



L5.2 Description détaillée des scénarios d'interaction VA / 2RM et des risques associés

Work Package	5
Responsable du WP, affiliation	KROGER R., CEESAR
Livrable n°	5.2
Version	V1
Auteur responsable du livrable	LEDOUX V., CEREMA
Auteurs, affiliations	LEDOUX V., CEREMA BLANQUART A., DE RUS N., CEREMA JUDALET V., ESTACA CANU B., FOURNIER J-Y, NAUDE C., NIETO J., PERRIN C., RAGOT-COURT I., SERRE T., VAN ESLANDE P., UNIVERSITE GUSTAVE EIFFEL
Selecteurs, affiliations	MIGNOT D., TATTEGRAIN H., UNIVERSITE GUSTAVE EIFFEL
Statut du livrable	Version Finale

Veuillez citer ce document de cette façon :

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.

Historique des versions

Version	Date	Auteurs	Type des changements
V4	14/11/2022	T. Serre	Intégration des analyses LMA sur Dymoa
V3	28/07/2022	A.Blanquart, N. De Rus, V.Ledoux	Intégration des analyses du Cerema basées sur DYMOA et MAC
V2	4/04/2022	C. Naude, V.Ledoux, P.Van Eslande, V.Judalet	Corrections et validation des ajouts apportés par la V1
V1	24/03/2022	P.Van Eslande, V.Judalet	Intégration des analyses basées sur les EDA et Moove
V0	12/01/2022	V.Ledoux	draft avec plan

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.



Résumé du projet Surca

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’espérance 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, il est prévu d’analyser des bases de données existantes sur la conduite des véhicules conventionnels et d’identifier les facteurs qui peuvent expliquer des comportements différents.

Les connaissances issues de ces bases sont utilisables 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 doit être réalisée 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. En cas de taux de pénétration très important, d’autres types d’interactions risquent de se mettre en place et devront alors être étudiés.

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.

Résumé du Livrable L5.2

Le livrable est structuré autour des grandes familles de scénarios pour lesquelles au moins une étude a été réalisée par l'une des équipes du projet SURCA. Ces études sont ensuite regroupées selon les sources de données utilisées selon qu'elles proviennent de situation en conduite naturelle ou d'accidents. Pour chaque situation étudiée, les scénarios sont décrits et analysés pour produire des recommandations sur le véhicule automatisé. Les situations étudiées sont les suivantes : les « cut-in » (insertion et rabattement) d'un 2RM, Les remontées de files d'un 2RM, les dépassements, les ralentissements du véhicule qui précède le 2RM, les intersections.

Pour analyser les Cut-in, 1 000 manœuvres de changement de voie par des 2RM réalisées juste devant les véhicules équipés MOOVE ont été exploitées. Cela correspond à des manœuvres de rabattement quand le 2RM vient de la voie de gauche, et d'insertion quand le 2RM vient de la voie de droite. Pour ces données, nous avons étudié la vitesse relative du dépassement selon la vitesse de circulation du véhicule MOOVE, ainsi que la distance longitudinale et le temps inter véhiculaire entre le 2RM et le véhicule MOOVE pendant la manœuvre. Nous avons ainsi mis en évidence que les temps inter véhiculaire 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. 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 (dans les données naturelles de conduite, l'Ego est le véhicule instrumenté sur lequel les données sont collectées), 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 eux avec une vitesse relative positive. Ceci nous a permis de préconiser que lorsqu'un 2RM se rabat ou s'insère devant 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.

L'analyse des données MOOVE de plus de 36 000 scènes de remontées de file par des 2RM en étudiant la vitesse relative du dépassement selon la vitesse de circulation des véhicules sur les voies, ainsi que la position latérale des 2RM pendant la remontée de file, ont montré que dans environ un tiers des scènes étudiées, les 2RM qui effectuent les remontées de file ne sont détectés par le véhicule MOOVE que lorsqu'ils dépassent le véhicule Ego. Ces détections tardives peuvent en partie être expliquées par la présence d'un obstacle à l'arrière qui masque le 2RM. Enfin, il a été mis en évidence que les véhicules légers se décalent dans leur voie pour faciliter les remontées de file des 2RM. Ceci a permis de préconiser que le VA doit se positionner dans sa voie de manière à faciliter la remontée de file et doit être en mesure de détecter suffisamment tôt les 2RM qui réalisent une remontée de file.

Dans les scénarios de remontée de file de la base DYMOA, il a été observé que le 2RM, en raison de sa largeur plus faible que celle d'un véhicule léger, peut se positionner à différents endroits sur la chaussée pour effectuer cette remontée : à droite, à gauche ou entre deux véhicules s'il y a au moins deux voies. Il faut donc une surveillance accrue des zones latérales pour détecter la présence et la trajectoire d'un 2RM en remontée de file. Outre la présence d'un 2RM, une autre information primordiale est de connaître le différentiel de vitesse entre le 2RM et la voiture. Ces éléments justifient la préconisation d'intégrer des capteurs capables de localiser précisément un 2RM lors d'une remontée de file et de mesurer le différentiel de vitesse avec le 2RM venant de son arrière gauche ou droite et d'utiliser ces informations en particulier avant un changement de voie. Ces positions ne sont pas possibles pour les VL et ne sont pas les stratégies classiques de perception visuelle des conducteurs.

Ces recommandations de détections sont élargies par l'analyse des scénarios de dépassement avec surveillance accrue autour du véhicule à 360° pour détecter la présence et la trajectoire d'un 2RM. En effet, la largeur d'un 2RM étant plus faible qu'un véhicule léger, elle lui permet aussi de se positionner

à différents endroits sur la chaussée (plutôt à droite, plutôt à gauche, au centre, entre deux véhicules, ...) aussi bien dans la même direction que le VL, comme pour la remontée de file, que dans le sens opposé, lors de dépassement d'un VL sur la voie opposée. Ainsi le dépassement d'un 2RM peut se faire dans des conditions dans lesquelles un véhicule léger ne le ferait pas car il dispose de multiples positions sur la chaussée pour le faire.

L'analyse des conséquences des ralentissements de véhicule devant un 2RM ont conduit à préconiser que le Véhicule Autonome doit maintenir une allure constante ainsi que sa trajectoire pour ne pas surprendre le 2RM. Il doit également surveiller les remontées de files et les dépassements de 2RM particulièrement en trafic dense.

Si l'infrastructure le permet, le Véhicule Autonome pourrait se décaler afin d'éviter que le 2RM effectue son dépassement en empiétant sur le trottoir.

L'exploitation de la base de données EDA du Laboratoire Mécanismes d'Accidents de l'UGE a permis de faire ressortir plusieurs scénarios d'interaction conflictuelle entre un 2RM et un VL, qui se sont soldés par un accident de la circulation. Une caractéristique d'ensemble des cas d'accidents identifiés est de se produire essentiellement dans des situations de cisaillement de trajectoire entre les deux véhicules que sont les 2RM et les VL que ce soit en intersection avec une voie publique ou privée, ou bien sur un giratoire. Ces analyses conduisent à proposer, un certain nombre de recommandations sur les paramètres que devraient pouvoir gérer les VA pour ne pas se retrouver en situation accidentelle. Les analyses sur les EDA en intersection ont ainsi conduit aux recommandations suivantes. Le véhicule autonome doit être équipé de détecteurs de mouvements capables d'établir la distance et la vitesse des véhicules à proximité en temps réel, de jour comme de nuit, et indépendamment de la météo (pluie, brouillard, neige etc.). Il doit être apte à comprendre les intentions des autres véhicules comme lors de l'utilisation de clignotants pour adapter son comportement en conséquence. Cependant, il doit également réussir à anticiper les comportements d'autrui en l'absence de ces signaux et ainsi, anticiper toutes les situations atypiques avec les autres usagers. Dans le cas des scénarios accidentés des 2RM présentés ici, il s'agit essentiellement d'accidents liés à des croisements de voies lors de dépassements initiés par un 2RM ou un VL. Avant toute chose, le véhicule autonome doit signifier ses intentions de manière anticipée et explicite par son positionnement, des signaux lumineux ou sonores pour ne pas surprendre les autres usagers. Il doit être capable de détecter et d'envisager toutes les directions possibles des autres véhicules pour évaluer tout conflit potentiel avec un 2RM, et ce, même lorsque la visibilité est nulle. Aussi, il doit être prêt à reporter sa manœuvre si un conflit est imminent. S'il s'agit du véhicule autonome en procédure de dépassement, il doit être apte à réaliser une manœuvre d'évitement dans l'éventualité où elle est envisageable, sinon à protéger ses passagers avec des systèmes de sécurité.

Table des matières

1	INTRODUCTION	8
1.1	OBJECTIFS DU WP5.....	8
1.2	OBJECTIFS DE LA TACHE 5.2	8
1.3	ORGANISATION DU LIVRABLE.....	8
2	REMONTEE DE FILE ET CUT-IN.....	10
2.1	CUT-IN DANS LES DONNEES MOOVE.....	10
2.1.1	Description des données étudiées	10
2.1.2	Traitement et enrichissement des données.....	14
2.1.3	Caractérisation des manœuvres de changement de voie (insertion et rabattement)	14
2.1.4	Conclusion et recommandations	18
2.2	REMONTEE DE FILE DANS LES DONNEES MOOVE.....	19
2.2.1	Description des données utilisées.....	19
2.2.2	Traitement et enrichissement des données.....	22
2.2.3	Caractérisation des manœuvres de remontée de file.....	23
2.2.4	Temps de première détection lors d'une manœuvre de remontée de file	25
2.2.5	Adaptation de la conduite des véhicules environnants	27
2.2.6	Conclusion et recommandations	28
2.3	REMONTEE DE FILE DANS LES DONNEES DYMOA.....	29
2.3.1	Un 2RM en remontée de file est confronté à un véhicule qui change de voie vers la gauche	29
2.3.2	Un 2RM en remontée de file est confronté à un véhicule qui change de voie vers la droite	30
2.3.3	Conclusion et recommandations	30
3	SITUATIONS DE DEPASSEMENT	31
3.1	SCENARIO 203 : UN 2RM DEPASSE UN VEHICULE ET EST CONFRONTE A UN AUTRE VEHICULE ARRIVANT EN SENS INVERSE	31
3.2	SCENARIO 209 : UN 2RM EN DEPASSEMENT SE RABAT ET EST CONFRONTE AU VEHICULE QUI LE PRECEDE.....	33
3.2.1	Scénario 209.1 : Un 2RM en dépassement se rabat et est confronté au véhicule qui le précède – les véhicules ne se déportent pas	33
3.2.2	Scénario 209.2 : Un 2RM en dépassement se rabat et est confronté au véhicule qui le précède – les véhicules se déportent.....	34
3.3	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	35
4	SITUATION DE RALENTISSEMENT DU VEHICULE QUI PRECEDE UN 2RM.....	36
5	SITUATIONS EN INTERSECTION	38
5.1	SCENARIO 205 : UN VEHICULE DEPASSE – UN VEHICULE TOURNE A GAUCHE SUR VOIE PRIVEE	38

5.1.1 Scenario 205.1 : Un 2RM dépasse - Un VL tourne à gauche sur voie privée	38
5.1.2 Scenario 205.2 : Un 2RM tourne à gauche sur voie privée - Un VL dépasse	39
5.2 SCENARIO 308 : UN VL TOURNE A GAUCHE EN INTERSECTION – UN 2RM DEPASSE	39
5.3 SCENARIO 330 : SUR GIRATOIRE, CONFLIT ENTRE UN 2RM SORTANT DE L’ANNEAU ET UN VL QUI Y RESTE & SCENARIO 332 : SUR GIRATOIRE, CONFLIT ENTRE UN 2RM CIRCULANT DANS L’ANNEAU ET UN VL QUI Y ENTRE.....	40
6 CONCLUSION	42

1 INTRODUCTION

1.1 Objectifs du WP5

Les objectifs du WP5 dans le projet SURCA sont, tout d'abord, de décrire les principaux scénarios critiques d'interactions et plus particulièrement ceux des communications entre les conducteurs de VL et les deux-roues motorisés (2RM). Dans un second temps, il s'agit d'effectuer une analyse des interactions entre VL et 2RM de manière à identifier les interactions pertinentes pour la conduite automatisée. Enfin, le dernier objectif consiste à reconstruire des accidents, évaluer des gains attendus et identifier des nouveaux risques éventuels liés à l'automatisation de la conduite. En lien avec les autres WP, et notamment le WP2, il s'agit d'identifier les variables descriptives dans des scénarios d'interaction avec un véhicule, notamment en phase d'interaction forte comme lors de la remontée de file d'un 2RM ou en intersection. Dans ces phases critiques, le véhicule automatisé diffère des usagers classiques et induit une modification de comportement de ces derniers qu'il convient d'identifier.

1.2 Objectifs de la tâche 5.2

La tâche 5.2 s'inscrit dans le prolongement de la tâche 5.1 (voir livrable 5.1 du projet SURCA). Celle-ci avait abouti à l'identification de scénarios d'interaction critiques entre un futur Véhicule Automatisé (VA) et un deux-roues motorisé.

Les grandes familles d'interaction retenues à l'issue de ce travail sont les suivantes :

- Les changements de voie du VL alors qu'un 2RM circule déjà sur cette voie ou qu'il est en train d'effectuer une remontée de file.
- Les situations où le 2RM est en phase de dépassement du VL.
- Les situations en intersection et plus particulièrement lorsque le VL souhaite effectuer une manœuvre de tourne à gauche.
- Les situations dans les giratoires mais plus particulièrement les situations d'insertion (du VL et du 2RM) et de sortie du giratoire.
- Les situations où le VL exécute une insertion sur une voie principale alors qu'un 2RM circule sur cette dernière.

Sur la base de cette sélection, les partenaires du projet étaient invités à proposer et détailler les analyses qu'ils souhaitaient étudier en précisant pour chaque scénario, ou famille de scénarios, les hypothèses ou questions de recherche investiguées et le type de recommandations visées.

Ce livrable a pour objet de décrire les analyses finalement réalisées par les différentes équipes mobilisées sur cette tâche, d'en présenter les résultats et de proposer quelques recommandations à destination des parties prenantes impliquées dans le développement et le déploiement des VA.

Remarque : Pour diverses raisons, certaines des situations initialement envisagées à l'issue de la tâche 5.1 n'ont finalement pas été étudiée. Il s'agit notamment des situations absentes - ou en nombre trop limité - des bases de données manipulées pour produire des analyses pertinentes.

1.3 Organisation du livrable

Les travaux présentés dans ce document découlent de l'analyse de diverses bases de données qui, de par leur nature et constitution, captent différentes criticités d'interactions : de non conflictuelles à accidentielles en passant par des situations « incidentielles » (presque-accident). Chacune présente potentiellement un intérêt pour aider à mieux appréhender les comportements (des autres usagers) et situations auxquels le VA sera confronté. Il s'agira pour lui d'être en mesure de les détecter et d'adopter le comportement (le plus) adapté pour gérer ces « perturbations ».

Le livrable est structuré autour des grandes familles de scénarios pour lesquelles au moins une étude a été réalisée par l'une des équipes du projet SURCA. Ces études sont ensuite regroupées selon les sources de données utilisées selon qu'elles proviennent de situation en conduite naturelle ou d'accidents. Ces sources de données sont par ailleurs décrites de manière détaillée dans le livrable 3.1 du projet SURCA.

