1,65	3,47
<b>Médiane</b>	1,08	3,36	1,18	3,18
<b>Ecart-type</b>	1,41	1,43	1,44	1,43

**Tableau 5 : Tendances centrale des temps de réaction au volant (TR1) et à la traversée (TR2) pour les interfaces Blind spot**

Les résultats des ANOVA révèlent effectivement qu'il n'existe aucune différence significative de temps de réaction au volant (TR1) ou à la traversée (TR2) entre les deux types d'interface testés (standard ou Advise), que cela soit pour les changements de voies vers la gauche, vers la droite ou les deux côtés confondus ( $F < 1$ ).

**Comparativement à une interface standard déjà disponible sur de nombreux véhicules, l'interface Advise se révèle donc aussi efficace pour aider les conducteurs à prendre la décision d'effectuer leur changement de voie.**

### Positionnement latéral

Au delà des accidents et du temps de réaction, un autre élément pertinent à évaluer était le positionnement latéral du véhicule conduit et plus spécifiquement de vérifier si celui-ci est moins linéaire lorsque les sujets sont assistés d'une interface standard que lorsqu'ils sont assistés de l'interface Advise.

Pour évaluer cet élément, nous avons mesuré 2 indicateurs, tels que :

- l'écart maximal par rapport à l'axe central de la voie de circulation du conducteur (LS max)
- les sorties de voie (hors changement de voies à la fin de chaque situation)

### Sorties de voie

De la même manière que pour les accidents, on dénombre très peu de sorties de voie en cours de situation. Cela représente 5% des observations.

Nous observons que les sorties de voies représentent 6% des situations assistées de l'interface Advise, contre 4% des situations assistées de l'interface standard (cf Figure 11). Néanmoins, cette différence n'est pas statistiquement significative ( $K^2 = 15$ , ddl = 14,  $p = 0,378$ ).

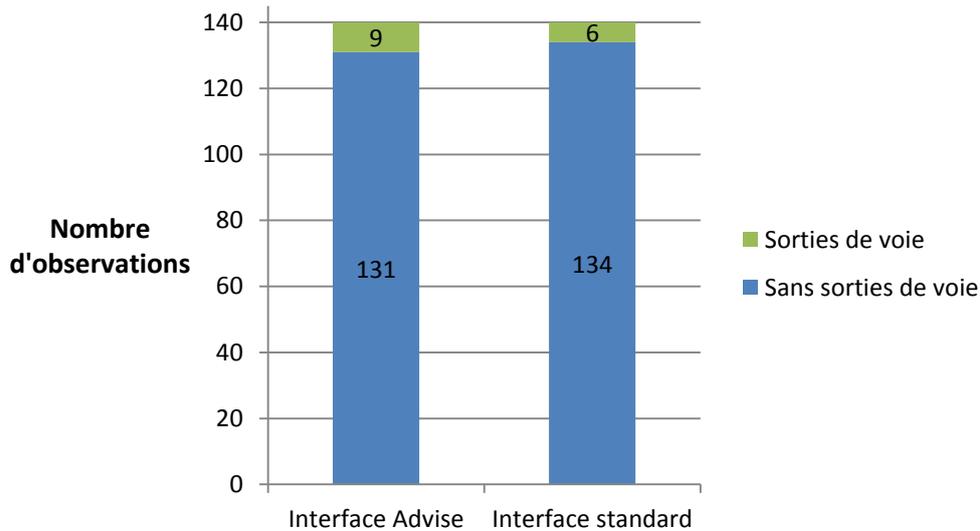


Figure 7 : Proportion des sorties de voies en fonction des interfaces Blind spot

### Écart sur la voie

L'écart maximal par rapport à l'axe central de la voie de circulation, mesuré en mètres, peut être de valeur positive lorsque l'écart se fait vers la droite et négative lorsqu'il se fait vers la gauche. Il a été mesuré en cours de situation, à savoir lorsque les sujets devaient changer de voies et étaient gênés par un des deux véhicules à l'arrière.

Nous avons d'abord étudié cet écart maximal en valeur absolue afin de mesurer la force générale des écarts réalisés en cours de situation.

	Interface Advise	Interface standard
<b>Moyenne</b>	0,84	0,87
<b>Médiane</b>	0,69	0,77
<b>Ecart-type</b>	0,48	0,47

Tableau 6 : Tendance centrale des écarts maximums pour les interfaces Blind spot

D'un point de vue global, les écarts maximums semblent relativement proches d'une interface à l'autre. Les résultats de l'ANOVA ne révèlent aucune différence significative d'écart entre les deux conditions de conduite ( $F < 1$ ).

Le constat est le même lorsque l'on s'intéresse à la latéralité des écarts maximum. Les résultats de l'ANOVA ne montrent aucune différence significative :

- entre les écarts maximum à droite avec l'interface Advise et avec l'interface standard ( $F < 1$ ).

- entre les écarts maximum à gauche avec l'interface Advise et avec l'interface standard ( $F < 1$ ).

Les écarts maximums par rapport à l'axe central de la voie de circulation du conducteur ne sont donc pas plus importants avec l'interface standard qu'avec l'interface Advise.

La figure ci-après (cf Figure 12) nous donne un aperçu des écarts individuels pour chacune des deux conditions de conduite.

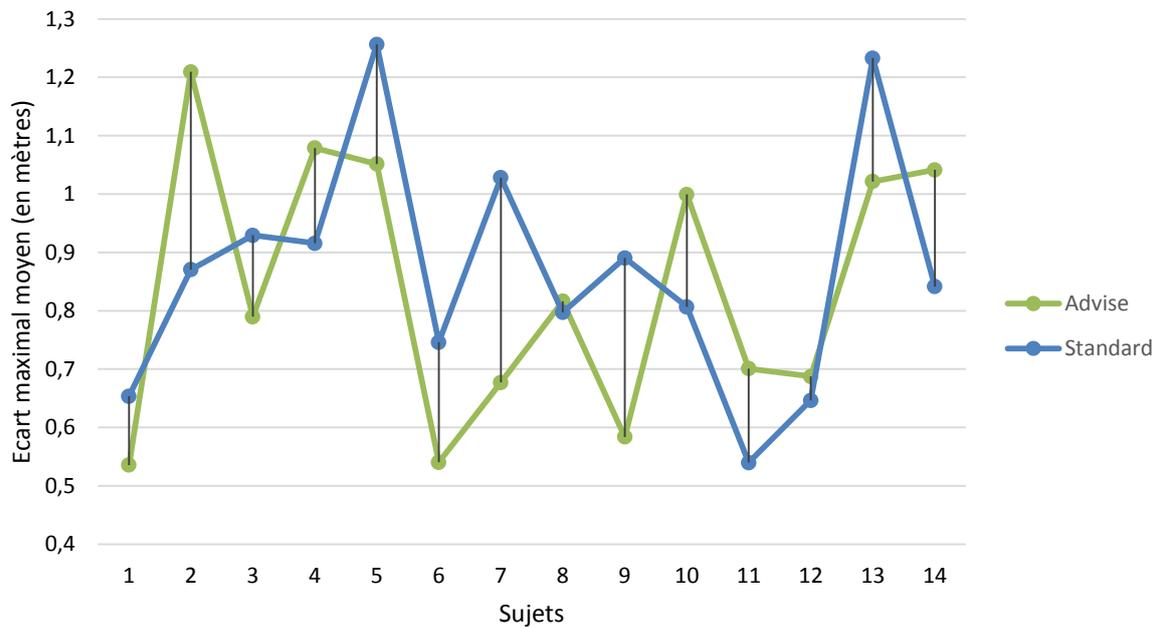


Figure 8 : Ecart maximal moyen par sujet en fonction des interfaces Blind spot

Les différentes réactions et comportements des conducteurs pendant les situations de blind spot ne diffèrent pas significativement entre les deux conditions de conduite, à savoir avec l'interface Advise ou l'interface standard. **Dans le cadre de scénarios de conduite simples et sans interaction avec d'autres interfaces embarquées, on peut donc conclure que les sujets sont généralement bien guidés, et de la même manière par les deux interfaces.**

## Comportement de regard

Le système d'acquisition des données de regard développé par Streetlab permet d'obtenir la position de l'œil au sein des 3 écrans du simulateur de conduite. Pour chaque séance de conduite analysée nous pouvons donc connaître la zone dans laquelle est positionné le regard. Les différentes zones sont définies telles que présentées dans l'image suivante :

- Rétroviseur gauche et droit (zones bleues)
- Zone routière ou zone centrale (zone rouge)
- Zone de l'affichage de l'alerte Blind spot Advise gauche et droite (zones jaunes)
- Tableau de bord (zone verte)



Figure 9 : Définition des zones d'intérêt pour l'analyse du regard

Pendant chaque situation congruente, autrement dit lorsque le changement de voie était accompagné par une gêne liée à l'accélération du véhicule arrière, nous avons étudié la durée de fixation dans les différentes zones d'intérêt, autrement dit le temps passé à regarder chacune de ces zones pendant la durée des affichages. Etant donné que la durée totale enregistrée peut être différente d'un sujet à l'autre, nous ne nous sommes pas basé sur les durées brutes mais sur le pourcentage de temps passé dans chacune des zones pour chaque situation. Ce sont ces données qui ont pu être analysées.<sup>2</sup>

On constate tout d'abord une forte différence de temps de regard de la zone centrale (la route à l'avant) entre les deux types d'interfaces. Pendant la durée de l'affichage de l'alerte Advise, les sujets concentrent entre 61% (lors des situations à gauche) et 73% (lors des situations à droite) de leur temps de regard sur la route contre 45% (lors des situations à gauche) à 52% (lors des situations à

---

<sup>2</sup> On note que sur l'ensemble des sujets ayant participé à cette évaluation, 7 se révèlent viables pour une analyse de leur comportement de regard.

droite) lorsque l'interface standard est affichée. Les résultats de l'ANOVA à mesures répétées montrent ainsi une différence significative entre les deux conditions ( $p < 0.05$ ). Comparativement à une interface standard, l'apparition de l'alerte Advise permet au conducteur de rester plus concentré sur la zone avant.

Par ailleurs, on remarque que lors des situations de conduite assistées par l'interface standard, les sujets passent environ  $\frac{1}{4}$  de leur temps à regarder les rétroviseurs (en moyenne 26% à gauche et 23% à droite). A l'inverse, lors des situations assistées par l'interface Advise, les sujets ne passent que 10% à 3% (respectivement à gauche et à droite) à regarder leurs rétroviseurs et la zone d'affichage de l'alerte Advise. Aussi, l'interface Advise n'incite pas les conducteurs à se passer complètement des rétroviseurs, mais leur permet d'effectuer un balayage plus rapide et plus efficace des informations concernant l'arrière du véhicule.

