



expérimentations  
navettes autonomes

# Apport des Méthodes d'Analyse des risques et des Tests sur pistes dans la Sécurité des Véhicules autonomes

Ce projet a été financé par le Gouvernement dans le cadre du Programme d'investissements d'avenir désormais intégré à France 2030, et opéré par l'ADEME



Appel à projet EVRA Expérimentation du véhicule routier autonome  
Convention de contractualisation n° 1982C0050

Projet labélisé par



## **Information**

Livrable L5.1.2

Version 0.1 : Approuvée Copil ENA

Date : 30.04.2023

Niveau de diffusion : Confidentiel

## **Auteurs**

Elodie Chateauroux – Transpolis SAS

Hélène Tattegrain - Université Gustave Eiffel

## **Relecteurs**

Philippe Vezin – Université Gustave Eiffel

## **Coordinateur**

Philippe Vezin – Université Gustave Eiffel

Université Gustave Eiffel

Cité des mobilités - 25 av. François Mitterrand, Case 24

69675 Bron Cedex

France

Tel: +33 4 72 14 23 79

Email : [philippe.vezin@univ-eiffel.fr](mailto:philippe.vezin@univ-eiffel.fr)

[www.experimentations-navettes-autonomes.fr](http://www.experimentations-navettes-autonomes.fr)



## **Avertissement**

Les informations contenues dans ce document sont fournies « en l'état » et aucune garantie n'est donnée quant à leur adéquation à un usage particulier. Les membres du consortium ne seront pas responsables des dommages de toute nature, y compris, sans limitation, les dommages directs, spéciaux, indirects ou consécutifs qui peuvent résulter de l'utilisation de ces matériaux, sous réserve de toute responsabilité obligatoire en raison de la loi applicable. Bien que les efforts aient été coordonnés, les résultats ne reflètent pas nécessairement l'opinion de tous les membres du consortium ENA.

© 2020 Consortium ENA



## RESUME EXECUTIF

Ce livrable présente un retour d'expérience sur les activités des Tâches 3.1 « Méthodes d'analyse des parcours », et 3.2. « Tests sur pistes ».

Dans un premier temps, les avancées législatives qui ont eu lieu en parallèle du projet sont présentées. Le décret 2021-873 du 29 juin 2021 portant application de l'ordonnance n° 2021-443 du 14 avril 2021 relative au régime de responsabilité pénale applicable en cas de circulation d'un véhicule à délégation de conduite et à ses conditions d'utilisation et la réglementation européen 2022-1426 sur l'homologation des systèmes de conduite automatisée sont présentés. Les travaux d'ENA sont remis en perspective par rapport à ces nouveaux textes.

Un retour d'expérience sur les méthodes d'analyses de parcours SCAPENA et MISCENA est ensuite présenté. Beaucoup d'évènements qui avait été identifié lors des analyses de parcours ont été observés. Par contre, certains évènements n'ont pas été identifié au départ car la spécification des flux nominaux avait été sous-estimée. A contrario, sur Cœur de Brenne, ces flux ont été surestimé ce qui a entraîné l'identification d'évènements critiques qui n'ont pas été observés. Cela confirme l'importance de bien estimé ces flux nominaux. Le principal évènement qui a été omis est le dépassement dangereux. Le danger ne vient pas de la navette mais du comportement des autres usagers qui veulent doubler la navette et qui se mettent en danger vis-à-vis des autres usagers arrivant sur la voie opposée. De même des dépassements observés sur des intersections ou des passages piétons ont été assez critiques. Un autre problème est dans l'évaluation de la fréquence d'un évènement redouté qui peut dépendre des conditions de trafic et pas uniquement des flux nominaux. En effet, les usagers s'adaptent au contexte et ne prennent pas forcément les mêmes décisions à un endroit donné mais des décisions différentes suivant le risque estimé dépendant du trafic. Enfin, certains évènements ne sont pas critiques seuls mais leur combinaison peut être critique. Une dernière question concerne la répartition des évènements entre l'analyse de parcours et l'analyse préliminaire de risque qui doit être rediscutées avec tous les acteurs.

En termes de retour d'expérience sur le processus de traitement des scénarios critiques et de mise en œuvre des tests sur piste, l'approche méthodologique de traitement des scénarios pour leur déploiement optimal est présentée. un rappel est fait sur les difficultés à formuler des conclusions de sécurité nettes au sujet des performances de la navette. L'emploi des tests sur piste est remis en perspective vis-à-vis des nouveaux textes réglementaires. Les scénarios d'incidents relevés sur les parcours de CASA et de Cœur de Brenne sont ensuite comparés aux résultats des tests sur pistes. Dans le cas de l'expérimentation de CASA, tous les scénarios testés sur pistes ont été observés et les performances de la navette se sont confirmées. Une fois de plus, le différentiel de vitesse entre la navette et les autres usagers à fait apparaître des comportements dangereux des autres usagers comme le scénario où un véhicule léger vient se rabattre très proche devant la navette. Cependant tous les risques et la complexité des comportements humains sont difficilement testables sur piste. Par exemple, des véhicules légers ou 2RM doublant la navette alors qu'un véhicule arrive face à eux en contre sens ont souvent été observés.

En dernière partie des améliorations sont proposées pour améliorer les méthodes d'analyse de parcours ou les méthodes de validation soit sur piste soit sur simulation.



# TABLES DES MATIERES

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1.    | INTRODUCTION .....  | 1  |
| 2.    | ENA DANS LE CONTEXTE REGLEMENTAIRE ET TECHNIQUE DE 2023 .....   | 3  |
| 2.1   | RETOUR SUR LE DEBUT D'ENA.....  | 3  |
| 2.2   | CADRE REGLEMENTAIRE ET METHODOLOGIQUE FRANÇAIS .....  | 4  |
| 2.2.1 | Cadre réglementaire Français .....  | 4  |
| 2.2.2 | Cadre méthodologique Français .....   | 7  |
| 2.3   | REGLEMENTS D'HOMOLOGATION DES NAVETTES AUTONOMES .....  | 8  |
| 3.    | RETOUR D'EXPERIENCE SUR LES ANALYSES DES RISQUES.....   | 15 |
| 3.1   | RAPPEL DES SCENARIOS IDENTIFIES PAR LA METHODE SCAPENA POUR CASA .....                                    | 16 |
| 3.2   | RAPPEL DES SCENARIOS IDENTIFIES PAR LA METHODE MISENA POUR CASA .....                                     | 22 |
| 3.3   | RAPPEL DES SCENARIOS IDENTIFIES POUR LES DEUX METHODES POUR CŒUR DE BRENNÉ .....                          | 26 |
| 4.    | RETOUR D'EXPERIENCE SUR LES TESTS SUR PISTES.....   | 31 |
| 4.1   | RETOUR D'EXPERIENCE SUR LE PROCESSUS DE MISE EN ŒUVRE DES SCENARIOS .....                                 | 31 |
| 4.1.1 | Les données d'entrée .....  | 31 |
| 4.1.2 | Protocoles d'essais .....   | 33 |
| 4.1.3 | Préparation des essais .....  | 34 |
| 4.1.4 | Campagne d'essais.....  | 34 |
| 4.1.5 | Traitement des données .....  | 34 |
| 4.2   | RETOUR D'EXPERIENCE SUR LA CONSIDERATION DES SCENARIOS ET DES RESULTATS.....                              | 35 |
| 4.2.1 | Scénario critiques vs scénarios de test .....   | 35 |
| 4.2.2 | Essais exploratoires ou validation du déploiement.....  | 35 |
| 4.2.3 | Les conclusions en termes de sécurité .....   | 35 |
| 4.3   | COMPARAISON ENTRE L'USAGE DES TESTS SUR PISTE DANS LE CADRE D'ENA ET LE CADRE REGLEMENTAIRE EN 2023 ..... | 36 |
| 5.    | LIENS ENTRE INCIDENTS CONSTATES, ANALYSES DE RISQUES ET TESTS SUR PISTES.....                             | 37 |
| 5.1.  | PRINCIPE DE TRAVAIL .....   | 37 |
| 5.2.  | INCIDENTS RELEVES SUR LE PARCOURS DE CASA VS ANALYSES DE PARCOURS SCAPENA .....                           | 37 |
| 5.3.  | INCIDENTS RELEVES SUR LE PARCOURS DE CASA VS ANALYSES DE PARCOURS MISENA.....                             | 44 |
| 5.4.  | INCIDENTS RELEVES SUR LE PARCOURS DE CŒUR DE BRENNÉ VS ANALYSES DE PARCOURS SCAPENA .                     | 50 |
| 5.5.  | SYNTHESE SUR LES INCIDENTS PARCOURS VS ANALYSE DE PARCOURS .....  | 52 |
| 5.6.  | RAPPEL DES SCENARIOS DE TESTS DU PARCOURS DE CASA .....   | 53 |
| 5.7.  | INCIDENTS RELEVES SUR LE PARCOURS DE CASA VS SCENARIOS DE TEST .....                                      | 56 |
| 5.8.  | SYNTHESE SUR INCIDENTS PARCOURS VS SCENARIOS DE TEST POUR LE PARCOURS DE CASA .....                       | 59 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 5.9.  | RAPPEL DES SCENARIOS DE TESTS DU PARCOURS DE CŒUR DE BRENNE .....              | 59 |
| 5.10. | INCIDENTS RELEVES SUR LE PARCOURS DE CŒUR DE BRENNE VS SCENARIOS DE TEST ..... | 60 |
| 6.    | PISTES D'AMELIORATION POUR LES ANALYSES DE PARCOURS.....                       | 63 |
| 6.1   | UNE METHODE GLOBALE POUR LA FILIERE .....                                      | 63 |
| 6.2   | AMELIORATION DES METHODES D'ANALYSE DES PARCOURS .....                         | 63 |
| 6.3   | PRISE EN COMPTE DE LA GEOMETRIE DES INTERSECTIONS.....                         | 64 |
| 6.4   | JUMEAU NUMERIQUE ET SIMULATION .....   | 64 |
| 7.    | CONCLUSION .....   | 65 |
| 8.    | REFERENCES .....   | 67 |

# 1. INTRODUCTION

Dans le cadre du projet EVRA ENA (Expérimentation Navettes Autonomes), la Tâche 5.1 « Retour d'expérience sécurité » du Lot 5 « Impact et retour d'expérience » est dédiée au retour d'expérience du projet en termes de sécurité.

Ce livrable doit s'attacher à analyser les travaux du Lot 3 « Evaluations sur pistes » et notamment les analyses des risques et les analyses de parcours ainsi de l'usage des tests sur pistes. Il doit également s'articuler avec les analyses des incidents (Livrable L5.1.1).

D'autre part, depuis le lancement du projet en 2019, le sujet de la sécurité des véhicules autonomes a beaucoup évolué. Il a notamment beaucoup avancé sur le plan réglementaire. Il apparaît important de dresser un panorama des travaux réglementaires et techniques à date de 2023 dans le but d'y situer la contribution des travaux du projet ENA. Ce sujet fera l'objet du 1<sup>e</sup> chapitre de ce document.

Le second chapitre prendra en compte ce panorama et s'attachera à faire un retour d'expérience sur les analyses de risques et analyses des parcours définis dans le cadre du livrable L3.1.1 « Guide méthodologique d'identification des scénarios critiques ».

Dans un troisième chapitre, un retour d'expérience sur les tests sur pistes sera dressé. Les résultats et la démarche seront placés dans le contexte actuel.

Enfin, le 4<sup>e</sup> chapitre s'intéressera aux liens entre analyses de risques, tests sur pistes et incidents rencontrés lors des expérimentations sur les territoires.

Pour terminer, des pistes d'amélioration de tout ce processus seront explorées.



## 2. ENA DANS LE CONTEXTE REGLEMENTAIRE ET TECHNIQUE DE 2023

### 2.1 RETOUR SUR LE DEBUT D'ENA

L'appel à projet EVRA s'intègre dans la stratégie nationale de développement de la mobilité routière automatisée. Dès 2018, les expérimentations de véhicule autonome sur la voie publique ont été possible grâce à l'ordonnance n° 2016-1057 du 3 août 2016 relative à l'expérimentation de véhicules à délégation de conduite sur les voies publiques [1], au décret n° 2018-211 du 28 mars 2018 relatif à l'expérimentation de véhicules à délégation de conduite sur les voies publiques [2] puis modifié par le Décret n° 2020-1495 du 2 décembre 2020 [3] et à l'Arrêté du 17 avril 2018 relatif à l'expérimentation de véhicules à délégation de conduite sur les voies publiques [4].

Ces textes réglementaires autorisent des déploiements de services de transports de personnes ou de marchandises, à base de véhicule à délégation de conduite sur des parcours prédéfinis, avec un chauffeur de sécurité à bord et pour une durée limitée. Les dossiers de demande d'autorisation sont à adresser au ministre chargé des transports et au ministre de l'Intérieur. Ce dossier contient un descriptif du fonctionnement du véhicule et des modalités du parcours prévu inclus dans le questionnaire de l'annexe 1 de l'Arrêté du 17 avril 2018 [3]. A noter que de 2018 à 2022, aucun texte de type homologation ou cadre réglementaire ne définissait comment valider un véhicule autonome sur un parcours. Cependant, la présence d'un conducteur à bord permettait d'assurer la sécurité des déploiements. Ce qui peut affranchir le concepteur du système de transport et l'exploitant d'un dossier de conception et de validation très lourd à produire en l'absence de cadre réglementaire.

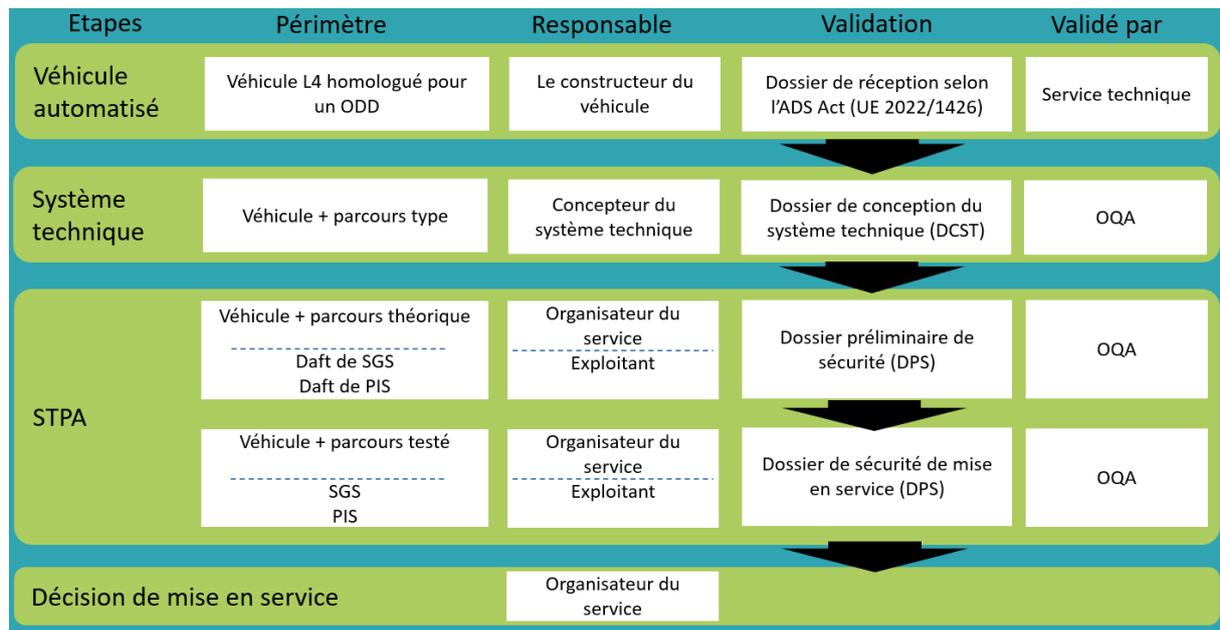
Dans le cadre du projet ENA, à son démarrage, un axe de travail important a été choisi, celui des analyses de sécurité des parcours. Elles font l'objet notamment du guide L3.1.1. Ces travaux s'inscrivent dans la continuité de ceux de la task force mise en place par la DGITM destinée à identifier les enjeux liés à l'évolution de la réglementation technique des véhicules. Un premier livrable sur les analyses de sécurité des parcours a notamment été publié en 2020 [4]. A noter que ces travaux se poursuivent, notamment au niveau du STRMTG qui doit organiser un groupe de travail avec l'objectif de publier un guide sur les analyses de sécurité des parcours fin 2022.

Le principe de base qui a motivé les travaux d'ENA est de considérer qu'en analysant le parcours où sera déployée la navette, il est possible grâce à des analyses de risque et une expertise sur les comportements des usagers de prédire des scénarios. Ces scénarios ont une criticité, c'est-à-dire une dangerosité qui doit être évaluée dans le but de sélectionner les scénarios les plus critiques. Ces scénarios les plus critiques sont ensuite à mettre en œuvre en situation contrôlée sur piste dans le but de s'assurer du bon comportement sécuritaire de la navette. La mise en œuvre des scénarios critiques sur les pistes fait l'objet du Lot 3.2.

## 2.2 CADRE REGLEMENTAIRE ET METHODOLOGIQUE FRANÇAIS

### 2.2.1 Cadre réglementaire Français

Le décret n°2021-873 du 29 juin 2021 [5] est un texte fondamental pour le développement des véhicules automatisés en France. En effet, ce texte de loi fixe les responsabilités pénales en cas de circulation d'un véhicule à délégation de conduite et à ses conditions d'utilisation. Il définit également les étapes et responsabilités pour la production des démonstrations de sécurité qui permettront qu'un système de transport routier automatisé (STRA) soit autorisé à opérer. La Figure 1 présente ces différentes.



**FIGURE 1 : ETAPES DES DEMONSTRATIONS DE SECURITE NECESSAIRES POUR LA MISE EN SERVICE D'UN STRA SELON LA DECRET N°2021 – 873 [6] ET LES FUTURS REFERENTIELS DE LA DGITM**

#### L'homologation du véhicule

Cette 1<sup>e</sup> étape ne figure pas dans le décret à proprement parler comme une étape. Cependant, la preuve de la réception du véhicule est un élément devant figurer dans le dossier de conception du système technique (étape suivante)

De plus, les prescriptions des groupes de travail de la DGITM considèrent bien l'homologation du véhicule et de son système d'automatisation comme la 1<sup>e</sup> étape du processus de démonstration de la sécurité d'un STRA. La réglementation EU 2022 1426 aussi appelé ADS act [7] a été publiée en aout 2022. Elle permet maintenant d'homologuer des systèmes de conduite automatisés selon un processus complet. Ce véhicule autonome est homologué pour effectuer des tâches de conduite automatisée en toute sécurité à l'intérieur de son domaine opérationnel de conception (Operational Design Domain / ODD). Le paragraphe 2.3 présente en détail ce texte.

Une homologation, aussi appelée réception, est une validation officielle des exigences imposées dans une réglementation. Elle est demandée par le constructeur du véhicule qui en est le responsable. Elle est menée par un laboratoire accrédité dénommé service technique pour le compte d'une autorité compétente en matière de réception qui est rattachée à un pays de l'union européenne. En France, l'autorité compétente est le Centre National de Réception des Véhicules (CNRV) et le principal service technique est l'UTAC. D'autres services techniques sont en cours de nomination.

## Définition d'un système technique et Dossier de Conception du Système Technique

A cette étape, le principe est de valider un projet de système de transport autonome qui est composé de briques techniques décrites dans un dossier (DCST) : véhicule homologué, de parcours et zones de déploiement types et futures règles de gestion de la sécurité comme les manœuvres à risque minimal, principes de supervision et d'intervention à distance, exigences déportées vers l'infrastructure, la maintenance du véhicule, etc.

Le DCST présente également tous les tests déjà effectués notamment pour montrer l'adéquation entre les capacités du véhicule et le type de parcours visés.

Par la suite, ce système technique pourra être déployé et opéré sur plusieurs parcours divers dans différents réseaux de transport en commun. Pour cela, les étapes suivantes du processus de démonstration de la sécurité devront être appliquées parcours par parcours ou déploiement par déploiement.

Le responsable de cette étape est le concepteur du système technique et le DCST doit être validé par un ou plusieurs Organismes Qualifiés Agréés (OQA).

## Définition des Organismes Qualifiés Agréés dans le domaine des STRA

Des OQA existent déjà pour valider la sécurité des transports guidés (Tramway). Le décret n°2021-873 du 29 juin 2021 [5] instaure la création de nouveaux types d'OQA pour le domaine des STRA. Le décret les définit comme « des organismes agréés pour procéder à l'évaluation de la sécurité de la conception, de la réalisation et de l'exploitation des systèmes de transport routiers automatisés ».

Les OQA mènent des missions d'expertise au sujet de la sécurité du STRA en second regard pour évaluer / valider les DCST, Dossiers Préliminaires de sécurité (DPS), les demande d'autorisation d'essais de circulation en délégation de conduite, les Dossiers de Sécurité (DS), les rapports d'audits annuels (OQA domaine 6 – voir liste ci-après). Le préfet peut également demander un diagnostic de la sécurité d'un STRA à un OQA. Un OQA peut aussi être mandaté par l'exploitant pour analyser les circonstances d'un accident survenu sur un STRA.