Pour chaque situation étudiée, les scénarios sont décrits et analysés pour produire des recommandations sur le véhicule automatisé. Les situations étudiées sont les suivantes :

- Les « cut-in » (insertion et rabattement) d'un 2RM
- Les remontées de files d'un 2RM
- Les dépassements
- Les ralentissements du véhicule qui précède le 2RM
- Les intersections

2 REMONTEE DE FILE ET CUT-IN

2.1 Cut-In dans les données MOOVE

2.1.1 Description des données étudiées

Les données étudiées dans ce chapitre sont extraites de la base de données MOOVE. Les données MOOVE sont enregistrées à bord de véhicules équipés de capteurs extéroceptifs (voir figure 1) capable de détecter et localiser les véhicules et les obstacles environnants :

- une caméra Mobileye Q2 (à l'avant),
- un radar longue portée (à l'avant),
- 4 radars courte portée (sur les 4 ailes),
- 2 lidars Scala (à l'avant et à l'arrière).

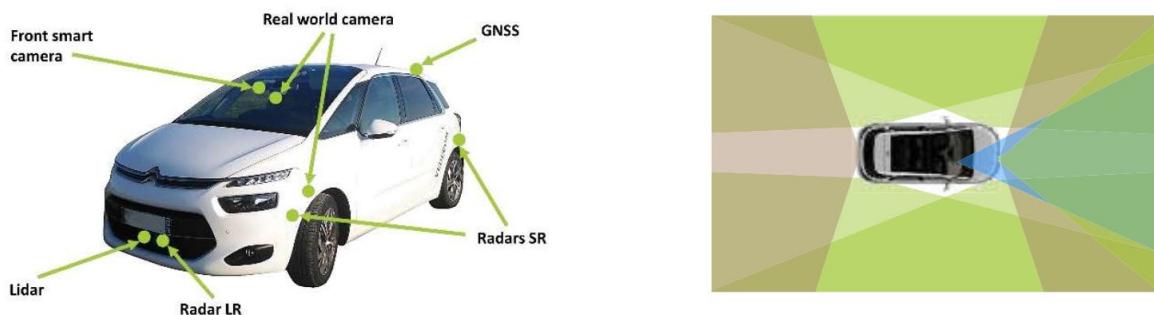


Figure 1 - Positions et angles de vue des capteurs extéroceptifs des véhicules MOOVE

Ces véhicules sont conduits par des chauffeurs professionnels en condition de conduite réelle.

L'extraction contient 13 638 scènes. Dans chacune de ces scènes, un véhicule environnant change de voie en se place devant l'Ego. Parmi ces scènes, 3556 ont été exclues car le véhicule cible n'était pas présent sur toute la durée de la scène ou n'était pas correctement classifié.

Parmi les scènes restantes, nous obtenons :

- **10 082 scènes** pour lesquelles la manœuvre de changement de voie est effectuée par un véhicule léger (VL). L'exploitation de ces données est décrite dans le livrable L4.2 du projet SURCA.
- **993 scènes** pour lesquelles la manœuvre de changement de voie est effectuée par un véhicule « **deux-roues motorisé** » (2RM), parmi lesquelles **397 scènes** où le 2RM cible arrive de la voie de droite (**manœuvre de rabattement**), et **496 scènes** où véhicule arrive de la voie de gauche (**manœuvre d'insertion**). Ces scènes couvrent différentes conditions de trafic avec des vitesses de circulation qui couvrent toute la gamme de vitesses de 0 km/h (circulation à l'arrêt) à 130 km/h (voir figure 2).

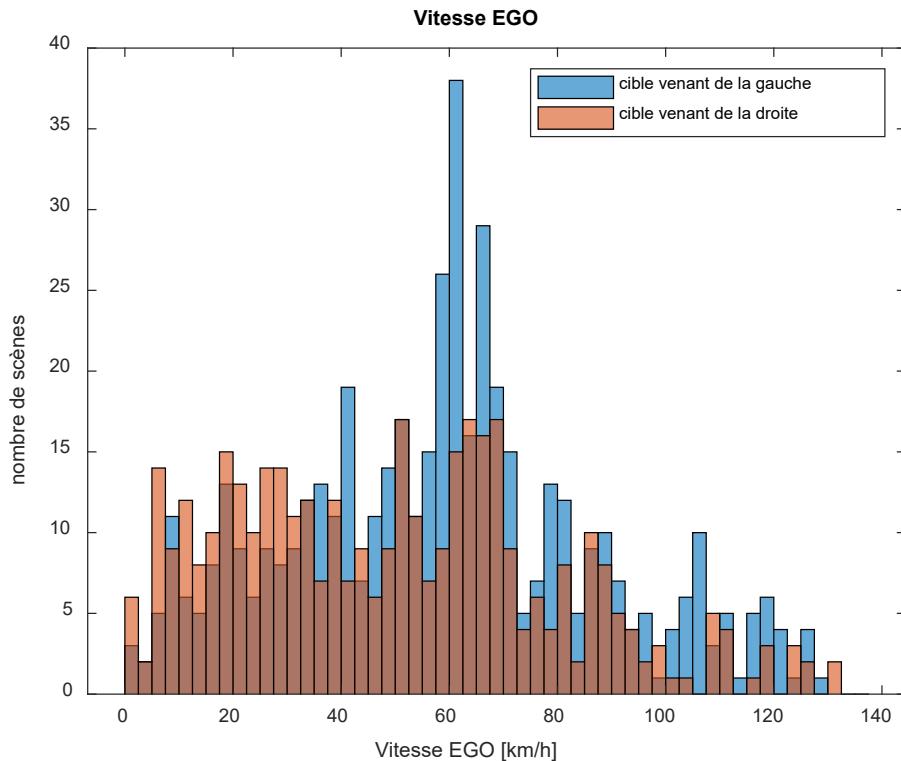


Figure 2 - Répartition des manœuvres d'insertion (cible venant de la droite) et de rabattement (cible venant de la gauche) extraites en fonction de la vitesse du véhicule Ego au début du changement de voie (instant T2)

Pour chaque scène de la base de données, nous disposons des données suivantes :

- **Données disponibles pour le véhicule Ego :**

- Position GPS, position dans la voie (distance par rapport au marquage) et numéro de la voie actuellement emprunter
- Vitesse (longitudinale et latérale), accélération (longitudinale et latérale), vitesse de lacet
- Actions réalisées par le conducteur (angle et vitesse de rotation du volant, appui sur les pédales, action sur les clignotants)

- **Données disponibles pour les obstacles mobiles (maximum 12 obstacles par scène) :**

- Position relative à l'Ego, orientation, taille (longueur, largeur)
- Vitesse absolue et relative (longitudinale et latérale), accélération (longitudinale)
- Temps jusqu'à collision (Time To Collision, TTC) et temps inter-véhiculaire (TIV) par rapport à l'Ego
- Utilisation du clignotants et feux de frein (obtenus via la caméra Mobileye)

- **Données disponibles sur l'infrastructure :**

- Nombre de voies et largeur des voies
- Type de marquage, couleur du marquage
- Limitations de vitesse, présence de panneaux
- Présence de voie d'insertion / travaux / intersection
- Courbure / pente de la route

- **Données disponibles sur l'environnement :**

- Température, présence de brouillard et de pluie
- Conditions lumineuses (jour/nuit)

Pour chaque scène, les données ont été extraites à 4 instants T1, T2, T3 et T4 définis ainsi :

- T2 : instant de début du franchissement de la voie par la cible (le bord du véhicule empiète sur le marquage),
- T3 : fin du franchissement (le véhicule a entièrement franchi le marquage),
- Les instants T1 et T4 correspondent respectivement à 3 secondes avant T2, et 3 secondes après T3.

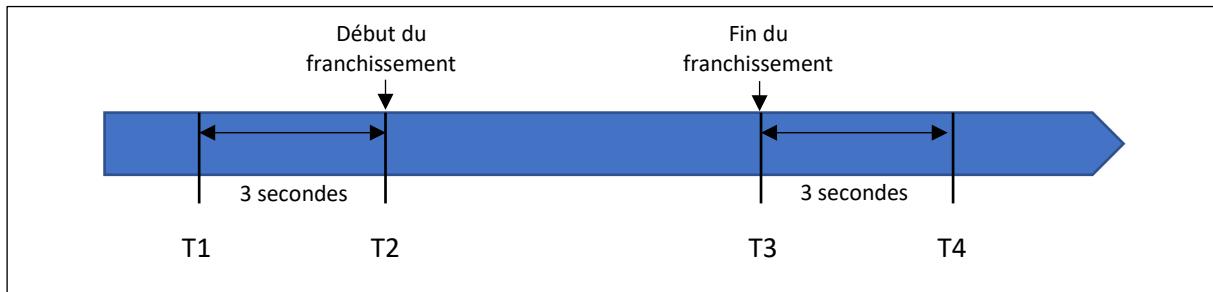


Figure 3 - Définition des instants T1, T2, T3 et T4

Pour illustration, nous avons représenté les données disponibles aux 4 instants extraits de la base de données pour deux scènes : une scène d'insertion et une scène de rabattement (voir figure 4).

Les véhicules sont représentés par des rectangles. Les dimensions et l'orientation des rectangles correspondent aux valeurs indiquées dans la base de données pour chaque obstacle mobile.

Les numéros indiqués dans les véhicules correspondent à leur identifiant unique dans la base de donnée. L'avant des véhicules est indiqué par une flèche dans le rectangle.

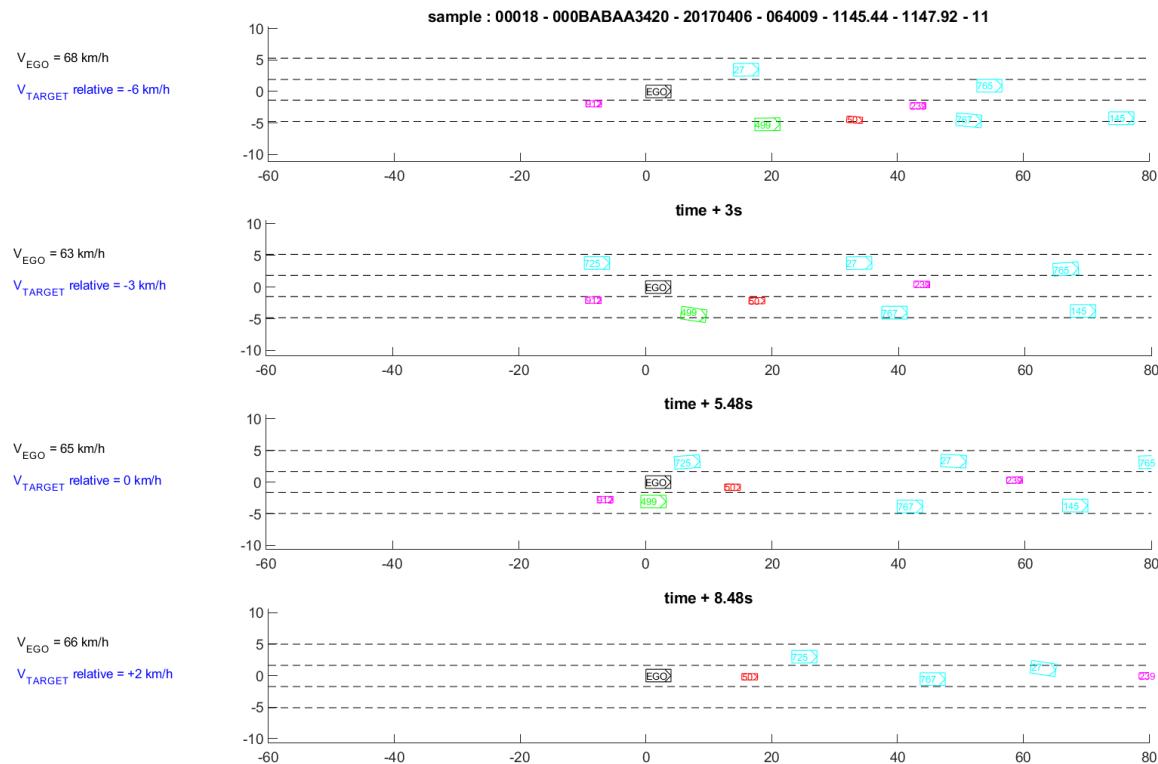
Le véhicule Ego est affiché en noir au centre (la position du véhicule Ego définit le centre du repère).

Le 2RM qui effectue le changement de voie est affiché en rouge. Ce véhicule sera dénommé « véhicule cible » dans la suite de ce chapitre.

Les autres VL sont en cyan et les autres 2RM sont affichés en magenta. Si des obstacles mobiles ne sont pas classifiés (VL ou 2RM), ils sont affichés en vert.

La vitesse de l'Ego et la vitesse relative de la cible à chaque instant sont affichées à gauche de la figure.

manœuvre d'insertion



manœuvre de rabattement

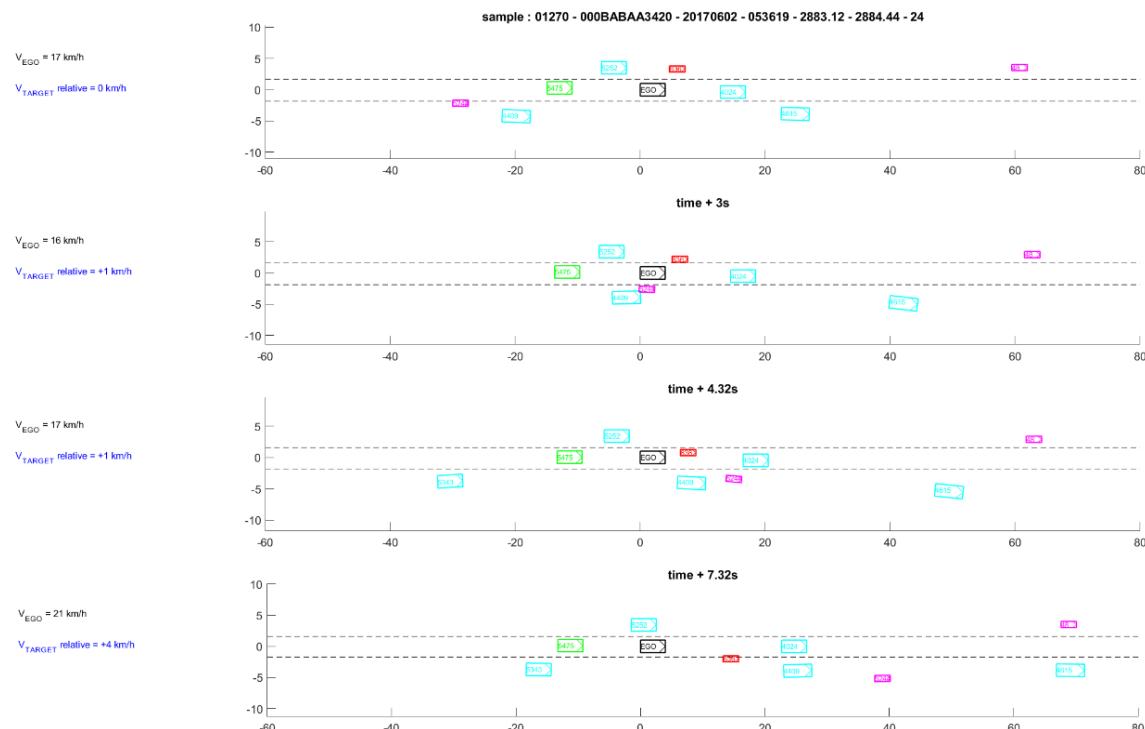


Figure 4 - Affichage des données disponibles pour une scène aux instant T1, T2, T3 et T4 dans le cas d'une manœuvre d'insertion (fig. a) et de rabattement (fig. b)

2.1.2 Traitement et enrichissement des données

Pour l'analyses des scènes, il nous a fallu compléter les données extraites par le calcul du temps inter véhiculaire (TIV) et du temps avant collision (time to collision, TTC). Ces grandeurs sont calculées à partir de l'inter distance DX et des vitesses de l'Ego (V_{Ego}) et du 2RM (V_{Cible})

$$TIV = \frac{DX}{V_{Ego}}$$

$$TTC = \frac{DX}{V_{Cible} - V_{Ego}}$$

2.1.3 Caractérisation des manœuvres de changement de voie (insertion et rabattement)

2.1.3.1 Vitesse relative du 2RM

En comparant les vitesses relatives des 2RM arrivant de la droite et de la gauche avant le début de la manœuvre (instant T1), nous remarquons une différence liée au type de manœuvre (voir figure 5).

