



L9.2 Recommandations en termes de besoins de communication avec les autres usagers et de postures acceptables et analyses associées

Work Package	WP9
Responsable du WP, affiliation	<i>Dominique Mignot, Hélène Tattegrain, Université Gustave Eiffel</i>
Livrable n°	D9.2
Version	V6
Auteur responsable du livrable	<i>Hélène Tattegrain, Dominique Mignot, Université Gustave Eiffel</i>
Auteurs, affiliations	<i>Hélène Tattegrain, UGE</i> <i>Dominique Mignot, UGE</i> <i>Rachid Amdaoud, LAB</i> <i>Valérie Battaglia, CEREMA</i> <i>Pascal Baudrit, CEESAR</i> <i>Philippe Beillas, UGE</i> <i>Thierry Bellet, UGE</i> <i>Stéphane Buffat, LAB</i> <i>Cyril Chauvel, LAB</i> <i>Henri Chajmowicz, LAB</i> <i>Anaïs Chetail, UGE</i> <i>Philippe Chrétien, CEESAR</i> <i>Nicolas Clabaux, UGE</i> <i>Lara Desire, CEREMA</i> <i>Jean-Baptiste Haue, LAB</i> <i>Vincent Judalet, VEDECOM</i> <i>Reakka Kroger, CEESAR</i> <i>Sylviane Lafont, UGE</i> <i>Vincent Ledoux, CEREMA</i> <i>Natacha Métayer, VEDECOM</i> <i>Laurence Paire-Ficout, UGE</i> <i>Philippe Petit, LAB</i> <i>Maud Ranchet, UGE</i> <i>Guillaume Saint Pierre, CEREMA</i> <i>Thierry Serre, UGE</i> <i>Gildas Thiolon, CEESAR</i> <i>Xavier Trosseille, LAB</i> <i>Clement Val, CEESAR</i> <i>Fallou Wadji, CEESAR</i>
Relecteurs, affiliations	<i>Dominique Mignot, UGE</i>
Statut du livrable	<i>Final</i>

Veuillez citer ce document de cette façon :

Tattegrain H., Mignot D., Amdaoud R., Battaglia V., Baudrit P., Beillas P., Bellet T., Buffat S., Chauvel C., Chajmowicz H., Chetail A., Chrétien P., Clabaux N., Desire L., Haue J.-B., Judalet V., Kroger R., Lafont S., Ledoux V., Métayer N., Paire-Ficout L., Petit P., Ranchet M., Saint Pierre G., Serre T., Thiolon G., Trosseille X., Val C., Wadji F. (2025) Livrable 9.2 : Recommandations en termes de besoins de communication avec les autres usagers et de postures acceptables et analyses associées, Projet Surca, financé par la FSR et la DSR, 77 p.

Historique des versions

Version	Date	Auteurs	Type des changements
V1	16/05/2022	Tattegrain H. Mignot D.	Présentation des recommandations lors du séminaire de clôture du projet SURCA, le 16 mai 2022
V2	08/06/22	Tattegrain H. Mignot D.	Plan du livrable
V3	30/06/2022	Tattegrain H. Mignot D.	Recommandations
V4	18/09/2024	Tous	Recommandations et analyses
V5	01/10/2024	Mignot D.	Relecture
V6	06/01/2025	Tattegrain H.	Intégration des retours, mise en page finale

Remerciements

Le Projet SURCA est financé par la dévolution de la Fondation Sécurité Routière, la Délégation à la sécurité routière et pour moitié par les partenaires du projet.



SYNTHESE

L'objectif global du projet SURCA était de contribuer à une meilleure intégration des véhicules autonomes dans la circulation actuelle. Il s'est agi ainsi d'identifier quelles interactions existent et quelles stratégies pertinentes sont mises en place par les conducteurs, afin de faire des recommandations aux concepteurs de véhicules autonomes sur les besoins en termes d'interactions et en termes de comportement du véhicule autonome. Les travaux nous ont permis de faire une trentaine de recommandations (pour les pouvoirs publics ou les constructeurs) afin que l'introduction des VA en circulation réelle n'induisse pas de nouveaux scénarios d'accidents.

L'objectif de ce livrable est de recenser l'ensemble des recommandations proposées par les partenaires et validées collectivement. Ces recommandations ont été regroupées en six catégories présentées lors de la journée de clôture du projet.

- Formation
- Communication
- Sécurité passive
- Gestion des Cut-in sur autoroute
- Gestion des changements de voies sur autoroute
- VA et réglementation/règles de l'art
- Gestion des cyclistes aux carrefours à feux
- Gestion des piétons
- Adaptation du VA au contexte
- Gestion des situations complexes

Une première recommandation a été faite en matière de **formation des conducteurs**. Elle vise à permettre aux conducteurs d'accéder à des simulateurs pour se familiariser avec le comportement du VA, car son acceptabilité repose fortement sur la confiance et la connaissance de son fonctionnement.

Deux recommandations sont faites en matière de **communication au grand public**. La première souligne la nécessité d'informer le grand public que l'automatisation totale (niveau 5) ne règlera pas toutes les questions de sécurité routière. En effet une simulation du projet SURCA suggère que l'automatisation des VL conduirait au mieux à une réduction de l'ordre de 60% des accidents corporels et mortels. La deuxième recommandation vise à éviter de faire croire que toutes les positions de siège seront possibles et à ne pas encourager des pratiques dangereuses dans les véhicules actuels.

Deux recommandations concernent la **sécurité passive**. La première est de mettre en place des dispositifs de protection adaptés aux nouvelles postures et la seconde d'instaurer des procédures de contrôle des dispositifs de sécurité prévus pour les nouvelles postures.

Trois recommandations ont été faites pour **gérer les phénomènes de « coupure de la route » (ou Cut-in) par anticipation**. La première est d'anticiper un ralentissement du trafic au-delà du véhicule s'insérant en réduisant le différentiel de vitesse, car un différentiel de vitesse de plus de 30 km/h entre les voies induit plus de cut-in agressifs. La seconde est d'augmenter les distances de sécurité pour éviter les rabattements risqués. La troisième est de détecter un des signes de rabattement agressifs pour anticiper le freinage et/ou se signaler et/ou changer de voie.

Trois recommandations ont également été faites pour **réduire les conséquences des cut-in**, dont la première est de limiter la décélération maximale du VA quand il subit un cut-in serré pour éviter de surprendre le véhicule suiveur et donc prévenir un choc fronto-arrière. La deuxième recommandation est que si un 2RM s'insère à vitesse positive ou nulle, le VA ne doit pas freiner, même si le temps inter-véhiculaire est court, car c'est inutile. La troisième adresse le cas d'un véhicule circulant sur une voie d'insertion et qui semble vouloir s'insérer devant un VA, qui doit alors adapter son inter-distance avec le véhicule qui le précède pour faciliter l'insertion.

Deux recommandations adressent les **changements de voies sur autoroute**. Lorsque le VA décide de réaliser un changement de voie sur une route à voies multiples, il doit être en mesure de détecter suffisamment tôt les 2RMs qui réalisent une remontée de file. Deuxièmement, le VA devra adapter sa vitesse pour qu'elle soit supérieure ou égale à celle du véhicule devant lequel il s'insère et laisser un temps inter-véhiculaire de 2 secondes avec ce véhicule.

Quatre recommandations concernent l'**adaptation des VA à la réglementation et aux règles de l'art** en matière d'aménagement et d'infrastructures. La première stipule que les fonctionnalités du VA doivent être en adéquation avec la conception des infrastructures. La seconde est que les guides d'aménagement servent à la définition des scénarios de validation de sécurité des VA, dit autrement que le VA connaisse les règles de l'art des aménagements. La troisième est que le VA doit obligatoirement mettre à jour ses bases de données en matière de réglementation, de code de la route ou d'aménagement. La quatrième est de faire évoluer les règles d'aménagement et l'évaluation des usages en fonction du taux de pénétration des VA.

Trois recommandations sont faites pour **gérer les cyclistes et EDPM** (engin de déplacement personnel motorisé) aux carrefours à feux. Tout d'abord, le VA doit intégrer des zones de détection spécifiques pour les cyclistes et EDPM, dans lesquelles ces derniers s'arrêtent souvent. Il doit les surveiller en continu pendant la traversée du carrefour pour s'assurer de leur arrêt. La deuxième recommandation est qu'en cas de présence avérée de cyclistes ou EDPM le VA doit traverser avec une faible vitesse. La troisième recommandation est que le VA ne doit pas utiliser la position latérale du cycliste et de l'EDPM pour anticiper leur manœuvre, la position seule n'étant que peu prédictive de sa manœuvre.

Trois recommandations proposent l'**adaptation du VA à la présence de piéton par la prévention**. Tout d'abord, en présence d'infrastructure routière où le piéton se considère comme « légitime » pour traverser (e.g., le passage piéton), le VA doit réduire son allure suffisamment en amont afin que le piéton perçoive la décélération, et puisse commencer à engager sa traversée avant même l'arrêt complet du véhicule. La deuxième recommandation est que le VA adapte sa cinématique de freinage en amont des traversées pour se rapprocher du comportement d'un véhicule conventionnel et évite de surprendre les piétons. La troisième recommandation est qu'en cas de présence de piéton, le VA doit baisser sa vitesse. Il doit ainsi baisser sa vitesse d'environ 10 km/h en urbain et de 8 km/h en zone rurale dans des sections droites, et dans les intersections sans changement de direction de 5 à 10 km/h.

Trois recommandations visent l'**adaptation du VA à la présence de piéton par la détection**. Le VA doit être en mesure de détecter les piétons et d'en suivre les mouvements (trajectoires, vitesse) afin d'anticiper les traversées possibles et les trajectoires de traversée, car les signes d'une intention de traverser sont difficilement détectables. La deuxième recommandation est que le VA doit pouvoir détecter le mieux possible un piéton même dans des conditions dégradées (masque à la visibilité, soleil en face...) et savoir gérer les détections tardives. Dans les cas de circulation à l'arrêt ou ralentie, la troisième recommandation est que la détection des piétons et cyclistes doit se faire dans l'ensemble des directions autour du véhicule pour anticiper les trajectoires entre véhicules, et que la VA doit avoir une vitesse très faible et ne pas considérer que le feu vert lui permet de traverser vite, la probabilité de traversée des piétons étant très élevée.

Cinq recommandations visent l'**adaptation du VA au contexte**. Une première recommandation propose de prévoir un système de profil du conducteur pour adapter le temps de notification et les modalités préférées pour s'adapter à ses capacités (auditives, visuelles...). Il faut également (deuxième recommandation) définir une distance d'arrêt devant le piéton pour le confort du piéton et qu'il se sente en sécurité. La troisième est que le VA adapte sa cinématique de freinage en amont des carrefours en fonction du régime de priorité pour éviter notamment de surprendre l'usager qui le suit (2RM ou VL), et éviter les freinages brusques lorsqu'il est suivi par une trottinette, car leur décélération maximale est 2 fois plus faible qu'une voiture.

Enfin, quatre recommandations sont proposées **pour gérer les situations complexes**. La première recommandation est qu'en cas de situation complexe "non gérable" par le VA, le VA doit s'arrêter de "manière sécurisée" pour permettre au conducteur de reprendre la main. La deuxième est qu'il faut définir des critères pour la conduite dégradée afin d'identifier les situations dans lesquelles le VA est bloqué, même s'il respecte le code de la route (exemple "forcer le passage" en urbain congestionné). Ces deux premières recommandations sont liées au fait qu'il existe dans la réalité des configurations complexes difficilement gérables par le VA. La quatrième recommandation est que le VA particulier doit être repris en main par le conducteur avant d'aborder un carrefour giratoire ayant souvent un trafic dense, ce qui peut et doit être anticipé. Et la quatrième est que la mise en place de VA pour le transport collectif doit prendre en compte les problèmes de passage des giratoires.

Ces recommandations sont faites aux constructeurs de véhicules automatisés, aux gestionnaires de flottes, mais également aux pouvoirs publics et à l'ensemble des usagers afin d'alerter sur les conditions et les limites de l'introduction de véhicules automatisés en circulation normale ainsi que sur les mesures d'accompagnement qui s'avèreraient nécessaires.

Deux autres sorties du projet Surca n'ont pas abouti à des recommandations mais à des questionnements utiles pour le déploiement des véhicules autonomes.

Le premier questionnement est le fruit de réflexions collectives à propos de recommandations non retenues car elles n'ont pas trouvé de consensus par l'ensemble des partenaires. Ces réflexions concernent la prise en compte de comportements des autres usagers pas forcément respectueux du code de la route. Elles avaient pour objectif :

- Soit de favoriser les remontées de file (recommandation non retenue : Lorsqu'un véhicule automatisé roule sur une route sur laquelle des 2RM sont susceptibles de réaliser des remontées de file, le VA doit se positionner dans sa voie de manière à faciliter la remontée de file),
- Soit de limiter les risques lorsque le 2RM roule à contre sens pour doubler un bouchon (recommandation non retenue : Savoir détecter une moto qui remonterait entre deux files et corriger son positionnement dans le couloir sans perturber les véhicules de l'autre côté),
- Soit de limiter les risques lors des remontées de files des usagers vulnérables véhiculés (trottinette, 2RM et cycliste) en se décalant à leur arrivées (recommandation non retenue : Savoir détecter des cyclistes ou trottinettes passant entre les véhicules et leur permettre de rejoindre le SAS cyclistes).

Les discussions initiées par ces propositions de recommandations ont mené à un constat plutôt d'ordre philosophique, qui porte sur un choix primordial entre deux concepts : **Est-ce que le VA doit s'adapter aux normes informelles des autres usagers même infractionnistes ?** ou alors **Est ce que le VA doit inciter les autres usagers à mieux respecter le code de la route ?**

Le deuxième questionnement concerne des discussions autour de la notion de prévisibilité des comportements des véhicules autonomes pour mieux permettre aux autres usagers de la route d'anticiper les déplacements des VA et donc de mieux gérer les interactions : **Faut-il que les VA aient des comportements qui reproduisent les comportements humains (notion de Mimétisme) ?** Ou **Faut-il que les VA aient des comportements propres reconnaissables (notion de Spécificité) ?**

Table des matières

SYNTHÈSE.....	3
TABLE DES MATIÈRES	6
TABLE DES FIGURES.....	7
TABLE DES TABLEAUX	8
1 INTRODUCTION	9
2 DÉMARCHE SUIVIE POUR L'ÉLABORATION DES RECOMMANDATIONS.....	10
3 RECOMANDATIONS EN TERMES DE FORMATION	11
3.1 FORMATION DES CONDUCTEURS	11
3.2 BESOIN DE RECHERCHE EN TERMES DE SUPPORTS DE FORMATION	14
4 RECOMMANDATIONS EN TERMES D'INFORMATION AU GRAND PUBLIC	15
4.1 IMPACT DE L'AUTOMATISATION SUR LA RÉDUCTION DES ACCIDENTS	15
4.2 POSTURE DES OCCUPANTS	19
5 RECOMANDATIONS EN TERMES DE SÉCURITÉ PASSIVE.....	21
5.1 DISPOSITIFS DE PROTECTION	21
5.2 PROCÉDURE DE VALIDATION DE LA SÉCURITÉ DES DISPOSITIFS	22
5.3 BESOIN DE RECHERCHE EN TERMES DE SÉCURITÉ PASSIVE	23
6 RECOMANDATIONS POUR GÉRER LES CUT-IN	24
6.1 GESTION DES INTER-DISTANCES	24
6.2 DÉTECTION DES CUT-IN	27
6.3 PRISE EN COMPTE DU TRAFIC.....	32
6.4 DÉCÉLÉRATION.....	34
6.5 TEMPS INTER-VÉHICULAIRE.....	36
6.6 INSERTION.....	38
7 RECOMANDATIONS POUR LES CHANGEMENTS DE VOIES SUR AUTOROUTE	40
7.1 DÉTECTION DES 2RM.....	40
7.2 VITESSE	42
8 RECOMANDATIONS POUR LE VA ET LES RÉGLEMENTATIONS/RÈGLES DE L'ART.....	44
8.1 PERFORMANCES DU VA	44
8.2 MISE À JOUR DU VA.....	45
8.3 MISE À JOUR DES RÈGLES D'AMÉNAGEMENT	46
8.4 SCÉNARIOS DE VALIDATION.....	47
9 RECOMANDATIONS POUR GÉRER LES CYCLISTE/EDPM AUX CARREFOURS À FEUX.....	48
9.1 ZONE DE DÉTECTION ET VITESSE	48
9.2 POSITION DES CYCLISTES/EDPM	50
10 RECOMANDATIONS POUR GÉRER LES PIÉTONS	52
10.1 VITESSE DU VA SELON L'INFRASTRUCTURE	52
10.2 FREINAGE DU VA.....	55
10.3 VITESSE DU VA EN PRÉSENCE DE PIÉTONS	56
10.4 DÉTECTION DES TRAJECTOIRES DES PIÉTONS	59
10.5 DÉTECTION DES PIÉTONS	62
10.6 ZONES DE DÉTECTION DES PIÉTONS.....	63
11 RECOMANDATIONS POUR L'ADAPTATION DU VA AU CONTEXTE.....	65
11.1 ADAPTATION AU CONDUCTEUR.....	65
11.2 ADAPTATION AUX USAGERS DEVANT LE VA	67
11.3 ADAPTATION DE LA DYNAMIQUE DU VA	68
11.4 ADAPTATION AUX INTERSECTIONS	70
11.5 ADAPIONS AUX USAGERS SUIVEURS.....	73
12 RECOMANDATIONS POUR GÉRER LES SITUATIONS COMPLEXES	74
12.1 GIRATOIRE POUR TRANSPORT PUBLIC.....	74
12.2 IDENTIFICATION DES SITUATIONS COMPLEXES	74
12.3 REPRISE EN MAIN.....	76
12.4 ARRÊT AVANT LES SITUATIONS COMPLEXES	76
13 CONCLUSION	77

Table des figures

Figure n° 1 : Expression des ressentis par les jeunes conducteurs avant et après la mise en situation sur simulateur	13
Figure n° 2 : Expression des ressentis par les conducteurs âgés avant et après la mise en situation sur simulateur	13
Figure n° 3 : Temps de reprise en main des conducteurs jeunes et âgés en fonction de la présence de la tâche d'empan pendant la conduite autonome.....	14
Figure n° 4 : Exemples d'illustrations de concepts publiés par divers constructeurs ou équipementiers	19
Figure n° 5 : Exemple de problématique en position pivotée de 10 à 30 degrés	20
Figure n° 6 : Exemple de problématique en cas d'allongement de dossier à 40 ou 60	20
Figure n° 7 : Représentation schématique des mécanismes observés lors des simulations en position semi allongée.....	22
Figure n° 8 : Nombre de Cut-in subis en fonction du TIV entre EGO et CIBLE et TIV entre Ego et CUTTER	25
Figure n° 9 : Proportion de rabattements subis en fonction du TIV au véhicule meneur	26
Figure n° 10 : Répartition des rabattements nominaux et agressifs en fonction de la phase de franchissement.....	28
Figure n° 11 : Plan de l'accident	31
Figure n° 12 : Illustration du Cut-in agressif (présence d'un obstacle sur la voie de circulation de VB)	31
Figure n° 13 : Proportion de rabattements subis en fonction du delta Vitesse Ego-véhicule et Vitesse Maximale Autorisée (VMA)	33
Figure n° 14 – Histogrammes du TIV de la cible avant et après le franchissement du marquage.....	35
Figure n° 15 – Décélération moyenne de l'égo pour différentes classes de TIV et de vitesse relative	35
Figure n° 16 - Histogrammes du TIV de la cible avant et après le franchissement du marquage	37
Figure n° 17 - Décélération moyenne du véhicule Ego entre T2 et T3 (selon le TIV du 2RM)	37
Figure n° 18 : Plan de l'accident	39
Figure n° 19 : Illustration de la recherche de créneau d'insertion de VB	39
Figure n° 20 - Position longitudinale du 2RM lors de la première détection par l'Ego	41
Figure n° 21 : Plan de l'accident	43
Figure n° 22 : Illustration du changement de voie de VA.....	43
Figure n° 23 : Triangle de visibilité sur voie à 50km/h	45
Figure n° 24 : Carrefour innovant.....	46
Figure n° 25 : Taux de franchissement au rouge des cyclistes pour les directions qui n'étaient pas autorisées à l'état 0 (à gauche) et le sont devenues à l'état 1 (à droite).....	49
Figure n° 26 : Exemples de situations ayant une influence sur le comportement des cyclistes lors du franchissement d'une intersection à feux.....	49
Figure n° 27 : Répartition du positionnement latéral des cyclistes /edpm au niveau du passage	51
Figure n° 28 : Répartition des directions empruntées par les 187 cyclistes / EDPM en fonction selon leur position latérale au milieu du passage piéton	51
Figure n° 29 : Moyennes et écart-types de l'écart entre l'initiation de la traversée et l'arrêt du véhicule suivant l'infrastructure et le scénario (**p < .01)	54
Figure n° 30 : Equipement pour signaler la présence fréquente d'enfants	59
Figure n° 31 : Piétons en présence de masques à la visibilité mobile.....	60
Figure n° 32 : Masques à la visibilité et mouvements tournants	62
Figure n° 33 : Fonctionnement d'un carrefour à feux.....	63
Figure n° 34 : Passage piéton avec zone tampon.....	68
Figure n° 35 : Profils de vitesse empiriques et modélisés en fonction du temps.	71
Figure n° 36 : Instabilité géométrique d'une trottinette au freinage (schématisation des efforts qui conduisent à délester la roue arrière dès 3 m/s ² , d'où instabilité.....	73

Figure n° 37 : Carrefour avec mouvements	75
Figure n° 38 : Freinage brusque par erreur d'anticipation d'un comportement humain	76

Table des tableaux

Tableau n° 1 : Pourcentage moyen d'accidents impliquant des blessés évités (valeurs les plus basses et les plus élevées)	17
Tableau n° 2 : Pourcentage moyen d'accidents mortels évités (valeurs les plus basses et les plus élevées)	17
Tableau n° 3 : Pourcentage de répondants évoquant une dimension renvoyant à la présence d'un passage piéton lors de la traversée et exemples de verbatim associés	53
Tableau n° 4 : Extraits des résultats des analyses de la vitesse dans les sections courantes	57
Tableau n° 5 : Extraits des résultats des analyses de la vitesse dans les intersections.....	58

1 INTRODUCTION

Les questions posées par la cohabitation de véhicules de plus en plus automatisés avec des véhicules conventionnels et des usagers vulnérables, cyclistes, piétons, deux-roues motorisés, sont au cœur des préoccupations des décideurs publics, constructeurs, ou spécialistes de l'infrastructure routière et de la sécurité routière. Tous ont l'espoir que ces nouvelles technologies contribuent à améliorer la sécurité routière. L'objectif global du projet « Sécurité des Usagers de la Route et Conduite Automatisées, SURCA » est de contribuer à une meilleure intégration de la Conduite Automatisée dans la circulation actuelle.

Les partenaires du projet (Université Gustave Eiffel, DSR, Ceesar, Cerema, Vedecom, Lab), ont ainsi comme objectif d'identifier quelles interactions existent et quelles stratégies pertinentes sont mises en place par les conducteurs pour proposer des recommandations aux concepteurs de véhicules autonomes sur les besoins en termes d'interactions et en termes de comportement du véhicule autonome. Pour cela, les bases de données existantes sur la conduite des véhicules conventionnels ont été analysées et des facteurs explicatifs des différents comportements ont pu être identifiés.

Les connaissances issues de ces bases ont été mobilisées pour simuler l'introduction de la conduite automatisée de niveaux 3, 4 et 5, avec des taux de pénétration faibles. La gestion des interactions avec les autres usagers est testée dès que le véhicule peut évoluer en autonomie sans supervision du conducteur, quelles que soient la durée et les sections sur lesquelles cette automatisation sera possible.

Ce projet est articulé autour de deux sous-thématiques :

- L'identification des scénarios d'interaction entre véhicules autonomes et autres usagers de la route (véhicules conventionnels, deux roues motorisés, cyclistes, piétons), avec un focus particulier sur les personnes âgées :
 - Etude des situations de négociation où les conducteurs gèrent cette interaction humaine, à partir de bases de données de conduite conventionnelle, et en utilisant des éléments difficilement émis et perçus par les systèmes automatisés (regard, connaissance a priori d'intention, etc.),
 - Etude de la réaction des autres usagers face à un véhicule autonome alors que son conducteur est absorbé dans une tâche annexe,
 - Identification des besoins de communication du véhicule autonome en phase active avec les autres usagers,
 - Analyse des besoins des usagers âgés et acceptabilité sociétale du véhicule autonome.
- L'étude des impacts de la posture des occupants (conducteur et passagers) d'un véhicule en mode autonome sur le risque lésionnel :
 - Choix des scénarios de simulation : positions des occupants, conditions de choc (lors de la réalisation de tâches annexes) et systèmes de retenue,
 - Evaluation des lésions potentielles par simulations numériques en fonction des systèmes de retenue (par ex. déploiement d'air bag),
 - Recommandations en termes de postures acceptables selon les différents systèmes de retenue.

L'objectif de ce livrable est de recenser l'ensemble des recommandations proposées par les partenaires et validées collectivement.

2 DEMARCHE SUIVIE POUR L'ELABORATION DES RECOMMANDATIONS

Pour élaborer ces recommandations, nous avons procédé en plusieurs étapes. La première a consisté à demander à tous les partenaires de remonter leurs recommandations en précisant leurs apports attendus, les risques que leur application pourrait induire et leurs limites dépendantes de l'origine des données ou des expertises utilisées pour leur élaboration.

Une fois cette remontée réalisée, les responsables du WP9 les ont regroupées en cinq thématiques qui permettaient d'avoir des groupes de recommandations avec des objectifs communs.

- Cut-in sur voies séparées
- Formation/information/pouvoirs Publics/Conception Infra
- Prévisibilité homogénéité versus comportement conducteur (respect code la route ?)
- Prise en compte des comportements difficilement prévisibles des usagers vulnérables
- Situations à savoir gérer

Pour chaque groupe, des réunions ont été organisées pour discuter en petit comité (5 à 10 personnes) pour permettre à chaque proposition d'être présentée par ses auteurs. Puis, certaines ont été regroupées et toutes ont été réécrites pour avoir des formulations homogènes. Un travail de filtrage a été aussi réalisé pour celles qui n'étaient pas validées par tous les membres de ces groupes. Enfin, une réunion plénière avec l'ensemble des partenaires a permis de valider collectivement les recommandations qui seraient présentées comme résultats communs du projet SURCA.

Puis en dernière étape, pour la préparation de la restitution, ces recommandations ont été regroupées en dix catégories présentées lors du séminaire de clôture du projet, le 16 mai 2022 :

- Formation
- Communication
- Sécurité passive
- Gestion des Cut-in sur autoroute
- Gestion des changements de voies sur autoroute
- VA et réglementation/règles de l'art
- Gestion des cyclistes aux carrefour à feux
- Gestion des piétons
- Adaptation du VA au contexte
- Gestion des situations complexes

3 RECOMMANDATIONS EN TERMES DE FORMATION

3.1 Formation des conducteurs

3.1.1 Recommandation

Permettre aux conducteurs d'accéder à des simulateurs pour se familiariser avec le fonctionnement du VA

Justification de la recommandation : *La simulation permet d'immerger le conducteur dans un environnement de conduite automatisée. Elle permettrait une prise en main progressive des nouvelles assistances à la conduite dans des conditions parfaitement sécuritaires et pourrait également servir de levier dans le processus d'acceptabilité des technologies automatisées par les futurs usagers. Cette familiarisation avant usage réel est importante pour des conducteurs âgés qui risquent de se retrouver plus en difficulté en présence de ces technologies. Des études montrent que le simulateur est assez comparable à une situation réelle pour évaluer la conduite (Meueners et Fraser, 2015¹) ce qui autorise à penser qu'il peut être d'une aide précieuse pour se familiariser voire se former au fonctionnement du VA.*

3.1.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Cinq cent quatorze participants d'une cohorte de conducteurs et conductrices âgés en moyenne de 80 ans ont été interrogés a) sur leur utilisation des aides et assistances disponibles sur leur véhicule actuel, b) sur leur perception d'un véhicule de niveau 3 d'automatisation (délégation de conduite sur certains parcours puis demande du système de reprise en main du véhicule par le conducteur), et c) sur leurs attentes vis-à-vis d'un véhicule totalement automatisé.

