



L5.3 Modélisation, corrélation et outil de simulation des interactions VA/2RM

Work Package	5
Responsable du WP, affiliation	<i>Reakka KRÖGER, CEESAR</i>
Livrable n°	5.3
Version	V1
Auteur responsable du livrable	<i>SERRE T., Université Gustave Eiffel, LMA</i>
Auteurs, affiliations	<i>NAUDE C., SERRE T., UNIVERSITE GUSTAVE EIFFEL WADJI F., KRÖGER R., CEESAR CHAUVEL C., LAB</i>
Relecteurs, affiliations	<i>MIGNOT, D., Université Gustave Eiffel</i>
Statut du livrable	Final

Veillez citer ce document de cette façon :

Naude, C., Serre, T., Wadji, F., Kröger, R., & Chauvel, C. (2022). *Livrable L5.3 : Modélisation, corrélation et outil de simulation des interactions VA / 2RM*. Projet SURCA. 41 p.

Historique des versions

Version	Date	Auteurs	Type des changements
V0	13/04/2022	C. NAUDE	Plan
V1	22/04/2022	C.NAUDE	Conduite naturelle DYMOA méthode et résultats de simulation (3 cas)
V1	15/06/2022	CEESAR	Simulations EDA CEESAR

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'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, 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 seront 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 L5.3

A partir des scénarios retenus de conflits VL/2RM et de ceux identifiés dans le WP2, des reconstructions cinématiques des accidents EDA (LMA, CEESAR) ont été réalisées. Les reconstructions cinématiques avec trajectoires véhicules des accidents EDA ou des incidents S_VRAI/DYMOA ont été extraites. Ces reconstructions permettent de mettre un VA face à des situations de conflits avec des 2RM, de simuler son comportement et d'identifier les situations à risques pour le véhicule automatisé.

Dans la base de données EDA-LAB de 2005 à 2019 (757 accidents), les accidents impliquant un véhicule léger (VL) contre un deux-roues motorisé (2RM) ont été sélectionnés puis ont été regroupés en fonction des mêmes situations d'intérêt ou ici de configurations d'accidents (pictogrammes) que celles retenues pour l'étude s'appuyant sur les bases de données de roulage. La simulation numérique des cas étudiés a été faite avec le logiciel Pc-Crash. L'objectif de la simulation est à la fois de valider le scénario de l'accident et les vitesses obtenues dans la reconstruction cinématique. Puis, les accidents simulés ont été rejoués avec des paramètres d'un système de détection (d'un 2RM) et de freinage automatique d'urgence - Automated Emergency Braking (AEB) On assimile le véhicule à un VA équipé d'une technologie de type AEB 2RM. Dans ce livrable, cinq accidents associés aux 3 scénarios suivants ont été illustrés :

- Accident en intersection ; les 2 véhicules (VA et 2RM) allant tout droit et provenant de directions perpendiculaires. Un des cas d'accident pourrait être évitable avec un AEB 2RM (équipé sur la voiture). Le deuxième cas pourrait être évité, soit en empêchant le véhicule de redémarrer au stop, soit en mettant un système d'alerte avertissant le conducteur de la présence d'un 2RM dès lors que celui-ci est détecté, ou soit en dupliquant le système de détection à l'arrière pour avoir une couverture 360°.
- Accident en intersection ; les 2 véhicules provenant de directions opposées, dont le 2RM allant tout droit et le VA tournant à gauche. Les deux cas d'accident seraient évitables avec un AEB 2RM (équipé sur la voiture).
- Accident en intersection ; les 2 véhicules provenant de la même direction, dont le VA le plus à droite décide de tourner à gauche coupant la route du 2RM. Ce cas d'accident serait évitable avec un système de détection dupliqué à l'arrière du VA.

La base de données DYMOA a été exploitée grâce à une extraction de configurations mettant en jeu des conflits d'usagers. Des situations d'interaction VL/2RM correspondant aux scénarios critiques (L5.1) ont été sélectionnées à partir des vidéos d'incidents, d'événements et de zones d'intérêt des 2RM. La première étape a consisté à reconstruire la situation d'interaction entre le 2RM, dont on a les données réelles, et le VL en interaction. L'évolution de ce dernier est visible sur la vidéo et il sera considéré par la suite comme EGO. Une application a été développée sous Matlab pour simuler les évolutions simultanées des véhicules en interaction puis la détection du 2RM par l'EGO. Ensuite, la situation d'interaction reconstituée est rejouée avec un cône de détection à l'avant du VL, et éventuellement un à l'arrière. Ces cônes de détection modélisent des caméras classiques. Dans ce livrable trois situations associées aux 2 scénarios suivants ont été illustrées :

- Un 2RM dépasse un véhicule et est confronté à un autre véhicule arrivant en sens inverse : dans ce cas, le VA devrait probablement ralentir et se serrer sur sa droite par précaution, voire également alerter le motocycliste par des appels de phare, ce qui pose le problème de la détection à distance.
- Un 2RM remonte les files et est confronté à un véhicule qui change de voie vers la gauche : Cette situation d'interaction est assez complexe. Le conducteur du VL a peut-être retardé son changement de voie pour être sûr que le motocycliste avait bien pris en compte sa volonté et ne poursuivait pas sa remontée de file. La détection de la présence du 2RM à l'arrière ne suffira donc pas pour décider de ne pas engager un changement de voie.

Table des matières

1	INTRODUCTION	6
1.1	OBJECTIFS DU WP5.....	6
1.2	OBJECTIFS DE LA TACHE 5.3	6
2	MATERIEL ET METHODES	7
2.1	ACCIDENTS « ETUDES DETAILLEES D'ACCIDENTS – EDA »	7
2.2	CONDUITE NATURELLE DYMOA	7
2.2.1	Données DYMOA.....	7
2.2.2	Reconstruction de la situation d'interaction.....	7
2.3	SIMULATION DE LA DETECTION	9
2.3.1	EDA - Simulation PC-Crash	9
2.3.2	DYMOA – Simulation application Matlab.....	10
3	RESULTATS	13
3.1	ACCIDENTS.....	13
3.1.1	Scénario 302 (2 cas).....	14
3.1.2	Scénario 306 (2 cas).....	20
3.1.3	Scénario 308 (1 cas).....	25
3.2	CONDUITE NATURELLE	29
3.2.1	Scénario 203 (2 cas).....	29
3.2.2	Scénario 212 (1 cas).....	35
4	SYNTHESE	41

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). Il s'agit ensuite 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 consistera dans la reconstruction des accidents, l'évaluation des gains attendus et l'identification des nouveaux risques éventuels liés à l'automatisation de la conduite.

En lien avec les autres WPs, 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 5.3

A partir des scénarios retenus de conflits VL/2RM et de ceux identifiés dans le WP2 (idem WP4), une reconstruction cinématique des accidents EDA (LMA, CEESAR) sera réalisée.

Comme pour le WP4, les reconstructions cinématiques avec trajectoires des véhicules des accidents EDA ou des incidents S_VRAI/DYMOA seront extraites par le LMA. Ces reconstructions permettront de mettre un VA face à des situations de conflits avec des 2RM, de simuler son comportement et d'identifier les situations à risques pour le véhicule automatisé.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 Accidents « Etudes détaillées d'accidents – EDA »

Les analyses sont basées sur les accidents issus de la base de données « Etudes détaillées d'accidents ». Les données d'accidents ont été recueillies par une équipe pluridisciplinaire, intervenant soit en temps réel, sur appel du SDIS (sapeurs-pompiers), soit en temps différé, quelques jours après la survenue de l'accident. Ce premier recueil porte sur les trois composants : le conducteur (par entretiens), le véhicule et l'infrastructure (recueil sur l'infrastructure afin de réaliser un plan à l'échelle, photographies de la scène de l'accident et ainsi que des mesures de déformations sur les véhicules, utilisation des ceintures de sécurité, déploiement des airbags etc...). Une première reconstitution des événements oriente la seconde étape du recueil, qui porte sur l'itinéraire, les caractéristiques de la route, le contrôle technique du véhicule, et une série de variables susceptibles d'expliquer le rôle du conducteur dans le déroulement de l'accident. Des informations sur les lésions et les dommages corporels sur les occupants sont également collectées.

La zone de collecte était localisée dans le département de l'Essonne dans la région parisienne et la période de collecte était de 2005-2019.

2.2 Conduite naturelle DYMOA

2.2.1 Données DYMOA

La base de données DYMOA a été exploitée grâce à une extraction de configurations mettant en jeu des conflits d'usagers.

Le projet DYMOA est basé sur l'instrumentation d'une flotte d'une quarantaine de véhicules (30 2RM et 10 VL) à l'aide d'Enregistreurs de Données de la Route (EDR) de types smartphones. Le recueil, d'une durée de 1 an et demi, étendu sur 3 territoires (départements de Seine-Maritime, Bouches du Rhône et Hérault), concerne l'enregistrement des parcours des véhicules, d'incidents et d'événements détectés suite au dépassement de seuils de sollicitations dynamiques des véhicules, et de passages sur des zones d'intérêt prédéfinies (zones accidentogènes, aménagements spécifiques...).

Lors de ces situations, la dynamique du véhicule et les comportements des conducteurs sont enregistrés pendant 45s au moins, 30s avant le déclenchement d'événement/incident, ou l'entrée dans la zone d'intérêt, et 15s après. Les données enregistrées sont la vitesse et la trajectoire GPS à une fréquence de 1 Hz, les accélérations longitudinale, transversale et verticale et les vitesses de rotation de roulis, tangage et lacet à une fréquence de 100 Hz. Le contexte extérieur au véhicule est recueilli grâce à un enregistrement vidéo de la scène à l'avant pendant les 45s de la situation, avec une résolution volontairement dégradée afin d'avoir une bonne idée du contexte (interactions avec les autres usagers, configuration de la route, état de surface et visibilité) mais sans possibilité d'identifier les piétons et plaques minéralogiques.

Des situations d'interaction VL/2RM correspondant aux scénarios critiques (L5.1) ont été sélectionnées à partir des vidéos d'incidents, d'événements et de zones d'intérêt des 2RM. L'instant de l'interaction est indépendant de l'instant de déclenchement dynamique ou géographique lié au projet DYMOA.

2.2.2 Reconstruction de la situation d'interaction

La première étape a consisté à reconstruire la situation d'interaction entre le 2RM, dont on a les données réelles, et le VL en interaction. L'évolution de ce dernier est visible sur la vidéo et il sera considéré par la suite comme EGO. Une application a été développée sous Matlab pour simuler les évolutions simultanées des véhicules en interaction puis la détection du 2RM par l'EGO.

Les données utilisées pour le 2RM sont ses coordonnées et sa vitesse GPS, ainsi que son accélération longitudinale.

1/ La trajectoire GPS à 1 Hz est transformée en coordonnées Lambert2E à partir des coordonnées WGS84, et extrapolée pour obtenir une trajectoire à une fréquence de 100 Hz comme les autres données. La vitesse est également lissée et recalculée à 100 Hz.

2/ Un plan Google Street Maps mis à l'échelle est utilisé comme support pour repositionner le 2RM à chaque instant (Figure 1). D'éventuels autres véhicules arrêtés peuvent être ajoutés sur le plan.

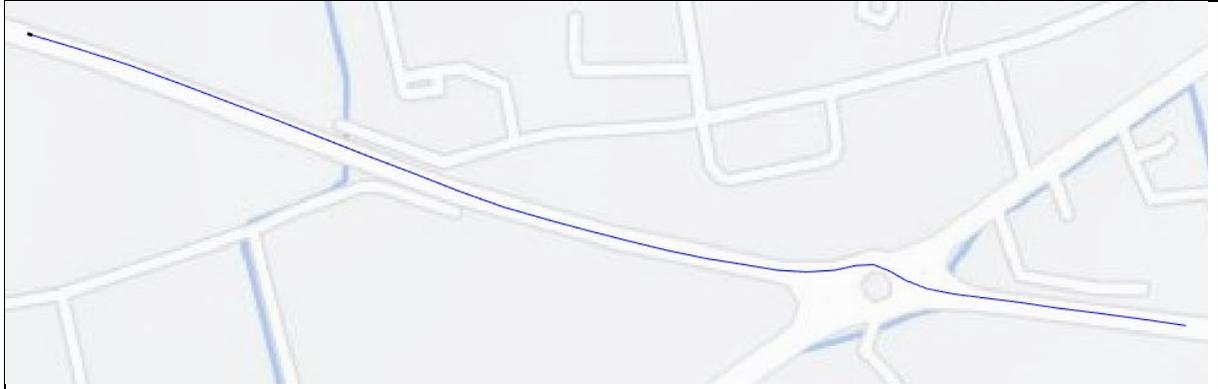


Figure 1 -Trajectoire du 2RM repositionnée sur une carte à l'échelle

3/ Le VL est positionné au moment où les deux véhicules sont les plus proches en fonction de la vidéo (Figure 2), en utilisant des repères extérieurs tels des arbres, et une visualisation des lieux grâce à Google Earth ou Google Street Maps.