En effet, la circulation est généralement plus rapide sur la voie de gauche, qui sert au dépassement, que sur la voie de droite.

Ainsi, lorsque le 2RM se rabat (il vient de la voie de gauche), sa vitesse est généralement supérieure à celle de l'égo.

En revanche, la répartition de la vitesse des 2RM venant de la droite (manœuvre d'insertion) est plus diffuse alors qu'on pourrait s'attendre à ce qu'elles soient globalement négatives (ce qui est le cas quand les véhicules qui s'insèrent sont des véhicules légers).

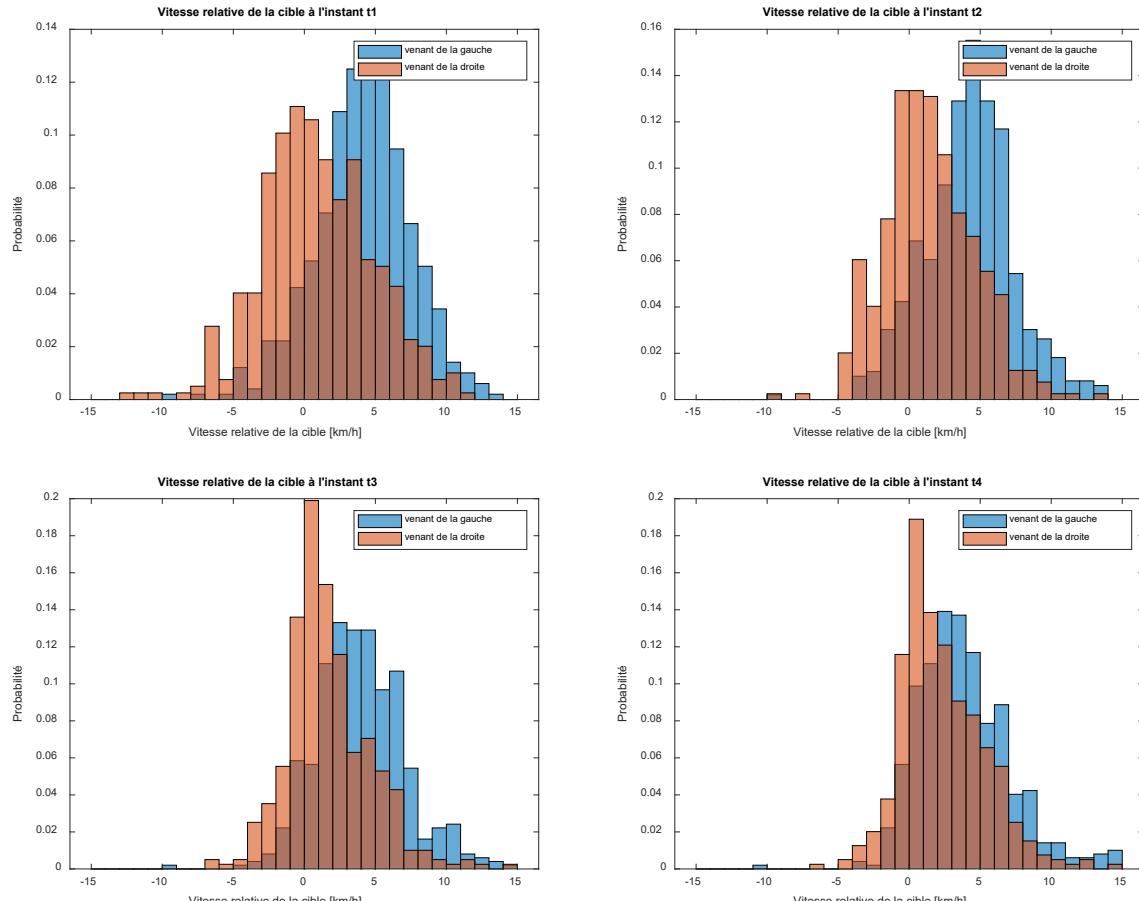


Figure 5 - Évolution de la vitesse relative de la cible au cours de la manœuvre

Après la manœuvre (instant T4), la différence de vitesse entre l’ego et le véhicule cible s’est beaucoup réduite ce qui montre que les véhicules ont adapté leur vitesse au cours de la manœuvre.

Nous regardons à présent l’influence de la vitesse de l’ego véhicule. Nous avons classé les scènes en fonction de la vitesse du véhicule Ego et affiché (figure 6) la répartition des vitesses relatives de la cible pour chacune de ces classes sous la forme de diagrammes en boîtes (box plot).

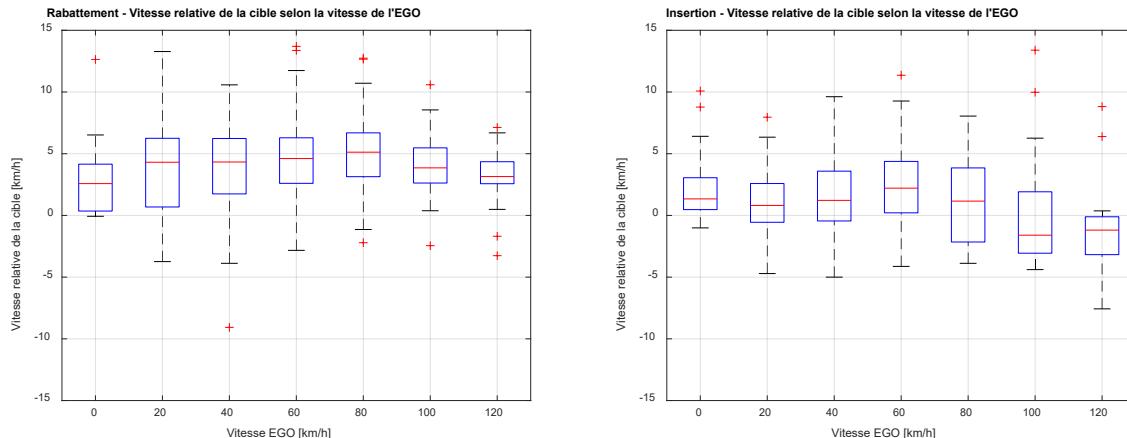


Figure 6 - Répartition de la vitesse relative du 2RM pour différentes classes de vitesse du véhicule Ego pour des manœuvres de Rabattement (à gauche) et d'insertion (à droite)

Elles sont logiquement positives pour des manœuvres de rabattement. En circulation ralenti (<30km/h), les vitesses relatives des 2RM sont faibles et s'accroissent lorsque la vitesse de circulation augmente.

Par contre, pour les manœuvres d'insertion, les vitesses relatives sont généralement négatives quand le véhicule Ego roule vite (> 90 km/h), mais légèrement positives pour des vitesses plus faibles du véhicule Ego (< 70 km/h).

2.1.3.2 Inter-distance et temps inter-véhiculaire

Nous nous intéressons dans cette partie à la distance du 2RM au début et à la fin du changement de voie (instant T2 et T3).

En affichant les histogrammes de la position relative des 2RM à T2 et T3 (figure 7), nous notons de légères différences entre le comportement des véhicules venant de la droite et de la gauche.

Les inter-distances sont en effet semblables au début de la manœuvre (T2), mais à la fin de la manœuvre, la distance des véhicules venant de la droite s'est réduite.

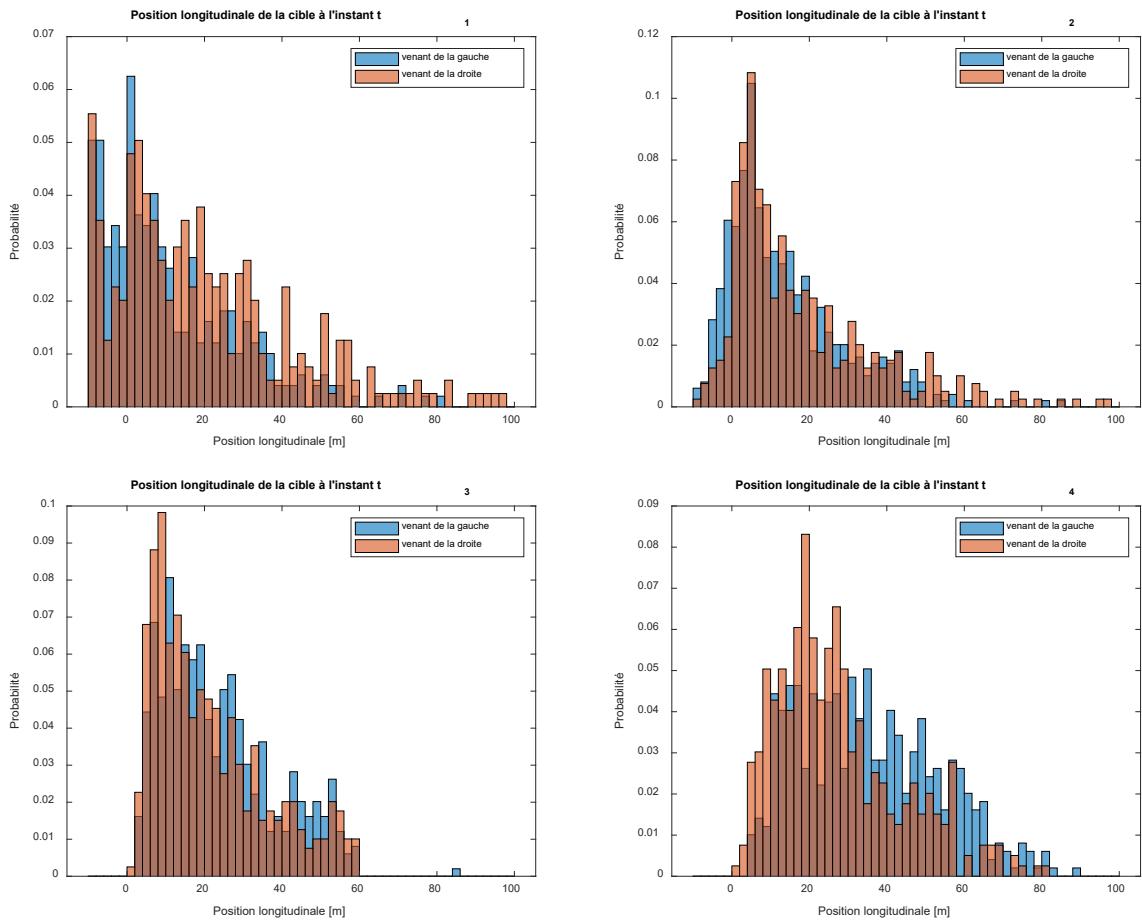


Figure 7 - Évolution de la position relative de la cible à cours de la manœuvre

Dans certains cas, la distance de la cible est négative à l'instant T2. Les 2RM concernés ont donc initié le changement de voie (début du franchissement de la ligne) avant d'avoir dépassé complètement le véhicule Ego.

Il est plus simple de se représenter la distance d'un véhicule en la traduisant sous la forme de temps inter-véhiculaire (TIV). Le TIV est défini par le temps nécessaire à l'égo véhicule pour atteindre la position actuelle de la cible située devant lui.

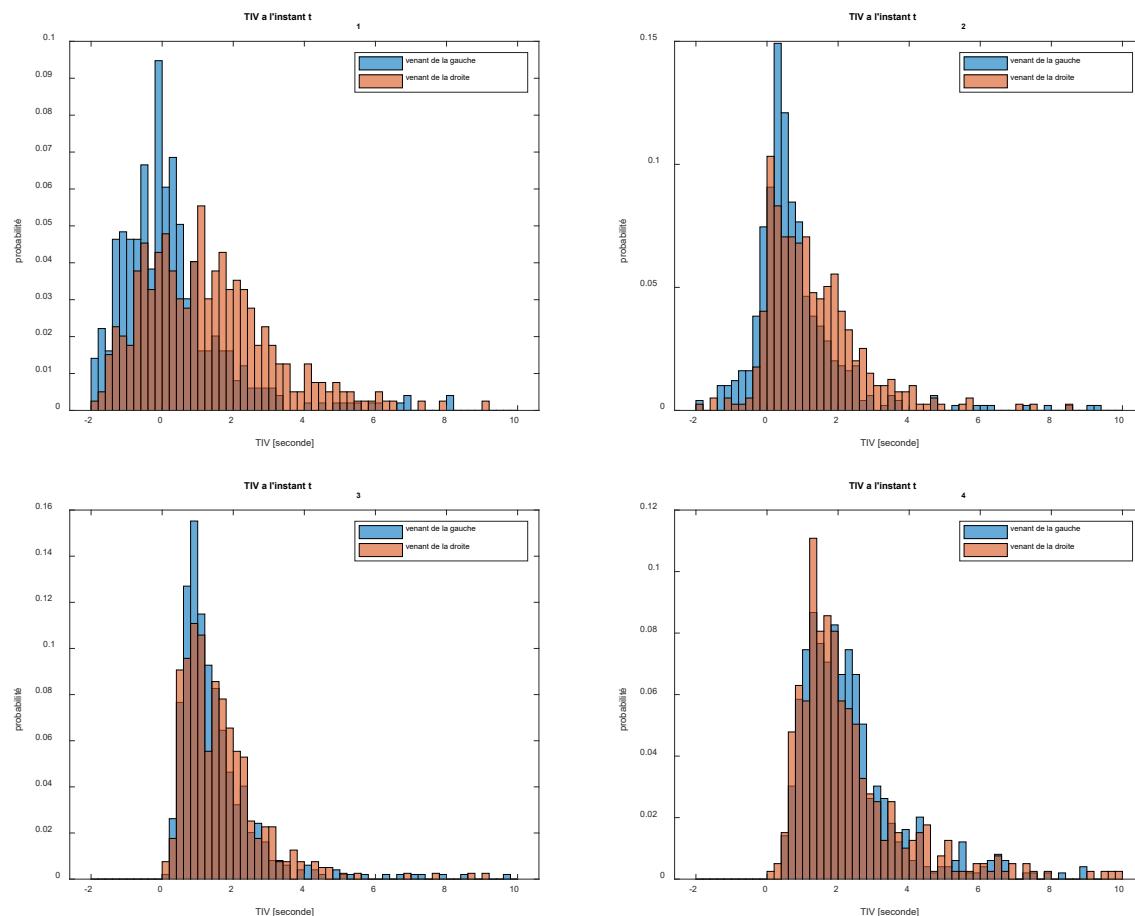


Figure 8 - Histogrammes du TIV de la cible aux instant T1, T2, T3 et T4

L’histogrammes du TIV du 2RM (figure 8) à l’instant T2 montre qu’au moment d’initier une manœuvre de rabattement, le TIV est inférieur à 1 seconde dans la majorité des cas.