Dans une expérimentation présentée dans le livrable 8.2, les réponses à un questionnaire d'acceptabilité d'un véhicule automatisé fournies par un groupe de 25 personnes jeunes (âgées de 21 à 45 ans) ont été comparées à celles d'un groupe de 25 personnes âgées de 65 ans et plus. En complément, l'acceptation de la conduite automatisée a été recueillie en comparant les ressentis avant et après une mise en situation de conduite autonome sur un simulateur de conduite chez ces deux groupes de conducteurs. Il s'agissait finalement de voir dans quelle mesure une expérience de conduite automatisée sur un simulateur de conduite pouvait modifier la perception de ce mode de conduite voire améliorer son acceptabilité. Par ailleurs, une expérimentation visant à évaluer la capacité à reprendre en main le véhicule a été proposée. La partie 3 du livrable décrit l'expérimentation et la partie 6 fournit les résultats.

Type de données : données de cohorte, expérimentales.

Limites de l'analyse : Les participants de la cohorte étaient en meilleure santé et avaient un niveau socioéconomique plus élevé que la population générale.

Livrables SURCA concernés :

S Lafont, C Pilet, L Paire-Ficout, M Ranchet, S Bordel. (2022), Livrable 8.1 « Utilisation des aides et assistances actuelles par les conducteurs âgés, et acceptabilité de véhicules de plus en plus automatisés », Projet SURCA, Convention Université Gustave Eiffel, FSR, DSR, 37 pages.

M Ranchet, L Paire-Ficout, C Gasne, S Bordel, S Lafont. (2022), Livrable 8.2 « Bénéfices et limites de l'utilisation d'un véhicule automatisé pour la population de conducteurs âgés », Projet SURCA, Convention Université Gustave Eiffel, FSR, DSR, 52 pages.

¹ Meuleners, L., & Fraser, M. (2015). A validation study of driving errors using a driving simulator. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 29, 14-21. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.11.009>

3.1.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

Des besoins en formation vis-à-vis d'un véhicule qui présente un niveau d'automatisation nécessitant une reprise en main lorsque le système le demande (SAE3) ont été exprimés au sein de la cohorte.

Près de la moitié des conducteurs souhaiteraient en effet bénéficier d'une formation à l'usage de ces technologies avant de les utiliser seuls. Les besoins en formation sont aussi appréhendables au travers des réticences de certaines personnes vis-vis de cette technologie. Celles qui utilisent très peu les technologies actuelles, GPS, régulateur de vitesse, et caméra de marche-arrière, sont particulièrement réticentes à utiliser un véhicule qui nécessite une reprise en main lorsque le système le demande. Une formation, sur simulateur par exemple, à l'utilisation des technologies actuelles améliorerait leur acceptabilité.

Les attentes vis-à-vis d'un véhicule totalement automatisé (SAE5) sont les suivantes :

Tableau n° 1 : Attentes vis-à-vis d'un véhicule totalement automatisé

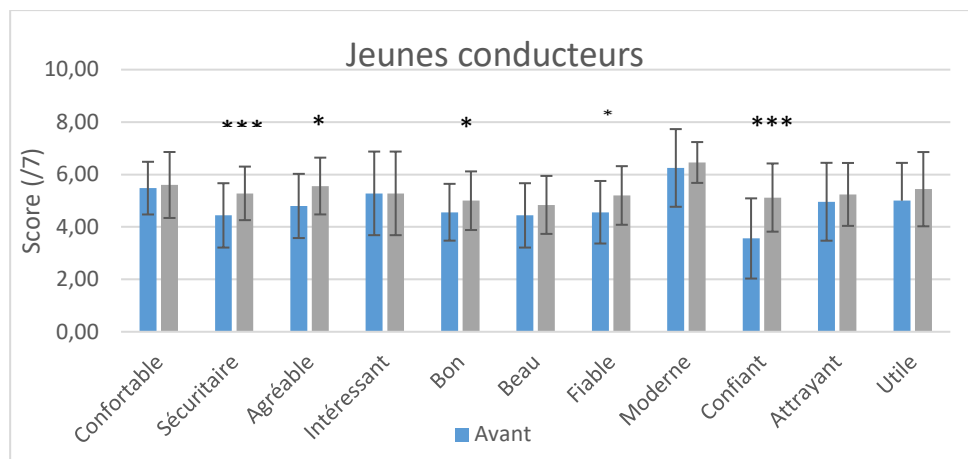
Propositions	N=514 %
Avoir une activité autre que la conduite	11,8
Parcourir de plus longues distances	25,9
Vous sentir plus en sécurité	43,4
Utiliser votre véhicule plus fréquemment	17,5
Utiliser votre véhicule dans des situations plus difficiles qu'actuellement	26,8
Utiliser votre véhicule malgré une dégradation de votre état de santé	37,9
Utiliser votre véhicule après avoir bu de l'alcool	8,6
Utiliser votre véhicule en étant fatigué	26,3

Ainsi 43 % des participants ont des attentes en termes d'amélioration de la sécurité, 38 % espèrent compenser une dégradation de l'état de santé.

Parmi l'ensemble des participants de l'expérimentation, jeunes ou âgés, une moitié environ déclare être équipés d'un limiteur ou régulateur dans leur véhicule, un tiers déclare les utiliser. Par rapport aux plus jeunes, les participants âgés sont légèrement plus équipés et utilisent un peu plus ces systèmes (mais pas de manière significative). Bien que les conducteurs se déclarent équipés et utilisateurs des ADAS, le niveau de crainte lié à l'utilisation d'un véhicule automatisé est particulièrement élevé : 81% chez les âgés et 86% chez les jeunes. En conséquence, les attentes de la part des conducteurs âgés de notre échantillon (n=29), en matière de formation pour l'utilisation d'un véhicule automatisé avant toute utilisation, sont très fortes, de l'ordre de 90%.

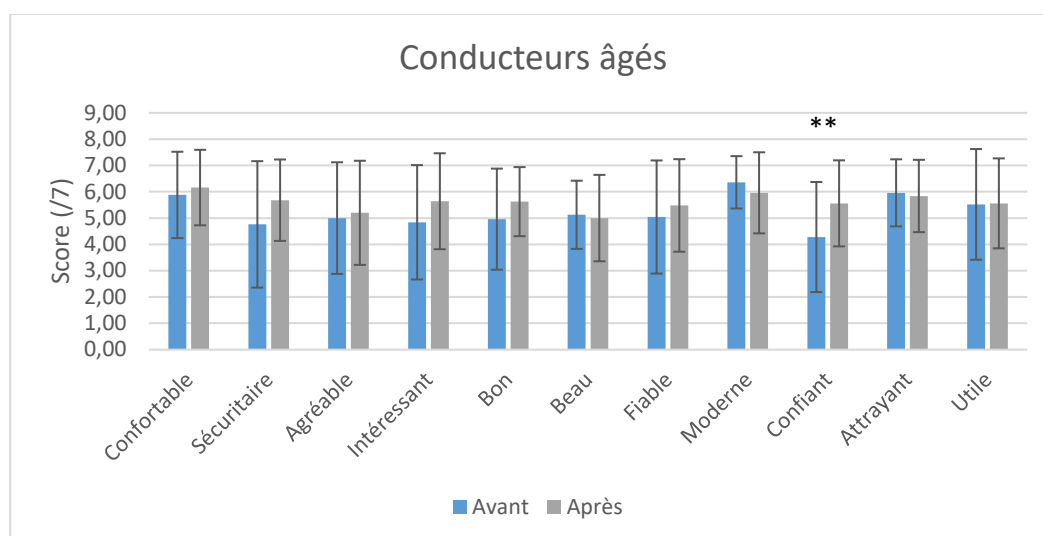
Comme le montre la Figure 1, plusieurs ressentis ont été modifiés dans le groupe des jeunes après l'exposition à la conduite automatisée. Un gain important en termes, à la fois de sécurité, de fiabilité et de confiance est observé. Les jeunes évoluent également dans leur façon d'appréhender la conduite automatisée : elle est jugée plus agréable et meilleure après l'expérimentation. Globalement on observe qu'il y a toujours, à l'exception de l'item « intéressant », une amélioration de la perception entre avant et après chez les jeunes (même si elle n'est pas significative).

Figure n° 1 : Expression des ressentis par les jeunes conducteurs avant et après la mise en situation sur simulateur



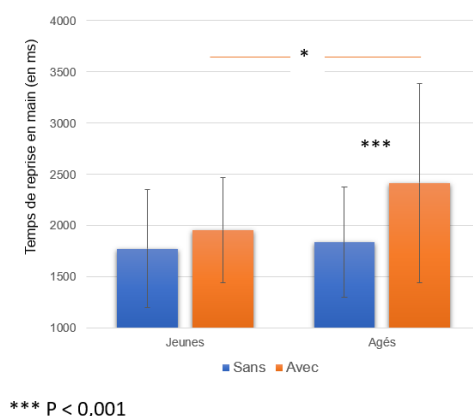
Pour les conducteurs âgés, un seul ressenti évolue favorablement et de manière significative entre avant et après l'expérience de conduite automatisée : les conducteurs se disent significativement plus confiants après avoir expérimenté la conduite automatisée sur le simulateur de conduite. Comme dans le groupe des jeunes, il y a globalement une amélioration des scores (même si elle n'est pas significative) pour la plupart des items, sauf pour les items « beau », « moderne », « attrayant » et « utile ».

Figure n° 2 : Expression des ressentis par les conducteurs âgés avant et après la mise en situation sur simulateur



Dans la tâche de reprise en main du véhicule, les participants âgés se sont montrés tout aussi performants que les jeunes pour reprendre en main le système autonome même après avoir été engagés dans une tâche secondaire non liée à la conduite. Le temps de reprise en main et la vitesse de conduite étaient globalement ralentis chez les âgés en comparaison aux plus jeunes surtout en présence d'une tâche secondaire non liée à la conduite.

Figure n° 3 : Temps de reprise en main des conducteurs jeunes et âgés en fonction de la présence de la tâche d'empan pendant la conduite autonome



En conclusion, les résultats de la cohorte démontrent une attente importante des conducteurs âgés en matière de formation et d'accompagnement à l'utilisation des ADAS et du VA.

Sur la base des résultats de l'expérimentation, il est possible d'avancer l'idée que l'outil simulateur de conduite soit en mesure d'entraîner de façon pertinente les futurs usagers des systèmes automatisés. De plus, en accord avec la littérature (Molnar et al. 2018), la variable confiance est un élément important à prendre en considération dans le processus d'acceptabilité de la technologie automatisée surtout pour les conducteurs âgés.

Les interprétations de cette étude doivent toutefois rester prudentes. Premièrement les personnes composant la cohorte et les expérimentations sont de catégories socio-professionnelles élevées, elles ne reflètent ainsi pas la population. Pour ce qui est de l'expérimentation, il faut garder en mémoire que la simulation d'un véhicule automatisé reste un peu artificielle. Il est difficile d'apprécier réellement le comportement et les performances d'un tel véhicule qui n'existe pas encore. Le simulateur est composé d'une petite cabine avec trois écrans, un volant et un jeu de pédales et les scénarios de conduite sont assez rudimentaires par rapport à une situation de conduite réelle.

Malgré tout, il est intéressant de pointer qu'une exposition à une expérience de conduite automatisée sur ce simulateur peut modifier la perception de sécurité, de confiance et de fiabilité. Cela montre qu'il est vraiment important de permettre aux futurs usagers de ces systèmes de se familiariser en amont. Ces expériences devraient faciliter l'intention d'utiliser un véhicule automatisé, en d'autres termes l'acceptabilité.

3.2 Besoin de recherche en termes de supports de formation

3.2.1 Recommandation

Comparer l'efficacité de différents supports de formation

Justification de la recommandation : *Compte tenu des résultats obtenus, sur le fait qu'une expérience sur un simulateur de conduite peut modifier la perception de sécurité, de confiance et de fiabilité, il est vraiment important de permettre aux futurs usagers de ces systèmes de se familiariser en amont. Pour cela, des formations de qualité doivent être proposées et comparées entre elles, d'autant plus que les attentes en termes de formations sont vraiment importantes chez les conducteurs âgés. Il serait donc important d'investiguer ce champ de la formation.*

4 RECOMMANDATIONS EN TERMES D'INFORMATION AU GRAND PUBLIC

4.1 Impact de l'automatisation sur la réduction des accidents

4.1.1 Recommandation

Faire de l'information grand public sur le fait que l'automatisation totale (niveau 5) ne règlera pas toutes les questions de SR

Justification de la recommandation : Il n'y a pas 100% d'accidents corporels évités mais au maximum 59 % des accidents corporels et 63% des accidents mortels.

4.1.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Données d'accidents du projet VOIESUR (Véhicule Occupant Infrastructure Études de la Sécurité des Usagers de la Route).

Limites de l'analyse : L'analyse est faite uniquement sur les gains potentiels et ne prend pas en compte les accidents potentiellement provoqués par l'automatisation.

Livrable SURCA concerné :

Pilet, C., & Martin, J.-L. (2020). Livrable L2.7 : *Estimation de l'effet de l'introduction des véhicules autonomes dans la survenue d'accidents*. Projet SURCA. 24 p.

(Estimations chiffrées revues après la sortie du livrable, et publiées en revue à comité de lecture)

4.1.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

L'objectif de ce travail a été de quantifier l'impact global, sur le nombre d'accidents corporels, du remplacement des véhicules particuliers (VP) classiques par des véhicules entièrement automatisés, c'est-à-dire des VA de niveau 5 (SAE International).

Nous avons pour cela substitué fictivement une certaine proportion des VP impliqués dans des accidents corporels observés en France par des véhicules automatisés de niveau 5, en leur appliquant les probabilités d'évitement d'accident telles qu'estimées par un certain nombre de spécialistes des VA impliqués dans le projet. Une estimation du pourcentage d'accidents évités par configuration d'utilisateur et selon trois taux de pénétration choisis a été réalisée, tenant compte du poids relatif de ces configurations d'accident.

Nous avons utilisé les données d'accidents du projet VOIESUR (Véhicule Occupant Infrastructure Études de la Sécurité des Usagers de la Route). Cette base contient la codification détaillée, établie à partir des rapports de police, de tous les accidents de la route mortels (n=3702) et d'un échantillon aléatoire de 1/20 des accidents corporels non mortels (n=4839) signalés en France en 2011. Chaque accident et le rôle joué par chaque usager de la route impliqué ont été décrits avec précision. En particulier, 168 pictogrammes prédéfinis ont été utilisés pour décrire les circonstances des accidents. Ces pictogrammes résument de manière schématique la séquence de l'accident en fonction des manœuvres effectuées par le ou les usagers avant l'accident. Un pictogramme a été attribué à chaque accident. Sur la base de ces pictogrammes, les experts du projet SURCA (Sécurité des Usagers de la Route et Conduite Automatisée) ont évalué l'effet du comportement qu'aurait un VA, c'est-à-dire la possibilité pour ce VA d'éviter ou non l'accident.

Pour évaluer comment l'introduction du VA de niveau 5 aurait pu modifier les résultats des situations observées précédemment et décrites dans la base VOIESUR, nous avons fait plusieurs hypothèses. Tout d'abord, nous avons émis l'hypothèse qu'un VA de niveau 5 serait un véhicule "idéal" qui ne connaîtrait

aucune défaillance et ne provoquerait aucun accident par lui-même, mais qui pourrait ne pas être capable de gérer parfaitement une situation si le problème survient à cause d'un autre utilisateur. En outre, nous avons choisi de supposer que les véhicules de niveau 5 sont totalement indépendants (pas de communication avec un autre véhicule et comportement similaire devant un autre véhicule ou un véhicule conventionnel). Tous les VA de niveau 5 ont été considérés comme équivalents en termes de technologies. Ensuite, comme nous nous sommes appuyés sur des données réelles d'accidents, nous avons supposé une comparabilité avant et après l'introduction du VA, ce qui signifie qu'une situation donnée, si elle est similaire à l'une de celles de l'ensemble de données, entraînera toujours un accident sans l'utilisation du VA. Cela implique également que les infrastructures routières et les comportements liés à la circulation resteraient les mêmes, même après l'introduction du VA. Troisièmement, nous avons supposé que tous les accidents de la route étudiés étaient entièrement indépendants, c'est-à-dire que nous n'avons pas envisagé d'éventuelles mises à jour des systèmes audiovisuels pour modifier le comportement du véhicule au cours de l'étude. Quatrièmement, afin de pouvoir utiliser des pictogrammes d'accident, nous avons considéré que ces pictogrammes décrivaient entièrement les circonstances de l'accident, c'est-à-dire que tous les éléments du contexte non décrits sur les pictogrammes, tels que les conditions météorologiques et de luminosité, la zone géographique, l'âge du conducteur, restaient constants.

L'étude de simulation a porté sur deux types d'accidents :

1. Les accidents impliquant un seul VP (n=1600) ;
2. Les accidents impliquant deux usagers de la route actifs, c'est-à-dire impliquant au moins un VP et soit un piéton, soit un cycliste, soit un Deux-roues Motorisé, soit un autre VP ou un Poids lourd (n=4953) ;

Tous les autres cas, comme par exemple les accidents sans VP impliqué, ou les accidents impliquant plus de deux usagers de la route actifs, n'ont pas été considérés dans la simulation (n=1988).

Nous avons utilisé une méthode en deux étapes pour estimer le nombre d'accidents évités. Tout d'abord, nous avons simulé un taux de remplacement des VP par des VA de 10, 50 et 100 %.

Pour les accidents "véhicule seul", nous avons supposé que l'accident n'aurait pas eu lieu si le VP avait été remplacé par un VA.

Pour les accidents impliquant deux usagers de la route actifs, huit experts ont estimé la probabilité (de 0 à 1) d'accident que le VA gère la situation et évite l'accident selon chacun des 86 pictogrammes qui couvraient la majorité des situations (6040/8541 cas) et selon la position du VA. Ainsi, les experts ont attribué une valeur de 1 lorsqu'ils pensaient que le VA ne pouvait rien faire de plus qu'un véhicule classique (c'est-à-dire qu'il ne pouvait pas empêcher l'accident), et une valeur de 0 si le VA empêchait toujours l'accident. Dans toutes les autres situations, les experts ont attribué une valeur de $n/10$ (avec $0 < n < 10$) pour exprimer la probabilité de gestion de la situation. Nous avons procédé à 100 tirages au sort en suivant les probabilités données par les experts. Enfin, nous avons utilisé le poids relatif de chaque configuration dans la base de données pour fournir l'estimation globale nationale. Dans certains cas, les experts n'ont fourni aucune réponse pour un pictogramme donné ou nous n'avons pas pu déduire la localisation d'un VP. Ces cas ont été considérés comme non couverts.

Les avis des experts pouvaient différer pour un même pictogramme. Nous avons pris en compte la probabilité moyenne la plus favorable d'éviter un accident donné par un expert (probabilité d'éviter l'accident égale ou supérieure à 0.5), et la moyenne des réponses les plus défavorables (probabilité d'éviter l'accident inférieure à 0.5), pour créer un intervalle de pourcentages d'accidents évités possibles. Nous avons ensuite estimé les pourcentages moyens des accidents évités en faisant la moyenne des 100 tirages.

L'impact du remplacement progressif des VP par des VA dans la circulation est décrit séparément dans le Tableau n°1 (accidents corporels non mortels) et le Tableau n°2 (accidents mortels).

Tableau n° 1 : Pourcentage moyen d'accidents impliquant des blessés évités (valeurs les plus basses et les plus élevées)

	LV alone	Two active road users including one LV	Total of avoided crashes calculated
10% AV	1.2%	3.6% - 5.2%	4.8% - 6.3
50% AV	5.9%	17.5% - 24.8%	23.4% - 30.7%
100% AV	11.8%	33.7% - 47.1%	45.5% - 58.9%

Pour les accidents impliquant deux usagers de la route actifs avec un VP, l'introduction des VP n'entraîne qu'une réduction de 3,6 % à 5,2 % des accidents corporels lorsque le taux de remplacement est de 10 % ; de 17,5 % à 24,8 % lorsque le taux de remplacement est de 50 % ; et de 33,7 % à 47,1 % avec un taux de remplacement de 100 %. De 7 à 7,4% de ces configurations n'ont pas pu être couvertes en raison de l'absence de réponse des experts pour un pictogramme ou de l'impossibilité de déduire la localisation d'un VA. Globalement, le remplacement des VP par des VA réduirait les accidents corporels en France de 4,8 % au minimum (cas le plus défavorable et taux de remplacement de 10 %), jusqu'à 58,9 % (cas le plus favorable et remplacement complet des VP par des VA). Les accidents non couverts représentent 22,9 % des accidents corporels.

Tableau n° 2 : Pourcentage moyen d'accidents mortels évités (valeurs les plus basses et les plus élevées)

	LV alone	Two active road users including one LV	Total of avoided crashes calculated
10% AV	2.7%	3.2% - 3.9%	5.9% - 6.6%
50% AV	13.6%	15.2% - 18.8%	28.8% - 32.4%
100% AV	27.1%	28.9% - 35.6%	56.0% - 62.8%

Pour les accidents mortels impliquant deux usagers « actifs », le remplacement de 10 % des VP par des VA permettrait d'éviter 3,2 % des accidents mortels dans le cas le plus défavorable. Cette proportion passerait à 35,6 % dans le cas le plus favorable pour un parc automobile totalement autonome. Les accidents de VP seul représentent une grande proportion des accidents mortels (27,1 %). En considérant qu'ils ne se produiraient plus, notre hypothèse du VA parfait conduit à une performance globale légèrement supérieure à celle des accidents avec blessures. Le pourcentage d'accidents évités varie de 5,9% pour le pire cas et un taux de remplacement de 10%, jusqu'à 62,8% avec les avis d'expert les plus favorables et une flotte totalement autonome. Les accidents non couverts représentent 25,5 % de tous les accidents mortels.

Cette étude de simulation originale permet de donner une première estimation globale de l'impact de l'introduction de VA de niveau 5. Nous montrons que les véhicules hautement automatisés pourraient au mieux diviser le nombre d'accidents par plus de deux (jusqu'à 58,9% des accidents corporels et 62,8% des accidents mortels) sans toutefois solutionner tous les cas, même avec un VA idéal.

Bien sûr, ce travail présente de nombreuses limites. Ainsi, nous avons effectué les simulations à partir d'une base de données d'accidents de très bonne qualité mais assez ancienne. Cependant, on a observé que la distribution des configurations d'accidents est restée stable entre 2011 et 2019 (base des données des accidents corporels de la police française), ce qui conforte l'intérêt de nos résultats.

Mais, du fait des données disponibles et de la méthode utilisée, il a été impossible d'anticiper les éventuels changements de comportements des usagers vis - à - vis des VA, et impossible de créer des accidents spécifiques aux VA. Nous n'avons pas pu non plus estimer de possibles atténuations de la gravité des accidents, même si les estimations différenciées accidents mortels vs accidents corporels non mortels donnent des indications.

En outre, en raison de la complexité en termes de responsabilité et de chaîne d'événements, les configurations impliquant plus de deux antagonistes n'ont pas été incluses dans notre étude, ce qui peut réduire artificiellement le nombre d'accidents évités.

Le point fort de ce travail est d'avoir utilisé une base de données très riche, avec une représentativité nationale, et qui inclut tous les types d'infrastructures, contrairement aux études menées dans des zones limitées ou dans des environnements expérimentaux isolés. Cela nous a permis de calculer une synthèse pertinente au niveau national. Plus important encore, nous avons pu évaluer séparément l'impact sur les accidents pour différentes configurations et différents types d'accidents (corporels / mortels), ce qui, à notre connaissance, n'a jamais été fait jusqu'à présent.

Ce travail de simulation suggère que le remplacement de l'ensemble des VP par des VA de niveau 5 pourrait aboutir à une réduction de plus de la moitié des accidents corporels et mortels. Il s'agit d'une estimation consistante avec certains autres travaux, mais loin d'estimations plus optimistes basées sur « les défaillances humaines ». Sous les hypothèses fortes précédemment énoncées, ce résultat est encourageant mais montre, s'il en était besoin, que cela ne résoudrait pas tout, notamment du fait de la présence de tous les autres usagers de la route, qu'ils soient piétons, cyclistes ou usagers de deux-roues motorisés.

4.2 Posture des occupants

4.2.1 Recommandation

Eviter de faire croire que toutes les positions seront possibles, et ne pas inciter les personnes à croire que le véhicule a des fonctionnalités de protection supérieures à celles existant dans la réalité

Justification de la recommandation : Des simulations avec des modèles humains dans diverses postures ont mis en évidence des difficultés de retenue et des lésions potentielles pour certains des scénarios étudiés. C'est en particulier le cas des postures semi-allongées. Certaines de ces postures sont proches de concepts de communication à destination du grand public. De plus, elles pourraient être adoptées dans des véhicules actuels hors du cadre normal d'utilisation (ex : allongement de siège pour un passager) sans que les moyens de protection actuels aient été conçus pour de tels usages.

4.2.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : simulations numériques avec modèles humains, littérature.

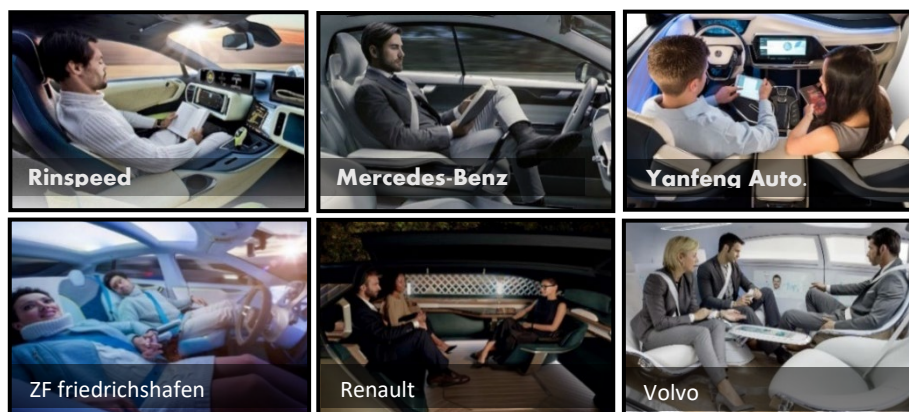
Limites de l'analyse : la représentation de l'habitacle est simplifiée dans les simulations. De plus, même si elles sont jugées proches (avis), les conditions de simulation ne représentent pas les configurations exactes utilisées dans les supports de communication. Enfin, la question de la représentativité des modèles humains pour ces configurations devra être approfondie quand de nouvelles données de référence seront disponibles.

Livrable SURCA concerné :

Beillas P., Grebonval C., Wang X., Poulard D., Petit P., Trosseille X. (2022), Livrable 7.3-4 Rapport combiné sur la méthodologie de préparation des modèles et l'analyse des lésions potentielles. Projet SURCA, financé par la FSR, p 20.

4.2.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

Figure n° 4 : Exemples d'illustrations de concepts publiés par divers constructeurs ou équipementiers

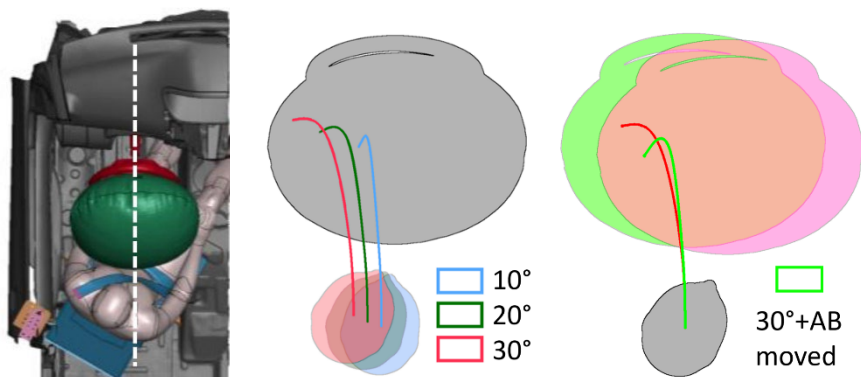


Des exemples d'illustrations de concepts publiés par diverses entreprises sont fournis en Figure n° 4. Les positions semi-allongées ou pivotées autour d'un axe vertical apparaissent fréquemment.