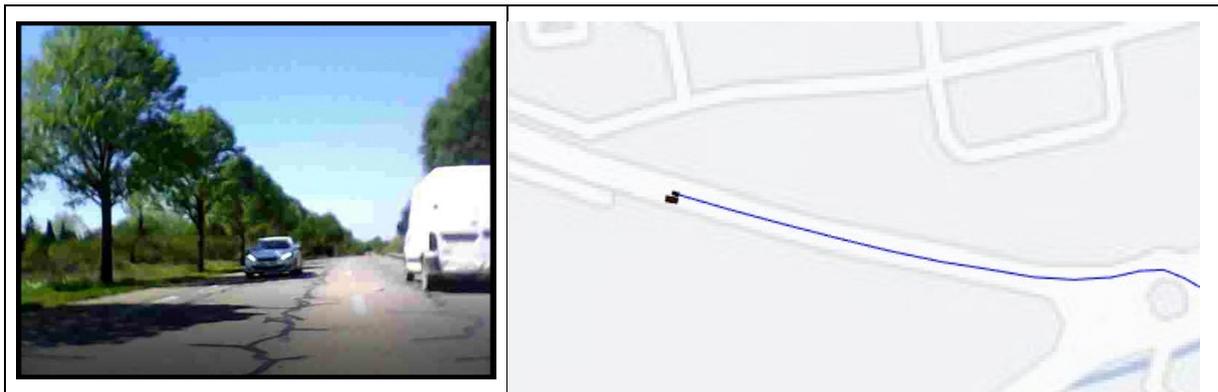


Figure 2 - Image vidéo avant le croisement - Position du VL antagoniste au moment du croisement

4/ La trajectoire et la vitesse au cours du temps du VL sont estimées à partir de son évolution visible sur la vidéo, avant et après l'instant d'interaction le plus proche (trajectoires Figure 3).



Figure 3 - Trajectoires des deux véhicules en interaction

2.3 Simulation de la détection

2.3.1 EDA - Simulation PC-Crash

Les simulations numériques des cas étudiés sont faites avec le logiciel Pc-Crash¹. PC-Crash est un logiciel de simulation d'accidents routiers permettant de reconstruire la plupart des situations d'accidents. Il contient plusieurs modèles de calculs dont le modèle utilisant la conservation de la quantité de mouvement, le modèle basé sur l'élasticité du choc, le modèle cinématique pour la simulation réaliste des trajectoires et un modèle simple dit cinétique qui permet de calculer rapidement des trajectoires dans l'espace distance/temps. Les résultats de chaque simulation PC-Crash peuvent être visualisés et/ou imprimés sous divers formats tels que l'animation en 3 dimensions (vidéo), les diagrammes (courbes) des principaux paramètres de la simulation numérique.

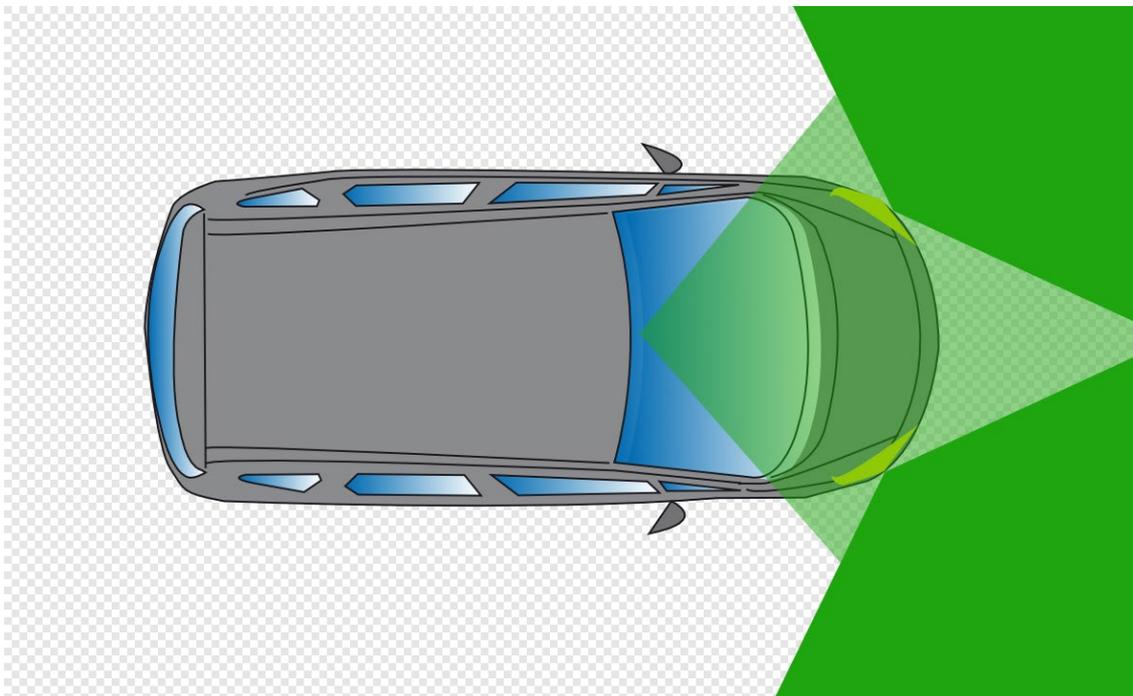
Les cas EDA étudiés seront simulés via la méthode PC-Crash. L'objectif de la simulation est à la fois de valider le scénario de l'accident et les vitesses obtenues dans la reconstruction cinématique.

Paramétrage de la détection

Les accidents simulés ont été rejoués avec des paramètres d'un système de détection (d'un 2RM) et de freinage automatique d'urgence - Automated Emergency Braking (AEB).² On assimile le véhicule à un VA équipé d'une technologie de type AEB 2RM. L'objectif est de tester l'efficacité d'un AEB 2RM sur les accidents étudiés.

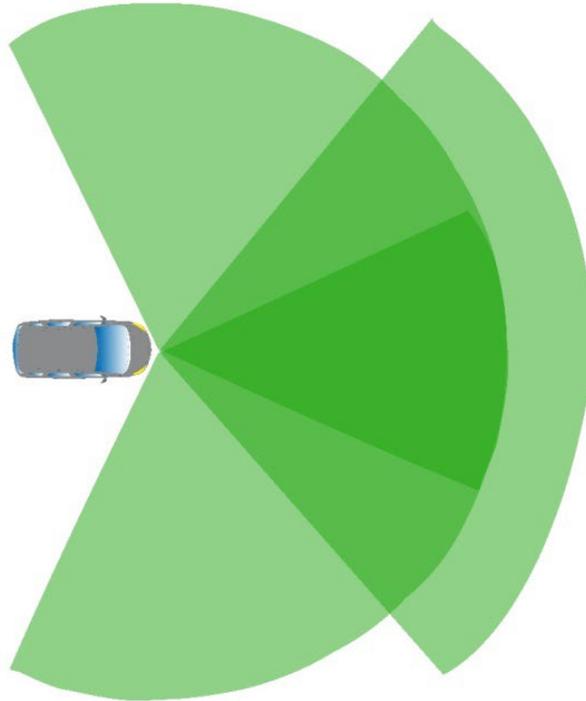
Les paramètres de la détection :

- Capteurs chacun avec angle de 150° et portée de 120 m. Ils sont positionnés sur le devant du véhicule (chacun sur un cote) avec un angle d'inclinaison de + - 45°.
- Un capteur central (derrière le pare-brise) d'un angle de 100° et portée de 150 m.



¹ <http://dsd.at/index.php?lang=en>

² Paramètres AEB – 2RM ont été mis à la disposition du projet SURCA par le LAB.



Ps : afin de bien visualiser, les dimensions du véhicule sont multipliées par 10.

On a une zone centrale couverte par les 3 capteurs, deux zones par deux capteurs et deux zones par un seul capteur.

Suite à la détection du 2RM, il se met en place un freinage automatique, ci-dessous les paramètres du freinage :

- TTC (temps prévu avant la collision) maxi : 1s
- Délai de détection (capteur) : 0,20s
- Délai de mise en action freinage (délai du système) : 0,05s
- Durée de la mise en pression du système de freinage : 0,3s
- Valeur du freinage maximal : 0,9g
- Distance latérale max : 2 m.

2.3.2 DYMOA – Simulation application Matlab

La situation d'interaction reconstituée est rejouée avec un cône de détection à l'avant du VL, et éventuellement un à l'arrière. Ces cônes de détection modélisent des caméras classiques. Une portée de 30 m et un champ de vue de 25° de part et d'autre de l'axe du VL ont été utilisés à titre illustratif (Figure 4). Les deux véhicules sont modélisés par des rectangles et on suit l'évolution des 4 coins et du centre du rectangle-2RM au fil du temps.



Figure 4 - Evolution avant détection

Le 2RM est considéré comme détecté lorsque 3 points au moins parmi les 5 sont dans le cône de détection (Figure 5).



Figure 5 - Détection

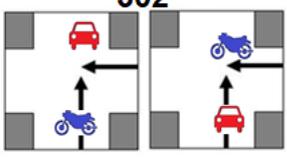
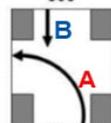
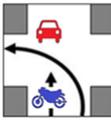
Les caractéristiques cinématiques des véhicules en approches et leur interdistance sont ensuite relevées dans les derniers instants avant et pendant l'interaction.

3 RESULTATS

3.1 Accidents

Dans la base de données EDA-LAB de 2005 à 2019 (757 accidents), les accidents impliquant un véhicule léger (VL) contre un deux-roues motorisé (2RM) ont été sélectionnés puis ils ont été regroupés en fonction des mêmes situations d'intérêt ou ici configurations d'accident (pictogrammes) que celles retenues pour l'étude s'appuyant sur les bases de données de roulage.

Dans ce chapitre cinq accidents associés aux pictogrammes 302, 306 et 308 seront illustrés.

 <p>302</p>	<p>Accident en intersection ; les 2 véhicules allant tout droit (ou on ne sait pas où vont les véhicules) et provenant de directions perpendiculaires.</p> <p>A – Véhicule supposé automatisé B – 2RM</p>
 <p>306</p>	<p>Accident en intersection ; les 2 véhicules provenant de directions opposées, dont l'un allant tout droit et l'autre tournant à gauche.</p> <p>A – Véhicule supposé automatisé B – 2RM</p>
 <p>308</p>	<p>Accident en intersection ; les 2 véhicules provenant de la même direction, dont le véhicule le plus à droite décide de tourner à gauche coupant la route de l'autre.</p> <p>A – Véhicule supposé automatisé B – 2RM</p>

Chaque accident sera décrit avec les variables suivantes (à définir chaque variable) :

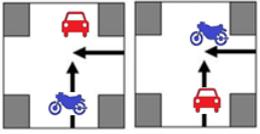
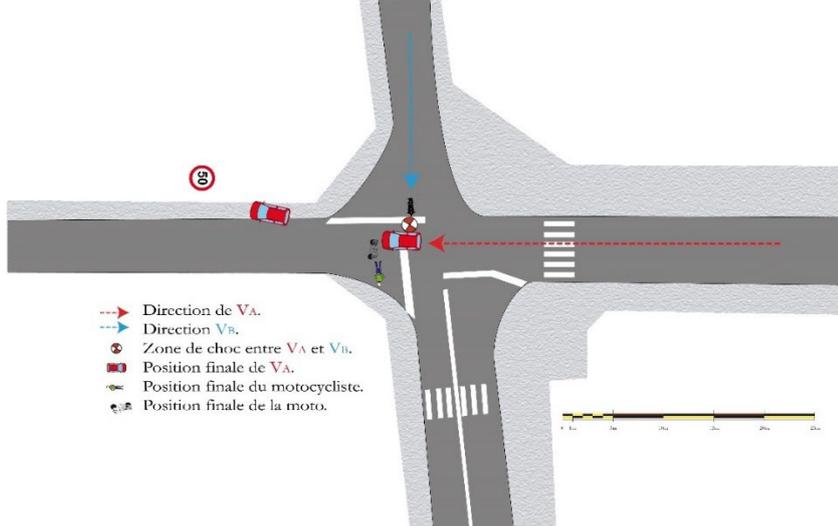
- Circonstances de l'accident : un résumé succinct de l'accident
- Plan : illustration de l'infrastructure en 2D à l'échelle
- Conditions météorologiques : luminosité, conditions de luminosité particulières, conditions atmosphériques, précipitation, vent
- Type de route : autoroute, route nationale, route départementale, chemin communal ou route non spécifiée revêtue
- Caractéristique de la chaussée : état de la chaussée, condition de la chaussée, dégradation / déformation de la chaussée, état de la surface
- Sexe et âge des impliqués
- Gravité : indemne, blessé léger, blessé grave, tué
- Défaillance fonctionnelle du conducteur : fonction défaillante du processus humain de réalisation d'une tâche ou de traitement de l'information.³

³ Van Elslande, P et al. D 5.1 - Analyzing 'human functional failures' in road accidents, TRACE Report, 2007