De plus, si l'on se concentre spécifiquement sur la zone d'affichage de l'alerte Advise, on remarque qu'elles ne concentrent que 6% à gauche et 2% à droite du temps de regard. L'interface Advise n'attire pas donc le regard et permet d'être vu et comprise sans être regardée longuement.

Enfin, quelque soit l'interface d'assistance évaluée et le côté du danger, les sujets ont sensiblement le même comportement concernant le contrôle du tableau de bord (indiquant notamment la vitesse courante). En effet, pendant la durée de l'affichage des alertes Blind spot, 13% de leur temps de regard est consacré au tableau de bord lorsqu'ils sont assistés par l'interface standard et 10% lorsqu'ils sont assistés par l'interface Advise. Comparativement à une interface standard, l'apparition de l'alerte Advise ne modifie donc pas la stratégie de conduite des sujets concernant le contrôle de la vitesse. Les sujets sont aussi concentrés sur le contrôle de leur vitesse dans chacune des deux conditions de conduite.

De manière générale, les conducteurs ne sont pas perturbés par l'interface Advise comparativement à l'interface standard pour contrôler la vitesse imposée pendant l'expérimentation. Ils sont par contre bien **plus concentrés sur la zone avant dans les situations dangereuses lorsqu'ils sont assistés par l'interface Advise**, ce qui peut être décisif pour anticiper et répondre à une situation d'urgence. Par ailleurs, l'interface Advise n'incite pas les conducteurs à se passer complètement des rétroviseurs, mais **leur permet d'effectuer un balayage plus rapide et plus efficace des informations arrières**. Elle leur permet également de **comprendre la nature de la situation de danger en mobilisant une attention visuelle moins importante**.

## Données subjectives

### Charge mentale

Pour rappel, les sujets étaient invités à remplir un questionnaire portant sur leur évaluation subjective de la charge de travail, autrement dit le coût cognitif que suppose l'exécution des tâches de conduite. Le questionnaire utilisé ici utilise 4 facteurs, à savoir : l'exigence mentale (importance de l'attention et du travail mental imposés par la tâche de conduite et par les informations du véhicule), l'exigence visuelle (importance de la charge visuelle imposée par les informations visuelles), la perturbation (niveau de gêne provoqué par le système) et la performance (performance de sécurité et d'efficacité). Les sujets ont noté ces 4 facteurs sur une échelle de 1 à 10, pour chacune des deux conditions de conduite (interface standard et interface ADVISE).

La figure suivante (cf Figure 14) représente les moyennes de ces 4 facteurs pour l'ensemble des participants.

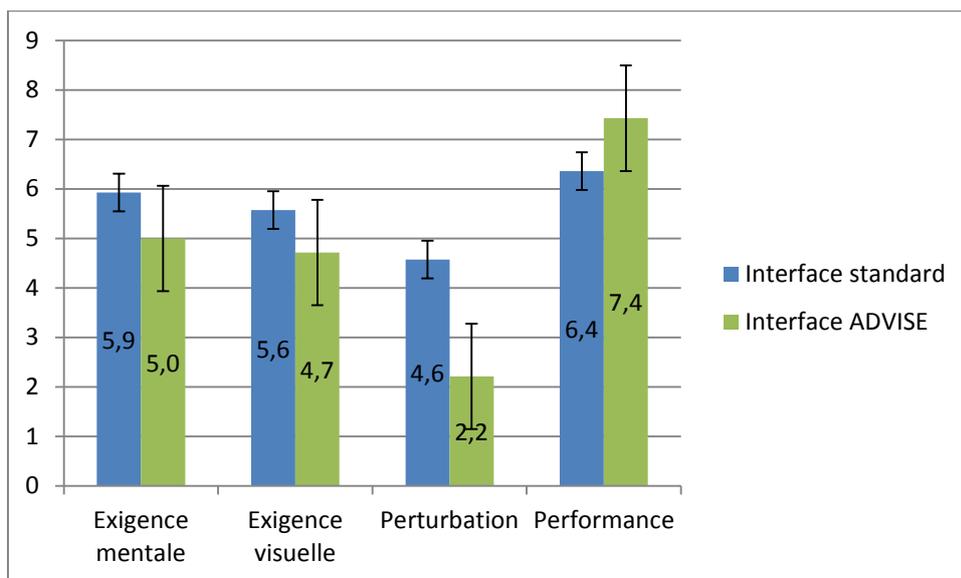


Figure 10: Scores moyens de charge mentale des interfaces Blind spot

Des tests de Wilcoxon pour échantillons appariés ont été réalisés pour comparer les scores d'exigence mentale, d'exigence visuelle, de perturbation et de performance de conduite entre les deux interfaces. Les résultats de ces tests ne nous montrent aucune différence significative pour les scores d'exigence mentale ( $W=7,5$ ;  $p=0,083$ ), d'exigence visuelle ( $W=18$ ;  $p=0,352$ ) et de performance de conduite ( $W=53,5$ ;  $p=0,072$ ). A l'inverse, les sujets semblent être d'avantage perturbés dans la conduite par l'interface standard que par l'interface ADVISE. Ici, la différence de score apparait significative ( $p<0,05$ )

## Acceptabilité

Pour rappel, les sujets étaient invités à remplir un questionnaire portant sur leur évaluation subjective des deux interfaces d'assistance utilisées pendant les phases de conduite. Ce questionnaire propose différents items (9 en tout) mesurant l'acceptation subjective du système d'aide à la conduite selon l'utilité et la satisfaction. Les sujets ont évalué ces 9 facteurs sur une échelle de -2 à +2, pour chacune des deux conditions de conduite (interface standard et interface ADVISE).

La figure suivante (cf Figure 15) présente les scores d'utilité et de satisfaction des questionnaires pour chacune des deux interfaces évaluées.

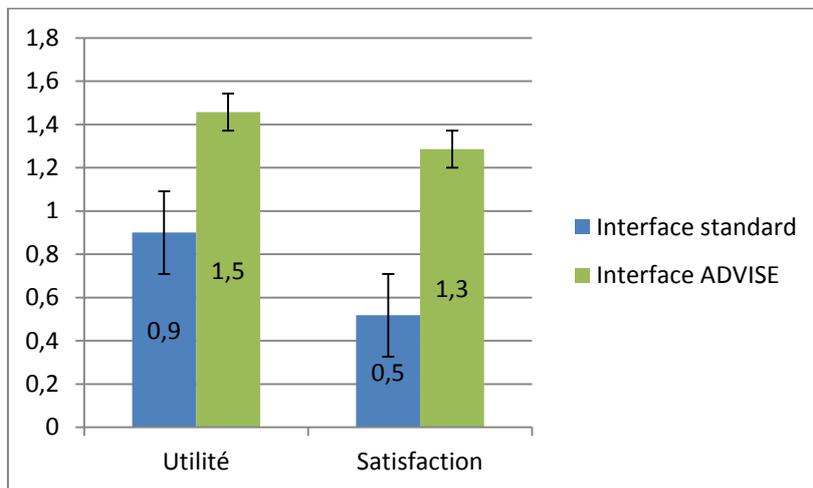


Figure 11 : Scores moyens d'utilité et de satisfaction des interfaces Blind spot

Des tests de Wilcoxon pour échantillons appariés ont été réalisés pour comparer les scores d'utilité et de satisfaction des deux interfaces. Les résultats montrent un score d'utilité et un score de satisfaction significativement plus grands pour l'interface ADVISE que pour l'interface standard (pour les deux tests :  $p < 0,05$ ).

L'étude de la charge de travail liée à la conduite avec l'une ou l'autre des interfaces et de l'acceptabilité de ces deux interfaces semblent confirmer l'hypothèse selon laquelle l'interface ADVISE améliore le confort subjectif de conduite, comparativement à l'interface standard.

## Ergonomie de l'interface

Pour rappel, les sujets étaient interrogés sur la visibilité, la compréhension, l'utilité présumée et la pertinence de l'interface d'assistance proposée. L'objectif ici était d'obtenir des retours subjectifs

plus ouverts permettant d'affiner les données concernant le ressenti général des sujets pour chacune des deux interfaces.

Tout d'abord, il apparaît que la grande majorité des sujets a une préférence pour l'interface ADVISE (cf Figure 3).

### Quelle interface préférez-vous ?

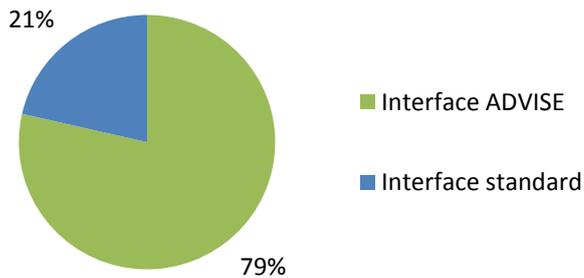
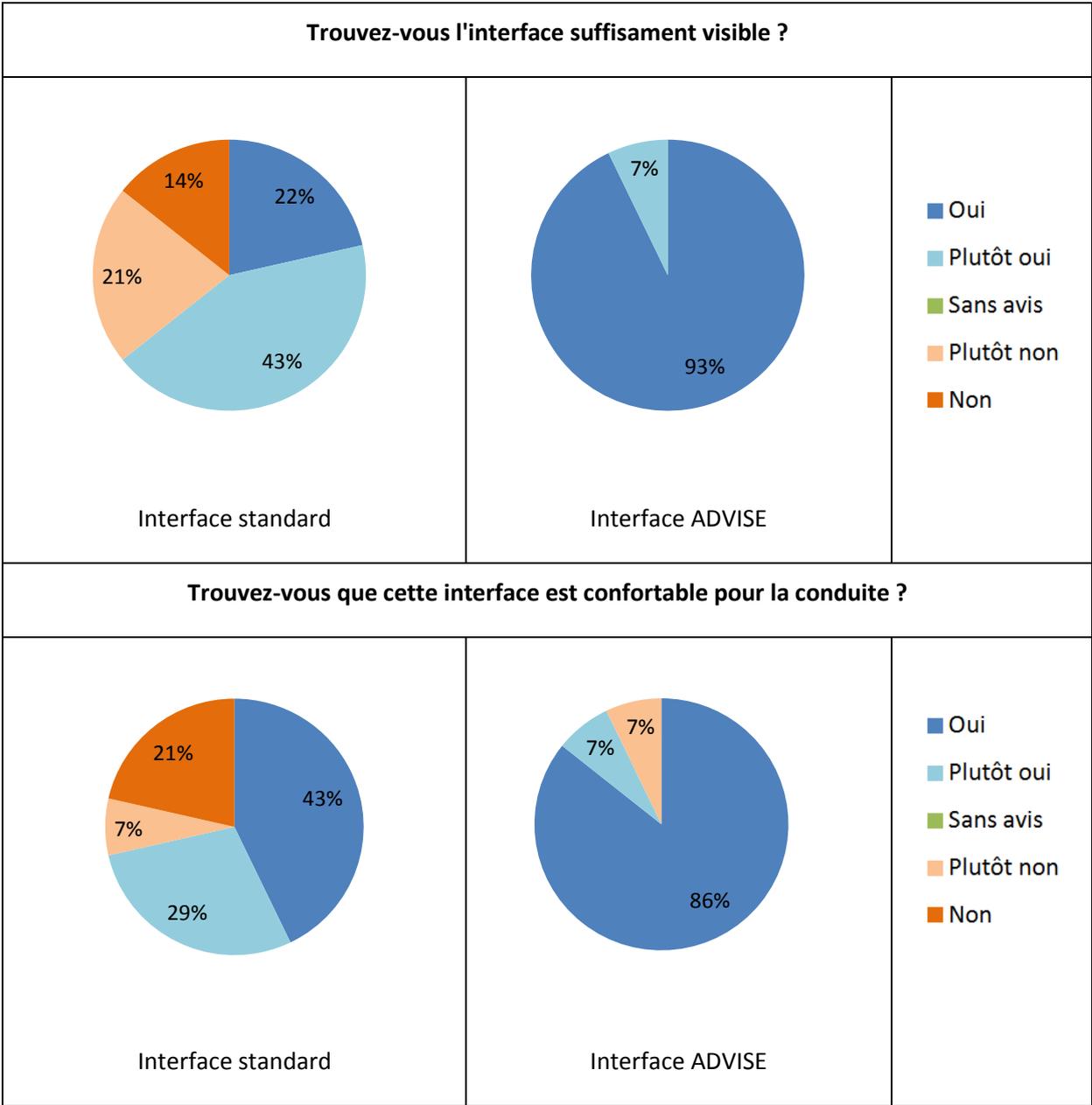