Les agréments sont délivrés par le Service Technique des Remontées Mécaniques et Transports Guidés (STRMTG) pour un ou plusieurs des domaines suivants:

1. Sûreté de fonctionnement des systèmes embarqués ;
2. Sûreté de fonctionnement des équipements de connectivité ou de positionnement ;
3. Cyber sécurité ;
4. Sécurité des infrastructures et des équipements de la route ;
5. Sécurité du comportement routier des véhicules ;
6. Systèmes de gestion de la sécurité en exploitation ;
7. Evaluation globale de la sécurité des systèmes.

L'arrêté du 2 août 2022 [8] spécifie la procédure d'agrément des OQA et l'arrêté du 5 août 2022 [9] définit le contenu des avis rendus par les OQA.

Le *Guide d'application relatif à la mission de l'organisme qualifié agréé pour l'évaluation de la sécurité et pour l'audit de sécurité en exploitation des STRA* [9] est publié sur le site du STRMTG. Ce document décrit toutes les missions attendues des OQA.

## Le Dossier préliminaire de sécurité

A partir d'un système technique validé par des OQA, un organisateur de service peut décider de déployer ce système sur un parcours ou une zone pour créer un nouveau service de transport. Il définit alors un dossier préliminaire de sécurité.

Ce dossier contient (extrait du décret [6]) :

1. Les parcours ou zones identifiés pour la circulation du système et en particulier les caractéristiques de référence de la voirie routière sur lesquelles est fondée l'évaluation de la sécurité ;
2. Les caractéristiques du service, notamment les points et les horaires de desserte le cas échéant ;
3. Le projet de système de gestion de la sécurité en exploitation, qui décrit :
  - a) Les règles d'exploitation et de maintenance ;
  - b) Les dispositifs permettant de contrôler le maintien du niveau de sécurité ;
  - c) Les spécifications pour l'exécution des tâches de sécurité ;
  - d) Les mesures en matière d'organisation du travail et de formation des personnels ;
4. Le cas échéant, les mesures particulières prises, en application de la réglementation en vigueur, pour assurer la sécurité des personnes à mobilité réduite ;
5. L'implantation prévue des installations techniques et de sécurité situées hors des véhicules, notamment en matière de signalisation, de connectivité, de localisation, d'intervention à distance ;
6. Les réponses aux exigences sur les installations techniques et de sécurité figurant dans le DCST (7o de l'article R. 3152-6 dans le décret [6]) ;
7. Le cas échéant, les aménagements des parcours ou des zones attendues pour atteindre les caractéristiques de référence de la voirie routière décrites au 1 et, lorsqu'elle est disponible, la programmation de ces aménagements par les autorités responsables de la voirie routière ;
8. Les caractéristiques et le niveau de service de la voirie routière, de ces aménagements et de ces installations techniques et de sécurité nécessaires à l'atteinte du niveau de sécurité défini aux articles R. 3152-2 à R. 3152-4 du décret [6] ;
9. Le programme d'essai et de tests ;
10. La démonstration de sécurité du dossier de conception du système technique complétée au vu :
  - a) Des risques de défaillance et de circulation spécifiques aux parcours ou zones ;
  - b) Des caractéristiques du service ;
  - c) De tout élément affectant significativement la sécurité, lorsque ces éléments ne sont pas pris en compte dans le dossier de conception du système technique.

L'organisateur du service est le responsable de ce dossier mais les parties concernant le système de gestion de la sécurité en exploitation est du ressort de l'exploitant.

Des OQA des 7 domaines doivent analyser le DPS pour en évaluer la complétude. Les OQA vont émettre un avis qui permettra à l'organisateur du service de commencer les travaux de déploiement et les essais sur sites. Ces travaux lui permettront de construire le dossier de sécurité de mise en exploitation.

Pour la réalisation des essais en délégation de conduite durant la phase de déploiement entre le DPS et le DS, un dossier préalable aux essais (DPE) doit être construit par l'organisateur du service et validé par un OQA du domaine 7. Le contenu de ce DPE est défini dans le guide de définition des missions des OQA [10].

## Le dossier de sécurité (DS) de mise en service

La constitution de ce dossier est toujours sous la responsabilité de l'organisateur du service.

Il doit contenir les éléments suivants (extrait du décret [5]) :

1. Intégrer les versions finales du système de gestion de la sécurité en exploitation, ainsi que des pièces du dossier préliminaire de sécurité ayant évolué ;
2. Vérifier la mise en œuvre effective des aménagements et installations techniques et de sécurité prévues dans le dossier préliminaire de sécurité ;
3. Le cas échéant, présenter les dispositions conventionnelles entre l'organisateur du service et les gestionnaires de voirie ou maîtres d'ouvrage, relativement à la connaissance, la gestion et la maintenance de la voirie ou des installations techniques et de sécurité prévues pendant l'exploitation du service ;
4. Présenter le compte-rendu des essais et tests réalisés ;
5. Mettre à jour et compléter si besoin la démonstration de la sécurité du dossier préliminaire au vu :
  - a) De la mise en œuvre effective des dispositions prévues dans le dossier préliminaire de sécurité ;
  - b) De toute modification affectant la sécurité intervenue depuis l'élaboration du dossier préliminaire de sécurité ;
  - c) Du résultat des tests et essais.

Des OQA des 7 domaines doivent analyser ce DS pour en évaluer la complétude et le valider en rendant un avis positif.

Suite à l'mission de cet avis, la décision de mise en service du STRA revient à la charge de l'organisateur du service.

### 2.2.2 Cadre méthodologique Français

Le Ministère de la Transition écologique Français a publié une première version de stratégie nationale de développement de la mobilité routière automatisée en 2018. Celle-ci fut mise à jour en 2020 [10] puis 2022 [11] . Dans le but de mettre en œuvre cette stratégie, des développements méthodologiques et législatifs sont gérés par le ministère. Tous les documents relatifs à ces travaux sont disponibles sur le site : <https://www.ecologie.gouv.fr/mobilite-routiere-automatisee-et-connectee>. Des documents sur les évaluations et démonstrations de la sécurité sont notamment accessibles dans la catégorie Cadre législatif et réglementaire de ce site internet. Les guides techniques du STRMTG y sont regroupés ainsi que des rapports méthodologiques mis au point durant des groupes de travail regroupant les acteurs de la filière.

## 2.3 REGLEMENTS D'HOMOLOGATION DES NAVETTES AUTONOMES

Depuis le début d'ENA, la réglementation a fortement progressé au sujet des validations de sécurité des véhicules automatisés. Tout d'abord, l'homologation des navettes de niveau 4 est rendue possible à l'échelle européenne par à l'ADS act [6], réglementation EU 2022/1426.

La réglementation européenne, couramment désignée sous les termes ADS act, [6] doit permettre l'homologation de véhicules automatisés de catégorie M1 ou N2. Le terme ADS désigne les systèmes de conduite automatisés. Trois cas d'usage sont envisagés :

- Les véhicules complètement autonomes, incluant des véhicules en mode double manuel/autonome, conçus pour le transport de passagers ou de marchandises sur des zones prédéfinies urbains ou suburbaines.
- Hub à hub : véhicules complètement autonomes, incluant des véhicules en mode double manuel /autonome, conçus pour le transport de passagers ou de marchandises sur un trajet prédéfini de bout en bout qui peut inclure des environnements urbains, suburbains ou autoroutiers.
- Valet de parking automatisé : des véhicules en mode double manuel/ autonome, complètement automatisés pour des applications de parking dans des installations de parking prédéfinies.

En conséquence, ce règlement s'appliquera pour homologuer les navettes autonomes de niveau 4.

L'annexe 2 de ce règlement donne les spécifications de performance de l'ADS en les classant dans 12 paragraphes :

1. Tâche dynamique de conduite (Dynamic Driving Task DDT en anglais) en condition nominales de trafic ;
2. DDT en condition critiques de trafic (opération/manœuvre d'urgence) ;
3. DDT aux limites de l'ODD (Operational design domaine / Domaine opérationnel pour lequel est conçu le système) ;
4. DDT dans des scénarios de dysfonctionnement ;
5. Manœuvre à risque minimal et condition à risque minimal ;
6. Interface homme machine pour des véhicules transportant des personnes ;
7. Sureté fonctionnelle et opérationnelle ;
8. Cyber sécurité et mises à jour des logiciels ;
9. Enregistrement de données de l'ADS et données spécifiques pour l'enregistreur d'événements ;
10. Conduite en mode manuel ;
11. Manuel d'utilisation ;
12. Dispositions pour les tests des contrôles techniques périodiques.

Les travaux d'ENA et plus particulièrement du lot 3, se sont surtout concentrés sur des concepts de sécurité liés aux exigences présentées dans les paragraphes 1, 2 et 3.

Puis, l'annexe 3 présente les évaluations de conformité à présenter pour l'homologation. Celle-ci sont divisées en 5 parties :

---

<sup>1</sup> Véhicules à moteur conçus et construits pour le transport de personnes et ayant au moins quatre roues

<sup>2</sup> Véhicules à moteur conçus et construits pour le transport de marchandises et ayant au moins quatre roues

- Partie 1 : La définition des scénarios les plus pertinents de l'ODD ;
- Partie 2 : L'évaluation des principes de conception de l'ADS et l'audit du système de management de la sécurité du constructeur ;
- Partie 3 : Les tests des scénarios de trafic les plus pertinents ;
- Partie 4 : L'évaluation de la crédibilité de la chaîne d'outils de tests virtuels pour la validation de l'ADS ;
- Partie 5 : Monitoring du système en service pour la démonstration de la sécurité en opération.

### Partie 1 : La définition des scénarios les plus pertinents de l'ODD

Un premier lot de scénarios basiques est présenté et leurs exigences de sécurité sont également exposées :

- Manœuvre de changement de voie ;
- Tourner ou traverser une intersection ;
- Scénarios de manœuvres d'urgence ;
- Entrée sur voie rapide ;
- Sortie de voie rapide ;
- Passage d'une barrière de péage ;
- Navigation sur d'autres routes que des voies rapides ;
- Scénarios du cas d'usage valet parking.

Ces scénarios de base sont à traiter s'ils appartiennent à l'ODD du véhicule à homologuer. En plus de ces quelques scénarios, l'appendice 1 de la partie 1 présente les grands principes à appliquer pour définir des scénarios à partir d'analyses de l'ODD. L'approche globale est présentée sur la Figure 2.

Les scénarios sont à classer en 3 catégories :

- Scénarios nominaux ;
- Scénarios critiques ;
- Scénarios de défaillance ;

Ces scénarios sont à structurer en base de données.

Les **scénarios nominaux** sont à générer à partir d'analyses de :

- l'ODD et de ces composants (Descripteurs d'infrastructure, conditions environnementales, éléments dynamiques,...) ;
- l'OEDR (Object Event Detection Response), il s'agit de cartographie les réponses attendues du système.

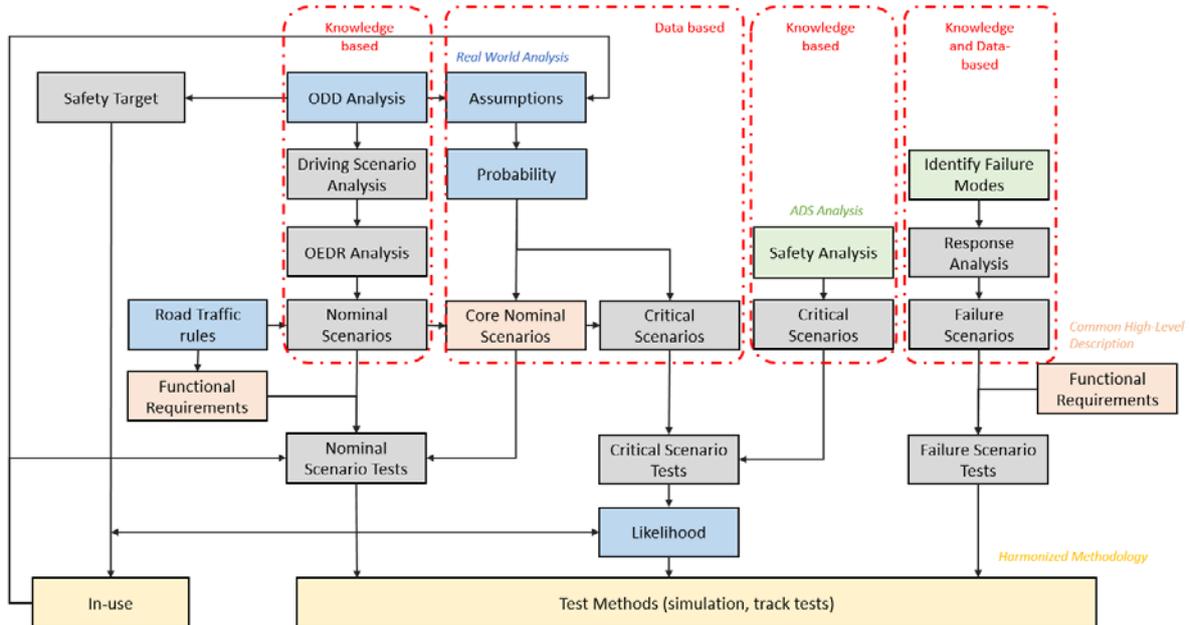
Les **scénarios critiques** peuvent découler des cas limites des scénarios nominaux. Ils peuvent également être énoncés à partir d'expertise sur les concepts de sécurité (exemple : insuffisance opérationnelle. Leur identification n'est pas limitée à l'analyse des conditions de trafic mais doit aussi couvrir les conditions environnementales, les facteurs humains, la connectivité et problèmes de communication. Ces scénarios critiques correspondent aux opérations d'urgence de l'ADS.

Les **scénarios de défaillance** ont pour objectifs de déterminer comment le système répond à un dysfonctionnement. Différentes méthodes sont disponibles dans la littérature.

Pour chaque comportement suite à une défaillance et toutes les conséquences identifiées, le constructeur du système doit concevoir le système pour qu'il mette en place des stratégies adéquates.

En appliquant les scénarios de défaillance, l'objectif est d'évaluer les capacités du système à se conformer à des exigences pour des situations de sécurité critiques.

### Overall Summary



**FIGURE 2 : PRINCIPES D'UTILISATIONS ET DE GENERATION DES SCENARIOS PRESENTES DANS L'ADS ACT [7] ANNEXE III PARTIE 1 APPENDICE 1.**

L'ADS act exige que les scénarios ainsi identifiés soient prêts pour des évaluations en simulation et en essais physique. Le constructeur doit les paramétrer de manière cohérente en formulant des hypothèses étayées et justifiées par exemple à partir de campagne de collecte de données ou de base de données d'accidentologie.

### Partie 2 : L'évaluation des principes de conception de l'ADS et l'audit du système de management de la sécurité du constructeur

Cette partie du règlement présente les documents et informations que le constructeur doit soumettre à l'autorité en charge des réceptions des véhicules ou à son service technique. Ils doivent vérifier par des audits ciblés et des essais toute la conception et la gestion de la sécurité présentée par le constructeur.

L'autorité de réception des véhicules doit évaluer cette documentation qui doit prouver que l'ADS :

- Est conçu et développé pour opérer de telle manière à ne pas engendrer de risque déraisonnables pour les occupants du véhicule et les autres usagers de la route dans l'ODD déclaré et ses limites ;
- Doit satisfaire aux conditions de performances requises dans l'annexe II de ce règlement ;
- A été développé selon les procédés et méthodes de développement déclarés par le constructeur.

La documentation doit être fournie en 3 parties :

- (a) Application pour la réception : le document d'information présenté dans l'annexe 1 doit être brièvement rempli ;
- (b) Le dossier officiel de réception doit contenir les éléments listés au point 3, c'est-à-dire
  1. Une description simple des caractéristiques opérationnelle de l'ADS ;
  2. Une description de :
    - l'ODD incluant la vitesse maximale, les types de routes, les conditions environnementales, etc. ;
    - Les performances basiques (OEDR) ;
    - Les interactions avec les autres usagers de la route ;
    - Les conditions de déploiement de la manœuvre de risque minimal ;
    - Les interactions avec les occupants du véhicule, les opérations à bord, les opérations à distance ;
    - Les moyens de désactivation de l'ADS à bord du véhicule, à distance, par un occupant du véhicule ou un autre usager de la route ;
    - Les mesures opérationnelles (exemple, opérateur à bord ou à distance) qui doivent assurer la sécurité durant les opérations en mode de conduite complètement autonome ;
    - Les systèmes débarqués nécessaires pour assurer la sécurité durant les opérations en mode de conduite complètement autonome.
  3. Une description fonctionnelle de l'ADS ;
  4. Les configurations et schémas de l'ADS ;
  5. L'identifications des unités fonctionnelles ;
  6. Une description des installations du système de capteurs.
- (c) Des éléments confidentiels : preuves matérielles et des analyses de données (propriété intellectuelle) qui seront détenus par le constructeur mais ouverts pour une inspection au moment de la réception. Ces informations doivent rester disponibles chez le constructeur pour une durée de 10 années après l'arrêt de la production de l'ADS.

En se basant sur l'analyse du dossier constructeur, l'autorité de réception des véhicules doit demander à ce que **des essais** soient faits ou contrôlés par un service technique pour vérifier des points spécifiques soulevés lors de l'évaluation.

Ces essais peuvent concerner :

- La vérification de la fonction ADS : ces tests fonctionnels sont menés sur des pistes, ils peuvent inclure des tests de contrôle à distance par un opérateur, les scénarios peuvent appartenir à ceux de la partie 3 ou non, les résultats doivent correspondre aux performances attendues décrites dans le dossier.
- La vérification des concepts de sécurité : des tests avec injection de défauts, des scénarios critiques, aux limites de l'ODD, en condition de trafic perturbé ou avec des problèmes de connectivité, etc.

Des simulations ou modèles mathématiques peuvent être utilisés en se conformant avec l'annexe VIII du règlement EU 2018/858. Cet usage est particulièrement adapté pour des scénarios qui sont difficiles à organiser sur des pistes d'essais ou sur route ouverte. Le constructeur doit démontrer l'étendue de l'usage de la simulation, sa validité pour le scénario testé et la validation faite de cet outil en suivant les préconisations de la partie 3 de cette annexe.

D'autre part, le constructeur doit avoir un certificat valide pour la conformité de son système de gestion de la sécurité et qui soit pertinent vis-à-vis du type de véhicule à homologuer.

### **Partie 3 : Les tests des scénarios de trafic les plus pertinents**

Le programme d'essais est défini par l'autorité de réception des véhicules pour couvrir toutes les plages de variation des paramètres dans les limites de fonctionnement du système et de son ODD, comme déclaré par le constructeur. Ces tests peuvent être menés au moyen de la simulation, d'essais sur pistes ou de roulage en conditions réelles sur routes ouvertes. Cependant, ces essais ne peuvent pas être basés uniquement sur de la simulation. L'autorité de réception des véhicules peut conduire ou auditer ces essais.

La liste minimale des scénarios et manœuvres à tester en fonction de l'ODD de l'ADS est la suivante :

1. Maintien dans la voie ;
2. Manœuvre de changement de voie ;
3. Adaptation à la géométrie de la route ;
4. Respect des règles de circulation nationales et des infrastructures ;
5. Evitement de collision ;
6. Evitement de freinage d'urgence en cas d'objet passable dans la voie ;
7. Suivi d'un véhicule ;
8. Changement de voie d'un autre véhicule devant l'ADS (Cut in) ;
9. Obstacle fixe après changement de voie du véhicule suivi (Cut out) ;
10. Parking ;
11. Navigation dans un parking ;
12. Scénarios spécifiques aux voies rapides ;
13. Pour les véhicules à double mode, transition entre le mode manuel et le mode complètement autonome.

Les essais des points 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9 sont déroulables sur pistes et ceux des points 3, 4, 10 en conditions réelles.

Sur demande de l'autorité de réception des véhicules, des scénarios complémentaires qui appartiennent à l'ODD peuvent être faits. Si un des scénarios de la précédente liste n'appartient pas à l'ODD, il ne devra pas être pris en considération.

#### Partie 4 : L'évaluation de la crédibilité de la chaîne d'outils de tests virtuels pour la validation de l'ADS

La crédibilité peut être déterminée en étudiant et en évaluant cinq propriétés de la modélisation et simulation (M&S) :

- a) capacité — ce que la M&S peut faire et les risques associés ;
- b) exactitude — degré auquel la M&S reproduit fidèlement les données cibles ;
- c) justesse — degré auquel les données et algorithmes de la M&S sont justes et robustes ; ;
- d) utilisabilité — la formation et l'expérience qui sont nécessaires ;
- e) adéquation — degré auquel la M&S est adéquate pour l'évaluation de l'ODD et du système ADS.

Le constructeur doit fournir une documentation présentant le cadre d'évaluation de la crédibilité de la chaîne d'outils de tests virtuels. Ces documents seront évalués par l'autorité compétente en matière de réception. Le cadre d'évaluation de la crédibilité doit fournir une description générale des principaux aspects pris en compte pour évaluer la crédibilité d'une solution M&S ainsi que des principes sur le rôle d'évaluateurs tiers dans le processus de validation en ce qui concerne la crédibilité.

Les divers composants du cadre d'évaluation de la crédibilité sont présentés sur la Figure 3.