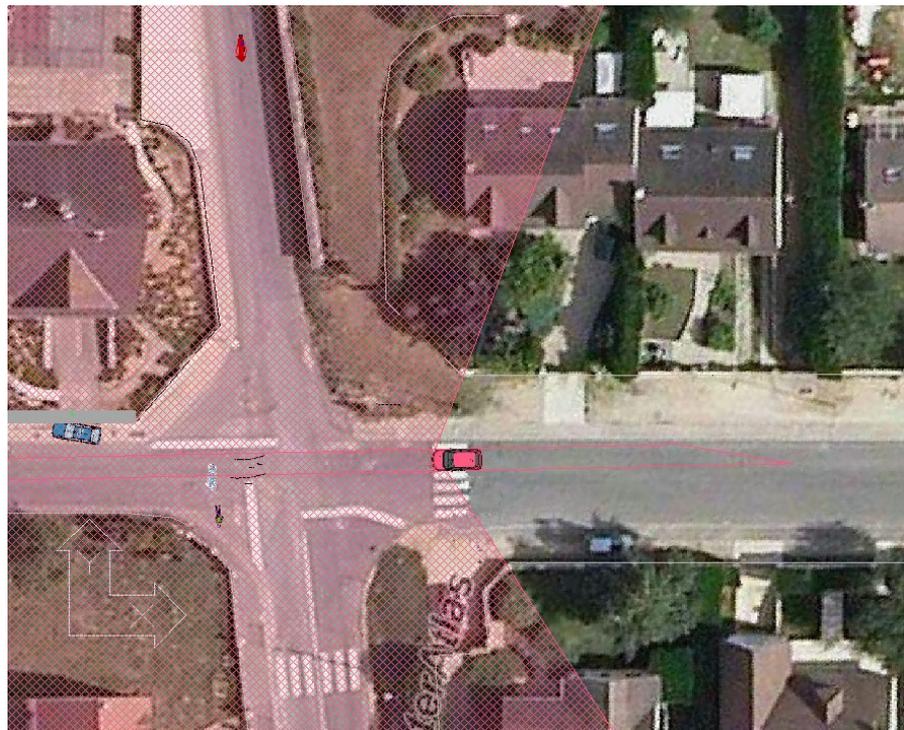
- Éléments explicatifs : paramètres qui ont contribué à l'émergence de la défaillance fonctionnelle face à la situation routière à gérer (état de santé de l'utilisateur, état de la route, éblouissement par le soleil...)⁴
- Vitesse de roulage : vitesse de circulation avant le conflit (avant toute réaction de freinage ou d'évitement).
- Analyse simulation : validation du scénario, détectabilité du 2RM par le VA.
- Vitesse d'impact : vitesse du véhicule impliqué dans un accident immédiatement avant le choc.

3.1.1 Scénario 302 (2 cas)

3.1.1.1 Cas 1

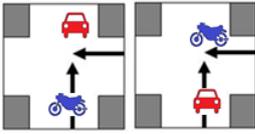
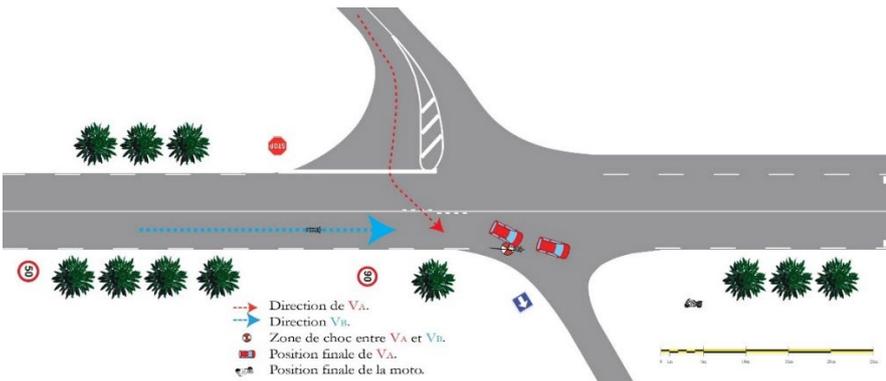
 <p>302</p>	<p>Accident en intersection ; les 2 véhicules allant tout droit (ou on ne sait pas où vont les véhicules) et provenant de directions perpendiculaires.</p> <p>A – Véhicule supposé automatisé B – 2RM</p>
<p>Circonstances de l'accident</p>	<p>Les véhicules A et B circulent tout droit en section courante rectiligne en approche de l'intersection. Le jeune cyclomotoriste roule et est perdu. Il cherche son chemin. Inattentif, il ne s'arrête pas au stop. Le véhicule A circule sur une route prioritaire. La voiture s'engage dans l'intersection. Elle est soudainement percutée sur son arrière droit. Cela la dévie, et elle pique sur le bas-côté droit de la chaussée. Elle monte sur le trottoir et viens percuter légèrement le mur de clôture d'une maison avant de terminer sa course dans le portail de cette dernière.</p>
<p>Plan</p>	 <p> - - -> Direction de VA. - - -> Direction VB. ● Zone de choc entre VA et VB. ● Position finale de VA. ● Position finale du motocycliste. ● Position finale de la moto. </p>
<p>Conditions météorologiques</p>	<p>Clair, normal, jour</p>
<p>Type de route</p>	<p>Route communale, vitesse maximale autorisée est de 50 km/h</p>

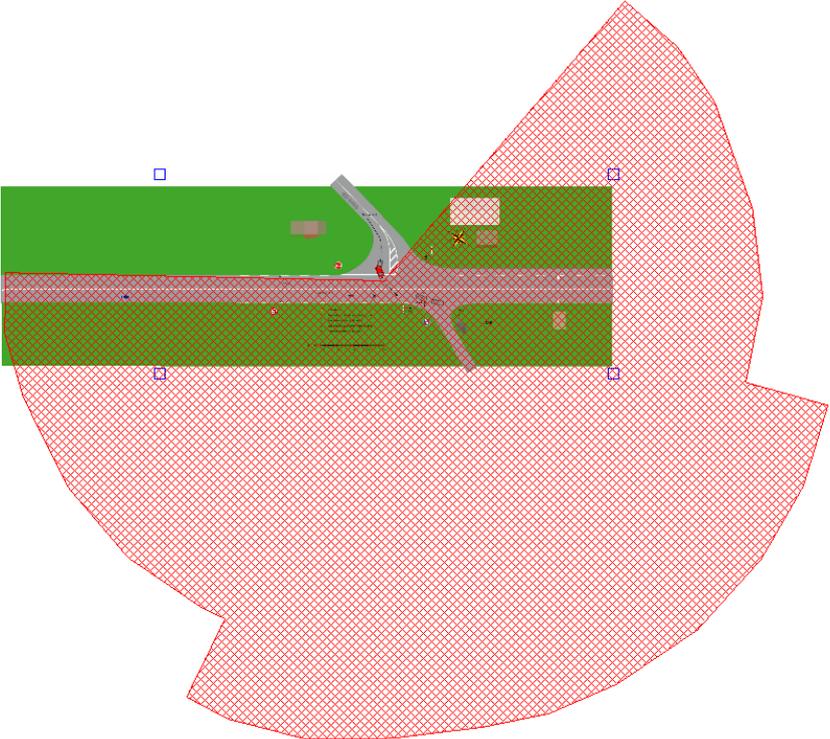
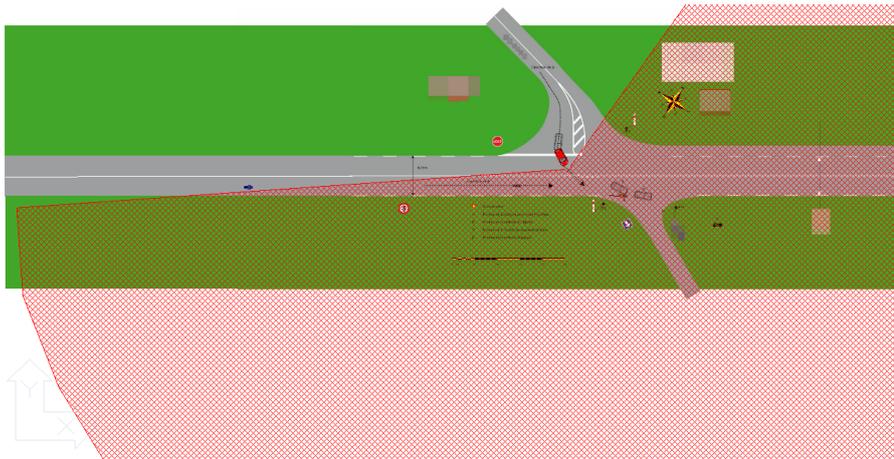
⁴ Naing, C et al. D 5.2 - Which Factors and Situations for Human Function Failures? Developing Grids for Accident Causation Analysis, TRACE Report, 2007

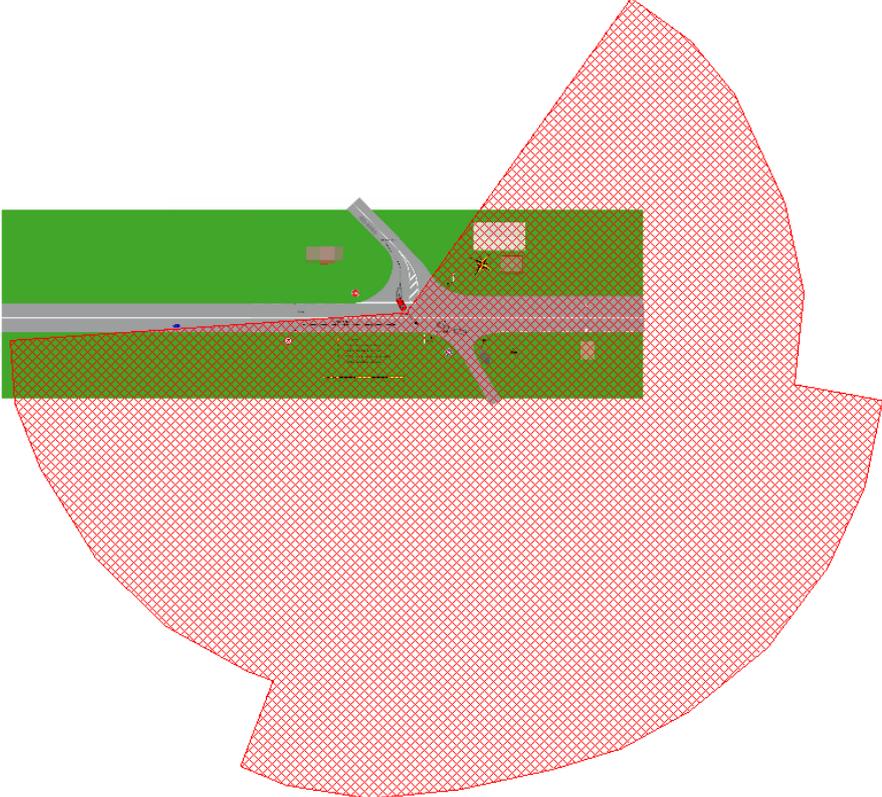
Caractéristique de la chaussée	Pas de dégradation, pas de déformation, chaussée sèche																			
Analyse/Simulation du cas	Véhicule A Vitesse de roulage pour le B : 30 km/h Vitesse au choc 30 km/h																			
	Motocyclette B Vitesse de roulage pour le B : 50 km/h Vitesse au choc : 50 km/h.																			
Simulation de la détection	 <p>A T=-1,8s le 2RM est détectable.</p> <p>Ci-dessous la position et vitesse à t= -1,8s :</p> <table border="1" data-bbox="491 1487 1362 1675"> <thead> <tr> <th></th> <th>T</th> <th>COG_X</th> <th>COG_Y</th> <th>COG_Z</th> <th>Tangage</th> <th>Roulis</th> <th>Lacet</th> <th>Vitesse (km/h)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Déclenchement de AEB pour éviter l'accident</td> <td>-1,8</td> <td>61,7</td> <td>-45,7</td> <td>0,5</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-178,8</td> <td>30</td> </tr> </tbody> </table> <p>Ce cas d'accident est évitable avec un AEB 2RM (équipé sur la voiture).</p>			T	COG_X	COG_Y	COG_Z	Tangage	Roulis	Lacet	Vitesse (km/h)	Déclenchement de AEB pour éviter l'accident	-1,8	61,7	-45,7	0,5	0	0	-178,8	30
	T	COG_X	COG_Y	COG_Z	Tangage	Roulis	Lacet	Vitesse (km/h)												
Déclenchement de AEB pour éviter l'accident	-1,8	61,7	-45,7	0,5	0	0	-178,8	30												
Impliqués	Conducteur A : Homme, 42 ans, indemne Passager arrière droite A : Femme, 10 ans, blessée grave Conducteur B : Homme, 16 ans, blessé grave																			
Défaillance fonctionnelle	Conducteur A : pas de défaillance, le conducteur n'est pas à l'origine de l'accident et il n'est pas en mesure de l'éviter.																			

	Conducteur B : décision (D2) ; violation intentionnelle d'une règle de sécurité.
Eléments explicatifs	Conducteur A : pas d'éléments explicatifs
	Conducteur B : <ul style="list-style-type: none"> - impatience - forte expérience du trajet - bas niveau attentionnel
Recommandations	Ce cas d'accident est évitable avec un AEB 2RM (équipé sur la voiture).