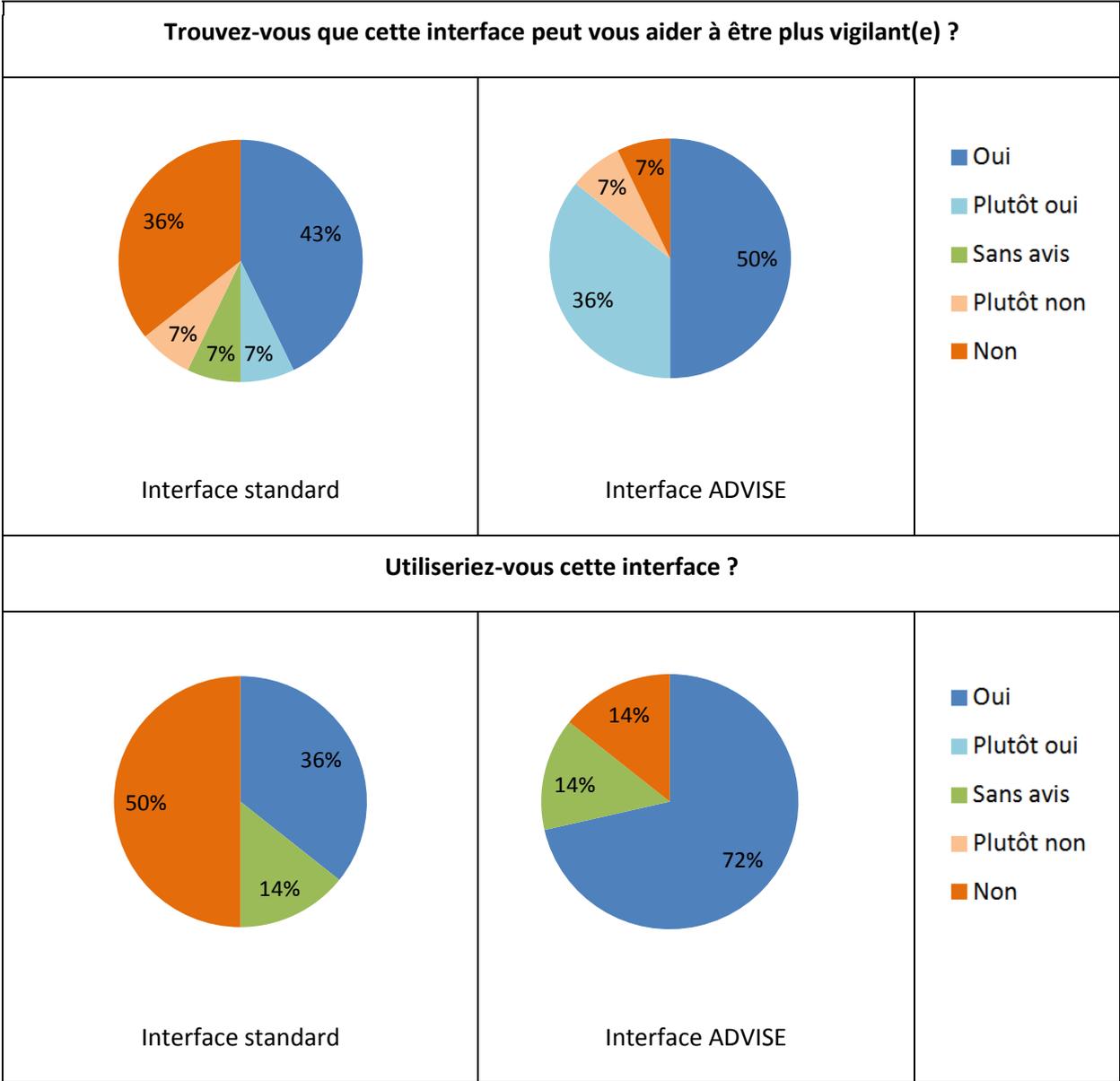
Figure 12 : Préférence pour les interfaces Blind spot

Les raisons de cette performance évoquées par les sujets sont principalement liées à la localisation de l'interface ("c'est dans mon champ", "c'est en face de moi", "c'est plus pertinent pour anticiper le danger puisque qu'on ne peut que le voir même si l'on n'a pas regardé le rétroviseur ou pas vu le véhicule") et à l'esthétique de l'alerte ("le rouge donne bien l'interdiction de se déporter").

Ces verbatim sont confirmés par les indicateurs de visibilité et de confort de conduite ressenti par les conducteurs. En effet, l'interface standard est jugée beaucoup moins visible que l'interface ADVISE et relativement moins confortable.



Par ailleurs, du point de vue de l'utilité présumée, l'interface ADVISE est jugée plus pertinente pour augmenter la vigilance sur la route et les sujets sont plus nombreux à déclarer pouvoir utiliser une telle interface par rapport à l'interface standard.



De manière générale, l'étude des retours subjectifs nous permet de confirmer que l'interface de type blind spot développée dans le cadre du projet Advise est déclarée **plus visible, plus confortable et plus utile que l'interface standard** présentée en comparaison. Par ailleurs, les sujets **sont plus nombreux à se projeter dans une utilisation** éventuelle d'une interface similaire.

## Analyse des verbatims

Lors de chaque séquence de test, les sujets ont été interrogés sur leur stratégie de conduite, à savoir quels étaient les éléments qui selon eux leur avait permis de prendre la décision de changer de voie ou non. Il ressort de l'analyse des verbatims associés, qu'une grande partie des sujets déclare avoir anticipé l'arrivée des véhicules dans les rétroviseurs (« je voyais les voitures arriver », « j'anticipais l'arrivée des voitures », etc.) et ce de manière similaire avec les deux types interfaces (l'interface Advise ou avec l'interface standard).

Certains sujets déclarent ne pas avoir interprété le signal comme une interdiction au changement de voie dès son apparition (anticipation de l'arrivée des véhicules), mais utilisé sa disparition comme une autorisation pour amorcer le dépassement, et ce en particulier avec l'interface ADVISE (cf Tableau 7). L'interface ADVISE permettrait de juger plus facilement (comparé à l'interface standard) s'il est possible ou non d'amorcer le changement de voie («j'anticipais l'arrivée des véhicules dans les rétroviseurs mais l'alerte me permettait de me dire quand je pouvais y aller», «l'alerte peut aider à vous préciser que tant qu'elle est présente vous ne pouvez pas y aller»). On note que ces commentaires ont été donnés dans un contexte de simulation de conduite très spécifique et non écologique, dans lequel les sujets ont pu acquérir des stratégies différentes de celles qu'ils mettent en place au volant de leur véhicule. Nous ne pouvons donc certifier que ces sujets auraient le même discours pour d'autres types de situation de conduite.

Même s'ils sont plus minoritaires, certains sujets (quatre) déclarent également que l'interface Advise nécessitait moins d'allers-retours entre les rétroviseurs et l'axe de vision central, comparé à l'interface standard, et était donc beaucoup plus confortable. Par ailleurs, deux sujets ont signalé que cette interface les incitait à regarder dans le rétroviseur pour confirmer la présence d'un danger, augmentant ainsi la vigilance au volant («je contrôlais les rétroviseurs après avoir vu l'alerte c'était plus confortable que pour l'alerte sur le rétroviseur»).

	Interface Advise	Interface standard
Anticipation de l'arrivée des véhicules (retour rétroviseur)	4	4
Regarder le positionnement des véhicules avant de changer de voie	2	3
Regarder la zone d'alerte avant de changer de voie	6	2

*Lecture du tableau : Anticipation de l'arrivée des véhicules à l'aide des rétroviseurs extérieurs cités par 4 participants lors de la conduite avec l'interface Advise.*

**Tableau 7 : Résumé des verbatims concernant la stratégie de conduite pour les interfaces Blind spot**

# V. Phase 2

---

## 1. Passations

Les passations de tests se sont déroulées entre le 30 mai 2016 et le 17 juin 2016.

Au total 29 sujets ont participé, dont 13 femmes et 16 hommes, de moyenne d'âge respectives de 67 et 70 ans. Leurs caractéristiques sont à retrouver dans la partie précédente (cf Description de la population).

## 2. Procédure expérimentale

L'ensemble de la procédure expérimentale est similaire à celle que la phase 1. Seule la phase de test sur simulateur est modifiée.

La phase de test sur simulateur se divise en 2 étapes. La première est consacrée à l'évaluation unitaire de l'interface d'alerte de collision avant : l'interface Advise pour un groupe de sujet et l'interface standard pour l'autre. La seconde est destinée à évaluer à la fois l'alerte de collision avant mais également l'alerte de type blind spot, dans des situations d'urgence unique et dans un environnement complexe (environnement routier urbain et affichage embarqué supplémentaire). Le tableau suivant (cf Tableau 8) récapitule tous ces éléments.