Ces deux classes de postures ont été étudiées par simulation et des problèmes significatifs de retenue ont pu être observés dans certains cas de chocs frontaux (Figure n° 5 et Figure n° 6). Si des dispositifs

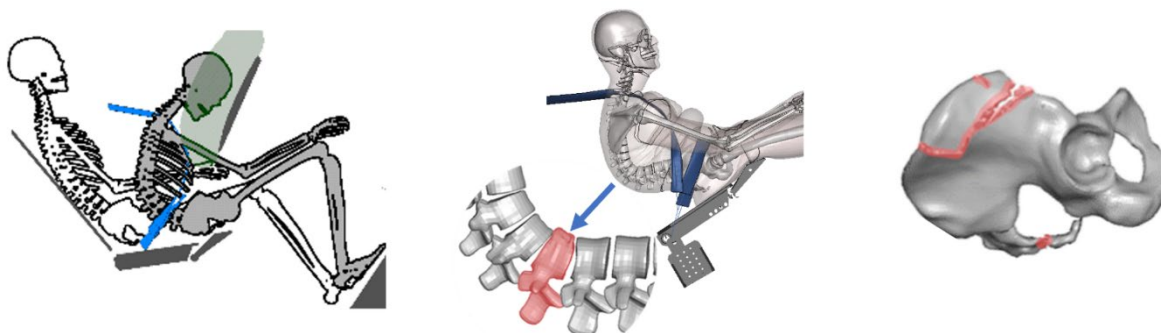
de retenue prévenant l'occurrence de tels problèmes pourraient être conçus et certifiés, les dispositifs actuels ne prennent pas en compte de tels usages. Les résultats des simulations sont plus détaillés dans la section *Recommandations en termes de sécurité passive* qui suit.

Figure n° 5 : Exemple de problématique en position pivotée de 10 à 30 degrés



En cas de choc frontal, le pivotement peut donner lieu à un décalage entre la tête et l'airbag (AB) et un échappement de la tête du modèle de l'airbag (trajectoire de la tête en rouge). Un déplacement latéral de l'airbag (AB moved) permet toutefois de revenir à une situation plus nominale (trajectoire en vert).

Figure n° 6 : Exemple de problématique en cas d'allongement de dossier à 40 ou 60



En cas de choc frontal et selon divers paramètres comme l'angle de l'assise du siège ou l'angle de bassin, les simulations mettent en évidence différents problèmes qui ne sont pas visibles dans la position standard d'assise comme le sous marinage (à gauche, retenue par l'abdomen plutôt que le bassin), les fractures de colonne lombaire (centre) ou les fractures de bassin (droite).

5 RECOMMANDATIONS EN TERMES DE SECURITE PASSIVE

5.1 Dispositifs de protection

5.1.1 Recommandation

Mettre en place des dispositifs de protection adaptés aux nouvelles postures

Justification de la recommandation : *Sur la base de simulations avec des modèles humains détaillés, les nouvelles postures (inclinaison et pivotement) présentent de nouveaux challenges en termes de protection qui nécessitent une prise en compte spécifique.*

5.1.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Simulations avec des modèles humains détaillés dans diverses positions.

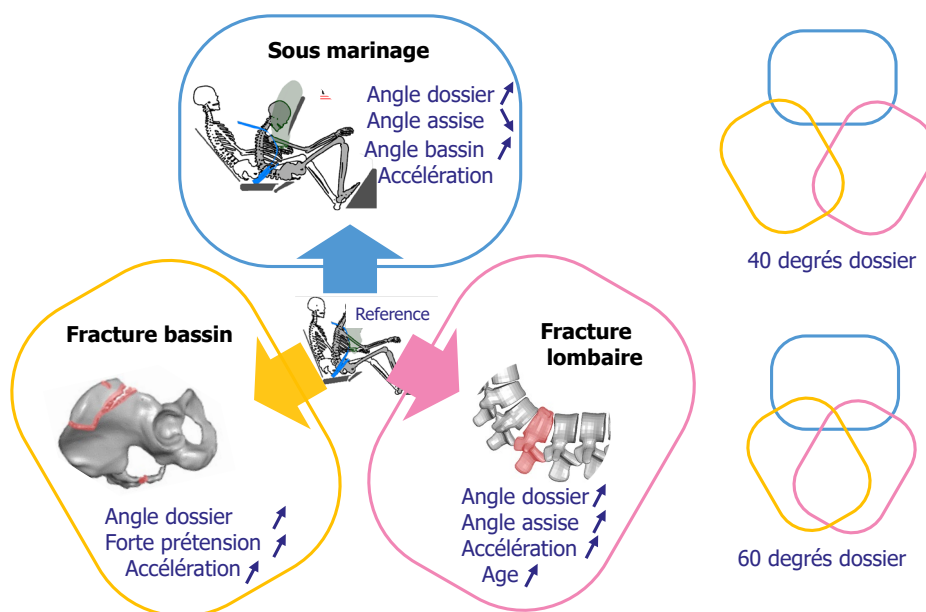
Limites de l'analyse : Les simulations sont basées sur diverses hypothèses (choix des profils de décélération, siège et moyens de retenue génériques, validité du modèle humain) dont certaines devront continuer à être évaluées. D'autre part, les simulations ne couvrent que le cas du choc frontal et ne prennent pas en compte le comportement pré-accident (dit pré-crash).

Livrable SURCA concerné

Beillas P., Grebonval C., Wang X., Poulard D., Petit P., Trosseille X. (2022), Livrable 7.3-4 Rapport combiné sur la méthodologie de préparation des modèles et l'analyse des lésions potentielles. Projet SURCA, financé par la FSR, p 20.

5.1.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

Les résultats sont basés sur un grand nombre de simulations réalisées avec un modèle humain détaillé capable de donner des indications lésionnelles. Le modèle est positionné dans un environnement de choc générique comprenant une ceinture trois points (avec prétensionneurs et limiteurs d'effort), un airbag, et siège simplifié. Deux profils de décélération correspondant à deux sévérités de choc sont utilisés. Le cas de l'allongement du dossier (à 40 ou 60°, contre environ 22° actuellement) présente le plus de difficultés. Les mécanismes de chargement des différentes régions du corps sont affectés par la posture et les risques de sous-marinage, de fracture lombaire et de fracture bassin doivent être équilibrés pour une retenue satisfaisante. Une retenue insuffisante du bassin peut conduire au sous marinage mais, a contrario, une forte retenue du bassin grâce à une double prétension de ceinture peut conduire à des fractures de bassin. Le bassin peut aussi être mieux retenu en relevant l'angle d'assise mais ceci peut conduire à des fractures de lombaires. Le phénomène est exacerbé par la sévérité de la décélération et la position relaxée avant du bassin. Pour 40° d'angle dossier, il semble exister des combinaisons de paramètres équilibrant ou presque les trois phénomènes. Pour 60°, aucune combinaison satisfaisante de paramètres ne semble émerger dans les conditions de l'étude. Si ces résultats étaient confirmés, d'autres solutions de retenue potentiellement assez différentes des principes actuelles pourraient être nécessaires dans ce cas. Une représentation schématique des phénomènes en jeu et paramètres importants est proposée en Figure n° 7.

Figure n° 7 : Représentation schématique des mécanismes observés lors des simulations en position semi allongée

Divers paramètres étudiés peuvent conduire à l'occurrence de sous-marinage, de fracture bassin ou de fracture lombaire. L'augmentation de l'angle dossier conduit à réduire l'espace des paramètres pour lequel aucun de ces phénomènes survient et aucune condition n'a été trouvée qui permet d'éviter les trois pour 60 degrés d'angle dossier. Ces résultats sont spécifiques à l'environnement (siège, moyens de retenue) et au modèle utilisé (GHBMCM50).

5.2 Procédure de validation de la sécurité des dispositifs

5.2.1 Recommandation

Mettre en place des procédures de contrôle sécurité des dispositifs de sécurité prévus pour les nouvelles postures

Justification de la recommandation : Les simulations avec modèles humains ont permis de mettre en évidence des mécanismes de retenue spécifiques aux nouvelles postures. De nouvelles procédures de contrôle de sécurité prenant en compte ces postures et mécanismes semblent donc nécessaires. Il est à noter que les modèles humains numériques ne sont pas encore utilisés pour la certification. Celle-ci est basée sur des procédures physiques avec des mannequins de choc, et ces derniers ne se sont pas encore utilisables pour des positions semi-allongées. Quelle que soit l'approche utilisée in fine, une vérification de la validité (bio-fidélité) des modèles numériques ou mannequins sera nécessaire quand plus de données de référence en position semi-allongée seront disponibles. Un travail important semble donc encore nécessaire (choix de postures et conditions de choc, vérification biofidélité, etc.).

5.2.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : *Campagnes de simulations (voir section précédente) pour l'étude des mécanismes de retenue. Etude des postures de confort sur volontaires. Vérification de la validité du modèle numérique à partir des données existantes de la littérature.*

Limites de l'analyse : *Les données de référence de la littérature sur sujets d'anatomie sont actuellement insuffisantes pour vérifier le comportement du modèle dans l'ensemble des conditions utilisées lors des simulations. De plus, pour les conditions existantes, des vérifications et améliorations semblent nécessaires en ce qui concerne la prédiction de lésions (ex : lombaires) et plus généralement l'équilibre entre les mécanismes mis en évidence (sous marinage, lombaire, bassin). Enfin, les résultats obtenus sont dépendant des choix d'environnement (siège, direction de chargement, etc.) faits pour les simulations.*

Livrable SURCA concerné :

Beillas P., Grebonval C., Wang X., Poulard D., Petit P., Trosseille X. (2022), Livrable 7.3-4 Rapport combiné sur la méthodologie de préparation des modèles et l'analyse des lésions potentielles. Projet SURCA, financé par la FSR, p 20.

5.2.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

Les principaux mécanismes et résultats issus des simulations sont résumés dans les sections qui précèdent. En ce qui concerne la validation de modèle, seules deux études récentes qui utilisent toutes deux des angles de dossier autour de 40° et d'assise autour de 15° sont disponibles pour les positions semi-allongées (Richardson et al. 2020 Stapp Journal, Essais de University of Michigan en cours de publication). Il n'existe donc pas actuellement de données de référence pour les autres configurations semi-allongées simulées (ex : angles d'assise supérieurs à 15° et angle de dossier autour de 60°). Le travail de validation a donc été étendu aux mécanismes principaux à l'aide d'études plus anciennes en position standard (ex : sous marinage avec Uriot et al. 2015 Stapp Journal, Luet et al., 2012 Stapp Journal). Dans l'ensemble, si le modèle a paru capable d'approcher les comportements cinématiques et les chargements des moyens de retenue observés en essais, une tendance à sous-estimer le risque de fractures lombaires a aussi été observée. Celle-ci pourrait être partiellement due à un effet de l'âge (le modèle représentant un sujet jeune et les données de référence étant relatives à des sujets âgés). On pourra se reporter au rapport L7.3-4 pour plus de détails. Le travail sur l'évaluation de la biofidélité des modèles devra donc se poursuivre.

5.3 Besoin de recherche en termes de sécurité passive

5.3.1 Recommandation

Mener des recherches pour développer de nouvelles procédures (mannequins, modèles...)

Justification de la recommandation : *Besoin d'avancer sur les méthodologies (depuis l'évaluation jusqu'à l'homologation) et sur les connaissances, notamment en matière d'utilisation de modèles numériques pour l'évaluation de la performance.*

6 RECOMMANDATIONS POUR GERER LES CUT-IN

6.1 Gestion des inter-distances

6.1.1 Recommandation

Augmenter ses distances de sécurité pour éviter les rabattements risqués

Justification de la recommandation : *la distance de sécurité entre l'Ego véhicule et le véhicule meneur correspond, en cas de Cut-in, à l'espace disponible pour un véhicule s'insérant pour effectuer sa manœuvre. En fonction de l'espace disponible, le véhicule s'insérant choisira d'effectuer sa manœuvre plus ou moins proche de l'Ego véhicule, ce qui aura un impact sur sa sécurité. Après analyse des comportements, nous recommandons d'augmenter les distances de sécurité entre le véhicule meneur et l'Ego-véhicule afin de laisser un espace suffisant à un véhicule s'insérant.*

6.1.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : L'analyse a été menée sur des données de type NDS (Naturalistic Driving Studies) de la base UDRIVE-France. Ces données ont été collectées entre 2015 et 2017, auprès de 44 participants français qui totalisent 572 933 kilomètres et 12 631 heures dont 235 041 km et 2 690 heures sur Voies à Chaussées Séparées (VCS). Les données collectées comportent la dynamique de l'Ego-véhicule (vitesse, accélérations, etc.), le comportement du conducteur (actions pédales/volant, phares, etc.), la détection d'obstacles (positions relatives, vitesse, etc.) par une caméra intelligente, ainsi que la géolocalisation du véhicule permettant d'obtenir des informations sur l'infrastructure routière. La collecte est complétée par l'enregistrement de vidéos de contexte, enregistrant les événements à l'extérieur et à l'intérieur du véhicule.

Limites de l'analyse :

- L'analyse porte sur la détection automatique de plusieurs milliers de Cut-In. Cette détection automatique n'est pas parfaite avec une précision estimée à 92%. 8% des scènes analysées ne sont donc pas véritablement des Cut-in et diluent les résultats.
- La détection de Cut-in est permise via la mesure des positions des obstacles par une caméra intelligente. Cette instrumentation n'offre pas une couverture à 360° autour de l'Ego-véhicule et présente deux angles morts à l'avant de l'Ego-véhicule rendant difficile l'analyse de la trajectoire des obstacles effectuant un Cut-in depuis ces zones.
- La distance de sécurité entre l'Ego-véhicule et le véhicule meneur est subie par l'Ego véhicule lorsque le trafic se densifie et un délai est nécessaire avant de pouvoir rétablir une distance réglementaire.
- Une distance de sécurité trop importante, particulièrement lorsque le trafic se densifie risque de "frustrer" l'utilisateur du véhicule autonome et donc présenter un risque sur l'acceptabilité de cette technologie.

Livrable SURCA concerné :

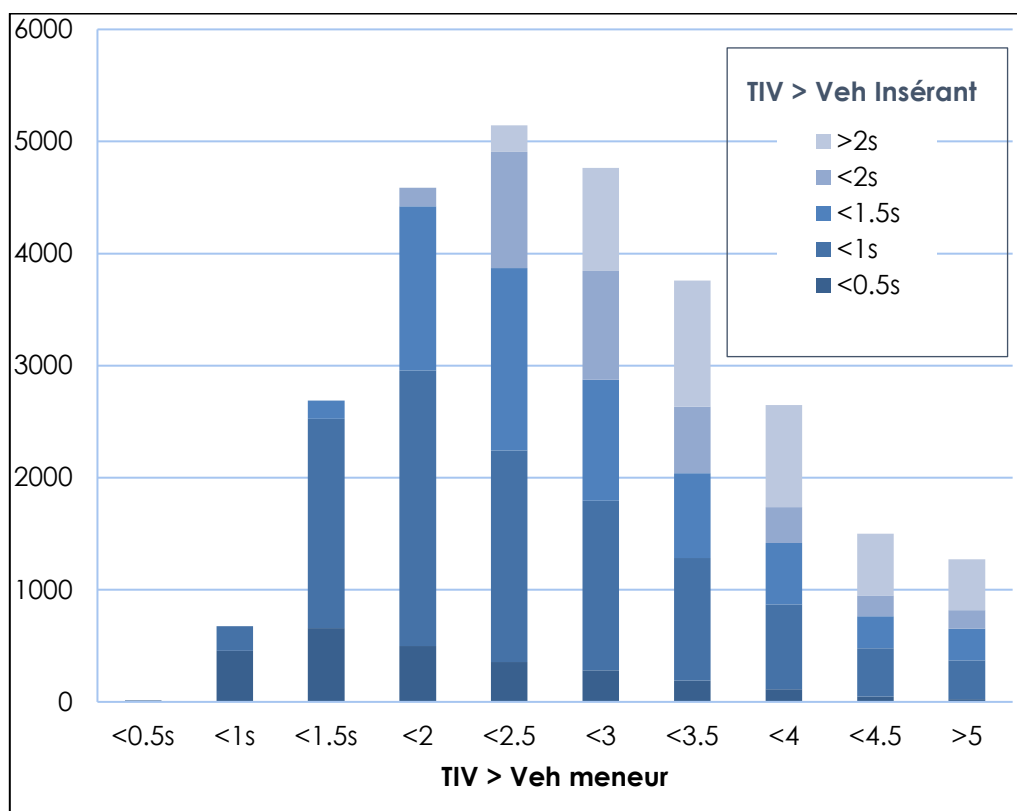
Saint Pierre, G., Désiré, L., Judalet, V., Chauvel, C., Haue, J.-B., Wadji, F., Kröger, R., & Thiolon, J.-B. (2022). *Livrable L4.2 : Description détaillée des scénarios d'interaction VA / VL et des risques associés*. Projet SURCA. 90 p.

Partie 4, Etude 2 : Déboitements, rabattements et insertions dans les données UDrive

6.1.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

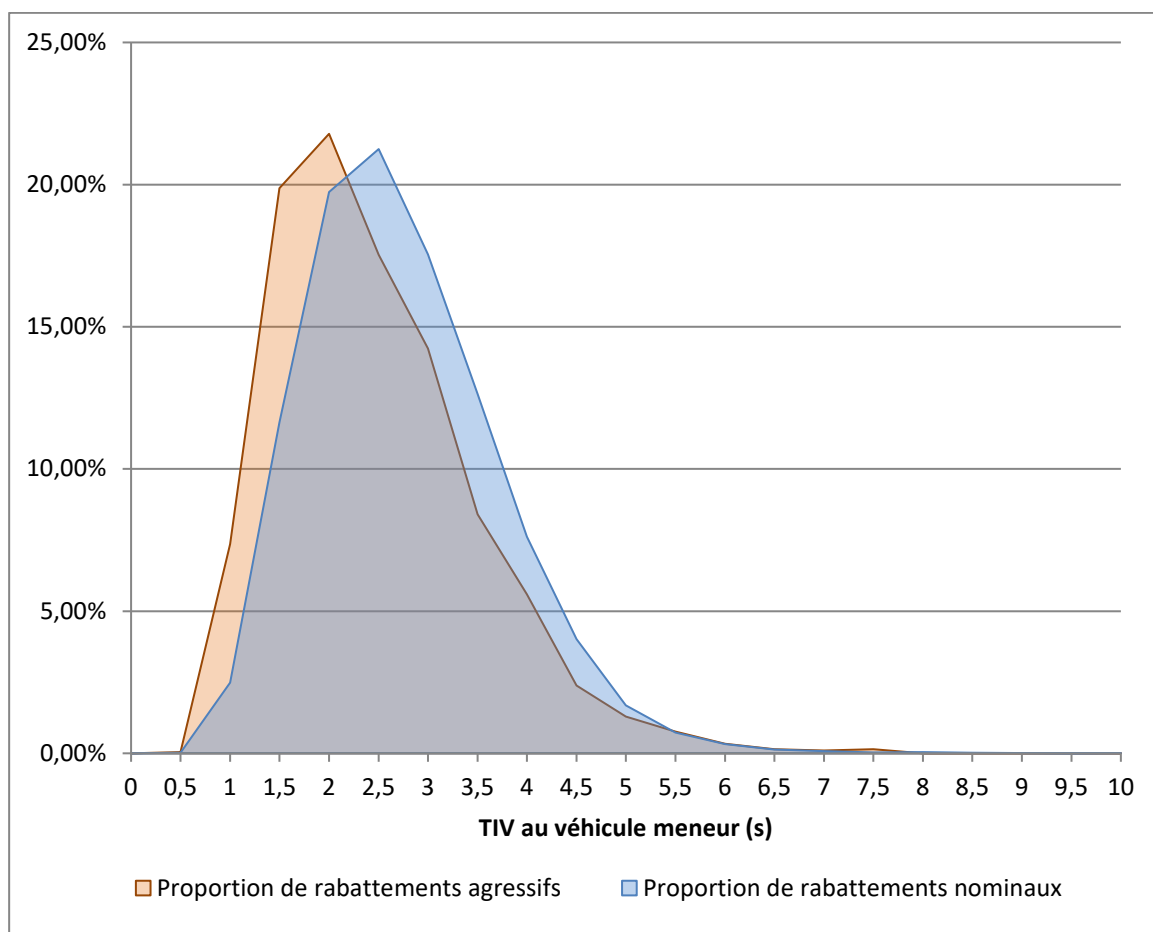
L'analyse menée porte sur le Temps Inter Véhiculaire (TIV) entre l'Ego-véhicule et le véhicule meneur et entre l'Ego véhicule et le Véhicule s'insérant. Le Cut-in est une manœuvre relativement courte, qui peut durer jusqu'à 6s. L'instant précis où le Cut-in est effectif correspond à la fin du franchissement de ligne, lorsque le véhicule s'insérant est intégralement dans la voie de l'égo-véhicule, et qu'il devient le nouveau véhicule meneur. Ci-après, la distribution du nombre de Cut-in subis en fonction du TIV au véhicule meneur et du TIV au véhicule s'insérant à l'instant de la fin du franchissement de ligne.

Figure n° 8 : Nombre de Cut-in subis en fonction du TIV entre EGO et CIBLE et TIV entre Ego et CUTTER



Le pic du nombre de rabattements subis, toutes conditions confondues, intervient avec un TIV au véhicule meneur de l'ordre de 2-2.5s. Les valeurs inférieures à 2s correspondent aux situations où l'ego ne respecte pas ses distances de sécurité préconisées par le code de la route, et laisse très peu d'espace entre lui-même et le véhicule meneur. De facto, le nombre de Cut-in s'en retrouve réduit, mais ceux-ci se font forcément à une distance courte. A l'inverse, à la droite du pic intervenant à 2.5s, le nombre de Cut-in diminue, particulièrement ceux se faisant avec une faible distance (les plus foncés).

Ces résultats se retrouvent en étudiant la proportion de Cut-in nominaux et agressifs subis en fonction de TIV au véhicule meneur.

Figure n° 9 : Proportion de rabattements subis en fonction du TIV au véhicule meneur

Ce graphique permet de comparer les conditions d'apparition des Cut-in en prenant en compte le différentiel de vitesse entre l'Ego-véhicule et le véhicule s'insérant. Les Cut-in Agressifs correspondent aux Cut-in durant lesquels un TTC inférieur ou égale à 5s est atteint. Les deux distributions de Cut-in sont similaires, avec un décalage notable vers la gauche des Cut-in agressifs. Ce décalage correspond à une augmentation du risque de subir un Cut-in agressifs lorsque le TIV entre l'Ego-véhicule et le véhicule meneur se réduit. Par ailleurs, une majorité des Cut-in subis (81% pour les rabattements agressifs, 72% pour les nominaux) interviennent lorsque la distance de sécurité au véhicule meneur est inférieure à 3s. C'est pourquoi nous recommandons d'augmenter, lorsque c'est possible, les distances de sécurité afin de réduire le nombre de rabattements subis, particulièrement le nombre de rabattements agressifs.

6.2 Détection des Cut-in

6.2.1 Recommandation

Détecter des signes de rabattement agressifs pour anticiper le freinage et/ou se signaler et/ou changer de voie

Justification de la recommandation : *La gestion efficace d'un Cut-in agressif permet de désamorcer une situation avant même qu'elle ne devienne accidentogène. Plusieurs choix s'offrent à l'Ego pour réduire le risque associé. Tout d'abord, il peut réduire sa vitesse ou changer de voie pour limiter le rapprochement des trajectoires. Ensuite, il lui est possible de signaler sa présence, notamment par un coup de klaxon, et d'autant plus si le risque d'impact est élevé et susceptible d'être causé par un manque d'attention. Ces actions ne sont pas exclusives et peuvent être combinées. Notre étude démontre l'importance d'engager tôt ces actions. Nous recommandons donc de détecter les premiers signes de rabattements afin d'anticiper la manœuvre et de choisir la réaction adéquate de l'Ego-véhicule.*

6.2.2 Données utilisées et limites de l'analyse NDS

Type de données : L'analyse a été menée sur des données de type NDS (Naturalistic Driving Studies) de la base UDRIVE-France. Ces données ont été collectées entre 2015 et 2017, auprès de 44 participants français qui totalisent 572 933 kilomètres et 12 631 heures dont 235 041 km et 2 690 heures sur Voies à Chaussées Séparées (VCS). Les données collectées comportent la dynamique de l'Ego-véhicule (vitesse, accélérations, etc.), le comportement du conducteur (actions pédales/volant, phares, etc.), la détection d'obstacles (positions relatives, vitesse, etc.) par une caméra intelligente, ainsi que la géolocalisation du véhicule permettant d'obtenir des informations sur l'infrastructure routière/ La collecte est complétée par l'enregistrement de vidéo de contexte, enregistrant les événements à l'extérieur et à l'intérieur du véhicule.

Limites de l'analyse :

- L'analyse porte sur la détection automatique de plusieurs milliers de Cut-In. Cette détection automatique n'est pas parfaite avec une précision estimée à 92%. 8% des scènes analysées ne sont donc pas véritablement des Cut-in et diluent les résultats.
- La détection de Cut-in est permise via la mesure des positions des obstacles par une caméra intelligente. Cette instrumentation n'offre pas une couverture à 360° autour de l'Ego-véhicule et présente deux angles morts à l'avant de l'Ego-véhicule rendant difficile l'analyse de la trajectoire des obstacles effectuant un Cut-in depuis ces zones.

Livrable SURCA concerné :

Saint Pierre, G., Désiré, L., Judalet, V., Chauvel, C., Haue, J.-B., Wadji, F., Kröger, R., & Thiolon, J.-B. (2022). *Livrable L4.2 : Description détaillée des scénarios d'interaction VA / VL et des risques associés*. Projet SURCA. 90 p.

Partie 4, Etude 2 : Déboitements, rabattements et insertions dans les données UDrive

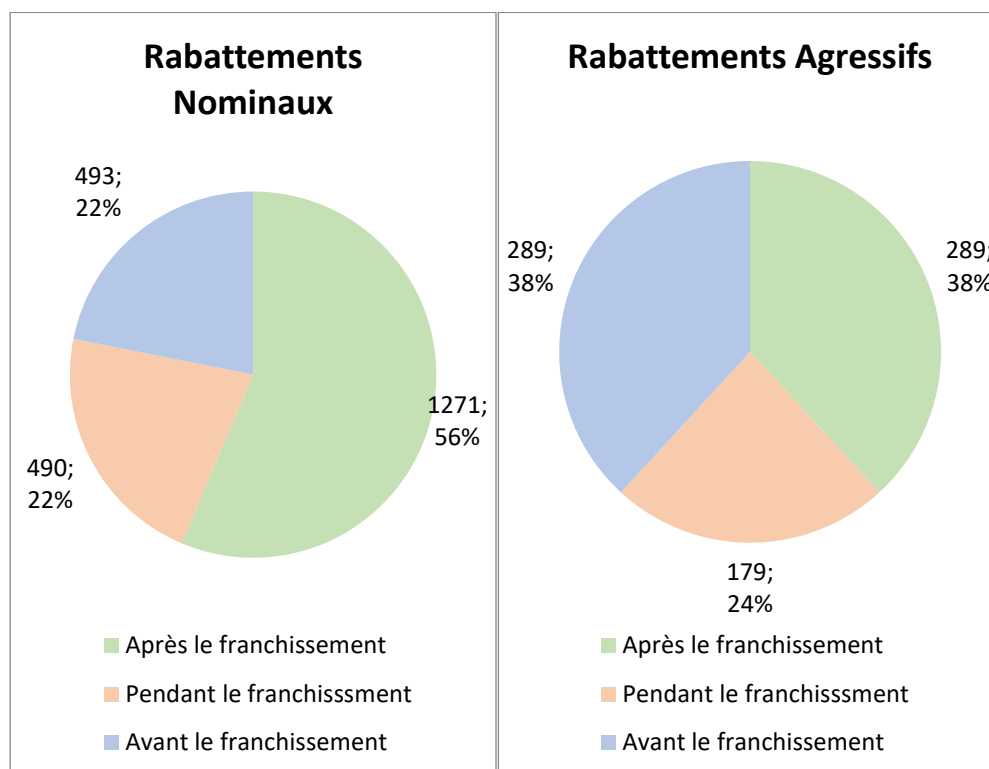
6.2.3 Résultats de(s) l'analyse(s) NDS

L'analyse porte sur l'instant où l'Ego véhicule commence à freiner pendant la manœuvre pour éviter une collision pendant qu'il subit un Cut-in. On note **t** le moment où le Cut-in est effectif, c'est-à-dire le moment où le véhicule s'insérant a fini le franchissement de ligne et qu'il devient le nouveau meneur. Ci-après, est présentée la proportion de Cut-in nominaux et agressifs en fonction de l'instant du premier freinage.