3.1.1.2 Cas 2

<p style="text-align: center;">302</p> 	<p>Accident en intersection ; les 2 véhicules allant tout droit (ou on ne sait pas où vont les véhicules) et provenant de directions perpendiculaires.</p> <p>A – Véhicule supposé automatisé B – 2RM</p>
<p>Circonstances de l'accident</p>	<p>Il s'agit d'une intersection en X. Nous avons des arbres le long de la route départementale, sans problématique de masque à la visibilité. Le motocycliste B circule sur l'axe prioritaire, sur une portion de route rectiligne. Un véhicule A arrive sur l'intersection, à sa gauche par rapport à son sens de circulation. Cette intersection est régie par un stop. La conductrice A ne marque pas l'arrêt au stop, et continue à faible allure sa progression.</p> <p>Le motocycliste B malgré un freinage et un évitement par la droite, vient percuter le côté droit du véhicule. Il chute lourdement au sol puis se retrouve dans le champ à droite dans son sens de circulation. La motocyclette B vire volte et se retrouve également dans le champ à droite. Un enregistrement vidéo de cet accident nous permet d'être affirmatif sur le non-respect du stop et la validation du scénario.</p>
<p>Plan</p>	 <p> - - - - - Direction de VA. - - - - - Direction VB. ☺ Zone de choc entre VA et VB. ☒ Position finale de VA. ☒ Position finale de la moto. </p>
<p>Conditions météorologiques</p>	<p>Clair, normal, jour.</p>
<p>Type de route</p>	<p>Route départementale, vitesse maximale autorisée est de 90 km/h.</p>
<p>Caractéristique de la chaussée</p>	<p>Pas de dégradation, bonne, pas de déformation, chaussée sèche.</p>

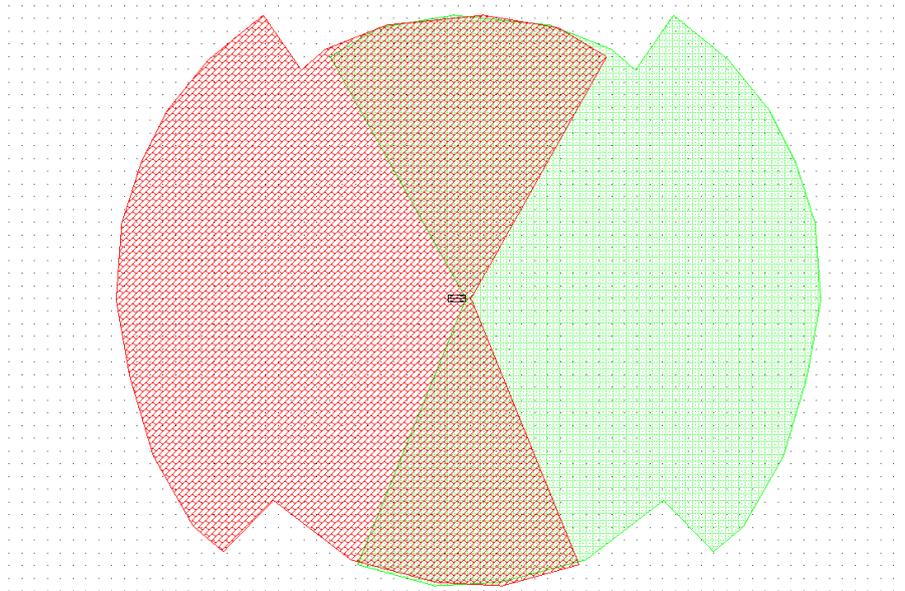
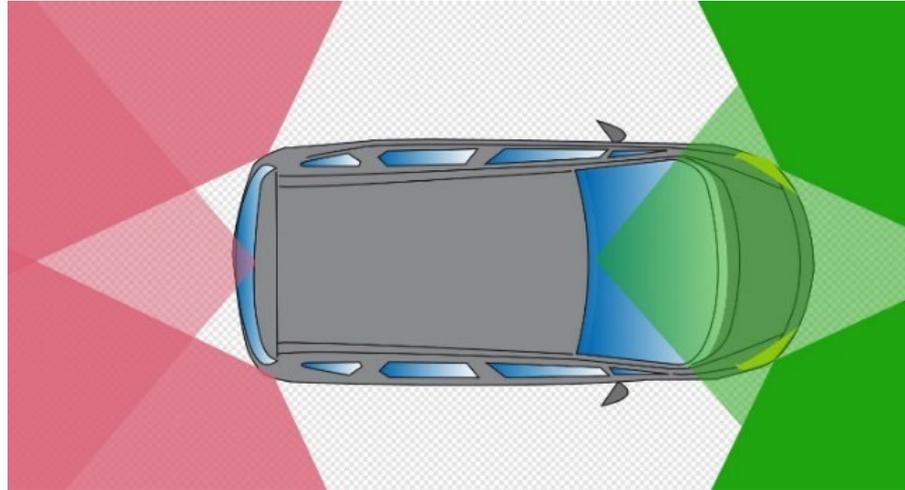
<p>Analyse/Simulation du cas</p>	<p>Véhicule A</p> <p>Vitesse de roulage pour le B : 12 km/h. Vitesse au choc 16 km/h.</p> <p>Motocyclette B</p> <p>Vitesse de roulage pour le B : 114 km/h. Vitesse au choc : 62 km/h.</p>
<p>Simulation de la détection</p>	 <p>A T=-3.65s, le véhicule arrive au stop et à cet instant le 2RM est totalement détectable. Si le véhicule ne redémarrage pas le choc est évitable.</p> 

	<p>T= -3,2s jusqu'au choc t =0s, si le véhicule redémarre, le 2RM n'est plus à l'intérieur du cône de détection.</p> <p>Si le système de détection est programmé pour réagir et freiner au dernier moment (T=-1s), cet accident n'est pas évitable par un AEB-2RM.</p> 
<p>Impliqués</p>	<p>Conducteur A : Femme, 73 ans, indemne.</p> <p>Conducteur B : Homme, 50 ans, blessé grave.</p>
<p>Défaillance fonctionnelle</p>	<p>Conducteur A : décision (D2) ; violation intentionnelle d'une règle de sécurité (la conductrice ralentit mais ne s'arrête pas au stop).</p> <p>Conducteur B : pronostic (T6) attente de régulation du véhicule adverse (étant prioritaire, il s'attendait à ce que le véhicule (A), non prioritaire s'arrête pour le laisser passer).</p>
<p>Eléments explicatifs</p>	<p>Conducteur A :</p> <ul style="list-style-type: none"> - impatience - forte expérience du trajet - bas niveau attentionnel <p>Conducteur B :</p> <ul style="list-style-type: none"> - attachement au statut prioritaire - adoption d'une vitesse élevée

Recommandations

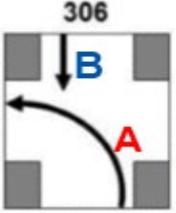
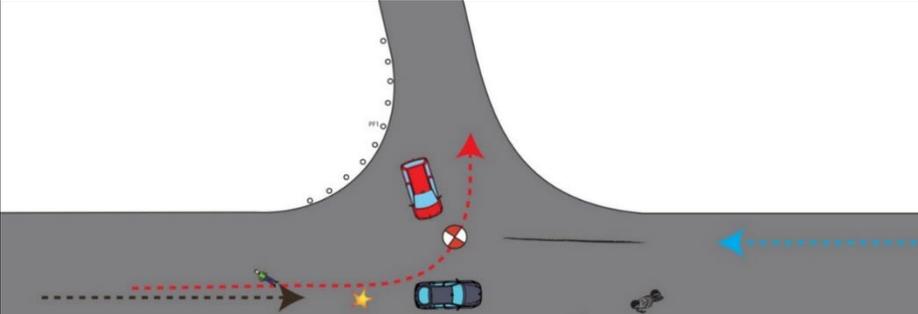
Cet accident peut être évité de 3 manières :

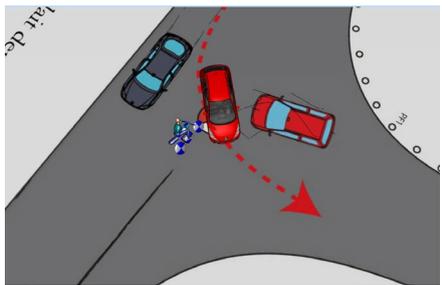
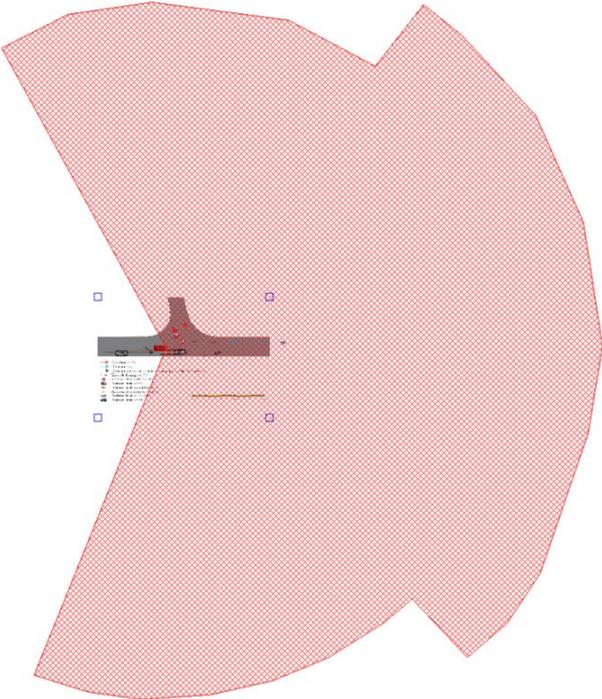
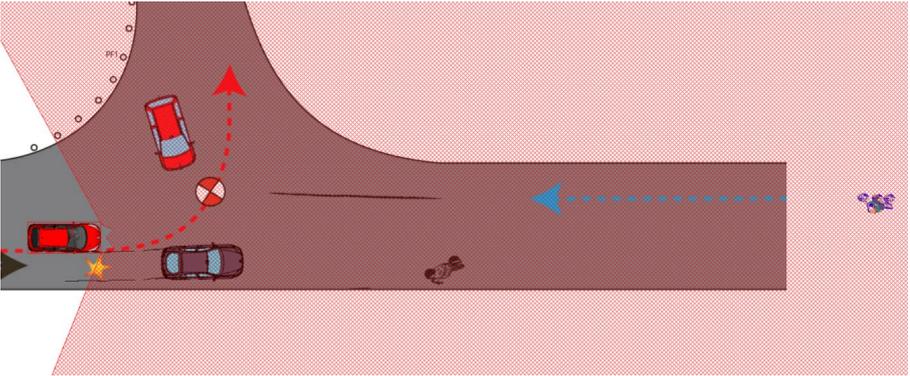
- Arrêt du véhicule au stop
- Mettre un système d'alerte avertissant le conducteur de la présence d'un 2RM dès lors que celui-ci est détecté.
- Dupliquer le système de détection à l'arrière pour avoir une couverture 360°.



3.1.2 Scénario 306 (2 cas)

3.1.2.1 Cas 1

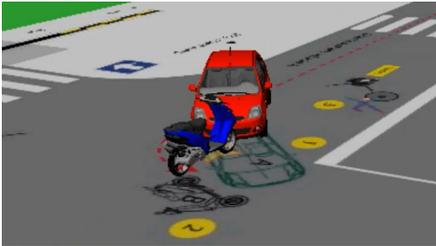
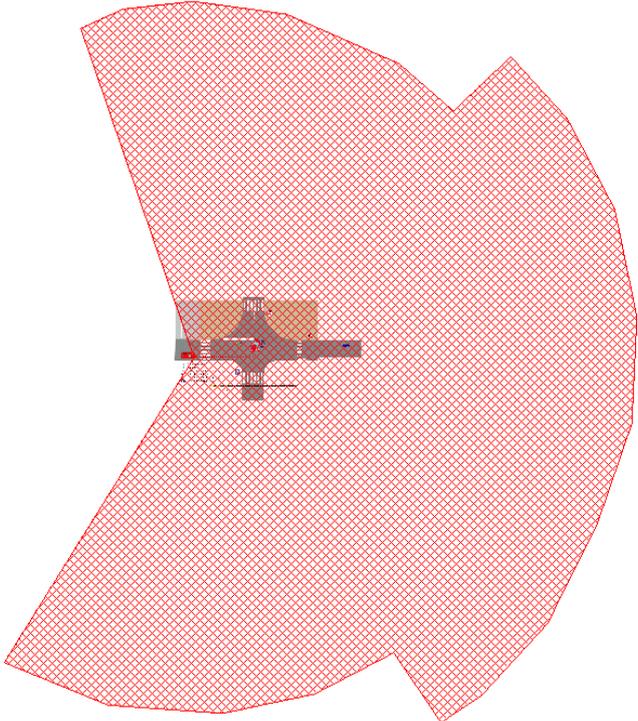
	<p>Accident en intersection ; les 2 véhicules provenant de directions opposées, dont l'un allant tout droit et l'autre tournant à gauche.</p> <p>A – Véhicule supposé automatisé B – 2RM</p>
<p>Circonstances de l'accident</p>	<p>L'accident a lieu en intersection en T et implique un véhicule léger A et une motocyclette B. Le véhicule A est arrêté au feu, derrière deux autres véhicules. Au feu vert, il met son clignotant pour tourner à gauche. Lorsqu'il s'engage dans le carrefour il se fait percuter par la motocyclette B qui circulait dans le sens opposé à celui de A.</p> <p>Lors de la collision, le motocycliste a été éjecté à environ 11 m du point de choc.</p>
<p>Plan</p>	 <ul style="list-style-type: none">  Direction de V_A.  Direction V_B.  Direction de V_C (un 3 ième véhicule qui circulait derrière V_A).  Trace de freinage de V_B.  Zone de choc entre V_A et V_B.  Position finale de V_A.  Position finale du motocycliste.  Zone de choc entre le V_B et V_C.  Position finale de la moto.  Position finale de V_C. 
<p>Conditions météorologiques</p>	<p>Clair, normal, jour</p>
<p>Type de route</p>	<p>Route communale, vitesse maximale autorisée est de 50 km/h</p>
<p>Caractéristique de la chaussée</p>	<p>Pas de dégradation, bonne, pas de déformation, chaussée sèche</p>

