



Commission économique pour l'Europe

Comité des transports intérieurs

**Forum mondial de l'harmonisation
des Règlements concernant les véhicules****187^e session**

Genève, 21-24 juin 2022

Point 2.3 de l'ordre du jour provisoire

**Systèmes de transport intelligents et coordination
des activités relatives aux véhicules automatisés****Lignes directrices pour la validation des systèmes de conduite
automatisés dans le cadre de la nouvelle méthode
d'évaluation et d'essai de la conduite automatisée****Communication du Groupe de travail des véhicules
automatisés/autonomes et connectés***

Le texte ci-dessous a été élaboré par le Groupe de travail informel des méthodes de validation pour la conduite automatisée (groupe VMAD). Il est soumis au Forum mondial de l'harmonisation des Règlements concernant les véhicules (WP.29) pour information à sa session de juin 2022, sous réserve d'une confirmation par le Groupe de travail des véhicules automatisés/autonomes et connectés (GRVA) à sa session de mai 2022.

* Conformément au programme de travail du Comité des transports intérieurs pour 2022 tel qu'il figure dans le projet de budget-programme pour 2022 (A/76/6 (Sect. 20), par. 20.76), le Forum mondial a pour mission d'élaborer, d'harmoniser et de mettre à jour les Règlements ONU en vue d'améliorer les caractéristiques fonctionnelles des véhicules. Le présent document est soumis en vertu de ce mandat.



I. Contexte

1. À sa 178^e session, le Forum mondial de l'harmonisation des Règlements concernant les véhicules (WP.29) de la Commission économique pour l'Europe (CEE) a établi le mandat du Groupe de travail informel des méthodes de validation pour la conduite automatisée (groupe VMAD) (ECE/TRANS/WP.29/1147, annexe VI). Conformément à ce mandat, le groupe VMAD est chargé d'élaborer des méthodes d'évaluation, y compris des scénarios, pour valider le niveau de sécurité des systèmes automatisés en se fondant sur plusieurs composantes : audit et évaluation, simulations et essais virtuels, essais sur piste et essais en conditions réelles. Dans le présent document, la sécurité englobe le fonctionnement sûr des systèmes de conduite automatisés et la sécurité des systèmes.
2. À la même session, le WP.29 a adopté le document-cadre sur les véhicules automatisés/autonomes (ECE/TRANS/WP.29/2019/34/Rev.2), ci-après dénommé « document-cadre ». Parmi les mesures prévues par le document-cadre figurait la mise au point d'une « nouvelle méthode d'évaluation et d'essai de la conduite automatisée », aux fins de son examen par le WP.29 à sa 183^e session (mars 2021).
3. Dans cette optique, le groupe VMAD a élaboré un document de référence servant de cadre conceptuel pour la validation de la sécurité des systèmes de conduite automatisés. La première version de ce document a été adoptée à la 184^e session (juin 2021) du WP.29 (ECE/TRANS/WP.29/1159). La deuxième version a été soumise à la douzième session (janvier 2022) du GRVA (ECE/TRANS/WP29/GRVA/2022/2).
4. Sur la base du cadre conceptuel, le groupe VMAD a été chargé par le WP.29 (ECE/TRANS/WP.29/1159) d'élaborer des lignes directrices relatives à la nouvelle méthode d'évaluation et d'essai de la conduite automatisée, qui pourraient fournir aux développeurs et aux Parties contractantes aux Accords de 1958 et de 1998 concernant les Règlements ONU applicables aux véhicules des orientations sur les procédures recommandées pour valider le niveau de sécurité des systèmes de conduite automatisés.

II. Objectif et champ d'application

5. Les lignes directrices présentées ci-après correspondent aux meilleures pratiques actuelles recensées par le groupe de travail informel des méthodes de validation pour la conduite automatisée (groupe VMAD) aux fins de la validation de la sécurité des systèmes de conduite automatisés au moyen de la nouvelle méthode d'évaluation et d'essai de la conduite automatisée. Elles visent à fournir des orientations claires s'agissant de valider la sécurité d'un système de conduite automatisé de façon reproductible, objective et factuelle, tout en restant neutre sur le plan technologique et suffisamment souple pour favoriser l'innovation dans l'industrie automobile. Elles s'adressent aux ingénieurs qui mettent au point des technologies pour les systèmes de conduite automatisés, ainsi qu'aux Parties contractantes aux Accords de 1958 et de 1998 concernant les Règlements ONU applicables aux véhicules.
6. La validation de la sécurité d'un système de conduite automatisé est une tâche particulièrement complexe que l'on ne peut réaliser ni dans son ensemble ni de façon efficace en ayant recours à une seule méthode de validation. Il est donc recommandé d'adopter une approche comportant plusieurs composantes, à savoir un catalogue de scénarios et cinq méthodes de validation :
 - a) Catalogue de scénarios ;
 - b) Simulations et essais virtuels ;
 - c) Essais sur piste ;
 - d) Essais en conditions réelles ;
 - e) Audit et évaluation ;
 - f) Surveillance en fonctionnement et notification.

7. On trouvera dans les sections suivantes du présent document d'orientation plus de détails sur les composantes de la nouvelle méthode d'évaluation et d'essai de la conduite automatisée, ainsi qu'une vue d'ensemble des recommandations et des considérations à prendre en compte au moment de les appliquer pour valider la sécurité d'un système de conduite automatisé. De plus amples informations sur la façon dont les composantes (le catalogue de scénarios et les méthodes de validation) fonctionnent ensemble pour produire un résultat valable, complet et cohérent sont fournies à la fin du document.

8. Les technologies qui s'appliquent aux systèmes de conduite automatisés évoluent sans cesse. Ainsi, le présent document sera enrichi et régulièrement mis à jour en fonction des résultats des recherches et essais à venir et des activités menées par les groupes de travail du WP.29.

9. Il sera notamment tenu compte des résultats des activités du Groupe de travail informel des prescriptions fonctionnelles applicables aux véhicules automatisés et autonomes (groupe FRAV), que le WP.29 a chargé d'élaborer des prescriptions en matière de sécurité, y compris des critères mesurables et vérifiables, en vue d'évaluer la sécurité des systèmes de conduite automatisés.

10. Sous réserve des instructions du GRVA et du WP.29, il est prévu de mettre à profit les présentes lignes directrices, lorsqu'elles auront été suffisamment développées, pour élaborer des prescriptions réglementaires répondant aux besoins des Parties aux Accords de 1958 et 1998 (sous réserve de l'approbation du WP.29).

III. Définitions

11. Les systèmes de conduite automatisés et les technologies qui vont de pair ont donné naissance à un très grand nombre de termes et de concepts. Dans un souci de cohérence, un glossaire des termes employés dans les présentes lignes directrices est joint à l'annexe I. Ces termes, utilisés dans tout le document, ont été mis en italique aux fins de référence. Ce glossaire sera enrichi et mis à jour régulièrement. Le groupe VMAD veillera au besoin à la cohérence du glossaire avec les termes adoptés par le WP.29, le GRVA et les groupes de travail informels du GRVA, s'agissant notamment des définitions arrêtées par le groupe FRAV.

IV. Application d'une approche à plusieurs composantes pour la nouvelle méthode d'évaluation et d'essai de la conduite automatisée

12. Comme il est dit précédemment, la validation de la sécurité d'un système de conduite automatisé est une tâche particulièrement complexe que l'on ne peut réaliser ni dans son ensemble ni de façon efficace en ayant recours à une seule méthode de validation. Il est donc recommandé d'adopter une approche comportant plusieurs composantes, à savoir un catalogue de scénarios et cinq méthodes de validation.

13. L'approche à plusieurs composantes et le catalogue de scénarios sont décrits ci-dessous et sont examinés plus en détail dans les sections suivantes du présent document :

a) Un catalogue de scénarios, constitué de descriptions de situations de conduite réelles qui peuvent se présenter au cours d'un trajet, sera utilisé par les composantes de la nouvelle méthode d'évaluation et d'essai de la conduite automatisée pour valider méthodiquement le niveau de sécurité d'un système de conduite automatisé ;

b) Simulations et essais virtuels – Cette composante fait appel à différentes chaînes de simulation pour évaluer la conformité d'un système de conduite automatisé aux prescriptions de sécurité sur un large éventail de scénarios virtuels, dont certains seraient extrêmement difficiles, voire impossibles, à tester en situation réelle. La crédibilité de la simulation et des essais virtuels vient s'inscrire dans ce cadre ;

c) Essais sur piste – Les essais sur piste se déroulent sur un terrain d’essai fermé à la circulation et mettent en œuvre différents éléments de scénario pour tester les capacités et le fonctionnement d’un système de conduite automatisé ;

d) Essais en conditions réelles – Les essais en conditions réelles se déroulent sur la voie publique ; ils permettent de tester et d’évaluer les performances du système de conduite automatisé s’agissant de sa capacité à rouler dans des conditions réelles de circulation ;

e) Procédures d’audit et d’évaluation – Les procédures d’audit et d’évaluation montrent comment les constructeurs devront démontrer les capacités d’un système de conduite automatisé aux autorités chargées de la sécurité, en s’appuyant sur des documents, des simulations et des essais sur piste ou en conditions réelles. L’audit permet de s’assurer que les dangers et les risques propres au système ont été recensés et qu’un processus cohérent d’intégration de la sécurité dès la phase de conception (sécurité par conception) a été établi. Il permet également de vérifier que des procédures, mécanismes et stratégies (c’est-à-dire le système de gestion de la sécurité) ont été mis en place afin que le système de conduite automatisé réponde aux prescriptions de sécurité pertinentes tout au long du cycle de vie du véhicule. L’audit permet aussi d’examiner la complémentarité entre les différentes composantes de l’évaluation ainsi que l’exhaustivité des scénarios ;

f) Surveillance en fonctionnement et notification – La composante Surveillance en fonctionnement et notification vise la sécurité de fonctionnement du système de conduite automatisé après sa mise sur le marché. Elle s’appuie sur la collecte des données relatives au parc automobile pour déterminer si le système de conduite automatisé reste sûr lorsqu’il est utilisé sur route. Cette collecte peut également servir à alimenter la base de données commune de scénarios et permettre à l’ensemble des spécialistes des systèmes de conduite automatisés de tirer des enseignements des accidents et incidents majeurs qui ont été constatés.

V. Catalogue de scénarios

14. Au stade actuel, relativement peu avancé, de la mise au point des véhicules automatisés/autonomes, une grande partie de la littérature existante fait appel à des indicateurs tels que la distance parcourue en conditions réelles sans collision, sans infraction ou sans désactivation du système de conduite automatisé du véhicule pour dresser un bilan de la situation.

15. Des mesures simples telles que la distance parcourue sans collision, sans infraction ou sans désactivation peuvent être utiles pour éclairer le débat public sur les progrès généraux accomplis dans le développement des véhicules automatisés/autonomes. Toutefois, ces indicateurs ne suffisent pas à eux seuls à prouver aux organismes de réglementation internationaux qu’un véhicule automatisé/autonome sera capable de gérer en toute sécurité le vaste éventail de situations auxquelles un véhicule peut raisonnablement être confronté.