Tableau n° 2 : Proportion des rabattements nominaux et agressifs en fonction du temps

Instant Premier freinage	Proportion de rabattements nominaux (%)	Proportion de rabattements agressifs (%)
t-4s	0,24	1,50
t-3s	0,72	4,56
t-2s	1,22	9,95
t-1s	1,47	9,41
t+0s	1,71	7,79
t+1s	1,36	5,28
t+2s	1,42	5,10
t+3s	1,77	5,52
TOTAL freinage	9.9	49.1
TOTAL sans freinage	90,1	50,9

Logiquement, l'égo véhicule freine bien plus souvent lorsqu'il subit un Cut-in agressif (49.1%) que lorsqu'il subit un Cut-in nominal (9.9%). L'Ego-véhicule freine également comparativement plus tôt, dénotant l'importance d'une réaction rapide face à une manœuvre risquée. Ci-après, la distribution des Cut-in ayant nécessité un freinage en fonction de l'instant auquel intervient ce freinage :

Figure n° 10 : Répartition des rabattements nominaux et agressifs en fonction de la phase de franchissement

38% Des rabattements agressifs ont nécessité un freinage avant même le début de la manœuvre contre 22% des rabattements nominaux. Ces comportements montrent l'intérêt de savoir détecter les premiers signes de rabattement pour pouvoir anticiper une manœuvre risquée et freiner au plus tôt, si cela est nécessaire.

Par ailleurs, le signalement de présence permet également de désamorcer une situation dangereuse dans le cas où le véhicule s'insérant n'avait pas détecté l'Ego-véhicule. Cette analyse porte sur l'utilisation des appels de phare pendant un Cut-in. L'utilisation des appels de phare pendant un rabattement est rare, seuls 53 situations sur les 24 676 disponibles. Il est en revanche bien plus fréquent lors des rabattements agressifs

Tableau n° 3 : Nombre de rabattements nominaux et agressifs avec appels de phare

Types Rabattement	Nombre de rabattements	Dont appels de phares	Proportion appels de phares (%)
Nominaux	22798	39	1.7
Agressifs	1878	14	7.5
Total	24676	53	2.1

L'analyse des situations critiques (presque accidents), préalablement identifiés dans la base UDRIVE, a permis d'identifier un ensemble de facteurs participant à la décision d'initier un rabattement, présentés ci-dessous sans ambition d'exhaustivité. Leur prise en compte pourrait permettre d'adapter la conduite et d'anticiper un éventuel rabattement :

- Circulation à côté d'une file plus lente : un véhicule qui en sortirait aurait un différentiel de vitesse amenant un temps avant impact court (cas retrouvés dans plusieurs situations critiques),
- Véhicule coincé derrière un camion : l'inconfort lié au manque de visibilité peut motiver un conducteur à changer de voie malgré un fort différentiel de vitesse et un espace limité,
- Insertion jusqu'à la voie de gauche : un conducteur s'insérant rapidement sur une voie à chaussée séparée pourrait être tenté de poursuivre son accélération en enchaînant des changements de voie pour rejoindre une voie plus à gauche,
- Fin de ligne blanche : un conducteur temporisant son changement de voie en raison d'une ligne blanche pourrait se précipiter dès l'arrivée des pointillés,
- Remorque : la conduite avec une remorque peut fausser l'évaluation des distances et imposer au véhicule derrière des Cut-ins plus court qu'escomptés.

6.2.4 Données utilisées et limites de l'analyse EDA

Type de données : Etude détaillée d'accidents (EDA).

Limites de l'analyse : Analyse d'un seul accident et risque de mauvaise acceptabilité.

Livrable SURCA concerné :

Saint Pierre, G., Désiré, L., Judalet, V., Chauvel, C., Haue, J.-B., Wadji, F., Kröger, R., & Thiolon, J.-B. (2022). *Livrable L4.2 : Description détaillée des scénarios d'interaction VA / VL et des risques associés*. Projet SURCA. 90 p.

Partie 4 : Etudes Détaillées d'Accident (EDA)

6.2.5 Résultats de(s) l'analyse(s) EDA

La recommandation est basée sur l'analyse d'un accident issu de la base de données EDA (LAB). Un véhicule change de voie (ou se rabat) vers la droite et se fait percuter à l'arrière par un véhicule circulant sur cette voie. Un véhicule B circule sur la voie de gauche. Le véhicule A supposé automatisé circule quelques mètres derrière B sur la voie à droite. Le conducteur B voit des rouleaux de laines de verre tombés d'un camion dans sa voie de circulation. Il contrôle sur son rétroviseur de droite et voit un véhicule arriver. Il pense avoir le temps de se rabattre sur la voie de droite pour éviter de percuter les rouleaux de laine de verre. Il se fait percuter à l'arrière par le véhicule A qui circulait dans sa voie de circulation. Le conducteur B perd le contrôle de sa voiture, percute ensuite la barrière métallique et se retrouve en tête-à-queue sur la voie de droite. A s'arrête à moins de 4 mètres du B. Cet accident fait suite à un rabattement agressif.

En s'appuyant sur le calcul cinématique, sur la reconstruction via Pc-crash (logiciel de simulation) et le recueil des données d'accident, nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau n° 4 : Résultat de la reconstruction cinématique

Post collision

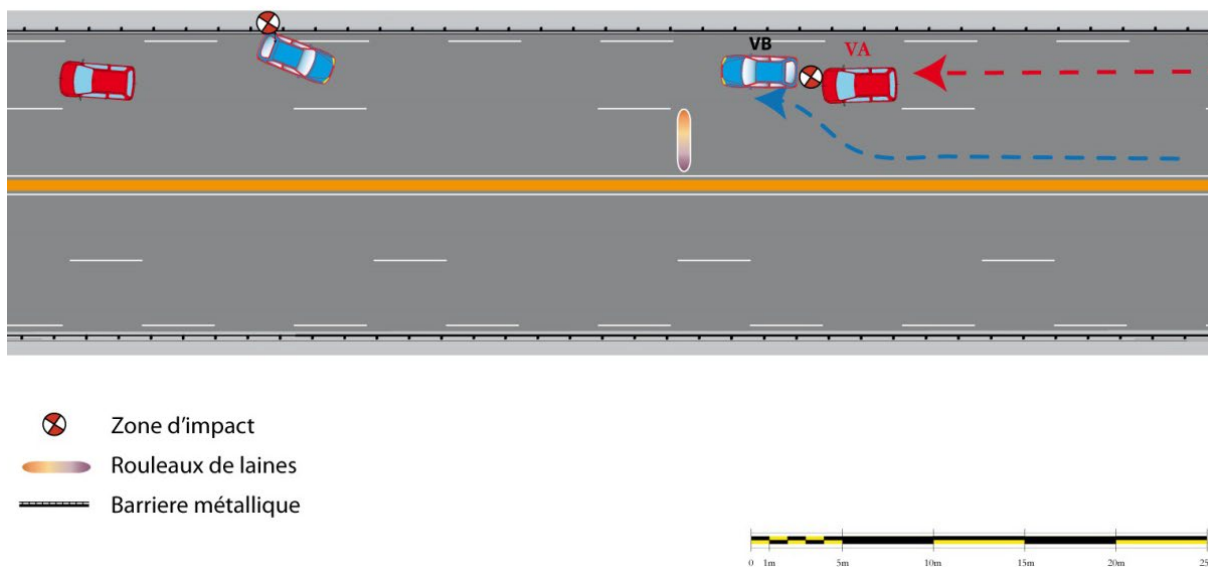
Variables	VA	VB	Unités
V sortie (Position finale)	0	0	Km/h
a	-7,1	-5,6	m/s ²
t	3,64	1,7	S
d	47	9	m
V entrée post collision	79	36,2	Km/h

Collision

Variables	VA	VB	Unités
V sortie de choc	79	77,9	Km/h
EES	15	20	Km/h
V entrée de choc	93	56	Km/h

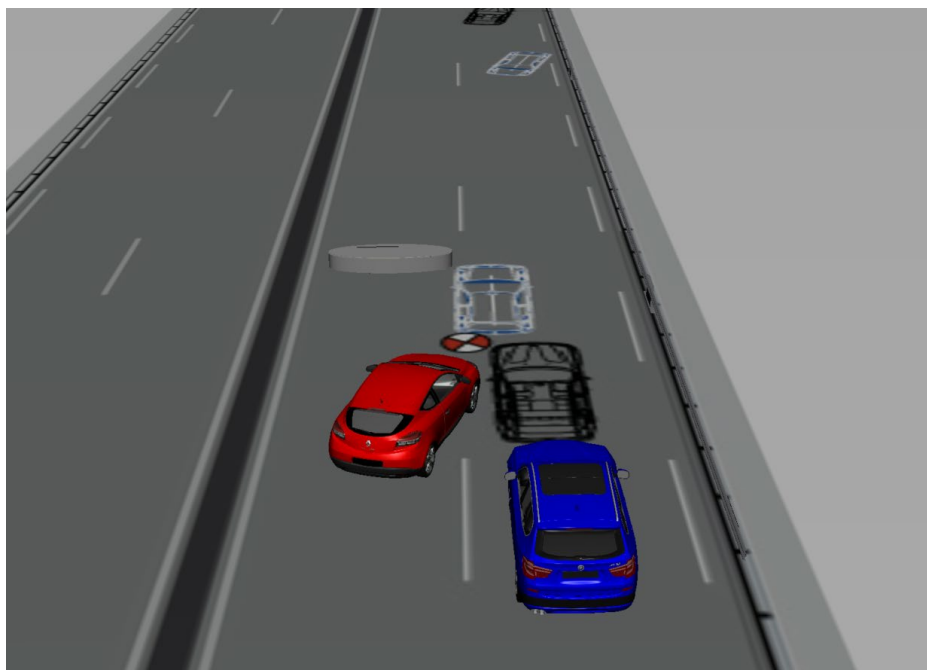
Le changement de voie de VB est tellement brusque que le conducteur de VA n'a pas eu le temps de réagir. La vitesse de pré-collision correspond à la vitesse de roulage pour les deux véhicules (56 km/h pour VB et 93 km/h pour VA).

Figure n° 11 : Plan de l'accident



Source : EDA (LAB)

Figure n° 12 : Illustration du Cut-in agressif (présence d'un obstacle sur la voie de circulation de VB)



Source : PC- CRASH

6.3 Prise en compte du trafic

6.3.1 Recommandation

Anticiper un ralentissement trafic au-delà du véhicule en augmentant le Temps Inter Véhiculaire

Justification de la recommandation : *Un véhicule qui s'insère vient réduire les marges de sécurité, à la fois les siennes et celles du véhicule suiveur. Il vient également masquer visuellement la scène de conduite au conducteur suiveur (notamment pour un véhicule large) et l'amène à porter son attention sur la reconstitution des marges de sécurité au détriment éventuel de la surveillance plus globale du trafic. Ces deux facteurs impliquent une plus grande sensibilité aux perturbations fréquentes dans un trafic dense (e.g. ralentissement devant). Ces dernières vont arriver plus rapidement, en raison des marges réduites, avec une réaction potentiellement ralentie par le masquage visuel et attentionnel. Afin de restaurer les marges de sécurité, nous recommandons, en l'absence de visibilité de la scène avant, une restauration accrue du TIV avec le véhicule de devant, afin d'intégrer l'éventuelle réduction de sa propre marge qu'il s'est infligé pour s'insérer.*

6.3.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : L'analyse a été menée sur des données de type NDS (Naturalistic Driving Studies) de la base UDRIVE-France. Ces données ont été collectées entre 2015 et 2017, auprès de 44 participants français qui totalisent 572 933 kilomètres et 12 631 heures dont 235 041 km et 2 690 heures sur Voies à Chaussées Séparée (VCS). Les données collectées comportent la dynamique de l'Ego-véhicule (vitesse, accélérations, etc.), le comportement du conducteur (actions pédales/volant, phares, etc.), la détection d'obstacles (positions relatives, vitesse, etc.) par une caméra intelligente, ainsi que la géolocalisation du véhicule permettant d'obtenir des informations sur l'infrastructure routière. La collecte est complétée par l'enregistrement de vidéos de contexte, enregistrant les événements à l'extérieur et à l'intérieur du véhicule.

Limites de l'analyse :

- L'analyse porte sur la détection automatique de plusieurs milliers de Cut-In. Cette détection automatique n'est pas parfaite avec une précision estimée à 92%. 8% des scènes analysées ne sont donc pas véritablement des Cut-in et diluent les résultats.
- La détection de Cut-in est permise via la mesure des positions des obstacles par une caméra intelligente. Cette instrumentation n'offre pas une couverture à 360° autour de l'Ego-véhicule et présente deux angles morts à l'avant de l'Ego-véhicule rendant difficile l'analyse de la trajectoire des obstacles effectuant un Cut-in depuis ces zones.

Livrable SURCA concerné :

Saint Pierre, G., Désiré, L., Judalet, V., Chauvel, C., Haue, J.-B., Wadji, F., Kröger, R., & Thiolon, J.-B. (2022). *Livrable L4.2 : Description détaillée des scénarios d'interaction VA / VL et des risques associés*. Projet SURCA. 90 p.

Partie 4, Etude 2 : Déboitements, rabattements et insertions dans les données UDrive

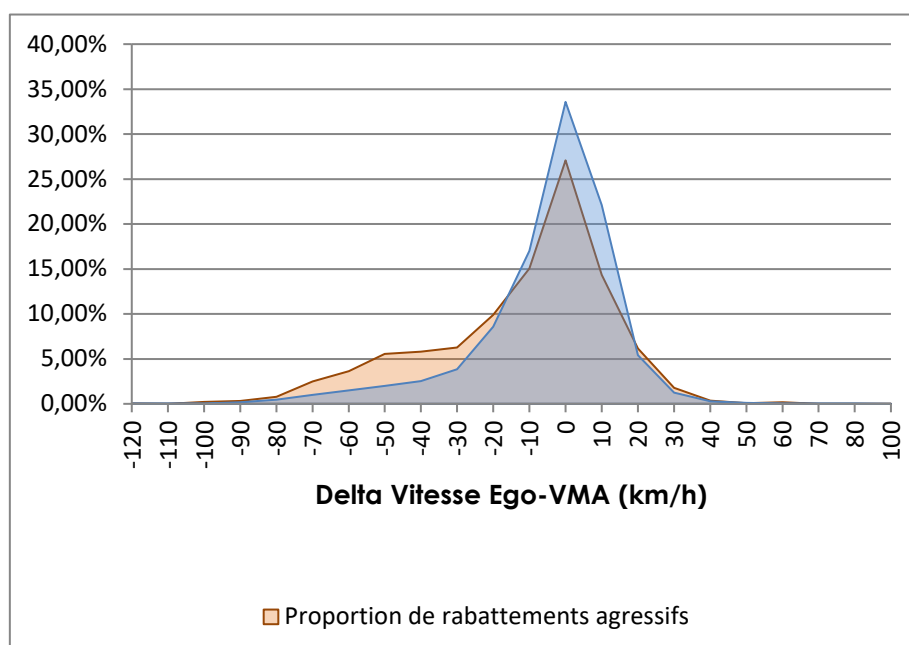
6.3.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

L'analyse s'est d'abord appuyée sur les 5 situations critiques de rabattements lors desquelles le conducteur freinait (ou tournait) après la fin de l'insertion (sur un total de 14 situations critiques de rabattement). Elle a montré un facteur de masquage sur toutes ces situations.

L'analyse de la distinction entre les Cut-in nominaux et les Cut-in agressifs a permis de préciser les conditions de leur occurrence, sans toutefois pouvoir automatiser la caractérisation du pouvoir masquant du véhicule s'insérant. L'analyse du freinage, présenté en 6.2.3 a montré que si 38% des freinages lors des Cut-in agressifs survenaient avant l'insertion, 38% survenaient également après l'insertion terminée.

L'étude des conditions de survenue des Cut-in agressifs s'est intéressée à l'impact de la densité du trafic. Cette densification se matérialise par une baisse de vitesse des véhicules légers et peut donc se détecter en calculant l'écart entre la vitesse de l'Ego-véhicule et la Vitesse Maximale Autorisée (VMA). Ci-après la proportion de Cut-in subis en fonction du delta entre vitesse Ego-véhicule et VMA, pour les Cut-in Nominaux et les Cut-in agressifs.

Figure n° 13 : Proportion de rabattements subis en fonction du delta Vitesse Ego-véhicule et Vitesse Maximale Autorisée (VMA)



Source : Livrable4.2, partie 4.3, Etude 2

Un delta de vitesse très faible (<-90km/h) correspond aux phases de bouchons saturés avec une vitesse quasi nulle. Durant ces phases aucun Cut-in ou presque n'intervient car les véhicules sont immobilisés. Lorsque le delta de vitesse se rapproche de 0, on retrouve les phases de trafic fluide durant lesquelles les Cut-in sont les plus nombreux. Un écart de vitesse entre -70 et -30km/h correspond aux phases de trafic dense, ralenti et instable, durant lesquelles on observe une surreprésentation des Cut-in agressifs par rapport aux nominaux. Dans cette instabilité du trafic, les Cut-ins peuvent être déclenchés pour éviter un ralentissement. Pour les véhicules suiveurs, ils peuvent représenter un facteur aggravant à ces ralentissements, en raison du masquage et des réductions des marges de sécurité, qui expliquent l'augmentation de la proportion de TTC faible et des freinages, tardifs, qui en résultent.

6.4 Décélération

6.4.1 Recommandation

Lorsqu'un véhicule se rabat ou s'insère devant un véhicule automatisé avec un temps inter véhiculaire réduit, nécessitant une adaptation de la vitesse de celui-ci, la décélération du VA devrait être aussi limitée que possible pour éviter de surprendre le véhicule qui le suit

Justification de la recommandation : *L'étude des données de la BDD MOOVE a montré que lors de manœuvres de changement de voies (insertion ou rabattement) réalisés par des conducteurs humains, les temps inter-véhiculaire pouvaient momentanément être très réduits le temps de la manœuvre (inférieurs à 1 seconde). Les autres véhicules adaptent légèrement leur vitesse afin d'augmenter les temps inter-véhiculaire après la manœuvre, les niveaux de décélérations observés sont alors très limités (autours de 0.1 m/s²).*

Un VA qui est confronté à un véhicule effectuant un changement de voie devant lui devrait reproduire ce comportement et éviter un freinage trop brusque qui risquerait de surprendre les conducteurs des autres véhicules environnants, notamment du véhicule qui le suit.

6.4.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Extraction de la base de données MOOVE : véhicules équipés de capteurs extéroceptifs conduits par des conducteurs professionnels en situation de conduite naturelle. Nous avons exploité les données de plus de 10 000 manœuvres de changement de voie par des véhicules légers (VL) réalisées juste devant les véhicules équipés MOOVE. Cela correspond à des manœuvres de rabattement quand le véhicule vient de la voie de gauche, et d'insertion quand il vient de la voie de droite.

Limites de l'analyse : Les véhicules MOOVE sur lesquels se base cette étude sont conduits par des conducteurs professionnels. Aussi, leur conduite peut différer de celle d'un conducteur non professionnel.

Livraison SURCA concerné :

Saint Pierre, G., Désiré, L., Judalet, V., Chauvel, C., Haue, J.-B., Wadji, F., Kröger, R., & Thiolon, J.-B. (2022). *Livraison L4.2 : Description détaillée des scénarios d'interaction VA / VL et des risques associés*. Projet SURCA. 90 p.

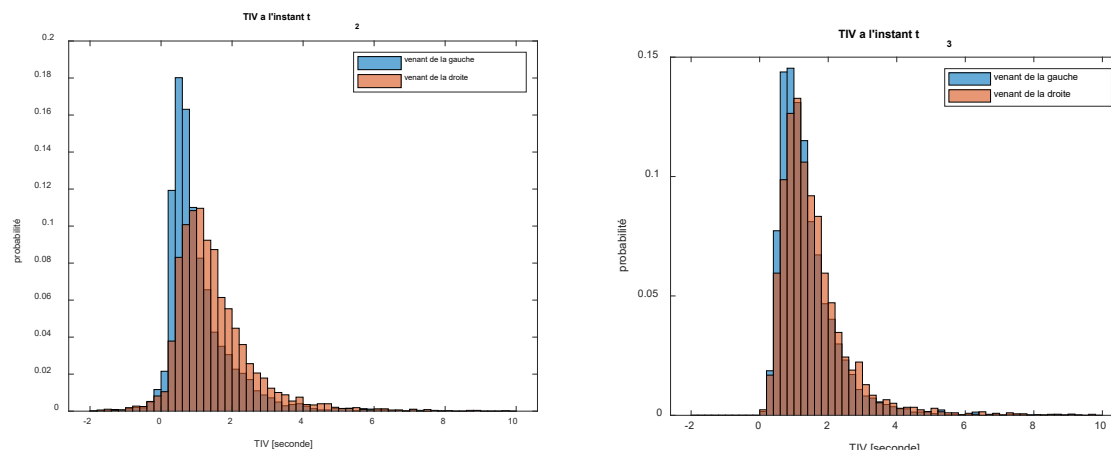
Partie 4 : Etude 1 Déboisement, rabattement et insertions dans les données MOOVE

6.4.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

Les données étudiées concernent des manœuvres de changement de voie (insertion ou rabattement) sur route à voies multiples réalisées par des véhicules légers (VL). Le véhicule qui change de voie (appelé cible ci-après) s'insère ou se rabat devant le véhicule équipé MOOVE (appelé Ego ci-après).

Les figures ci-après montrent les temps inter-véhiculaire (TIV) entre la cible et l'Ego lors des manœuvres de rabattement (cible venant de la gauche) et d'insertion (cible venant de la droite). Le TIV est défini par le temps nécessaire à l'égo véhicule pour atteindre la position actuelle de la cible située devant lui.

Figure n° 14 – Histogrammes du TIV de la cible avant et après le franchissement du marquage



L'histogrammes du TIV du véhicule cible (

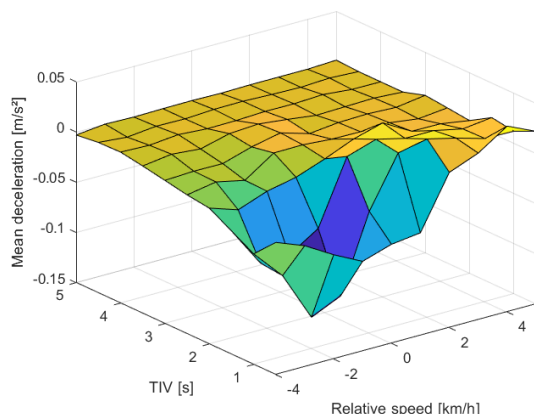
Figure n° 14) montre qu'au moment d'initier une manœuvre de rabattement (instant T2), le TIV est inférieur à 1 seconde dans la majorité des cas.

Les TIV aux instant T3 (fin de franchissement du marquage) sont semblables pour les manœuvres d'insertion et de rabattement. Ils sont inférieurs à 0.6 secondes dans quasiment 10% des scènes étudiées. Ces TIV sont très inférieurs à la distance de sécurité préconisés (qui correspond à un TIV de 2 secondes), et même inférieurs au temps de réaction moyen d'un conducteur humain (généralement estimé à 1 seconde). En situation de conduite, nous observons donc régulièrement des situations qui pourraient être considérées comme dangereuses par un véhicule automatisé.

Après T3, les TIV des véhicules évoluent peu. La modification de vitesse liée à la manœuvre d'insertion ou de rabattement a principalement lieu pendant la phase de changement de voie.

Nous avons mis en évidence précédemment que lorsque la cible s'insère juste devant le véhicule égo, celui-ci doit adapter sa vitesse. En particulier, lorsque la vitesse relative de la cible est négative, cela contraint le véhicule égo à réduire sa vitesse. Nous essayons à présent de quantifier cette décélération. Les différentes scènes ont été classés selon le TIV et la vitesse relative entre la cible et l'Ego à l'instant T3. Pour chaque classe, nous avons calculé la décélération moyenne de l'Ego entre T2 et T3 (voir figure ci-dessous).

Figure n° 15 – Décélération moyenne de l'égo pour différentes classes de TIV et de vitesse relative



Lorsque la vitesse relative est positive ou nulle, le véhicule égo ne ralentit pas, même pour des temps inter véhiculaires (TIV) très faibles (0,5 seconde).

De même, lorsque le TIV est supérieur ou égal à 2 secondes, on n'observe quasiment pas de changement de la vitesse du véhicule égo.

Lorsque l'on observe à la fois un TIV inférieur ou égal à 1,5 seconde, et une vitesse relative négative, le véhicule égo réduit sa vitesse, avec une décélération moyenne de l'ordre de 0,1 m/s².

6.5 Temps inter-véhiculaire

6.5.1 Recommandation

Lorsqu'un 2RM se rabat ou s'insère devant un véhicule automatisé avec un temps inter véhiculaire réduit, celui-ci ne doit pas réaliser un freinage brusque si la vitesse relative du 2RM est positive ou nulle

Justification de la recommandation : l'étude des données en conduite naturelle a mis en évidence que les temps inter véhiculaires au moment du changement de voie d'un 2RM (insertion et rabattement confondus) sont majoritairement inférieurs à 2 secondes. Ils sont même inférieurs à 0.6 seconde dans 10% des scènes étudiées.

Lors des manœuvres de rabattement, les 2RM ont une vitesse généralement supérieure au véhicule MOOVE. Lors des insertions, les vitesses relatives des 2RM peuvent être positives ou négatives. Lorsque les 2RM ont une vitesse inférieure à celle de l'Ego, ils semblent généralement accélérer pendant la manœuvre pour rattraper la vitesse de l'Ego

Sur les données étudiées, les conducteurs des véhicules MOOVE ne semblent pas adapter leur vitesse lorsqu'un 2RM se rabat devant lui avec une vitesse relative positive. Un VA qui serait confronté à un 2RM effectuant un changement de voie devant lui devrait reproduire ce comportement et éviter un freinage trop brusque qui risquerait de surprendre les conducteurs des autres véhicules environnants, notamment du véhicule qui le suit.

6.5.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Extraction de la base de données MOOVE : véhicules équipés de capteurs extéroceptifs conduits par des conducteurs professionnels en situation de conduite naturelle.

Limites de l'analyse : les résultats s'appuient sur une extraction de 993 manœuvres d'insertion ou de rabattement d'un 2RM devant le véhicule MOOVE.

Livrable SURCA concerné :

Ledoux V., Blanquart A., De Rus N., Judalet V., Canu B., Fournier J-Y, Naude C., Nieto J., Perrin C., Ragot-Court I., Serre T., Van Eslande P. (2022) Livrable 5.2 Description détaillée des scénarios d'interaction VA / 2RM et des risques associés, Projet Surca, financé par la FSR et la DSR, 43 p.

Partie 2.1 : Étude des Cut-in dans les données MOOVE

6.5.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

Les données étudiées concernent des manœuvres de changement de voie (insertion ou rabattement) sur route à voies multiples réalisées par des 2RM. Le 2RM qui change de voie (appelé cible ci-après) s'insère ou se rabat devant le véhicule équipé MOOVE (appelé Ego ci-après).

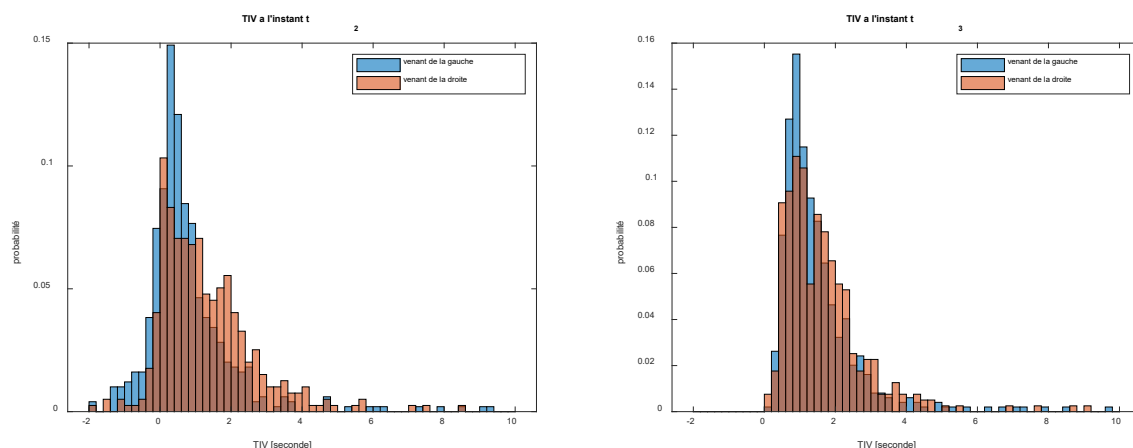
Les figures ci-après montrent les temps inter-véhiculaire (TIV) entre la cible et l'Ego lors des manœuvres de rabattement (cible venant de la gauche) et d'insertion (cible venant de la droite). Le TIV est défini par le temps nécessaire à l'égo véhicule pour atteindre la position actuelle de la cible située devant lui.