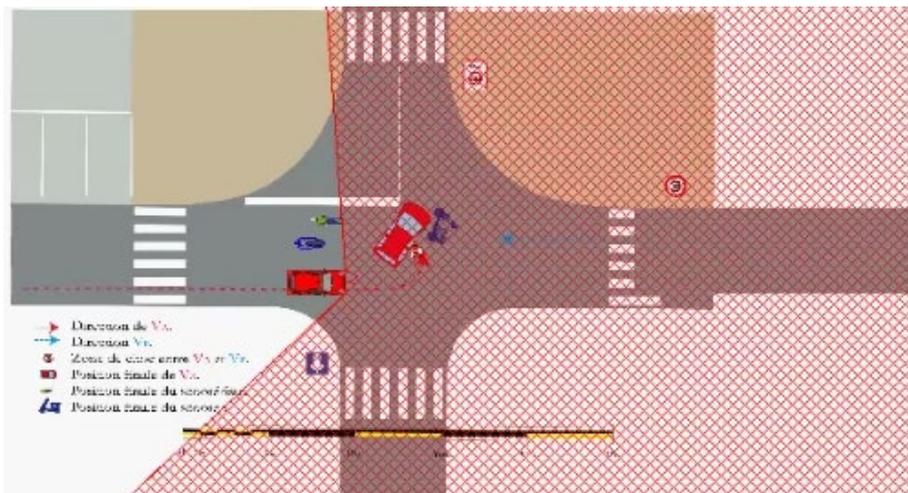
<p>Analyse/Simulation du cas</p>	<p>Véhicule A</p> <p>Vitesse de roulage pour le A : à l'arrêt eu feu tricolore.</p> <p>Vitesse au choc 19 km/h</p>																	
	<p>Motocyclette B</p> <p>Vitesse de roulage pour le B : 122 km/h</p> <p>Vitesse au choc : 115 km/h</p>																	
<p>Simulation de la détection</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> <p>A T=-1s le 2RM est détectable.</p> <p>Ci-dessous la position et vitesse à t= -1s :</p> <table border="1" data-bbox="478 1832 1401 2033"> <thead> <tr> <th></th> <th>T</th> <th>COG_X</th> <th>COG_Y</th> <th>COG_Z</th> <th>Tangage</th> <th>Roulis</th> <th>Lacc</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Déclenchement de AEB pour éviter l'accident</td> <td>-1</td> <td>41</td> <td>-75</td> <td>0,500</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>			T	COG_X	COG_Y	COG_Z	Tangage	Roulis	Lacc	Déclenchement de AEB pour éviter l'accident	-1	41	-75	0,500	0	0	0
	T	COG_X	COG_Y	COG_Z	Tangage	Roulis	Lacc											
Déclenchement de AEB pour éviter l'accident	-1	41	-75	0,500	0	0	0											

Impliqués	Conducteur A : Femme, 23 ans, blessé léger
	Passager A : Homme, 12 ans, blessé léger
	Conducteur B : Homme, 44 ans, blessé grave
Défaillance fonctionnelle	Conducteur A : détection ; recherche sommaire d'information en traversée d'intersection
	Conducteur B : pronostic ; S'attendait à ce que le véhicule, non prioritaire, en approche d'une intersection, s'arrête
Éléments explicatifs	Conducteur A : faible niveau d'attention
	Conducteur B : <ul style="list-style-type: none"> - vitesse délictueuse (> 50 km/h au-dessus de la vitesse réglementaire) - attachement rigide au statut prioritaire (sentiment prioritaire), - confiance excessive dans les signaux émis aux autres
Recommandations	Ce cas d'accident est évitable avec un AEB 2RM (équipé sur la voiture).

3.1.2.2 Cas 2

	<p>Accident en intersection ; les 2 véhicules provenant de directions opposées, dont l'un allant tout droit et l'autre tournant à gauche.</p> <p>A – Véhicule supposé automatisé B – 2RM</p>
<p>Circonstances de l'accident</p>	<p>L'accident a lieu en intersection en X et implique un véhicule léger A et un scooter B. les deux véhicules circulent sur le même axe, mais dans des directions opposées. Le véhicule A, entame une manœuvre de tourne à gauche et coupe ainsi la trajectoire du B qui ne peut éviter le choc. Suite au choc le conducteur B est projeté sur une distance d'environ 5 mètres.</p>
<p>Plan</p>	

Conditions météorologiques	Clair, normal, jour	
Type de route	Route communale, vitesse maximale autorisée est de 50 km/h	
Caractéristique de la chaussée	Pas de dégradation, bonne, pas de déformation, chaussée sèche	
Analyse/Simulation du cas	<p>Véhicule A</p> <p>Vitesse de roulage pour le A : 35 km/h</p> <p>Le conducteur a freiné</p> <p>Vitesse au choc : 25 km/h</p>	
	<p>Scooter B</p> <p>Vitesse de roulage pour le B : 39 km/h</p> <p>Vitesse au choc : 35 km/h</p>	
Simulation de la détection		



A T=-1s le scooter est détectable.

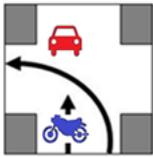
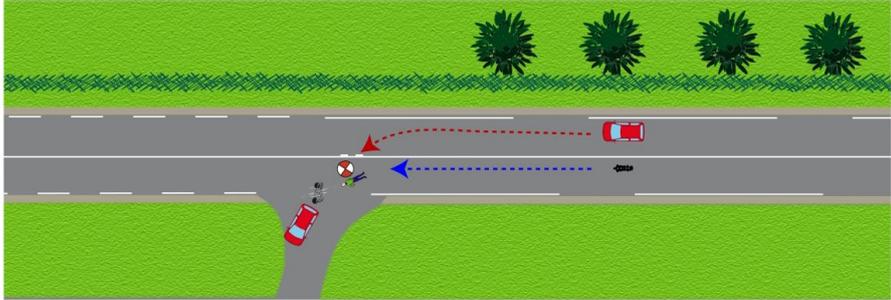
Ci-dessous la position et vitesse à t= -1s :

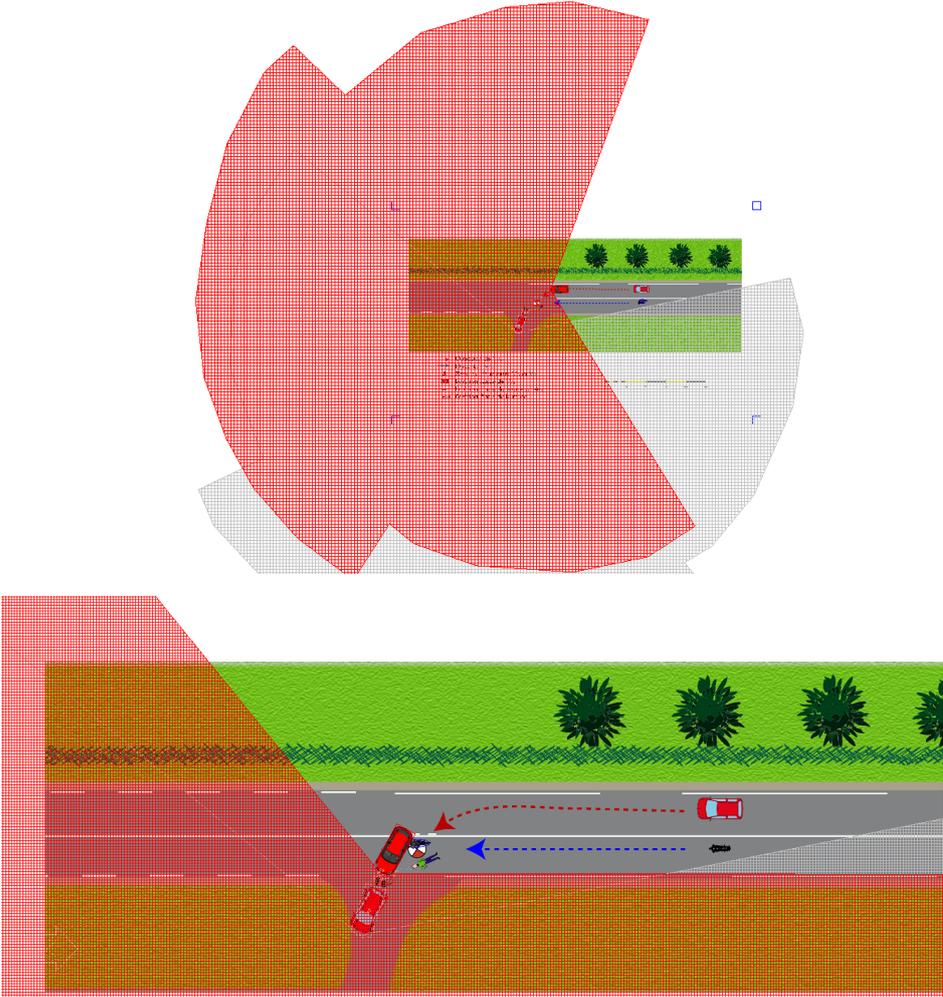
	T	COG _X	COG _Y	COG _Z	Tangage	Roulis	Lacet	Vitesse (km/h)
Déclenchement de AEB pour éviter l'accident	-1	4,13	-9,194	0,500	0,000	0,000	-3,497	33,419

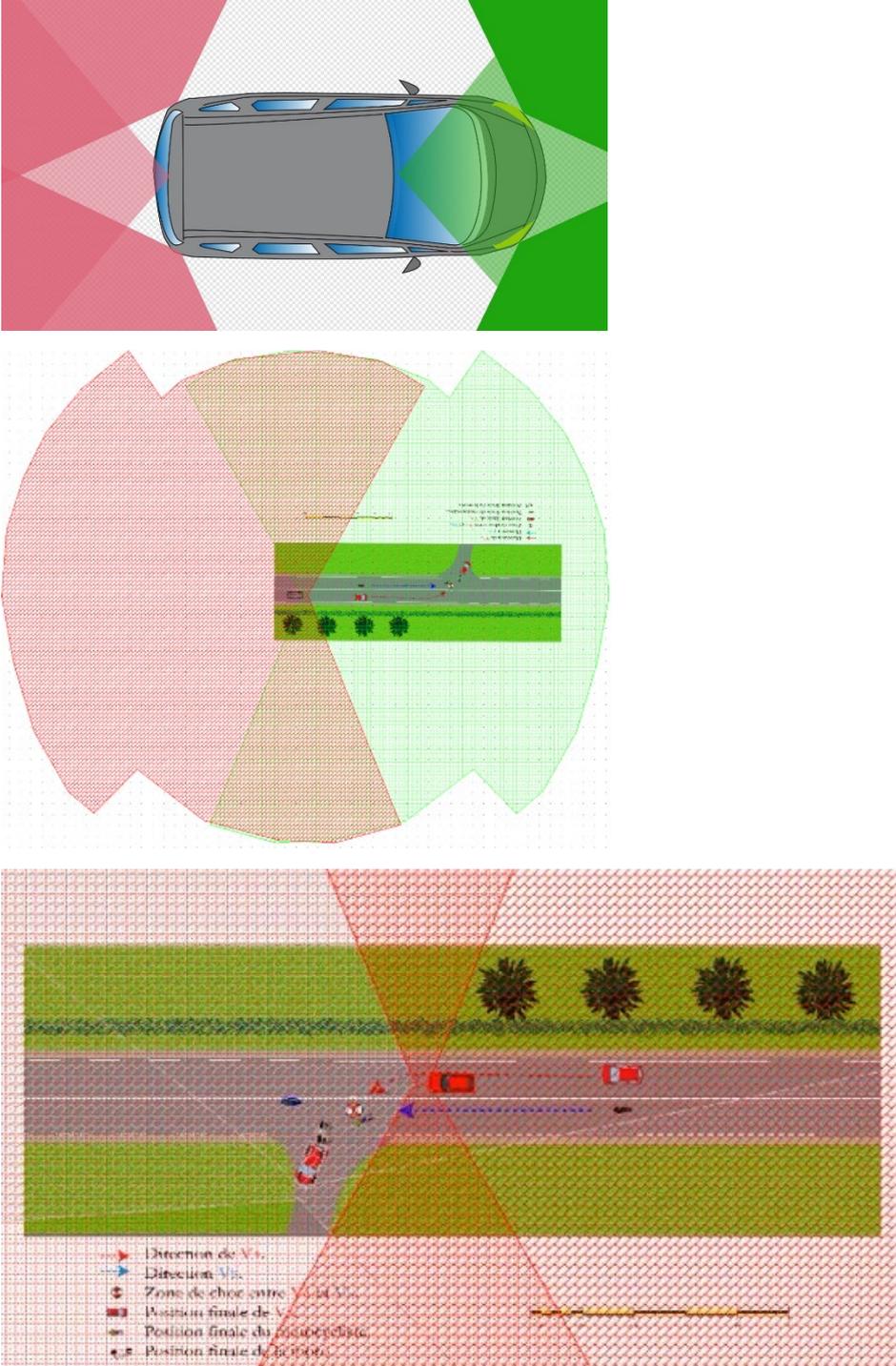
Ce cas d'accident est évitable avec un AEB 2RM (équipé sur la voiture).