16. En outre, valider uniquement sur la base d’essais en conditions réelles prendrait trop de temps et serait trop coûteux. En effet, il faudrait que le véhicule automatisé/autonome parcoure des milliards de kilomètres sans incident pour que l’on puisse démontrer que ses performances en matière de sécurité sont nettement supérieures à celles d’un conducteur humain. Il ne serait pas non plus possible de reproduire ces essais ultérieurement.

17. À la lumière de ces considérations, il est recommandé d’appliquer une approche fondée sur des scénarios pour organiser systématiquement les activités de validation de la sécurité de façon efficace, objective, reproductible et évolutive.

18. La validation fondée sur des scénarios consiste à reproduire des situations réelles qui sollicitent et mettent à l’épreuve les capacités d’un véhicule équipé d’un système de conduite automatisé à fonctionner en toute sécurité.

19. Par la suite, le groupe VMAD établira un catalogue de scénarios à prendre en compte pour valider, à l’aide des composantes de la nouvelle méthode d’évaluation et d’essai de la conduite automatisée, les prescriptions de sécurité fonctionnelle – établies par le groupe FRAV – relatives à un système de conduite automatisé.

A. Qu'est-ce qu'un scénario de circulation ?

20. Un scénario de circulation est une description d'une ou plusieurs situations de conduite réelles qui peuvent se produire au cours d'un trajet¹. Les scénarios peuvent comporter de nombreux éléments, tels que le tracé de la route, les types d'usagers de la route, des objets statiques ou présentant différents comportements dynamiques, et diverses conditions environnementales (entre autres facteurs).

B. Adéquation des scénarios

21. Pour que la validation d'un système de conduite automatisé soit valable, il est recommandé que les méthodes de validation fondées sur des scénarios comprennent un ensemble adéquat et exhaustif de *scénarios* pertinents, critiques et *complexes*. On notera que le terme « exhaustif » signifie que le catalogue de scénarios comprend suffisamment de situations de conduite réelles qu'un système de conduite automatisé peut raisonnablement être amené à rencontrer dans des conditions réelles, pour permettre d'affirmer qu'il peut fonctionner en toute sécurité. L'exhaustivité d'un catalogue est essentielle à sa valeur et à son acceptabilité en tant que méthode de validation.

22. Avant d'affirmer qu'un système de conduite automatisé est sûr, on devrait vérifier que chaque scénario choisi pour tester le système rend compte des conditions particulières (la configuration de la route ou le sens de la circulation sur une voie donnée, par exemple) propres au domaine de conception fonctionnelle dans lequel il est conçu pour fonctionner. Les scénarios devraient être adaptés aux fonctionnalités du système de conduite automatisé qu'il convient de valider. À titre d'exemple, une fonctionnalité destinée uniquement à la conduite sur autoroute ne sera pas soumise à un scénario impliquant des changements de direction aux intersections.

23. Un système de conduite automatisé devant être en mesure de réagir aux actions des autres usagers de la route susceptibles de rendre un accident inévitable, les scénarios ne devraient pas se limiter aux situations que le système est censé pouvoir gérer. Les comportements dangereux des autres usagers de la route (véhicule circulant à contresens, changeant de voie brusquement sans le signaler ou dépassant la limite de vitesse, par exemple), dans la mesure où ils sont raisonnablement prévisibles, devraient ainsi être pris en compte dans les essais de validation.

24. Il convient de prendre en considération les nombreuses approches applicables pour mettre au point des scénarios à des fins de validation de la sécurité, notamment :

- a) L'analyse du comportement du conducteur, y compris l'évaluation des données de circulation en conditions réelles ;
- b) L'analyse des données sur les collisions, telles que celles figurant dans les bases de données des forces de l'ordre et des compagnies d'assurance ;
- c) L'analyse des caractéristiques de la circulation dans des domaines de conception fonctionnelle spécifiques (par exemple, en enregistrant et en analysant le comportement des usagers de la route aux intersections) ;
- d) L'analyse des données recueillies par les capteurs du système de conduite automatisé (accéléromètre, caméra, radar et système GPS, par exemple) ;
- e) L'utilisation d'un véhicule de mesure spécialement conçu, d'un équipement de surveillance sur site, de drones, etc., pour collecter diverses données sur le trafic (y compris sur les autres usagers de la route) ;
- f) L'exploitation des connaissances et de l'expérience acquises pendant la mise au point du système de conduite automatisé ;

¹ On entend par trajet le déplacement du véhicule sur une voie de circulation, de son point de départ à sa destination.

- g) L'utilisation de scénarios générés automatiquement à partir des variations des paramètres clefs ;
- h) L'utilisation de scénarios élaborés en s'appuyant sur les prescriptions de sécurité fonctionnelle et sur le niveau de sécurité de la fonction en question.

C. Classification des scénarios

25. La quantité d'informations incluses dans un scénario peut être considérable. Par exemple, la description d'un scénario peut contenir des informations concernant un grand nombre d'actions, de caractéristiques et d'éléments différents, tels que des objets (par exemple, des véhicules ou des piétons), des routes et des environnements, ainsi que des séquences de décision préétablies et les principaux événements susceptibles de se produire au cours du scénario². Il est donc essentiel de créer un langage normalisé et structuré pour décrire les scénarios, afin que les différentes parties prenantes du secteur des véhicules autonomes/automatisés comprennent leurs objectifs respectifs, l'intention des scénarios et les capacités des systèmes de conduite automatisés. Un modèle, garantissant la cohérence des informations à inclure dans le scénario et réduisant au minimum le risque de confusion dans leur interprétation, est l'un des outils permettant de mettre en place un langage uniforme de description des scénarios.

26. Afin de s'assurer que les informations incluses dans le scénario sont cohérentes et de réduire au minimum le risque de confusion dans leur interprétation, il est recommandé d'avoir recours à un modèle.

27. En outre, il convient de noter que certains chercheurs ont établi une approche structurée pour classer et décrire les scénarios à différents niveaux d'abstraction selon trois catégories : scénarios fonctionnels, logiques et concrets³. Voir la figure 1 ci-après.

a) Scénarios fonctionnels : Les scénarios de cette catégorie présentent le niveau d'abstraction le plus élevé. Ils tracent les grandes lignes du concept fondamental du scénario en donnant par exemple une description sommaire des actions du véhicule soumis à l'essai (ou véhicule sujet), des interactions du véhicule soumis à l'essai avec les autres usagers de la route et les objets, de la géométrie de la route et des autres éléments du scénario (les conditions environnementales, par exemple). Cette approche fait appel à un langage accessible pour décrire la situation et les éléments correspondants ;

b) Scénarios logiques : Les chercheurs génèrent un scénario logique en sélectionnant des intervalles de valeurs ou des distributions de probabilité pour chaque élément du scénario fonctionnel (par exemple, la plage de largeur de la voie, exprimée en mètres). La description du scénario logique couvre tous les éléments et les prescriptions techniques nécessaires à la mise en œuvre d'un système capable de gérer ce type de scénario ;

c) Scénarios concrets : Les scénarios concrets sont établis en sélectionnant des valeurs spécifiques pour chaque élément. Un scénario d'essai donné est ainsi reproductible. Par ailleurs, il est possible de concevoir une infinité de scénarios concrets pour chaque scénario logique comportant des plages de valeurs continues, ce qui permet de s'assurer que le véhicule est exposé à une grande variété de situations.

² Les scénarios de circulation sont établis en combinant un certain nombre d'éléments pertinents qui décrivent de manière systématique l'espace dans lequel se déroule le scénario.

³ Ces trois catégories sont définies dans la section « Glossaire » du présent document. Au fur et à mesure que des progrès seront faits dans les domaines de la technologie et de la recherche, on peut s'attendre à ce que des couches autres que les couches fonctionnelle, logique et concrète soient envisagées pour convertir le langage de description des scénarios dans un langage lisible par l'humain ou par une machine.

Figure 1
Exemple de scénario présenté selon la catégorie : scénario fonctionnel, logique et concret (Pegasus, 2018)

Functional scenarios	Logical scenarios	Concrete scenarios
<u>Base road network:</u> three-lane motorway in a curve, 100 km/h speed limit indicated by traffic signs	<u>Base road network:</u> Lane width [2.3..3.5] m Curve radius [0.6..0.9] km Position traffic sign [0..200] m	<u>Base road network:</u> Lane width [3.2] m Curve radius [0.7] km Position traffic sign [150] m
<u>Stationary objects:</u> -	<u>Stationary objects:</u> -	<u>Stationary objects:</u> -
<u>Moveable objects:</u> Ego vehicle, traffic jam; Interaction: Ego in maneuver „approaching“ on the middle lane, traffic jam moves slowly	<u>Moveable objects:</u> End of traffic jam [10..200] m Traffic jam speed [0..30] km/h Ego distance [50..300] m Ego speed [80..130] km/h	<u>Moveable objects:</u> End of traffic jam 40 m Traffic jam speed 30 km/h Ego distance 200 m Ego speed 100 km/h
<u>Environment:</u> Summer, rain	<u>Environment:</u> Temperature [10..40] °C Droplet size [20..100] µm	<u>Environment:</u> Temperature 20 °C Droplet size 30 µm

28. Afin de fournir quelques exemples illustrant les présents propos, le groupe VMAD a élaboré une série de scénarios fonctionnels pour une application correspondant à une route à chaussées séparées, lesquels sont décrits à l'annexe II. Comme indiqué précédemment, le présent document d'orientation devrait être considéré comme un document évolutif. Ainsi, l'annexe susmentionnée sera mise à jour en fonction des débats menés au sein du groupe VMAD et d'autres groupes de travail du WP.29. Il est prévu que les prochaines versions de l'annexe II contiennent également des scénarios établis à des niveaux d'abstraction inférieurs (par exemple, des scénarios logiques et des approches visant à les décrire). Comme on l'a vu plus haut, le groupe VMAD continuera en outre à étudier la possibilité de constituer un catalogue de scénarios plus étoffé dans le cadre de la nouvelle méthode d'évaluation et d'essai.

D. Utilisation des scénarios

29. On peut recourir à des scénarios dans le cadre de différentes méthodes d'essai, telles que les simulations et essais virtuels, les essais sur piste ainsi que les essais en conditions réelles. Considérées dans leur ensemble, ces méthodes, qui présentent chacune des avantages et des inconvénients spécifiques, génèrent une architecture d'essai multiforme. Par conséquent, il peut être préférable de tester certains scénarios en utilisant certaines méthodes d'essai plutôt que d'autres.

30. Pour éviter un surajustement, un échantillonnage aléatoire parmi les scénarios pertinents pour un système de conduite automatisé particulier et son domaine de conception fonctionnelle peut se justifier. Bien qu'un plus grand nombre d'échantillonnages aléatoires soit préférable du point de vue de la crédibilité, il est admis que la charge résultante pour les constructeurs et l'autorité compétente (le service technique, par exemple) peut être plus lourde. Il convient d'en tenir compte lorsqu'on réfléchit au nombre d'essais à réaliser par échantillonnage aléatoire.