L'histogramme du TIV du 2RM (Figure n° 16) montre qu'au moment d'initier une manœuvre de rabattement (instant T2), le TIV est inférieur à 1 seconde dans la majorité des cas.

Les TIV aux instant T3 (fin de franchissement du marquage) sont semblables pour les manœuvres d'insertion et de rabattement. Ils sont inférieurs à 0.6 seconde dans quasiment 10% des scènes étudiées. Ces TIV sont très inférieurs à la distance de sécurité préconisée (qui correspond à un TIV de

2 secondes), et même inférieurs au temps de réaction moyen d'un conducteur humain (généralement estimé à 1 seconde). En situation de conduite, nous observons donc régulièrement des situations qui pourraient être considérées comme dangereuses par un véhicule automatisé.

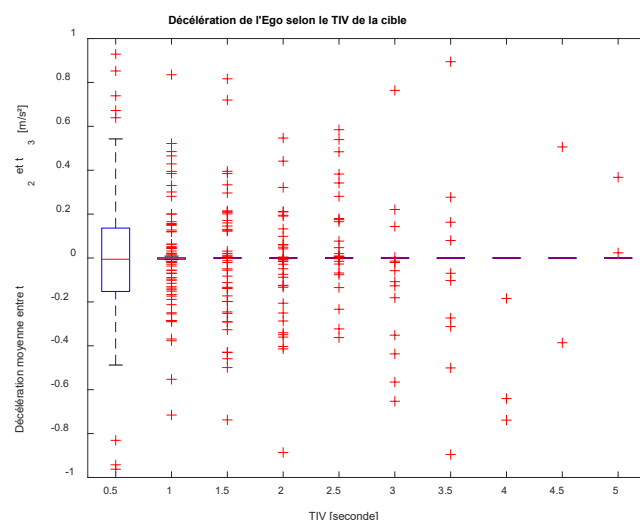
Figure n° 16 - Histogrammes du TIV de la cible avant et après le franchissement du marquage



Nous essayons de déterminer à présent si, au moment de l'insertion ou du rabattement d'un 2RM devant lui, le conducteur d'un véhicule léger adapte sa conduite pour faciliter la manœuvre. Pour cela, nous mesurons la décélération moyenne du véhicule Ego entre T2 et T3. La Figure n° 17 montre cette décélération selon le temps inter véhiculaire du 2RM.

Quel que soit le TIV du 2RM, la valeur moyenne de la décélération est proche de 0. Pour certaines scènes, nous mesurons une décélération ou une accélération relativement élevée sans pouvoir faire un lien statistique avec le TIV ou la vitesse relative du 2RM du fait du faible nombre de scènes.

Figure n° 17 - Décélération moyenne du véhicule Ego entre T2 et T3 (selon le TIV du 2RM)



Dans le livrable SURCA L4.2 sur les interactions entre véhicules légers, nous avons mis en évidence que lorsque le changement de voie est réalisé par un VL, le conducteur du véhicule Ego marque une décélération lorsque le temps inter-véhiculaire (TIV) est inférieur ou égal à 1,5 seconde et que la vitesse relative est négative. Nous n'avons pas assez de données pour confirmer ce résultat quand le changement de voie est réalisé par un 2RM.

6.6 Insertion

6.6.1 Recommandation

Si un véhicule roulant sur une voie d'insertion semble vouloir s'insérer devant un véhicule autonome, celui-ci doit adapter son inter distance avec le véhicule qui le précède pour faciliter l'insertion

Justification de la recommandation : Cela permettra de réduire les risques de Cut-in agressifs.

6.6.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Les études détaillées d'accidents (EDA).

Limites de l'analyse : Analyse d'un seul accident et risque de mauvaise acceptabilité.

Livrable SURCA concerné :

Saint Pierre, G., Désiré, L., Judalet, V., Chauvel, C., Haue, J.-B., Wadji, F., Kröger, R., & Thiolon, J.-B. (2022). *Livrable L4.2 : Description détaillée des scénarios d'interaction VA / VL et des risques associés*. Projet SURCA. 90 p.

Partie 4 : Etudes Détaillées d'Accident (EDA)

6.6.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

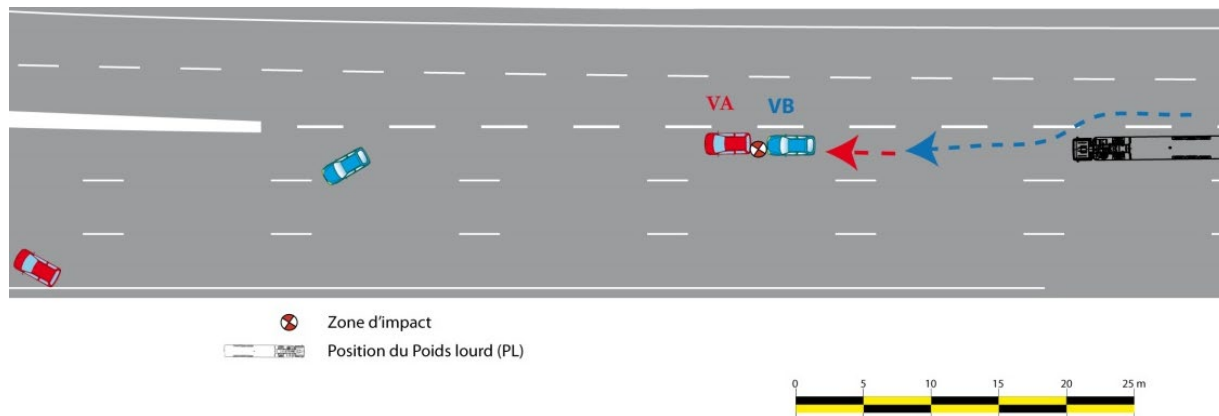
La recommandation est basée sur l'analyse d'un accident issu de la base de données EDA (LAB). Un véhicule heurte l'arrière du véhicule précédent qui ralentissait. Cet accident a eu lieu sur une route nationale et implique deux véhicules légers. Le véhicule A supposé automatisé circule sur une section courante, sur la voie de droite. Le véhicule B circule sur la bretelle. Il entame un dépassement d'un poids lourd (PL) par la gauche le PL se trouvant sur la même voie de circulation que le véhicule A. Ensuite il s'insère devant le PL. Inattentif, il ne voit pas le ralentissement de A. Les deux véhicules se percutent (cf. la figure ci-dessous).

En s'appuyant sur le calcul cinématique, sur la reconstruction via Pc-crash (logiciel de simulation) et le recueil des données d'accident, nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau n° 5 : Résultats de la reconstruction cinématique

Pré-Collision				Collision				Post collision			
Variables	VA	VB	Unités	Variables	VA	VB	Unités	Variables	VA	VB	Unités
V sortie	78	85	Km/h	V sortie de choc	60	80	Km/h	V sortie	0	0	Km/h
a	-2,5	-5,5	m/s ²	EES	50	30	Km/h	a	-4	-8	m/s ²
t	2,4	3	S	V entrée de choc	78	85	Km/h	t	4,2	2,8	S
d	50	79	m					d	35	31	m
V entrée post collision	95	111	Km/h					V entrée post collision	60	80	Km/h

Figure n° 18 : Plan de l'accident

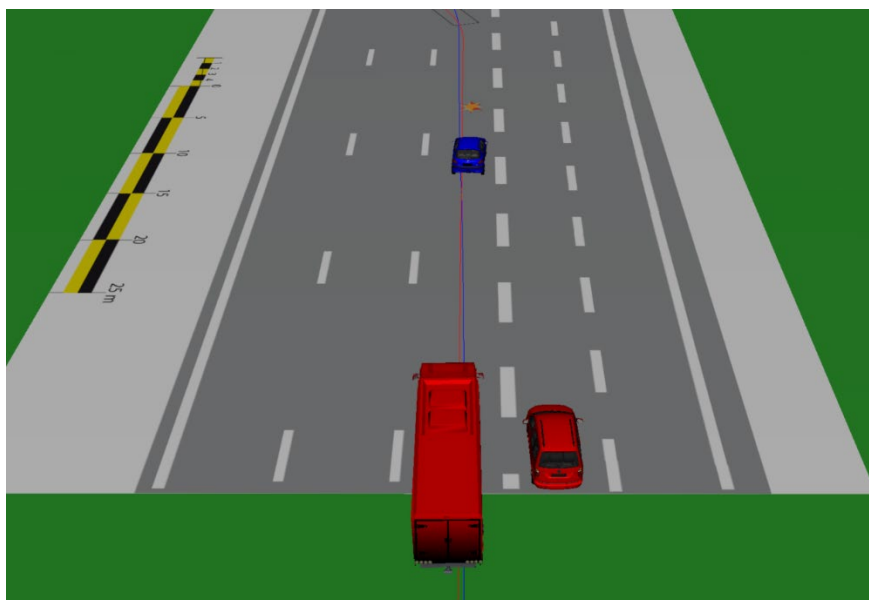


Source : EDA (LAB)

VA circulait avec une vitesse de 95 km/h.

VB circulait à une vitesse de 111 km/h.

Figure n° 19 : Illustration de la recherche de créneau d'insertion de VB



Source : PC- CRASH

7 RECOMMANDATIONS POUR LES CHANGEMENTS DE VOIES SUR AUTOROUTE

7.1 Détection des 2RM

7.1.1 Recommandation

Lorsque le VA décide de réaliser un changement de voie sur une route à voies multiples, le VA doit être en mesure de détecter suffisamment tôt les 2RM qui réalisent une remontée de file

Justification de la recommandation : *Quand un VA réalise une manœuvre de changement de voie, il y a un risque de couper les trajectoires des 2RM réalisant des remontées de file entre les deux voies. Il est donc nécessaire de pouvoir détecter les 2RM qui effectuent une remontée de file afin de prévenir tout risque de collision avec ces 2RM. Sur les données de la base de données MOOVE, il apparaît que, avec un véhicule équipé de capteurs extéroceptifs classiques pour un VA, les 2RM sont parfois détectés très tardivement.*

7.1.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Extraction de la base de données MOOVE : véhicules équipés de capteurs extéroceptifs conduits par des conducteurs professionnels en situation de conduite naturelle.

Limites de l'analyse : les résultats s'appuient sur une extraction de 36276 manœuvres de remontée de file d'un 2RM lorsque ce 2RM dépasse le véhicule MOOVE.

Livrable SURCA concerné :

Ledoux V., Blanquart A., De Rus N., Judalet V., Canu B., Fournier J-Y, Naude C., Nieto J., Perrin C., Ragot-Court I., Serre T., Van Eslande P. (2022) Livrable 5.2 Description détaillée des scénarios d'interaction VA / 2RM et des risques associés, Projet Surca, financé par la FSR et la DSR, 43 p.

Partie 2.2 : Remontée de file dans les données MOOVE

7.1.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

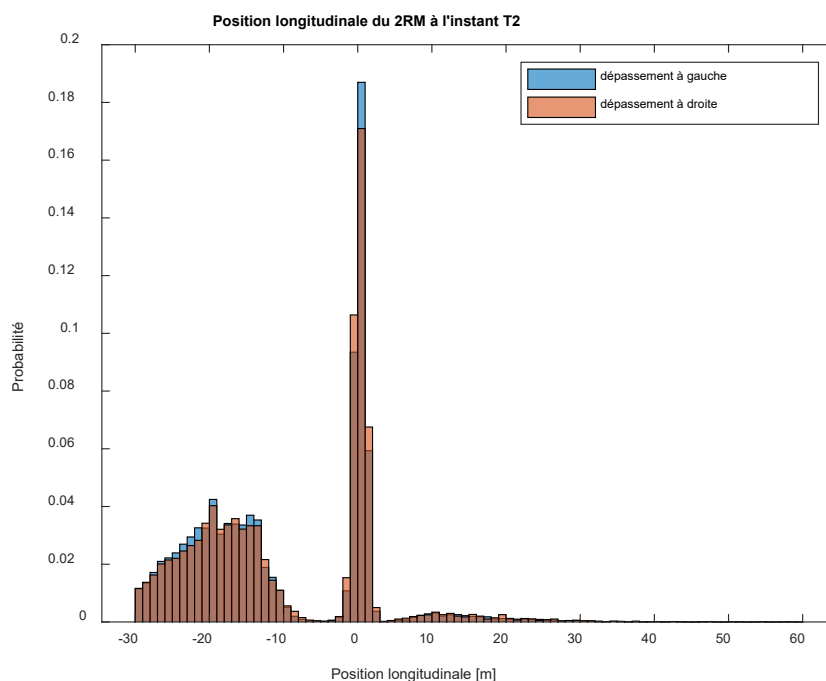
Les véhicules instrumentés utilisés pour l'acquisition des données MOOVE sont équipés de capteurs extéroceptifs classiques pour un véhicule autonome (Radar, Lidar, Caméra) situés vers l'avant et l'arrière du véhicule. Nous avons étudié dans les données MOOVE à quel instant un 2RM qui effectue une remontée de file est détecté par ces capteurs, afin de vérifier si un véhicule autonome équipé de ces capteurs serait en mesure de les détecter suffisamment tôt.

La Figure n° 20 montre que dans environ deux tiers des cas, le 2RM qui effectue une remontée de file est détecté alors qu'ils se situe à une distance comprise entre 10m et 30m à l'arrière du véhicule Ego (détectations précoces). Nous n'avons aucun cas où le 2RM est détecté au-delà de 30m. Cela vient probablement d'une limitation de détection des objets mobiles dans la base de données MOOVE.

Le 2RM n'est quasiment jamais détecté entre 1m et 10m à l'arrière du véhicule Ego, ce qui pourrait correspondre au cône d'angle mort des capteurs LIDAR du véhicule. Par contre, les radars « short range » sont susceptibles de détecter le 2RM sur cette zone.

Dans plus d'un tiers des scènes (détections tardives), le 2RM n'est détecté que lorsqu'il dépasse l'Ego (distance proche de 0m). Pour ces scènes, deux cas peuvent se présenter : soit le 2RM n'a effectivement jamais été détecté auparavant (masqué par un autre objet), soit le 2RM avait été détecté auparavant, mais l'algorithme qui assure le suivi temporel des objets l'a « perdu » entre-temps et lui a affecté un nouvel identifiant. Nous avons regardé individuellement certaines des scènes ou cela se produit. Il n'y a généralement pas de 2RM à l'instant T1, ce qui semble signifier que pour ces scènes, les 2RM n'avait effectivement pas été détecté auparavant.

Figure n° 20 - Position longitudinale du 2RM lors de la première détection par l'Ego



7.2 Vitesse

7.2.1 Recommandation

Lorsqu'un VA effectue un changement de voie, il devra adapter sa vitesse pour qu'elle soit supérieure ou égale à celle du véhicule devant lequel il s'insère et laisser un temps inter véhiculaire de 2 secondes avec ce véhicule

Justification de la recommandation : Cela permettra de réduire les risques d'accidents fronto-arrières.

7.2.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Les Etudes détaillées d'accidents (EDA).

Limites de l'analyse : Analyse d'un seul accident.

Livrable SURCA concerné :

Saint Pierre, G., Désiré, L., Judalet, V., Chauvel, C., Haue, J.-B., Wadji, F., Kröger, R., & Thiolon, J.-B. (2022). *Livrable L4.2 : Description détaillée des scénarios d'interaction VA / VL et des risques associés*. Projet SURCA. 90 p.

Partie 4 : Etudes Détaillées d'Accident (EDA)

7.2.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

La recommandation est basée sur l'analyse d'un accident issu de la base de données EDA (LAB). Un véhicule change de voie (ou se rabat) vers la gauche et se fait percuter à l'arrière par un véhicule circulant sur cette voie. Le véhicule A supposé automatisé circule sur la voie de gauche. Le véhicule B circule sur la voie de droite devant le véhicule A. Un PL se trouve devant le B, le conducteur décide de la dépasser, il change de file vers la gauche et se fait percuter à l'arrière par le véhicule A.

En s'appuyant sur le calcul cinématique, sur la reconstruction via Pc-crash (logiciel de simulation) et le recueil des données d'accident, nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau n° 6 : Résultats de la reconstruction cinématique

Post collision				Collision				Pré-Collision			
Variables	VA	VB	Unités	Variables	VA	VB	Unités	Variables	VA	VB	Unités
V _{sortie}	74	0	Km/h	V _{sortie de choc}	90	88	Km/h	V _{sortie}	74	86	Km/h
a	-4	-3,6	m/s ²	EES	10	10	Km/h	a	-4	-3,6	m/s ²
t	1,1	7,2	S	V _{entrée de choc}	89	86	Km/h	t	1,1	7,2	S
d	25	94	m					d	25	94	m
V _{entrée post collision}	90	88	Km/h					V _{entrée post collision}	90	88	Km/h

Le VA circulait à une vitesse de 76 km/h avant d'entamer le dépassement et VB circulait à une vitesse de 86 km/h.

Figure n° 21 : Plan de l'accident

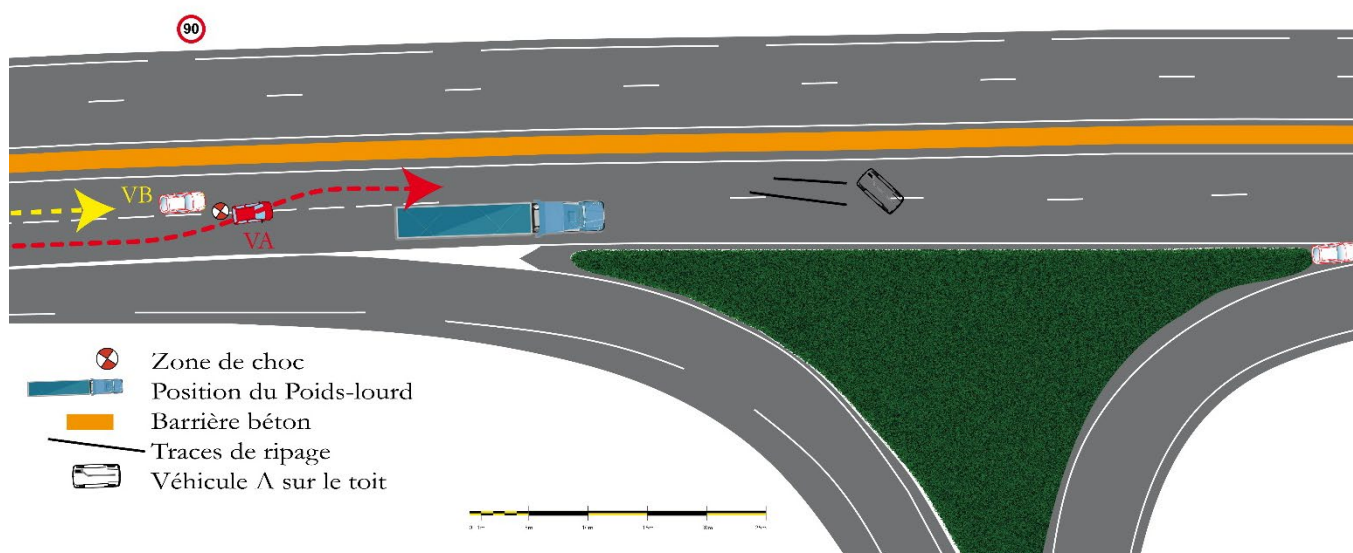
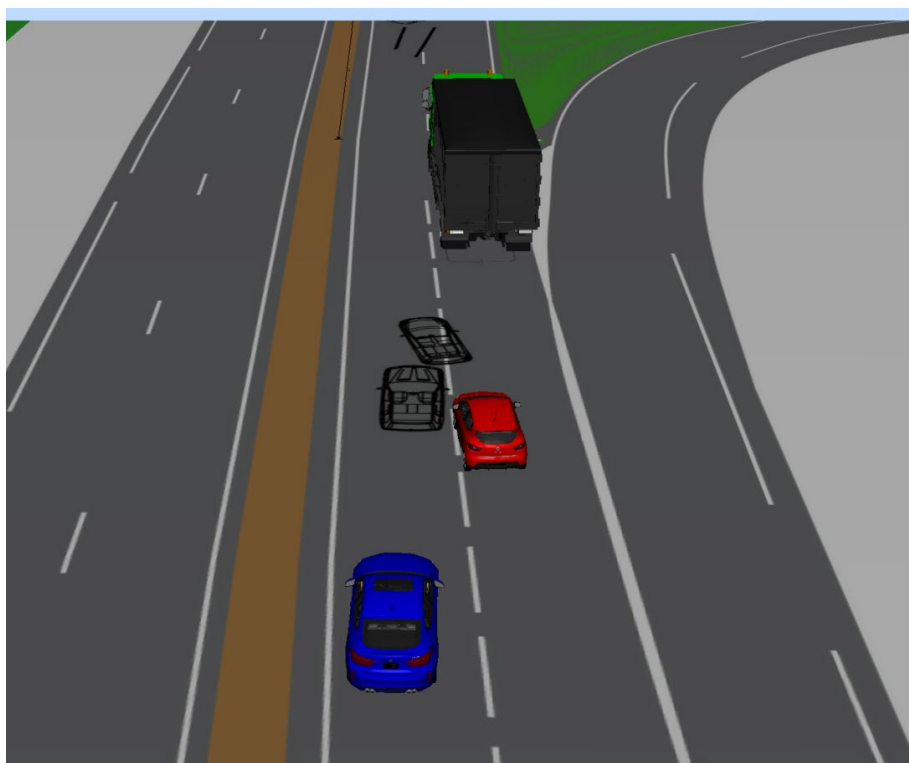


Figure n° 22 : Illustration du changement de voie de VA



Source : PC- CRASH

8 RECOMMANDATIONS POUR LE VA ET LES REGLEMENTATIONS/REGLES DE L'ART

8.1 Performances du VA

8.1.1 Recommandation

Les fonctionnalités/performances du VA doivent être en adéquation avec la conception des infrastructures

Justification de la recommandation : Il est important que la *capacité de détection et de décision soit compatible avec les caractéristiques de l'infrastructure existante. Pour cela, il sera nécessaire de tester les comportements du véhicule autonome dans les infrastructures dans lesquelles il peut se déplacer.*

8.1.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Retours d'expérience des chercheurs du CEREMA : Règles de l'art pour la conception d'aménagement.

Limites de l'analyse : Avis d'experts.

Livrable SURCA concerné :

Tattegrain, H., Ledoux, V., & Battaglia, V. (2022). *Livrable L6.2 : Description détaillée des scénarios d'interaction VA / piétons et cyclistes et des risques associés*. Projet SURCA, 100 p

Partie 2.1 : Étude préalable sur les interactions en traversée sur passage piéton : paramètres à prendre en compte

8.1.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

Ces résultats viennent de la partie 2.1 : « Étude préalable sur les interactions en traversée sur passage piéton » du livrable 6.2 analysant la compatibilité des performances du VA avec la conception des infrastructures intégrant les points suivants :

- Cas du Dimensionnement des triangles de visibilité

Est-ce que les principes de conception et de respect des visibilité réciproques en approche des traversées, basés sur un temps de réaction humaine, sont suffisants pour le véhicule autonome ?

- Exemple pour une voie limitée à 50km/h

Cinématique des véhicules et triangle de visibilité

Théoriquement, il est nécessaire de dégager un triangle de détection de 23 m et permettant une vision de 2 m en amont de la traversée sur le trottoir pour permettre l'arrêt d'un véhicule. Ces valeurs sont basées sur un temps de réaction de 1 s du conducteur humain. Elles ne tiennent pas compte d'une éventuelle moindre valeur de la décélération (problème d'adhérence par exemple), et de la nécessaire pondération par un coefficient de sécurité.

Règles de l'art

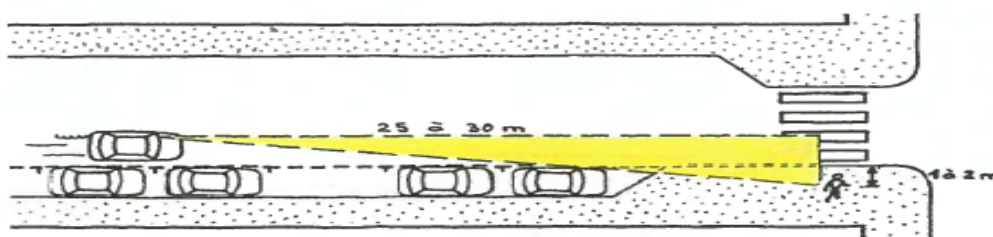
Aujourd'hui, l'aménagement de voirie est basé sur le temps de réaction d'un être humain. Par exemple, les préconisations dans une rue à 50km/h, sont une distance de 25 à 30 m pour un piéton situé à 1 ou 2 m du bord (cf. Figure n° 23).

Si le temps de réaction du véhicule automatisé est supérieur au temps de réaction d'un humain et en tenant compte des coefficients de sécurité, le triangle de détection devra être plus grand et cette visibilité ne sera pas assurée sur la voirie existante.

Le temps de réaction/ décision du véhicule automatisé s'il est supérieur au temps de réaction humain nécessite une diminution forte de la vitesse du VA pour qu'il soit en mesure de s'arrêter ce qui peut perturber grandement le trafic.

Les analyses nous permettent ainsi de recommander que les performances du VA doivent subir des tests normalisés pour d'obtenir des valeurs seuils compatibles avec toutes les situations de conduite rencontrées et la conception des infrastructures, par exemple, pour les traversées piétonnes, la compatibilité avec les triangles de visibilité existants.

Figure n° 23 : Triangle de visibilité sur voie à 50km/h



Source : guide d'aménagement de la voirie urbaine-cerema 2016

8.2 Mise à jour du VA

8.2.1 Recommandation

Le VA doit obligatoirement mettre à jour ses bases en matière de réglementation, de code de la route ou d'aménagement

Justification de la recommandation : Le VA doit adapter son comportement en fonction des règles du pays où il circule.

8.2.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Retours d'expérience des chercheurs du CEREMA : Connaissance des évolutions des aménagements sur le terrain, corpus réglementaire.

Limites de l'analyse : Avis d'experts

Livrable SURCA concerné :

Tattegrain, H., Ledoux, V., & Battaglia, V. (2022). *Livrable L6.2 : Description détaillée des scénarios d'interaction VA / piétons et cyclistes et des risques associés*. Projet SURCA, 100 p

Partie 2.7 : Cas complexe d'interactions entre multiples usagers / aménagements innovants ou rares

8.2.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

Illustration par le cas Giratoire « à la hollandaise », giratoire cyclable à ilots intra annulaires

Ce nouveau type de giratoire a été mis en place dans quelques sites en région parisienne. Par exemple au carrefour Pompadour à Créteil.

L'aménagement d'un giratoire à la « hollandaise » vise à faire ralentir les véhicules motorisés et à sécuriser la traversée des piétons et des cyclistes, il permet de réaliser des voies distinctes pour chaque mode. Les véhicules motorisés ralentissent donc pour traverser ces voies avant de se retrouver sur l'anneau du giratoire et doivent d'abord se soucier des piétons et des vélos avant d'arriver sur le giratoire. En sortant du giratoire, les véhicules doivent également se soucier des vélos puis des piétons.

Pour un véhicule autonome, ce type d'aménagement risque d'être complexe à appréhender. En effet, il va se heurter à différents usagers avec différentes priorités à gérer dont certaines nouvelles (sortie de giratoire).

Figure n° 24 : Carrefour innovant



Dans le sens entrant il doit laisser la priorité

- dans un premier temps aux piétons
- dans un deuxième temps aux cyclistes
- puis aux véhicules sur le giratoire



Dans le sens sortant il doit à nouveau laisser la priorité

- aux cyclistes (situation pas habituelle)
- puis aux piétons

8.3 Mise à jour des règles d'aménagement

8.3.1 Recommandation

Faire évoluer des règles d'aménagement et l'évaluation des usages en fonction du taux de pénétration des VA

Justification de la recommandation : *Le comportement du VA risque d'impacter les débits aux intersections, ce qui pourrait conduire à revoir la conception et l'exploitation des intersections*

8.3.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Bord de voie.

Limites de l'analyse : Analyse sur un site en zone apaisée.

Livrable SURCA concerné :

Tattegrain, H., Ledoux, V., & Battaglia, V. (2022). *Livrable L6.2 : Description détaillée des scénarios d'interaction VA / piétons et cyclistes et des risques associés*. Projet SURCA, 100 p.