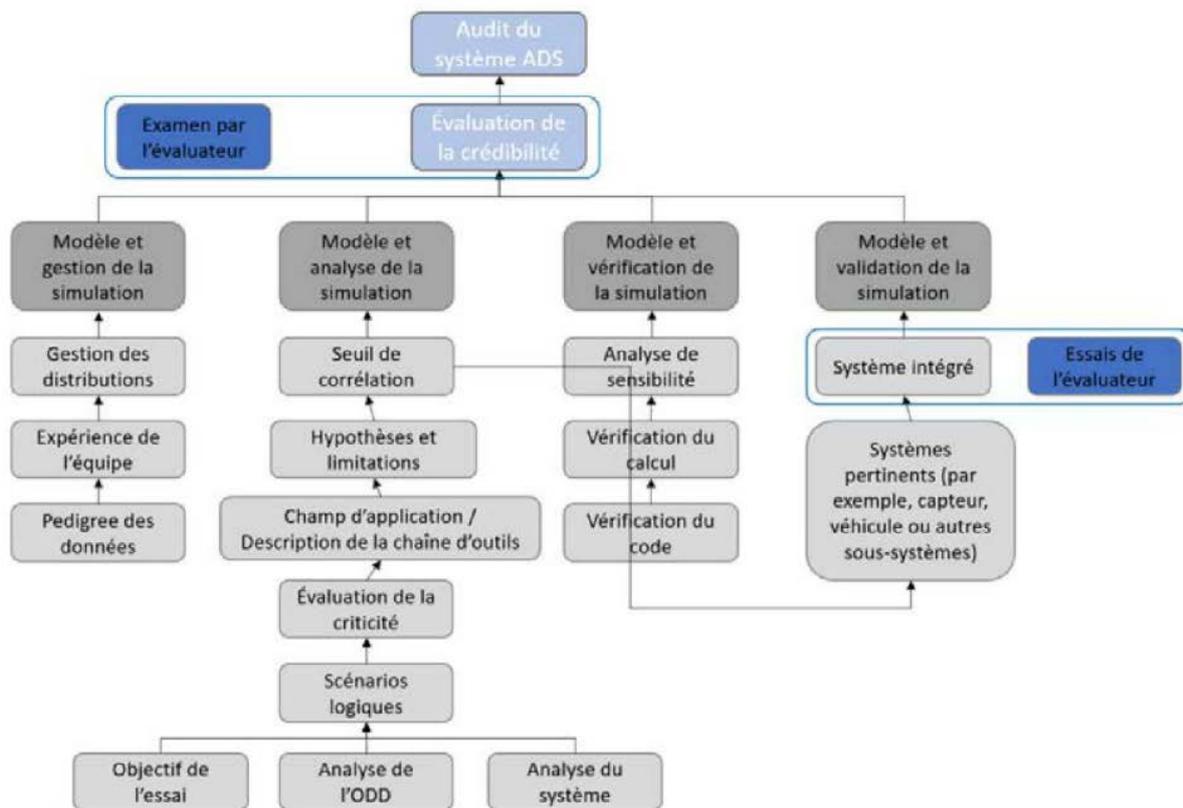


FIGURE 3 : COMPOSANTS DE L'ÉVALUATION DE LA CREDIBILITE DE LA CHAINE D'OUTILS DE TESTS VIRTUELS [7]

#### Partie 5 : Communication en service

Le constructeur s'engage à communiquer aux autorités compétentes en matière de réception, aux autorités de surveillance du marché et à la Commission les occurrences comme définies dans le Tableau 1.

**TABLEAU 1 : LISTE DES OCCURRENCES POUR LA COMMUNICATION EN SERVICE [7] APPENDICE 1 PARTIE 3**

| OCCURRENCE   | COMMUNICATION À COURT TERME<br>(1 mois)  | COMMUNICATION PÉRIODIQUE<br>(1 an) |
|--|--|------------------------------------|
| 1. Occurrences relatives à la performance de la DDT du système ADS, notamment  |  |                                    |
| 1.a. Occurrences critiques pour la sécurité connues du constructeur  | X  | X                                  |
| 1.b. Occurrences relatives au fonctionnement du système ADS en dehors de son ODD   | X  | X                                  |
| 1.c. Occurrences relatives à l'incapacité du système ADS d'atteindre une condition de risque minimal si nécessaire   | X  | X                                  |
| 1.d. Occurrences relatives à la communication (là où la connectivité est pertinente pour le concept de sécurité de système ADS)                                |  | X                                  |
| 1.e. Occurrences relatives à la cybersécurité  |  | X                                  |
| 1.f. Interaction avec l'opérateur à distance (le cas échéant) relatives à des défaillances majeures du système ADS ou du véhicule                              |  | X                                  |
| 2. Occurrences relatives à l'interaction du système ADS avec les utilisateurs du véhicule entièrement automatisé, telles que:                                  |  |                                    |
| 2.a. Occurrences relatives aux utilisateurs (par exemple, erreurs des utilisateurs, mauvaise utilisation, prévention d'une mauvaise utilisation)               |  | X                                  |
| 3. Occurrences relatives aux conditions techniques du système ADS, y compris maintenance et réparation:  |  |                                    |
| 3.a. Occurrences relatives à une défaillance du système ADS conduisant à une demande d'intervention de l'opérateur ou de l'opérateur d'intervention à distance |  | X                                  |
| 3.b. Problèmes de maintenance et de réparation   |  | X                                  |
| 3.c. Occurrences relatives à des modifications non autorisées (c'est-à-dire manipulations)   |  | X                                  |
| 4. Occurrences relatives à l'identification de nouveaux scénarios pertinents pour la sécurité  | X<br>(si des modifications apportées par le constructeur pour résoudre un problème de sécurité significatif récemment identifié du système ADS impliquant un risque déraisonnable, y compris la description d'éventuels scénarios non anticipés précédemment.) | X                                  |

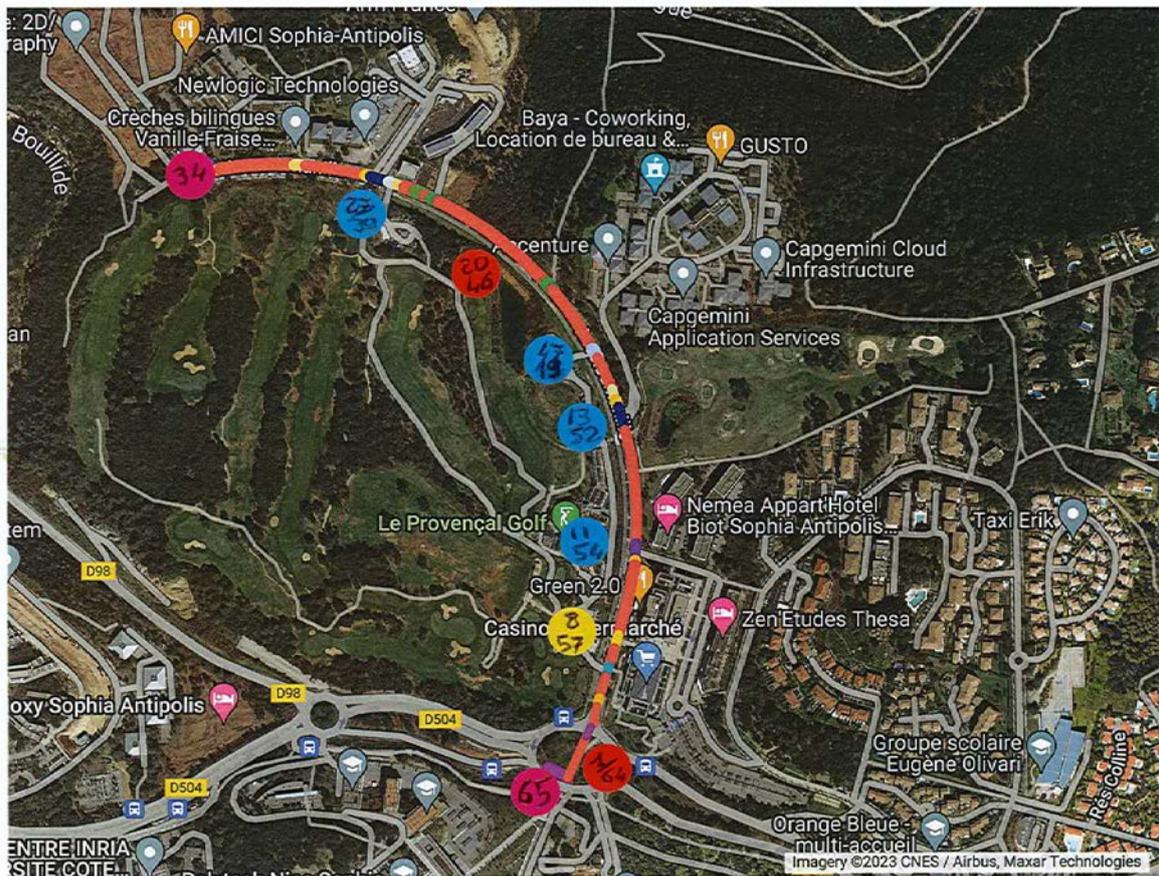
### 3. RETOUR D'EXPERIENCE SUR LES ANALYSES DES RISQUES

Pour rappel, l'analyse de risques sur les parcours a été réalisée par deux méthodes différentes (voir livrables L3.1.1) :

- MISENA : méthode proposée par Sector qui est une adaptation des démarches d'analyse des risques en fonction de leurs expériences dans divers domaines, notamment en sécurité ferroviaire, en sécurité des infrastructures de transport, ainsi que des premières analyses réalisées récemment des véhicules autonomes et des expérimentations de navettes. Cette analyse comprend plusieurs étapes :
  - Description et caractérisation du parcours ;
  - Analyse du parcours permettant d'identifier les points particuliers et/ou les situations dangereuses pour la sécurité de la circulation du STPA ;
  - Elaboration des premières recommandations et situations délicates et/ou critiques (appelées aussi dans le cadre du projet « scénarios critiques »).
- SCAPENA méthode proposée par l'Université Gustave Eiffel, issue des travaux avec le SRMTG implémentée dans un outil par l'UGE. Les listes des évènements ont été discutées dans un groupe de travail dans le cadre STPA. Il faut noter que dans ce groupe il a été décidé de ne pas tenir compte du fonctionnement de la navette et que certains évènements ont été supprimés de la liste des évènements spécifiques aux parcours car ils devaient être traités par l'analyse préliminaire de risques (par exemple, les obstacles, freinage d'urgence du véhicule précédant, animaux, travaux, déformation de la chaussée, brouillard, neige, pluie, feux de détresse, contresens rabattement proche, véhicule prioritaire, injonction des forces de l'ordre,...). Cette méthode se base sur :
  - Un découpage manuel des parcours en Macro-section et Section ;
  - Une caractérisation manuelle des sections (Infrastructure, flux nominaux des usagers) ;
  - Une estimation manuelle de la fréquence d'occurrence des évènements redoutés sur chaque section ;
  - Un calcul automatique de l'évitabilité en fonction des caractéristiques de l'infrastructure et des vitesses de la navette et des usagers ;
  - Un calcul automatique de la sévérité en fonction des usagers impliqués (usagers vulnérables ou usagers de VL/PL), de leur vitesse ainsi que celle de la navette ;
  - Un calcul automatique de la dangerosité à partir de la fréquence de l'évitabilité et de la sévérité.

## 3.1 RAPPEL DES SCENARIOS IDENTIFIES PAR LA METHODE SCAPENA POUR CASA

Le parcours CASA a été segmenté en 65 sections.



**FIGURE 4 : SEGMENTATION DU PARCOURS CASA**

Puis ces sections ont été regroupées en type d'infrastructure :

- La section protégée :
  - Route d'accès à la route ouverte section 1 ;
  - Route d'accès à la plateforme de l'arrêt de la navette : section 64 ;
  - Plateforme d'arrêt : section 65.
- La section Giratoire à feux :
  - Parcours aller section 2 ;
  - Parcours retour : section 63.
- La section urbaine sur laquelle, il y a beaucoup de commerces et des stationnements en créneau et en bataille :
  - Parcours aller sections 3 à 9 ;
  - Parcours retour : section 56 à 62.
- La section Carrefour Cédez le passage en fin de section urbaine :
  - Parcours aller sections 10 et 11 ;
  - Parcours retour : section 54 et 55.

- La section Périurbaine sur laquelle il n’y a plus de commerce mais encore quelques stationnements en créneau :
  - Parcours aller sections 12, 15 à 20, 30 à 32 ;
  - Parcours retour : sections 36, 46 à 50, 53.
- La section Stop en milieu périurbain :
  - Parcours aller sections 12 et 14 ;
  - Parcours retour : section 51 et 52.
- La section Entreprise en milieu périurbain sur laquelle il y a des sorties de parking d’entreprise et une crèche :
  - Parcours aller sections 21 à 29 ;
  - Parcours retour : section 37 à 45.
- La section Giratoire sans feux en fin de parcours aller et début du retour en début de parcours retour :
  - Parcours aller section 33 ;
  - Giratoire : section 34 ;
  - Parcours retour : section 35.

**TABLEAU 2 : LISTE DES SCENARIOS IDENTIFIES PAR LA METHODE SCAPENA**

| Id | Section | Evènement  | Type de section   | Elément notable   | Scenario Associé   |
|----|---------|--|-------------------|---|--|
| 1  | 1       | Cycliste en sens inverse sur la voie de la navette   | Plateforme        | Présence d’UV importante  | Collision de la navette avec cycliste en sens inverse  |
| 2  | 2       | VL ou PL au croisement ne respectant pas la priorité | Rond-point à feux | Rond-point avec beaucoup de trafic<br>Rond-point à feux             | Collision de la navette avec un VL ou un PL ne respectant pas la priorité au rond-point                |
| 3  | 5       | Piéton se déplaçant transversalement à la navette    | Urbain            | Présence d’UV importante ;<br>stationnement de véhicule             | Collision de la navette avec un piéton pouvant être masqué par des véhicules stationnés                |
| 4  | 7       | Piéton se déplaçant transversalement à la navette    | Urbain            | Présence d’UV importante ;<br>stationnement de véhicule en bataille | Collision de la navette avec un piéton pouvant être masqué par des véhicules stationnés en bataille    |
| 5  | 13      | VL ou PL au croisement ne respectant pas la priorité | Carrefour stop    | Carrefour avec beaucoup de trafic                                   | Collision de la navette avec un VL ou un PL ne respectant pas la priorité à droite à un carrefour stop |

| Id | Section | Evènement   | Type de section            | Elément notable   | Scenario Associé   |
|----|---------|---|----------------------------|---|--|
| 6  | 15      | Piéton se déplaçant parallèlement à la navette avec un VL sur la voie | Périurbain                 | Présence de beaucoup de piéton due à la présence d'un arrêt de bus                                      | Collision de la navette avec un piéton sur la voie parallèlement à la navette  |
| 7  | 19      | VL ou PL au croisement ne respectant pas la priorité                  | Périurbain                 | Sortie riveraine peu visible  | Collision de la navette avec un VL ou un PL qui sort d'une sortie riveraine à droite en ne respectant pas la priorité      |
| 8  | 21      | VL ou PL au croisement ne respectant pas la priorité                  | Périurbain                 | Sortie riveraine d'un chemin  | Collision de la navette avec un VL ou un PL qui sort d'une sortie riveraine à droite en ne respectant pas la priorité      |
| 9  | 23      | VL ou PL au croisement ne respectant pas la priorité                  | Sortie entreprise          | Sortie riveraine d'un parking d'une résidence   | Collision de la navette avec un VL ou un PL qui sort d'une sortie riveraine à droite en ne respectant pas la priorité      |
| 10 | 27      | VL ou PL au croisement ne respectant pas la priorité                  | Carrefour cédez-le-passage | Route perpendiculaire avec beaucoup de trafic   | Collision de la navette avec un VL ou un PL ne respectant pas la priorité à droite un carrefour cédez le passage           |
| 11 | 34      | VL ou PL au croisement ne respectant pas la priorité                  | Rond-point                 | Présence de VL importante sur la voie   | Collision de la navette avec un VL ou un PL ne respectant pas la priorité au rond-point                                    |
| 12 | 39      | VL, PL ou 2RM au croisement ne respectant pas la priorité             | Carrefour cédez-le-passage | Route perpendiculaire avec beaucoup de trafic, Risque d'infraction pour ne pas être derrière la navette | Collision de la navette avec un VL ou un PL ou 2 RM ne respectant pas la priorité à gauche à un carrefour cédez le passage |

| Id | Section | Evènement  | Type de section | Elément notable  | Scenario Associé  |
|----|---------|--|-----------------|--|---|
| 13 | 43      | VL ou PL au croisement ne respectant pas la priorité   | Périurbain      | Sortie de résidence<br>Risque d'infraction pour ne pas être derrière la navette                                    | Collision de la navette avec un VL ou un PL qui sort d'une sortie riveraine à gauche en ne respectant pas la priorité |
| 14 | 45      | VL ou PL au croisement ne respectant pas la priorité   | Périurbain      | Risque d'infraction pour ne pas être derrière la navette<br>Masquage possible par le mur de la résidence attenante | Collision de la navette avec un VL ou un PL qui sort d'une sortie chemin à gauche en ne respectant pas la priorité    |
| 15 | 47      | VL ou PL au croisement ne respectant pas la priorité   | Périurbain      | Risque d'infraction pour ne pas être derrière la navette<br>Chemin peut visible                                    | Collision de la navette avec un VL ou un PL qui sort d'une sortie chemin à gauche en ne respectant pas la priorité    |
| 16 | 52      | VL ou PL au croisement ne respectant pas la priorité   | Carrefour Stop  | Visibilité faible des véhicules entre eux  | Collision de la navette avec un VL ou un PL ne respectant pas la priorité à gauche à un carrefour stop                |
| 17 | 58      | Piéton se déplaçant transversalement à la navette  | Urbain          | Présence d'UV fréquente car magasins   | Collision de la navette avec un piéton qui sort entre véhicules stationnés en bataille                                |
| 18 | 59      | VL ou PL au croisement ne respectant pas la priorité<br>2RM à contresens qui coupe la route pour tourner | Urbain          | Voie d'accès de parking avec beaucoup de trafic  | Collision de la navette avec un VL ou un PL coupant la route pour rentrer dans un parking                             |
| 19 | 60      | Piéton se déplaçant transversalement à la navette  | Urbain          | Présence d'UV fréquente car magasins   | Collision de la navette avec un piéton qui sort entre véhicules stationnés  |

| Id | Section | Evènement  | Type de section   | Elément notable                   | Scenario Associé   |
|----|---------|--|-------------------|-----------------------------------|--|
| 20 | 63      | VL ou PL au croisement ne respectant pas la priorité | Rond-point à feux | Rondpoint avec beaucoup de trafic | Collision de la navette avec un VL ou un PL ne respectant pas la priorité au rondpoint |
| 21 | 64      | Cycliste en sens inverse sur la voie de la navette   | Urbain            | Présence d'UV importante          | Collision de la navette avec cycliste en sens inverse sur zone piétonne                |
| 22 | 65      | Cycliste en sens inverse sur la voie de la navette   | Plateforme        | Présence d'UV importante          | Collision de la navette avec cycliste en sens inverse                                  |

22 scénarios critiques ont été identifiés avec la méthode SCAPENA.

- Sur la plateforme qui se trouve au milieu du giratoire, trois scénarios « Collision de la navette avec cycliste en sens inverse sur zone piétonne » sur les sections d'entrée, d'arrêt et de sortie de la plateforme ;
- Sur le carrefour avec un cédez le passage entre la section urbaine et périurbaine, deux scénarios « Collision de la navette avec un VL ou un PL ne respectant pas la priorité à droite un carrefour cédez le passage », un à l'aller (cédez le passage à droite) et un au retour (cédez le passage à gauche) ;
- Sur le carrefour avec un stop en section périurbaine, deux scénarios « Collision de la navette avec un VL ou un PL ne respectant pas la priorité à droite un carrefour Stop », un à l'aller (Stop à droite) et un au retour (Stop à gauche) ;
- Sur le giratoire à feux, deux scénarios « Collision de la navette avec un VL ou un PL ne respectant pas la priorité au rond-point », un à l'aller (sortant de la plateforme) et un au retour (sortant du parcours en route ouverte) ;
- Sur le giratoire sans feux sur laquelle la navette fait le demi-tour entre l'aller et le retour, une scénarios « Collision de la navette avec un VL ou un PL ne respectant pas la priorité au rond-point » ;
- Sur les sections urbaines, six scénarios, un « Collision de la navette avec un piéton pouvant être masqué par des véhicules stationnés », deux (aller et retour) « Collision de la navette avec un piéton pouvant être masqué par des véhicules stationnés en bataille », un (retour) « Collision de la navette avec un VL ou un PL coupant la route pour rentrer dans un parking », un (retour) « Collision de la navette avec un piéton qui sort entre véhicules stationnés », un (retour) « Collision de la navette avec cycliste en sens inverse sur zone piétonne » ;
- Sur la section sortie entreprise, un scenario (aller), « Collision de la navette avec un VL ou un PL qui sort d'une sortie riveraine à droite en ne respectant pas la priorité » ;

- Sur les sections périurbaines, six scénarios « Collision de la navette avec un piéton sur la voie parallèlement à la navette, cinq « Collision de la navette avec un VL ou un PL qui sort d'une sortie riveraine à droite en ne respectant pas la priorité » aux sorties riveraines sur les parcours.