VI. Simulations et essais virtuels (méthode de validation 1)

A. Types d'approche de la chaîne de simulation

31. La chaîne de simulation utilisée pour les essais virtuels permet d'associer différentes approches. En particulier, les essais peuvent être réalisés de nombreuses façons :

a) Entièrement sur un ordinateur (simulation MIL ou SIL), en faisant interagir le modèle des éléments concernés (par exemple, une représentation simple de la logique de commande d'un système de conduite automatisé) avec un environnement virtuel ; ou

b) En faisant interagir un capteur, un sous-système ou le véhicule entier avec un environnement virtuel (simulation HIL ou VIL). Les simulations VIL peuvent se dérouler :

i) En laboratoire, le véhicule étant à l'arrêt ou en mouvement sur un banc à rouleaux ou un banc d'essai du groupe motopropulseur et connecté au modèle d'environnement par un câble ou par stimulation directe de ses capteurs ; ou

ii) Sur un terrain d'essai, le véhicule étant connecté à un modèle d'environnement et interagissant avec des objets virtuels tout en se déplaçant physiquement sur la piste d'essai ;

iii) En faisant interagir un sous-système avec un conducteur réel (simulation DIL) ;

iv) Interaction entre le système et l'environnement.

32. L'interaction entre le système testé et l'environnement peut se faire en boucle ouverte ou fermée.

33. Les essais virtuels en boucle ouverte (également appelés retraitement logiciel ou matériel, mode fantôme, etc.) peuvent faire intervenir diverses méthodes, comme l'interaction du système de conduite automatisé avec des situations virtuelles tirées du monde réel. Dans ce cas, les actions des objets virtuels sont uniquement pilotées par les données, et les informations ne sont pas rectifiées automatiquement en fonction de la rétroaction. Les signaux de sortie du contrôleur à boucle ouverte pouvant fluctuer à l'insu du système de conduite automatisé ou de l'évaluateur en raison de perturbations externes, l'applicabilité des essais en boucle ouverte aux fins de la validation du système risque d'être limitée.

34. Les essais virtuels en boucle fermée comprennent une boucle de rétroaction qui transmet en permanence au système de conduite automatisé des informations provenant du contrôleur en boucle fermée. Le comportement des objets numériques présents dans l'environnement peut varier en fonction de l'action du système testé.

35. Le choix du type d'essai, en boucle ouverte ou fermée, dépend de facteurs tels que les objectifs des essais virtuels et l'état d'avancement de l'élaboration du système testé. Dans le cadre de la validation des systèmes de conduite automatisés, il est prévu de mettre en œuvre principalement des essais virtuels en boucle fermée.

36. Du fait de sa souplesse, cette composante constitue une méthode d'essai standard pour la conception et la validation des véhicules. S'agissant des systèmes de conduite automatisés, il est indispensable de recourir aux essais virtuels pour vérifier la capacité du système automatisé à gérer correctement une grande variété de scénarios de circulation : il est en effet impossible de tester le comportement du véhicule en conditions réelles dans toutes les situations envisageables et à chaque modification de sa logique de conduite. Par ailleurs, les essais virtuels peuvent être extrêmement utiles pour remplacer les essais en conditions réelles et sur terrain d'essai s'agissant des scénarios critiques. Les essais virtuels, qui reposent sur la simulation, sont particulièrement indiqués pour tester les systèmes de conduite automatisés dans des situations critiques pour la sécurité (ou scénarios critiques) qu'il serait difficile ou dangereux de reproduire sur une piste d'essai ou sur la voie publique.

37. Les essais virtuels destinés à valider les systèmes de conduite automatisés peuvent répondre à différents objectifs en fonction de la stratégie globale de validation et de l'exactitude des *modèles* de simulation sous-jacents : Si l'on projette d'évaluer la sécurité d'un système de conduite automatisé au moyen d'essais virtuels, il est recommandé de tenir compte des avantages et des inconvénients suivants :

- a) Fournir une mesure qualitative de la fiabilité de l'ensemble du système en matière de sécurité ;
- b) Contribuer directement à établir le degré de fiabilité statistique de l'ensemble du système en matière de sécurité (avec quelques réserves) ;
- c) Fournir une mesure qualitative ou statistique de la fiabilité et des performances de sous-systèmes ou de composants spécifiques ;
- d) Mettre en évidence des scénarios éprouvants à tester dans le monde réel (par exemple, les essais en conditions réelles et les essais sur piste décrits aux sections 7 et 8 du présent document).

38. En dépit de tous ses avantages potentiels, cette approche est limitée par sa faible fidélité intrinsèque. Les *modèles* représentant la réalité, il convient d'évaluer soigneusement la capacité d'un modèle à simuler de manière satisfaisante les situations réelles aux fins de la validation du niveau de sécurité du système de conduite automatisé. Il est par conséquent essentiel de procéder à la *validation des modèles* de simulation utilisés dans les essais virtuels en vue de déterminer la qualité et la fiabilité des résultats par rapport au monde réel.

39. Pour un scénario donné que l'on exécute, il est recommandé de comparer un essai virtuel du fonctionnement du système de conduite automatisé à un essai du même système en conditions réelles. Cela permet d'évaluer la précision d'une chaîne de simulation. Les essais virtuels permettant de simuler un nombre de scénarios bien plus élevé que les essais sur piste, la validation devra probablement porter sur un ensemble plus restreint, mais néanmoins suffisamment représentatif, de scénarios pertinents, afin de justifier les extrapolations au-delà des scénarios utilisés pour la validation. Pour de plus amples informations ainsi que des recommandations sur l'évaluation de la crédibilité des chaînes de simulation, on se reportera à l'annexe III.

40. À court terme, les essais virtuels ne peuvent être réalisés qu'au moyen de chaînes de simulation conçues et mises à jour par les constructeurs des systèmes de conduite automatisés. Puisque la conception de ces chaînes est fondée sur les stratégies de validation et de vérification mises en œuvre par le constructeur, il est recommandé qu'elles ne soient pas soumises à des règlements ou à des normes pour le moment. Les chaînes de simulation devraient plutôt être décrites et documentées par le constructeur du système de conduite automatisé, et leur adéquation devrait être évaluée au stade de la certification. Ainsi, les résultats de la nouvelle méthode d'évaluation et d'essai relatifs aux essais virtuels donnent l'assurance que la documentation et les données fournies par le constructeur forment un ensemble cohérent. En outre, les essais virtuels fondés sur des modèles et des simulations devraient être suffisamment crédibles pour permettre aux évaluateurs de prendre des décisions valables. On trouvera ci-après de plus amples informations sur la question de la crédibilité.

41. S'agissant de la validation du niveau de sécurité d'un système de conduite automatisé, il est recommandé d'accorder une attention particulière aux interactions entre les essais virtuels et les autres méthodes d'essai. Les liens entre les essais virtuels et toutes les composantes de la nouvelle méthode d'évaluation et d'essai de la conduite automatisée sont étroits. En particulier :

- a) Les essais virtuels complètent les essais physiques lorsqu'il s'agit de tenir compte du nombre et de la diversité des configurations, des utilisations prévues et des limites d'utilisation des systèmes de conduite automatisés. L'un des principaux avantages des essais virtuels est qu'ils permettent d'évaluer les performances d'un système de conduite automatisé dans une série de scénarios et selon divers paramètres dans chaque scénario, et tout cela de façon économique. Grâce à ces essais, il est possible de compléter les résultats des essais physiques, lesquels essais sont limités, par des données vérifiables représentatives des nombreuses variations du scénario d'essai en fonction des divers paramètres appliqués.

Ainsi, les essais virtuels permettent de démontrer qu'un système de conduite automatisé saura gérer des situations critiques pour la sécurité, et donc qu'il fonctionnera comme prévu pour ce type de situation dans le monde réel. Ces avantages allègent les contraintes liées aux essais physiques (en compensant leurs inconvénients) et contribuent au renforcement de l'efficacité globale de l'évaluation, menée en recourant à l'ensemble des composantes. On peut également avoir recours aux essais virtuels pour repérer et étudier les cas limites et d'autres scénarios peu probables en vue de renforcer la confiance dans les capacités des systèmes de conduite automatisés ;

b) Les essais virtuels peuvent jouer un rôle important dans l'élaboration des prescriptions relatives aux performances et des scénarios de circulation ;

c) Ils permettent également d'évaluer les limites de performance d'un système de conduite automatisé, ce qui permet de mieux définir la frontière entre prévention des collisions et atténuation de leurs effets. Grâce à la randomisation et aux compositions, les essais virtuels permettent au développeur ou à l'évaluateur de mettre à l'épreuve le système de conduite automatisé, ce qui accroît la confiance dans ses capacités lorsqu'il est confronté à des événements peu probables ;

d) Les essais virtuels sont un élément clef de l'audit et de l'évaluation. Les résultats des essais virtuels effectués tant pendant la mise au point du véhicule que dans la phase de vérification et de validation constituent des éléments importants qui sont soumis à l'audit. Les constructeurs doivent fournir des informations et de la documentation sur la manière dont les essais virtuels sont menés et dont la chaîne de simulation sous-jacente a été validée ;

e) Les essais en conditions réelles peuvent contribuer à générer des modèles de simulation réalistes et à établir leur exactitude ;

f) Les essais virtuels peuvent être très utiles pour résoudre les problèmes mis en évidence grâce à la surveillance en fonctionnement des performances des systèmes de conduite automatisés. Ils offrent rapidité et souplesse dans l'analyse des performances en conditions réelles. Ils permettent aux constructeurs de comprendre et de vérifier le comportement du système, et de comprendre pourquoi tel ou tel problème a pu se produire. Ils servent à déceler un scénario non testé, ou un ensemble de paramètres non testé, ainsi qu'à comprendre l'étendue d'un problème. Dans le cas où le système de conduite automatisé fait preuve d'un comportement dangereux, ils peuvent aider à tester les modifications apportées et, au final, à améliorer ses performances. Au besoin, les informations et les descriptions de scénarios peuvent être partagées et intégrées rapidement aux systèmes d'essais virtuels dans le monde entier.

42. Sachant que certaines prescriptions de sécurité fonctionnelle sont encore à l'étude, les essais virtuels réalisés à l'aide d'une chaîne de simulation validée sont particulièrement prometteurs aux fins de l'évaluation des systèmes de conduite automatisés sur la base des exigences de sécurité suivantes, actuellement envisagées :

a) Le système de conduite automatisé doit conduire en toute sécurité et gérer correctement les situations critiques. Les essais virtuels peuvent jouer un rôle prépondérant à cet égard. Il est possible de recourir à des simulations MIL/SIL, HIL ou VIL pour évaluer la conformité à cette prescription à différents stades du processus de vérification et de validation du véhicule ;

b) Le système de conduite automatisé doit interagir avec le conducteur en toute sécurité. Les simulations DIL peuvent contribuer à évaluer la conformité à cette prescription en analysant l'interaction entre le conducteur et le système de conduite automatisé dans un environnement sûr et contrôlé ;

c) Le système de conduite automatisé doit gérer en toute sécurité les défaillances et garantir un état de fonctionnement sûr. Le recours aux essais virtuels pour évaluer la conformité à cette prescription est également très prometteur, mais nécessite probablement des recherches supplémentaires. Les simulations SIL pourraient inclure des pannes simulées et des demandes de maintenance. Les simulations HIL et VIL pourraient être utilisées pour évaluer la manière dont le système réagit à un dysfonctionnement réel.