Partie 2.2.4 : Analyse des usages informels en zone de circulation apaisée

8.3.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

L'analyse des usages informels en zone de circulation apaisée a montré que les véhicules ne s'arrêtent pas pour laisser traverser les piétons lorsque ceux-ci ne sont pas engagés sur la chaussée même si manifestement ils attendent perpendiculairement à la chaussée. Les piétons prennent leur décision de traverser au vu des créneaux dans la circulation. Dès que les piétons se trouvent sur la chaussée les véhicules freinent et s'arrêtent.

L'observation des véhicules indique qu'un seul véhicule s'est arrêté pour laisser passer un piéton se présentant au bord de la chaussée pour traverser. En revanche, tous ont ralenti ou se sont arrêtés pour laisser passer le piéton engagé sur la chaussée. Il n'y a eu aucun freinage brusque.

Ainsi, l'usage informel dans cette zone veut que le véhicule circule lentement et s'arrête dès que le piéton est sur la chaussée. Le piéton attend lui aussi un créneau dans la circulation pour commencer à traverser. Il est à noter que les piétons traversent malgré la proximité des voitures (parfois une dizaine de mètres seulement).

Conséquences pour Le VA :

- Le véhicule autonome peut être amené à détecter une intention de traverser du piéton et donc s'arrêter en surprenant les autres conducteurs (possibilité de choc arrière et d'accident).
- Si la détection est efficace, les véhicules autonomes seraient amenés à détecter 4 traversées par minute sur les 100 mètres étudiés et s'arrêter de nombreuses fois. Cela pourrait avoir un impact très important sur le trafic car il ne s'auto régulerait plus.

8.4 Scénarios de validation

8.4.1 Recommandation

Les guides d'aménagement doivent servir pour définir les scénarios de validation de sécurité des VA

Justification de la recommandation : *Les échanges entre les partenaires lors des discussions sur les recommandations de cette partie ont permis de mettre en évidence la diversité des infrastructures dont l'usage prévu est bien décrit dans les guides d'aménagement. Il nous est donc apparu important que la connaissance incluse dans ces guides soit utilisée pour définir les scénarios de validation de sécurité des VA afin de pouvoir vérifier que leurs comportements soient en adéquation avec les attentes en termes de fonctionnement global du système de transport.*

9 RECOMMANDATIONS POUR GERER LES CYCLISTE/EDPM AUX CARREFOURS A FEUX

9.1 Zone de détection et vitesse

9.1.1 Recommandations

Le VA doit inclure des zones de détection spécifiques pour les cyclistes et EDPM dans lesquelles ces usagers s'arrêtent souvent. Il doit les surveiller en continu pendant la traversée du carrefour pour s'assurer de leur arrêt / En cas de présence avérée de cycliste/EDPM le VA doit traverser avec une faible vitesse

Justification de la recommandation : *L'observation vidéo des comportements de traversée d'intersections à feu par les cyclistes / EPDM établit, d'une part, qu'une grande majorité des cyclistes / EDPM ne s'arrêtent pas en amont du feu quand celui-ci est rouge et, d'autre part, qu'ils mettent en œuvre des stratégies de traversée très dépendantes des conditions de circulation et de visibilité. Les stratégies adoptées se concrétisent par des adaptations continues de leur dynamique tout au long de la traversée. Cela peut notamment inclure des arrêts en différentes localisations de l'intersection. Il en résulte que le VA doit être en mesure de s'assurer de ces arrêts et qu'il modère sa vitesse dès lors qu'un tel usager est détecté.*

9.1.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Les analyses s'appuient sur des observations bord de voie mises en œuvre dans le cadre d'une expérimentation d'évaluation de dispositifs de cédez-le-passage cycliste au feu rouge dans la Métropole de Lyon. L'expérimentation consistait notamment à observer les comportements de cyclistes et d'usagers d'EDPM (Engin de Déplacement Personnel Motorisé) avant (état 0) et après (état 1) la mise en place de panonceaux M12 – ou d'extension des directions autorisées. Les analyses portent sur le comportement des cyclistes lors de leur arrivée et de leur traversée de ces intersections : trajectoires dont vitesse, et stratégies adoptées.

Limites de l'analyse : Analyses limitées à quelques intersections à feux de la ville de Lyon opérées majoritairement en condition diurne ou crépusculaire. Certains éléments ne sont pas mesurables à partir de ces analyses notamment certaines adaptations de comportement anticipées par les autres véhicules non visibles ou mesurables en raison des conditions de prise de vue.

Livrable SURCA concerné :

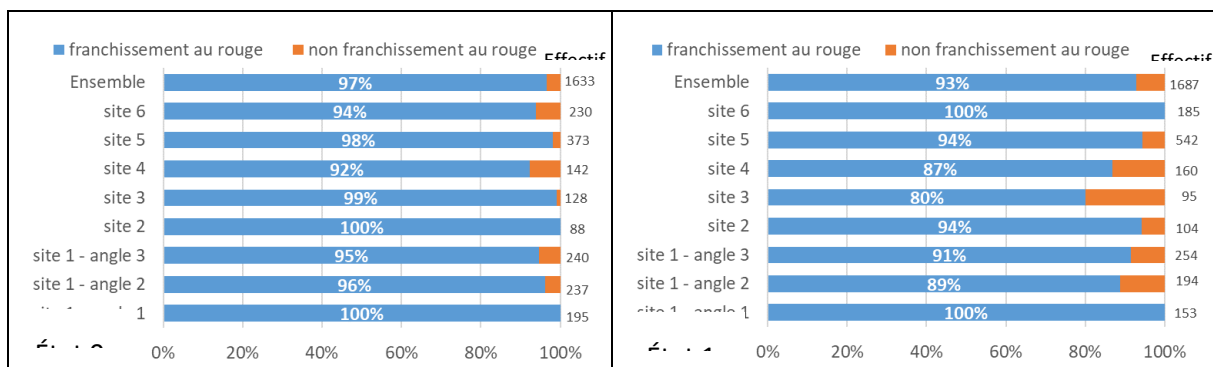
Tattegrain, H., Ledoux, V., & Battaglia, V. (2022). *Livrable L6.2 : Description détaillée des scénarios d'interaction VA / piétons et cyclistes et des risques associés*. Projet SURCA, 100 p

Partie 3 : Analyse des comportements des cyclistes.

9.1.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

Les cyclistes / EDPM sont peu enclins à s'arrêter en amont du feu lorsqu'il est rouge (et encore moins en amont de la ligne d'effet des feux) en présence ou non de trafic automobile sur les branches du carrefour, et en présence ou non du panonceau M12 les autorisant à franchir le feu au rouge sous réserve de céder-le-passage.

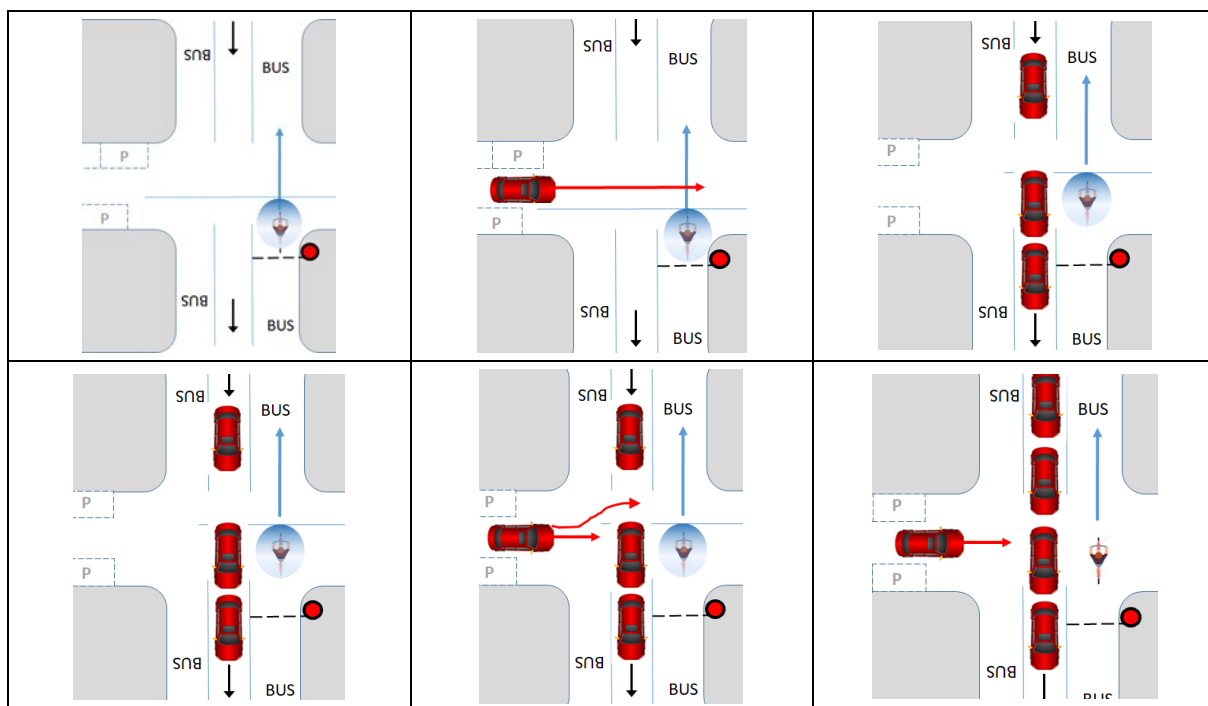
Figure n° 25 : Taux de franchissement au rouge des cyclistes pour les directions qui n'étaient pas autorisées à l'état 0 (à gauche) et le sont devenues à l'état 1 (à droite)



Le franchissement au rouge est quasiment systématique avec néanmoins une occurrence qui tend à diminuer avec la complexité du carrefour. La couleur du feu impacte toutefois les vitesses d'approche de ces usagers, les cyclistes / EDPM modérant assez fortement leur vitesse d'approche au rouge (différence de l'ordre de 5 km/h).

Toutefois, le franchissement du feu au rouge n'implique pas que le cycliste traverse directement le carrefour. Les conditions de trafic (présence et mouvement des véhicules sur les autres branches) et de visibilité (notamment les masques mobiles) constituent alors les principaux déterminants de la manière dont les cyclistes / EDPM vont franchir le carrefour. Selon ces circonstances, le cycliste adapte sa dynamique tout au long de sa traversée.

Figure n° 26 : Exemples de situations ayant une influence sur le comportement des cyclistes lors du franchissement d'une intersection à feux



Au-delà des différences induites par les combinaisons de facteurs trafic/visibilité, quelques comportements majoritaires semblent se dégager :

- Le cycliste / EDPM tend à aller aussi loin que possible dans le carrefour (ligne bleue sur la figure précédente) en se laissant une marge longitudinale de sécurité ;
- Si possible, il va éviter de poser le pied à terre, et pour cela soit procéder à des ajustements de vitesse soit recourir à d'autres techniques (équilibrisme, déports latéraux) ;
- Les conditions de trafic dans lesquelles les autres véhicules constituent des écrans et offrent un effet « protecteur » se traduisent généralement par des traversées à vitesse élevée.

Ces comportements peuvent s'avérer challengeant pour le véhicule automatisé qui se verra potentiellement confronté à de multiples usagers en mouvement dans l'intersection. Ces situations pourraient typiquement conduire à des déclenchements d'AEB ou à des arrêts du véhicule automatisé si ce dernier est « trop prudent ».

9.2 Position des cyclistes/EDPM

9.2.1 Recommandation

Le VA ne doit pas utiliser la position latérale du cycliste et de l'EDPM pour anticiper leur manœuvre

Justification de la recommandation : *L'étude de la position latérale des cyclistes / EDPM au niveau du feu tend à montrer qu'elle est assez peu prédictive de la direction que va finalement emprunter le cycliste ; le véhicule autonome ne devra donc associer l'utilisation d'un tel indicateur qu'à une faible fiabilité.*

9.2.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Les analyses décrites dans cette section s'appuient sur des observations bord de voie mises en œuvre dans le cadre d'une expérimentation d'évaluation de dispositifs de cédez-le-passage cycliste au feu rouge dans la Métropole de Lyon. Les données utilisées pour l'analyse concernent le positionnement latéral des cyclistes au niveau du feu au regard de la direction que va finalement emprunter le cycliste.

Limites de l'analyse : L'exploitation fine de ces données n'a été réalisée que sur un seul des carrefours de l'expérimentation. Les situations décrites sont toutefois également observées sur des vidéos réalisées sur d'autres carrefours.

Livrable SURCA concerné :

Tattegrain, H., Ledoux, V., & Battaglia, V. (2022). *Livrable L6.2 : Description détaillée des scénarios d'interaction VA / piétons et cyclistes et des risques associés*. Projet SURCA, 100 p.

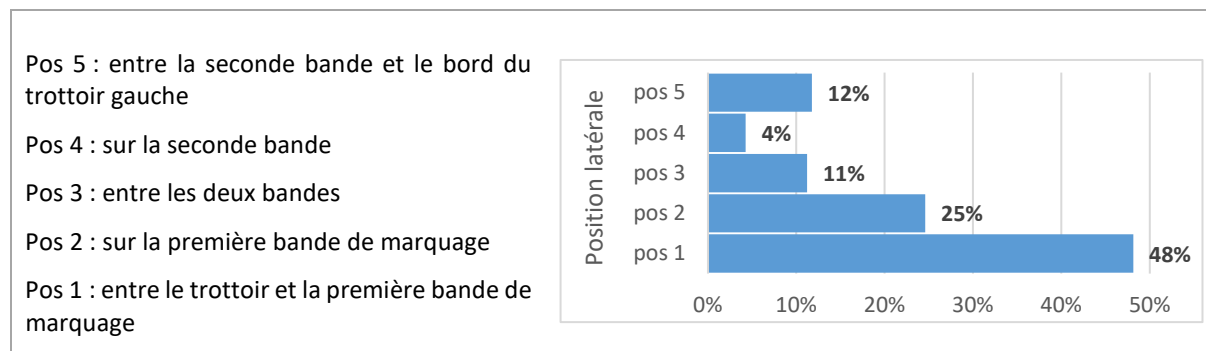
Partie 3 : Analyse des comportements des cyclistes

9.2.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

Afin d'évaluer dans quelle mesure la position latérale des cyclistes était un prédicteur potentiel du mouvement que les cyclistes vont choisir dans le carrefour, leur position latérale a été relevée au niveau du passage piéton se situant juste en aval du feu tricolore. La latéralité est relevée à l'aide d'un codage à 5 modalités² à partir du bord droit de la chaussée dans le sens de circulation des cyclistes :

² Il est à noter que ce sectionnement engendre des espaces latéraux de largeurs inégales.

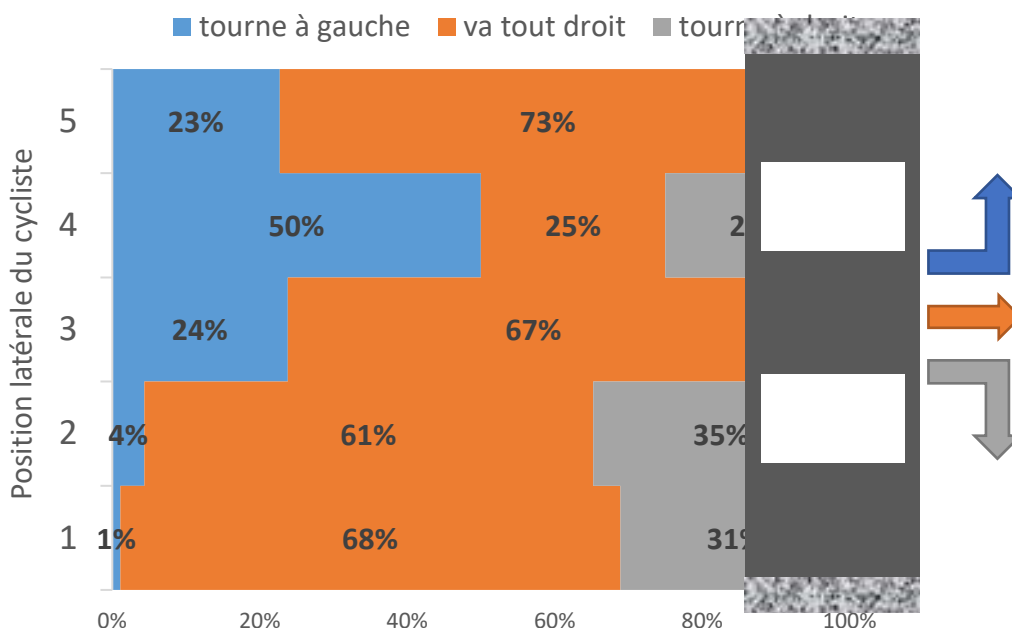
Figure n° 27 : Répartition du positionnement latéral des cyclistes /edpm au niveau du passage



Globalement la direction empruntée par le cycliste/EDPM est cohérente avec sa position latérale au niveau du passage piéton (Figure n° 28). Toutefois, le choix de certaines positions latérales apparaît peu prédictif du mouvement que va opérer le cycliste dans l'intersection. C'est particulièrement vrai lorsqu'un cycliste / EDPM positionné plutôt à gauche de la chaussée (positions 4 et 5) va finalement tourner à droite (5% des cas en position 5 et 25% des cas en position 4). Ces situations correspondent à des configurations dans lesquelles le vélo double, par la gauche, un véhicule à l'arrêt ou en mouvement et circulant dans le même sens.

Dans une moindre proportion un phénomène similaire est observé pour les cyclistes positionnés près du bord droit de la chaussée et qui vont finalement tourner à gauche. Dans les deux cas cela concerne toutefois un nombre limité de cyclistes³.

Figure n° 28 : Répartition des directions empruntées par les 187 cyclistes / EDPM en fonction selon leur position latérale au milieu du passage piéton



Clé de lecture : 23% des cycliste ayant circulé entre la seconde bande de marquage et le trottoir de gauche ont tourné à gauche, 73% sont allés tout droit et 5% ont viré à droite

³ Ces situations sont toutefois observables sur les vidéos réalisées dans ce carrefour aux autres états.

10 RECOMMANDATIONS POUR GERER LES PIETONS

10.1 Vitesse du VA selon l'infrastructure

10.1.1 Recommandation

En présence d'infrastructure routière où le piéton se considère comme « légitime » pour traverser (e.g., le passage piéton), le véhicule autonome doit réduire son allure suffisamment en amont afin que le piéton perçoive le comportement de décélération

Justification de la recommandation : *La littérature sur la traversée des piétons face à des véhicules conventionnels a mis en évidence que des nombreux facteurs individuels, sociaux et environnementaux ont un impact sur la prise de décision de traversée des piétons. Parmi ces facteurs, la distance et la vitesse du véhicule sont des critères dans cette prise de décision, éléments qui sont évoqués par les participants de notre étude lors des entretiens post expérimentation. Par ailleurs, les données subjectives recueillies lors de notre étude ont mis en évidence que la majorité des piétons se considèrent comme légitimes pour traverser en présence d'un passage piéton. Enfin, les données objectives recueillies montrent que lorsque le véhicule approche à une vitesse de 40 km/h et entame sa décélération à une distance d'environ 25 mètres du piéton, ce dernier va entamer sa traversée 1,46 seconde en moyenne avant l'arrêt complet du véhicule lorsqu'il est face à un passage piéton. Par ailleurs, la régularité du comportement (i.e., décélération puis arrêt) permet au piéton d'anticiper le comportement du véhicule et de prendre sa décision de traverser plus rapidement.*

10.1.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Expérimentales.

Limites de l'analyse : Plusieurs limites liées à l'expérimentation menée peuvent être citées dont voici les principales :

- Données issues d'une seule étude auprès d'un nombre restreint de participants (N = 28)
- Participants concentrés sur la tâche liée à l'expérimentation sans insertion de variables de distraction (e.g., activités sur un téléphone portable)
- Environnement d'expérimentation peu complexe = environnement péri-urbain avec une circulation peu dense et des conditions météorologiques favorables (i.e., ensoleillement)
- Cas d'usage peu complexe = ligne droite avec une visibilité dégagée sur les véhicules approchant

Livrable SURCA concerné :

Métayer, N., & Coeugnet, S. (2021). L6.3.2 Mise en évidence des orientations visuelles et processus de prise de décision des piétons exposés à des VA, Projet SURCA

Partie 3, Etude 2 : Etude des mouvements oculaires lors de la traversée de route

10.1.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

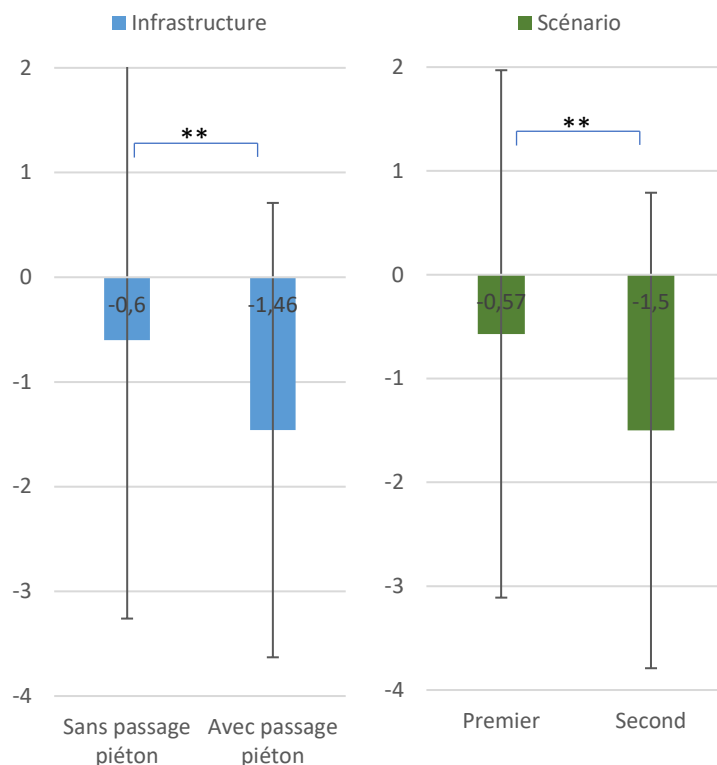
L'étude menée a consisté à faire traverser selon différentes configurations (i.e., avec et sans passage piéton) et face à différents types de véhicule (i.e., véhicule conventionnel et véhicule simulant un véhicule autonome) 28 participants ($M_{\text{âge}} = 41.46$, $E_{\text{cart Type}_{\text{âge}}} = 11.66$) avec une répartition identique en matière de genre (14 femmes et 14 hommes). Les tests se sont déroulés sur route ouverte avec deux sens de circulation séparés par une ligne blanche discontinue en environnement péri-urbain. La tâche du participant était toujours la même, à savoir, rejoindre le trottoir face à lui. Le véhicule de test arrivait toujours de la gauche du participant à une vitesse de 40 km/h et entamait sa décélération environ 25 mètres avant le participant pour le laisser passer. Le véhicule de test s'arrêtait tout le temps même si le participant n'était pas face à un passage piéton. Chaque participant traversait 12 fois en tout (2 scénarios de 6 traversées) et plusieurs questions lui étaient posées après chaque traversée afin d'évaluer sa compréhension de la situation vécue. De plus, lors de l'étude, les participants étaient équipés de lunettes caméra permettant de filmer ce qu'ils voyaient. Pour 10 participants, des entretiens d'auto-confrontations ont été réalisés où les vidéos enregistrées lors des passations ont été visionnées avec les participants et commentées par ces derniers (i.e., les participants revoyaient leurs traversées *via* les vidéos et devaient les commenter).

Les résultats permettant de soutenir la recommandation proposée sont présentés dans les tableaux et figures extraits du livrable SURCA L6.3.2. Le Tableau ci-dessous présente les données subjectives issues des entretiens.

Tableau n° 3 : Pourcentage de répondants évoquant une dimension renvoyant à la présence d'un passage piéton lors de la traversée et exemples de verbatim associés

En présence d'un passage piéton		
Sous-dimension	Pourcentage de répondants évoquant cette dimension	Exemples de verbatim
Lieu donnant la priorité au piéton, à de la légitimité pour le piéton	70%	« [...] alors que, à l'inverse sur un passage piéton, je me sens plus légitime, parce que je sais que je suis prioritaire [...]. » <u>Femme, junior</u>
Lieu associé à une protection, à de la confiance	60%	« C'est plus rassurant, moi je trouve, le passage piéton. » <u>Femme, sénior</u>
Lieu dans lequel maintenir son attention	30%	« Mais ce n'est pas non plus une garantie suffisante. Il n'y a pas tous les conducteurs qui respectent cette priorité, c'est vraiment le visuel, l'assurance que la voiture va s'arrêter qui va me permettre de me décider. » <u>Homme, sénior</u>
Prise de décision de traversée plus rapide	20%	« J'ai le droit de traverser ici donc je vais y aller avec plus d'assurance, plus rapidement. » <u>Homme, junior</u>
Ce n'est pas un endroit sécurisé, manque de confiance	10%	« Pour moi, le passage piéton, ce n'est pas, je ne suis pas dans un tunnel avec du béton autour de moi, c'est un lieu pour traverser, mais ce n'est pas un lieu plus en sécurité qu'un autre. » <u>Homme, sénior</u>

Figure n° 29 : Moyennes et écart-types de l'écart entre l'initiation de la traversée et l'arrêt du véhicule suivant l'infrastructure et le scénario (p < .01)**



La Figure n° 29 présente le temps moyen (en secondes) entre le moment où le piéton initie sa traversée et le moment où le véhicule s'arrête pour le laisser passer. Nous pouvons ainsi observer que les participants initient leur traversée avant l'arrêt du véhicule et qu'ils l'initient plus rapidement lorsqu'ils sont face à un passage piéton. En présence d'un passage piéton, ils commencent leur traversée 1,46 seconde en moyenne avant l'arrêt du véhicule. Ce résultat peut notamment trouver une explication dans les entretiens post-expérimentation. En effet, comme indiqué dans le Tableau n° 3, les entretiens mettent en évidence que la majorité des participants s'estiment légitimes pour traverser lorsqu'ils sont en présence d'un passage piéton. Enfin, la majorité des participants évoquent également baser leur décision de traverser sur la vitesse et la distance du véhicule. Ainsi, la Figure n° 29 met également en évidence que la répétition des traversées avec la régularité du comportement du véhicule (i.e., décélération et arrêt) va permettre aux piétons de prendre leur décision de traversée plus rapidement. En effet, les participants ont été plus rapides à initier leurs traversées lors du second scénario que lors du premier. En moyenne, ils ont initié leurs traversées 1,5 seconde avant l'arrêt du véhicule.

10.2 Freinage du VA

10.2.1 Recommandation

Le VA doit adapter sa cinématique de freinage en amont des traversées pour se rapprocher du comportement d'un véhicule habituel pour éviter de surprendre l'usager piéton

Justification de la recommandation : *Besoin d'anticipation par le piéton d'un comportement du véhicule autonome mimant le comportement des véhicules actuels.*

10.2.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Analyse bord de voie, littérature.

Limites de l'analyse : Impossibilité d'évaluer toutes les situations rencontrées dans la réalité.

Livrable SURCA concerné :

Tattegrain, H., Ledoux, V., & Battaglia, V. (2022). *Livrable L6.2 : Description détaillée des scénarios d'interaction VA / piétons et cyclistes et des risques associés*. Projet SURCA, 100 p.

Partie 2.1 : Étude préalable sur les interactions en traversée sur passage piéton : paramètres à prendre en compte

10.2.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

Comment comprendre qu'un VA qui ne ralentit pas comme une voiture habituelle, a, en réalité, détecté le piéton et va s'arrêter ? Comment compenser le manque d'échanges d'informations entre le conducteur et le piéton qui aident les usagers dans leur prise de décision ?

La prise de décision de traversée des piétons et leur réaction face au véhicule routier est le fruit des expériences passées liées aux comportements habituels et attendus des véhicules. Si les capacités du VA conduisent à des comportements très différents des véhicules tel qu'un freinage tardif, une modification de la vitesse d'approche ressentie comme aléatoire pour le piéton, cela peut être problématique. Le piéton risque de faire de mauvais choix ou d'être dans un ressenti d'insécurité. Le piéton doit pouvoir effectuer sa traversée en confiance en étant sûr de sa sécurité et sans se presser.

Retour d'expérience d'une navette autonome aujourd'hui illustrant ces difficultés⁴ :

Lors de l'expérimentation à Oslo, les réactions de la navette en mouvement tourne-à-droite face à des traversées de piétons en carrefour équipé d'une signalisation lumineuse ont été relevées. Dans 18 situations la navette a laissé passer le piéton. Dans 12 cas de façon fluide : la navette réagit correctement (elle ralentit et laisse passer le piéton). Dans 5 cas, la navette réagit correctement mais un peu exagérément tel qu'un freinage trop fort ou un arrêt trop long.