Pour rappel, des évènements n'ont pas été pris en compte dans cette analyse car devant être résolu lors de l'analyse préliminaire de risque (PHA) (décision groupe STPA). la liste de ces évènements est la suivante :

- Signalisation verticale – feux d'affectation de voie clignotants orange ;
- Signalisation verticale – feux d'affectation de voie en panne éteints ;
- Ouverture/fermeture de la voie (travaux fixes ou mobiles, intervention accident...);
- Déformation de la chaussée – réparation de chaussée par goudron liquide ;
- Entrée dans nappes brouillard denses ;
- Circulation dans plaques de brouillard denses ;
- Chute de neige dense ;
- Pluie forte ;
- Grêle ;
- Usagers de la voirie qui s'accrochent à la navette ;
- Personne coincée dans la porte de la navette ;
- Activation des feux de détresse du véhicule de devant ;
- Freinage d'urgence du véhicule précédent ;
- Rabattement d'un autre usager devant et proche du VA ;
- Véhicule à contresens ;
- NA derrière véhicule avec élément saillant en longueur (ex : mât dépassant d'une benne) ;
- Véhicule prioritaire en mouvement ;
- Injonctions des forces de l'ordre ;
- Agents d'entretien sur la voie ;
- Circulation d'un véhicule d'intérêt général (transport exceptionnel, PL, engin agricole) ;
- Animaux errants.

## 3.2 RAPPEL DES SCENARIOS IDENTIFIES PAR LA METHODE MISENA POUR CASA

TABLEAU 3 : LISTE DES SCENARIOS IDENTIFIES PAR LA METHODE MISENA

| N° | Scénario critique  | Tronçon                   | Situation sensible                                  | Type de tronçon        | Manœuvre de la navette   | Vitesse de la navette |
|----|--|---------------------------|---|------------------------|--|-----------------------|
| 1  | Collision par nez à nez entre deux navettes circulant en sens inverse sur la voie unique   | 1                         | Voie à sens unique alternée                         | Virage                 | Tourne légèrement à gauche / droite en fonction du sens de circulation                 | 15 – 18 ?             |
| 2  | Collision par nez-à-nez avec un Véhicule suite au changement inopiné de trajectoire (dépassement, manœuvre d'urgence, manœuvre non intentionnelle ou intempestive) | Toute l'Avenue Roumanille | Circulation à double sens sans séparation des voies | Ligne droite - virage  | Tout droit – tourne légèrement à gauche ou à droite en fonction du sens de circulation | 18                    |
| 3a | Collision avec un UV présent sur la voie sans la traverser, notamment avec un cycliste en absence de piste dédiée sur la zone                                      | 1                         | Voie à sens unique alternée                         | Virage                 | Tourne légèrement à gauche ou à droite en fonction du sens de circulation              | 15-18                 |
| 3b | Collision avec un UV présent sur la voie sans la traverser   | Tous                      | Sans piste cyclable                                 | Ligne droite et virage | Tout droit- Tourne légèrement à droite / gauche  | 15-18                 |
| 4  | Collision avec un UV entrant brusquement dans la trajectoire de la navette (notamment traversée de la voie)  | Tous                      |   | Ligne droite - Virage  | Tout droit – tourne légèrement à droite / gauche en fonction du sens de circulation    | 15-18                 |
| 5  | Collision avec un UV liée aux feux sur le passage du rond-point Saint Philippe   | 2                         | Gestion des feux tricolores                         | Ligne droite           | Tout droit   | 15                    |

| N°  | Scénario critique   | Tronçon            | Situation sensible          | Type de tronçon       | Manœuvre de la navette  | Vitesse de la navette |
|-----|---|--------------------|-----------------------------|-----------------------|---|-----------------------|
| 6   | Collision avec un UV montant / descendant du véhicule garé liée au jugement imprécis de l'UV ou son inattention                                   | 3, 4, 5, 7, 9      | Zones de stationnement      | Ligne droite – Virage | Tout droit – tourne légèrement à gauche / droite en fonction du sens de circulation | 18                    |
| 7a  | Collision avec un UV traversant la route hors passage piéton, soit mouvement brusque de l'UV, soit visibilité cachée par des véhicules stationnés | 3, 4, 5, 7, 9      | Zones de stationnement      | Ligne droite – Virage | Tout droit – tourne légèrement à gauche / droite en fonction du sens de circulation | 18                    |
| 7b  | Collision avec un UV traversant la route hors passage piéton  | Tous               |                             | Ligne droite – Virage | Tout droit – tourne légèrement à gauche / droite en fonction du sens de circulation | 18                    |
| 8   | Collision avec un UV au passage piétons   | Tous hors 1, 2, 16 |                             | Ligne droite – Virage | Tout droit – tourne légèrement à gauche / droite en fonction du sens de circulation |                       |
| 9   | Collision avec un Véhicule liée aux feux sur le passage du rond-point Saint Philippe  | 2                  | Gestion des feux tricolores | Ligne droite-virage   | Tout droit – tourne légèrement à gauche / droite                                    | 15                    |
| 10  | Collision avec un véhicule sortant / entrant au stationnement lié aux jugements imprécis du conducteur ou de la navette                           | 3, 4, 5, 7, 9      | Zones de stationnement      | Ligne droite-virage   | Tout droit – tourne légèrement à gauche / droite                                    | 15-18                 |
| 11  | Collision arrière avec un Véhicule liée à <b>une décélération rapide de la navette</b>  | Tous               | Zones de stationnement      | Ligne droite-virage   | Tout droit – tourne légèrement à gauche / droite                                    | 15-18                 |
| 12a | Collision frontale avec un Véhicule liée à une décélération rapide du véhicule  | Tous hors 1, 2, 16 |                             | Ligne droite-virage   | Tout droit – tourne légèrement à gauche / droite                                    | 15-18                 |

| N°  | Scénario critique  | Tronçon                   | Situation sensible                                  | Type de tronçon       | Manœuvre de la navette                           | Vitesse de la navette |
|-----|--|---------------------------|---|-----------------------|--|-----------------------|
| 12b | Collision avec un véhicule sans respecter la priorité au croisement  | 4, 6, 8                   | Passage à l'intersection avec priorité navette      | Ligne droite-virage   | Tout droit – tourne légèrement à gauche / droite | 15-18                 |
| 13  | Collision avec un véhicule sans respecter la priorité lors de son insertion  | 9                         | Sortie des véhicules sans priorité                  | Virage                | Tourne légèrement à gauche / droite              | 15-18                 |
| 14  | Collision latérale avec un Véhicule liée à la gestion de priorité par navette au croisement  | 16                        | Gestion de priorité à gauche                        | Rond-point            | Tourne à gauche                                  | 15                    |
| 15  | Collision avec un véhicule suite à un non-respect de la priorité au giratoire  | 16                        | Passage du giratoire                                | Rond-point            | Tourne à gauche                                  | 15                    |
| 15  | Collision avec un véhicule suite à un non-respect de la priorité au giratoire  | 16                        | Passage à l'intersection avec priorité navette      | Rond-point            | Tourne à gauche                                  | 15                    |
| 15  | Collision avec un véhicule suite à un non-respect de la priorité au giratoire  | 16                        | Sortie des véhicules sans priorité                  | Rond-point            | Tourne légèrement à gauche / droite              | 15                    |
| 16  | Collision avec un Cycliste sortant du village des entreprises avec pente importante et en courbure (visibilité réduite)  | 8                         | Croisement des cyclistes en situation complexe      | Ligne droite          | Tout droit                                       | 15                    |
| 17  | Collision par nez-à-nez avec un Véhicule suite au changement inopiné de trajectoire (dépassement, manœuvre d'urgence, manœuvre non intentionnelle ou intempestive) | Toute l'Avenue Roumanille | Circulation à double sens sans séparation des voies | Ligne droite – Virage | Tout droit – Tourne légèrement à gauche / droite | 15-18                 |
| 18  | Collision avec l'objet fixe sur la voie  | Tous                      |   | Ligne droite – Virage | Tout droit – Tourne légèrement à gauche / droite | 15-18                 |

Pour pouvoir affecter les différents événements recueillis sur l'expérimentation CASA la correspondance des tronçons avec les différentes sections de la méthode Scapena ont été faites. Ces sections ont été regroupées dans des type d'infrastructure.

**TABLEAU 4 : CORRESPONDANCE TRONÇONS ET SECTIONS**

| Découpage linéaire | Description  | Type d'Infrastructure           | section aller                          | section retour                      |
|--------------------|--|---------------------------------|--|-------------------------------------|
| Tronçon 1          | Voie réservée (terminus) sur rond-point Saint Philippe                                 | Plateforme                      | 1                                      | 64 65                               |
| Tronçon 2          | Traversée entre giratoire Saint Philippe et l'Avenue Roumanille                        | Rond-point a feux               | 2                                      | 63                                  |
| Tronçon 3          | Voie entre le giratoire Saint Philippe et l'entrée "Le Provençal Golf"                 | Urbain                          | 3 4 5                                  | 60 61 62                            |
| Tronçon 4          | Intersection avec l'entrée "Le Provençal Golf"   | Sortie Parking                  | 6                                      | 59                                  |
| Tronçon 5          | Voie entre l'entrée "Le Provençal Golf" et "Rue Henry Poincaré"                        | Urbain                          | 7 8 9                                  | 58 57 56                            |
| Tronçon 6          | Croisement avec "Rue Henry Poincaré"   | Cédez le passage                | 10 11                                  | 54 55                               |
| Tronçon 7          | Voie entre "Rue Henry Poincaré" et l'entrée du village d'entreprises                   | Périurbain                      | 12                                     | 53                                  |
| Tronçon 8          | Croisement avec l'entrée du village d'entreprises                                      | Stop                            | 13 14                                  | 51 52                               |
| Tronçon 9          | Voie entre l'entrée du village d'entreprises et la route vers ACOSS - Sophia Antipolis | Périurbain<br>Sortie Entreprise | 15 16 17 18 19<br>20 21 22 23<br>24 25 | 50 49 48 47<br>46 45 44 43<br>42 41 |
| Tronçon 10         | Intersection pour tourner à droite vers la route vers ACOSS - Sophia Antipolis         |                                 | 26 27 28 29                            | 40 39 38 37                         |
| Tronçon 14         | Intersection pour rejoindre à l'Avenue Roumanille"                                     |                                 |  |                                     |
| Tronçon 15         | Voie vers le giratoire   | périurbain                      | 30 31 32                               | 36                                  |
| Tronçon 16         | Giratoire à l'extrémité Ouest du parcours  | Giratoire                       | 33 34 35                               |                                     |

### 3.3 RAPPEL DES SCENARIOS IDENTIFIES POUR LES DEUX METHODES POUR CŒUR DE BRENNE

Pour l'expérimentation Cœur de Brenne les parcours ont été segmentés en village (ronds orange) et routes rurales (traits marron).



**FIGURE 5 : SEGMENTATION DU PARCOURS CŒUR DE BRENNE**

Deux types de sections sont donc obtenus :

- Village ;
- Routes rurales.

Un grand nombre de situations critiques ont été identifiées à cause des risques d'éblouissement. Ces situations jugées critiques sur des portions du parcours orientées est / ouest sont les suivantes :

- La navette va tout droit sur une route est/ouest ;
- La navette va tout droit et des voitures arrivent à droite ;
- La navette arrive à un stop et tourne à gauche ;
- La navette entre en rond-point ;
- La navette va tout droit et il y a des piétons sur un passage piéton ;
- La navette va tout droit et il y a les véhicules qui sortent d'une sortie riveraine.

Les paramètres de chaque scenario critiques (vitesse et manœuvre) ainsi que leur localisation précise sont synthétisés dans le tableau suivant.

**TABLEAU 5 : SCENARIO EBLOUISSEMENT CŒUR DE BRENNE**

| Type Section           | Manœuvre           | Vitesse Navette | Localisations |
|------------------------|--------------------|-----------------|---------------|
| Carrefour autre        | Tout Droit         | 30              | Village       |
| Carrefour autre        | Tout Droit         | 50              | Rural         |
| Carrefour Stop Voie NA | TAG                | 8               | Village       |
| Carrefour Stop Voie NA | TAG                | 15              | Village       |
| Entrée Rond-point      | Tout Droit         | 12              | Village       |
| Ligne Droite           | Tout Droit         | 30              | Village       |
| Ligne Droite           | Tout Droit         | 50              | Rural         |
| Passage Piéton         | Tout Droit         | 10              | Village       |
| Passage Piéton         | Tout Droit         | 12              | Village       |
| Passage Piéton         | Tout Droit         | 15              | Village       |
| Passage Piéton         | Tout Droit         | 20              | Village       |
| Passage Piéton         | Tout Droit         | 30              | Village       |
| Sortie riveraine       | Tout Droit         | 30              | Village       |
| Sortie Rond-point      | Tout Droit         | 12              | Village       |
| Sortie Riveraine       | Tout Droit         | 30              | Village       |
| Sortie Riveraine       | Tout Droit         | 50              | Rural         |
| Station                | Arrêt/ redémarrage | 30              | Village       |
| Virage droite          | Tout Droit         | 5               | Village       |
| Virage gauche          | TAG                | 10              | Village       |
| Zébra                  | Arrêt/ redémarrage | 30              | Village       |
| Zébra                  | Tout Droit         | 30              | Village       |

Une autre classe de scénario critique est dû à l'évènement redouté « interaction du fait du comportement infractionniste d'un VL ou d'un PL ».

- La navette roule tout droit à un carrefour dans lequel elle est prioritaire et un véhicule lui coupe la route ;
- La navette roule tout droit sur une route dans laquelle il y a des sorties riveraines et un véhicule sort d'une d'entre elles.

**TABLEAU 6 : SCENARIO REFUS DE PRIORITE A LA NAVETTE CŒUR DE BRENNE**

| Type Section     | Manœuvre   | Vitesse Navette | Localisations                                  |
|------------------|------------|-----------------|--|
| Carrefour autre  | Tout Droit | 30              | MS2S4, MS4S3, MS4S13, MS5S6, MS10S7<br>Village |
| Sortie Riveraine | Tout Droit | 30              | MS11S2, MS12S4<br>Village                      |
| Carrefour autre  | Tout Droit | 30              | MS17S3, MS17S13, MS18S6, MS20S50<br>Village    |
| Sortie Riveraine | Tout Droit | 30              | MS13S3<br>Village                              |

En tenant compte des flux nominaux qui correspondent à l'usage fréquent de la voirie par tous les usagers, un certain nombre de scenarios critiques ont été identifiés.

- La navette tourne à gauche à un carrefour avec un stop sur sa voie ;
- La navette s'insère sur une voie par en tournant à gauche avec une visibilité moyenne.

**TABLEAU 7 : SCENARIO CRITIQUES FLUX NOMINAUX CŒUR DE BRENNE**

| Macro-section ou section | Vitesse de la navette | Type de section                | Manœuvre        | Scénario critique  | Présentation de la section  |
|--------------------------|-----------------------|--------------------------------|-----------------|--|---|
| MS13S1<br>Village        | 15                    | Stop voie navette              | Tourne à gauche | Arrivée de la navette à un carrefour en X. La navette s'arrête à un stop et des véhicules arrivent des côtés et/ou en face |  |
| MS2S1<br>Village         | 8                     | Carrefour stop pour la navette | Tourne à gauche | Insertion sur une voie par un tourne à gauche avec une visibilité moyenne  |  |

En tenant compte des évènements redoutés qui correspondent à l'usage fréquent de la voirie par tous les usagers, un certain nombre de scénarios critiques dans les villages ont été identifiés.

- La navette roule sur un parking et un véhicule manœuvre devant la navette pour se garer ;
- La navette roule sur sa voie et un véhicule manœuvre devant la navette pour rentrer ou sortir d'une sortie riveraine.

Les paramètres de chaque scénario critiques (vitesse et manœuvre) ainsi que leur localisation précise sont synthétisés dans le tableau suivant.

**TABLEAU 8 : SCENARIO EVENEMENT AUTRE USAGER CŒUR DE BRENNE**

| Section                       | Vitesse navette | Type de section  | Manœuvre   | Évènement                               | Scénario critique  | Présentation de la section   |
|-------------------------------|-----------------|------------------|------------|---|--|--|
| MS4S17,<br>MS17S17<br>Village | 15              | Ligne droite     | Tout droit | Véhicule en cours de manœuvre à l'avant | Un véhicule manœuvre devant la navette pour se garer   |   |
| MS2S1<br>Village              | 30              | Sortie riveraine | Tout droit | Véhicule en cours de manœuvre à l'avant | Des véhicules en cours de manœuvre devant la navette pour rentrer dans des garages ou pour passer des portails | MS10S9<br><br>MS11S2<br><br>MS12S4<br><br>MS13S3<br> |



## 4. RETOUR D'EXPERIENCE SUR LES TESTS SUR PISTES

### 4.1 RETOUR D'EXPERIENCE SUR LE PROCESSUS DE MISE EN ŒUVRE DES SCENARIOS

Les analyses de parcours avec les méthodes SCAPENA et MISENA définissent des scénarios critiques en fonction des tronçons du parcours. Les grands principes de traitement et de mise en œuvre des scénarios critiques sur piste d'essais sont présentés sur la Figure 6.

#### 4.1.1 Les données d'entrée

Les données d'entrée nécessaire à la définition des protocoles et à leur mise en œuvre sont les suivantes :

1. Les scénarios critiques issus des analyses de parcours ;
2. Les caractéristiques de chaque tronçon ;
3. Les comportements des autres usagers ;
4. Les conditions de déploiement du véhicule sur chaque tronçon ;
5. Les capacités de détection du véhicule ;
6. Les réponses attendues du véhicule.

#### Les scénarios critiques

Ces scénarios sont des descriptions verbales de situations routières accidentogènes.

Le domaine de la validation des véhicules automatisés a défini 3 types de scénarios en fonction de leur niveau d'abstraction (voir le rapport méthodologique [12]) :

- **Scénarios concrets** : séquence de déroulement complètement définie, chaque valeur est précisée et toutes les spécificités sont définies. Le scénario concret est le niveau d'instanciation maximal ;
- **Scénarios logiques** : présente la logique de déroulement (avec, au besoin, des plages de valeurs et les distributions logiques). Le scénario logique est le niveau générique ;
- **Scénarios fonctionnels** : description d'une situation accidentogène ; regroupement par familles de scénarios logiques.

Les scénarios critiques définis sont donc du ressort des scénarios fonctionnels. Dans le but de pouvoir organiser des essais sur piste, il faut pouvoir passer du scénario fonctionnel à un set de scénarios concrets. Pour cela toutes les variables ayant un impact sur le déroulement des événements à étudier sont à définir et à instancier.

Cette instanciation doit se faire en prenant en compte les autres données d'entrée comme défini sur la Figure 6.

#### Les caractéristiques de chaque tronçon

Les caractéristiques de l'infrastructures doivent être étudiées :

- Largeur de voie ;
- Géométrie ;
- Visibilité ;
- Régime de priorité ;
- etc.

## Les comportements des autres usagers

Les types d'autres usagers intervenants sont définis dans le scénario fonctionnel. Cependant, leur comportement doit être caractérisé : vitesse, géométrie de la trajectoire, etc.

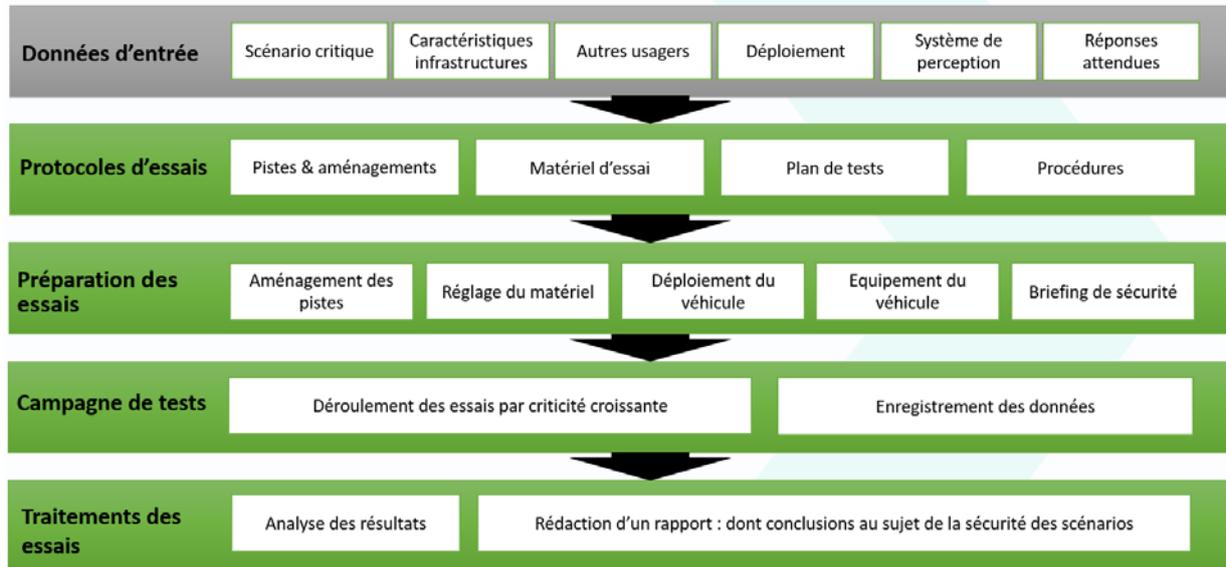


FIGURE 6 : PROCESSUS DE TRAITEMENT DES SCENARIOS CRITIQUES POUR LES TESTS SUR PISTES

## Les conditions de déploiement du véhicule sur chaque tronçon

Le concepteur du système technique ou l'organisateur du service doivent fournir :

- Les vitesses de déploiement prévues ;
- La gestion des régimes de priorités en cas d'intersection ;
- Les modifications d'aménagements le cas échéant ;
- Les horaires d'exploitations prévues ;
- Etc.

## Les capacités de détection du véhicule ou du système

Il s'agit de définir les paramètres influençant le système de perception du véhicule pour être en mesure de créer sur piste des conditions suffisamment réalistes.