VII. Essais sur piste (méthode de validation 2)

43. Les essais sur piste se déroulent sur un terrain d'essai fermé à la circulation et font appel à des obstacles réels et à des substituts (des cibles de collision, par exemple) pour l'évaluation de la conformité des systèmes de conduite automatisés aux prescriptions de sécurité (liées aux facteurs humains ou au système de sécurité, par exemple). Ils permettent de tester les véhicules physiques dans des scénarios réalistes, afin d'évaluer les sous-systèmes ou le système dans son ensemble. Ces entrées et conditions externes peuvent être contrôlées ou mesurées pendant l'essai.

44. Les essais sur piste conviennent peut-être mieux que les autres pour évaluer les capacités des systèmes de conduite automatisés dans un nombre limité de scénarios nominaux et de scénarios critiques. Il est possible d'utiliser les mêmes essais pour vérifier les performances des véhicules liées aux facteurs humains ou aux stratégies de secours. Il peut toutefois être nécessaire de mobiliser beaucoup de ressources. Pour plus de détails sur les essais sur piste, notamment sur leurs avantages et leurs inconvénients, voir le document de référence sur la nouvelle méthode d'évaluation et d'essai de la conduite automatisée.

45. Il est recommandé d'avoir recours aux essais sur piste pour évaluer les performances des systèmes de conduite automatisés dans un certain nombre de scénarios nominaux et critiques majeurs, notamment parce que, contrairement aux essais en conditions réelles, les essais sur piste peuvent accélérer l'exposition aux situations rares connues, ou à des scénarios critiques pour la sécurité, et ce dans un environnement plus contrôlé et plus sûr.

46. Il est en outre recommandé de concevoir les essais sur piste selon la méthode exposée à l'annexe VII.

A. Comment cette méthode de validation interagit-elle avec les autres ?

47. Il est recommandé d'exploiter les données produites pendant l'essai sur piste en tant que données complémentaires pour valider les essais virtuels en comparant les performances du système de conduite automatisé dans un essai virtuel avec ses performances sur une piste d'essai dans le cadre de l'exécution d'un même scénario. Par exemple, les essais sur piste peuvent servir de moyen supplémentaire pour valider la qualité de la chaîne de simulation en comparant les performances du système de conduite automatisé dans une simulation avec ses performances sur une piste d'essai, le scénario étant le même. Il est néanmoins important de garder à l'esprit les limites décrites dans le document de référence sur la nouvelle méthode d'évaluation et d'essai de la conduite automatisée.

VIII. Essais en conditions réelles (méthode de validation 3)

48. Les essais en conditions réelles se déroulent sur la voie publique. Ils visent à évaluer les capacités et la conformité aux prescriptions de sécurité (liées aux facteurs humains ou au système de sécurité, par exemple) d'un véhicule équipé d'un système de conduite automatisé. Ils permettent donc de valider la sécurité du système de conduite automatisé dans son environnement d'exploitation réel. Pour plus de détails sur les essais en conditions réelles, notamment sur leurs avantages et leurs inconvénients, voir le document de référence sur la nouvelle méthode d'évaluation et d'essai de la conduite automatisée.

49. Les essais en conditions réelles devraient être envisagés pour évaluer certains aspects des performances du système de conduite automatisé dans des conditions de circulation réelles, par exemple la conduite en douceur, la capacité à faire face à une circulation dense, l'interaction avec les autres usagers de la route, l'intégration dans le flux de circulation, le respect des autres véhicules et la courtoisie envers leurs conducteurs.

50. Les essais en conditions réelles devraient également être envisagés pour évaluer les performances du système de conduite automatisé dans certaines limites du domaine de conception fonctionnelle (scénarios nominaux et complexes), notamment afin de vérifier si le système déclenche les demandes de transition au conducteur au moment où il est censé le

faire (fin du domaine de conception fonctionnelle ou conditions météorologiques, par exemple). Les mêmes essais peuvent être utilisés pour vérifier les performances liées aux facteurs humains dans les mêmes conditions.

51. Les essais en conditions réelles (sur route) devraient aussi être envisagés pour déceler des problèmes qui ne sont pas forcément bien appréhendés par les essais sur piste et la simulation, comme la limitation de la qualité de perception (en raison des conditions de luminosité ou de la pluie, par exemple).

52. Enfin, il est recommandé de concevoir les essais en conditions réelles selon la méthode décrite à l'annexe VII.

53. Bien que les essais en conditions réelles ne permettent pas de rencontrer tous les scénarios de circulation, il est possible d'augmenter la probabilité d'occurrence de certains scénarios complexes en sélectionnant un type de domaine de conception fonctionnelle (une autoroute, par exemple) et en étudiant le lieu et le moment où certaines situations (une circulation fluide ou dense, par exemple) se produisent généralement.

54. Certaines infractions recensées au cours des essais en conditions réelles peuvent être examinées ou évaluées en étudiant les données recueillies durant l'essai initial ainsi que les éventuelles données collectées durant des essais virtuels, sur piste et sur route supplémentaires.

A. Comment cette méthode de validation interagit-elle avec les autres ?

55. Les données produites durant les essais en conditions réelles peuvent être exploitées comme données complémentaires pour valider la modélisation des éléments d'un environnement d'essais virtuels ou sur piste en comparant les performances du système de conduite automatisé dans le cadre de ces essais avec ses performances en conditions réelles, le scénario étant le même.

56. Elles peuvent également être exploitées afin de concevoir de nouveaux scénarios de circulation pour les essais virtuels et sur piste, ce qui permet de déceler des cas limites et d'autres vulnérabilités inconnues qui pourraient mettre le système de conduite automatisé en difficulté.

57. Les informations recueillies au cours des essais en conditions réelles peuvent également être utilisées aux fins de l'analyse des risques propres aux systèmes de conduite automatisés et de la conception de ces systèmes.

IX. Audit (méthode de validation 4)

58. La méthode de l'audit a pour objet de procéder à un examen afin de démontrer que :

- a) Le constructeur a mis en place des procédures adéquates pour assurer la sécurité opérationnelle et fonctionnelle tout au long du cycle de vie du véhicule ;
- b) La sécurité a été intégrée dès la phase de conception du véhicule et celle-ci a été suffisamment validée avant la mise sur le marché.

58 *bis*. Cette méthode de validation fait ainsi appel à deux composantes majeures : l'une est l'audit des procédures établies par le constructeur dans le cadre d'un système de gestion de la sécurité, et l'autre est l'évaluation de la sécurité de la conception du système de conduite automatisé.

59. Il est recommandé que le constructeur soit tenu de démontrer que :

- a) Des procédures fiables ont été adoptées pour garantir la sécurité sur la totalité du cycle de vie du véhicule (phase de développement, production, mais aussi exploitation sur route et mise hors service). Cela suppose notamment de mettre en place les moyens adéquats pour surveiller le véhicule sur le terrain et de prendre les mesures qui s'imposent en cas de besoin ;

b) Les dangers et les risques propres au système ont été recensés et un cadre cohérent de sécurité par conception a été établi afin d'en atténuer les effets ;

c) L'évaluation des risques et la sécurité par conception ont été validées au moyen d'essais réalisés par lui-même dans le but de démontrer que le véhicule répond aux exigences de sécurité avant d'être mis sur le marché. Le véhicule ne doit pas présenter de risques déraisonnables pour l'écosystème du transport au sens large, en particulier pour le conducteur, les passagers et les autres usagers de la route.

60. À la lumière des éléments fournis par le constructeur et des résultats des essais ciblés, les autorités pourront examiner les processus, l'évaluation des risques, la conception et la validation du constructeur, et vérifier si ceux-ci permettent d'assurer de manière adéquate la sécurité opérationnelle et fonctionnelle.

A. Directives générales pour l'audit du système de gestion de la sécurité du constructeur

61. L'audit du système de gestion de la sécurité mis en place par le constructeur a pour but de démontrer que ce dernier dispose de procédures fiables pour gérer les risques de sécurité et assurer cette sécurité tout au long du cycle de vie du système de conduite automatisé (durant la phase de développement et de production, mais aussi en cours de fonctionnement sur route et au stade de la mise hors service). Cela suppose notamment de mettre en place les moyens adéquats pour surveiller le véhicule sur le terrain et de prendre les mesures qui s'imposent en cas de besoin.

62. En ce qui concerne le système de gestion de la sécurité, la documentation fournie par un constructeur devrait démontrer que des processus, méthodes et outils efficaces sont en place, actualisés et suivis au sein de l'entreprise, en vue de gérer la sécurité et la conformité de manière continue tout au long du cycle de vie du produit (conception, élaboration, production, fonctionnement, y compris le respect des règles de circulation, et mise hors service).

1. Système de gestion de la sécurité

63. La maîtrise des risques devrait être obtenue dans trois dimensions essentielles :

a) La composante humaine, grâce à des personnes dotées des compétences, de la formation et de la motivation appropriées ;

b) Une composante organisationnelle, formée de procédures et de méthodes définissant la relation entre les tâches ;

c) Une composante technique, faisant appel aux outils et aux équipements appropriés.

63 *bis*. La mise en place d'un système de gestion de la sécurité adéquat permet de surveiller et d'améliorer l'ensemble des trois dimensions et de maîtriser les risques correspondants. L'évaluation du système de gestion de la sécurité repose sur des normes d'ingénierie automobile, des manuels et des documents relatifs aux meilleures pratiques en matière de sécurité.

63 *ter*. Les risques opérationnels liés au produit devraient être spécifiquement abordés aux stades de la conception et du développement et pris en compte dans l'évaluation du produit. Par conséquent, le constructeur du système de commande automatisé devrait mettre en évidence le lien entre la gestion globale des risques (présente section) et les risques opérationnels liés au produit.