Echanges d'informations entre le conducteur d'un véhicule et un usager piéton :

Des échanges se produisent fréquemment entre le conducteur et l'usager piéton manifestant une prise en compte mutuelle : gestes de la main, de la tête, captation du regard... Elles permettent aux usagers de vérifier de leur prise en compte mutuelle et de comprendre leur intention (analyse bord de voie). La difficulté pour le piéton devant le VA est l'absence de ces informations. Pour le VA, cela peut être l'absence de ces signaux entre humain ou la difficulté à les détecter et les interpréter.

Le véhicule autonome doit avoir un comportement qui se rapproche d'un véhicule sans automatisme pour la cinématique d'arrêt même si ses performances lui permettraient de freiner plus tardivement par exemple.

⁴ Performance of automated shuttles at signalized intersections

10.3 Vitesse du VA en présence de piétons

10.3.1 Recommandation

En cas de présence de piétons dans des sections droites, le VA doit baisser sa vitesse d'environ 10 km/h en urbain et de 8 km/h en zone rurale et dans les intersections sans changement de direction de 5 à 10 km/h

Il faut noter que les recommandations concernent les vitesses de consigne du VA en cas de présence de piétons en dehors de la route (par exemple sur les trottoirs). Si un piéton est sur la route, le VA doit le gérer avec ses algorithmes propres pour éviter les collisions.

Justification de la recommandation : *Lors de la présence de piétons, le conducteur a tendance à réduire sa vitesse pour mieux gérer les interactions avec ces derniers. Cette réduction de vitesse dépend beaucoup du contexte routier dans lequel le conducteur se trouve et des manœuvres en cours. Les analyses réalisées ont permis de trouver les réductions de vitesse pratiquées dans différents contextes.*

10.3.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Donnée de conduite naturalistiques en France, soit 43 conducteurs utilisant 30 véhicules différents, recrutés dans la région de Lyon. Collecte de 12 600 heures de conduite sur 573 000 km correspondant à l'ensemble de leurs trajets quotidiens, professionnels, de loisir.

Limites de l'analyse : données de 2017 sur 43 conducteurs dans une région de France ayant des trajets dans une métropole et des zones rurales en plaine et dans des petites collines.

Livrable SURCA concerné :

Tattegrain, H., Ledoux, V., & Battaglia, V. (2022). *Livrable L6.2 : Description détaillée des scénarios d'interaction VA / piétons et cyclistes et des risques associés*. Projet SURCA, 100 p.

Partie 4 : Analyse des vitesses du VL en présence de piétons

10.3.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

Pour comparer les vitesses moyennes pratiquées dans les situations avec et sans piétons, nous avons séparé les données en deux types, intersections et sections courantes. Les sections courantes sont distantes d'au moins 30 mètres d'une intersection et font une longueur maximale de 500 mètres. Les intersections englobent les 30 mètres en amont et aval de l'intersection. Si deux intersections sont distantes de moins de 30 mètres, elles sont concaténées. Les sections dans lesquelles il y a un arrêt (c'est-à-dire qu'il y a un instant pendant lequel la vitesse est nulle sur la section, quelle qu'en soit la raison, telle que bouchon, feu rouge, ...) ont été supprimées.

Puis pour chaque type, nous avons recherché les situations pour lesquelles il existait suffisamment de données et nous avons créé des groupes homogènes en termes de vitesse moyennes, définis par des caractéristiques telles que le contexte routier (rural ou urbain), l'infrastructure (giratoire ou non) et de vitesses limites. Cette analyse a été réalisée avec un algorithme de classification par un arbre de décision.

Dans chacun de ces groupes homogènes, nous avons fait un test de Student qui compare les vitesses moyennes pratiquées sur chaque segment dans les deux échantillons de segments, l'un avec présence de piétons et l'autre sans présence de piétons. Ce test nous a permis de savoir si la différence entre les deux échantillons est statistiquement significative mais cela ne suffit pas car la significativité peut être due au grand nombre d'échantillons. Il est donc nécessaire de connaître l'amplitude de l'effet. Pour cela, nous avons calculé le « G de Hedge » qui permet de mesurer l'effet de la différence des moyennes.

Les analyses présentées dans la partie 4 du livrable 6.2 ont montré des différences significatives avec des effets importants sur les sections courantes et dans les intersections sans giratoire quand le conducteur ne tournait pas. Nous ne les présentons pas toutes ici mais seulement deux extraits.

Tableau n° 4 : Extraits des résultats des analyses de la vitesse dans les sections courantes

Sections courantes avec suivi Situations		Test t pour égalité des moyennes			Effet	Moyenne de la vitesse				
		t	ddl	Sig. (bilat éral)		G de Hedge	Aucun piéton		Présence piéton	
					Valeur		Nombre de cas	Valeur	Nombre de cas	
70 km/h Rurales	Semaine Début et fin de journée	6,86	411	0,00	0,35	63	12893	57	393	6
	Weekend Début et fin de journée									
	Weekend Journée	8,14	215	0,00	0,58	69	4927	60	203	8
	Semaine Journée	11,04	344	0,00	0,62	66	10618	56	331	10
90 km/h Rurales	Semaine Début et fin de journée	14,07	687	0,00	0,54	74	57696	63	678	11
	Weekend Début et fin de journée	5,41	11428	0,00	0,47	78	11297	71	133	7
	Semaine Journée	17,53	742	0,00	0,66	78	43342	67	726	12
	Weekend Journée	13,39	311	0,00	0,78	78	14823	65	302	13
70 km/h Urbaines	Semaine Début et fin de journée	3,09	3080	0,00	0,25	60	2915	57	167	3
	Weekend Début et fin de journée									
	Weekend Journée	3,57	68	0,00	0,45	63	1232	57	65	7
	Semaine Journée	3,29	3010	0,00	0,27	61	2850	58	162	3
50 km/h Urbaines	Semaine Début et fin de journée ; Semaine Journée	69,49	13765	0,00	0,91	50	29722	40	7170	10
	Weekend Début et fin de journée ;									
	Weekend Journée	33,08	3214	0,00	0,89	50	7087	40	1714	10

Dans les sections rurales (Tableau n° 4), nous constatons d'importantes différences de vitesse dans les situations de suivi dans lesquelles un véhicule précède le véhicule de l'expérimentation (7 à 13 km/h), la plupart du temps avec 14 km/h de moins que la VMA à 70 km/h et avec 23 km/h de moins que la VMA à 90 km/h. Nous n'avons pas pu mettre en exergue un effet important de la présence de piétons dans les situations sans suivi dans lesquelles le véhicule de l'expérimentation est seul sur la route.

Dans les sections urbaines à 70 km/h, nous n'avons pas assez de données pour mettre en exergue un effet important de la présence de piétons (moins de 3 km/h de différence la plupart du temps et 7 km/h le weekend). Par contre à 50 km/h, les vitesses pratiquées sont plus basses en présence de piétons de l'ordre de 10 km/h en dessous de la valeur de la VMA.

Dans les intersections dans lesquelles le conducteur va tout droit, le Tableau n°5 montre des différences de vitesse en présence de piétons de 5 km/h avec une VMA de 70km/h dans tous les milieux, de 8-9 km/h en milieu urbain à 50km/h (vitesse moyenne de 37 km/h en présence de piétons) et de 9-10 km/h en milieu rural à 90 km/h (vitesse moyenne de 55 km/h en présence de piéton).

Par contre, dans les giratoires et dans les intersections avec un mouvement tournant, les vitesses sont plus contraintes par la manœuvre que par la présence de piétons ce qui entraîne des vitesses inférieures à 41 km/h.

Les analyses présentées dans la partie 4 du livrable 6.2 nous ont permis de faire des recommandations fines qui permettent de mieux définir les vitesses de consignes en fonction du contexte.

- Lors d'un changement de direction et en présence de piétons hors de la route il est recommandé de réduire la vitesse de consigne du VA à
 - 25 km/h maximum en urbain quelle que soit la VMA (50 ou 70 km/h)
 - 35 km/h maximum en milieu rural quelle que soit la VMA (70 ou 90 km/h).
- Lors du franchissement de giratoires et en présence de piétons hors de la route il est recommandé de réduire la vitesse de consigne du VA à
 - 30 km/h maximum en urbain quelle que soit la VMA (50 ou 70 km/h)
 - 35 km/h maximum en milieu rural quelle que soit la VMA (70 ou 90 km/h).
- Lorsque la VMA est de 50 km/h en urbain et en présence de piétons hors de la route, il est recommandé de réduire la vitesse de consigne du VA à
 - 35 km/h maximum lors de traversée d'intersection sans changement de direction
 - 40 km/h maximum dans les sections courantes.
- Lors de traversée d'intersection sans changement de direction et dans les sections courantes et en présence de piétons hors de la route, il est recommandé de réduire la vitesse de consigne du VA à
 - 60 km/h maximum lorsque la VMA est de 70 km/h en milieu rural
 - 70 km/h maximum lorsque la VMA est de 90 km/h en milieu rural
 - 55 km/h maximum en urbain lorsque la VMA est de 70 km/h en urbain

Tableau n° 5 : Extraits des résultats des analyses de la vitesse dans les intersections

Intersections sans giratoire Manœuvre Tout droit		Test t pour égalité des moyennes			Effet	Moyenne de la vitesse				
						Aucun piéton		Présence piéton		Diff avec et sans piéton
		t	ddl	Sig. (bilat)	G de Hedge	Valeur	Nombre de cas	Valeur	Nombre de cas	
Rurale	70 km/h Weekend	7,47	502	0,00	0,35	68	13208	62	475	5
	70 km/h Semaine Journée	6,81	770	0,00	0,26	66	21515	63	717	4
	90 km/h Weekend Début et fin de journée	10,07	607	0,00	0,42	73	22623	65	585	8
	90 km/h Weekend Journée et Semaine Journée	27,63	2902	0,00	0,53	72	89424	62	2766	10
	90 km/h Semaine Début et fin de journée	18,85	1936	0,00	0,44	69	88308	60	1868	9
	90 km/h Semaine Journée	18,85	1936	0,00	0,44	69	88308	60	1868	9
Urbaine	50 km/h Weekend	71,98	22320	0,00	0,66	46	74593	38	14067	8
	50 km/h Semaine	149,05	79453	0,00	0,73	45	258809	36	49398	9
	70 km/h Weekend	4,11	4747	0,00	0,31	62	4563	58	186	4
	70 km/h Semaine Début et fin de journée	6,01	11677	0,00	0,34	57	11366	52	313	5
	70 km/h Semaine Journée	5,03	8167	0,00	0,31	58	7902	53	267	5
	70 km/h Semaine Journée	5,03	8167	0,00	0,31	58	7902	53	267	5

10.4 Détection des trajectoires des piétons

10.4.1 Recommandation

Le VA doit être en mesure de détecter les piétons, d'en suivre les mouvements (trajectoires, vitesse) afin d'anticiper les traversées possibles et les trajectoires de traversée

Justification de la recommandation : *Les signes d'une intention de traverser sont difficilement détectables.*

10.4.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Analyse bord de voie, littérature.

Limites de l'analyse : Impossible de faire l'analyse exhaustive des situations.

Livrable SURCA concerné :

Tattegrain, H., Ledoux, V., & Battaglia, V. (2022). *Livrable L6.2 : Description détaillée des scénarios d'interaction VA / piétons et cyclistes et des risques associés*. Projet SURCA, 100 p.

Partie 2.2 Analyse des traversées en zone de circulation apaisée et 2.6 en situation congestionnée.

10.4.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

Connaissance de la littérature

De nombreuses études bord de voie, indiquent que la vitesse du piéton est variable. La vitesse de 1 m/s est une vitesse moyenne. La vitesse peut s'échelonner de 1,7 m/s pour une marche rapide et descendre en dessous de 0,7 m/s pour les personnes présentant des problèmes de mobilité.⁵

Il sera nécessaire que le véhicule autonome puisse mesurer la vitesse instantanée d'un piéton. L'application de valeurs moyennes se révèle insuffisante.

Réflexions générales sur la détection des piétons

- Difficultés de la détection du comportement piéton en général :

Les piétons portent souvent des lunettes de soleil, des casquettes, des chapeaux. Il est difficile de voir leur visage et de voir leurs mouvements de tête. Le piéton a souvent des sacs, des cabas à roulettes. Sa « silhouette » est ainsi modifiée.

Le piéton et son comportement peuvent donc être difficilement détectables par le VA.

Figure n° 30 : Equipement pour signaler la présence fréquente d'enfants



- Suivi des trajectoires des piétons en présence de masques à la visibilité mobile

⁵ Etude sur le choix du piéton de traverser à un carrefour à feux-Cerema-2016

Figure n° 31 : Piétons en présence de masques à la visibilité mobile

Dans ces situations les piétons peuvent être amenés à disparaître du champ de détection du VA durant la traversée (Cf. Figure n° 31).

Le cerveau humain est capable d'interpoler les trajectoires : « je vois le piéton1 commencer sa traversée, je ne le vois plus, je comprends qu'il est derrière le véhicule B. Je m'arrête. Le piéton 2 qui finit sa traversée n'est pas le piéton 1, Je différencie les piétons 1 et 2. je ne redémarre pas ».

Il sera nécessaire que le VA sache suivre la trajectoire d'un piéton mais également différencier les piétons et être capable d'anticiper plusieurs trajectoires individuelles.

Analyse bord de voie en zone de circulation apaisée

Description des sites : zone 30 en section courante en l'absence de passage piétons. Site 1 : sans de places de stationnement. Site 2 : avec places de stationnement.

- Anticipation des traversées :

Pour le site 1 : 40% ne modifient pas leur vitesse d'approche avant la traversée sur les vidéos.

Pour le site 2 : 35 % ne modifient pas leur vitesse d'approche avant la traversée sur les vidéos.

Il n'y a pas toujours de ralentissement avant la traversée dans notre cas. Les détections basées sur les algorithmes de biomécanique des piétons [livrables L2.1] ne pourront peut-être pas toujours être mises en œuvre. Cette absence de ralentissement est peut-être liée à l'absence de trottoir ; le piéton n'a pas à gérer le franchissement d'une différence de niveau (différence entre le trottoir et la route) et donc n'a pas forcément besoin de ralentir.

- 10% site 1 et 5% site 2 n'effectuent pas de prise d'informations visuelles flagrantes ;
- 55% site 1 et 85% site 2 se présentent devant la chaussée pour réaliser la traversée en diagonale, la position corporelle du piéton n'est donc pas toujours perpendiculaire à la chaussée.

L'ensemble des indicateurs précités ne sont pas toujours le signe d'une traversée, même s'ils peuvent être des indices concordants.

- Indicateurs prédictifs de la trajectoire en traversée en l'absence de passage piétons dans une zone 30
 - Direction de la trajectoire par rapport à l'axe de la chaussée

Cette direction n'est pas toujours perpendiculaire à l'axe. Dans notre cas, elle est majoritairement en diagonale. Ceci peut être dû à l'absence de passage piétons. En l'absence de marquage, le piéton n'est pas « guidé » pour une traversée perpendiculairement à l'axe.
 - Modification de la direction de la trajectoire pendant la traversée

La très grande majorité des trajectoires du piéton sont rectilignes (99%). Il n'y a pas de trajectoire courbe ou erratique.
 - Modification du rythme de marche avant la traversée et pendant la traversée

Le rythme de marche n'est pas modifié pendant la traversée par rapport au rythme de marche sur le trottoir. Ici l'ambiance de traversée est « sereine ».
 - Modification du rythme de marche au cours de la traversée

Si le piéton juge sa traversée confortable, il ne modifie pas son rythme de marche pendant la traversée, c'est le cas ici. Attention ceci n'est pas une généralité. Dans certains accidents piétons, il arrive que face à l'arrivée d'un véhicule surprenant le piéton, celui-ci se fige au milieu de la chaussée.

Cette prédiction de trajectoire ne peut être que statistique. Pour éviter les conflits, il convient que le VA puisse en temps réel mesurer la position et la vitesse du piéton pour infléchir la trajectoire du VA.

10.5 Détection des piétons

10.5.1 Recommandation

Le VA doit pouvoir détecter le mieux possible un piéton même dans des conditions dégradées (masque à la visibilité, soleil en face...) et savoir gérer les détections tardives en adaptant sa vitesse à ses performances de détection

Justification de la recommandation : *Le VA doit adapter sa vitesse en fonction de ses possibilités de détection du piéton en particulier dans les mouvements tournants.*

10.5.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Analyse bord de voie.

Limites de l'analyse : Impossible de faire l'analyse exhaustive des situations.

Livrable SURCA concerné :

Tattegrain, H., Ledoux, V., & Battaglia, V. (2022). *Livrable L6.2 : Description détaillée des scénarios d'interaction VA / piétons et cyclistes et des risques associés*. Projet SURCA, 100 p.

Partie 2.3 : traversées piétonnes en mouvement tournant et feu vert simultanés

10.5.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

Pour rappel, on différencie les masques à la visibilité fixe : végétation, mobilier urbain, et les masques à la visibilité mobile : véhicule en stationnement, véhicule en mouvement, ...

Dans la réalité le conducteur humain adapte sa vitesse en fonction de son expérience et de ses connaissances de conduite et de son analyse environnementale en temps réel avec plus ou moins de réussite.

Dans les carrefours à feux en mouvements tournants, le véhicule autonome doit adapter sa vitesse non pas en fonction de la vitesse autorisée mais de ses capacités de détection du piéton (approche environnementale en temps réel) en tenant compte des éventuels masques à la visibilité, et du comportement du piéton confiant.

Figure n° 32 : Masques à la visibilité et mouvements tournants



Source Cerema-google view

10.6 Zones de détection des piétons

10.6.1 Recommandation

En cas de circulation à l'arrêt ou ralenti, la détection des piétons et cyclistes doit se faire dans l'ensemble des directions autour du véhicule pour anticiper les trajectoires entre véhicules, avoir une vitesse très faible et de ne pas considérer que le feu vert lui permet de traverser vite

Justification de la recommandation : Si la circulation est congestionnée, la probabilité de traversée des piétons est très élevée

10.6.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Analyse bord de voie.

Limites de l'analyse : Impossible de faire l'analyse exhaustive des situations.

Livrable SURCA concerné :

Tattegrain, H., Ledoux, V., & Battaglia, V. (2022). *Livrable L6.2 : Description détaillée des scénarios d'interaction VA / piétons et cyclistes et des risques associés*. Projet SURCA, 100 p.

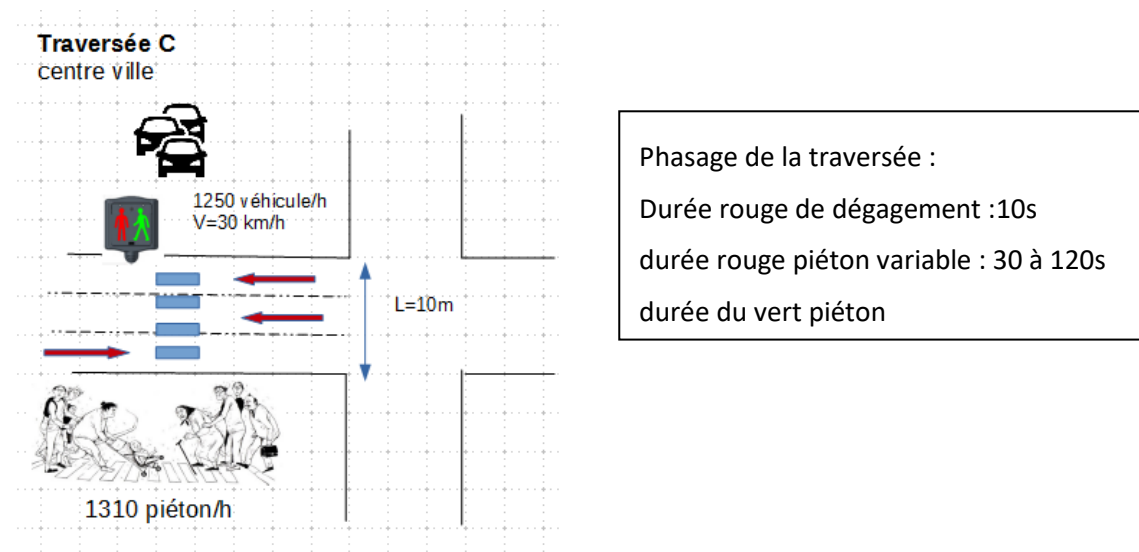
Partie 2.6 Traversées de piétons aux feux et circulation congestionnée

10.6.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

Carrefour à feux : traversée en congestion

Cas analysé : en centre-ville, une traversée piétonne en section courante gérée par feux avec des flux piétons très important. Le carrefour a été modifié depuis.

Figure n° 33 : Fonctionnement d'un carrefour à feux



Pendant 1/3 des cycles à l'heure de pointe, la circulation a été bloquée.

Lorsque la circulation est bloquée, beaucoup de piétons sont massés de part et d'autre de la traversée. Le départ d'une ou plusieurs personnes entraîne le départ de la quasi-totalité des personnes en attente. Ces effets d'entraînement se rencontrent très fréquemment.

Ces comportements entraînent des situations potentiellement à risque. Il a été observé les situations suivantes :

- les piétons sont masqués par les voitures ou les véhicules de plus grandes dimensions (bus, véhicules utilitaires). Ils surgissent entre les véhicules. Il n'y a plus de visibilité réciproque entre les véhicules qui redémarrent sur les autres files et les piétons,
- des conflits avec les deux roues motorisées qui remontent les files lorsque la circulation est bloquée,
- les piétons qui se retrouvent « coincés » dans la circulation qui redémarre.

Zone de circulation apaisée, rue finissant par un STOP, étude des traversées aux abords de l'intersection

La rue s'achève par un stop. Les véhicules circulent au pas dans les 20 derniers mètres de la rue et une file de quelques véhicules arrêtés se crée de façon récurrente. Il n'y a pas de marquage de traversée piétonne sur cette branche du carrefour (carrefour en croix).

De nombreux piétons traversent près de la ligne de stop, les véhicules étant à l'arrêt ou pas. La trajectoire du piéton est droite et perpendiculaire. Il remercie l'automobiliste si celui s'arrête sciemment pour le laisser passer. Les piétons sont prudents (prise systématique d'informations) et peuvent ralentir leur traversée quand la circulation est à l'arrêt.

En amont de la traversée, la présence des masques à la visibilité (stationnement) ne permet pas d'anticiper les comportements de piétons car ils ne sont pas visibles.

Durant la traversée, en cas de congestion les piétons sont parfois amenés à traverser entre 2 véhicules (40%) et parfois à contourner les véhicules.

11 RECOMMANDATIONS POUR L'ADAPTATION DU VA AU CONTEXTE

11.1 Adaptation au conducteur

11.1.1 Recommandation

Pour le conducteur de VA, favoriser un système de profil du conducteur pour adapter le temps de notification et les modalités préférées pour s'adapter aux capacités (auditives, visuelle, ...)

Justification de la recommandation : Dans notre étude sur simulateur, le conducteur doit reprendre en main le véhicule lorsque le système n'est plus en mesure de conduire de façon autonome. Pour reprendre en main le véhicule, le système émet une alerte auditive qui retentit 7.5 secondes avant l'évènement inattendu (ex. : obstacle sur la route, véhicule arrêté sur la voie). Les résultats montrent qu'avec cet intervalle de notification, les conducteurs âgés ne mettent pas plus de temps pour reprendre en main le véhicule que les conducteurs jeunes après une phase de conduite autonome qui demandait peu d'engagement attentionnel. En revanche, lorsque les conducteurs réalisent une double tâche pendant la phase autonome, les conducteurs âgés mettent plus longtemps que les conducteurs jeunes pour reprendre en main le véhicule et ralentissent pendant la reprise en main. Ces résultats indiquent que ce temps de notification doit être suffisamment long pour que le conducteur âgé puisse reprendre en main le véhicule en toute sécurité. En cas de déclin cognitifs, visuels ou sensoriels, il semble nécessaire de favoriser un système de profil du conducteur pour adapter le temps de notification et les modalités préférées pour s'adapter aux capacités des individus.

11.1.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Données expérimentales, à partir du simulateur de conduite.

Limites de l'analyse : Nombre de participants de l'étude (=25), étude sur simulateur (moins écologique qu'une étude sur route mais permet d'être dans un environnement reproductible et contrôlé), les participants devaient conduire à une vitesse de 70 km/h → pas d'autres vitesses de conduite étudiées, la reprise en main était demandé par le système et non choisie par le participant, Nous avons seulement testé l'alerte auditive mais d'autres alertes devront être testées (alerte visuelle, alerte visuelle et auditive..).

Livraison SURCA concernée :

M Ranchet, L Paire-Ficout, C Gasne, S Bordel, S Lafont. (2022), Livrable 8.2 « Bénéfices et limites de l'utilisation d'un véhicule automatisé pour la population de conducteurs âgés », Projet SURCA, Convention Université Gustave Eiffel, FSR, DSR, 52 pages.

11.1.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

Dans le projet SURCA, le Work-Package 8 s'est intéressé à l'acceptabilité de la conduite automatisée par les usagers âgés avec deux approches complémentaires, l'une épidémiologique et l'autre expérimentale. Il s'est également intéressé aux capacités de reprise en main d'un véhicule dans différentes conditions (avec ou sans engagement dans une tâche) dans un groupe de conducteurs âgés par rapport à un groupe de conducteurs jeunes.

Cette sous-tâche 8.2 poursuit deux objectifs correspondant à deux expérimentations différentes. Il s'agit de mieux comprendre l'acceptabilité et l'acceptation du véhicule à délégation de conduite de niveau 3 (selon les définitions des niveaux d'automatisation de la SAE, dans le cas du niveau 3 le conducteur ne fait pas d'action de conduite mais doit superviser la scène routière pour détecter les événements extérieurs) par des conducteurs âgés et d'étudier leur capacité de reprise en main du véhicule, notamment lorsque celle-ci fait suite à une phase de conduite autonome durant laquelle le participant est engagé dans une tâche non liée à la conduite.

Vingt-neuf personnes jeunes d'âge moyen (25 ± 3 ans) et 21 personnes âgées d'âge moyen (70 ± 4 ans) ont été incluses dans l'étude. Tous les participants ont réalisé des tests neuropsychologiques pour évaluer leur niveau cognitif et complété des questionnaires concernant leurs habitudes de conduite. Ils ont ensuite réalisé deux mises en situation sur simulateur de conduite. Dans la première, les participants devaient conduire un véhicule autonome. Des questionnaires concernant l'acceptabilité du véhicule automatisé leur étaient proposés avant et après la conduite sur simulateur. La comparaison des deux réponses avant et après permet d'évaluer un éventuel changement sur l'acceptation du véhicule automatisé. Dans la deuxième mise en situation, les participants devaient reprendre en main le véhicule suite à des événements inattendus sur la route (ex. : travaux ou obstacle sur la route). Pendant la phase autonome, et avant la reprise en main, le participant pouvait être amené à réaliser une tâche non liée à la conduite (tâche d'empan dans la présente étude) pour évaluer l'impact d'une activité avec une charge cognitive forte sur la performance de reprise en main.

Les résultats ont montré que le critère principal d'acceptabilité et d'acceptation pour les conducteurs âgés est la confiance. Cela montre qu'il est vraiment important de permettre aux futurs usagers de ces systèmes de se familiariser en amont avant toute utilisation.

Les résultats de la mise en situation sur simulateur de conduite pour évaluer la performance de reprise en main montrent que les personnes âgées ont des temps de reprise en main plus longs que les jeunes. De plus, l'engagement dans la tâche d'empan pendant la phase autonome modifie le comportement de conduite pendant et après la reprise en main des conducteurs âgés. Ces études soulignent la nécessité de réaliser d'autres études sur les conducteurs

11.2 Adaptation aux usagers devant le VA

11.2.1 Recommandation

Définir une distance d'arrêt devant le piéton pour le confort du piéton (hors coefficient de sécurité pour éviter le conflit)

Justification de la recommandation : *Le piéton doit pouvoir se déplacer confortablement. Ainsi, des véhicules qui circulent trop près de lui sont sources d'inconfort même s'ils ne le mettent pas en danger.*

11.2.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Retours d'expérience des chercheurs du CEREMA : Littérature, corpus réglementaire et règles de l'art.

Limites de l'analyse : Avis d'experts.

Livrable SURCA concerné :

Tattegrain, H., Ledoux, V., & Battaglia, V. (2022). *Livrable L6.2 : Description détaillée des scénarios d'interaction VA / piétons et cyclistes et des risques associés*. Projet SURCA, 100 p.