Exemples d'informations utiles :

- Géolocalisation : GPS et/ou SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) ;
- Types de capteurs : lidars, radars, caméras... ;
- Champs des capteurs ;
- Etc.

## Les réponses attendues de la part du véhicule ou du système

Le comportement attendu du véhicule sur le scénario doit être connu à l'avance. Cela permet d'une part de juger de la qualité de la réponse observée lors de l'essai et d'autre part, de gérer la sécurité de l'essai.

## 4.1.2 Protocoles d'essais

Ces données d'entrées sont nécessaires et doivent être analysées pour définir les protocoles d'essais.

### Pistes et aménagements

Chaque scénario doit être implanté sur un endroit des pistes. Cette implantation doit être choisie en fonction des infrastructures du parcours réel où le scénario critique a été détecté et également du système de perception du véhicule. Les aménagements peuvent être ajoutés sur les pistes pour coller au plus près aux conditions des scénarios réels.

Par exemple, si la trajectoire du véhicule est basée sur des marquages au sol, il faudra implanter le scénario sur des marquages similaires ou en créer. Si le véhicule ne détecte pas les marquages, cette information n'a pas d'utilité dans le choix de l'implantation des essais.

### Matériel d'essais

Le matériel de test adéquat doit être défini en fonction du scénario et de ce qui doit être évalué. Il faut notamment choisir une (des) cible(s) représentative(s) de l'utilisateur(s) de la route impliqué(s). Le matériel de mesure adapté doit également être mis en œuvre.

Si le scénario implique un risque de collision, une cible impactable sera choisie. Il en existe de deux types :

- Un robot plat motorisé et commandé à distance qui embarque une représentation légère et fusible de l'utilisateur en question. Ce système fonctionne notamment pour les cibles « véhicule léger » et « 2 roues motorisées » ;
- Une plaque au sol tractée par une courroie et qui met en mouvement un mannequin léger. Ce système peut représenter un cycliste ou un piéton.

Que la cible soit impactable ou un usager réel, la question de la synchronisation entre le véhicule en test et l'autre usager est fondamentale.

Les systèmes de cible impactable sont directement conçus pour programmer la synchronisation du scénario. Pour cela, le véhicule en tests est équipé d'une centrale inertielle RTK, d'un contrôleur et d'un système de communication avec la cible.

Dans le cas de l'utilisation d'un véhicule réel comme cible, un robot de conduite est utilisable pour maîtriser la synchronisation avec le véhicule en test. Il est aussi possible d'embarquer du matériel de mesure et de baser la synchronisation des essais sur l'expertise du pilote. Les synchronisations exactes des essais seront recalculées en post-traitement.

### Plan de tests

Toutes les variables qui nécessitent d'être prises en compte pour étudier le scénario critique sont à définir et à « croiser » en fonction des besoins d'analyse de sécurité.

La sécurité de la mise en œuvre des essais est également un facteur important à prendre en compte dans la définition du plan de tests. En effet, le principe de la criticité croissante est fondamental. Les essais les plus simples et moins critiques doivent toujours être déroulés les premiers et les essais doivent se poursuivre avec les modalités progressivement plus critiques.

La synchronisation des trajectoires véhicule automatisé / cible est le facteur qui influence le plus la criticité. Par exemple, le TTC (temps avant collision) est une variable contrôlée souvent utilisée pour paramétrer les scénarios. En cas d'enregistrement d'une collision sur un essai, il est recommandé de ne pas poursuivre sur des modalités plus critiques de synchronisation.

Les phénomènes de masquage sont également souvent pris en compte dans les scénarios. Il est recommandé de débiter les essais sans masquage et de les poursuivre avec de plus en plus de masquage.

### Procédure d'essais

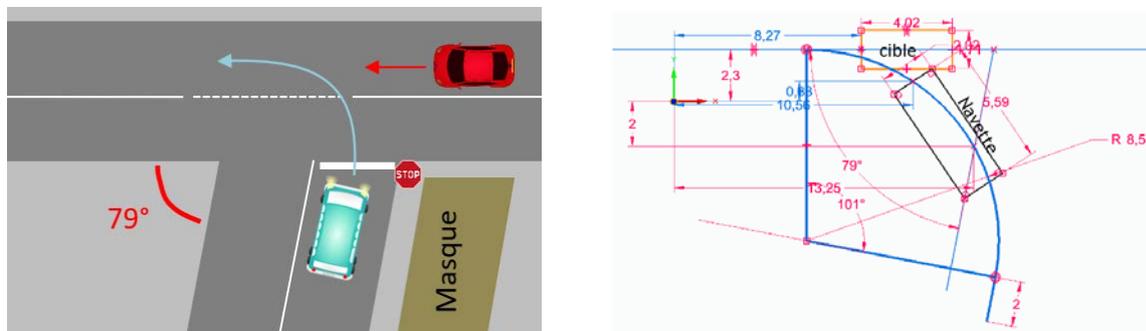
Il s'agit de rédiger l'ensemble des actions à réaliser pour mener un test de bout en bout.

#### 4.1.3 Préparation des essais

La mise en œuvre des essais demande une préparation minutieuse. La préparation et la campagne d'essais sur piste implique la coordination de plusieurs personnes qui n'appartiennent pas forcément à la même entreprise. Une des premières étapes est un briefing de sécurité au cours duquel une analyse de risque est conduite et des mesures de prévention sont définies.

Les préparations de la campagne d'essais incluent également :

- D'aménager les pistes comme prévu dans le protocole de tests ;
- De préparer les réglages du matériel pour toutes les modalités du plan de test. Ce travail peut être particulièrement fastidieux pour ajuster les synchronisations cible / véhicule de test (Figure 7) ;
- Sa trajectoire doit être définie précisément pour la synchronisation avec la cible. Le véhicule automatisé à tester doit être déployé sur piste et suivre cette trajectoire. Il s'agit de le faire fonctionner en autonome avec les paramètres du plan de test qui sont ceux du futur parcours. Ce travail peut impliquer une cartographie des pistes.
- Les moyens de mesures nécessaires doivent être mis en œuvre et calibrés, notamment dans le véhicule.



**FIGURE 7 : EXEMPLE DE PARAMETRAGE DES TRAJECTOIRES CIBLE ET NAVETTE POUR LE SCENARIO VL11A DU PARCOURS DE CŒUR DE BRENNE – VOIR LIVRABLE 3.2.2B**

#### 4.1.4 Campagne d'essais

La campagne d'essais peut ensuite débiter en suivant les protocoles de tests et les prescriptions de sécurité. Le principe de criticité croissante a déjà été expliqué dans le paragraphe concernant le plan de tests.

Les données d'essais doivent être enregistrées et sauvegardées de manière pérenne.

#### 4.1.5 Traitement des données

Suite aux essais, les données doivent être traitées. Par exemple, les accélérations peuvent être filtrées avec un Butterworth.

Pour chaque scénario, les résultats sont à présenter en comparant le comportement du véhicule enregistré vis-à-vis du comportement attendu.

## 4.2 RETOUR D'EXPERIENCE SUR LA CONSIDERATION DES SCENARIOS ET DES RESULTATS

### 4.2.1 Scénario critiques vs scénarios de test

Le principe des tests sur piste est d'évaluer l'OEDR. C'est-à-dire les capacités du véhicule à Détecter un Objet ou un Evénement et à produire une Réponse.

Le processus précédemment montré a été défini dans un but de pragmatisme. Les scénarios critiques y sont traités en prenant en compte les caractéristiques fonctionnelles du véhicule autonome.

Les navettes autonomes testés ayant des systèmes de perceptions basés sur la détection de cible(s) mobile(s) dans des zones précises autour d'elle, certains scénarios critiques ont pu être regroupés car il a été considéré qu'ils faisaient partie du même OEDR. La Figure 8 donne un exemple de scénarios critiques regroupés.

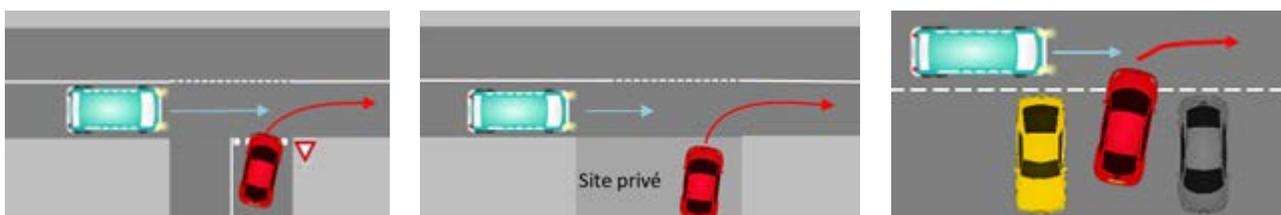


FIGURE 8 : EXEMPLE DE SCENARIOS CRITIQUES FUSIONNES EN UN SEUL SCENARIO DE TEST VL3

### 4.2.2 Essais exploratoires ou validation du déploiement

Le livrable L3.2.1A présente une première version des protocoles d'essais qui visent à mettre en œuvre les scénarios critiques sur les pistes. Les caractéristiques des déploiements dans les parcours n'y sont pas prises en compte. Les paramètres tels que la vitesse y sont utilisés comme une variable à modalités multiples dans le but d'explorer les performances de la navette et de pouvoir formuler des recommandations pour les déploiements. Ces plans d'essais très fastidieux ont ensuite été abandonnés pour des tests de validation plus ciblés. Les scénarios du futur parcours tels que prévus dans le déploiement par le constructeur du véhicule (vitesse prévue) y sont testés.

### 4.2.3 Les conclusions en termes de sécurité

Lors des essais de scénarios critiques avec risque de collision, il est compliqué de présenter des conclusions en termes de sécurité. En effet, le protocole consiste à effectuer les essais avec une criticité croissante et les tests vont souvent jusqu'à enregistrer une collision entre la cible et le véhicule à tester. Cependant, cette collision ne signifie pas que le véhicule n'est pas sûr. Le scénario est peut-être tellement critique que l'accident est inévitable même par un conducteur humain.

Les essais avec criticité croissantes permettent d'étudier les limites de l'OEDR mais les conclusions quant à la sécurité des déploiements restent encore délicates à formuler car aucun règlement ne fixe de limites ou d'objectifs chiffrés. A l'heure actuelle, l'ADS act [7] reporte la responsabilité de définir les objectifs de sécurité sur le constructeur du système ADS.

Dans le cadre l'ENA, les résultats des essais sont surtout utiles pour la formation des conducteurs de sécurité qui doivent connaître ces limites de performances pour assurer la sécurité sur le parcours.

### 4.3 COMPARAISON ENTRE L'USAGE DES TESTS SUR PISTE DANS LE CADRE D'ENA ET LE CADRE REGLEMENTAIRE EN 2023

Dans le cadre du projet ENA, des essais sur pistes des scénarios critiques ont été programmés dans le but de sécuriser les déploiements des expérimentations de navettes autonomes.

Ce programme a été défini avant la publication du décret n°2021-873 du 29 juin 2021 [6] qui réglemente les déploiements des systèmes de transports routiers automatisés (STRA) en France et avant le règlement (UE) 2022/1426 qui concerne les procédures uniformes et les spécifications techniques pour la réception par type des systèmes de conduite automatisée (ADS) des véhicules entièrement automatisés [7].

Dans les prochains déploiements d'un STRA, le STRMTG prévoit que le véhicule autonome ait été homologué avant la mise en œuvre de l'exploitation du service.

L'homologation prévoit un programme de tests sur pistes, en plus de tests virtuels, de tests en conditions réelles et d'audits.

Les programmes d'essais et de validations de l'homologations sont définis de manière à certifier le bon fonctionnement du véhicule automatisé sur son ODD (operational design domain). Les listes de scénarios gérés par le système autonome font donc partie des documents pour sa réception.

Le processus de démonstration de la sécurité pour le déploiement d'un STRA comprend 3 types de dossiers qui marquent les grandes étapes (voir le paragraphe 2.2.1) :

- Le dossier de conception technique ;
- Le dossier préliminaire de sécurité ;
- Le dossier de sécurité.

En dehors des tests faits pour les homologations, il sera possible de faire appel à des tests sur piste pour produire des preuves complémentaires de l'adéquation entre l'ODD du véhicule et le parcours du service de mobilité défini. A noter que les tests sur pistes sont particulièrement nécessaires pour mettre en œuvre des tests de scénarios critiques, trop dangereux pour être testés directement en route ouverte.

## 5. LIENS ENTRE INCIDENTS CONSTATES, ANALYSES DE RISQUES ET TESTS SUR PISTES

### 5.1. PRINCIPE DE TRAVAIL

Durant les expérimentations sur route ouverte, les navettes étaient équipées de systèmes d'enregistrement des événements. Le chauffeur de sécurité devait « tagger » les événements rencontrés sur le parcours. Peu d'événements ont été relevés sur le parcours de Cœur de Brenne. En revanche, près de 3800 événements ont été relevés lors de l'expérimentation de CASA.

Ce chapitre va donc se concentrer sur les données de CASA.

Tous les tags enregistrés sur le parcours ont besoin d'être vérifiés et traités pour une meilleure compréhension des circonstances. Le volume très important de données ne permet pas à l'équipe du projet ENA de tous les analyser et des sélections sont opérées.

Les tags enregistrés sur le parcours vont être comparés aux scénarios testés sur les pistes.

Quelques focus sur des événements sont faits pour des comparaisons qualitatives plus détaillées.

Il est à noter que les scénarios sur piste ont abouti à des données quantitatives comme par exemple, les trajectoires des cibles. Ces données ne peuvent pas être directement comparées aux données sur le parcours avec des métriques car seules des vidéos permettent d'évaluer le comportement de l'autre usager de la route potentiellement impliqué dans l'événement.

### 5.2. INCIDENTS RELEVÉS SUR LE PARCOURS DE CASA VS ANALYSES DE PARCOURS SCAPENA

22 scénarios critiques avaient été identifiés avec la méthode SCAPENA sur les 8 types d'infrastructures. L'évaluation de leur occurrence et criticité est basée sur deux critères. Le premier est l'évaluation lors du codage manuel de la criticité des événements. Le deuxième critère est le nombre de freinage observés qui reflète les freinages non prévus sur le parcours.

**TABEAU 9 : EVALUATION DE LA CRITICITE DES EVENEMENTS LORS DU CODAGE MANUEL**

|                               | Nb Situations critiques | Nb Freinage |
|-------------------------------|-------------------------|-------------|
| Animal                        |                         | 3           |
| Dépassement proche            |                         | 85          |
| Eblouissement                 |                         | 1           |
| Incident                      | 9                       | 9           |
| Rabatement proche             | 12                      | 173         |
| Refus de priorité             | 1                       | 15          |
| Remontée de file              | 4                       | 4           |
| Sortie de stationnement       | 3                       | 1           |
| Sortie parking                |                         | 1           |
| Stationnement gênant          |                         | 11          |
| Travaux                       |                         | -           |
| Traversée hors passage piéton | 3                       | -           |
| Traversée passage piéton      | 3                       | 28          |
| Usager sortant du véhicule    | 5                       | -           |
| Végétation                    |                         | 31          |
| Vitesse excessive             | 3                       | 5           |
| <b>Total</b>                  | <b>43</b>               | <b>367</b>  |

Dans la suite de cette section les répartitions des événements par type d'infrastructure sont étudiées.

Les trois scénarios identifiés par la méthode sur la plateforme qui se trouve au milieu du giratoire, étaient :

- « Collision de la navette avec cycliste en sens inverse sur zone piétonne » un pour chaque section : entrée, arrêt et sortie de la plateforme.

En réalité, il n'y avait pas de cycliste sur cette zone. Cela n'était pas identifiable en début de projet car la zone a été créée pour l'expérimentation et les travaux n'étaient pas encore bien définis.

Les scénarios non identifiés par la méthode sont :

- Le refus de priorité en sortie de plateforme bien géré par la navette ;
- L'évènement animal qui fait partie de la liste PHA donc n'était pas dans notre analyse.

**TABLEAU 10 : LISTE DES EVENEMENTS SUR LES SECTIONS PROTEGEES**

|                   | Nb Situations critiques | Nb Situation non critiques | Nb Freinage |
|-------------------|-------------------------|----------------------------|-------------|
| Animal            |                         | 5                          | 2           |
| Refus de priorité |                         | 1                          | -           |
| <b>Total</b>      | <b>0</b>                | <b>6</b>                   | <b>2</b>    |

Les scénarios identifiés par la méthode sur le carrefour avec un cédez le passage entre la section urbaine et périurbaine sont :

- Deux scénarios « Collision de la navette avec un VL ou un PL ne respectant pas la priorité à droite un carrefour cédez le passage » », un à l'aller (cédez le passage à droite) et un au retour (cédez le passage à gauche).

Il a été observé beaucoup de refus de priorité à cette intersection qui ont généré des freinages importants.

Les scénarios non identifiés par la méthode sont :

- Une traversée proche de la navette s'est produite juste avant l'intersection sans gros freinage mais plusieurs freinages ont été observés sur les passages piétons mais elles n'ont pas été jugées critiques la plupart du temps.
- Il y a eu beaucoup de dépassement sur l'intersection dont une critique car un 2RM qui arrivait en face a dû ralentir.

**Les scénarios prévus ont bien été observés mais il faudrait ajouter les dépassements sur intersections.**

**TABLEAU 11 : LISTE DES EVENEMENTS SUR CARREFOUR CEDEZ LE PASSAGE**

|                               | Nb Situations critiques | Nb Situation non critiques | Nb Freinage |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------|
| Dépassement proche            |                         |                            | 7           |
| Incident                      | 1                       | 2                          | 2           |
| Rabatement proche             | -                       | 2                          | 4           |
| Refus de priorité             |                         |                            | 5           |
| Remontée de file              | -                       | 2                          | -           |
| Sortie de stationnement       | -                       | 3                          | -           |
| Traversée hors passage piéton | 1                       | 2                          | -           |
| Traversée passage piéton      | -                       | 4                          | 6           |
| Vitesse excessive             | 1                       | 1                          | -           |
| <b>Total</b>                  | <b>3</b>                | <b>16</b>                  | <b>24</b>   |

Les scénarios identifiés par la méthode sur le carrefour avec un stop en section périurbaine sont :

- Deux scénarios « Collision de la navette avec un VL ou un PL ne respectant pas la priorité à droite un carrefour Stop », un à l'aller (Stop à droite) et un au retour (Stop à gauche).

Il y a eu des refus de priorité qui n'ont pas été jugés critiques.

Les scénarios non identifiés par la méthode sont :

- Les dépassements dangereux.

Les freinages sont encore dus en grande partie à des dépassements ou rabattements proches.

- La végétation.

Cet événement ne faisait pas partie de la liste initiale.

**Les scénarios prévus ont bien été observés mais il faudrait ajouter les dépassements sur intersections.**

**TABLEAU 12 : LISTE DES EVENEMENTS SUR CARREFOUR STOP**

|                    | Nb Situations critiques | Nb Situation non critiques | Nb Freinage |
|--------------------|-------------------------|----------------------------|-------------|
| Dépassement proche |                         |                            | 2           |
| Incident           |                         | 2                          | -           |
| Rabattement proche |                         | 1                          | 9           |
| Refus de priorité  |                         | 2                          | -           |
| Remontée de file   |                         | 2                          | -           |
| Végétation         |                         |                            | 4           |
| <b>Total</b>       | <b>0</b>                | <b>7</b>                   | <b>15</b>   |

Les scénarios identifiés par la méthode sur le giratoire à feux, deux scénarios « Collision de la navette avec un VL ou un PL ne respectant pas la priorité au rond-point » sont :

- Un à l'aller (sortant de la plateforme).

Ce scénario s'est produit très souvent mais n'as pas généré de gros freinage sauf pour un incident.

- Un au retour (sortant du parcours en route ouverte).

Deux incidents concernant des véhicules qui se sont rabattus juste avant le giratoire dans le sens retour qui ont fait une queue de poisson à la navette ont été observés.

Une traversée piétonne sur la ligne d'arrêt de la navette bien que non critique a été observée.

**Les scénarios prévus ont été observés.**

**TABLEAU 13 : LISTE DES EVENEMENTS SUR GIRATOIRE AVEC FEUX**

|                               | Nb Situations critiques | Nb Situation non critiques | Nb Freinage |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------|
| Animal                        | -                       | 1                          | -           |
| Incident                      | 3                       | -                          | 1           |
| Refus de priorité             | -                       | 11                         | -           |
| Traversée hors passage piéton | -                       | 1                          | -           |
| <b>Total</b>                  | <b>3</b>                | <b>13</b>                  | <b>1</b>    |

Le scénario identifié par la méthode sur le giratoire sans feux sur laquelle la navette fait le demi-tour entre l'aller et le retour, est :

- « Collision de la navette avec un VL ou un PL ne respectant pas la priorité au rond-point ».

Des refus de priorité qui ont généré des freinages de la navette ont bien été observés. L'incident correspond à un dépassement juste avant le giratoire lors duquel le véhicule a fait une queue de poisson à la navette.

Le scénario non identifié mais non critique est :

- Traversée sur passage piéton

Il y a eu aussi beaucoup de traversée de piéton car il y avait une crèche près de ce giratoire qui n'avait pas été identifié. Il aurait donc fallu augmenter la fréquence de cet événement.