Impliqués	Conducteur A : Homme, 41 ans, indemne
	Conducteur B : Homme, 37 ans, blessé léger
Défaillance fonctionnelle	Conducteur A : détection ; interruption momentanée de l'activité de recherche des informations
	Conducteur B : pronostic ; s'attendait à ce que le véhicule, non prioritaire, en approche d'une intersection, s'arrête.
Éléments explicatifs	Conducteur A : faible niveau d'attention
	Conducteur B : sentiment prioritaire
Recommandations	Ce cas d'accident est évitable avec un AEB 2RM (équipé sur la voiture).

3.1.3 Scénario 308 (1 cas)

<p>308</p> 	<p>Accident en intersection ; les 2 véhicules provenant de la même direction, dont le</p> <p>Véhicule le plus à droite décide de tourner à gauche coupant la route de l'autre.</p> <p>A – Véhicule supposé automatisé B – 2RM</p>
<p>Circonstances de l'accident</p>	<p>L'accident a lieu en intersection en T et implique un véhicule léger A et une motocyclette B. Les deux véhicules circulent sur une route départementale, chaussée bidirectionnelle, dans la même direction. Le jour de l'accident la circulation était dense. Le conducteur A en approche d'une intersection, tourne à gauche pour prendre un petit chemin. Au même moment le motocycliste B circule en remontant le file au-delà de la ligne continue. Il vient alors percuter A au niveau de la roue arrière gauche.</p>
<p>Plan</p>	 <ul style="list-style-type: none">  Direction de VA.  Direction VB.  Zone de choc entre VA et VB.  Position finale de VA.  Position finale du motocycliste.  Position finale de la moto. 
<p>Conditions météorologiques</p>	<p>Clair, normal, nuit sans éclairage public</p>
<p>Type de route</p>	<p>Route départementale, vitesse maximale autorisée est de 90 km/h</p>
<p>Caractéristique de la chaussée</p>	<p>Pas de dégradation, bonne, pas de déformation, chaussée sèche</p>

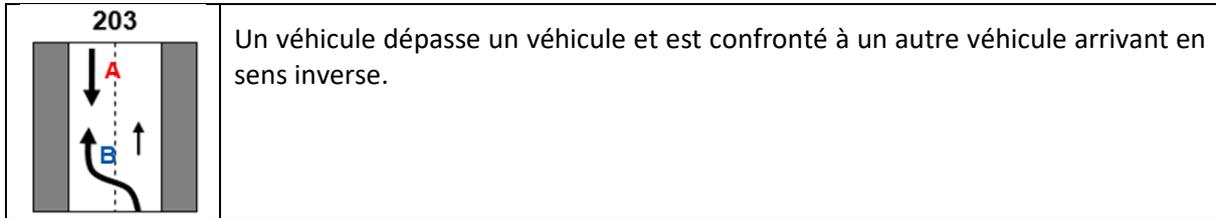
Analyse/ Simulation du cas	Véhicule A Vitesse de roulage pour le A : 16 km/h	
	Motocyclette B Vitesse de roulage pour le B : 46 km/h Vitesse au choc : 38 km/h	
Simulation de la détection	 <p>Tout au long de la phase de pré-collision, le 2RM n'est pas à l'intérieur du cône de détection. L'AEB 2RM à l'état n'est pas en mesure d'éviter cet accident.</p>	
Impliqués	Conducteur A : Homme, 41 ans, indemne	
	Conducteur B : Homme, 22 ans, blessé léger	
Défaillance fonctionnelle	Conducteur A : détection ; saisie d'information sommaire et/ou précipitée	
	Conducteur B : pronostic ; attente par défaut d'absence de manœuvre de la part d'autrui	

<p>Eléments explicatifs</p>	<p>Conducteur A : conditions internes à la réalisation de la tâche</p> <p>Conducteur B : une conduite à risque</p>
<p>Recommandations</p>	<p>On simule la détection en dupliquant le même système de détection à l'arrière.</p> 

A T=-1s le 2RM est détectable.								
Ci-dessous la position et vitesse à t= -1s :								
	T	COG_ X	COG_ Y	COG_ Z	Tangage	Roulis	Lacet	Vitesse (km/h)
Déclenchement de AEB pour éviter l'accident	-1	23,7	-20	0,500	0	0	-156	15
Ce cas d'accident est évitable avec un système de détection dupliquer à l'arrière.								

3.2 Conduite naturelle

3.2.1 Scénario 203 (2 cas)



3.2.1.1 Cas 1

Description du cas

La situation de conduite est illustrée par la trajectoire sur fond de carte satellite (Figure 6) et quelques images extraites de la vidéo autour de la situation d'interaction (Figure 7). Le 2RM double une file de véhicules arrêtés à un feu à une intersection. En face un VL démarre au feu en amont de la même intersection. Arrivés dans l'intersection, les véhicules se retrouvent face à face et le motard se rabat rapidement pour permettre le croisement. Le VL n'a pas eu de réaction particulière, sauf peut-être ralentir son démarrage.



Figure 6 - Trajectoire du 2RM dans l'incident DYMOA en vue satellite Google Earth





Figure 7 - Quelques instants issus de la vidéo illustrant l'interaction

La vitesse et l'accélération longitudinale mesurées sont présentées à la Figure 8. La situation d'interaction est située entre 15 et 25s. Cet enregistrement a été déclenché par un incident en freinage qui a lieu plus tard, vers 31.5s, et qui n'est pas lié à l'interaction étudiée.

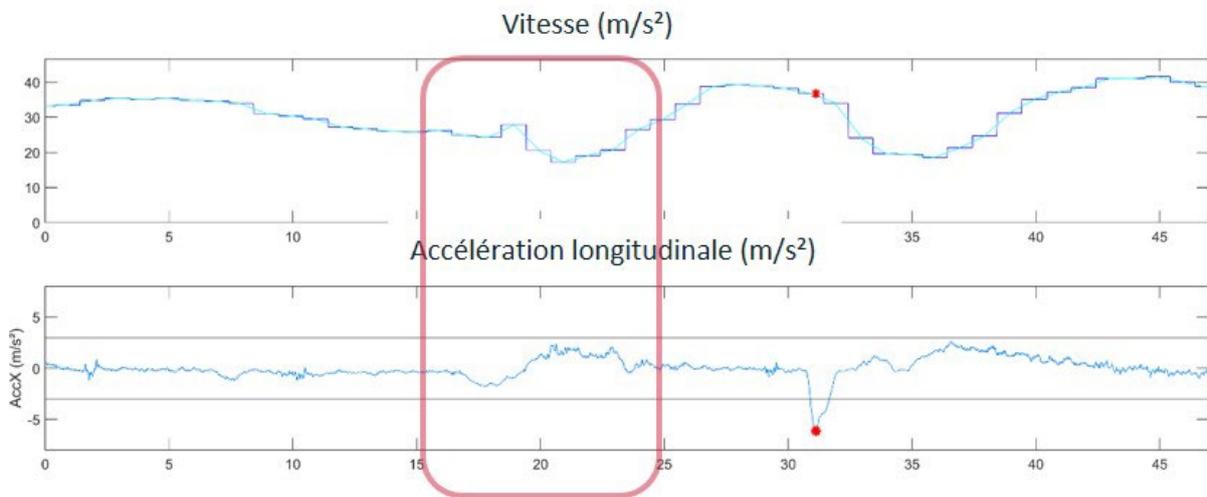


Figure 8 - Vitesse et Accélération longitudinale EMMAPhone du 2RM

Simulation du cas

L'utilisation des données cinétiques du 2RM et l'analyse de la vidéo ont permis de valider, parmi plusieurs hypothèses de démarrage du VL arrêté au feu, le scénario le plus probable, et de simuler la situation complète d'interaction. La Figure 9 illustrent cette simulation par des arrêts sur image aux instants clés.





Figure 9 - Evolution des véhicules en simulation

Simulation de la détection

La simulation a été rejouée avec un cône de détection modélisant un système du VL transformé en EGO. Les mêmes instants sont illustrés à la Figure 10.

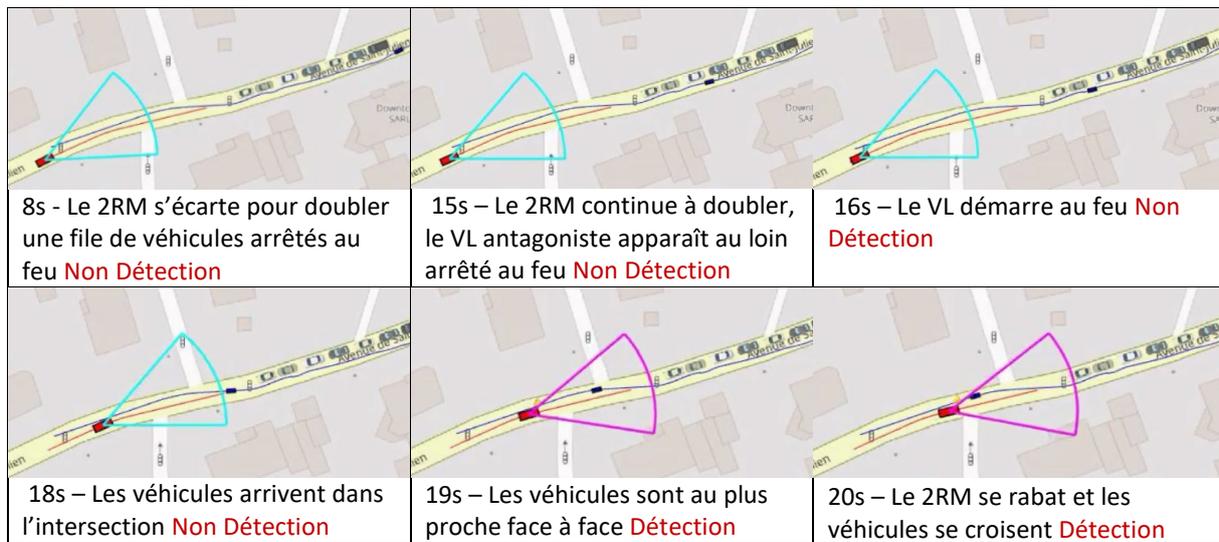


Figure 10 - Simulation de la détection par l'EGO

L'évolution spatiotemporelle des deux véhicules au cours des 4 dernières secondes avant l'interaction et une seconde après est donnée à la Figure 11. Le 2RM est détecté environ 1.7s avant que les véhicules ne soient les plus proches.

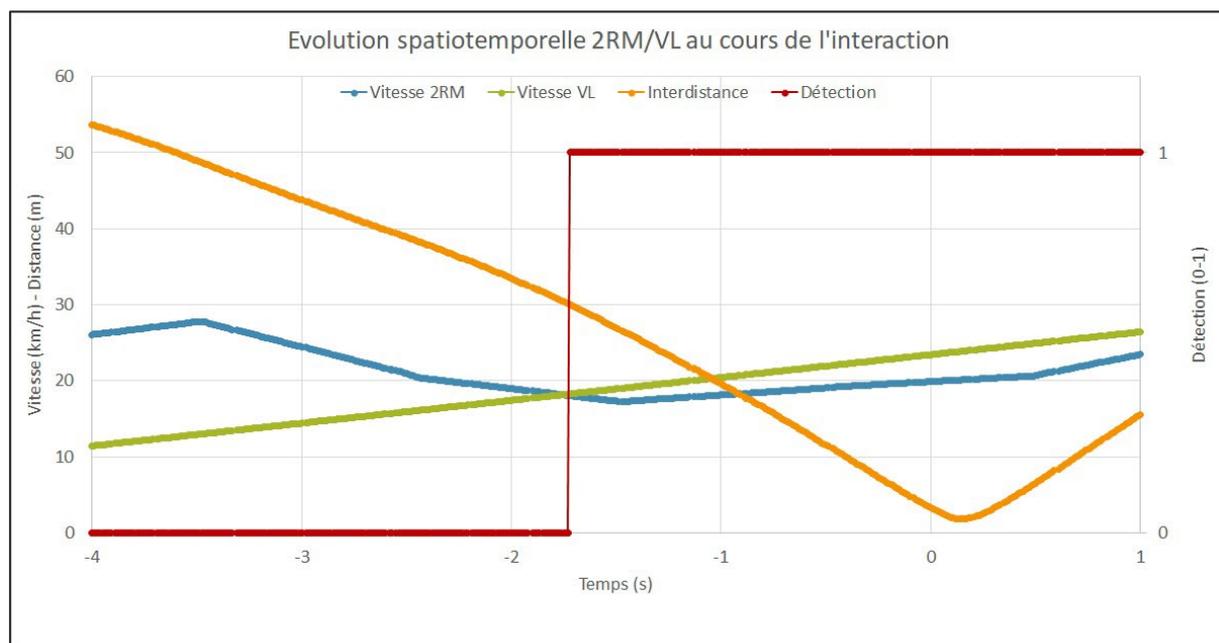


Figure 11 - Résultats de la simulation et de la détection

Recommandations

Dans cette situation l'EGO n'a rien à faire, le motocycliste gère l'interaction à lui tout seul.