Les TIV aux instant T3 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 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.

Nous notons qu’entre T3 et T4, les TIV des véhicules ont peu évolué. La modification de vitesse liée à la manœuvre d’insertion ou de rabattement a donc principalement lieu pendant la phase de changement de voie (entre T2 et T3).

2.1.3.3 Décélération du véhicule Ego

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 9 montre cette décélération selon le temps inter véhiculaire du 2RM.

Quelle 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.

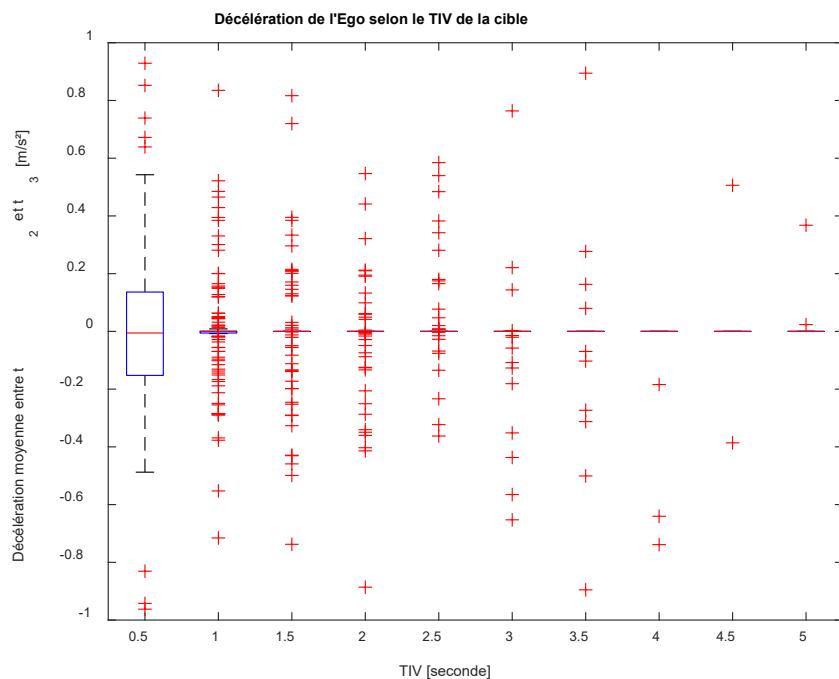


Figure 9 - Décélération moyenne du véhicule Ego entre T2 et T3 (selon le TIV du 2RM)

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.

2.1.4 Conclusion et recommandations

Dans cette partie, nous avons exploité les données de quasiment 1000 manœuvres de changement de voie par des 2RM réalisées juste devant les véhicules équipés MOOVE. Cela correspond à des manœuvres de rabattement quand le 2RM vient de voie de gauche, et d'insertion quand le 2RM vient de la voie de droite.

Pour ces données, nous avons étudié la vitesse relative du dépassement selon la vitesse de circulation du véhicule MOOVE, ainsi que la distance longitudinale et le temps inter véhiculaire entre le 2RM et le véhicule MOOVE pendant la manœuvre.

Nous avons ainsi mis en évidence que les temps inter véhiculaire 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.

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 eux avec une vitesse relative positive. Nous n'avons pas assez de données pour étudier le comportement des conducteurs lorsque la vitesse du 2RM est inférieure à celle du véhicule MOOVE.

Recommandations

Lorsqu'un 2RM se rabat ou s'insère devant 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.

2.2 Remontée de file dans les données MOOVE

2.2.1 Description des données utilisées

Les données utilisées proviennent de la base MOOVE (voir 2.1.1.1)

Au total, 37451 scènes ont été extraites. Chaque scène correspond au dépassement du véhicule Ego par un 2RM. Les critères pour extraire ces scènes sont :

- Présence d'un 2RM qui dépasse le véhicule Ego
- Position latérale du 2RM par rapport à l'Ego inférieure à 2 mètres

Parmi ces scènes, certaines contenaient des données incohérentes (taille ou vitesse du 2RM trop importantes) et ont été écartées. Il reste **36 276** scènes retenues pour l'étude, dont (voir figure 10) :

- **22 447 scènes** dans lesquelles le 2RM dépasse le véhicule Ego **par la gauche**,
- **13 829 scènes** où le 2RM dépasse **par la droite**.

Ces scènes couvrent différentes conditions de circulation : circulation à l'arrêt dans 8% des scènes, circulation ralentie (supérieure à 0 km/h et inférieure à 20 km/h) pour environ la moitié des scènes extraites, et comprise entre 20 et 70 km/h pour environ 40% des scènes. Nous trouvons peu de scènes avec une vitesse de circulation supérieure à 70 km/h.

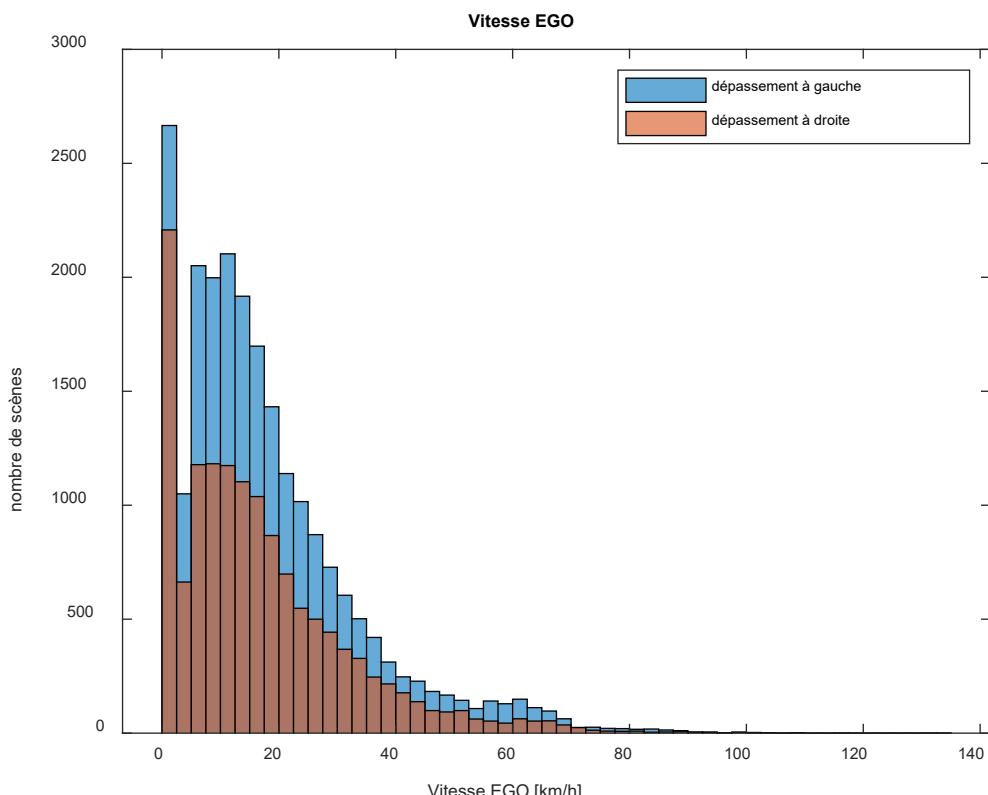


Figure 10 - Histogramme du nombre de scènes extraites pour chaque plage de vitesse du véhicule Ego

Pour chacune des scènes, les données suivantes sont disponibles :

• **Données disponibles pour le véhicule Ego :**

- Position GPS, position dans la voie (distance par rapport au marquage) et numéro de la voie actuellement empruntée
- Vitesse (longitudinale et latérale), accélération (longitudinale et latérale), vitesse de lacet.
- Actions réalisées par le conducteur (angle et vitesse de rotation du volant, appui sur les pédales, utilisations des clignotants)

• **Données disponibles pour les obstacles mobiles (maximum 12 obstacles par scène) :**

- Position relative à l'Ego, orientation, taille
- Vitesse absolue et relative (longitudinale et latérale), accélération (longitudinale)
- Temps jusqu'à collision (Time To Collision, TTC) et temps inter-véhiculaire (TIV) par rapport à l'Ego
- Utilisation des clignotants et des feux de frein (obtenus via la caméra Mobileye)

• **Données disponibles sur l'infrastructure :**

- Nombre de voies et largeur
- Type de marquage, couleur
- Limitations de vitesse, présence de panneaux
- Présence de voie d'insertion / travaux / intersection
- Courbure / pente de la route

• **Données disponibles sur l'environnement :**

- Température, présence de brouillard et de pluie
- Conditions lumineuses (jour/nuit)

Les données ont été extraites pour 6 instants T1 à T6 définis ainsi (voir Figure 12) :

- T2 : première détection du 2RM par les capteurs extéroceptifs.
- T3 : première détection du 2RM dans une zone de 20 m autours du véhicule Ego. Il y a donc deux cas de figure : soit le 2RM est détecté avant qu'il ne rentre dans cette zone (à une distance supérieure à 20 m vers l'arrière), dans ce cas T3 correspond à l'instant où le 2RM rentre dans la zone ($T3 > T2$), soit le 2RM est détecté alors qu'il est déjà dans la zone (à une distance inférieure à 20 m), dans ce cas, T3 est l'instant de la première détection du 2RM ($T3 = T2$).
- T4 : passage du 2RM au niveau de l'avant du véhicule Ego.
- T5 : dernière détection du 2RM dans une zone de 20 m autours du véhicule Ego (20 m devant le véhicule Ego).
- Les instants T1 et T6 correspondent respectivement à 3 secondes avant T3, et 3 secondes après T5.

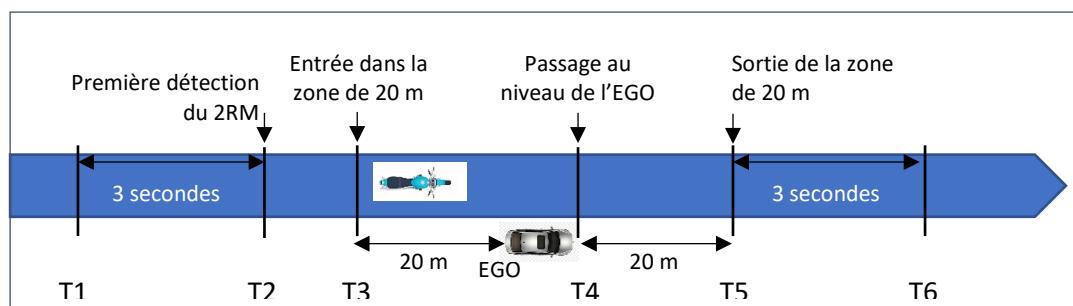


Figure 11 - Définition des instants T1 à T6 pour lesquels les données ont été extraites

La figure 12 représente les données disponibles à ces 4 instants.

Les véhicules sont représentés par des rectangles. Les dimensions et l’orientation des rectangles correspondent aux valeurs indiquées dans la base de données pour chaque obstacle mobile.

Les numéros indiqués dans les véhicules correspondent à leur identifiant unique dans la base de donnée. L’orientation des véhicules est indiquée par une flèche dans le rectangle.

Le véhicule Ego est affiché en noir au centre (l’avant du véhicule Ego définit le centre du repère).

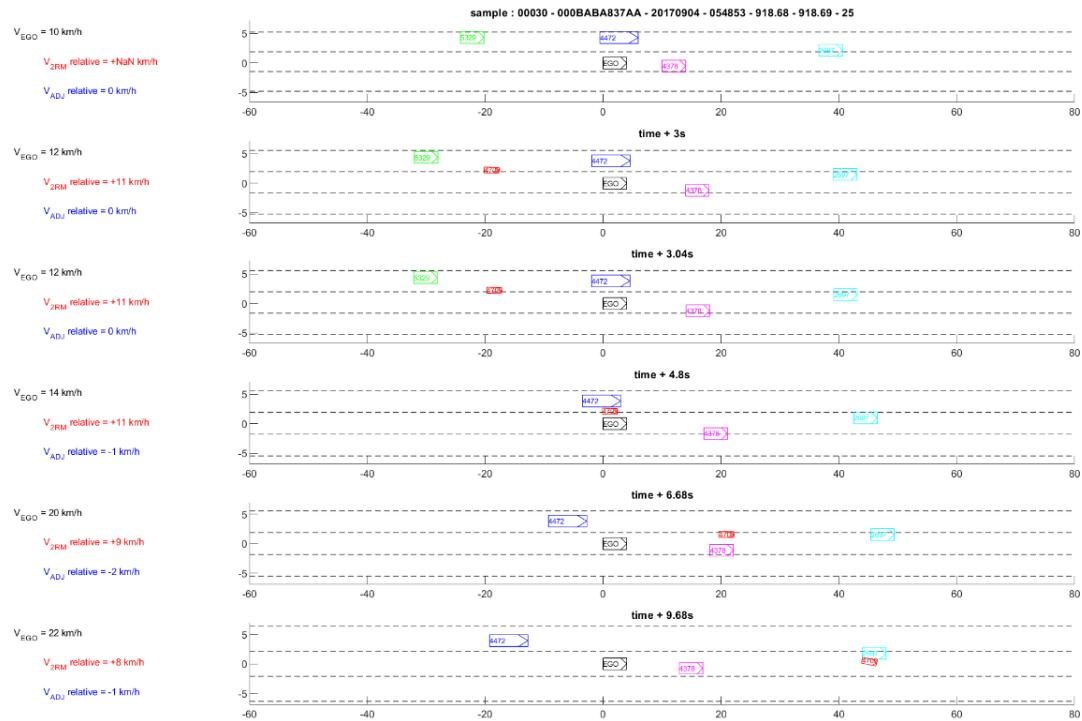
Le 2RM qui remonte la file est affiché en rouge. S'il y a plusieurs 2RM dans la scène, uniquement celui qui a déclenché l'extraction est affiché en rouge, les autres 2RM sont affichés en magenta.

En bleu est représenté le véhicule léger (VL) le plus proche de l'Ego et situé sur la voie adjacente (à droite ou à gauche selon le côté de la remontée de file). Le 2RM passe donc entre le véhicule Ego et le véhicule bleu.

Les autres VL sont en cyan. Les obstacles fixes ou qui ne sont pas classifiés (VL ou 2RM) sont affichés en vert.

La vitesse de l'Ego et les vitesses relatives du 2RM et du VL bleu à chaque instant sont affichées à gauche de la figure.