64. Exemples de processus et de points pour lesquels le constructeur devrait fournir des documents :

a) Gestion des risques :

i) Identification des risques (conformément à la norme ISO 3100, par. 6.4.2, ou à une norme équivalente) ;

- ii) Analyse des risques (conformément à la norme ISO 3100, par. 6.4.3, ou à une norme équivalente) ;
 - iii) Évaluation des risques (conformément à la norme ISO 3100, par. 6.4.4, ou à une norme équivalente) ;
 - iv) Traitement des risques (conformément à la norme ISO 3100, par. 6.4.5, ou à une norme équivalente), dont :
 - v) Les processus mis en œuvre pour assurer dans la mesure du possible l'actualisation des évaluations des risques ;
 - vi) La performance de l'organisation en matière de sécurité et l'efficacité des contrôles des risques.
65. Exemples de processus et de points pour lesquels le constructeur devrait fournir des documents :
- a) Gouvernance de la sécurité :
 - i) Politiques et principes de sécurité (conformément au concept énoncé dans la norme ISO 21434, par. 5.4.1 et ISO 9001 Automotive 5.2, mais du point de vue de la sécurité) ;
 - ii) Engagement de la direction (conformément au concept énoncé dans la norme ISO 21434, par. 5.4.1 et ISO 9001 Automotive 5.1, mais du point de vue de la sécurité) ;
 - iii) Rôles et responsabilités (ISO 26262-2, par. 6.4.2, concernant aussi bien les activités organisationnelles que celles qui dépendent du projet) ;
 - b) Culture de la sécurité (ISO 26262-2, par. 5.4.2.) ;
 - c) Communication efficace au sein de l'organisation (ISO 26262-2, par. 5.4.2.3) ;
 - d) Diffusion d'informations en dehors de l'organisation (conformément au concept énoncé dans les normes ISO 21434, par. 5.4.5 et ISO 9001, mais du point de vue de la sécurité) ;
 - e) Système de gestion de la qualité (IATF 16949, ISO 9001 ou une norme équivalente) à l'appui de l'ingénierie de la sécurité, y compris la gestion des changements, la gestion de la configuration, la gestion des prescriptions, la gestion des outils, etc.
66. Le processus de conception et d'élaboration devrait être établi et documenté, y compris le système de gestion de la sécurité, la gestion et la mise en œuvre des prescriptions, les essais, le suivi des défaillances, les mesures correctives et la mise en service.
67. Exemples de processus et de points à documenter aux fins du bon déroulement de la phase de conception et de développement :
- a) Description générale de la manière dont l'organisation réalise toutes les activités de conception et de développement ;
 - b) Développement, intégration et mise en œuvre du système :
 - i) Gestion des prescriptions (par exemple, compréhension et validation des prescriptions) ;
 - ii) Stratégies de validation, notamment, mais sans s'y limiter :
 - a. Évaluation de la crédibilité de la chaîne de simulation
 - b. Niveau d'intégration du système ;
 - c. Niveau logiciel ;
 - d. Niveau matériel ;

iii) Gestion de la sécurité fonctionnelle et de la sécurité de la fonction attendue, notamment analyse et mise à jour permanentes des évaluations des risques et lien avec la sécurité de fonctionnement ;

c) Gestion des modifications des conceptions et des processus de conception et de développement.

68. Le constructeur devrait mettre en place et entretenir des canaux de communication efficaces entre ses services chargés de la sécurité fonctionnelle et opérationnelle, de la cybersécurité et de tout autre domaine pertinent contribuant à la sûreté des véhicules.

69. Exemples de processus et de points à documenter pour s'assurer que les responsabilités sont assumées de manière adéquate :

a) Rôles et responsabilités durant la conception et le développement ;

b) Qualifications et expérience des personnes en charge des décisions en matière de sécurité ;

c) Coordination entre conception et production.

70. Exemples de processus et de points à documenter pour assurer le bon déroulement de la phase de production :

a) Agrément du système de gestion de la qualité (IATF 16949 ou ISO 9001, ou norme équivalente) ;

b) Description générale de la manière dont l'organisation exécute toutes les fonctions de production, y compris la gestion des conditions de travail et de l'environnement, des équipements et des outils.

71. Exemples de processus et de points à documenter pour assurer le bon déroulement de la production décentralisée :

a) Relation entre le constructeur du véhicule et toutes les autres organisations (partenaires ou sous-traitants) impliquées dans la production du système/véhicule ;

b) Critères d'acceptabilité des sous-systèmes ou des composants fabriqués par les partenaires ou les sous-traitants (application de critères d'assurance qualité pour la chaîne logistique).

72. Le constructeur devrait démontrer que des vérifications périodiques indépendantes des processus internes sont effectuées pour garantir que les processus établis en ce qui concerne le système de gestion de la qualité sont mis en œuvre de manière cohérente (ONU R157, par. 3.5.5, ISO 26262-2, par. 6.4.11).

73. Exemples de processus et de points à documenter pour garantir l'indépendance de l'audit et de l'évaluation de la conception :

a) Garantie que toutes les pratiques et procédures à appliquer pendant le développement du véhicule/système sont respectées (garantie de processus) ;

b) Garantie d'une vérification indépendante de la conformité aux prescriptions et règlements applicables (évaluation indépendante confiée à une personne n'ayant pas établi les critères de conformité) ;

c) Garantie d'une évaluation permanente du système de gestion de la sécurité, visant à maintenir son efficacité (audit pouvant être réalisé par les responsables du système de gestion de la qualité).

74. Le constructeur devrait mettre en place des dispositions appropriées (des dispositions contractuelles, des interfaces claires ou un système de gestion de la qualité, par exemple) avec ses fournisseurs pour veiller à ce que leur système de gestion de la sécurité soit conforme aux directives, sauf en ce qui concerne l'exploitation des véhicules et leur retrait de la circulation.

75. Exemples de processus et de points à documenter :

a) Politique organisationnelle pour la chaîne d'approvisionnement ;

- b) Intégration des risques émanant de la chaîne d'approvisionnement ;
- c) Évaluation des capacités des fournisseurs s'agissant du système de gestion de la sécurité et audits correspondants ;
- d) Processus de conclusion de contrats et d'accords visant à garantir la sécurité au cours des phases de développement, de production et de postproduction ;
- e) Processus pour les activités de sécurité décentralisées.

76. Le constructeur devrait disposer de processus destinés au suivi des incidents, accidents ou collisions occasionnés par le système de conduite automatisé, ainsi que d'un processus destiné à gérer les lacunes potentielles en matière de sécurité après l'immatriculation (surveillance sur le terrain en boucle fermée) et à mettre à jour les véhicules.

77. Ces processus devraient signaler les incidents critiques (par exemple, une collision avec un autre usager de la route et les lacunes potentielles en matière de sécurité) à l'autorité compétente lorsqu'ils se produisent.

2. Lien avec la composante Surveillance en fonctionnement et notification

78. Il appartient aux constructeurs de mettre en place un processus pour la phase opérationnelle afin de confirmer le respect des prescriptions de sécurité sur le terrain, de procéder à la détection précoce de nouveaux scénarios inconnus (conformément à l'objectif de développement de la sécurité de la fonction attendue visant à réduire au minimum ces scénarios inconnus), d'enquêter sur les événements et de partager les enseignements tirés des incidents et de l'analyse des quasi-accidents, pour permettre à l'ensemble de la communauté de profiter du retour d'expérience sur le terrain et contribuer ainsi à l'amélioration continue de la sécurité automobile.

79. Exemple de principes directeurs : Existe-t-il un document décrivant la procédure à suivre pour signaler les incidents à la direction ? Est-il établi que l'entreprise respecte cette procédure ? Existe-t-il un document décrivant la procédure appropriée d'enquête et de documentation des incidents ? Est-il établi que l'entreprise respecte cette procédure ?

3. Expiration/renouvellement du système de gestion de la sécurité

80. La documentation devrait être régulièrement mise à jour en fonction des modifications apportées aux processus du système de gestion de la sécurité. Toute modification de la documentation de ce système devrait être notifiée, le cas échéant, à l'autorité compétente.

B. Directives générales pour l'évaluation de la sécurité de la conception du système de conduite automatisé

81. L'audit du concept de sécurité par conception du système de conduite automatisé a pour objectif de démontrer que le constructeur a bien recensé les dangers et les risques associés à ce système et qu'il a mis en place un concept cohérent de sécurité par conception pour les maîtriser. En outre, il doit confirmer que l'évaluation des risques et le concept de sécurité par conception ont été validés par le constructeur au moyen d'essais établissant, avant la mise sur le marché du véhicule, que celui-ci satisfait aux prescriptions de sécurité et, en particulier, qu'il ne présente pas de risques déraisonnables pour l'écosystème du transport au sens large, notamment pour le conducteur, les passagers et les autres usagers de la route.

1. Description générale du système de conduite automatisé

82. Il convient de fournir un descriptif expliquant de manière simple les caractéristiques de fonctionnement et les fonctionnalités du système de conduite automatisé :

- a) Domaine de conception opérationnelle (vitesse, type de route, pays, environnement, état des routes, etc.) et conditions limites ;
- b) Performances de base (par exemple, détection d'objets et d'événements et réaction (OEDR)) ;

- c) Interactions avec les autres usagers de la route ;
- d) Conditions principales concernant les manœuvres à risque minimal ;
- e) Interactions avec le conducteur (le cas échéant) ;
- f) Centre de supervision (le cas échéant) ;
- g) Dispositifs d'activation, de désactivation et de neutralisation du système de conduite automatisé par le conducteur ou le centre de supervision humaine, les passagers ou les autres usagers de la route (le cas échéant).

2. Description des fonctions du système de conduite automatisé

83. Il devrait être fourni une description simple de toutes les fonctions, y compris les stratégies de contrôle du système de conduite automatisé et les méthodes employées pour effectuer les tâches relatives à la dynamique dans le domaine de conception fonctionnelle, ainsi que les limites dans lesquelles le système de conduite automatisé est conçu pour fonctionner, notamment une déclaration du ou des mécanismes au moyen desquels est exercé le contrôle.

84. Cette description devrait être accompagnée d'une liste de toutes les variables d'entrée et de toutes les variables détectées, de la définition de leur plage de fonctionnement, ainsi que de la description de la manière dont chaque variable affecte le comportement du système.

85. Il devrait être fourni par ailleurs une liste de toutes les variables de sortie qui sont contrôlées par le système de conduite automatisé, et, dans chaque cas, il y a lieu d'indiquer si la commande est directe ou si elle est exercée par un autre système du véhicule. La plage de commande pour chaque variable devrait être définie.

3. Architecture et schémas du système de conduite automatisé

a) Liste des éléments

86. Il devrait être fourni une liste de l'ensemble des modules du système de conduite automatisé mentionnant quels autres systèmes du véhicule sont nécessaires pour exécuter la fonction de contrôle.

87. Il devrait être fourni un schéma faisant apparaître la combinaison de ces modules et précisant la répartition des matériels et les interconnexions.

88. Parmi les éléments qui devraient y figurer, on peut citer :

- a) La perception et la détection d'objets, y compris la cartographie et la localisation ;
- b) La caractérisation de la prise de décisions ;
- c) La surveillance et le contrôle à distance par un centre de contrôle à distance (le cas échéant) ;
- d) L'affichage des informations/l'interface utilisateur ;
- e) Le système de stockage des données pour la conduite automatisée.

b) Fonctions des modules

89. La fonction de chaque module du système de conduite automatisé devrait être décrite et les signaux qui relient ce module à d'autres modules ou à d'autres systèmes du véhicule devraient être précisés. Cette exigence peut être remplie par la fourniture d'un diagramme fonctionnel ou d'un autre schéma étiqueté, ou par une description appuyée sur un tel schéma.

90. Les interconnexions au sein du système de conduite automatisé devraient être représentées par un schéma de circuit pour les liaisons de transmission électrique, par un schéma de tuyauterie pour les équipements de transmission pneumatique ou hydraulique, et par un schéma simplifié pour les liaisons mécaniques. Les liaisons de transmission à destination et en provenance d'autres systèmes devraient également être indiquées.