3.2.1.2 Cas 2

Description du cas

Le 2RM sort d'un rond-point, double des VL et se retrouve en face d'un VL alors qu'il n'a pas fini de doubler. Le VL antagoniste fait des appels de phares, se serre vers l'accotement et ralentit pour permettre le croisement. Le motocycliste est encore au milieu de la route quand ils se croisent, car il s'apprête à doubler une camionnette. Sa trajectoire (Figure 12) et des images extraites de la vidéo illustrent les instants clés de l'interaction (Figure 13).



Figure 12 - Trajectoire du 2RM dans l'incident DYMOA en vue satellite Google Earth

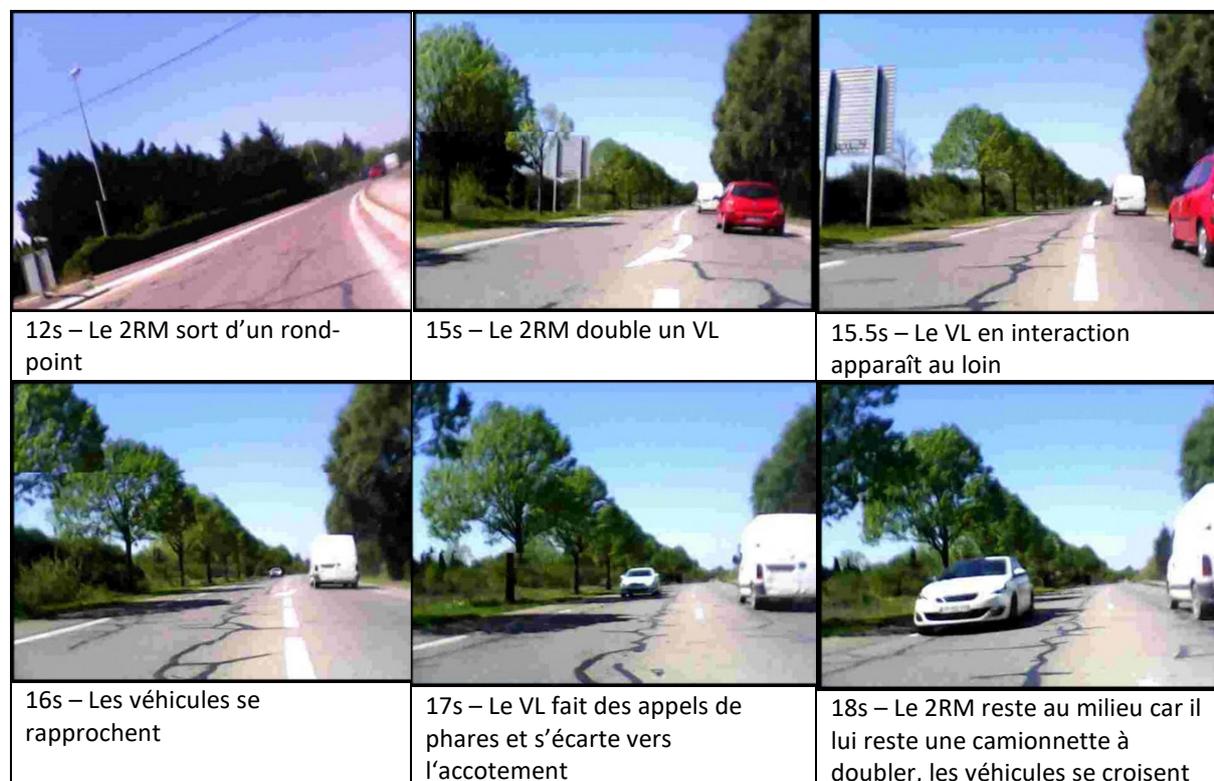


Figure 13 - Images extraites de la vidéo illustrant l'interaction

La vitesse et l'accélération longitudinale mesurées sont présentées à la Figure 14. La situation d'interaction est située entre 12 et 20s. Cet enregistrement a été déclenché par un incident en freinage qui a lieu plus tard, vers 31s. Au plus fort de l'interaction avec le VL qui arrive en face, vers 17-18s, le motocycliste a freiné modérément comme l'indique un pic d'accélération longitudinale négative proche de -4 m/s^2 .

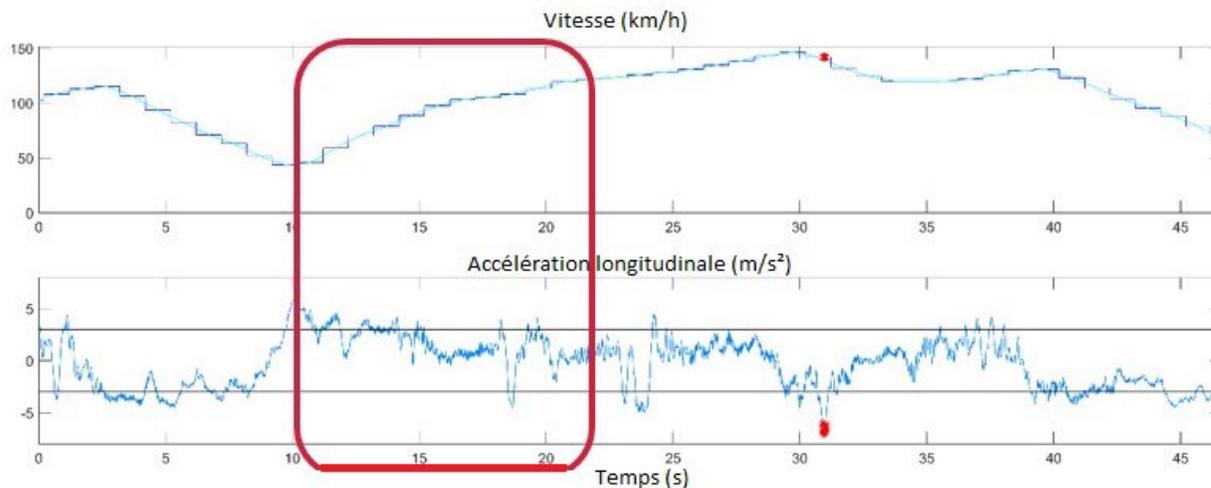


Figure 14 - Vitesse et Accélération longitudinale EMMAPhone du 2RM

Simulation du cas

L'utilisation des données cinétiques du 2RM et l'analyse de la vidéo ont permis de valider, parmi plusieurs hypothèses de vitesse d'approche et de décélération du VL antagoniste, le scénario le plus probable et de simuler la situation complète d'interaction. La Figure 15 illustre cette simulation par des arrêts sur image aux mêmes instants clés.

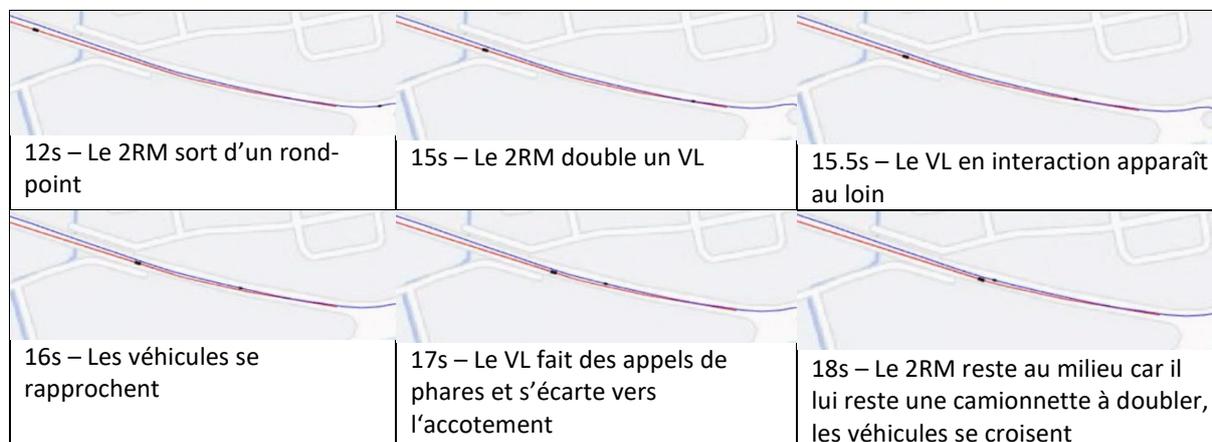


Figure 15 - Evolution des véhicules en simulation

Simulation de la détection

La simulation a été rejouée avec un cône de détection à l'avant du VL. Le 2RM est détecté tardivement compte tenu des vitesses importantes, notamment celle du 2RM (Figure 16).

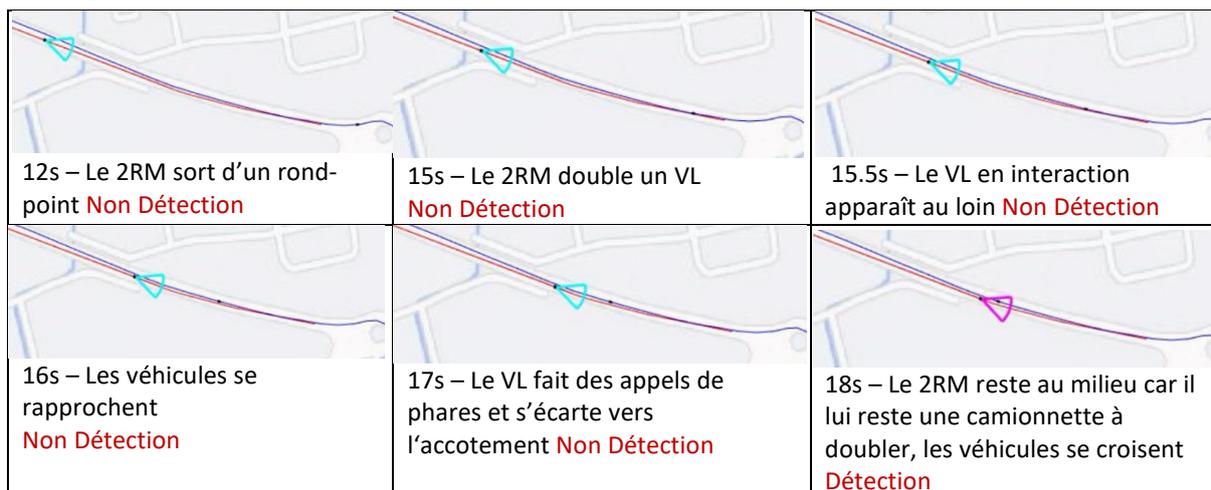


Figure 16 - Simulation de la détection par l'EGO

L'évolution spatiotemporelle des deux véhicules au cours des 4 dernières secondes avant l'interaction et une seconde après est donnée à la Figure 17. Le 2RM est détecté seulement 0.7s avant l'interaction rapprochée.