Dépassement par la gauche



Dépassement par la droite

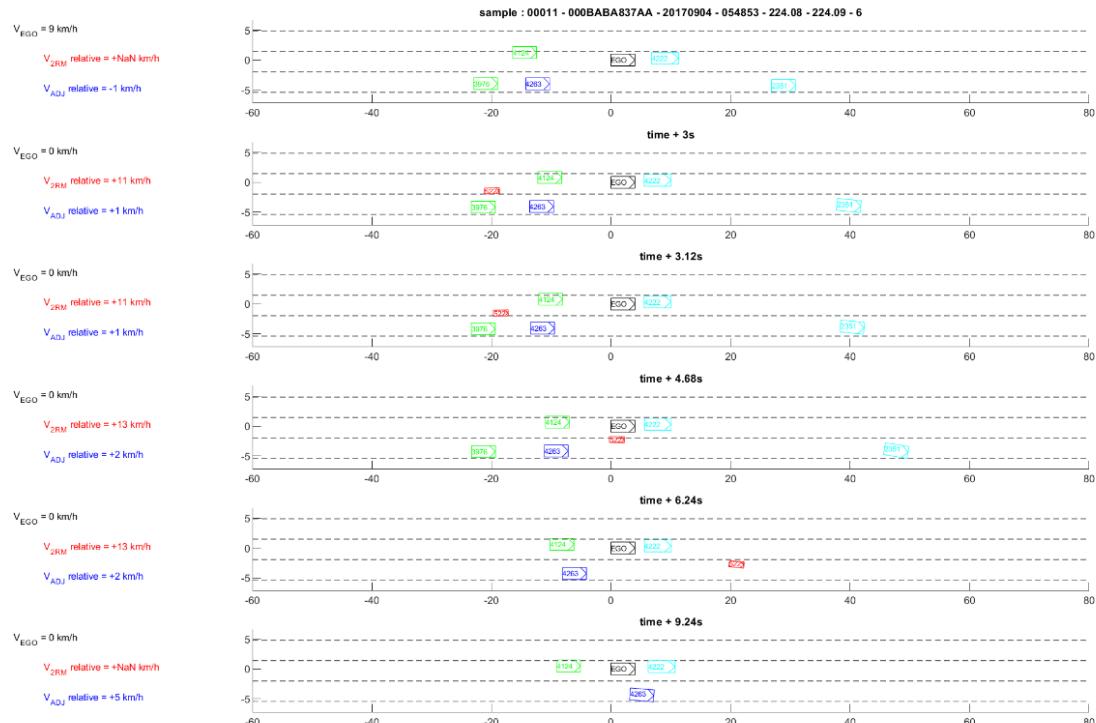


Figure 12 - Affichage des données disponibles pour une scène aux instant T1 à T6 dans le cas d'un dépassement par la gauche (a) et par la droite (b)

2.2.2 Traitement et enrichissement des données

La première phase d'enrichissement des données a consisté à écarter des scènes présentant des données incohérentes :

- absence de 2RM effectuant une remontée de file,
- taille du 2RM cible incohérente (longueur supérieure à 2 m),
- vitesse du 2RM incohérente (vitesse relative > 200 km/h).

Nous avons ainsi écarté 1175 scènes, soit 3,1% des échantillons extraits.

Nous avons ensuite classé les scènes selon le côté du dépassement (à droite ou à gauche) et fonction de la position latérale du 2RM par rapport au véhicule Ego. Nous obtenons 62,9 % des scènes pour lesquelles le dépassement se produit par la gauche du véhicule Ego (et 37,1 % par la droite).

Pour l’analyses des scènes, il nous a fallu compléter les données extraites par le calcul du temps inter véhiculaire (TIV) et du temps avant collision (time to collision, TTC) du 2RM par rapport au véhicule Ego. Ces grandeurs sont calculées à partir de la position relative DX du 2RM et des vitesses de l’Ego (VEgo) et du 2RM (V2RM) selon les formules suivantes :

$$TIV = -\frac{DX}{V_{2RM}}$$

$$TTC = -\frac{DX}{V_{2RM} - V_{Ego}}$$

Le TIV et le TTC sont positifs quand le 2RM est situé à l’arrière du véhicule Ego.

2.2.3 Caractérisation des manœuvres de remontée de file

a) Vitesse relative du 2RM lors du dépassement

Nous observons dans les données que les vitesses relatives du 2RM au moment du dépassement (voir figure 13) se concentrent entre 5 km/h et 15 km/h. Il y a très peu de dépassements avec une vitesse relative supérieure à 20 km/h (17 scènes, soit 0,05% des échantillons).

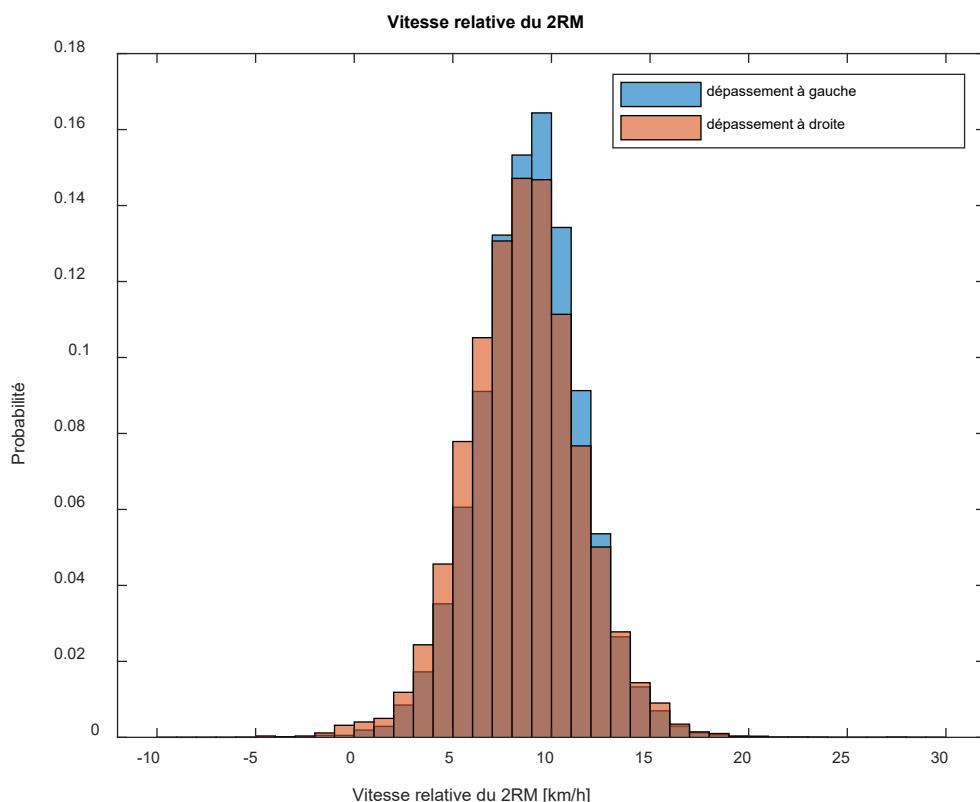


Figure 13 - Histogramme des vitesses relatives du 2RM au moment du dépassement (instant T4)

Afin de comprendre l'influence de la vitesse de circulation du trafic sur la vitesse relative du 2RM, nous avons réparti les scènes en 6 classes en fonction de la vitesse du véhicule Ego pendant le dépassement (<5 km/h, entre 5 et 10 km/h, entre 15 et 25 km/h, entre 25 et 35 km/h, entre 35 et 45 km/h, et >45 km/h).

Le diagramme en boîte de la vitesse relative pour ces 6 classes (figure 14) montre que l'influence de la vitesse du trafic est faible. Nous notons tout de même que la vitesse relative du dépassement est sensiblement plus élevée quand la vitesse du trafic est faible.

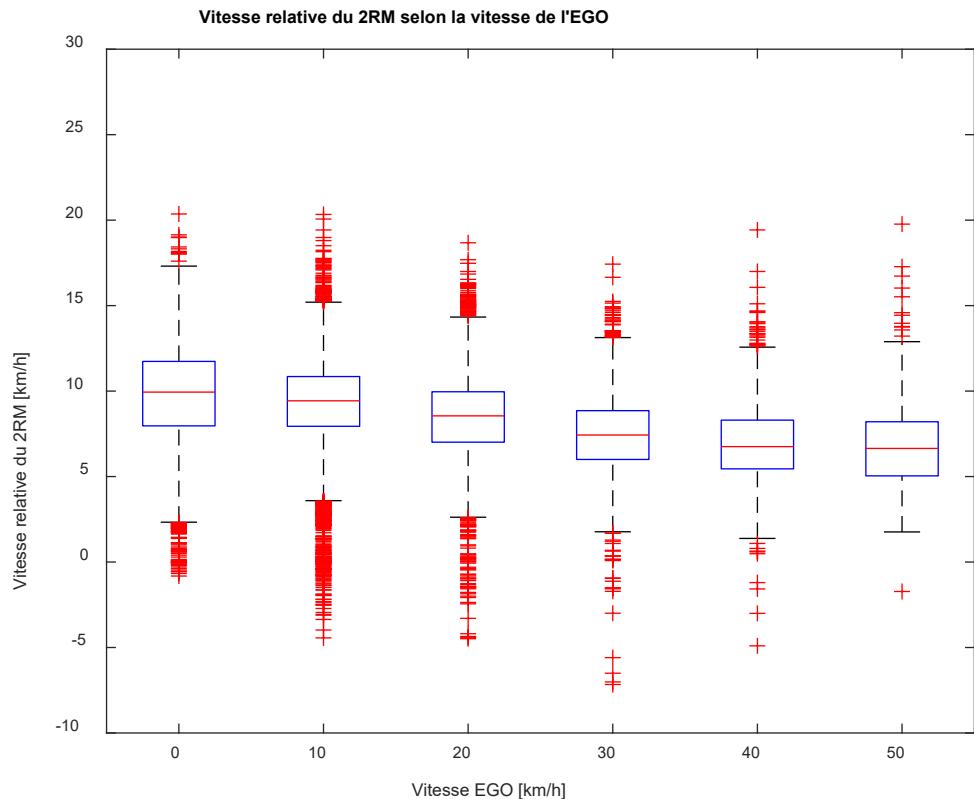


Figure 14 - Diagramme en boîte de la vitesse relative du dépassement pour différentes classe de vitesse de circulation

b) Distance latérale du 2RM lors du dépassement

Nous regardons à présent la distance latérale entre le 2RM et le véhicule Ego au moment du dépassement (instant T4).

La position latérale, dont l'histogramme est montré en figure 7, est la distance latérale (perpendiculairement à l'axe du véhicule égo) mesurée par le capteur entre l'axe du 2RM et l'axe du véhicule Ego. Pour calculer l'inter distance entre les véhicules, il faut soustraire la moitié de la largeur des deux véhicules (voir figure 15)

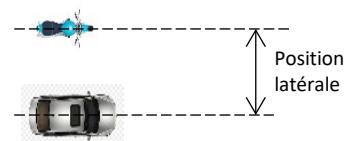


Figure 15- Définition de la position latérale du 2RM

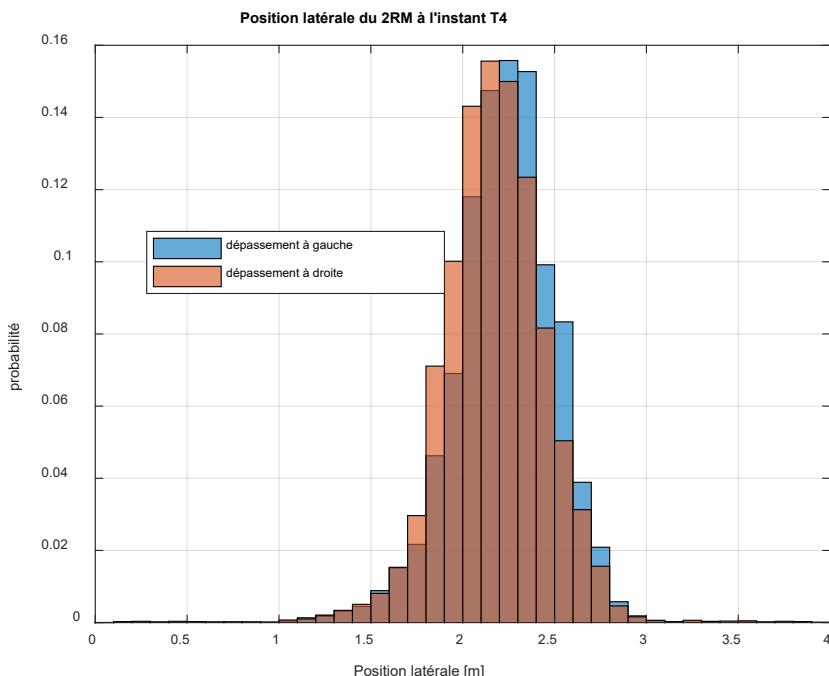


Figure 16 - Position latérale du 2RM lors du dépassement

Les profils des histogrammes sont similaires pour les dépassements par la droite et par la gauche. Les distances sont sensiblement inférieures lors d'un dépassement par la droite, puisqu'elles se situent entre 2m et 2,5m.

En comparaison, lors d'un dépassement classique, la position latérale du véhicule est proche de la largeur d'une voie, soit 3,5 m.

2.2.4 Temps de première détection lors d'une manœuvre de remontée de file

L'instant T2 correspond à la première détection du 2RM par le véhicule Ego.

La figure 17 montre que dans environ deux tiers des cas, le 2RM qui effectue une remontée de file est détecté alors qu'il se situe à une distance comprise entre 10 m et 30 m à l'arrière du véhicule Ego (détectons précoces). Nous n'avons aucun cas où le 2RM est détecté au-delà de 30 m. 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 1 m et 10 m 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 (détectons tardives), le 2RM n'est détecté que lorsqu'il dépasse l'Ego (distance proche de 0 m). 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 où cela se produit. Il n'y a généralement pas de 2RM à l'instant T1, ce qui semble signifier que pour ces scènes, le 2RM n'avait effectivement pas été détecté auparavant.

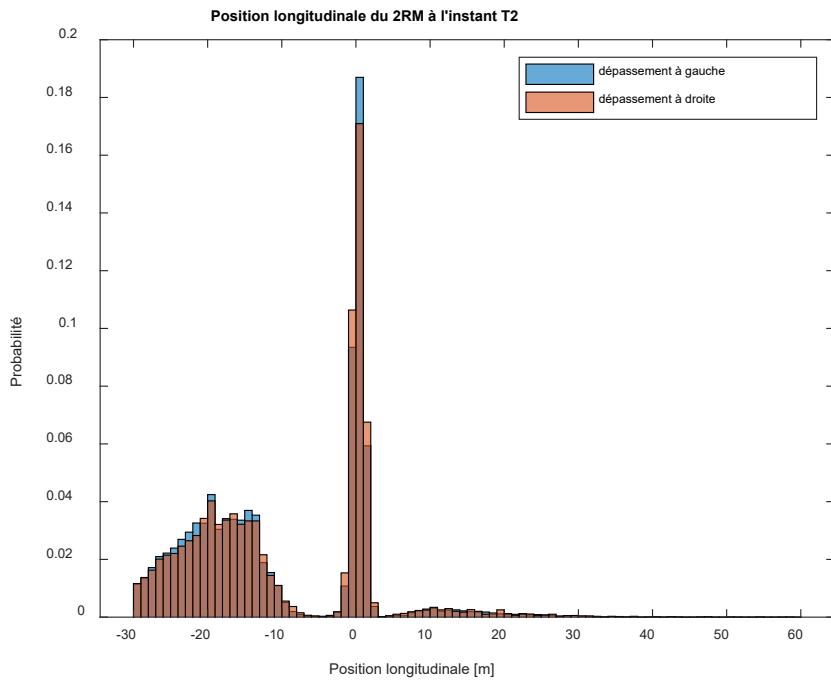


Figure 17 - Position longitudinale du 2RM lors de la première détection par l'Ego

En regardant à présent à l'instant T4, où le 2RM passe au niveau du véhicule Ego (voir figure 18), nous notons que l'ancienneté des 2RM détectés (c'est-à-dire la durée écoulée depuis la première détection de cet objet) est quasi-nulle dans plus d'un tiers des scènes. Cela vient confirmer les observations faites à la figure 17.