91. La correspondance entre les liaisons de transmission et les signaux transmis entre les modules devrait être clairement indiquée. Les priorités des signaux sur les voies de données multiplexées devraient être spécifiées chaque fois que la priorité peut être un problème affectant l'efficacité ou la sécurité.

c) Identification des modules

92. Chaque module devrait être identifiable de manière claire et non ambiguë (par exemple, par une marque pour le matériel et par une marque ou une sortie logicielle pour le contenu logiciel) afin de permettre la correspondance entre le matériel et les documents. Lorsque la version d'un logiciel peut être modifiée sans qu'il soit nécessaire de remplacer la marque ou le composant, l'identification du logiciel doit se faire uniquement au moyen d'un signal informatique.

93. Lorsque des fonctions sont combinées au sein d'un seul module, voire d'un seul ordinateur, mais qu'elles sont présentées en plusieurs blocs dans le diagramme fonctionnel pour des raisons de clarté et de facilité d'exposition, une seule marque d'identification du matériel devrait être utilisée. En utilisant cette marque d'identification, le constructeur affirme que le matériel fourni est conforme au document correspondant.

94. L'identification permet de désigner les versions des éléments matériels et logiciels. Lorsque ces derniers changent de telle manière que cela modifie la fonction du module en ce qui concerne le présent Règlement, cette identification devrait également être modifiée.

d) Installation des composants du système de capteurs

95. Le constructeur devrait fournir des informations concernant les options d'installation qui seront retenues pour les différents composants du dispositif de détection. Ces options comprennent, sans s'y limiter, l'emplacement du composant dans ou sur le véhicule, le ou les matériaux à proximité du composant une fois celui-ci installé sur le véhicule, le dimensionnement et la géométrie de ces matériaux, ainsi que leur finition de surface. Ces informations devraient également comprendre les spécifications d'installation qui sont essentielles pour l'efficacité du système de conduite automatisé, par exemple, les tolérances concernant l'angle d'installation.

96. Les modifications apportées aux différents composants du système de capteurs ou aux options d'installation devraient donner lieu à une mise à jour de la documentation.

e) Spécifications du système de conduite automatisé

a) Description des spécifications du système de conduite automatisé en conditions normales et en conditions d'urgence, description des critères d'acceptabilité et démonstration du respect de ces critères ;

b) Liste des règlements, codes et normes appliqués.

f) Le concept de sécurité et sa validation par le constructeur

97. Le constructeur devrait fournir une déclaration établissant que le système de conduite automatisé est exempt de risques déraisonnables pour le conducteur (le cas échéant), les passagers et les autres usagers de la route.

98. En ce qui concerne les logiciels utilisés dans le système de conduite automatisé, l'architecture générale devrait être expliquée et les méthodes et outils de conception utilisés devraient être identifiés. Le constructeur devrait apporter la preuve des moyens par lesquels il a déterminé la réalisation de la logique du système de conduite automatisé, au cours du processus de conception et d'élaboration.

99. Le constructeur devrait fournir une explication sur les dispositifs de sécurité fonctionnelle et opérationnelle intégrés au système de conduite automatisé au stade de sa conception. Il peut s'agir des éléments suivants :

a) Fonctionnement en mode partiel ;

b) Redondance avec un système distinct ;

c) Suppression de la ou des fonctions de conduite automatisée.

100. Si le dispositif choisi sélectionne un mode de fonctionnement produisant une efficacité partielle dans certaines conditions de défektivité (en cas de défaillance grave, par exemple), ces conditions devraient être indiquées (par exemple, le type de défaillance grave), et les limitations de l'efficacité qui en découlent (par exemple, déclenchement immédiat d'une manœuvre d'atténuation maximale des risques) ainsi que la stratégie d'avertissement du conducteur/du centre de supervision à distance (le cas échéant) devraient être définies.

101. Si le dispositif choisi sélectionne un deuxième moyen (de secours) pour effectuer les tâches relatives à la conduite dynamique, les principes du mécanisme de commutation, la logique et le niveau de redondance et tout dispositif intégré de contrôle de secours devraient être expliqués, et les limitations de l'efficacité du système de secours qui en découlent devraient être définies.

102. Si le dispositif choisi sélectionne la suppression de la fonction de conduite automatisée, cette suppression doit être effectuée conformément aux dispositions pertinentes du présent Règlement. Tous les signaux de commande de sortie correspondants associés à cette fonction devraient être bloqués.

103. Les documents devraient être étayés par une analyse montrant en termes généraux la manière dont le système de conduite automatisé se comportera pour atténuer ou éviter les dangers pouvant avoir une incidence sur la sécurité du conducteur (le cas échéant), des passagers et des autres usagers de la route. Ils devraient établir les modalités de gestion par le constructeur des scénarios dangereux inconnus, visant à maintenir sous contrôle le niveau de risque résiduel.

104. La ou les méthodes analytiques choisies devraient être établies par le constructeur et mises à la disposition de l'autorité compétente avant la commercialisation.

105. L'auditeur devrait procéder à une évaluation de l'application de la ou des méthodes analytiques :

a) Par examen de la stratégie en matière de sécurité au niveau du concept (véhicule) ;

b) Pour ce faire, on peut s'appuyer sur une étude des risques adaptée aux considérations de sécurité du système ;

c) Par examen de la stratégie en matière de sécurité au niveau du système de conduite automatisé, y compris selon une méthode descendante (du danger éventuel à la conception) et ascendante (de la conception aux dangers éventuels). La stratégie en matière de sécurité peut être fondée sur une analyse des modes de défaillance et de leurs effets, une analyse de l'arbre des défaillances et une analyse du processus théorique du système ou de tout autre processus similaire approprié à la sécurité fonctionnelle et opérationnelle du système ;

d) Par examen des plans et résultats de validation et de vérification, y compris des critères d'acceptation appropriés. Cela comprend des essais de validation appropriés, par exemple des essais de type « matériel incorporé » (Hardware in the loop/HIL), des essais fonctionnels sur route, des essais avec des utilisateurs finaux réels, ou tout autre type d'essai approprié pour la validation et la vérification.

106. Les résultats de la validation et de la vérification peuvent être évalués en analysant le domaine abordé par les différents essais et en fixant des seuils de portée minimaux pour diverses mesures.

107. Le dossier d'information devrait confirmer que chacun des points suivants, au minimum, est pris en compte si nécessaire :

a) Questions liées aux interactions avec d'autres systèmes du véhicule (par exemple, le freinage ou la direction) ;

b) Défaillances du système de conduite automatisé et réactions du système visant à atténuer les risques ;

c) Situations autorisées par le domaine de conception fonctionnelle dans lesquelles un système peut créer des risques déraisonnables pour la sécurité du conducteur (le cas échéant), des passagers et des autres usagers de la route en raison de perturbations fonctionnelles (par exemple, compréhension insuffisante ou erronée de l'environnement du véhicule, incompréhension de la réaction du conducteur (le cas échéant), des passagers ou des autres usagers de la route, contrôle inadéquat, scénarios difficiles) ;

d) Détermination des scénarios pertinents dans le cadre des conditions limites, méthode de gestion utilisée pour choisir les scénarios et outil de validation choisi ;

e) Processus de prise de décisions en vue de l'exécution des tâches relatives à la conduite dynamique (par exemple, manœuvres d'urgence), pour la gestion des interactions avec les autres usagers de la route et pour le respect des règles de circulation ;

f) Cyberattaques ayant une incidence sur la sécurité du véhicule ;

g) Utilisations abusives, raisonnablement prévisibles, par le conducteur (le cas échéant) (par exemple, système de détection de la disponibilité du conducteur et explication de la manière dont les critères de disponibilité ont été établis), erreurs ou malentendus de la part du conducteur (le cas échéant) (par exemple, reprise de contrôle involontaire) et altération intentionnelle du système de conduite automatisé.

108. Le dossier d'information devrait établir que l'argumentation à l'appui du concept de sécurité est compréhensible et logique, et mise en œuvre dans les différentes fonctions du système de conduite automatisé.

109. Il devrait également démontrer que les plans de validation sont suffisamment solides pour garantir la sécurité (par exemple, une portée raisonnable des essais des scénarios sélectionnés par l'outil de validation choisi) et qu'ils ont été suivis.

110. Il devrait prouver par ailleurs que le véhicule ne présente pas de risques déraisonnables pour le conducteur (le cas échéant), les occupants du véhicule et les autres usagers de la route dans son domaine de conception fonctionnelle, ce qui suppose :

a) Un objectif de validation global (notamment des critères d'acceptation de la validation) étayé par des résultats de validation, démontrant que la mise en service du système de conduite automatisé n'augmentera pas globalement le niveau de risque pour le conducteur (le cas échéant), les occupants du véhicule et les autres usagers de la route par rapport à un véhicule à conduite manuelle ;

b) Une stratégie propre à chaque scénario, montrant que le système n'augmentera pas globalement le niveau de risque pour le conducteur (le cas échéant), les passagers et les autres usagers de la route par rapport à un véhicule à conduite manuelle pour chacun des scénarios pertinents sur le plan de la sécurité.

111. Le dossier d'information devrait permettre à l'autorité de certification d'effectuer des essais pour vérifier le concept de sécurité.

112. Il devrait détailler les paramètres surveillés et indiquer, pour chaque situation de défaillance du type défini dans les paragraphes précédents, le signal d'avertissement à donner au conducteur (le cas échéant), aux occupants du véhicule ou aux autres usagers de la route et au personnel des services techniques ou du contrôle technique.

113. Le dossier d'information devrait également décrire les mesures mises en place pour garantir que le système de conduite automatisé ne présente pas de risques déraisonnables pour le conducteur (le cas échéant), les occupants du véhicule et les autres usagers de la route lorsque l'efficacité du système est affectée par les conditions environnementales, par exemple la température, la pénétration de poussière ou d'eau ou la formation de glace.

g) Système de stockage des données

114. Le dossier d'information devrait contenir les informations suivantes :

a) L'emplacement de stockage des données et les mesures visant à assurer leur préservation en cas d'accident ;

- b) Les données enregistrées durant le fonctionnement du véhicule et durant un incident ;
- c) Les mesures de sécurisation des données et de protection contre les accès ou utilisations non autorisés ;
- d) Les moyens et outils mis en place pour gérer l'accès autorisé aux données.

h) Cybersécurité

115. Le dossier d'information devrait également contenir les informations suivantes :

- a) La gestion de la cybersécurité et des mises à jour logicielles ;
- b) L'identification des risques et les mesures d'atténuation ;
- c) Les risques secondaires et l'évaluation des risques résiduels ;
- d) La procédure de mise à jour des logiciels et de gestion des diverses versions mise en place pour répondre aux exigences réglementaires.

i) Dispositions relatives à l'information des utilisateurs

116. Le dossier d'information devrait contenir les informations suivantes :

- a) Modèle des informations fournies aux utilisateurs (y compris les tâches relatives à la conduite prévues dans le cadre du domaine de conception fonctionnelle et en cas de sortie de celui-ci) ;
- b) Extrait de la partie pertinente du manuel d'utilisation.

j) Système de gestion de la sécurité

117. Le constructeur devrait disposer d'un système de gestion de la sécurité valide pour le système de conduite automatisé concerné et devrait signaler tout changement susceptible d'affecter la pertinence de ce système de gestion de la sécurité pour le système de conduite automatisé en question.

k) Types de documents à fournir

118. Le constructeur devrait fournir un dossier d'information décrivant la conception de base du système et les moyens par lesquels il est relié à d'autres systèmes du véhicule, ou par lesquels il contrôle directement les variables de sortie.