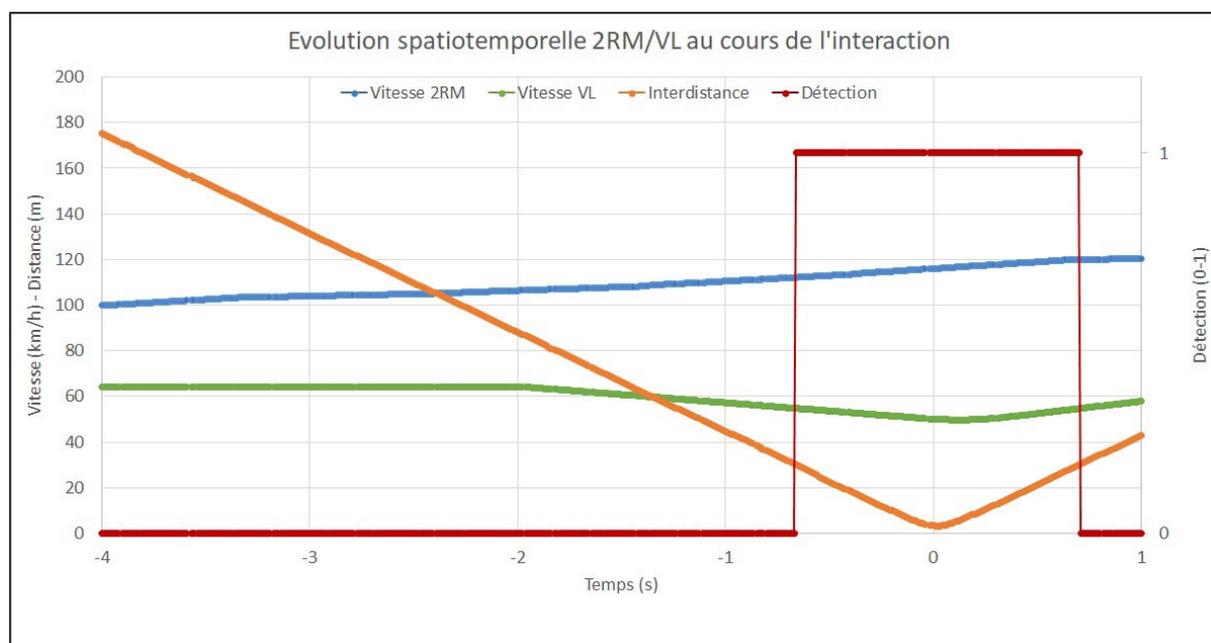
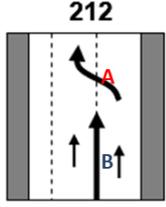


Figure 17 - Résultats de la simulation et de la détection

Recommandations

L'EGO devrait probablement ralentir et se serrer sur sa droite par précaution, voire également alerter le motocycliste par des appels de phare, ce qui pose le problème de la détection à distance.

3.2.2 Scénario 212 (1 cas)

	<p>Un véhicule remonte les files et est confronté à un véhicule qui change de voie vers la gauche.</p>
---	--

Description du cas

Le 2RM est arrêté à un feu, en milieu urbain dense. Il démarre, remonte une file de véhicule à faible vitesse, en approche d'une intersection régie par des feux. Le 2RM veut dépasser un VL mais celui-ci a mis son clignotant gauche. Il attend qu'il effectue son changement de voie et passe sur sa voie et il le dépasse alors par la droite. Sa trajectoire (Figure 18) et des images extraites de la vidéo illustrent les instants clés de l'interaction (Figure 19).

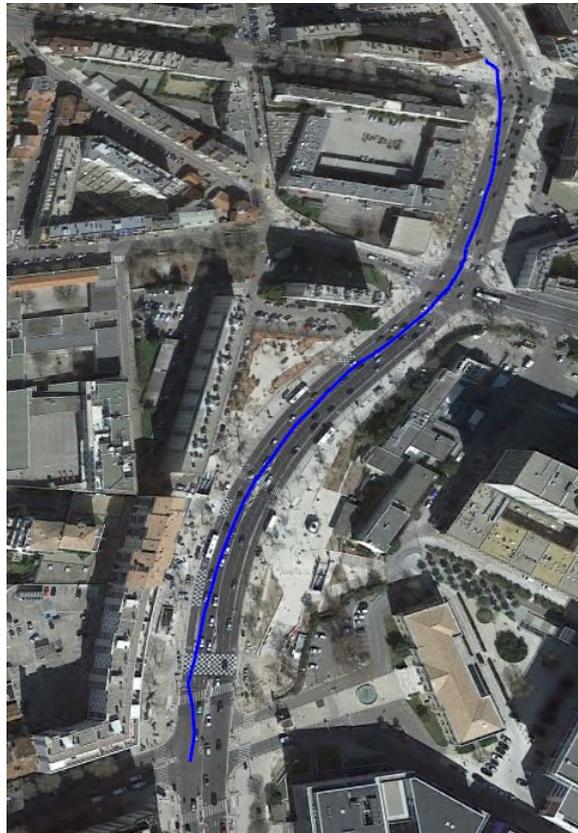


Figure 18 - Trajectoire du 2RM dans l'incident DYMOA en vue satellite Google Earth





Figure 19 - Images extraites de la vidéo illustrant l'interaction

La vitesse et l'accélération longitudinale mesurées sont présentées à la Figure 20. La situation d'interaction est située entre 16 et 28s. Cet enregistrement a été déclenché par un passage dans une zone d'intérêt qui se situe juste après le lieu de l'interaction. Le motocycliste freine modérément vers 20s, avec une décélération maximale de -3 m/s^2 . Sa vitesse est réduite de 38 km/h à 20 km/h, puis il réaccélère.

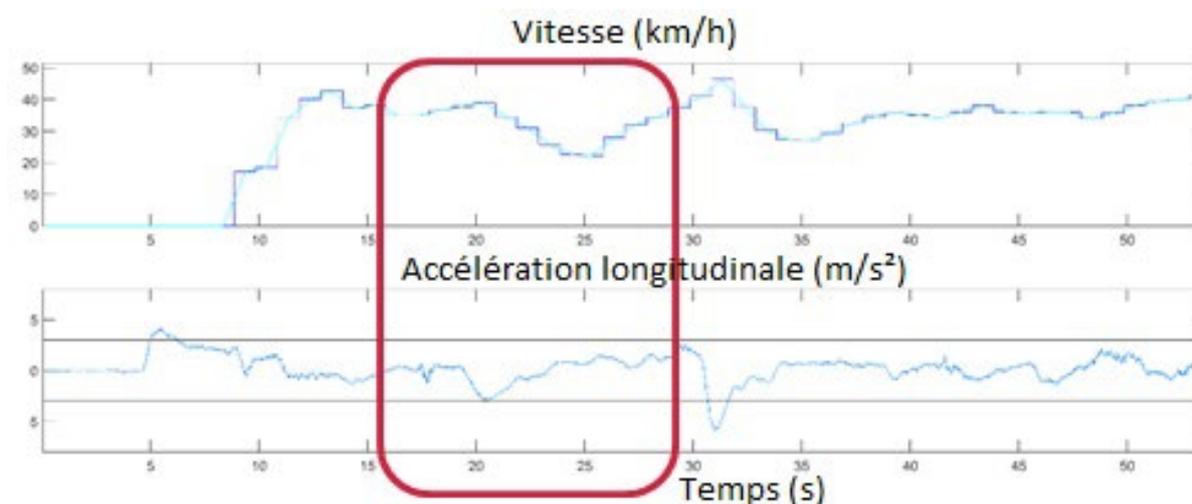


Figure 20 - Vitesse et Accélération longitudinale EMMAPhone du 2RM

Simulation du cas

L'utilisation des données cinétiques du 2RM et l'analyse de la vidéo ont permis de valider, parmi plusieurs hypothèses de trajectoire, de vitesse d'évolution et de décélération du VL antagoniste, le scénario le plus probable et de simuler la situation complète d'interaction. La Figure 21 illustre cette simulation par des arrêts sur image aux mêmes instants clés.



Figure 21 - Evolution des véhicules en simulation

Simulation de la détection

La simulation a été rejouée avec deux cônes de détection à l'avant et à l'arrière du VL, puisque le 2RM arrive derrière le VL et sa manœuvre de remontée de file ne peut être détectée que derrière (Figure 22). Le 2RM est détecté assez tôt, puisque les deux véhicules restent l'un derrière l'autre longtemps, le motocycliste attendant que le VL effectue sa manœuvre pour le doubler.



Figure 22 - Simulation de la détection par l'EGO

L'évolution spatiotemporelle des deux véhicules au cours des 10 dernières secondes avant l'interaction et une seconde après est donnée à la Figure 23. Le 2RM est détecté par le cône arrière très tôt, 7.5s avant l'instant de l'interaction maximale, et jusqu'à -1.5s. Il n'est plus détecté lorsqu'il se rapproche tellement qu'il n'est plus dans le cône. Il est de nouveau détecté au cours de la manœuvre de changement de voie du VL et de son dépassement par la droite.

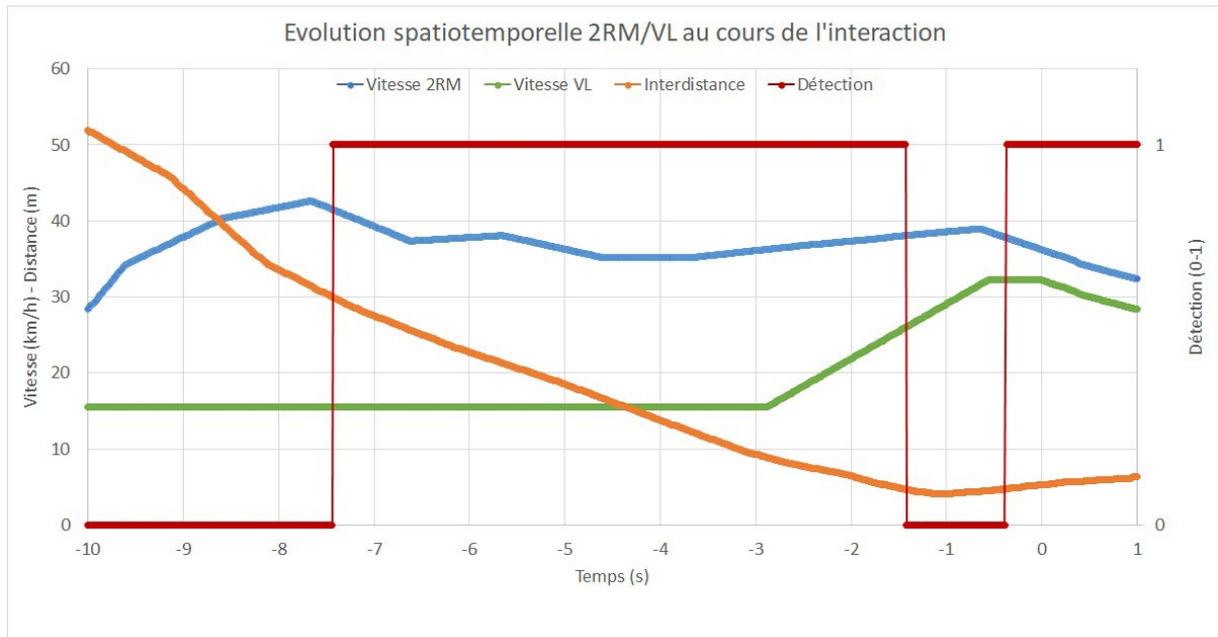


Figure 23 - Résultats de la simulation et de la détection

Recommandations

Cette situation d'interaction est assez complexe. Le conducteur du VL a peut-être retardé son changement de voie pour être sûr que le motocycliste avait bien pris en compte sa volonté et ne poursuivait pas sa remontée de file. La détection de la présence du 2RM à l'arrière ne suffit pas pour décider de ne pas engager un changement de voie.

4 SYNTHÈSE

A partir de la base de données EDA-LAB de 2005 à 2019, la simulation numérique des cas étudiés a été faite avec le logiciel Pc-Crash. Puis, les accidents simulés ont été rejoués avec des paramètres d'un système de détection (d'un 2RM) et de freinage automatique d'urgence - Automated Emergency Braking (AEB). Dans ce livrable cinq accidents associés aux 3 scénarios suivants ont été illustrés :

- Accident en intersection ; les 2 véhicules (VA et 2RM) allant tout droit et provenant de directions perpendiculaires. Un des cas d'accident pourrait être évitable avec un AEB 2RM (équipé sur la voiture). Le deuxième cas pourrait être évité soit en empêchant le véhicule de redémarrer au stop, soit en mettant un système d'alerte avertissant le conducteur de la présence d'un 2RM dès lors que celui-ci est détecté ou soit en dupliquant le système de détection à l'arrière pour avoir une couverture 360°.
- Accident en intersection ; les 2 véhicules provenant de directions opposées, dont le 2RM allant tout droit et le VA tournant à gauche. Les deux cas d'accident seraient évitables avec un AEB 2RM (équipé sur la voiture).
- Accident en intersection ; les 2 véhicules provenant de la même direction, dont le VA le plus à droite décide de tourner à gauche coupant la route du 2RM. Ce cas d'accident serait évitable avec un système de détection dupliqué à l'arrière du VA.

La base de données DYMOA a été exploitée grâce à une extraction de configurations mettant en jeu des conflits d'usagers. La première étape a consisté à reconstruire la situation d'interaction entre le 2RM dont on a les données réelles et le VL en interaction. Puis, la situation d'interaction reconstituée est rejouée avec un cône de détection à l'avant du VL, et éventuellement un à l'arrière. Ces cônes de détection modélisent des caméras classiques. Dans ce livrable trois situations associées aux 2 scénarios suivants ont été illustrés :

- Un 2RM dépasse un véhicule et est confronté à un autre véhicule arrivant en sens inverse : dans ce cas, le VA devrait probablement ralentir et se serrer sur sa droite par précaution, voire également alerter le motocycliste par des appels de phare, ce qui pose le problème de la détection à distance.
- Un 2RM remonte les files et est confronté à un véhicule qui change de voie vers la gauche : Cette situation d'interaction est assez complexe. Le conducteur du VL a peut-être retardé son changement de voie pour être sûr que le motocycliste avait bien pris en compte sa volonté et ne poursuivait pas sa remontée de file. La détection de la présence du 2RM à l'arrière ne suffira donc pas pour décider de ne pas engager un changement de voie.