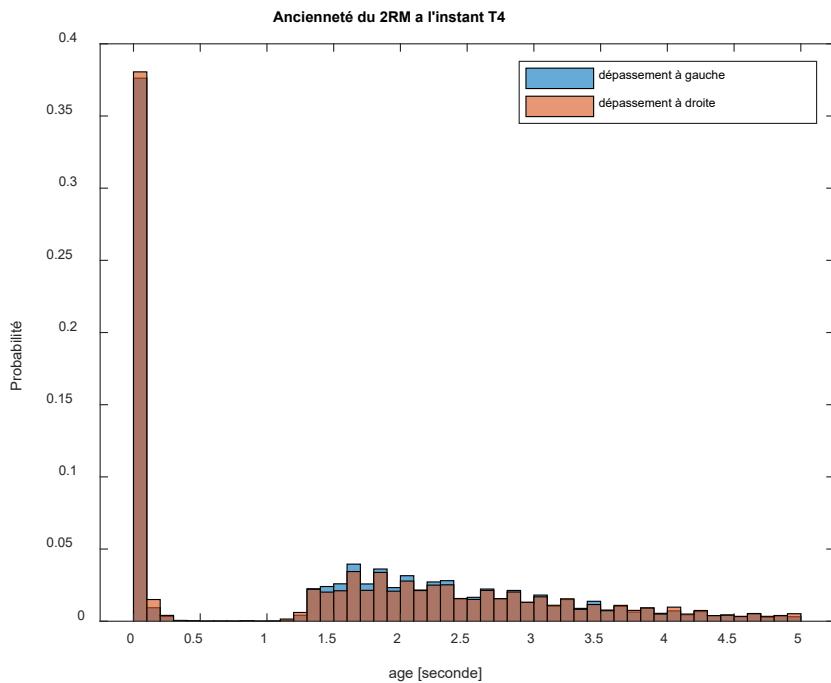


Figure 18 - Ancienneté de la détection du 2RM lors du passage au niveau de l'Ego

Pour comprendre la raison de ces détections tardives, nous cherchons si le 2RM pouvait être masqué lors de son approche.

Pour cela, nous vérifions la présence d'un autre véhicule à l'arrière du véhicule Ego susceptible de masquer le 2RM, en regardant la distance longitudinale du véhicule qui roule sur la même voie que le véhicule Ego et positionné derrière lui (figure 19).

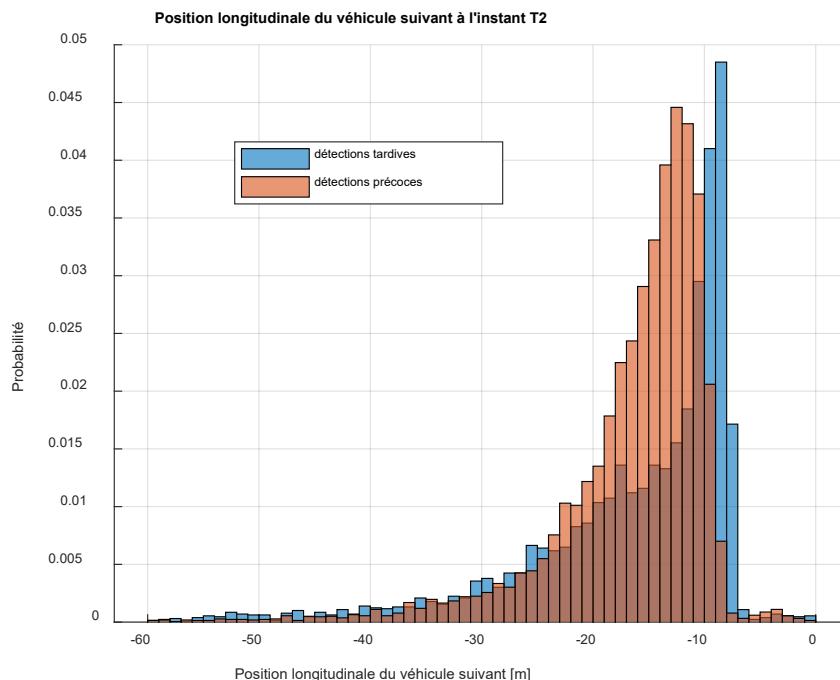


Figure 19 - Position longitudinale du véhicule suivant l'Ego dans le cas d'une détection précoce ou tardive du 2RM

Nous notons qu'il y a effectivement un véhicule proche de l'Ego (distance <12m) dans 15% des détections tardives, alors que ce n'est le cas que pour 3 % des détections précoces.

La présence d'un véhicule arrière permet d'expliquer certaines détections tardives. Mais cela ne semble pas être le seul facteur permettant de comprendre ces détections tardives.

2.2.5 Adaptation de la conduite des véhicules environnants

Nous nous intéressons à présent à la manière dont le conducteur du véhicule Ego adapte sa conduite dans le cas d'une remontée de file.

La position du véhicule Ego est représentée par la distance du centre du véhicule par rapport au marquage de droite.

Au moment de passage du 2RM (instant T4), nous notons (figure 20) que les véhicules Ego ont tendance à se décaler latéralement dans la voie pour faciliter la remontée de file du 2RM.

En considérant que la largeur standard d'une voie de circulation est de 3,5 m, nous pouvons calculer la valeur moyenne de l'écart latéral par rapport au centre de la voie. Elle est d'environ 34 cm vers la droite dans le cas d'un dépassement par la gauche, et de 19cm vers la gauche dans le cas d'un dépassement par la droite.

À l'instant T0, ce phénomène était déjà observable, même si les valeurs d'écart latéral moyennes étaient légèrement inférieures (respectivement 32 cm et 17 cm). De même à l'instant T6, nous observons toujours le décalage dans la voie, avec des postions moyennes qui restent quasiment identiques à l'instant T4 (34 cm et 18 cm).

Les conducteurs des véhicules Ego semblent anticiper assez largement une possible remontée de file, et conserver leur position dans la voie après qu'un 2RM effectue une remontée de file.

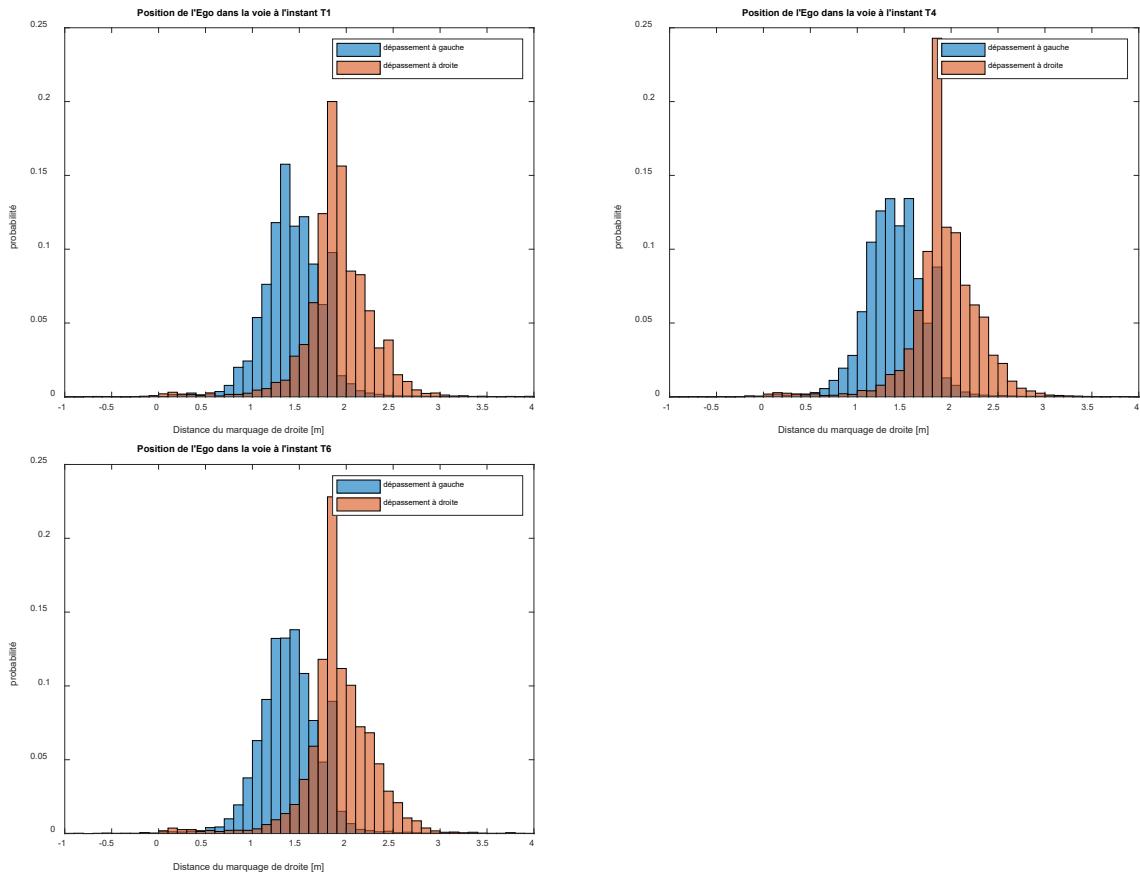


Figure 20 - Position du véhicule Ego dans la voie

2.2.6 Conclusion et recommandations

Dans cette partie, nous avons étudié les données de plus de 36 000 scènes de remontées de file par des 2RM.

Nous avons étudié la vitesse relative du dépassement selon la vitesse de circulation des véhicules sur les voies, ainsi que la position latérale des 2RM pendant la remontée de file.

Nous avons également montré que dans environ un tiers des scènes étudiées, les 2RM qui effectuent les remontées de file ne sont détectées par le véhicule MOOVE que lorsqu'ils dépassent le véhicule Ego. Ces detections tardives peuvent en partie être expliquées par la présence d'un obstacle à l'arrière qui masque le 2RM.

Enfin, nous avons mis en évidence que les véhicules légers se décalent dans leur voie pour faciliter les remontées de file des 2RM.

Recommandations

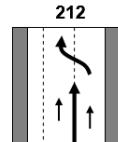
Lorsqu'un véhicule automatisé roule sur une route sur laquelle des 2RM sont susceptibles de réaliser des remontées de file, le VA doit se positionner dans sa voie de manière à faciliter la remontée de file.

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

2.3 Remontée de file dans les données DYMOA

2.3.1 Un 2RM en remontée de file est confronté à un véhicule qui change de voie vers la gauche

Ce scénario correspond à un 2RM qui lors d'une remontée de file, doit gérer un changement de direction d'un autre véhicule vers la gauche (scénario 212).



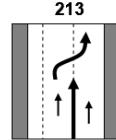
Une seule situation de ce type a été retrouvée dans les données DYMOA. Elle montre un 2RM qui pratique l'inter file sur une artère à 3 voies dans son sens de circulation (en fait il circule sur la voie du milieu) à environ 35 km/h. Un VL (Ego) circule voie de droite (différentiel vitesse < 20 km/h), met son clignotant vers la gauche et s'insère sur la voie centrale devant le 2RM.



Figure 21 – Prise de vue du 2RM lors d'une confrontation à un véhicule qui change de voie vers la gauche

2.3.2 Un 2RM en remontée de file est confronté à un véhicule qui change de voie vers la droite

Ce scénario correspond à un 2RM qui lors d'une remontée de file, doit gérer un changement de direction d'un autre véhicule vers la droite (scénario 213).



Deux situations de ce type ont été retrouvées dans les données DYMOA. Dans la première, très identique à la situation décrite dans le paragraphe précédent pour le scénario 212, le 2RM pratique l'inter file sur une artère à 2 voies dans son sens de circulation à environ 30 km/h. Un VL (Ego) circule voie de gauche (différentiel vitesse < 20 km/h), met son clignotant vers la droite et change de voie pour aller sur celle de droite devant le 2RM en inter file (2 VL sont intercalés entre l'Ego et le 2RM).

Dans la deuxième situation retrouvée dans les données DYMOA, le 2RM pratique l'inter file sur une autoroute à 2 voies dans son sens de circulation à environ 110 km/h. Un VL (Ego) circule voie de gauche (différentiel vitesse environ 20 km/h), met son clignotant vers la droite dans l'objectif de changer de voie pour aller sur celle de droite devant le 2RM en inter file. A noter que cette situation, bien qu'apparentée à une situation de remontée de file, n'est pas autorisée puisqu'une remontée de file doit s'effectuer à une vitesse maximale de 50km/h.

2.3.3 Conclusion et recommandations

Dans les scénarios de remontée de file la largeur d'un 2RM étant plus faible qu'un véhicule léger, elle lui permet de se positionner à différents endroits sur la chaussée pour effectuer cette remontée à droite, à gauche ou entre deux véhicules s'il y a au moins deux voies. Ces positions ne sont pas possibles pour les VL et ne sont pas les stratégies classiques de perception visuelles des conducteurs. Il faut donc une surveillance accrue des zones latérales pour détecter la présence et la trajectoire d'un 2RM en remontée de file. Outre la présence d'un 2RM, une autre information primordiale est de connaître le différentiel de vitesse entre le 2RM et la voiture.

Recommandations

Pour améliorer la prise en compte d'un 2RM lors d'une remontée de file, nous recommandons de prévoir des capteurs permettant de détecter la position du 2RM et de mesurer le différentiel de vitesse avec le 2RM venant de son arrière gauche ou droite et d'utiliser ces informations en particulier avant un changement de voie.

3 SITUATIONS DE DEPASSEMENT

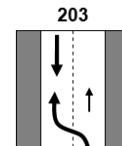
Trois différentes sources de données ont été exploitées pour réaliser les observations en situation naturelle :

- Les vidéos provenant de la MACC (Moto Assistée de Capteurs de Conduite), une moto équipée d'une caméra embarquée ; Un opérateur du Cerema ayant effectué un trajet d'une heure dans l'agglomération Rouennaise en heure pleine.
- D'anciennes données produites par la MACC regroupant une soixantaine d'heures de données vidéos de diverses études réalisées entre 2010 et 2020.
- La base de données DYMOA qui regroupe de courtes séquences vidéo produites à l'aide de caméras embarquées sur moto. Ces séquences vidéo sont enregistrées lorsque le 2RM est confronté à des situations de conduite jugées dangereuses mais ne dégénérant pas nécessairement en accident ou lorsque le véhicule pénètre dans des zones d'intérêt prédéfinies.

L'exploitation de ces vidéos a permis de faire ressortir plusieurs scénarios d'interaction conflictuelle entre un 2RM et un VL.

3.1 Scénario 203 : Un 2RM dépasse un véhicule et est confronté à un autre véhicule arrivant en sens inverse

Ce scénario se retrouve dans les cas où un 2RM dépasse un véhicule et au cours du dépassement est confronté à un autre véhicule arrivant en sens inverse.