Phases de test	Effectifs	
	Groupe 1 Interface standard	Groupe 2 Interface Advise
Test unitaire de l'interface de collision avant	16	13
Test de l'interface de collision avant en condition complexe	13	13
Test de l'interface de type blind spot en condition complexe (gauche)	13	13
Test de l'interface de type blind spot en condition complexe (droite)	13	13

Tableau 8 : Tableau récapitulatif des passations de test de la phase 2

### 3. Scénario de conduite

#### Test unitaire

---

**Contexte :**

Beau temps, visibilité maximale

Parcours autoroutier, 2 fois voies

---

**Consignes données aux participants :**

Rouler à 80 km/h et être attentif à conserver cette vitesse

Suivre le véhicule avant, sans le dépasser.

A certains moments, le véhicule suivi freinera brusquement. L'objectif est d'éviter la collision avec ce véhicule. Possibilité d'éviter la collision par le moyen que jugé le plus pertinent (freinage massif, évitement, etc.).

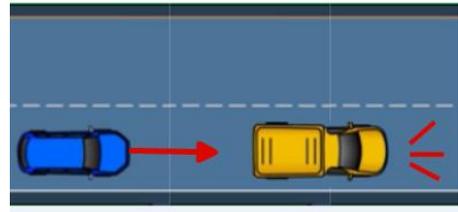
Conduire exactement comme au volant de son propre véhicule.

---

**Situation attendue :**

Le véhicule (1) avant roule à la même vitesse que celle du participant et est toujours à environ 1sec devant lui.

A un instant  $t$ , le véhicule (1) freine brusquement ( $5m/s^2$ ) jusqu'à arriver à une vitesse de 8 km/h environ, continue à cette vitesse pendant environ 10 sec puis ré accélère pour ré atteindre les 80km/h.



---

**Design :**

1 situation toutes les 1 à 2 minutes, soit en tout 9 situations

Après la dernière situation, le véhicule (1) se gare sur le bas-côté et le participant en fait de même.

---

## Test en situation complexe

---

### Contexte :

Beau temps, visibilité maximale

Zone urbaine, circulation annexe, piétons, signalisation

Affichage embarqué supplémentaire en HUD intégrant la vitesse et une vignette de navigation



### Consignes données aux participants :

Respecter les limites de vitesse en vigueur (entre 30 km/h et 50 km/h).

Suivre l'itinéraire commandé par le GPS (HUD).

Tenir compte des autres usagers de la route.

Test divisé en 3 séquences de conduite. Au cours de ces 3 séquences vous allez rencontrer des situations d'urgence auxquelles vous devrez réagir le mieux possible comme vous le feriez au volant de votre propre véhicule.

### Situation freinage d'urgence :

A un instant t sur le parcours, alors que le GPS indique au sujet de continuer tout droit, un véhicule stationné dissimulé par un camion s'insère brusquement jusque devant le véhicule piloté et bloque le passage, forçant le sujet à freiner brusquement pour éviter la collision.

### Situation - blind spot à droite :

A un instant t sur le parcours, alors que le GPS indique au sujet de tourner à droite à une intersection, l'arrivée d'un 2 roues est simulée (invisible dans les rétroviseurs) à l'arrière droit du véhicule, forçant le sujet à arrêter sa manœuvre en cours pour éviter la collision.

### Situation - blind spot à gauche :

Situation identique à une intersection à gauche.

---

## 4. Résultats - Test unitaire de l'alerte de collision avant

### Comportement de conduite

#### Nombre de collisions

Parmi les 29 sujets, un seul participant est systématiquement rentré en collision avec le véhicule de tête lorsque celui-ci freinait brusquement (8 collisions sur 9 situations). Ce sujet a déclaré être fortement gêné par le système de commande, en particulier la pédale de frein ("je n'ai pas de sensation de freinage") et ce malgré une phase de familiarisation. Nous avons donc exclu ce participant de notre analyse.

Concernant les autres sujets, seulement 5 d'entre eux sont entrés en collision avec le véhicule de tête durant la phase de test, totalisant ainsi 5 collisions seulement sur 246 essais (soit 1.2% des observations), dont 3 pour les sujets assistés par l'interface standard et 2 par l'interface Advise (cf Tableau 9). Comparativement à une interface standard déjà disponible sur de nombreux véhicules, l'interface Advise se révèle donc aussi efficace pour éviter les accidents.

#### Stratégie d'évitement

Lors de cette phase de test nous avons également mesuré le nombre de tentatives d'évitement (volonté de changer de voie pour éviter la collision avec le véhicule à l'avant) durant les situations de freinage d'urgence. On note que les sujets sont très peu nombreux à avoir choisi cette stratégie : seulement 7 évitements au total sur 246 essais (soit 2,8% des observations) dont 4 pour les sujets assistés par l'interface standard et 3 par l'interface Advise (cf Tableau 9).

La stratégie privilégiée pour répondre à la consigne de test et donc éviter la collision est le freinage massif et non pas l'évitement.

Comparativement à une interface standard déjà disponible sur de nombreux véhicules, l'interface Advise ne modifie pas la stratégie de conduite dans des situations de freinage d'urgence.

	Interface standard	Interface Advise	Total
Nombre de collisions	3	2	5
Nombre d'évitements	4	3	7

Tableau 9 : Nombre de collisions et d'évitements pour les interfaces de collision avant

## Temps de réaction au freinage

Durant la phase de test, nous avons également mesuré le temps de réaction au freinage, c'est à dire le temps entre l'affichage de l'alerte (conditionné par le freinage du véhicule avant) et l'appui sur la pédale de frein par les sujets (supérieur à 5% pour éviter de détecter un appui déjà en cours avant la situation). Nous avons ainsi pu vérifier si ce temps de réaction pouvait être plus long pour les sujets assistés par l'interface standard que pour ceux assistés par l'interface Advise.

	Interface Advise	Interface standard
<b>Moyenne</b>	1,170	1,219
<b>Médiane</b>	1,125	1,154
<b>Ecart-type</b>	0,278	0,214

Tableau 10 : Tendance centrale du temps de réaction au freinage pour les interfaces de collision avant

D'un point de vue global, les temps de réaction semblent relativement proches d'une interface à l'autre. Les résultats de l'ANOVA ne révèlent d'ailleurs aucune différence significative entre les sujets assistés par l'interface standard et ceux assistés par l'interface.

Comparativement à une interface standard déjà disponible sur de nombreux véhicules, **l'interface Advise se révèle donc aussi efficace pour assister le conducteur** dans sa réaction face à un freinage d'urgence.

## Données subjectives

### Charge mentale

De la même manière que pour l'interface blind spot lors du test unitaire de la phase 1, les sujets ont été interrogés sur le coût cognitif que suppose l'exécution des tâches de conduite avec l'interface d'alerte de collision avant. La figure suivante (cf Figure 17) représente les moyennes des 4 facteurs mesurés, à savoir l'exigence mentale (importance de l'attention et du travail mental imposés par la tâche de conduite et par les informations du véhicule), l'exigence visuelle (importance de la charge visuelle imposée par les informations visuelles), la perturbation (niveau de gêne provoqué par le système) et la performance (en termes de sécurité et d'efficacité). Pour rappel, ces 4 facteurs étaient notés sur une échelle de 1 à 10.

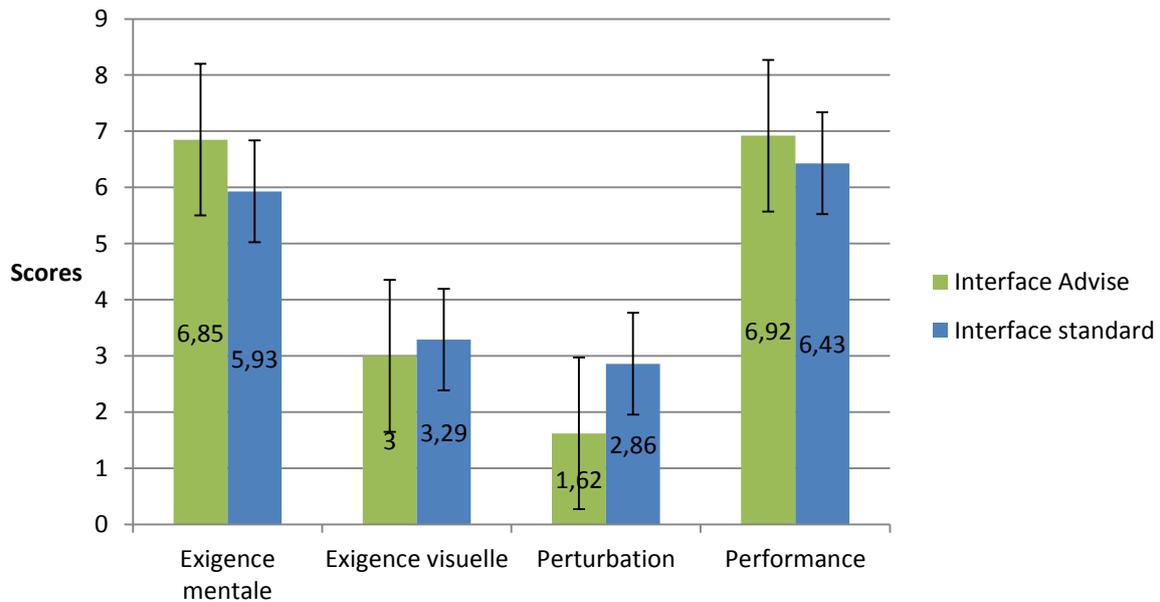


Figure 13 : Scores moyens de charge mentale pour les interfaces de collision avant

Des tests de Mann-Whitney ont été réalisés pour comparer les scores d'exigence mentale, d'exigence visuelle, de perturbation et de performance de conduite entre les deux interfaces. Les résultats de ces tests ne nous montrent aucune différence significative pour les scores d'exigence mentale ( $U=74$ ;  $p=0,0416$ ), d'exigence visuelle ( $U=93$ ;  $p=0,941$ ), de perturbation ( $U=108,5$ ;  $p=0,340$ ) et de performance de conduite ( $U=77,5$ ;  $p=0,522$ ).

### Acceptabilité

De la même manière que pour l'interface blind spot lors du test unitaire de la phase 1, les sujets ont été interrogés sur l'acceptation subjective de l'interface d'alerte de collision avant

La figure suivante (cf Figure 18) présente les scores d'utilité et de satisfaction des questionnaires pour chacune des deux interfaces évaluées.