119. La ou les fonctions du système, y compris les stratégies de contrôle et le concept de sécurité tels que définis par le constructeur, devraient être expliquées.

120. Le dossier devrait être bref, tout en apportant la preuve que la conception et l'élaboration ont bénéficié de l'avis d'experts dans tous les domaines du système de conduite automatisé qui sont concernés.

121. En ce qui concerne les contrôles techniques périodiques, il devrait décrire la manière dont l'état fonctionnel du système à un moment donné peut être vérifié.

122. Le dossier devrait fournir des informations sur la manière dont le ou les numéros de version du logiciel et l'état du signal d'avertissement de défaillance peuvent être lus de manière normalisée en utilisant une interface de communication électronique, ne serait-ce que l'interface standard (port du système d'autodiagnostic).

123. Le dossier d'information devrait montrer que le système de conduite automatisé :

- a) Est conçu et a été élaboré pour fonctionner de manière à être exempt de risques déraisonnables pour le conducteur (le cas échéant), les passagers et les autres usagers de la route à l'intérieur du domaine de conception fonctionnelle et des limites déclarés ;
- b) Respecte les prescriptions fonctionnelles énoncées ailleurs par le groupe FRAV ;

c) A été mis au point selon le processus ou la méthode d'élaboration déclarés par le constructeur.

124. Le dossier d'information devrait comporter trois parties :

a) Une fiche de renseignements soumise à l'autorité, comprenant des informations succinctes sur les points énumérés ;

b) Le dossier officiel, annexé à la fiche de renseignements, qui devrait être fourni à l'autorité de certification aux fins de l'évaluation de la sécurité ;

c) Les données de base et d'analyse confidentielles (propriété intellectuelle), qui sont à conserver par le constructeur, mais qui devraient être ouvertes à l'examen (par exemple sur place dans les installations techniques du constructeur) au moment de l'évaluation du produit ou de la vérification du processus. Le constructeur veillera à ce que ces données matérielles et analytiques restent disponibles pendant une période de dix ans à compter de la date d'arrêt définitif de la production du système de conduite automatisé.

125. Toute modification de la conception de la sécurité du système de conduite automatisé devrait être notifiée, le cas échéant, à l'autorité compétente.

X. Surveillance en fonctionnement et notification

126. La composante Surveillance en fonctionnement et notification a pour objet la sécurité de fonctionnement des véhicules automatisés après leur mise sur le marché. Dans la pratique, la mise en œuvre des autres composantes de la nouvelle méthode d'évaluation et d'essai de la conduite automatisée permet de déterminer si le système de conduite automatisé est raisonnablement sûr et peut être mis sur le marché, tandis que la surveillance en fonctionnement et la notification permettent de recueillir des données sur place pour vérifier que le système reste sûr lorsqu'il est utilisé sur route. La composante s'emploie pour étudier la nature dynamique du transport routier afin de s'assurer que la sécurité routière bénéficie de l'attention requise et soit constamment améliorée grâce aux systèmes de conduite automatisés.

127. La composante repose sur la collecte de données pertinentes pendant le fonctionnement des véhicules automatisés/autonomes.

128. L'obligation pour le constructeur de mettre en place un dispositif de surveillance en temps réel (autocontrôles/systèmes d'autodiagnostic) des performances des sous-systèmes de conduite automatisés ne fait pas partie de la présente composante, mais des prescriptions de sécurité. Certains mécanismes de surveillance dans le temps des performances des sous-systèmes de conduite automatisés pourraient toutefois faire partie de l'objectif 1 présenté dans la section ci-après et contribuer ainsi à la surveillance préventive de la dégradation des performances de sécurité.

129. Les processus mis en place par le constructeur pour gérer la sécurité de fonctionnement (compte tenu, par exemple, des évolutions du code de la route et des infrastructures) ne relèvent pas de la présente composante, mais de la composante audit. La présente composante met l'accent sur le type de données qui doivent être suivies et communiquées.

130. Quelles que soient les conclusions de l'évaluation du niveau de sécurité menée avant la mise sur le marché, le niveau de sécurité effectif ne sera établi que lorsqu'un nombre suffisant de véhicules aura été mis en circulation et qu'ils auront été soumis à un éventail représentatif de situations de circulation et de conditions environnementales. Il est recommandé de mettre en place un mécanisme de retour d'information (surveillance de la flotte) pour vérifier la pertinence du processus de sécurité par conception et corroborer la validation effectuée par le constructeur avant la commercialisation. Le retour d'expérience résultant de la surveillance en fonctionnement permettra d'évaluer a posteriori les exigences réglementaires et les méthodes de validation, et fournira des indications sur les lacunes à combler et les modifications à apporter.

131. Il se peut que les véhicules automatisés/autonomes commercialisés fassent apparaître de nouveaux scénarios et de nouveaux risques. La composante Surveillance en fonctionnement peut donc être utilisée pour enrichir le catalogue de scénarios afin de couvrir ces nouveaux risques.

132. Enfin, au cours de la phase initiale de mise sur le marché des systèmes de conduite automatisés, il est essentiel que les spécialistes du secteur tirent les enseignements des accidents impliquant des véhicules automatisés/autonomes et se mobilisent rapidement pour faire évoluer la sécurité de ces derniers.

A. Directives générales pour la mise en œuvre de la composante Surveillance en fonctionnement et notification

133. La composante Surveillance en fonctionnement et notification est utilisée par le constructeur pour surveiller les performances de sécurité d'un système de conduite automatisé en service et produire des rapports de surveillance. Elle s'applique aux situations qui mettent en danger, ou qui sont susceptibles de mettre en danger faute d'intervention, un véhicule, ses occupants ou toute autre personne. Plus généralement, elle s'applique à toutes les situations en lien avec les performances du système de conduite automatisé sur le plan de la sécurité. On trouvera dans l'annexe IV des exemples de ces situations.

134. La composante permet de mettre en évidence les risques déraisonnables que présente l'utilisation de véhicules équipés d'un système de conduite automatisé sur la voie publique, ainsi que d'évaluer les performances de ces véhicules en matière de sécurité lorsqu'ils sont utilisés en conditions réelles.

135. Dans le cadre de cette composante, les constructeurs de systèmes de conduite automatisés doivent collecter et analyser les données en lien avec la sécurité pour leurs véhicules en service qui sont équipés de ces systèmes et communiquer à l'autorité compétente les données sur les problèmes, situations et performances en relation avec la sécurité.

136. Le constructeur d'un système de conduite automatisé est responsable des performances de sécurité dudit système tant que celui-ci est en service.

137. La composante Surveillance en fonctionnement et notification fournit aux autorités chargées de la sécurité des informations provenant du constructeur, en complément des informations qu'elles peuvent recueillir auprès d'autres sources.

1. Objectifs

138. La composante Surveillance en fonctionnement et notification permet de contribuer au renforcement de la sécurité routière par la collecte, le traitement et la diffusion d'informations pertinentes sur la sécurité.

139. Trois objectifs principaux sont fixés dans le cadre de l'utilisation de la composante :

a) Recenser les risques associés aux systèmes de conduite automatisés à prendre en considération, notamment les cas de non-conformité aux prescriptions de sécurité applicables à ces systèmes (objectif 1) ;

b) Contribuer à l'enrichissement du catalogue de scénarios par la mise en évidence de nouveaux scénarios pertinents sur le plan de la sécurité des systèmes de conduite automatisés (objectif 2) ;

c) Diffuser des informations et des recommandations visant à promouvoir l'amélioration continue des performances de sécurité des systèmes de conduite automatisés (objectif 3).

140. Le niveau de sécurité des véhicules qui ont été commercialisés doit être évalué une fois qu'un nombre suffisant de véhicules a été mis en service et que ceux-ci ont été exposés à une variété suffisante de conditions de circulation et de conditions environnementales. Par conséquent, il importe de mettre en place, dans le cadre de la composante Surveillance en fonctionnement et notification, un mécanisme de retour d'information qui fournira des données à exploiter pour analyser et évaluer les critères de sécurité du constructeur du

système de conduite automatisé et sa validation des informations produites en vue de la commercialisation du véhicule. Le retour d'expérience résultant de la surveillance en fonctionnement permettra d'évaluer a posteriori les exigences réglementaires et les méthodes de validation, et fournira des indications sur les lacunes à combler et les modifications à apporter.

141. Par exemple, l'exploitation des données sur les performances du système de conduite automatisé en conditions réelles peut contribuer à améliorer les essais sur piste ou à mettre au point de nouveaux essais de ce type. En outre, s'agissant des interactions avec l'utilisateur du véhicule, la composante Surveillance en fonctionnement et notification peut fournir des données exploitables pour améliorer l'interface humain-machine du système de conduite automatisé, l'utilisabilité du système et la formation des conducteurs.

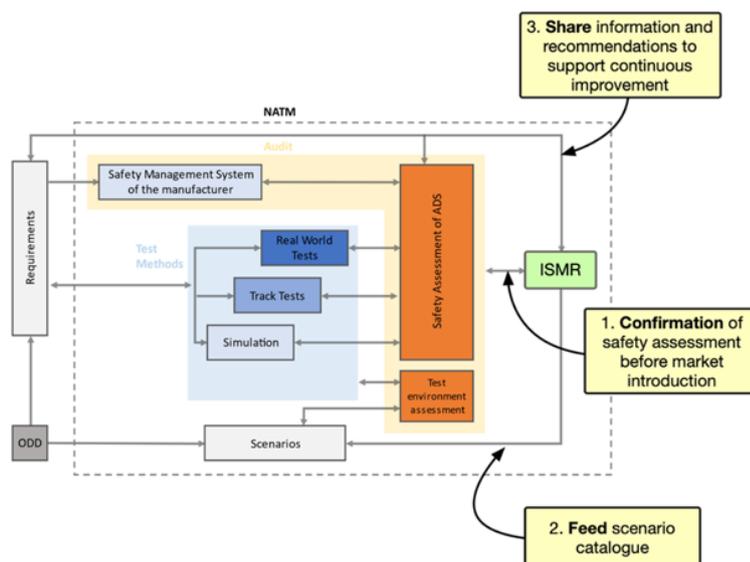
142. Enfin, certaines situations ou certains risques ou dangers imprévus peuvent apparaître en conditions réelles d'utilisation du système de conduite automatisé. Les données correspondantes peuvent alors servir à élaborer de nouveaux scénarios à inclure dans le catalogue de scénarios.

143. Au cours de la phase initiale de mise sur le marché des systèmes de conduite automatisés, il est essentiel que tous les spécialistes du secteur tirent les enseignements des situations critiques impliquant des véhicules automatisés/autonomes. Un mécanisme permettant de mettre en commun les données de la composante Surveillance en fonctionnement et notification et les recommandations issues de l'analyse de ces données doit donc être établi entre les spécialistes, de sorte qu'ils puissent apporter leur contribution et que celle-ci débouche sur des améliorations permettant de réduire le nombre de situations critiques ou d'éviter celles-ci.