Ce scénario a été identifié 23 fois dans la base de données DYMOA. Nous détaillons ci-dessous la situation que nous avons trouvé la plus critique notamment en termes de vitesse. Dans cette situation, le 2RM dépasse un VL puis un véhicule utilitaire léger. Il circule à environ 100 km/h. Un VL (Ego) arrive en face, il se serre sur la partie droite de sa voie pour croiser le 2RM (toujours en dépassement) qui empiète sur sa voie tout en lui faisant des appels de phare, ce qui peut être interprété comme une situation d'urgence. Par contre, ces appels de phare montrent une forme de communication entre les VL et le 2RM qui peut être interprétée comme une demande de la part du VL d'un changement de voie du 2RM.

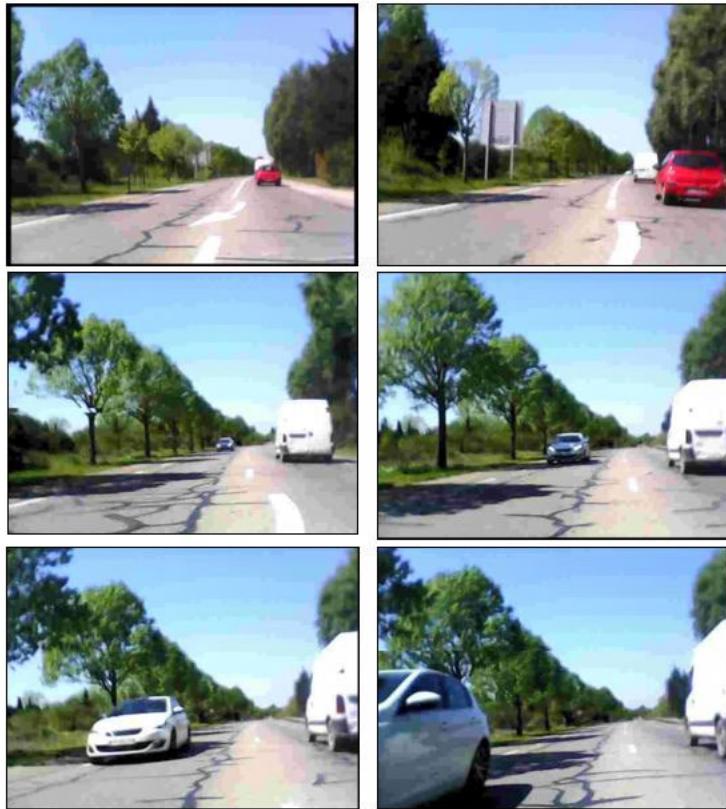


Figure 21 : – Prise de vue du 2RM dans le cas d'une confrontation à un autre véhicule arrivant en sens inverse

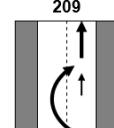
Les 22 autres situations de la base DYMOA sont les suivantes :

1. Le 2RM dépasse à 50 km/h avec un différentiel de vitesse d'environ 20 km/h, le VL en face (Ego) ne fait aucune manœuvre
2. Le 2RM dépasse à 90 km/h, le VL en face (Ego) ne fait aucune manœuvre
3. Le 2RM dépasse à 70 km/h, le VL en face (Ego) ne fait aucune manœuvre
4. Le 2RM dépasse à 50 km/h avec un différentiel de vitesse < à 20 km/h, le VL en face (Ego) ne fait aucune manœuvre
5. Le 2RM dépasse à 40 km/h avec un différentiel de vitesse < à 20 km/h, le VL en face (Ego) ne fait aucune manœuvre
6. Le 2RM dépasse à 130 km/h, le VL en face (Ego) ne fait aucune manœuvre
7. Le 2RM dépasse à 90 km/h, le VL en face (Ego) ne fait aucune manœuvre
8. Le 2RM dépasse à 40 km/h avec un différentiel de vitesse d'environ 20 km/h un vl décalé sur la gauche, le VL en face (Ego) ne fait aucune manœuvre
9. Le 2RM dépasse à 60 km/h avec un différentiel de vitesse d'environ 20 km/h une file de vl, le VL en face (Ego) ne fait aucune manœuvre
10. Le 2RM dépasse à 60 km/h avec un différentiel de vitesse d'environ 20 km/h un vl, le VL en face (Ego) ne fait aucune manœuvre
11. Le 2RM dépasse à 80 km/h une file de vl à l'arrêt, le VL en face (Ego) ne fait aucune manœuvre
12. Le 2RM dépasse à 70 km/h une file de vl à l'arrêt, le VL en face (Ego) ne fait aucune manœuvre
13. Le 2RM dépasse à 30 km/h une file de vl à l'arrêt, le VL en face (Ego) ne fait aucune manœuvre
14. Le 2RM dépasse à environ 120 km/h un autocar et se rabat devant celui-ci. Un VL (Ego) venant en face, par précaution, se serre sur la partie droite de sa voie

15. En milieu urbain, à l'approche d'une intersection, le 2RM effectue un dépassement (environ 30km/h). L'Ego est confronté à un 2RM circulant en sens inverse sur sa voie (celle de l'Ego, qui est en démarrage au feu). Le 2RM maîtrise son dépassement et se replace dans sa voie.
16. En milieu urbain, à l'approche d'un ralentisseur, le 2RM effectue un dépassement (environ 30km/h). L'Ego est confronté à un 2RM circulant en sens inverse sur sa voie (celle de l'Ego). Le 2RM maîtrise son dépassement et se replace dans sa voie.
17. En milieu urbain sur une deux fois deux voies, le 2RM effectue des dépassements successifs (environ 30km/h). L'Ego est confronté à un 2RM circulant en sens inverse sur l'axe médian de la chaussée empiétant légèrement sur sa voie (celle de gauche pour l'Ego). Le 2RM dépasse "en force".
18. Le 2RM effectue plusieurs dépassements successifs. Il circule à environ 80km/h, dépasse un VL et se rabat devant celui-ci et derrière d'autres VL circulants à vitesse plus faible. Un VL (Ego) arrivait en face.
19. Le 2RM effectue plusieurs dépassements successifs. Il circule à environ 95km/h, dépasse des VL. Des VL (Ego) 4 arrivaient successivement en face.
20. Le 2RM effectue plusieurs dépassements successifs. Il circule à environ 70km/h, dépasse des VL. Un VL (Ego) arrive en face.
21. Le 2RM effectue plusieurs dépassements successifs. Il circule à environ 100 km/h, dépasse des VL. Un VL (Ego) arrive en face le 2RM se rabat au dernier moment.
22. En milieu urbain, sur une deux fois deux voies, le 2RM effectue un dépassement (environ 10km/h). L'Ego circule sur la voie de droite et la voie de gauche est libre, Ego est confronté à un 2RM circulant en sens inverse sur la voie de gauche (pour l'Ego). Le 2RM termine son dépassement et se replace dans sa voie (de gauche).

3.2 Scénario 209 : Un 2RM en dépassement se rabat et est confronté au véhicule qui le précède

Dix vidéos provenant de la base de données DYMOA correspondent à une interaction entre un 2RM se rabattant dans une file de véhicule après avoir réalisé un ou plusieurs dépassements.



Dans ces vidéos, les changements de vitesse des véhicules dépassés par le 2RM ne sont pas clairement perceptibles. Certains changements de vitesse identifiés (allumage des feux de stop) ne peuvent être directement liés à la présence du 2RM en dépassement mais à un ralentissement des véhicules qui les précédent comme, par exemple, à l'approche d'un rond-point.

Leur analyse conduit à l'identification de deux sous-scénarios.

3.2.1 Scénario 209.1 : Un 2RM en dépassement se rabat et est confronté au véhicule qui le précède – les véhicules ne se déportent pas

Dans 4 vidéos, les dépassements du 2RM s'effectuent sur des routes bidirectionnelles et sur des 2x2 voies. Les autres véhicules en circulation ne se déportent pas vers la droite pour faciliter le dépassement du 2RM.

Dans 4 autres vidéos, les dépassements du 2RM s'effectuent en circulation dense ou en milieu urbain, les différents véhicules dépassés ne se déportent pas. La circulation dense ainsi que l'infrastructure limitent les possibilités de déport des véhicules.

Dans ces différentes vidéos le 2RM adapte son allure par des changements de vitesse brusque (freinage ou accélération franche) afin de terminer son dépassement. Le freinage brusque du 2RM intervient lorsque celui-ci doit se rabattre rapidement dans sa voie de circulation, notamment à l'approche d'un carrefour (giratoire, feux tricolores) ou lorsque le dépassement est impossible. L'utilisation d'accélérations franches intervient lorsque le 2RM effectue un dépassement sur un faible lapse de

temps. Le 2RM adapte sa trajectoire pour effectuer son dépassement Dans certains cas cela l'amène à franchir des lignes blanches ainsi que des terre-pleins centraux franchissables.



Figure 21 – Prise de vue du 2RM dans le cas du franchissement du terre-plein central

3.2.2 Scénario 209.2 : Un 2RM en dépassement se rabat et est confronté au véhicule qui le précède – les véhicules se déportent

Dans 2 vidéos, le 2RM effectue une remontée de files et les autres véhicules se déportent pour faciliter le dépassement. Le changement de trajectoire des automobilistes est identifiable par le 2RM comme un déport volontaire pour lui faciliter sa manœuvre de rabattement. Une fois que le 2RM a pris cette information, il maintient son allure et réalise son dépassement.

3.3 Conclusion et recommandations

Dans les scénarios de dépassement la largeur d'un 2RM étant plus faible qu'un véhicule léger, elle lui permet de se positionner à différents endroits sur la chaussée (plutôt à droite, plutôt à gauche, au centre, entre deux véhicules, ...). Ainsi le dépassement d'un 2RM peut se faire dans des conditions dans lesquelles un véhicule léger ne le ferait pas car il dispose de multiples positions sur la chaussée pour le faire. Il faut donc une surveillance accrue autour du véhicule à 360° pour détecter la présence et la trajectoire d'un 2RM.

Recommandations

Le Véhicule Autonome doit surveiller les éventuels changements de trajectoire des véhicules présents devant ou derrière lui. Ces changements de trajectoire peuvent traduire la présence d'un 2RM en instances de dépassement.

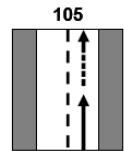
En circulation dense en milieu urbain, le Véhicule Autonome doit surveiller les remontées de files et les dépassements de 2RM arrivant de derrière.

Si l'infrastructure le permet, le Véhicule Autonome pourrait se décaler afin d'éviter que le 2RM effectue son dépassement en empiétant sur la voie opposée.

4 SITUATION DE RALENTISSEMENT DU VEHICULE QUI PRECEDE UN 2RM

Deux vidéos provenant de la base de données DYMOA correspondent à une interaction entre un 2RM confronté au ralentissement du véhicule qui le précède (scénario 105).

Dans un premier cas, il s'agit d'une voiture en insertion par la droite sur une 2x2 voies et qui maintient son feu clignotant à gauche. La voiture ne se déportant pas à gauche une fois l'insertion terminée malgré son clignotant, le 2RM décide alors de le dépasser et fait une remontée en inter-files.



Dans un deuxième cas, il s'agit d'une voiture circulant en ville et ralentissant brusquement. Le 2RM dépasse par la droite en empiétant sur le trottoir avant de revenir sur la chaussée.



Figure 22 – Prise de vue du 2RM dans le cas du franchissement par la droite en circulant sur le trottoir

Recommendations

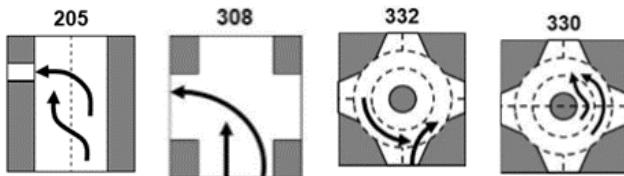
Le Véhicule Autonome doit maintenir une allure constante ainsi que sa trajectoire pour ne pas surprendre le 2RM.

En circulation dense en milieu urbain, le Véhicule Autonome doit surveiller les remontées de files et les dépassements de 2RM arrivant de derrière.

Si l’infrastructure le permet, le Véhicule Autonome pourrait se décaler afin d’éviter que le 2RM effectue son dépassement en empiétant sur le trottoir.

5 SITUATIONS EN INTERSECTION

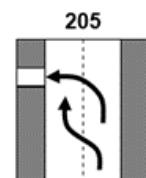
L'exploitation de la base de données EDA du Laboratoire Mécanismes d'Accidents de l'Université Gustave Eiffel s'est portée sur plusieurs scénarios en interaction identifiés dans le livrable 5.1.



Elle a permis de faire ressortir plusieurs scénarios d'interaction conflictuelle entre un 2RM et un VL, qui se sont soldés par un accident de la circulation. Une caractéristique d'ensemble des cas d'accidents identifiés est de se produire essentiellement dans des situations de cisaillement de trajectoire entre les deux véhicules que sont les 2RM et les VL que ce soit en intersection avec une voie publique ou privée, ou bien sur un giratoire. L'analyse individuelle de ces cas fait état des processus et des facteurs qui ont contribué, pour chacun des acteurs concernés, à la genèse du problème et à sa non résolution. Leur exploitation synthétique fait ressortir les difficultés majeures auxquelles pourrait être confronté un VA dans des conditions similaires vis-à-vis d'un 2RM. Cette analyse d'ensemble conduit à proposer, en miroir, un certain nombre de recommandations sur les paramètres que devraient pouvoir gérer les VA pour ne pas se retrouver en situation accidentelle.

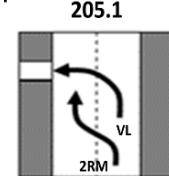
5.1 Scenario 205 : Un véhicule dépasse – Un véhicule tourne à gauche sur voie privée

9 cas EDA correspondent à un conflit entre un véhicule en cours manœuvre de tourne-à-gauche dans un chemin privé (hors intersection publique) et un autre en manœuvre de dépassement de ce premier véhicule. Dans 6 cas, il s'agit d'une voiture qui tourne à gauche et un 2RM qui la dépasse (Scenario 205.1). Dans 3 cas c'est la situation inverse qui s'observe (Scenario 205.2).



5.1.1 Scenario 205.1 : Un 2RM dépasse - Un VL tourne à gauche sur voie privée

Synthèse des cas : Dans les 6 cas où c'est la voiture qui bifurque, c'est le plus souvent parce que son conducteur n'avait pas vu la moto arriver derrière lui et amorcer son dépassement. Les facteurs qui contribuent massivement à cette absence de détection sont : un angle mort dans la visibilité des rétroviseurs, un masque à la visibilité généré par un autre véhicule ; mais aussi le caractère rapide et inopiné de la manœuvre de dépassement engagée par le 2RM, conjugué à une attention de l'automobiliste focalisée ailleurs (e.g. recherche d'une place de stationnement, problème directionnel) ou simplement diffuse du fait du caractère routinier de la manœuvre. On note un cas d'accident de ce scénario pour lequel l'automobiliste avait bien perçu le 2RM en amont mais en avait sous-estimé la vitesse (élevée) de rapprochement.



S'agissant des conducteurs de 2RM qui dépassent ces VLs alors qu'ils s'apprêtent à bifurquer, l'engagement de leur dépassement s'explique essentiellement par un problème de compréhension du comportement de l'automobiliste, incompréhension liée au fait qu'ils n'ont pas vu le clignotant du VL (gêne à la visibilité par un autre véhicule ou regard porté au loin) et se sont souvent contentés d'une analyse sommaire de la situation, se limitant à au constat d'une gêne à la progression qu'il leur faut contourner au plus vite. Pensant que le VL ralentit pour une raison quelconque (ralentisseur) ou simplement qu'il roule lentement, ils n'envisagent pas l'éventualité que cette voiture puisse engager une manœuvre intermédiaire et dépassent dans la foulée.