**Les refus de priorité ont bien été observés mais pas les scénarios passages piétons.**

**TABLEAU 14 : LISTE DES EVENEMENTS SUR GIRATOIRE SANS FEUX**

|                          | Nb Situations critiques | Nb Situation non critiques | Nb Freinage |
|--------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------|
| Animal                   |                         | 1                          | 1           |
| Incident                 |                         | 1                          | 1           |
| Rabattement proche       |                         | -                          | 1           |
| Refus de priorité        |                         | 2                          | 2           |
| Traversée passage piéton |                         | 8                          | 3           |
| <b>Total</b>             | <b>0</b>                | <b>12</b>                  | <b>8</b>    |

Les scénarios identifiés par la méthode sur les sections urbaines, six scénarios sont :

- Un « Collision de la navette avec un piéton pouvant être masqué par des véhicules stationnés », deux (aller et retour) « Collision de la navette avec un piéton pouvant être masqué par des véhicules stationnés en bataille », un (retour) « Collision de la navette avec un piéton qui sort entre véhicules stationnés »

Il n'y a pas eu de piéton qui sortait entre deux véhicules par contre un scénario de piéton masqué par un buisson avant le passage piéton. Il semblerait que sur cette route très fréquentée, les piétons soient assez prudents et ne sortent pas sans regarder.

- Un (retour) « Collision de la navette avec un VL ou un PL coupant la route pour rentrer dans un parking »,

Il a été observé plusieurs véhicules qui coupaient la route pour prendre ou sortir d'un stationnement.

- Un (retour) « Collision de la navette avec cycliste en sens inverse ».

Il n'y avait pas de cycliste en sens inverse. La fréquence de cet événement a été surestimée.

Les scénarios non prévus ont été les suivants :

- Plusieurs scénarios critiques avec des usagers rentrant ou sortant de leur véhicule lorsqu'ils sont en stationnement en créneau ont été observés.
- Les traversées critiques sur passage piéton ont eu lieu lorsque qu'ils venaient de la droite (2) et à cause d'un masquage par un buisson sur la gauche.
- Certains dépassements ou remonté de file près des passages piétons ont été critiques.

**Des scénarios prévus ont bien été observés mais il manquait les sorties d'usagers près des stationnements en créneau et les conséquences de dépassements.**

**TABLEAU 15 : LISTE DES EVENEMENTS SUR LES SECTIONS COURANTES URBAINES**

|                               | Nb Situations critiques | Nb Situation non critiques | Nb Freinage |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------|
| Animal                        | -                       | 6                          | -           |
| Dépassement proche            |                         | -                          | 9           |
| Incident                      | 1                       | 4                          | 2           |
| Rabatement proche             | 7                       | 17                         | 32          |
| Refus de priorité             | 1                       | 1                          | 4           |
| Remontée de file              | 3                       | 10                         | 3           |
| Sortie de stationnement       | 3                       | 29                         | 1           |
| Stationnement gênant          |                         | -                          | 3           |
| Traversée hors passage piéton | 1                       | 34                         | -           |
| Traversée passage piéton      | 3                       | 70                         | 17          |
| Usager sortant du véhicule    | 2                       | 25                         | -           |
| Vitesse excessive             | -                       | 3                          | -           |
| <b>Total</b>                  | <b>21</b>               | <b>199</b>                 | <b>71</b>   |

Le scénario identifié par la méthode sur la section sortie entreprise était :

- « Collision de la navette avec un VL ou un PL qui sort d'une sortie riveraine à droite en ne respectant pas la priorité ».

Il n'a pas été observé. L'incident observé était un dépassement dangereux et la traversée hors passage piéton concernait une traversée de gauche à droite.

**TABLEAU 16 : LISTE DES EVENEMENTS SUR LES SORTIES D'ENTREPRISE**

|                               | Nb Situations critiques | Nb Situation non critiques | Nb Freinage |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------|
| Dépassement proche            |                         | -                          | 18          |
| Incident                      | 1                       | 3                          | -           |
| Rabatement proche             | -                       | 3                          | 13          |
| Stationnement gênant          |                         | -                          | 1           |
| Traversée hors passage piéton | 1                       | 4                          | -           |
| Traversée passage piéton      | -                       | 1                          | 1           |
| Vitesse excessive             | -                       | 1                          | 1           |
| <b>Total</b>                  | <b>2</b>                | <b>13</b>                  | <b>34</b>   |

Sur les sections périurbaines, étaient identifiés :

- Six scénarios « Collision de la navette avec un piéton sur la voie parallèlement à la navette.

Il n'y a eu qu'un scénario de piéton sur la voie qui n'a pas générer de freinage important.

- Cinq « Collision de la navette avec un VL ou un PL qui sort d'une sortie riveraine à droite en ne respectant pas la priorité » aux sorties riveraines sur les parcours.

Ces scénarios ne sont pas survenus car aucun véhicule sur ces sorties riveraines n'a été observé.

Les scénarios non prévus sont semblables à ceux de la section urbaine :

- Dépassement dangereux ;
- Sortie de véhicule stationné en créneau.

**TABLEAU 17 : LISTE DES EVENEMENTS SUR LES SECTIONS COURANTES PERIURBAINES**

|                               | Nb Situations critiques | Nb Situation non critiques | Nb Freinage |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------|
| Animal                        | -                       | 7                          | -           |
| Dépassement proche            |                         | -                          | 49          |
| Eblouissement                 |                         | -                          | 1           |
| Incident                      | 3                       | 7                          | 3           |
| Rabatement proche             | 5                       | 29                         | 114         |
| Refus de priorité             | -                       | 1                          | 4           |
| Remontée de file              | 1                       | 12                         | 1           |
| Sortie de stationnement       | -                       | 11                         | -           |
| Sortie parking                | -                       | 1                          | 1           |
| Stationnement gênant          |                         | -                          | 7           |
| Travaux                       |                         | -                          | -           |
| Traversée hors passage piéton | -                       | 19                         | -           |
| Traversée passage piéton      | -                       | 3                          | 1           |
| Usager sortant du véhicule    | 3                       | 32                         | -           |
| Végétation                    |                         | -                          | 27          |
| Vitesse excessive             | 2                       | 33                         | 4           |
| <b>Total</b>                  | <b>14</b>               | <b>156</b>                 | <b>212</b>  |

### 5.3. INCIDENTS RELEVES SUR LE PARCOURS DE CASA VS ANALYSES DE PARCOURS MISENA

Sur le tronçon 1 (Plateforme) les scenarios identifiés par la méthode Misena sont les suivants :

- Collision par nez à nez entre deux navettes circulant en sens inverse sur la voie unique ;
- Collision avec un UV présent sur la voie sans la traverser, notamment avec un cycliste en absence de piste dédiée sur la zone.

Et les scenarios identifiés pour tous les tronçons :

- Collision avec un UV présent sur la voie sans la traverser ;
- Collision avec un UV entrant brusquement dans la trajectoire de la navette (notamment traversée de la voie) ;
- Collision avec un UV traversant la route hors passage piéton ;
- Collision arrière avec un Véhicule liée à une décélération rapide de la navette ;
- Collision avec l'objet fixe sur la voie.

### Aucun de ces scénarios ne se sont pas produits

Sur le tronçon 2 (giratoire à feux) les scénarios identifiés par la méthode Misena sont les suivants :

- Collision avec un UV liée aux feux sur le passage du rond-point Saint Philippe ;  
Ce scénario a été observé une fois
- Collision avec un Véhicule liée aux feux sur le passage du rond-point Saint Philippe.

Les refus de priorité ont été très fréquents dont 3 ont été critiques.

Et les scénarios identifiés pour tous les tronçons sont :

- Collision avec un UV présent sur la voie sans la traverser ;
- Collision avec un UV entrant brusquement dans la trajectoire de la navette (notamment traversée de la voie) ;
- Collision avec un UV traversant la route hors passage piéton ;
- Collision arrière avec un Véhicule liée à une décélération rapide de la navette ;
- Collision avec l'objet fixe sur la voie.

**TABLEAU 18 : LISTE DES EVENEMENTS SUR LE TRONÇON 1**

|                   | Nb Situations critiques | Nb Situation non critiques | Nb Freinage |
|-------------------|-------------------------|----------------------------|-------------|
| Animal            |                         | 5                          | 2           |
| Refus de priorité |                         | 1                          | -           |
| <b>Total</b>      | <b>0</b>                | <b>6</b>                   | <b>2</b>    |

**Les scénarios spécifiques au tronçon 2 se sont produits mais pas les scénarios pour toutes les sections.**

Sur les tronçons 4 6 8 (intersections) les scénarios identifiés par la méthode Misena sont les suivants :

- Collision avec un véhicule sans respecter la priorité au croisement ;
- Collision avec un Cycliste sortant du village des entreprises avec pente importante et en courbure (visibilité réduite).

Et les scénarios identifiés pour tous les tronçons :

- Collision par nez-à-nez avec un Véhicule suite au changement inopiné de trajectoire (dépassement, manœuvre d'urgence, manœuvre non intentionnelle ou intempestive) ;
- Collision avec un UV présent sur la voie sans la traverser ;
- Collision avec un UV entrant brusquement dans la trajectoire de la navette (notamment traversée de la voie) ;
- Collision avec un UV traversant la route hors passage piéton ;
- Collision avec un UV au passage piétons ;
- Collision arrière avec un Véhicule liée à une décélération rapide de la navette ;
- Collision frontale avec un Véhicule liée à une décélération rapide du véhicule ;
- Collision avec l'objet fixe sur la voie.

**TABLEAU 19 : LISTE DES EVENEMENTS SUR LE TRONÇON 2**

|                               | Nb Situations critiques | Nb Situation non critiques | Nb Freinage |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------|
| Animal                        | -                       | 1                          | -           |
| Incident                      | 3                       | -                          | 1           |
| Refus de priorité             | -                       | 11                         | -           |
| Traversée hors passage piéton | -                       | 1                          | -           |
| <b>Total</b>                  | <b>3</b>                | <b>13</b>                  | <b>1</b>    |

Les évènements observés auraient pu créer les événements redoutés suivants :

- Refus de priorité : Collision avec un véhicule sans respecter la priorité au croisement ;
- Dépassement dangereux : Collision par nez-à-nez avec un Véhicule suite au changement inopiné de trajectoire (dépassement, manœuvre d'urgence, manœuvre non intentionnelle ou intempestive) ;
- Traversée hors passage piéton : Collision avec un UV traversant la route hors passage piéton, Collision avec un UV entrant brusquement dans la trajectoire de la navette (notamment traversée de la voie) ;
- Traversée sur passage piéton : Collision avec un UV au passage piétons.

Aucun évènement observé n'aurait pu créer les événements redoutés suivants :

- Collision avec un Cycliste sortant du village des entreprises avec pente importante et en courbure (visibilité réduite) ;
- Collision avec un UV présent sur la voie sans la traverser ;
- Collision arrière avec un Véhicule liée à une décélération rapide de la navette ;
- Collision frontale avec un Véhicule liée à une décélération rapide du véhicule ;
- Collision avec l'objet fixe sur la voie.

**Un scénario sur deux spécifiques à ce tronçon a été retrouvé ainsi que les scénarios plus globaux au parcours sur les piétons et des dépassements.**

**TABLEAU 20 : LISTE DES EVENEMENTS SUR LES TRONÇONS 4 6 8**

|                               | Nb Situations critiques | Nb Situation non critiques | Nb Freinage |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------|
| Animal                        | -                       | 3                          | -           |
| Dépassement proche            |                         | -                          | 9           |
| Incident                      | 1                       | 4                          | 2           |
| Rabatement proche             | -                       | 3                          | 13          |
| Refus de priorité             | -                       | 3                          | 5           |
| Remontée de file              | -                       | 4                          | -           |
| Sortie de stationnement       | -                       | 3                          | -           |
| Traversée hors passage piéton | 1                       | 4                          | -           |
| Traversée passage piéton      | -                       | 16                         | 6           |
| Usager sortant du véhicule    | -                       | 1                          | -           |
| Végétation                    |                         | -                          | 4           |
| Vitesse excessive             | 1                       | 1                          | -           |
| <b>Total</b>                  | <b>3</b>                | <b>42</b>                  | <b>39</b>   |

Sur les tronçon 2 4 5 7 9 les scenarios identifiés par la méthode Misena sont les suivants :

- Collision avec un UV montant / descendant du véhicule garé liée au jugement imprécis de l'UV ou son inattention ;
- Collision avec un UV traversant la route hors passage piéton, soit mouvement brusque de l'UV, soit visibilité cachée par des véhicules stationnés ;
- Collision avec un véhicule sortant / entrant au stationnement lié aux jugements imprécis du conducteur ou de la navette ;
- Collision avec un véhicule sans respecter la priorité lors de son insertion.

Et les scenarios identifiés pour tous les tronçons :

- Collision par nez-à-nez avec un Véhicule suite au changement inopiné de trajectoire (dépassement, manœuvre d'urgence, manœuvre non intentionnelle ou intempestive) ;
- Collision avec un UV présent sur la voie sans la traverser ;
- Collision avec un UV entrant brusquement dans la trajectoire de la navette (notamment traversée de la voie) ;
- Collision avec un UV traversant la route hors passage piéton ;
- Collision avec un UV au passage piétons ;
- Collision arrière avec un Véhicule liée à une décélération rapide de la navette ;
- Collision frontale avec un Véhicule liée à une décélération rapide du véhicule ;
- Collision avec l'objet fixe sur la voie.

**TABLEAU 21 : LISTE DES EVENEMENTS SUR LES TRONÇONS 2 4 5 7 9**

|                               | Nb Situations critiques | Nb Situation non critiques | Nb Freinage |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------|
| Animal                        | -                       | 13                         | -           |
| Dépassement proche            |                         | -                          | 76          |
| Eblouissement                 |                         | -                          | 1           |
| Incident                      | 5                       | 14                         | 5           |
| Rabatement proche             | 12                      | 49                         | 159         |
| Refus de priorité             | 1                       | 2                          | 8           |
| Remontée de file              | 4                       | 23                         | 4           |
| Sortie de stationnement       | 3                       | 40                         | 1           |
| Sortie parking                | -                       | 1                          | 1           |
| Stationnement gênant          |                         | -                          | 11          |
| Travaux                       |                         | -                          | -           |
| Traversée hors passage piéton | 2                       | 57                         | -           |
| Traversée passage piéton      | 3                       | 74                         | 19          |
| Usager sortant du véhicule    | 5                       | 57                         | -           |
| Végétation                    |                         | -                          | 27          |
| Vitesse excessive             | 2                       | 37                         | 5           |
| <b>Total</b>                  | <b>37</b>               | <b>368</b>                 | <b>317</b>  |

Les évènements observés auraient pu créer les événements redoutés suivants :

- Usager sortant de son véhicule : Collision avec un UV montant / descendant du véhicule garé liée au jugement imprécis de l'UV ou son inattention ;
- Sortie de stationnement : Collision avec un véhicule sortant / entrant au stationnement lié aux jugements imprécis du conducteur ou de la navette ;
- Refus de priorité : Collision avec un véhicule sans respecter la priorité lors de son insertion ;
- Dépassement dangereux : Collision par nez-à-nez avec un Véhicule suite au changement inopiné de trajectoire (dépassement, manœuvre d'urgence, manœuvre non intentionnelle ou intempestive) ;
- Traversée hors passage piéton : Collision avec un UV traversant la route hors passage piéton, soit mouvement brusque de l'UV, soit visibilité cachée par des véhicules stationnés, Collision avec un UV traversant la route hors passage piéton, Collision avec un UV entrant brusquement dans la trajectoire de la navette (notamment traversée de la voie.

Aucun évènement observé n'aurait pu créer les événements redoutés suivants :

- Collision avec un UV présent sur la voie sans la traverser ;
- Collision arrière avec un Véhicule liée à une décélération rapide de la navette ;
- Collision frontale avec un Véhicule liée à une décélération rapide du véhicule ;
- Collision avec l'objet fixe sur la voie.

**La plupart des scénarios spécifiques à ces tronçons se sont produits.**

Sur les tronçons 2 4 5 7 9 les scénarios identifiés par la méthode Misena sont les suivants :

- Collision latérale avec un Véhicule liée à la gestion de priorité par navette au croisement ;
- Collision avec un véhicule suite à un non-respect de la priorité au giratoire ;
- Collision avec un véhicule suite à un non-respect de la priorité au giratoire.

Et les scénarios identifiés pour tous les tronçons sont :

- Collision par nez-à-nez avec un Véhicule suite au changement inopiné de trajectoire (dépassement, manœuvre d'urgence, manœuvre non intentionnelle ou intempestive) ;
- Collision avec un UV présent sur la voie sans la traverser ;
- Collision avec un UV entrant brusquement dans la trajectoire de la navette (notamment traversée de la voie) ;
- Collision avec un UV traversant la route hors passage piéton ;
- Collision arrière avec un Véhicule liée à une décélération rapide de la navette ;
- Collision par nez-à-nez avec un Véhicule suite au changement inopiné de trajectoire (dépassement, manœuvre d'urgence, manœuvre non intentionnelle ou intempestive) ;
- Collision avec l'objet fixe sur la voie.

**TABLEAU 22 : LISTE DES EVENEMENTS SUR LE TRONÇON 16**

|                          | Nb Situations critiques | Nb Situation non critiques | Nb Freinage |
|--------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------|
| Animal                   |                         | 1                          | 1           |
| Incident                 |                         | 1                          | 1           |
| Rabatement proche        |                         | -                          | 1           |
| Refus de priorité        |                         | 2                          | 2           |
| Traversée passage piéton |                         | 8                          | 3           |
| <b>Total</b>             | <b>0</b>                | <b>12</b>                  | <b>8</b>    |

Les évènements observés auraient pu créer les événements redoutés suivants :

- Refus de priorité : Collision avec un véhicule suite à un non-respect de la priorité au giratoire ;
- Dépassement dangereux : Collision par nez-à-nez avec un Véhicule suite au changement inopiné de trajectoire (dépassement, manœuvre d'urgence, manœuvre non intentionnelle ou intempestive) ;
- Traversée sur passage piéton : Collision avec un UV entrant brusquement dans la trajectoire de la navette (notamment traversée de la voie).

Aucun évènement observé n'aurait pu créer les évènements redoutés suivants :

- Collision latérale avec un Véhicule liée à la gestion de priorité par navette au croisement ;
- Collision avec un UV présent sur la voie sans la traverser ;
- Collision avec un UV traversant la route hors passage piéton ;
- Collision arrière avec un Véhicule liée à une décélération rapide de la navette ;
- Collision par nez-à-nez avec un Véhicule suite au changement inopiné de trajectoire (dépassement, manœuvre d'urgence, manœuvre non intentionnelle ou intempestive) ;
- Collision avec l'objet fixe sur la voie.

## 5.4. INCIDENTS RELEVÉS SUR LE PARCOURS DE CŒUR DE BRENNE VS ANALYSES DE PARCOURS SCAPENA

Sur l'expérimentation Cœur de Brenne très peu d'évènements ont été remontés. Les seuls évènements critiques ont été les sorties de route et les refus de priorité mais qui n'ont pas été générés par les autres usagers mais par la navette

**TABLEAU 23 : GESTION DES EVENEMENTS PAR TYPE D'EVENEMENT CŒUR DE BRENNE**

| Evènement          | Bien géré (Nb) | Bien géré (%) | Mal géré (Nb) | Mal géré (%) | Gestion Non Codé | Gestion Non Codé (%) | Nombre d'évènements |
|--------------------|----------------|---------------|---------------|--------------|------------------|----------------------|---------------------|
| Dépassement proche | 14             | 100%          | 0             | 0%           | 0                | 0%                   | 14                  |
| Incident           | 0              | 0%            | 0             | 0%           | 1                | 100%                 | 1                   |
| Intempéries        | 2              | 29%           | 1             | 14%          | 4                | 57%                  | 7                   |
| Rabatement proche  | 2              | 100%          | 0             | 0%           | 0                | 0%                   | 2                   |
| Refus de priorité  | 0              | 0%            | 3             | 100%         | 0                | 0%                   | 3                   |
| Sortie de route    | 2              | 14%           | 12            | 86%          | 0                | 0%                   | 14                  |
| Stationnement      | 37             | 93%           | 3             | 8%           | 0                | 0%                   | 40                  |
| Travaux            | 2              | 67%           | 0             | 0%           | 1                | 33%                  | 3                   |

Les évènements redoutés de type éblouissement n'ont pas été notés.

Les deux scénarios dus à l'évènement redouté « interaction du fait du comportement infractionniste d'un VL ou d'un PL » ne se sont pas produits à savoir :

- La navette roule tout droit à un carrefour dans lequel elle est prioritaire et un véhicule lui coupe la route ;
- La navette roule tout droit sur une route dans laquelle il y a des sorties riveraines et un véhicule sort d'une d'entre elles.

De même, les évènements dus à des problèmes potentiels de masquage n'ont pas été observés :

- La navette tourne à gauche à un carrefour avec un stop sur sa voie ;
- La navette s'insère sur une voie par en tournant à gauche avec une visibilité moyenne.

Enfin, des scénarios d'interaction avec d'autres usagers dans les villages :

- La navette roule sur un parking et un véhicule manœuvre devant la navette pour se garer ;
- La navette roule sur sa voie et un véhicule manœuvre devant la navette pour rentrer ou sortir d'une sortie riveraine.

Il semblerait qu'en milieu rural, vu le faible nombre de véhicules rencontrés dans les villages les scénarios critiques ne se sont pas produits.

Par contre, les trois refus de priorité sont intéressants.

- Les deux premiers sont à un carrefour avec un stop pour la navette. Ce stop n'avait pas été identifié car il n'y a aucun masquage du au parcours. Par contre, ce stop n'est pas à angle droit. Cet angle pourrait expliquer un problème de détection sur la gauche.