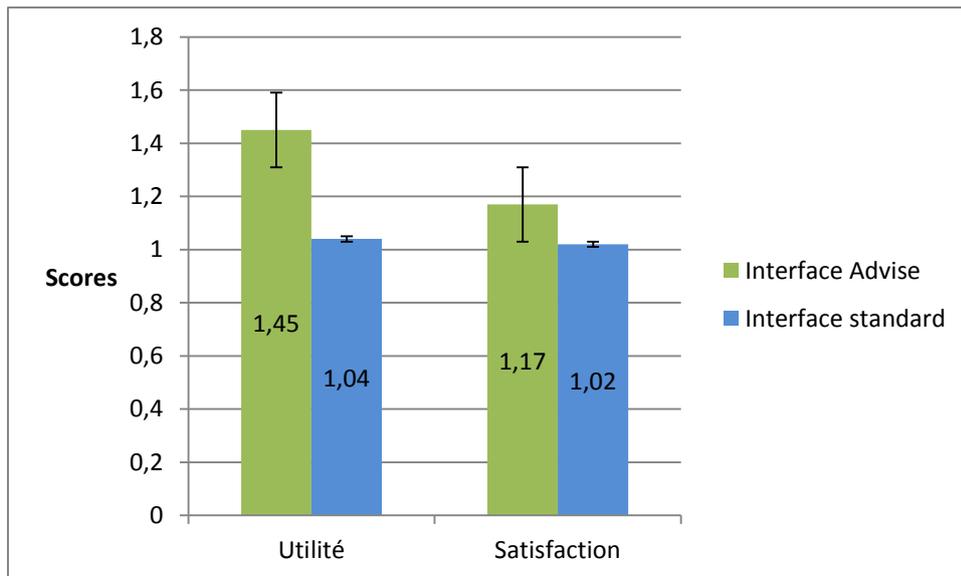


Figure 14 : Scores moyens d'acceptabilité des interfaces de collision avant

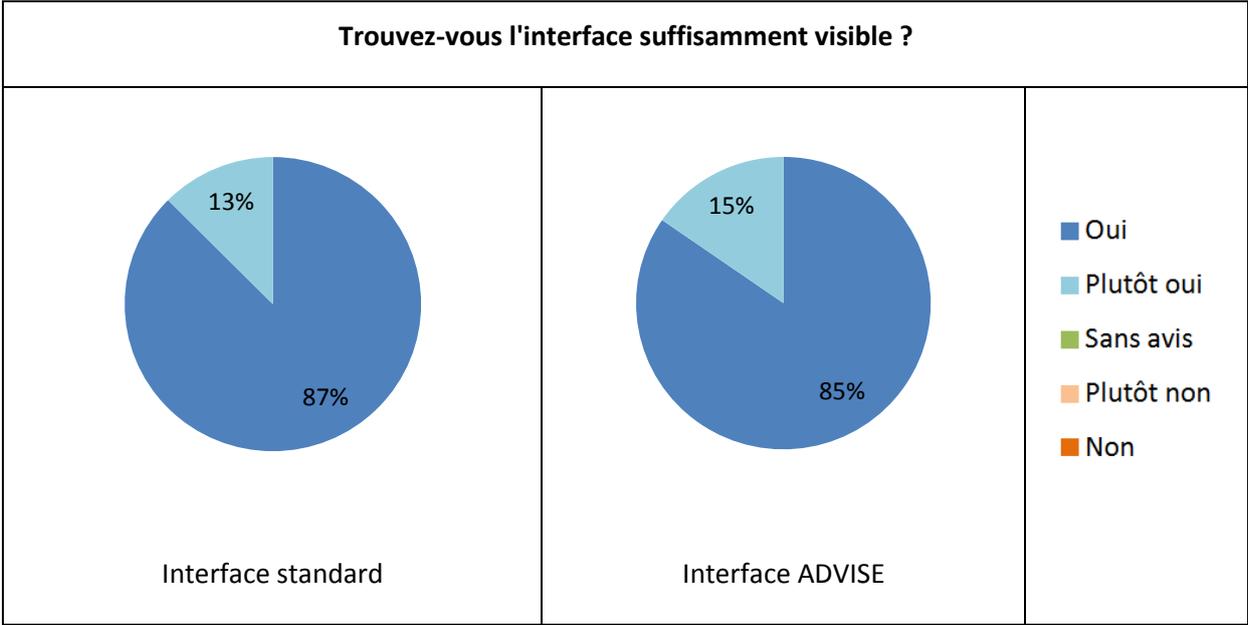
Des tests de Mann-Whitney ont été réalisés pour comparer les scores d'utilité et de satisfaction des deux interfaces. Les résultats ne montrent aucune différence significative (respectivement  $U=122$ ;  $p=0,135$  et  $U=99,5$ ;  $p=0,694$ ).

L'étude de la charge de travail liée à la conduite avec l'une ou l'autre des interfaces et de l'acceptabilité de ces deux interfaces ne semble pas montrer de préférence massive des sujets pour l'un ou l'autre des interfaces.

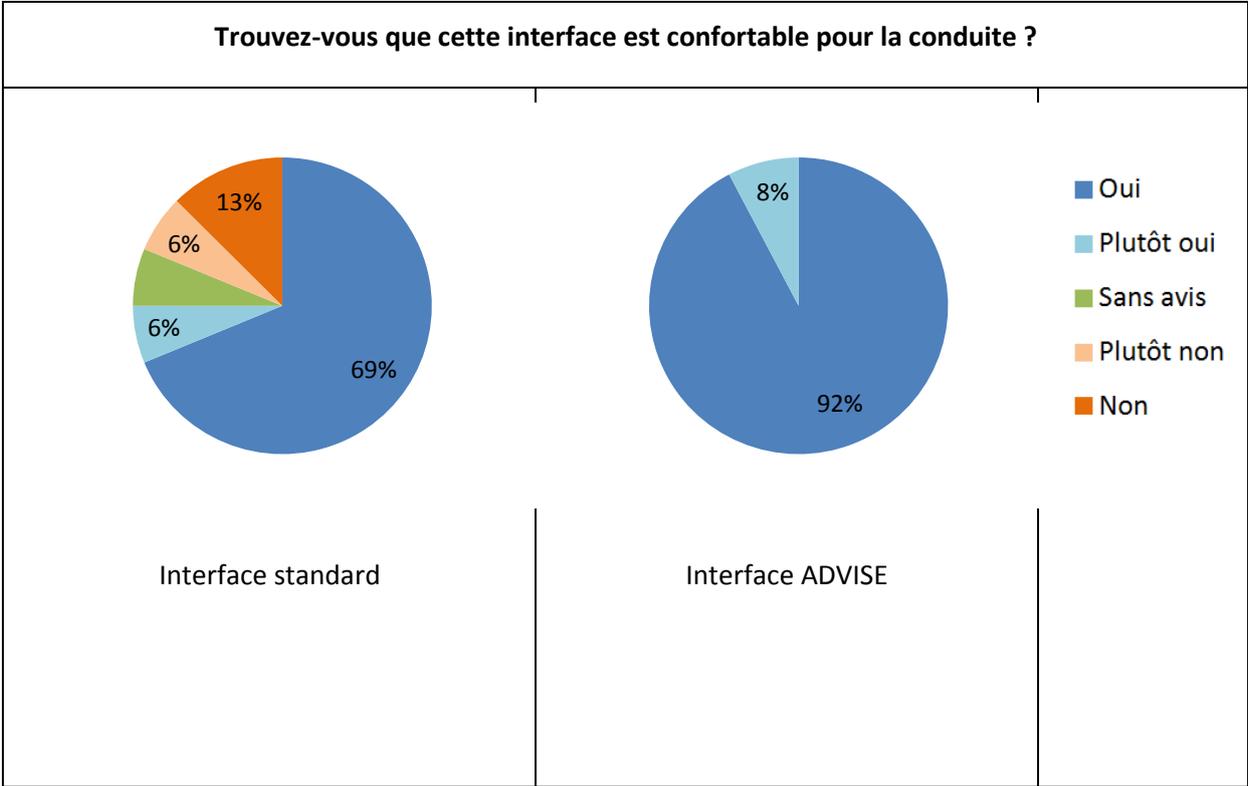
### Ergonomie de l'interface

Pour rappel, les sujets étaient interrogés sur la visibilité, la compréhension, l'utilité présumée et la pertinence de l'interface d'assistance proposée. L'objectif ici était d'obtenir des retours subjectifs plus ouverts permettant d'affiner les données concernant le ressenti général des sujets pour chacune des deux interfaces.

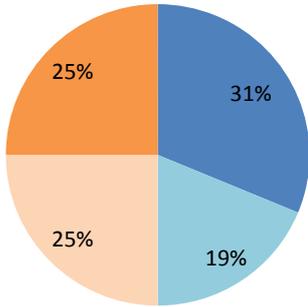
Concernant tout d'abord la visibilité, il apparaît que les deux interfaces sont jugées toutes les deux très visibles, sans distinction (cf figures ci-après). On note ici que pour les raisons techniques, les deux interfaces ont été implémentées sur l'écran central du simulateur. Bien que les positions soient respectées dans le visuel du simulateur, elles sont relativement proches les unes des autres, ce qui pourrait expliquer cette notation très similaire concernant la visibilité des interfaces. Pour de prochaines études sur ce même type d'interface, il serait pertinent d'utiliser un écran déporté derrière le volant pour simuler le tableau de bord.



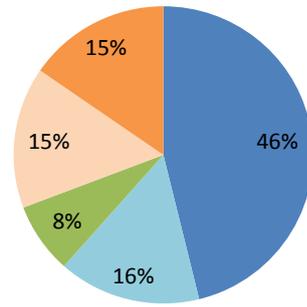
Néanmoins, 92% des sujets trouvent que l'interface Advise est confortable pour la conduite contre 69% pour l'interface standard. La tendance est la même lorsque les sujets sont interrogés sur la capacité de l'interface à augmenter la vigilance et à les aider à régir à une situation de freinage d'urgence (cf figures ci après).