Partie 2.1 : Étude préalable sur les interactions en traversée sur passage piéton : paramètres à prendre en compte

11.2.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

Le piéton doit pouvoir se déplacer confortablement. Ainsi des véhicules qui circulent trop près de lui sont sources d'inconfort même s'ils ne le mettent pas en danger.

Valeurs trouvées dans la littérature⁶ :

Espace longitudinal : Le besoin d'espace se manifeste pour l'environnement longitudinal du piéton, c'est-à-dire devant lui, et dans son voisinage latéral. Les piétons qui se déplacent sur un trottoir observent² une distance de confort ou de sécurité vis-à-vis :

- des murs et petits obstacles : 0,25 m,
- des maisons et obstacles de plus grandes dimensions : 0,45 m,
- et des routes : 0,35 m.

Valeurs mentionnées dans le code de la route et l'Instruction Interministérielle de la Signalisation Routière

Il est nécessaire de prévoir une marge de sécurité pour les arrêts pour que le véhicule s'arrête quelques mètres en amont du piéton. Selon l'arrêté du 12 décembre 2018 relatif à la modification de la signalisation routière, art 117.4, les collectivités locales, qui le souhaitent, ont la possibilité désormais de réaménager les abords d'un passage piéton, en installant une zone tampon entre les véhicules et les piétons qui traversent (Distance 2m à 5m).

⁶S. P. Hoogendoorn, "Pedestrian modelling by optimal control and differential games

Figure n° 34 : Passage piéton avec zone tampon

Source Cerema : Strasbourg

L'article R414-4 Modifié par Décret n°2003-536 du 20 juin 2003 - art. 18 JORF 22 juin 2003 du code de la route mentionne des valeurs pour le dépassement.

IV. - Pour effectuer le dépassement, le véhicule doit se déporter suffisamment pour ne pas risquer de heurter l'usager qu'il veut dépasser. Il ne doit pas en tout cas s'en approcher latéralement à moins d'un mètre en agglomération et d'un mètre et demi hors agglomération s'il s'agit d'un véhicule à traction animale, d'un engin à deux ou à trois roues, **d'un piéton**, d'un cavalier ou d'un animal.

11.3 Adaptation de la dynamique du VA

11.3.1 Recommandation

Le VA doit adapter sa dynamique, en fonction du contexte d'infrastructure, et de la dynamique des autres véhicules

Justification de la recommandation : *Les observations effectuées sur des véhicules en conditions réelles, tous type d'infrastructure confondus, montrent que les conducteurs humains adaptent finement leur comportement et leur vitesse aux contraintes de l'environnement. Sur autoroute, la gestion des déboitements, rabattements et insertions, est un processus complexe de coopération entre conducteurs. Certaines situations pouvant être considérées comme risquées par les véhicules autonomes n'entraînent pas de réaction chez les conducteurs humains qui contribuent ainsi à fluidifier le trafic.*

11.3.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Données de conduite recueillies en situation naturelle.

Limites de l'analyse : Nombre de participants

Livrable SURCA concerné :

Saint Pierre, G., Désiré, L., Judalet, V., Chauvel, C., Haue, JB., Wadji, F., Kroger, R., Thiolon, JB., (2022) Livrable 4.2 Description détaillée des scénarios d'interaction VA / VL et des risques associés, Projet Surca, financé par la FSR et la DSR, 90 p.

Partie 4 : Déboitement, rabattement et insertions (Cut-in, cut-out & insertions) et 5 Manœuvres d'arrêt (décélération)

11.3.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

Les travaux menés ont cherché à identifier les nouveaux risques éventuels liés à l'introduction des véhicules automatisés (VA) dans le trafic. Pour cela, de nombreuses sources de données de conduite issues de précédents travaux ont été analysées pour comprendre les facteurs agissants sur la survenue de situations de conduites à risque. En préalable, une réflexion (Livrable L4.1 : Sélection des scénarios d'interaction qui seront retenus pour les analyses plus fines) a été menée par un collectif d'expert du véhicule automatisé et de l'accidentologie pour identifier les scénarios de conduites à fort enjeu du point de vue de la sécurité routière des VA. Au terme de ce travail, deux situations de conduite semblent prioritaires pour des analyses plus poussées :

- Les situations de déboitement, rabattement et insertions.
- Les manœuvres d'arrêt.

Chacune de ces situations de conduite a été recherchée, soit dans des bases de données (BDD) de conduite recueillies en situation naturelle (BDD Moove-Vedecom, BDD UDrive-CEESAR, BDD Cerema-Uni Eiffel), soit dans des études détaillées d'accidents (LAB).

La première situation étudiée concerne les situations de déboitement, rabattement et insertions. Dans ce contexte, les études menées à partir de données de conduite en situation naturelle ont adopté deux méthodologies complémentaires. La première, sur les données MOOVE, est une approche statistique visant à décrire les situations observées dans leur ensemble, en cherchant à déterminer les caractéristiques des comportements humains et les confronter aux conditions d'opérations du véhicule autonome. Les résultats obtenus concernent plus de 10 000 manœuvres de changement de voie par des véhicules légers (VL), réalisées juste devant les véhicules équipés MOOVE. Cela correspond à des manœuvres de rabattement quand le véhicule vient de voie de gauche, et d'insertion quand il vient de la voie de droite. Les principaux résultats obtenus sont les suivants :

- Les temps inter véhiculaire (TIV) au moment du changement de voie (insertion et rabattement confondus) sont majoritairement inférieurs à 2 secondes. Ils sont même inférieurs à 0.6 seconde dans 10% des scènes étudiées ;
- Les véhicules qui se rabattent ont une vitesse généralement supérieure au véhicule MOOVE, et ils semblent garder cette vitesse après la manœuvre ;
- Lors des insertions, la vitesse relative des véhicules qui effectuent le changement de voie est généralement négative. Cependant, les véhicules impliqués (celui qui change de voie ou le véhicule Ego) semblent adapter leur vitesse au cours de la manœuvre si bien que leurs vitesses relatives après le changement de voie se sont réduites ;
- Lorsque le véhicule qui s'insère roule à la même vitesse que le véhicule Ego (ou plus vite), l'adaptation de la vitesse du véhicule Ego est très limitée, même pour des temps inter véhiculaire très faibles. La décélération est perceptible uniquement pour des vitesses relatives négatives, avec un TIV inférieur ou égal à 1,5 secondes ;
- Dans le cas particulier des insertions sur voie d'insertion, nous avons pu mettre en évidence que les conducteurs présents sur la voie côtoyant la voie d'insertion adaptent la distance avec le véhicule qui les précède pour permettre aux véhicules présents sur la voie d'insertion de s'insérer.

Ainsi, afin d'adopter un comportement de conduite en sécurité, un véhicule automatisé (VA) qui effectue un changement de voie devrait adapter sa vitesse pour qu'elle soit supérieure ou égale à celle du véhicule devant lequel il s'insère et laisser un temps inter-véhiculaire de 2 secondes avec ce véhicule

La seconde approche exploite la qualité des données UDrive pour rechercher, parmi les deux situations de conduite identifiées, celles qui relèvent de situations risquées et qui de ce fait pourraient déclencher une alerte de sécurité pour un véhicule autonome. La faible quantité d'événements identifiés autorise une analyse détaillée de l'évolution d'une telle situation. Ces analyses mettent en évidence la capacité des conducteurs humains à réagir et collaborer en adaptant leurs comportements à des manœuvres dangereuses des autres véhicules.

L'étude détaillée de trois accidents survenus en situation d'insertion et/ou de rabattement font état du rôle joué par le non-respect des distances et temps inter-véhiculaires de sécurité. Ainsi, ces études incitent à recommander des comportements préventifs au futur véhicule autonome :

- Limiter la décélération maximale du véhicule autonome quand il subit un cut-in serré pour éviter de surprendre le véhicule suiveur ;
- Si un véhicule roulant sur une voie d'insertion semble vouloir s'insérer devant un véhicule autonome, celui-ci doit adapter son inter-distance avec le véhicule qui le précède pour faciliter l'insertion.

11.4 Adaptation aux intersections

11.4.1 Recommandation

Adaptation de la cinématique de freinage du VA en amont des carrefours en fonction du régime de priorité. En présence d'un stop (arrêt certain) le VA doit freiner tardivement pour éviter de surprendre l'usager qui le suit (2RM ou VL)

Justification de la recommandation :

Les observations du déploiement actuel des véhicules autonomes (VA) dans le trafic réel ont montré que les situations de freinage à l'approche d'une intersection sont une source majeure de conflits routiers. L'incompréhension du comportement de décélération du véhicule autonome semble être une cause fréquente de collisions par l'arrière impliquant des humains. L'identification des raisons sous-jacentes de ces conflits, qui peuvent être liées à des comportements différents entre les véhicules automatisés et les humains dans des situations spécifiques, est une question de sécurité. Le comportement de décélération des humains est encore imparfaitement connu car peu d'études ont exploré de telles situations dans un contexte de conduite naturaliste, et aucune d'entre elles n'a étudié le lien entre le comportement de décélération et les caractéristiques de l'intersection.

Afin d'étudier la variabilité du comportement de décélération de l'être humain en fonction du contexte de conduite, cette étude a rassemblé plus de 1400 profils de décélération anonymes provenant d'expériences antérieures. Les caractéristiques de décélération sont d'abord décrites en fonction du système de priorité et de la limite de vitesse, puis un modèle polynomial de second ordre est ajusté pour chaque condition. Les résultats indiquent que des comportements très différents sont observés selon le contexte routier. La vitesse d'approche dépend de la limitation de vitesse, mais des vitesses et des taux de décélération plus élevés sont observés dans les situations où un arrêt est obligatoire. Les passages pour piétons ou les feux de signalisation induisent un comportement plus sûr avec des vitesses d'approche et des taux de décélération plus faibles.

11.4.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Données de conduite recueillies en situation naturelle.

Limites de l'analyse : Nombre de participants (150).

Livrable SURCA concerné :

Saint Pierre, G., Désiré, L., Judalet, V., Chauvel, C., Haue, JB., Wadji, F., Kroger, R., Thiolon, JB., (2022) Livrable 4.2 Description détaillée des scénarios d'interaction VA / VL et des risques associés, Projet Surca, financé par la FSR et la DSR, 90 p.

Partie 5 : Manœuvres d'arrêt (décélérations)

11.4.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

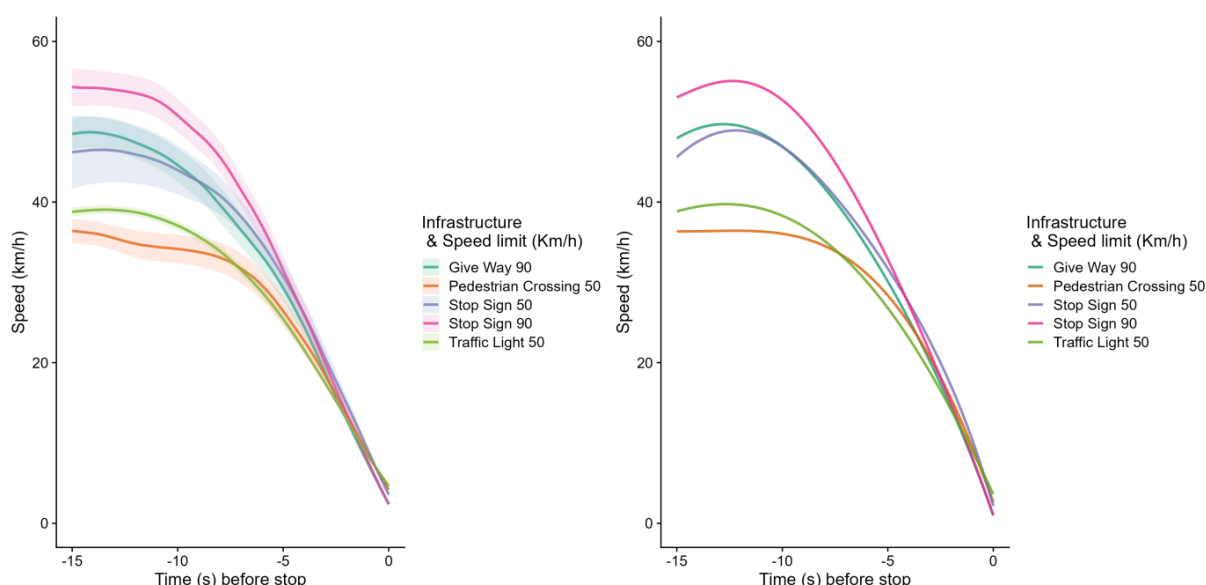
Cette recommandation repose sur l'analyse des manœuvres d'arrêt, d'un point de vue statistique d'abord, puis dans le détail via l'étude de quelques accidents.

L'analyse de la littérature internationale montre que les chocs fronto-arrières sont sur-représentés dans les accidents impliquant les véhicules autonomes, et qu'ils sont plus fréquents en intersection et lors d'un freinage du véhicule autonome.

Pour étayer ces observations, le projet SURCA s'est attaché à étudier les phases de freinages chez les conducteurs humains, et en déduire des recommandations sur le comportement des véhicules autonomes dans ces situations. Ces travaux ont exploité plus de 6000km de données routières générées par plus de 150 participants à bord d'un véhicule instrumenté et dans des conditions variées (urbain & interurbain). Au total, 2677 séquences de décélération (sur les 10896 identifiées) ont répondu aux critères de sélection ont été associées à l'infrastructure la plus probable ayant causé l'arrêt.

Une première analyse descriptive a été menée sur ces décélérations, mettant en évidence des différences significatives dans les indicateurs les caractérisant. Cela nous permet de définir un seuil de distance de 200m pour mener une analyse des courbes de décélération, notamment via l'estimation d'un modèle polynomial d'ordre 3, autant pour la vitesse que pour l'accélération (signal lissé).

Figure n° 35 : Profils de vitesse empiriques et modélisés en fonction du temps.



Ces analyses mettent en évidence des différences significatives de comportements de décélération selon la raison de l'arrêt :

- La modélisation permet de mettre en évidence des vitesses d'approche plus élevées pour la modalité « Stop 90 », et une similarité de comportement entre « Stop 50 » et « Cédez le passage 90 » ;

- Les arrêts générés par les « Feu tricolore 50 » présentent des vitesses d'approche et des décélérations moyennes (modélisées) plus faibles que les autres situations ;
- Les arrêts générés par les « Stop 90 » présentent une vitesse d'approche plus élevée, mais un premier instant de décélération à peine plus distant de l'arrêt final que les autres situations, induisant des phases finales de décélération en moyenne plus marquées que les autres (i.e. valeurs de décélération plus grandes) ;
- Les arrêts générés par les « Passage piéton 50 » présentent une première phase de décélération très en amont de l'arrêt final, suivi d'un plateau de vitesse, et enfin une phase finale de décélération plus tardive ;
- Les arrêts générés par « Stop 50 » et « Cédez le passage 90 » sont très similaires avec un comportement « intermédiaire » entre « Stop 90 » et « Feu tricolore 50 » ;
- La distance à l'arrêt pour laquelle a lieu le premier instant de décélération est très similaire entre les raisons d'arrêt, ce quel que soit la vitesse d'approche. Cela induit des phases finales significativement différentes en termes d'ampleur de la décélération.

Contrairement aux travaux précédents, portant plutôt sur les liens entre la vitesse d'approche et la décélération, nous avons mis en évidence que la raison de l'arrêt (infrastructure ou régime de priorité) induisait aussi des différences significatives sur les manœuvres d'arrêt effectuées par des conducteurs humains. Ainsi, en présence de stops, les conducteurs ont tendance à adopter des vitesses d'approche plus élevées suivies d'un freinage plus fort avant l'arrêt. Ces résultats sont confirmés par une modélisation polynomiale des profils de vitesses. Les difficultés d'anticipation du comportement des VA lors des freinages par les humains, dont fait état la littérature, pourraient résider dans ces différences dans la gestion des décélérations. Ainsi, ces différences subtiles mais significatives, laissent penser que cela peut jouer dans la bonne anticipation du comportement des VA par les humains.

Compte tenu des comportements humains observés lors des manœuvres d'arrêt, de leurs défaillances, et de la littérature disponible sur les premiers accidents de VA, il apparaît utile de considérer que le véhicule autonome devrait pouvoir adapter sa cinématique de freinage en amont des carrefours en fonction du régime de priorité. En présence d'un stop (arrêt certain) le VA doit freiner tardivement pour éviter de surprendre l'utilisateur qui le suit (2RM ou VL).

Voir aussi : <https://theconversation.com/les-voitures-autonomes-vont-elles-dicter-notre-conduite-210340>

11.5 Adaptions aux usagers suiveurs

11.5.1 Recommandation

Le VA doit éviter les freinages brusques lorsqu'il est suivi par une trottinette

Justification de la recommandation : *Eviter d'engendrer des blessures graves telles que constatées depuis l'introduction de cet Engin de Déplacement Personnel (EDP) sur la chaussée.*

11.5.2 Données utilisées et limites de la recommandation

Type de données : Retours d'expérience des chercheurs du CEESAR : Données du Registre du Rhône et reconstruction de chocs.

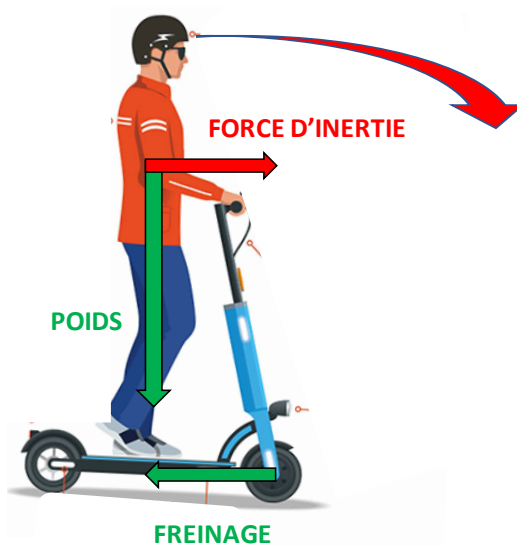
Limites de la recommandation : Avis d'expert (Enjeu non évalué à Paris, et à réévaluer chaque année, très évolutif).

11.5.3 Argumentation de la recommandation

L'étude géométrique du freinage d'une trottinette montre que le petit diamètre de roue et l'altitude du centre de gravité ne permettent pas d'utiliser l'adhérence au sol, ce qui a été confirmé par des essais au LMA : freinage limité à 3 m/s^2 , contre 7 m/s^2 pour un vélo et 9 m/s^2 pour une voiture.

Sur sol sec, le freinage brutal d'une voiture automatisée suivie d'une trottinette rend l'accident inévitable : un conducteur humain se méfie et l'automate devra aussi éviter ce type d'accident.

Figure n° 36 : Instabilité géométrique d'une trottinette au freinage (schématisation des efforts qui conduisent à délester la roue arrière dès 3 m/s^2 , d'où instabilité



12 RECOMMANDATIONS POUR GERER LES SITUATIONS COMPLEXES

12.1 Giratoire pour transport public

12.1.1 Recommandation

La mise en place de VA pour le transport collectif doit prendre en compte les problèmes de passage des giratoires

Justification de la recommandation : *Un véhicule de transport public peut disposer de priorités locales, et n'est pas toujours en mesure de freiner brutalement, notamment avec des passagers debout ou non attachés.*

12.1.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Retours d'expérience des chercheurs de SURCA : Expérimentation de navettes automatisées.

Limites de l'analyse : Avis d'experts basé sur des décisions observées suite à des expérimentations de navettes automatisées.

12.1.3 Argumentation de la recommandation

Les navettes automatisées étant identifiées comme des véhicules lents, elles subissent des prises de priorité délicates dans les situations ambiguës, notamment sur entrée de giratoire : l'adjonction de feux connectés donnant priorité au transport public a été la seule solution trouvée.

12.2 Identification des situations complexes

12.2.1 Recommandation

Définition de critères pour la conduite dégradée afin d'identifier les situations dans lesquelles le VA est bloqué s'il respecte le code de la route (exemple « forcer le passage » en urbain congestionné)

Justification de la recommandation : *Existence de configurations complexes difficilement gérables par le VA (nombre de conflits, multiplicité des usagers, temps de réaction très élevé nécessaire...).*

12.2.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Analyse bord de voie

Limites de l'analyse : Impossible de faire l'analyse exhaustive des situations.

Livrable SURCA concerné :

Tattegrain, H., Ledoux, V., & Battaglia, V. (2022). *Livrable L6.2 : Description détaillée des scénarios d'interaction VA / piétons et cyclistes et des risques associés*. Projet SURCA, 100 p.

Partie 2.2 : traversées piétonnes en zone de circulation apaisé et 2.4 Mouvement de tourne à droite avec flux piétons important sur la traversée de la voie sécante.

12.2.3 Résultats de(s) l'analyse(s)

Analyse des usages en zone de circulation apaisée

Les véhicules ne s'arrêtent pas pour laisser traverser les piétons lorsque ceux-ci ne sont pas engagés sur la chaussée, même si manifestement ils attendent perpendiculairement à la chaussée. Les piétons prennent leur décision de traverser au vu des créneaux dans la circulation. Dès que les piétons se trouvent sur la chaussée, les véhicules freinent et s'arrêtent.

Ainsi, l'usage informel dans cette zone veut que le véhicule circule lentement et s'arrête dès que le piéton est sur la chaussée. Le piéton attend lui aussi un créneau dans la circulation pour commencer à traverser. Il est à noter que les piétons traversent malgré la proximité des voitures parfois une dizaine de mètres seulement.

Conséquences pour Le VA

Si la détection est efficace les véhicules autonomes seraient amenés à détecter 4 traversées par minute sur les 100 mètres étudiés et s'arrêter de nombreuses fois. Cela pourrait avoir un impact très important sur le trafic car il ne s'auto régulerait plus.

Cas particulier : intersection avec stop en zone de circulation apaisée : Analyse des usages

L'observation des véhicules indique que plusieurs des véhicules se sont arrêtés près de la ligne de stop pour laisser passer le piéton. En effet, se trouvant en situation de quasi-congestion, il n'est pas préjudiciable pour le temps de parcours des conducteurs de laisser passer le piéton.

En cas de flux piétons important traversant et pouvant amener le VA autonome à ne plus pouvoir avancer, s'il reste sur des conditions de sécurité, le risque est grand d'un blocage de l'écoulement de la circulation.

Analyse des usages sur un carrefour en feu vert simultanée

Cas d'étude : Un carrefour parisien avec mouvements tournants à droite et flux piéton très important (2000 piétons par heure). Il n'y a pas de problème de visibilité réciproque. Ce carrefour a été depuis modifié.

Le flux piéton étant très important, il n'est pas possible d'écouler le trafic routier de manière satisfaisante. Ainsi, les véhicules en mouvement tournent à droite, se positionnent sur l'ensemble de la traversée et franchissent le passage piétons dès qu'il y a un créneau même s'il y a encore des piétons sur le passage. Des véhicules mettent les piétons sous pression. Certains piétons s'arrêtent pour laisser passer les véhicules.

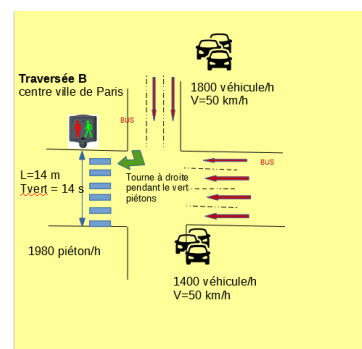


Figure n° 37 : Carrefour avec mouvements tournants à droite et flux piéton très important

Si un VA effectue ce mouvement et qu'il respecte strictement le code de la route, il ne pourra pas franchir le carrefour au vu du flux piéton. Ceci entraînera le blocage de la circulation et de possibles comportements inappropriés : dépassement du véhicule arrêté par les autres automobilistes par exemple...

12.3 Reprise en main

12.3.1 Recommandation

Le Véhicule Automatisé (VA) doit être repris en main par le conducteur avant d'aborder un carrefour giratoire ayant souvent un trafic dense

Justification de la recommandation : L'entrée sur rond-point laissant localement priorité à gauche est gérée par des interactions humaines, permettant généralement d'arbitrer des situations ambiguës.

12.3.2 Données utilisées et limites de l'analyse

Type de données : Retour d'expérience des chercheurs de SURCA.

Limites de l'analyse : Avis d'experts. *Situations mal connues, car donnant rarement lieu à des accidents corporels.*

12.3.3 Argumentation de la recommandation

La décélération prévue du véhicule automatisé permet d'évaluer le moment d'entrée sur le giratoire et le risque d'avoir à ce moment un véhicule prioritaire sur la gauche, déjà entré sur le giratoire.

Ce pronostic est dépendant de la loi de vitesse du véhicule antagoniste qui peut être trompeuse, et il devra donc être révisé au dernier moment, quitte à engendrer un freinage brusque, qui pourrait être mal compris des véhicules suiveurs, et donc accidentogène.

Figure n° 38 : Freinage brusque par erreur d'anticipation d'un comportement humain
(schéma montrant la nécessité de rétablir le jugement humain avant d'entrer sur un giratoire)



12.4 Arrêt avant les situations complexes

12.4.1 Recommandation

En cas de situation complexe "non gérable" par le VA, le VA doit s'arrêter de "manière sécurisée" pour permettre au conducteur de reprendre la main

Justification de la recommandation : Cette recommandation a été formulée par l'ensemble des partenaires lors des discussions sur la gestion des situations complexes. Les deux recommandations précédentes ont permis d'identifier des situations dans lesquelles les comportements actuels de VA risquent de rendre impossible un déplacement autonome et qui demanderaient donc une nécessaire reprise en main par le conducteur. Il nous est donc apparu collectivement que, pour que cette reprise en main soit sécurisée, il fallait rajouter cette dernière recommandation.

13 CONCLUSION

Le projet SURCA a permis de proposer un certain nombre de recommandations (résumées dans la partie synthèse) pour faciliter une introduction du véhicule autonome de manière plus sécuritaire et de prévenir un certain nombre de risques liés à cette introduction.

Ces recommandations sont faites aux constructeurs de véhicules automatisés, aux gestionnaires de flottes, mais également aux pouvoirs publics et à l'ensemble des usagers afin d'alerter sur les conditions et les limites de l'introduction de véhicules automatisés en circulation normale ainsi que sur les mesures d'accompagnement qui s'avèreraient nécessaires. Et, c'est bien l'objectif final du projet Surca que de produire de telles recommandations.

Deux autres sorties du projet Surca n'ont pas abouti à des recommandations mais à des questionnements utiles pour le déploiement des véhicules autonomes.

Le premier questionnement est le fruit de réflexions collectives à propos de recommandations non retenues car elles n'ont pas trouvé de consensus par l'ensemble des partenaires. Ces réflexions concernent la prise en compte de comportements des autres usagers pas forcément respectueux du code de la route. Elles avaient pour objectif :

- Soit de favoriser les remontées de file (recommandation non retenue : Lorsqu'un véhicule automatisé roule sur une route sur laquelle des 2RM sont susceptibles de réaliser des remontées de file, le VA doit se positionner dans sa voie de manière à faciliter la remontée de file),
- Soit de limiter les risques lorsque le 2RM roule à contre sens pour doubler un bouchon (recommandation non retenue : Savoir détecter une moto qui remonterait entre deux files et corriger son positionnement dans le couloir sans perturber les véhicules de l'autre côté),
- Soit de limiter les risques lors des remontées de files des usagers vulnérables véhiculés (trottinette, 2RM et cycliste) en se décalant à leur arrivées (recommandation non retenue : Savoir détecter des cyclistes ou trottinettes passant entre les véhicules et leur permettre de rejoindre le SAS cyclistes)

Les discussions initiées par ces propositions de recommandations ont mené à un constat plutôt d'ordre philosophique, qui porte sur un choix primordial entre deux concepts : Est-ce que le VA doit s'adapter aux normes informelles des autres usagers même infractionnistes ? ou alors Est ce que le VA doit inciter les autres usagers à mieux respecter le code de la route ?

Le deuxième questionnement concerne des discussions autour de la notion de prévisibilité des comportements des véhicules autonomes pour mieux permettre aux autres usagers de la route d'anticiper les déplacements des VA et donc de mieux gérer les interactions : Faut-il que les VA aient des comportements qui reproduisent les comportements humains (notion de Mimétisme) ? Ou Faut-il que les VA aient des comportements propres reconnaissables (notion de Spécificité) ?

Les résultats présentés dans ce livrable ont été partagés et discutés au sein de la communauté SURCA. La mise en commun des différents travaux du projet, et l'échange des différents points de vue et approches, a permis d'aboutir à des recommandations à la fois pertinentes et opérationnelles, pour anticiper les effets attendus de l'automatisation en matière de sécurité routière.