**FIGURE 9 : REFUS DE PRIORITE A UN STOP**

- Le dernier refus de priorité se situe dans une voie avec une priorité de passage au véhicule arrivant en face suite à un rétrécissement de la chaussée.



**FIGURE 10 : REFUS DE PRIORITE A UN RETRECISSEMENT DE VOIE**

## 5.5. SYNTHÈSE SUR LES INCIDENTS PARCOURS VS ANALYSE DE PARCOURS

Beaucoup d'évènements qui avait été identifié lors des analyses de parcours se sont produits. Par contre, certains évènements (en particulier avec les piétons) n'ont pas été identifié au départ car la spécification des flux nominaux a été sous-estimée (exemple flux nominal d'usagers vulnérables de la crèche sur le giratoire de CASA). A contrario, sur Cœur de Brenne, ces flux ont été surestimé ce qui a entraîné l'identification d'évènements critiques qui n'ont pas été observés. Cela confirme l'importance de bien estimé ces flux nominaux et surtout de ne pas les sous-estimer.

Le principal évènement qui a été oublié est le dépassement dangereux. Le danger ne vient pas de la navette mais du comportement des autres usagers qui veulent doubler la navette mais qui se mettent en danger vis-à-vis des autres usagers arrivant sur la voie opposée. Plusieurs fois des « trains » de véhicules qui doublaient et quelques fois le dernier se rabattait très proche des véhicules en face ont été observés. De même des dépassements sur des intersections ou des passages piétons ont été assez critiques.

Pour la méthode Scapena, il faudrait revoir la répartition entre évènements liés au parcours et évènements qui doivent être traités dans la PHA (preliminary hazard analysis). Ce problème été soulevé par ces évènements dépassement/rabattement dont la dangerosité n'est pas la même sur toutes les sections du parcours. De plus, le différentiel de vitesse entre la navette et la vitesse moyenne du flux est un facteur important pour expliquer le nombre plus ou moins important de ces évènements. De même, les évènements proposés par Misena sur la gestion des obstacles, des freinages brusques ou bien l'arrivée de véhicule à contresens sont inclus dans la liste PHA.

Un autre problème est dans l'évaluation de la fréquence d'un évènement redouté qui peut dépendre des conditions de trafic (exemple des traversées de piéton avec masquage dus aux véhicules stationnés) et pas uniquement des flux nominaux. En effet, les usagers s'adaptent au contexte et ne prennent pas forcément les mêmes décisions à un endroit donné mais des décisions différentes suivant le risque estimé dépendant du trafic.

Enfin, certains évènements ne sont pas critiques seuls mais leur combinaison peut être critique. Par exemple, un dépassement dans une intersection n'est pas forcément dangereux sauf si un autre usager fait un refus de priorité.

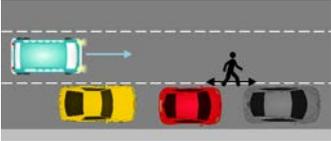
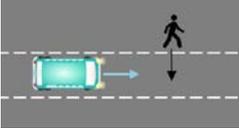
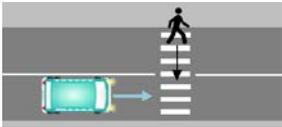
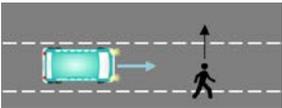
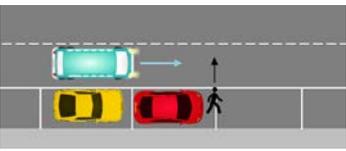
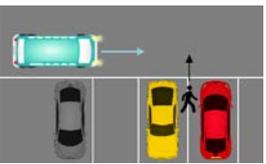
Une dernière question concerne les évènements végétation, animal. Doivent-ils être associés au parcours ou pas ? Est-ce un problème de fonctionnement de la navette ? Est-ce un problème de modification de la topographie du parcours ?

En conclusion, cette comparaison entre évènements identifiés au préalable et évènements observés permet de réfléchir aux améliorations possibles des méthodes d'analyse de parcours présentées dans la Sections 5.

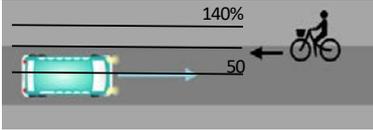
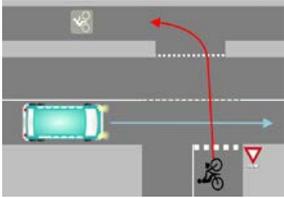
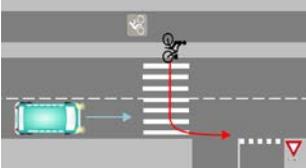
## 5.6. RAPPEL DES SCENARIOS DE TESTS DU PARCOURS DE CASA

Les Tableaux 24 à 26 rappellent les scénarios de tests définis sur le parcours de CASA et les résultats de leurs tests sur les pistes de TRANSPOLIS. Les scénarios critiques issus des analyses avaient été convertis en scénarios de tests comme expliqués dans le livrable 3.2.1B.

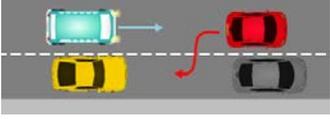
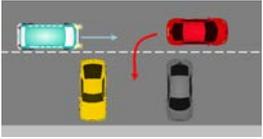
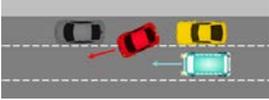
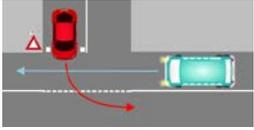
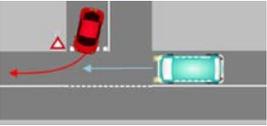
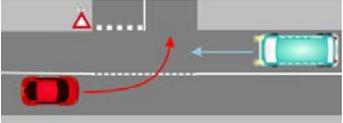
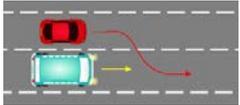
**TABLEAU 24 : SCENARIOS CRITIQUES IMPLIQUANT UN PIETON ET RESULTATS DES ESSAIS SUR PISTES**

| ID       | Schéma et description   | Résultat Navette CASA   |
|----------|---|---|
| Pi1      | Piéton marchant dans la voie ou en bord de voie<br>  | Détection du piéton et freinage doux ou passage si le piéton n'est pas dans la voie |
| Pi2-1    | Piéton traverse devant la navette hors passage pour piéton en courant (8km/h)<br>Point impact milieu avant navette (50%) - Euro NCAP<br>                                | Essais trop critiques pour la navette   |
| Pi2-1bis | Piéton traverse devant la navette sur un passage pour piéton en courant (8km/h)<br>Point impact milieu avant navette - Euro NCAP<br>                                   | La présence du passage pour piéton permet à la navette de bien gérer ce scénario    |
| Pi2-2    | Piéton traverse devant la navette en marchant (5km/h) hors passage pour piéton<br>Point impact 110, 75, 50 et 25% de la largeur de la navette - Euro NCAP<br>          | 110, 75 et 50% pas de collision mais des freinages d'urgence                        |
|          |   | Collision pour un point d'impact à 25% - piéton qui traverse à la dernière seconde  |
| Pi2-3    | Piéton (enfant) traverse devant la navette. Son départ est masqué par des véhicules garés en ligne. Point impact 50 et 25% de la largeur de la navette - Euro NCAP<br> | Pas de collision et freinage d'urgence à 50%  |
|          |   | 25% trop critique pour navette  |
| Pi2-4    | Piéton (enfant) traverse devant la navette. Son départ est masqué par des véhicules garés en ligne. Point impact 50 et 25% de la largeur de la navette<br>             | Pas de collision et freinage d'urgence à 50%  |
|          |   | 25% trop critique pour navette  |

**TABLEAU 25 : SCENARIOS CRITIQUES IMPLIQUANT UN CYCLISTE ET RESULTATS DES ESSAIS SUR PISTES**

| ID  | Schéma et description  | Résultat Navette CASA   |
|-----|--|---|
| Cy1 | Cycliste fait une remontée de file dans le sens inverse de la navette -<br>Position latérale: 50%, 120%, 140% de la largeur de la navette<br>   | 50% scénario infaisable - le cycliste rentrerait dans la navette                            |
|     |  | 120% - la navette freine brutalement et repart  |
|     |  | 140% - ne se passe rien   |
| Cy3 | Un cycliste traverse à 15km/h devant la navette en ne respectant pas la priorité 3 modalités<br>- passe devant, point d'impact à 50%, freine à la dernière minute pour laisser passer la navette mais empiète sur son path<br>    | 50% Collision systématique  |
|     |  | Passe devant : freinage d'urgence   |
|     |  | Laisse passer : freinage navette  |
| Cy4 | Un cycliste traverse à 15km/h devant la navette en empruntant un passage pour piéton - 3 modalités: passe devant, point d'impact à 50%, freine à la dernière minute pour laisser passer la navette mais empiète sur son path<br> | 50%: pas de collision, la navette laisse passer le cycliste en régulant sa vitesse          |
|     |  | Passe devant: la navette laisse passer le cycliste en régulant sa vitesse                   |
|     |  | Laisse passer : la navette laisse passer le cycliste même si celui-ci ne veut pas traverser |

**TABLEAU 26 : SCENARIOS CRITIQUES IMPLIQUANT UN VEHICULE LEGER ET RESULTATS DES ESSAIS SUR PISTES**

| ID       | Schéma et description  | Résultat Navette CASA   |
|----------|--|---|
| VL1-E-CR | <p>La navette avance en direction d'un VL qui va reculer pour faire un créneau</p>    | <p>En fonction du démarrage du VL, la navette peut lui laisser la place de faire son créneau comme elle peut le bloquer</p> |
| VL1-E-BA | <p>La navette avance en direction d'un VL qui va reculer pour entrer dans une place en bataille</p>   | <p>La navette régule sa vitesse et le véhicule peut faire sa manœuvre</p>   |
| VL1-S-CR | <p>Un VL sort d'une place de stationnement en ligne pour passer devant la navette: timing 5, 3, 2, 2.5 1 et 0.8s</p>                                        | <p>Une collision à 0.833s mais scénario ultra critique et irréaliste</p>  |
| VL2      | <p>Un VL ne respecte pas la priorité de la navette et lui coupe la route en tourne à gauche: C1 arrière VL contre coin gauche navette, C2 50%</p>          | <p>Pas de collision mais des freinages d'urgence appuyés</p>  |
| VL3      | <p>Un VL ne respecte pas la priorité et passe devant la navette: P2 passe devant à 2s de la navette, C : collision frontale</p>                           | <p>Pas de collision.<br/>Une bonne régulation de vitesse pour P2 et un FU pour éviter la collision</p>                      |
| VL4      | <p>Un VL en sens opposé vient couper la route de la navette pour tourner à gauche - C1: collision avant gauche navette arrière VL, C2: Collision 50%</p>  | <p>Pas de collision mais des freinages d'urgence appuyés</p>  |
| VL5      | <p>Un VL devant la navette fait un freinage plus ou moins appuyé: 2,4, 6m/s<sup>2</sup></p>   | <p>Pas de freinage d'urgence, la navette prend beaucoup de distance avec le VL et peut ainsi moduler son freinage</p>       |
| VL9      | <p>VL se rabattant devant la navette - VL 30km/h - navette 18km/h - 1s et 2s avant navette</p>    | <p>Pas de collision mais freinage d'urgence jusqu'à l'arrêt qui peut engendrer un risque de collision arrière</p>           |

## 5.7. INCIDENTS RELEVÉS SUR LE PARCOURS DE CASA VS SCENARIOS DE TEST

Premier constat, seuls des incidents ont été relevés. Aucun accident n'est survenu. Le Tableau 27 présente la liste des tags des événements enregistrés sur le parcours de CASA. Il s'agit d'une liste dressée sur des données brutes et non affinées. Les tags pris « sur le vif » peuvent parfois compter des erreurs. C'est pour cela que les données de bases ont été retraitées notamment grâce aux vidéos. Ainsi, une lise de 482 tags validés permet des analyses plus sûres d'événements enregistrées sur le parcours.

Un lien est fait entre les tags et les scénarios de test dans les Tableau 27 et Tableau 28.

**TABLEAU 27 : LIENS ENTRE TAGS (BRUTS) NOTES SUR LE PARCOURS DE CASA ET SCENARIOS DE TESTS SUR PISTES**

| Tags des incidents            | Nombre d'incidents | Pourcentage du nombre total | Correspondance avec essais sur pistes |
|-------------------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Incident                      | 33                 | 0.86%                       | non                                   |
| Animal                        | 27                 | 0.71%                       | non                                   |
| Végétation                    | 397                | 10.37%                      | non                                   |
| Eblouissement                 | 28                 | 0.73%                       | non                                   |
| Travaux                       | 16                 | 0.42%                       | non                                   |
| Intempéries                   | 1                  | 0.03%                       | non                                   |
| Stationnement gênant          | 340                | 8.88%                       | non                                   |
| Traversée passage piéton      | 391                | 10.21%                      | Pi2_bis                               |
| Traversée hors passage piéton | 70                 | 1.83%                       | Pi2_2 ou Pi2-1                        |
| Traversée avec masquage       | 31                 | 0.81%                       | Pi2_3 ou Pi2-4                        |
| Usager sortant du véhicule    | 76                 | 1.99%                       | Pi1                                   |
| Refus de priorité             | 437                | 11.42%                      | VL2, VL3 ou VL4                       |
| Rabatement proche             | 1296               | 33.86%                      | VL9                                   |
| Dépassement proche            | 451                | 11.78%                      | VL9                                   |
| Sortie parking                | 94                 | 2.46%                       | VL1-S                                 |
| Vitesse excessive             | 53                 | 1.38%                       | non                                   |
| Embouteillages                | 2                  | 0.05%                       | non                                   |
| Remontée de file              | 36                 | 0.94%                       | Cy1                                   |
| Sortie de stationnement       | 49                 | 1.28%                       | VL1-S                                 |
| <b>Total</b>                  | <b>3828</b>        |                             |                                       |

Le tag « Traversée passage piéton » correspond à la traversée d'un ou plusieurs piétons sur un passage pour piéton devant la navette et donc au scénario de test Pi2 bis.

Le tag « Traversée hors passage piéton » correspond à la traversée d'un ou plusieurs piétons hors d'un passage pour piéton devant la navette et donc à un scénario Pi2 2 ou Pi2\_1.

Le tag « Incident » ou le tag « vitesse excessive » sont trop généralistes pour avoir une correspondance en termes de scénario. En revanche, les tag « Animal », « Végétation », « Travaux », « Embouteillages » ne correspondent pas à des scénarios qui ont été identifiés comme critiques. Les tags « Eblouissement », « Intempéries » sont relatifs à des circonstances qui peuvent rendre des scénarios plus critiques et qui appartiennent à la PHA (voir L3.1.1).

Les tags n'ont pas fait apparaître les scénarios de traversées d'un cycliste Cy3 ou Cy4. Les scénarios où un véhicule vient effectuer une manœuvre de stationnement devant la navette (VL1-E-CR ou VL-E-BA) n'ont pas non été enregistrés dans le même tag que des sorties de stationnement.

**TABLEAU 28 : LIENS ENTRE TAGS RETRAITES ET TESTS SUR PISTES**

| Tags des incidents            | Nombre d'incidents | Correspondance avec essais sur pistes |
|-------------------------------|--------------------|---------------------------------------|
| Animal                        | 21                 | Non                                   |
| Incident                      | 28                 | Non                                   |
| Traversée passage piéton      | 63                 | Pi2_bis                               |
| Traversée hors passage piéton | 19                 | Pi2 2 ou Pi2-1                        |
| Traversée avec masquage       | 31                 | Pi2_3 ou Pi2-4                        |
| Usager sortant véhicule       | 45                 | Pi1                                   |
| Refus de priorité             | 1                  | VL2, VL3 ou VL4                       |
| Rabattement proche            | 65                 | VL9                                   |
| Vitesse excessive             | 100                | Non                                   |
| Remontée de file              | 63                 | Cy1                                   |
| Sortie de stationnement       | 38                 | VL1-S                                 |
| <b>Total</b>                  | <b>474</b>         |                                       |

En se focalisant sur le jeu de données retraité, les éléments suivants sont à souligner.

Les interactions avec des animaux n'ont pas été testées sur pistes. Il peut notamment s'agir d'oiseaux qui entrent brièvement dans le champ des capteurs. Aucune de ces situations n'a été notée comme critique.

Le tag « Incident » regroupe des refus de priorité, des dépassements proches par un ou plusieurs autres usagers ou des freinages brusques de la navette. Cette catégorie trop large fausse les statistiques globales des tags « Rabattement proche » et « Refus de priorité ».

Au sujet des traversées de piéton sur passage pour piéton, sur les 100 annotées valides, 3 ont été notées comme critiques et aucun n'a été noté comme mal géré. Les tests sur pistes présageaient bien d'un comportement très sûr de la navette pour ces situations.

Au sujet des traversées de piéton hors d'un passage pour piéton, sur les 65 annotées, 3 ont été notées comme critiques et 5 n'a été notées comme mal gérée mais non critiques. Les tests sur pistes faisaient apparaître des risques car la navette pouvait ne détecter que tardivement le piéton si celui-ci traversait à la dernière seconde. Aucune collision n'est survenue, en revanche ces situations ont pu pousser la navette à effectuer des freinages d'urgence qui ont pu être jugés comme une mauvaise gestion. D'autre part, des vidéos montrent des piétons qui terminent leur traversée en courant pour ne pas être percuté par la navette.

Le scénario de traversée avec masquage, est dû à un cycliste qui traverse sur un passage pour piéton (scénario Cy4). Cette interaction a été notée comme non critique.

Parmi les 63 situations où un piéton est sorti de son véhicule en limite de voie de la navette, 5 ont été désignés comme critiques et 6 non critiques ont été notées comme mal gérées. Les résultats des essais faisaient apparaître que la navette pouvait freiner plus ou moins brutalement si la personne sortant de son véhicule entrait dans son champ de détection. Un piéton statique sur la limite de son champ de détection mais en toute bordure de voie peut occasionner un freinage, voir un arrêt de la navette qui pourra être perçu comme un comportement anormal.

Sur les 19 refus de priorité, 1 a été noté comme critique et 4 comme mal gérées. Cependant, aucun freinage du au conducteur de sécurité n'a été rapporté. Tous ces événements ont été causés par des VL et pas par des deux-roues motorisés (2RM). Aucune collision n'a été observée. Les résultats des essais faisaient apparaître des freinages d'urgence assez efficaces pour éviter la collision mais pouvant présenter un danger de chute pour les passagers à bord de la navette.

63 rabattements proches devant la navette ont été notés. Huit sont dus à un 2RM, deux à un cycliste, un à un poids lourd et le reste par des VL. 12 de ces situations ont été désignées comme critiques. Lors des essais sur pistes, le risque majeur pointé pour ce genre de situation est une collision à l'arrière de la navette lorsque celle-ci freine brutalement car un véhicule s'est rabattu proche devant elle. Aucune collision n'a été observée mais des presque accidents l'ont été avec des VL qui ont dus freiner brutalement, voir entamer une manœuvre d'évitement pour ne pas rentrer dans l'arrière de la navette.

Le tag « vitesse excessive » est employé pour désigner des dépassements de la navette par des VL, 2RM, ou PL. Ces comportements ont pu occasionner des freinages de navette soit dans une situation de remontée de file en venant proche latéralement de la navette, soit en se rabattant proche devant elle. Ce tag n'est pas représentatif d'un scénario de test et il est trop vague pour des analyses fines. De plus, la vitesse des autres usagers n'étant pas mesurée, il est difficile de quantifier leurs vitesses. Cependant, leur comportement dangereux est lié à la vitesse très basse de la navette (18km/h au maximum).

Les remontées de file annotées sont dues à des 2RM, des cyclistes ou VL. Cette situation avait été testée sur les pistes sous l'appellation Cy1 où un cycliste venait remonter une file en sens opposé à la navette. En fonction de la position de l'autre usager, celui-ci peut provoquer un freinage d'urgence s'il est dans la zone de détection de la navette. C'est ce qui s'est produit lors des 4 événements notés comme critiques.

Les commentaires des tags « sortie de stationnement » montrent que les situations où un véhicule manœuvrait pour entrer ou sortir d'une place de stationnement ont été regroupées sous ce terme. Des situations relevant des scénarios de test VL1-S et VL-E ont bien été observées. Sur les 45 événements, seuls 2 ont été notés comme critiques et aucun comme mal géré par la navette. Les deux scénarios critiques font intervenir à chaque fois un VL qui coupe la route de la navette.

## 5.8. SYNTHÈSE SUR INCIDENTS PARCOURS VS SCÉNARIOS DE TEST POUR LE PARCOURS DE CASA

Les tags enregistrés font bien apparaître les scénarios testés. En revanche, des tags relatifs aux comportements des cyclistes auraient peut-être pu être ajoutés.

La définition des tags avant les expérimentations en route ouverte est une étape importante qui conditionne grandement les analyses de données. Des tags comme « vitesse excessive » ne renvoient pas directement à un scénario et rendent les analyses plus compliquées.

Les essais sur pistes ont bien reflété les scénarios et comportements de la navette observée sur place. Aucune collision ou freinage du ou du conducteur de sécurité n'a été observé. Des difficultés ont été rencontrées lors des analyses des résultats des essais pour formuler des conclusions claires en termes de sécurité. Les tests sur piste permettent de qualifier l'OEDR (Object and Event Detection and Response). Cependant, l'occurrence de scénarios très critiques où la navette vient percuter l'autre usager en situation infractionniste est difficilement quantifiable. La définition d'objectifs de sécurité et de plus amples recherches sur les scénarios critiques notamment par le biais d'analyses d'accidentologies seront nécessaires dans le futur.