**Pensez-vous que l'interface peut vous aider à être plus vigilant(e) ?**



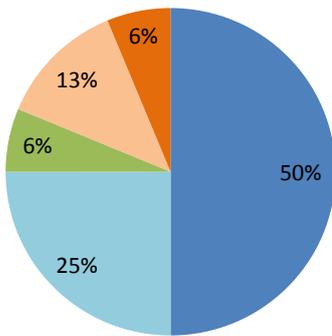
Interface standard



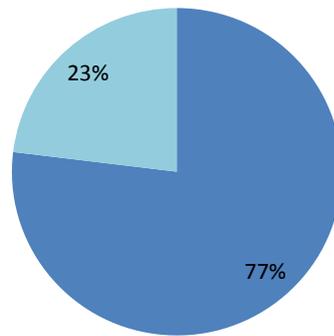
Interface ADVISE

- Oui
- Plutôt oui
- Sans avis
- Plutôt non
- Non

**Pensez-vous que l'interface peut vous aider à réagir ?**



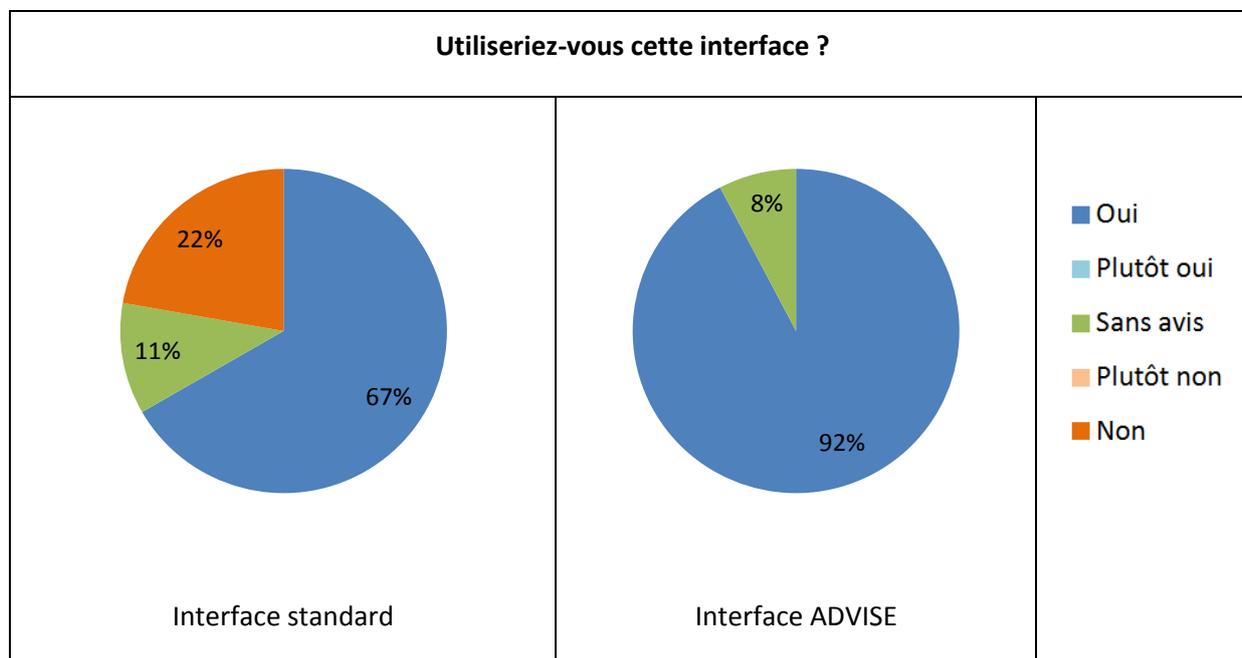
Interface standard



Interface ADVISE

- Oui
- Plutôt oui
- Sans avis
- Plutôt non
- Non

Enfin, les sujets sont plus nombreux à se projeter dans l'utilisation de l'interface Advise que de l'interface standard : 92% des sujets ayant testés l'interface Advise pense qu'ils pourraient utiliser cette interface contre 67% de ceux ayant testés l'interface standard.



De manière générale les deux interfaces sont plutôt bien évaluées. Les sujets sont nombreux à déclarer qu'elles sont « sécurisantes », « rassurantes » ou qu'elles sont utiles pour « aider à la décision » ou « à être plus réactif ».

Certains souhaiteraient qu'elles soient couplées avec une alerte sonore spécifique et parfois un système de graduation de l'alerte en fonction de la distance avec le véhicule à l'avant (par exemple un aplat orangé lorsque la distance est dangereuse et rouge lorsqu'elle est critique).

	Interface standard	Interface Advise	Total
<b>Sécurisante, utile pour la sécurité</b>	6	7	13
<b>Ajouter une alerte sonore</b>	5	4	9
<b>Grader l'alerte</b>	2	2	4

**Tableau 11 : Analyse des verbatims concernant les interfaces de collision avant**

*Lecture du tableau : Interface sécurisante ou utile pour la sécurité citée par 6 sujets ayant testé l'interface standard et 7 sujets ayant testés l'interface Advise.*

Sans pouvoir l'expliquer par l'étude des verbatims des sujets, on remarque que l'interface Advise d'alerte de collision avant est légèrement plus appréciée par les sujets que l'interface standard. **La préférence est très peu marquée car dans l'ensemble les deux interfaces sont plutôt bien notées.**

## 5. Résultats - Test en situation complexe

L'objectif de ce test était d'évaluer les interfaces développées dans une expérimentation intégrant la complexité des véhicules actuels, notamment les systèmes d'affichage embarqués et plus précisément d'étudier de quelle façon elles peuvent s'intégrer aux autres systèmes d'informations embarqués sans altérer la performance de conduite.

Nous avons évalué les deux interfaces au sein de 3 scénarios présentant une situation unique (freinage d'urgence suite à une insertion d'un véhicule à l'avant, véhicule de type 2 roues arrivant par surprise sur la gauche et la droite à une intersection).

### Interface d'alerte de collision avant

Parmi les 26 sujets ayant réalisé ce scénario, 1 seul n'a pas compris la nature de la situation et est sorti de la zone de conduite. Nous avons donc exclu ses résultats de l'analyse.

Durant ce scénario unique, nous avons tout d'abord mesuré le nombre de collision avec le véhicule gêneur s'insérant brusquement devant le véhicule piloté. On remarque ainsi que sur les 26 sujets ayant réalisé ce scénario, seulement 2 sont entrés en collision avec le véhicule gêneur. Les 2 sujets en question étaient assistés par l'interface standard.

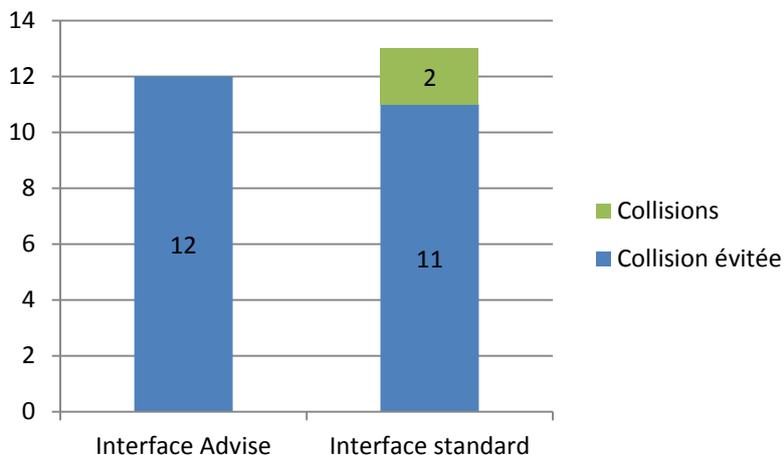


Figure 15 : Répartition des collisions pour les interfaces de collision avant en situation complexe

De manière générale, plus de 92% des sujets ont évité la collision, ce qui implique **une bonne performance de conduite générale, toute interface d'assistance confondue.**

Nous avons également mesuré le temps de réaction au freinage de différente manière :

- **TR affichage/5%** : Temps (en secondes) entre l'affichage de l'alerte et l'appui sur la pédale de frein par les sujets (au delà à 5%)
- **TR affichage/100%** : Temps (en secondes) entre l'affichage de l'alerte et l'appui complet sur la pédale de frein par les sujets (à 100%)
- **TR voiture/5%** : Temps (en secondes) entre l'apparition du véhicule gêneur à l'avant et l'appui sur la pédale de frein par les sujets (au delà à 5%)
- **TR voiture/100%** : Temps (en secondes) entre l'apparition du véhicule gêneur à l'avant et l'appui complet sur la pédale de frein par les sujets (à 100%)

Nous avons ainsi pu vérifier si ces temps de réaction pouvaient être plus longs pour les sujets assistés par l'interface standard que pour ceux assistés par l'interface Advise.

D'un point de vue global, les temps de réaction semblent relativement proches d'une interface à l'autre (cf Tableau 12).

Les résultats de l'ANOVA ne révèlent d'ailleurs aucune différence significative entre les sujets assistés par l'interface standard et ceux assistés par l'interface pour l'ensemble des temps de réaction mesurés.

	Interface standard		Interface Advise	
	TR voiture/5%	TR affichage/5%	TR voiture/5%	TR affichage/5%
Médiane	0,880	0,320	0,991	0,432
Moyenne	0,943	0,385	0,964	0,413
Ecart-type	0,185	0,184	0,094	0,095

	Interface standard		Interface Advise	
	TR voiture/100%	TR affichage/100%	TR voiture/100%	TR affichage/100%
Médiane	0,912	0,368	1,007	0,448
Moyenne	0,977	0,420	0,987	0,443
Ecart-type	0,195	0,193	0,093	0,103

**Tableau 12: Temps de réaction au freinage pour les interfaces de collision avant en situation complexe**

Nous avons également comparé la différence de temps entre l'appui à 5% et l'appui à 100% pour l'ensemble des sujets, autrement dit entre le premier appui significatif sur la pédale de frein et l'appui complet. Il s'avère que les sujets assistés par l'interface Advise semblent appliquer un freinage complet légèrement plus rapidement que ceux assistés par l'interface standard (de l'ordre de 12 ms en moyenne), sans pour autant que cette différence observée soit significative.

Du point de vue des performances et du comportement de conduite des sujets, les deux interfaces d'assistance ne semblent donc pas impacter différemment les conducteurs. Nous pouvons expliquer cette relative égalité d'impact par les différents verbatims recueillis pendant les tests. En effet, sur l'ensemble des 26 sujets (toute interface confondue) ayant réalisé ce scénario, 10 d'entre eux déclarent ne pas avoir vu l'alerte et 10 autres déclarent avoir vu l'alerte après le véhicule. Aussi, 20 sujets ont déclaré ne pas avoir pris en compte l'alerte pour appliquer un freinage sur cette situation.