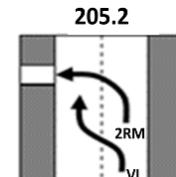
Recommandations

Le Véhicule Autonome ayant l’intention d’effectuer un « tourne à gauche » sur une voie privée doit surveiller et être en capacité de détecter de jour comme de nuit (traiter le cas des 2RM éventuellement non éclairés), ainsi que d’évaluer la distance et la vitesse de rapprochement de 2RM arrivant derrière pour un éventuel dépassement. Le VA doit prévenir par des signaux lumineux suffisamment en amont de la manœuvre de tourne à gauche. Il doit se serrer le plus possible le long de l’axe médian de la chaussée préalablement à la manœuvre pour clarifier son intention de bifurcation. Il doit également être à même de reporter sa manœuvre si un conflit potentiel s’installe avec le 2RM. En ce cas, la prise de décision doit se faire de manière anticipée pour ne pas surprendre d’éventuels véhicules qui suivraient le VA.

Hormis ces contraintes, le VA doit bien évidemment gérer parallèlement le croisement sécuritaire de la trajectoire de véhicules arrivant dans l’autre sens. Ainsi que celui d’éventuels véhicules provenant de la voie privée.

5.1.2 Scénario 205.2 : Un 2RM tourne à gauche sur voie privée - Un VL dépasse

Synthèse des cas : Les 3 cas d’accidents concernés par ce scénario mettent en scène des cyclomoteurs dont les jeunes conducteurs développent des comportements à risque et souvent inopinés. Que ce soit sur un mode de conduite ludique ou complètement inattentifs à la scène routière, ces conducteurs engagent de façon intempestive une bifurcation à gauche sans prendre les précautions qui s’imposent au préalable : recherche sommaire ou même absence de recherche d’information sur l’arrière, défaut de rétroviseur, etc., et n’envisagent donc même pas qu’une voiture puisse interférer sur leur trajectoire.



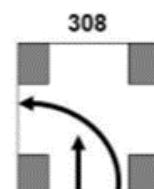
Les automobilistes qui y sont confrontés ne s’attendaient absolument pas à cette manœuvre en l’absence de perception d’un indicateur de changement de direction, ou ne comprenant pas les intentions du cyclomotoriste (bifurcation sur chemin non perceptible).

Recommandations

Le Véhicule Autonome ayant l’intention d’effectuer un dépassement d’un 2RM hors intersection doit être à même d’identifier la présence de chemins susceptibles d’être empruntés par le 2RM, d’identifier l’éventualité de sa bifurcation en envisageant même de potentielles situations critiques atypiques. Il pourrait être opportun que le VA soit à même d’informer le 2RM de son dépassement imminent (signal sonore ?). Il serait également utile qu’il soit prêt à entreprendre une manœuvre d’évitement d’un conflit possible.

5.2 Scénario 308 : Un VL tourne à gauche en intersection – Un 2RM dépasse

Synthèse des cas : Sur les 11 cas correspondant à un dépassement conflictuel d’un VL par un 2RM, la plupart se déroulent en agglomération urbaine. 8 d’entre eux décrivent des situations de remontée de file de voitures par le 2RM, généralement dans des conditions de trafic dense engendrant un encombrement (e.g. en approche de carrefour à feux, de giratoire, etc.). Le conducteur du 2RM fait alors souvent preuve d’impatience et engage sa manœuvre de remontée de file avec un excès de confiance né de l’habitude du trajet et de la manœuvre, et sur la base d’une analyse sommaire de la situation qui se cantonne à identifier une gêne à la progression que leur statut de motard leur permet de contourner. Le problème est que cette manœuvre est le plus souvent réalisée à vitesse trop élevée pour pouvoir bien contrôler les paramètres de la situation, les conducteurs des 2RM faisant preuve



d'un sentiment prioritaire et d'une confiance excessive dans le fait d'être vu par les automobilistes qu'ils dépassent et s'attendent par conséquent à ne rencontrer aucun obstacle à leur progression. C'est donc sur un mode peu attentif, en regardant au loin, que les motards se retrouvent soudain confrontés au déboîtement d'un VL sans avoir identifié au préalable aucun indice annonciateur de cette manœuvre. Il faut noter à leur décharge qu'ils sont souvent pénalisés par la gêne à la visibilité que constitue un véhicule intermédiaire qui masque l'indicateur de changement de direction des VLs qui tournent.

Il faut également noter qu'en parallèle les automobilistes incriminés réalisent fréquemment leur déboîtement vers la gauche dans des conditions critiques qui ne favorisent pas une bonne anticipation/compréhension de cette manœuvre par les motards. Il s'agit d'une part de conducteurs impatients, stressés par la situation, qui n'envisagent pas qu'ils puissent être doublés et qui engagent leur tourne-à-gauche de façon inopinée en enclenchant leur clignotant à la dernière minute, voire pas du tout, après une prise d'information sommaire et le plus souvent focalisée en face, qui ne leur permet pas de voir arriver le 2RM. Il s'agit d'autre part de conducteurs coutumiers du trajet peu attentifs ou distraits pas une discussion avec un passager qui ne regardent que machinalement et ne voient pas non plus le 2RM derrière eux.

Recommandations

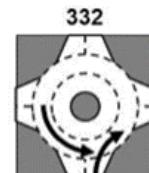
Le Véhicule Autonome ayant l'intention d'effectuer un tourne-à-gauche dans une intersection doit surveiller et être en capacité de détecter, de jour comme de nuit (traiter le cas des 2 roues non éclairés ?) l'approche éventuelle d'un 2RM potentiellement masqué par d'autres véhicules et par des éléments d'infrastructure (e.g. en virage), ainsi que d'évaluer la distance et la vitesse de rapprochement d'un 2RM arrivant derrière et pouvant engager un éventuel dépassement, même si cette manœuvre semble improbable. Le VA doit prévenir par des signaux lumineux suffisamment en amont de la manœuvre de tourner à gauche. Il doit se serrer le plus possible le long de l'axe médian de la chaussée préalablement à la manœuvre de façon à clarifier son intention de bifurcation. Il doit également être à même de reporter sa manœuvre si un conflit potentiel s'installe avec le 2 roues. En ce cas, la prise décision doit se faire de manière anticipée pour ne pas surprendre d'éventuels véhicules qui suivraient le VA.

Hormis ces contraintes, le VA doit bien évidemment gérer parallèlement de façon sécuritaire les interactions avec les véhicules arrivant des autres voies de l'intersection concernée.

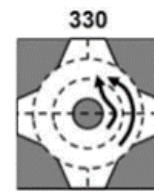
5.3 Scénario 330 : Sur giratoire, conflit entre un 2RM sortant de l'anneau et un VL qui y reste & Scénario 332 : Sur giratoire, conflit entre un 2RM circulant dans l'anneau et un VL qui y entre

Trois cas EDA correspondent au scénario 330, trois cas au scénario 332.

Synthèse des cas : Le cas figurant le scénario 332 met en scène une conductrice de VL fatiguée, sur un trajet routinier et un mode de conduite peu attentif, gêné par un soleil rasant, qui ne voit pas arriver sur sa gauche un scooter alors qu'elle s'apprête à entrer dans le giratoire. Le conducteur du scooter qui circule dans l'anneau à vitesse élevée fait montre d'un fort sentiment prioritaire qui le conduit à banaliser la situation malgré les indices alarmants (non ralentissement du VL) et reste persuadé que la voiture va réguler la situation comme il se doit.



Les accidents correspondant au scénario 330 montrent une grande similarité à la fois dans leur déroulement et dans les éléments qui y contribuent. S’agissant des conducteurs de 2RM qui y sont impliqués, les facteurs en jeu font ressortir une analyse sommaire de la situation qui se cantonne à voir le VL comme une gêne à la progression qu’ils s’empressent de doubler pour pouvoir sortir du giratoire sans avoir à ralentir. Faisant preuve d’impatience et de manque d’attention, adoptant une vitesse trop élevée pour la situation, ils sont tellement confiants dans leur analyse qu’ils n’imaginent pas que le VL puisse ne pas tourner comme eux. Du côté des conducteurs de VL, ce qui ressort essentiellement c’est la focalisation de leur attention vers une autre source d’information (recherche directionnelle pour deux d’entre eux, surveillance d’une voie d’entrée jugée critique pour l’autre) qui contribue à ce qu’ils ne perçoivent pas l’approche du 2RM sur leur gauche avant que celui-ci ne devienne un obstacle. En restant sur la voie externe de l’anneau sans prendre la sortie qui suit, les conducteurs génèrent une situation ambiguë pour autrui (ici, le 2RM), même si elle n’est pas contraire au code de la route. Il faut souligner ici que pour un fonctionnement en toute sécurité, le VA ne doit pas se contenter de respecter les règles prescrites par le code formel mais également intégrer les règles informelles d’usage que l’on retrouve dans la pratique des usagers (et qui visent souvent à compenser les lacunes ou incomplétiltudes des règles formelles).



Recommandations

On peut déduire de ces cas que lorsqu'il s'apprête à entrer dans un giratoire, le VA doit être capable de détecter un 2RM en approche, même en dépit d'éventuelles gênes à la visibilité (panneaux, végétation, autres véhicules), et d'évaluer une interaction potentiellement conflictuelle avec celui-ci (vitesse, trajectoire) avant de s'engager dans le giratoire. Une fois à l'intérieur d'un giratoire, le VA doit se positionner à l'intérieur de l'anneau lorsqu'il effectue une manœuvre de tourne-à-gauche dans ce giratoire, et qu'il doit indiquer sa direction par des signaux lumineux. Il devrait également être capable d'analyser le rapprochement d'un 2RM et être à même de réguler un éventuel conflit généré par le comportement possiblement intempestif de ce dernier.

6 CONCLUSION

La tâche 5.2 s'inscrit dans le prolongement de la tâche 5.1 qui avait abouti à l'identification de scénarios d'interaction critiques entre un futur Véhicule Automatisé (VA) et un deux-roues motorisé.

Les grandes familles d'interaction retenues à l'issue de ce travail sont les suivantes :

- Les changements de voie du VL alors qu'un 2RM circule déjà sur cette voie ou qu'il est en train d'effectuer une remontée de file.
- Les situations où le 2RM est en phase de dépassement du VL.
- Les situations en intersection et plus particulièrement lorsque le VL souhaite effectuer une manœuvre de tourne à gauche.
- Les situations dans les giratoires mais plus particulièrement les situations d'insertion (du VL et du 2RM) et de sortie du giratoire.
- Les situations où le VL exécute une insertion sur une voie principale alors qu'un 2RM circule sur cette dernière.

Cette analyse a permis de formuler les recommandations suivantes :

- Lorsqu'un 2RM se rabat ou s'insère devant 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.
- Lorsque le véhicule autonome décide de réaliser un changement de voie sur une route à voies multiples, il doit être en mesure de détecter suffisamment tôt les 2RM qui réalisent une remontée de file.
- Pour améliorer la prise en compte d'un 2RM lors d'une remontée de file, nous recommandons de prévoir des capteurs permettant de détecter la position du 2RM et de mesurer le différentiel de vitesse avec le 2RM venant de son arrière gauche ou droite et d'utiliser ces informations en particulier avant changement de voie.
- 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.
- Le Véhicule Autonome doit surveiller les éventuels changements de trajectoire des véhicules présents devant ou derrière lui qui peuvent traduire la présence d'un 2RM en instances de dépassement.
- En particulier en circulation dense en milieu urbain, le Véhicule Autonome doit surveiller les remontées de files et les dépassements de 2RM arrivant de derrière.
- Si l'infrastructure le permet, le Véhicule Autonome pourrait se décaler afin d'éviter que le 2RM effectue son dépassement en empiétant sur la voie opposée.
- Le Véhicule Autonome doit maintenir une allure constante ainsi que sa trajectoire pour ne pas surprendre le 2RM.
- Le Véhicule Autonome ayant l'intention d'effectuer un « tourne à gauche » sur une voie privée doit surveiller et être en capacité de détecter de jour comme de nuit (traiter le cas des 2RM éventuellement non éclairés), ainsi que d'évaluer la distance et la vitesse de rapprochement de 2RM arrivant derrière pour un éventuel dépassement.
- Le VA doit prévenir par des signaux lumineux suffisamment en amont de la manœuvre de tourne à gauche. Il doit se serrer le plus possible le long de l'axe médian de la chaussée préalablement à la manœuvre pour clarifier son intention de bifurcation. Il doit également être à même de reporter

sa manœuvre si un conflit potentiel s’installe avec le 2RM. En ce cas, la prise de décision doit se faire de manière anticipée pour ne pas surprendre d’éventuels véhicules qui suivraient le VA.

- Le Véhicule Autonome ayant l’intention d’effectuer un dépassement d’un 2RM hors intersection doit être à même d’identifier la présence de chemins susceptibles d’être empruntés par le 2RM, d’identifier l’éventualité de sa bifurcation en envisageant même de potentielles situations critiques atypiques. Il pourrait être opportun que le VA soit à même d’informer le 2RM de son dépassement imminent (signal sonore ?). Il serait également utile qu’il soit prêt à entreprendre une manœuvre d’évitement d’un conflit possible.
- Le Véhicule Autonome ayant l’intention d’effectuer un tourne-à-gauche dans une intersection doit surveiller et être en capacité de détecter, de jour comme de nuit, l’approche éventuelle d’un 2RM potentiellement masqué par d’autres véhicules et par des éléments d’infrastructure (e.g. en virage), ainsi que d’évaluer la distance et la vitesse de rapprochement d’un 2RM arrivant derrière et pouvant engager un éventuel dépassement, même si cette manœuvre semble improbable.
- Le VA doit prévenir par des signaux lumineux suffisamment en amont de la manœuvre de tourne à gauche. Il doit se serrer le plus possible le long de l’axe médian de la chaussée préalablement à la manœuvre de façon à clarifier son intention de bifurcation.
- Il doit également être à même de reporter sa manœuvre si un conflit potentiel s’installe avec le 2 roues. En ce cas, la prise décision doit se faire de manière anticipée pour ne pas surprendre d’éventuels véhicules qui suivraient le VA.
- Hormis ces contraintes, le VA doit bien évidemment gérer parallèlement de façon sécuritaire les interactions avec les véhicules arrivant des autres voies de l’intersection concernée.
- Lorsqu'il s'apprête à entrer dans un giratoire, le VA doit être capable de détecter un 2RM en approche, même en dépit d'éventuelles gênes à la visibilité (panneaux, végétation, autres véhicules), et d'évaluer une interaction potentiellement conflictuelle avec celui-ci (vitesse, trajectoire) avant de s'engager dans le giratoire.
- Une fois à l'intérieur d'un giratoire, le VA doit se positionner à l'intérieur de l'anneau lorsqu'il effectue une manœuvre de tourne-à-gauche dans ce giratoire, et qu'il doit indiquer sa direction par des signaux lumineux. Il devrait également être capable d'analyser le rapprochement d'un 2RM et être à même de réguler un éventuel conflit généré par le comportement possiblement intempestif de ce dernier.