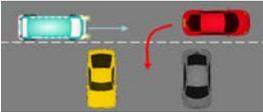
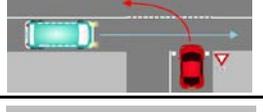
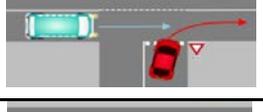
D'autre part, les essais sur piste font apparaître des comportements « simplistes » des autres usagers, notamment des piétons. En effet, en réalité un piéton se trouvant dans une situation dangereuse en traversant devant la navette peut reculer ou finir sa traversée en courant, comportements que les mannequins de test ne reproduisent pas.

La vitesse très lente de la navette sur le parcours à provoquer des dépassements dangereux de la part des autres usagers (VL et 2RM). Des dépassements de la navette où le VL risque une collision avec un autre véhicule en contre sens ont été observés. Ces risques sont à prendre en compte dans les déploiements de navette autonome.

## 5.9. RAPPEL DES SCÉNARIOS DE TESTS DU PARCOURS DE CŒUR DE BRENNE

Le Tableau 29 présente tous les scénarios et les essais réalisés sur piste dans le cadre de la campagne d'essais des scénarios critiques. En tous 6 scénarios ont été testés et 26 essais réalisés. Seuls deux essais n'ont pas été concluants pour un scénario où un VL en infraction vient couper la route de la navette (VI2). Ce scénario a été jugé comme extrêmement critique et peu probable.

**TABLEAU 29 : SYNTHÈSE DES RESULTATS DE LA CAMPAGNE D'ESSAIS DES SCENARIOS DE CŒUR D'YE BRENNE**

| ID ENA              | Scenario | Vitesse navette (km/h) | Vitesse cible (km/h) | Synchro | Masquage | Collision Oui/Non | Freinage conducteur | Décélération max (m/s <sup>2</sup> ) | Jerk_max (m/s <sup>3</sup> ) | Figures   |
|---------------------|----------|------------------------|----------------------|---------|----------|-------------------|---------------------|--------------------------------------|------------------------------|---|
| VL1-E-BA-15-TTC2s   | VL1-E-BA | 15                     | -5                   | 2s      |          | Non               | Non                 | -5.1                                 | 20.0                         |    |
| VL1-E-BA-15-TTC1,5s | VL1-E-BA | 15                     | -5                   | 1.5s    |          | Non               | Non                 | -5.0                                 | 20.5                         |   |
| VL1-E-BA-15-TTC1s   | VL1-E-BA | 15                     | -5                   | 1s      |          | Non               | Non                 | -5.1                                 | 27.9                         |   |
| VL1-E-BA-30-TTC2s   | VL1-E-BA | 30                     | -5                   | 2s      |          | Non               | Non                 | -5.0                                 | 19.7                         |   |
| VL1-E-BA-30-TTC2s   | VL1-E-BA | 30                     | -5                   | 2s      |          | Non               | Non                 | -5.1                                 | 18.8                         |   |
| VL1-E-BA-30-TTC2s   | VL1-E-BA | 30                     | -5                   | 2s      |          | Non               | Non                 | -5.3                                 | 18.4                         |   |
| VL1-E-BA-30-TTC1,5s | VL1-E-BA | 30                     | -5                   | 1.5s    |          | Non               | Non                 | -5.5                                 | 24.1                         |   |
| VL1-E-BA-30-TTC1s   | VL1-E-BA | 30                     | -5                   | 1s      |          | Non               | Non                 | -5.7                                 | 19.0                         |   |
| VL1-E-BA-30-TTC0,5s | VL1-E-BA | 30                     | -5                   | 0.5s    |          | Non               | Non                 | -5.9                                 | 30.9                         |   |
| VL1-S-CR-30-TTC2s   | VL1-S-CR | 30                     | 10                   | 2s      |          | Non               | Non                 | -5.6                                 | 27.9                         |   |
| VL1-S-CR-30-TTC1,5s | VL1-S-CR | 30                     | 10                   | 1.5s    |          | Non               | Non                 | -6.0                                 | 21.2                         |   |
| VL1-S-CR-30-TTC1s   | VL1-S-CR | 30                     | 10                   | 1s      |          | Non               | Non                 | -6.1                                 | 19.2                         |   |
| VL1-S-CR-30-TTC0,8s | VL1-S-CR | 30                     | 10                   | 0.8s    |          | Non               | Non                 | -6.2                                 | 23.0                         |   |
| VL1-S-CR-30-TTC0,8s | VL1-S-CR | 30                     | 10                   | 0.8s    |          | Non               | Non                 | -6.3                                 | 21.9                         |   |
| VL2-30-C1           | VL2      | 30                     | 15                   | C1      |          | Non               | Non                 | -6.8                                 | 30.8                         |    |
| VL2-30-C2           | VL2      | 30                     | 15                   | C2      |          | Non               | Oui                 | -8.8                                 | 32.8                         |   |
| VL2-30-C2           | VL2      | 30                     | 15                   | C2      |          | Oui               | Oui                 | -11.3                                | 120.6                        |   |
| VL3-30-20-P2        | VL3      | 30                     | 20                   | 2s      |          | Non               | Non                 | -1.1                                 |                              |   |
| VL3-30-20-C         | VL3      | 30                     | 20                   | C       |          | Non               | Non                 | -6.3                                 | 18.9                         |   |
| VL3-30-20-P2-M      | VL3      | 30                     | 20                   | 2s      | Oui      | Non               | Non                 | -1.1                                 |                              |   |
| VL3-30-20-C-M       | VL3      | 30                     | 20                   | C       | Oui      | Non               | Non                 | -6.2                                 | 20.1                         |   |
| VL11a-0a30-30-C-M   | VL11a    | 0-30                   | 30                   |         | Oui      | Non               | Non                 | La navette laisse passer la cible    |                              |  |
| VL11a-0a30-30-C-M   | VL11a    | 0-30                   | 30                   |         | Oui      | Non               | Non                 | La navette laisse passer la cible    |                              |   |
| VL11b-0a30-30-C-M   | VL11b    | 0-30                   | 30                   |         | Oui      | Non               | Non                 | La navette laisse passer la cible    |                              |  |
| VL11b-0a30-30-C-M   | VL11b    | 0-30                   | 30                   |         | Oui      | Non               | Non                 | La navette laisse passer la cible    |                              |   |

## 5.10. INCIDENTS RELEVÉS SUR LE PARCOURS DE CŒUR DE BRENNE VS SCENARIOS DE TEST

Le Tableau 29 présente les événements tagués sur le parcours de Cœur de Brenne. Des 6 scénarios tests, les deux scénarios liés à des véhicules stationnés ou en cours de stationnement sont bien observés.

En revanche, seuls des événements où la navette est dans une situation de refuser la priorité a été observée. Ces scénarios pourraient s'apparenter aux scénarios VL11. Aucun refus de priorité d'un autre usager envers la navette n'a été enregistré.

Les 3 événements de refus de priorité sont présentés dans le paragraphe 5.3 font apparaître des scénarios non testés sur pistes.

En effet, la navette a fait un refus de priorité sur un rétrécissement de voie et 2 refus sur un stop où l'angle entre les deux voies sécantes est très aigu.

Ces deux scénarios n'apparaissent pas dans la liste des scénarios critiques donnés lors des analyses des parcours et n'ont donc pas été traités. Ce fait est regrettable car leur mise en œuvre sur piste aurait permis de détecter le problème et de trouver des solutions, soit au niveau de la navette soit au niveau de l'aménagement du parcours.

**TABLEAU 30 : GESTION DES EVENEMENTS PAR TYPE D'EVENTEMENT CŒUR DE BRENNE**

| Evènement          | Nombre d'évènements | Correspondance avec essais sur pistes |
|--------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Dépassement proche | 14                  | Non                                   |
| Incident           | 1                   | Non                                   |
| Intempéries        | 7                   | Non                                   |
| Rabatement proche  | 2                   | Non                                   |
| Refus de priorité  | 3                   | VL11 (a et b)                         |
| Sortie de route    | 14                  | Non                                   |
| Stationnement      | 40                  | VL1 S et E                            |
| Travaux            | 3                   | Non                                   |
| <b>Total</b>       | <b>84</b>           |                                       |



## 6. PISTES D'AMÉLIORATION POUR LES ANALYSES DE PARCOURS

### 6.1 UNE METHODE GLOBALE POUR LA FILIERE

En mars 2023, c'est-à-dire au moment de la rédaction de ce livrable, le STRMTG a relancé un groupe de travail au sujet des analyses des parcours. Son objectif est de produire un guide de découpage et de description des parcours qui soit unifié et à l'usage de toute la filière.

Ce groupe de travail sera suivi d'un second dont l'objectif sera de définir et qualifier les scénarios en fonction des caractéristiques des parcours.

Les travaux d'ENA seront pris comme données d'entrée de ces groupes de travail.

### 6.2 AMÉLIORATION DES METHODES D'ANALYSE DES PARCOURS

Plusieurs pistes ont été identifiées :

- Découpage du parcours : Suite à la collecte de données que nous avons faite sur les données CASA, nous nous sommes rendus compte qu'il était très difficile d'affecter un évènement ou un freinage à une section de parcours trop petite, par exemple un passage piéton. Il nous paraît donc plus utile de découper un parcours en termes de carrefour et section courante. Par contre, cela demandera de redéfinir des paramètres pour caractériser les carrefours (en particulier pour indiquer la présence de passage piétons sur les carrefours).
- Répartition des évènements parcours vs PHA : certains évènements ont été classifiés comme relevant la PHA et non de l'analyse de parcours. En particulier les rabattements proches. Mais ces évènements n'ont pas le même niveau de criticité sur toutes les sections du parcours. Le rabattement proche peut être traité dans la PHA mais le dépassement doit être dans l'analyse de parcours. Pour d'autres évènements tels qu'obstacle sur la voie, freinage brusque de la navette, véhicule à contre sens
- Estimation des fréquences des évènements : cette estimation est difficile à faire dans l'absolu car le contexte routier peut évoluer durant la période de la journée. Ces variations des fréquences peuvent dépendre de caractéristique
  - Liée au trafic : la fréquence d'un évènement redouté peut dépendre des conditions de trafic (exemple des traversées de piéton avec masquage dus aux véhicules stationnés) et pas uniquement des flux nominaux.
  - Lié à la vitesse de la navette : De même la fréquence de dépassement dangereux dépend à la fois du différentiel de vitesse pour son occurrence et du trafic pour l'évitabilité.
- Combinaison des évènements parcours : Les scénarios observés sont souvent la conjonction de plusieurs évènement concomitants tels que la traversée d'un piéton en même temps qu'un dépassement, un stationnement gênant (livraison) en même temps qu'une sortie de parking. Il faudrait donc arriver à trouver comment combiner ces évènements. Lors de la mise en place de la méthode SCAPENA, ce problème avait été soulevé et la solution ne semblait pas immédiate. Il faut donc continuer à explorer cette piste.

## 6.3 PRISE EN COMPTE DE LA GEOMETRIE DES INTERSECTIONS

Deux incidents au STOP sur le parcours de Cour de Brenne ont montré que le champ couvert par les capteurs de la navette n'était pas suffisant pour pouvoir détecter les usagers qui arrivent sur cette intersection et sont prioritaires. Les analyses de parcours avaient fait apparaître de potentiels problèmes de masquages à d'autres intersections mais cette géométrie n'avait pas été détectée comme étant problématique. Il faut donc bien tirer un enseignement de manque et retenir qu'il est très important de prendre en compte la géométrie des intersections et de pouvoir le mettre en rapport avec les champs de perception du véhicule. A noter que des outils de simulation pourraient aider à résoudre de problème comme expliqué au paragraphe suivant.

## 6.4 JUMENT NUMERIQUE ET SIMULATION

La simulation numérique est une piste intéressante pour analyser le parcours et directement y tester des scénarios critiques. La première étape de ce travail est de produire un jumeau numérique assez précis du parcours. Ce jumeau numérique peut reproduire l'intégralité du parcours ou juste des zones d'intérêt. En fonction des besoins et objectifs, ce jumeau peut être construit à partir d'une numérisation du parcours réel grâce à des lidars ou à des procédés de photogrammétrie ou encore une maquette du site peut être faite directement dans le logiciel de simulation. Ces méthodes ont aussi pour très grand avantage de pouvoir directement incorporer les futurs aménagements du parcours dans le jumeau numérique.

Ensuite, un modèle du véhicule autonome permet de tester des scénarios tout au long du parcours et même de tester des scénarios critiques qui ne sont pas testables sur pistes.

Par exemple sur le parcours de Cœur de Brenne, des scénarios critiques pointaient des problèmes de visibilité de la navette par les autres usagers sur une route en ligne droite mais avec des ruptures de pente. Ce scénario aurait pu être testé en modélisant les ruptures de pente du parcours et en simulant la navette à 50km/h et des autres usagers à vitesse bien plus élevée. Un des avantages de ce genre de simulation est également la possibilité de jouer le scénario avec le point de vue de l'automobiliste arrivant sur la navette et ainsi de pouvoir étudier sa perception.



**FIGURE 11 : CAPTURE D'ECRAN D'UNE SIMULATION EXPLORATOIRE MENEES AVEC LE LOGICIEL CARMAKER DE LA SOCIETE IPG AUTOMOTIVE**

D'autre part, la mise en œuvre de cette méthode sur le parcours de Cœur de Brenne aurait également permis de mettre en lumière les problèmes de couverture des capteurs au STOP où la navette a failli faire des refus de priorité.

## 7. CONCLUSION

Ce livrable présente dans un premier temps les avancées réglementaires qui ont eu lieu durant le projet ENA. En effet, au début du projet la législation française autorisait les expérimentations de navette sur route ouverte avec conducteur de sécurité. En 2021, le décret définissant les démonstrations de sécurité permettant de mettre en exploitation un système de routier transport automatisé a été publié ainsi que la réglementation européenne pour l'homologation des systèmes de conduite automatisée.

Les analyses de parcours seront utilisées durant les démonstrations de sécurité qui viennent à faire valider le dossier de sécurité d'un STRA par un OQA. Un groupe de travail (GT) géré par le STRMTG a débuté en mars 2023 avec pour objectif de standardiser les analyses de parcours au niveau de la filière. Les travaux d'ENA pourront servir d'entrées à ce GT.

Beaucoup d'évènements identifiés lors des analyses de parcours du projet ENA se sont produits. Par contre, certains évènements n'ont pas été identifiés au départ car la spécification des flux nominaux a été sous-estimée. A contrario, sur Cœur de Brenne, ces flux ont été surestimés ce qui a entraîné l'identification d'évènements critiques qui n'ont pas été observés mais cela n'est pas un problème. Cela confirme l'importance de bien estimer ces flux nominaux et surtout de ne pas les sous-estimer. Le principal évènement qui a été oublié est le dépassement dangereux. Le danger ne vient pas de la navette mais du comportement des autres usagers qui veulent doubler la navette mais qui se mettent en danger vis-à-vis des autres usagers arrivant sur la voie opposée. De même des dépassements sur des intersections ou des passages piétons ont été assez critiques. Un autre problème est dans l'évaluation de la fréquence d'un évènement redouté qui peut dépendre des conditions de trafic et pas uniquement des flux nominaux. En effet, les usagers s'adaptent au contexte et ne prennent pas forcément les mêmes décisions à un endroit donné mais des décisions différentes suivant le risque estimé dépendant du trafic. Enfin, certains évènements ne sont pas critiques seuls mais leur combinaison peut être critique. Une dernière question concerne la répartition des évènements entre l'analyse de parcours et l'analyse préliminaire de risque qui doit être rediscutées avec tous les acteurs.

Les tests sur piste seront majoritairement utilisés lors de l'homologation du véhicule. Quelques essais sur pistes pourront tout de même être organisés de manière à valider le comportement de la navette sur un ou plusieurs scénarios relevés sur le parcours et non inclus dans l'ODD du véhicule.

La plupart des scénarios critiques testés à TRANSPOLIS ont été observés sur l'expérimentation de CASA. Les analyses des résultats des essais ont montré les difficultés à définir des objectifs de sécurité et des limites acceptables ou souhaitables de l'OEDR du véhicule. Les performances de la navette avaient été jugées suffisantes pour un déploiement à CASA. Aucun accident n'est à déplorer. Cependant, la presque totalité des scénarios critiques testés sur pistes a été observé. De plus, des comportements dangereux des autres usagers sont apparus. La grande lenteur de la navette (vitesse maximale de 18km/h) fait que celle-ci est doublée de manière intempestive par des VL et 2RM avec parfois des risques de collision du véhicule dépassant avec un autre usager arrivant en contre sens. Ces comportements, plus ou moins attendus, sont à étudier et prendre en compte dans de futurs déploiements. Ils montrent également l'importance d'être en mesure de proposer un service de navette autonome dans le comportement est suffisamment proche du comportement d'un conducteur humain pour s'insérer de manière naturelle dans le trafic et pour être mieux accepté des usagers et riverains.



## 8. REFERENCES

- [1] Ministère de l'environnement, de l'énergie ..., *Ordonnance n° 2016-1057 du 3 août 2016 relative à l'expérimentation de véhicules à délégation de conduite sur les voies publiques*, JORF n° 0181 du 5 août 2016, 2016.
- [2] Ministère de la transition écologique et solidaire, *Décret n° 2018-211 du 28 mars 2018 relatif à l'expérimentation de véhicules à délégation de conduite sur les voies publiques*, JORF n° 0075 du 30 mars 2018, 2018.
- [3] Ministère de la Transition écologique, «Décret no 2020-1495 du 2 décembre 2020 modifiant le décret no 2018-211 du 28 mars 2018 relatif à l'expérimentation de véhicules à délégation de conduite sur les voies publiques».
- [4] Ministère de la transition écologique et solidaire, *Arrêté du 17 avril 2018 relatif à l'expérimentation de véhicules à délégation de conduite sur les voies publiques*, JORF n° 0103 du 4 mai 2018.
- [5] H. TATTEGRAIN, A. HEDHLI, A. DUSSERRE et P. JOUVE, «STPA : ANALYSE DE SECURITE DES PARCOURS PREDEFINIS,» 2020. [En ligne]. Available: [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/STPA\\_analyse%20de%20s%C3%A9curit%C3%A9%20des%20parcours%20pr%C3%A9d%C3%A9finis.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/STPA_analyse%20de%20s%C3%A9curit%C3%A9%20des%20parcours%20pr%C3%A9d%C3%A9finis.pdf).
- [6] Ministère de la transition écologique, *Décret n° 2021-873 du 29 juin 2021 portant application de l'ordonnance n° 2021-443 du 14 avril 2021 relative au régime de responsabilité pénale applicable en cas de circulation d'un véhicule à délégation de conduite et à ses conditions d'utilisation*, <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043729532>, 2021.
- [7] Commission Européenne, «Règlement d'exécution (UE) 2022/1426 établissant des règles relatives à l'application du règlement (UE) 2019/2144 du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne les procédures uniformes et les spécifications techniques,» 5 août 2022 pour la réception par type des systèmes de conduite automatisée (ADS) des véhicules entièrement automatisés - 5 août 2022. [En ligne]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32022R1426>.
- [8] Ministère de la transition écologique , *Arrêté du 2 août 2022 pris en application de l'article R. 3152-30 du code des transports, relatif à la procédure d'agrément des organismes qualifiés*, <https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf?id=ryJfw-uQzYIMDDsSNW7WgL5c7pYyrzbT6dnhACItDn4=>, 2022.
- [9] Ministère de la Transition écologique, *Arrêté du 5 août 2022 pris en application de l'article R. 3152-24 du code des transports relatif au contenu des avis des organismes qualifiés agréés*, <https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf?id=wzH05f2iZPALlv7i5kqatUfwiQm-uO2lm5zpe64gHx4=>, 2022.
- [10] STRMTG, «Guide d'application relatif à la mission de l'organisme qualifié agréé pour l'évaluation de la sécurité et pour l'audit de sécurité en exploitation des STRA,» décembre 2022. [En ligne]. Available: <https://www.strmtg.developpement-durable.gouv.fr/guide-d-application-relatif-a-la-mission-de-l-a800.html>.
- [11] Ministère de la Transition écologique et solidaire , «Stratégie nationale de développement de la mobilité routière automatisée 2020-2022,» [En ligne]. Available:

[https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/20171\\_strategie-nationale-vehicule%20automatise\\_web.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/20171_strategie-nationale-vehicule%20automatise_web.pdf).

- [12] Ministère de la Transition écologique et solidaire, «Développement des mobilités routières automatisées et connectées,» [En ligne]. Available: [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/OK090223026\\_strat%C3%A9gie%20nationale%20v%C3%A9hicule%20automatis%C3%A9%202022-2025%20-%20long.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/OK090223026_strat%C3%A9gie%20nationale%20v%C3%A9hicule%20automatis%C3%A9%202022-2025%20-%20long.pdf). [Accès le mars 2023].
- [13] DGITM, «Démonstration de sécurité des systèmes de transport routier automatisés : Apports attendus des scénarios de conduite,» 8 février 2022. [En ligne]. Available: [https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/DGITM\\_Approche-par-scenarios-fevrier-2022\\_0.pdf](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/DGITM_Approche-par-scenarios-fevrier-2022_0.pdf).



---

Tentez l'expérience