Néanmoins, lorsque l'on s'intéresse aux discours respectifs de chacun des deux groupes de sujet, on remarque des différences notables. En effet, seulement 2 sujets assistés de l'interface Advise n'ont pas vu l'alerte contre 8 pour l'interface standard. Par ailleurs, 4 sujets assistés de l'interface Advise

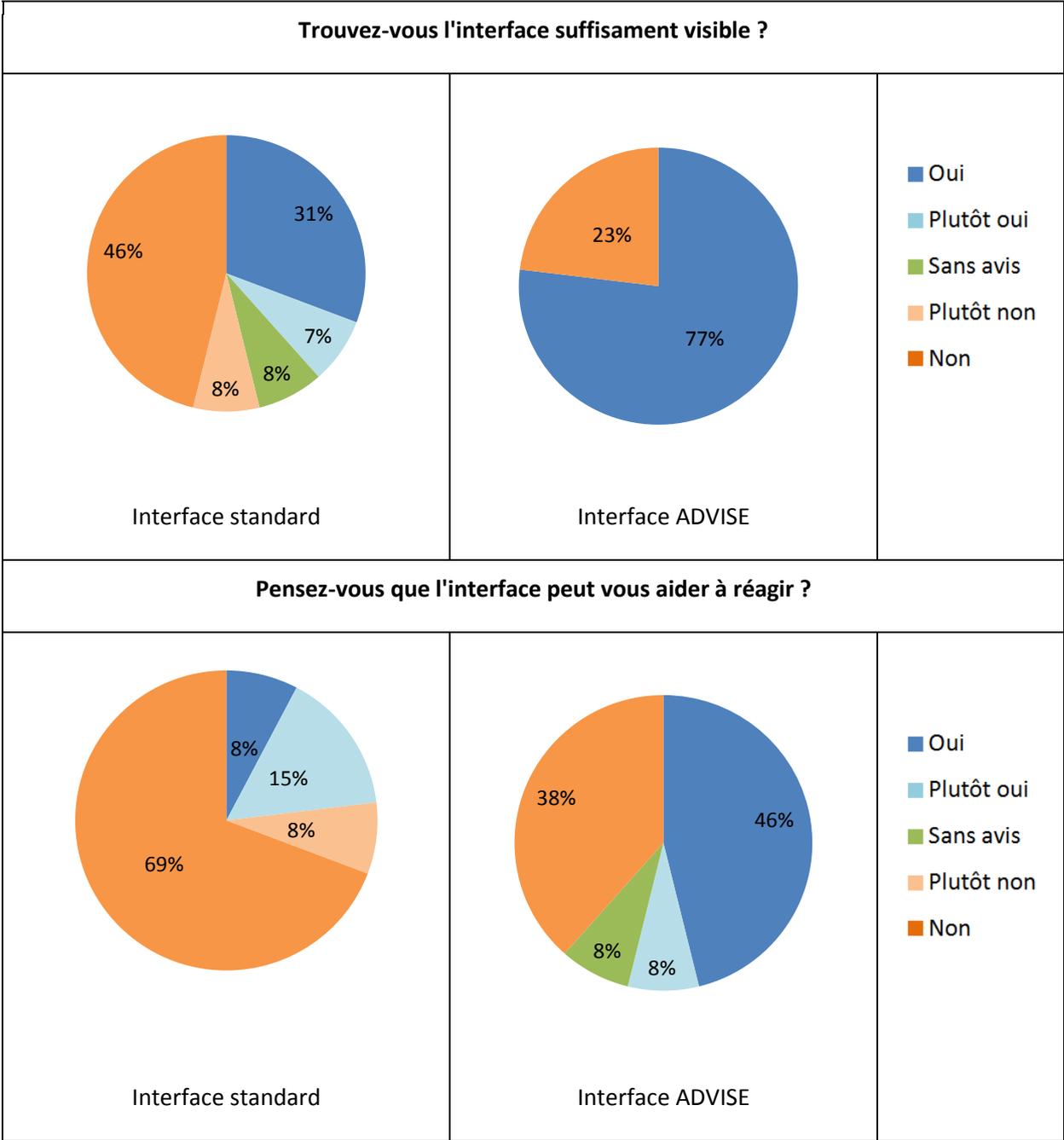
ont déclaré avoir vu l'alerte au même moment que le véhicule contre aucun sujet assisté par l'interface standard.

	Interface standard	Interface Advise	Total
Vu le véhicule et l'alerte en même temps	0	4	4
Vu le véhicule avant l'alerte	4	6	10
Vu le véhicule et pas l'alerte	8	2	10
N'a pas compris la situation	0	1	1
Réagir à l'alerte	1	0	1

**Tableau 13 : Analyse des verbatims concernant les interfaces de collision avant en situation complexe**

*Lecture du tableau : 4 sujets assistés par l'interface Advise ont déclaré avoir vu le véhicule gêneur et l'alerte de collision avant au même moment*

Ces premières impressions semblent confirmées par les retours subjectifs des sujets concernant les deux types d'interfaces. En effet, seulement 31% des sujets assistés par l'interface standard la trouvent suffisamment visible contre 77% pour les sujets assistés par l'interface Advise. De même seulement 23% des sujets assistés par l'interface standard la trouvent plutôt pertinente pour les aider à réagir à des situations de freinage d'urgence contre 54% pour l'interface Advise.



Malgré un contexte complexe (environnement urbain, situation d'urgence et interface embarquée supplémentaire) l'ensemble des sujets a montré une bonne performance de conduite générale, sans qu'elle diffère significativement entre ceux assistés par l'interface standard et ceux assistés par l'interface Advise. Il se dégage des verbatims que la situation de conduite n'est pas assez surprenante pour rendre l'interface pertinente et donc observer une réelle différence de comportement. Néanmoins, les retours concernant les deux interfaces montrent que l'interface Advise est préférée à l'interface standard.

## Interface de type blind spot

Ce scénario de conduite présentait deux situations spécifiques. Dans les deux cas, les sujets ont pour consigne de suivre les indications de leur GPS tout en étant attentif à leur environnement de conduite. Dans la première situation, les sujets doivent tourner à droite à une intersection, et tandis qu'ils amorcent leur manœuvre, l'apparition d'un deux roues dans l'angle mort droit est simulée et est indiquée au sujet par l'une ou l'autre des alertes de type blind spot. La seconde situation est similaire mais le sujet doit cette fois-ci tourner à gauche.

Lors de chacune de ces situations nous avons mesuré la présence ou non de réaction de la part des sujets mais également, le cas échéant, le temps de réaction des sujets dès l'apparition de l'alerte. La réaction attendue est que malgré l'ordre de tourner à droite ou à gauche, ils stoppent ou modifient leur manœuvre en cours pour éviter un danger venant de l'arrière. Le temps de réaction est donc mesuré entre l'apparition de l'alerte et l'appui sur la pédale de frein ou le changement de l'angle volant (si le sujet est déjà en train de freiner pour réaliser sa manœuvre).

Concernant la situation à droite, on remarque que sur les 13 sujets assistés par l'interface standard, seulement 5 n'ont pas évité l'accident, ou autrement dit n'ont eu aucune réaction à l'apparition de l'alerte et ont continué leur manœuvre normalement. A l'inverse, sur le même nombre de sujets assistés par l'interface Advise, 10 l'ont évité. On comptabilise ainsi 8 accidents pour les sujets assistés par l'interface standard contre seulement 2 pour l'interface Advise (cf Figure 20).

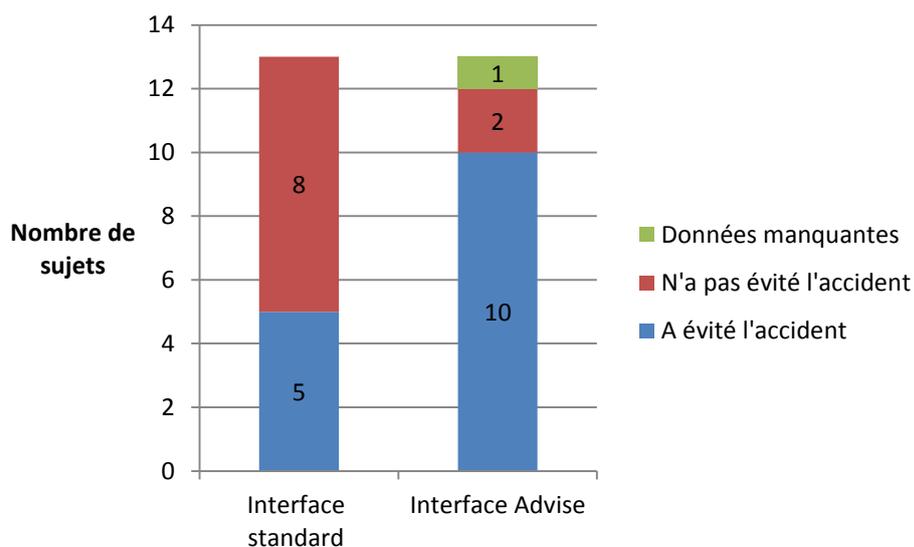


Figure 16 : Nombre d'accidents observés pour les situation blind spot à droite

La tendance est encore plus significative lorsque l'on analyse les situations à gauche. En effet, seul 1 sujet assisté par l'interface standard a évité l'accident contre 6 assistés par l'interface Advise. On totalise ici 11 accidents pour les sujets assistés par l'interface standard contre 7 pour les sujets assistés par l'interface Advise (cf Figure 21).

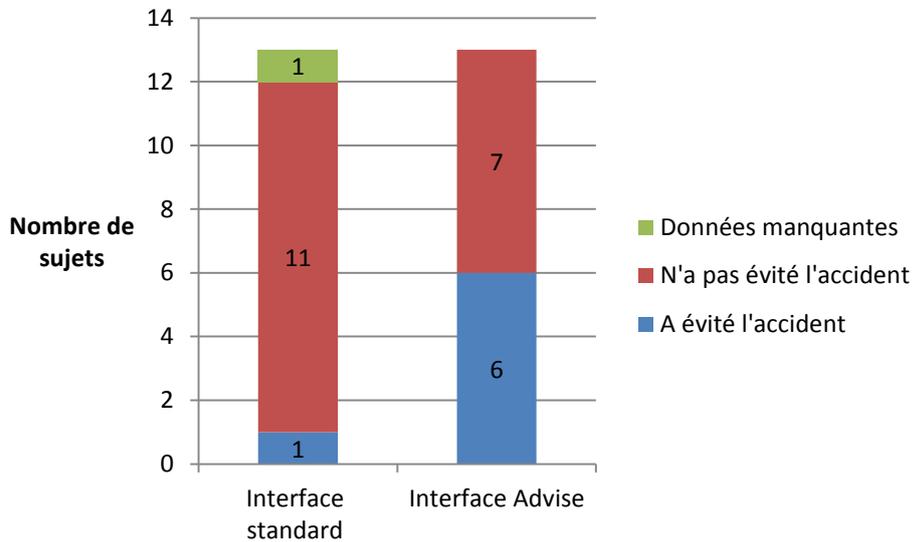


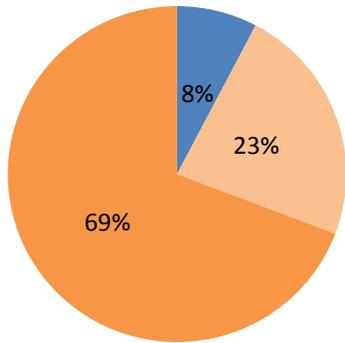
Figure 17 : Nombre d'accidents observés pour les situations blind spot à gauche

Cette différence d'accidents semble indiquer que l'interface Advise est plus efficace que l'interface standard pour prévenir les accidents de ce type, lorsque d'autres informations embarquées peuvent perturber le conducteur. Les résultats des Chi 2 réalisés montrent une différence significative du nombre d'accident entre les deux conditions de conduite et ce pour les situations à droite et à gauche (respectivement  $K^2=5,24$ ;  $p<0,05$  et  $K^2=4,28$ ;  $p<0,05$ ).

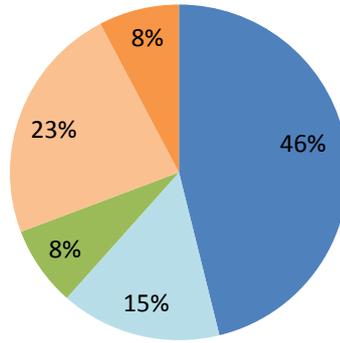
A la vue des effectifs des accidents, la comparaison des temps de réaction ne peut être réalisée pour les situations à gauche. Concernant les situations à droite, les temps de réaction des sujets ayant réagi aux alertes ne sont pas significativement différents entre les deux conditions de conduite ( $U=13$ ;  $p=0,671$ ).

Cette meilleure efficacité de l'interface Advise est confirmée par les réponses des sujets aux questionnaires de fin de tests. En effet, 61% des sujets assistés par l'interface Advise la trouve plutôt bien visible. Ils sont par ailleurs 70% à la trouver pertinente pour les aider à réagir à des situations d'urgence du même type. A l'inverse, seulement 8% des sujets assistés par l'interface standard la trouve plutôt bien visible et pertinente (cf figures ci après)

**Trouvez-vous l'interface suffisamment visible ?**



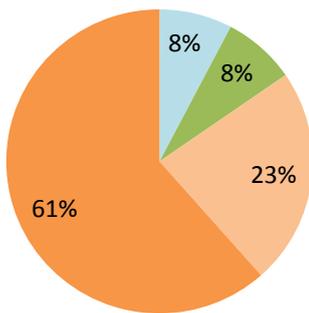
Interface standard



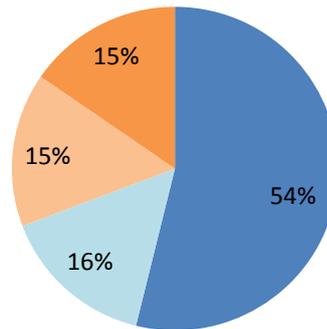
Interface ADVISE

- Oui
- Plutôt oui
- Sans avis
- Plutôt non
- Non

**Pensez-vous que l'interface peut vous aider à réagir ?**



Interface standard



Interface ADVISE

- Oui
- Plutôt oui
- Sans avis
- Plutôt non
- Non

# VI. Discussion

---

Pour aider les seniors à faire face aux situations de conduite les plus complexes, les systèmes avancés d'aide à la conduite (ADAS) sont des solutions particulièrement adaptées. Parmi les ADAS les plus avancés, les systèmes de Blind Spot Warning (détection de véhicules dans l'angle mort) et de Forward Collision Warning (risque de collision avant), représentent des solutions pertinentes et prometteuses pour cette catégorie de conducteur.

Dans le cadre du projet Advise, nous avons développé une interface pour ces deux types d'ADAS, l'une comme l'autre adaptée aux capacités visuelles et cognitives des conducteurs âgés présentant une atteinte visuelle débutante.

L'objectif du projet était d'évaluer sur simulateur de conduite, les effets de ces interfaces (interfaces Advise) sur la performance et les comportements de conduite comparativement aux effets d'interfaces correspondantes standard, prototypiques existantes sur certains types de véhicules.

## **Interface Advise de type Blind spot**

De manière globale, nous constatons qu'avec l'interface Advise, les seniors ont des performances de conduite à minima aussi bonnes qu'avec une interface standard, aussi bien sur le nombre d'accidents, le temps de réaction que le positionnement latéral. Nous n'observons pas non plus d'effet délétère de l'interface qui pourrait mettre les conducteurs en situation à risque.

Nous observons en revanche qu'en situation complexe notre interface se montre plus pertinente pour éviter les accidents. Dans ces situations où le conducteur doit prendre en compte un nombre conséquent d'information dans un laps de temps réduit, l'interface standard, dont la prise d'information repose exclusivement sur la vision fovéale est négligée ou non perçue et les conducteurs ne contrôlent pas ou peu les zones à risque. A l'inverse, l'interface Advise pallie à ce manque ou à cette négligence en fournissant l'information pertinente autour de l'axe de vision centrale en vision périphérique.

Il apparait également que l'interface Advise est moins négligée (autrement dit ignorée). La négligence observée en particulier avec l'interface standard est un comportement potentiellement à risque puisque le système indique toujours la présence d'un véhicule dans l'angle mort. Ceci peut être en partie induit par le protocole expérimental répétitif qui amène les sujets à anticiper la fin des situations. Cependant il s'agit d'une prise de risque que les conducteurs prennent moins avec

l'interface Advise. Elle pourrait donc s'avérer plus pertinente pour alerter le conducteur, le maintenir dans un comportement adapté au regard de la situation et l'amener à réagir rapidement.

Par ailleurs, nous avons observé l'interface Advise permet au conducteur de se focaliser plus sur la route. En effet garder la vision fovéale sur la route permet de mieux contrôler la régulation longitudinale. Nos résultats semblent suggérer que la prise de l'information sur l'interface se réalise via la vision périphérique. Il s'agit de voir et comprendre sans regarder. Elle permet de prendre l'information latérale dans l'angle mort en concédant moins qu'une interface classique sur le contrôle longitudinale. Ainsi l'interface optimise à un moment crucial de la conduite la position du regard du conducteur en lui permettant de mieux prendre en compte la dynamique longitudinale. En cas de freinage intempestif des véhicules avant le conducteur percevra plus facilement le changement de situation et pourra donc agir plus rapidement en cas de besoin. Le changement de voie se fait par ailleurs de manière aussi sécurisée qu'avec une interface classique lors du test unitaire.

Enfin, l'évaluation subjective montre que les conducteurs sont moins perturbés par la configuration de notre interface que l'interface standard. De plus on observe que les conducteurs tendent à trouver que notre interface mobilise moins de ressources attentionnelles et jugent leur capacité à faire face à la situation comme tendant à être meilleure. Elle est également mieux acceptée que l'interface standard, c'est dire que les conducteurs sont plus satisfaits de l'interface et la trouvent plus utile.

### **Interface Advise de type Forward Collision**

De manière globale, nous constatons qu'avec l'interface Advise, les seniors ont des performances de conduite à minima aussi bonnes qu'avec une interface standard, aussi bien sur le nombre d'accidents que le temps de réaction au freinage. Les performances de conduite évaluées, aussi bien en test unitaire qu'en condition complexe, ne diffèrent pas entre les sujets assistés par l'interface standard et ceux assistés par l'interface Advise. Comparativement à une interface standard déjà disponible sur de nombreux véhicules, l'interface Advise se révèle donc aussi efficace pour assister le conducteur dans sa réaction face à un freinage d'urgence.

Par ailleurs, l'évaluation subjective ne montre pas non plus une différence majeure entre les deux interfaces. Dans l'ensemble, les deux donnent une bonne satisfaction aux conducteurs et les deux sont trouvées utiles dans des situations de conduites spécifiques.

Cette relative similarité dans l'évaluation de ce type d'interface est à imputer en partie à l'implémentation des affichages sur le simulateur de conduite. En effet, pour des raisons techniques, les deux interfaces ont été implémentées comme deux affichages tête haute et non comme un

affichage tête haute (interface Advise) et un affichage sur le tableau de bord. Cette absence de différence dans les résultats n'est donc pas surprenante.

## VII. Conclusion

---

Notre étude a permis de mettre en évidence que l'interface Advise dédiée au Blind spot était aussi efficace que l'interface standard mais qu'elle pouvait être particulièrement adaptée à certaines situations plus complexes en permettant au conducteur de percevoir rapidement un danger et d'agir pour éviter l'accident. Cette interface optimise également le contrôle longitudinal en permettant au conducteur de garder plus longtemps la vision fovéale sur la scène routière avant. Le conducteur peut recourir à sa vision périphérique pour prendre de l'information via l'interface sur le contrôle latéral. Cette interface est également bien acceptée par les usagers qui la trouvent utile et satisfaisante.

Cette étude nous permet donc de faire quelques recommandations dans l'élaboration d'interfaces pour les seniors en incluant ceux présentant une atteinte de la vision débutante. Le système d'affichage tête haute (ou HUD) est une solution intéressante et relativement adaptée aux seniors. Au delà d'être adaptée, elle est également bien appréciée par ces derniers et la plupart se projettent dans une utilisation au quotidien. La projection spatiale de l'alerte sur l'environnement routier apparaît comme très intéressante pour localiser le danger et réagir promptement. Enfin, cette interface met en avant le rôle de la vision périphérique qui est une modalité particulièrement intéressante à prendre en compte pour le développement et le design des interfaces véhiculaires.

Néanmoins il est nécessaire de rappeler que la solution que nous avons testée n'est pas techniquement réalisable à ce jour, même si certains équipementiers et constructeurs travaillent actuellement à l'élaboration de ce type de solution. Parmi eux on peut citer PSA, Hyundai ou encore Continental comme les exemples présentés dans le document 1 du livrable A.

Un autre point important est que ce type d'interface n'est pertinent que lorsque le conducteur en a besoin ou qu'il l'active. Nous pensons qu'il pourrait être ainsi activé conjointement au clignotant. Les conducteurs pourraient en effet être gêné par une activation systématique à chaque entrée d'un véhicule dans leur angle mort alors qu'eux, par exemple, roulent sans dépasser sur la voie de droite. L'apparition régulière d'un élément visuel aussi imposant dans leur champ de vision pourrait les gêner, voir les amener à désactiver l'option.

Enfin, on peut imaginer qu'à court terme les voitures pourront être équipées de tels systèmes. C'est pourquoi il serait intéressant de pouvoir aller encore plus loin dans ce type de recherche pour tester les solutions de demain.