144. La collecte, le traitement et la diffusion des données sur les performances de sécurité des systèmes de conduite automatisés obtenues à l'aide de la composante Surveillance en fonctionnement et notification aideront en outre à évaluer les incidences de ces systèmes sur la sécurité du réseau routier.

Figure 2

Intégration de la composante Surveillance en fonctionnement et notification dans l'ensemble du système



2. Surveillance en fonctionnement

145. Chaque constructeur devrait mettre en place un programme de surveillance dans le but de collecter et d'analyser des données sur ses véhicules, ainsi que des données provenant d'autres sources. Ces données devraient rendre compte des performances de sécurité d'un système de conduite automatisé en service et confirmer les résultats de l'audit du système de gestion de la sécurité établi à l'aide de la composante Audit.

a) Collecte de données sur les véhicules

146. Il y a du travail à faire s'agissant des prescriptions relatives aux enregistreurs de données de route et aux systèmes de stockage des données pour la conduite automatisée. Tant que ces prescriptions n'auront pas été établies, on ne trouvera dans la présente section que des suggestions pour les éléments de données que les constructeurs peuvent collecter et télécharger à partir de leurs véhicules équipés de systèmes de conduite automatisés en vue de les assembler et de les traiter pour produire des indicateurs de performance tels qu'ils sont décrits dans la section consacrée aux rapports.

b) Autres sources d'information sur les performances des systèmes de conduite automatisés accessibles aux constructeurs

147. Il est probable que les constructeurs recueilleront des informations relatives aux activités courantes, notamment des rapports établis par les concessionnaires ainsi que des informations communiquées par les clients.

3. Rapports

148. Les rapports ont principalement pour but de prévenir les accidents et les incidents, et non de sanctionner ou d'attribuer des fautes.

149. Rapports que les constructeurs devraient établir :

150. Les constructeurs devraient rendre compte, conformément aux exigences de l'autorité concernée, des incidents critiques et non critiques. Deux types de rapports sur les performances de sécurité des véhicules équipés d'un système de conduite automatisé en service sont demandés.

151. Des rapports diligents sur les incidents et problèmes de sécurité pour lesquels le constructeur doit prendre des mesures correctives, notamment :

- a) Les indications de non-conformité aux prescriptions de sécurité ;
- b) Les incidents critiques dans lesquels le système de conduite automatisé n'a pas fonctionné correctement ;
- c) Les autres problèmes de performance liée à la sécurité.

152. Les rapports diligents doivent être établis dans un délai de [un mois après un incident critique]. Ils s'imposent lorsque les données montrent que le système de conduite automatisé présente un risque inacceptable en cours d'utilisation.

153. Les incidents qui doivent donner lieu aux rapports de ce type sont énumérés à l'annexe IV.

154. Au plan national, l'autorité concernée peut imposer des dispositions de notification supplémentaires dans le cas où le constructeur d'un système de conduite automatisé a connaissance d'une défaillance ou d'un défaut posant un risque immédiat pour la sécurité publique.

155. Les constructeurs devraient aussi communiquer périodiquement à l'autorité chargée de la sécurité les indicateurs de sécurité et les incidents relevés.

156. On trouvera dans l'annexe IV une liste d'incidents critiques et non critiques conforme aux prescriptions de haut niveau établies par le groupe FRAV. Il s'agit là de situations génériques que le groupe VMAD a l'intention de définir plus en détail. Le groupe VMAD examinera l'utilité de chacune des données qu'il est suggéré de communiquer à l'autorité chargée de la sécurité, la capacité de ladite autorité à passer en revue toutes les données transmises, ainsi que la possibilité de stocker, collecter et communiquer les différentes données.

157. Le rapport périodique devrait être remis à intervalles réguliers [au moins une fois par an] et devrait présenter des données attestant les performances de sécurité du système de conduite automatisé en service. Il devrait notamment montrer que :

a) Aucune incohérence n'a été décelée par rapport aux performances de sécurité du système avant sa commercialisation ;

b) Le système est conforme aux prescriptions de sécurité établies par le groupe FRAV, telles que vérifiées selon les méthodes d'essai mises au point par le groupe VMAD ;

c) Tout problème majeur de sécurité du système récemment découvert a été convenablement pris en compte (y compris la façon dont cela a été fait).

158. Les rapports diligents et les rapports périodiques devraient comporter deux parties, conformément aux exigences de l'autorité concernée :

a) Le rapport lui-même, contenant un résumé, ainsi que les informations correspondant aux points a), b) et c) ci-dessus ;

b) Les données sur lesquelles s'appuie le rapport, échangées avec l'autorité dans un fichier au format convenu.

159. L'autorité devrait être informée du traitement appliqué aux données du rapport et devrait approuver ledit traitement.

160. Dans la mesure du possible, les Parties contractantes et leurs autorités nationales compétentes devraient convenir d'une méthode uniforme pour l'établissement des rapports.

161. L'autorité est en droit, au besoin, de vérifier les informations communiquées et de faire des recommandations à l'autorité de contrôle de l'application de la réglementation ou au constructeur du système de conduite automatisé afin que des mesures soient prises pour remédier à tout problème décelé constituant un risque déraisonnable pour la sécurité.

XI. Interaction entre les composantes et les éléments de la nouvelle méthode d'évaluation et d'essai de la conduite automatisée

162. Les lignes directrices exposées dans le présent document ont pour objet d'aider à évaluer le niveau de sécurité d'un système de conduite automatisé d'une manière qui soit aussi reproductible, objective et factuelle que possible, tout en restant neutre sur le plan technologique et suffisamment souple pour favoriser l'innovation continue dans l'industrie automobile.

163. L'objectif global de la nouvelle méthode d'évaluation et d'essai de la conduite automatisée est de vérifier, en se fondant sur les prescriptions de sécurité, la capacité du système de conduite automatisé à gérer correctement les incidents qui peuvent se produire dans le monde réel. Pour ce faire, elle étudie notamment des scénarios de circulation liés au comportement des usagers de la route et aux conditions environnementales, ainsi qu'au comportement du conducteur (par exemple, l'interface avec l'utilisateur) et aux défaillances du système de conduite automatisé.

164. Comme indiqué précédemment, l'approche à plusieurs composantes reconnaît qu'il est impossible d'évaluer ou de valider de manière fiable le niveau de sécurité d'un système de conduite automatisé en s'appuyant sur une seule composante. Chacune des méthodes d'essai susmentionnées présente des avantages et des inconvénients, tels que des niveaux différents de contrôle de l'environnement, de reproduction de l'environnement et d'extensibilité, qu'il convient de prendre en compte.

165. Il importe de noter qu'une méthode d'évaluation ou d'essai employée seule peut ne pas suffire pour déterminer si le système de conduite automatisé est capable de faire face à tous les incidents qui peuvent se produire dans le monde réel.

166. Par exemple, bien que les essais en conditions réelles permettent de reproduire fidèlement l'environnement, il est à craindre qu'une méthode d'essai faisant appel uniquement à des scénarios sur route soit coûteuse et chronophage, offre une répétabilité

limitée et présente des risques pour la sécurité. Par conséquent, les essais sur piste sont peut-être plus appropriés pour exécuter des scénarios à haut risque sans exposer les autres usagers de la route à des dommages potentiels. Il est en outre plus facile de reproduire les scénarios d'essai sur une piste fermée à la circulation que dans le monde réel. Cela dit, les scénarios d'essai sur piste peuvent être difficiles à élaborer et à mettre en œuvre, surtout si leur nombre est important et s'il s'agit de scénarios complexes impliquant une grande variété d'éléments de scénario.

167. On notera qu'en revanche, les simulations et les essais virtuels sont potentiellement plus évolutifs, plus économiques, plus sûrs et plus efficaces que les essais sur piste ou en conditions réelles. Ils permettent à l'administrateur des essais de créer facilement et en toute sécurité un large éventail de scénarios, y compris des scénarios complexes dans lesquels divers éléments sont examinés. Les simulations peuvent cependant présenter une fidélité moindre que les autres méthodes. Il est également possible que la qualité des logiciels de simulation varie et que les essais soient difficiles à reproduire d'une plateforme de simulation à l'autre.

168. La composante Surveillance en fonctionnement et notification devrait être utilisée pour valider l'évaluation du niveau de sécurité menée avant la mise sur le marché et combler les écarts observés entre les essais virtuels et physiques et les essais en conditions réelles s'agissant de la validation du niveau de sécurité. L'évaluation des performances en fonctionnement devrait également être utilisée pour mettre à jour le catalogue de scénarios avec de nouveaux scénarios découlant de l'utilisation croissante des systèmes de conduite automatisés. Enfin, le retour d'expérience peut étayer l'évaluation rétrospective des exigences réglementaires.

169. Au-delà des avantages et des inconvénients de chaque méthode d'essai, la nature des prescriptions de sécurité évaluées renseigne également sur les composantes qu'il convient d'employer :

a) Par exemple, la méthode la plus appropriée pour évaluer le niveau de sécurité global d'un système de conduite automatisé avant sa mise sur le marché peut être la composante Audit, en ayant recours à une approche systématique pour mener une analyse des risques. L'audit pourrait inclure des informations telles que les résultats de la validation du processus de sécurité par conception ainsi que l'analyse des données recueillies sur site par le constructeur ;

b) Les essais virtuels sont peut-être plus adaptés lorsqu'il est nécessaire de faire varier les paramètres d'essai et de réaliser un grand nombre d'essais pour étayer l'exhaustivité du scénario (par exemple, pour tester la planification et le contrôle de la trajectoire, ou évaluer la qualité de la perception avec des données préenregistrées fournies par des capteurs) ;

c) Il peut être préférable de recourir à des essais sur piste lorsque l'évaluation des performances d'un système de conduite automatisé ne nécessite qu'un nombre limité d'essais physiques et qu'on souhaite reproduire fidèlement l'environnement du véhicule (par exemple, pour tester l'interface avec l'utilisateur, les procédures de secours ou les situations critiques) ;

d) Les essais en conditions réelles peuvent être plus appropriés lorsqu'il est impossible d'exécuter avec précision le scénario de manière virtuelle ou sur une piste d'essai (par exemple, pour tester les interactions avec les autres usagers de la route et la qualité de la perception) ;

e) La surveillance en fonctionnement couplée à la notification est le meilleur moyen de contrôler les performances de sécurité d'un système de conduite automatisé, après sa commercialisation, dans un large éventail de situations de circulation et de conditions environnementales réelles.

170. En conséquence, il convient de noter que la composition des méthodes d'essai utilisées pour évaluer chaque prescription de sécurité ainsi que l'ordre dans lequel elles sont mises en œuvre peuvent varier. Si certaines de ces méthodes suivent un ordre logique – (essais virtuels, sur piste, puis en conditions réelles), il est possible de s'en écarter en fonction de la prescription de sécurité à tester.

171. Il est donc nécessaire que les composantes de la nouvelle méthode d'évaluation et d'essai de la conduite automatisée soient utilisées conjointement pour disposer d'une procédure efficace, complète et cohérente, tenant compte de leurs avantages et inconvénients respectifs. Les composantes doivent se compléter, sans chevauchements ou redondances excessifs, afin que la stratégie de validation soit valable et efficace.

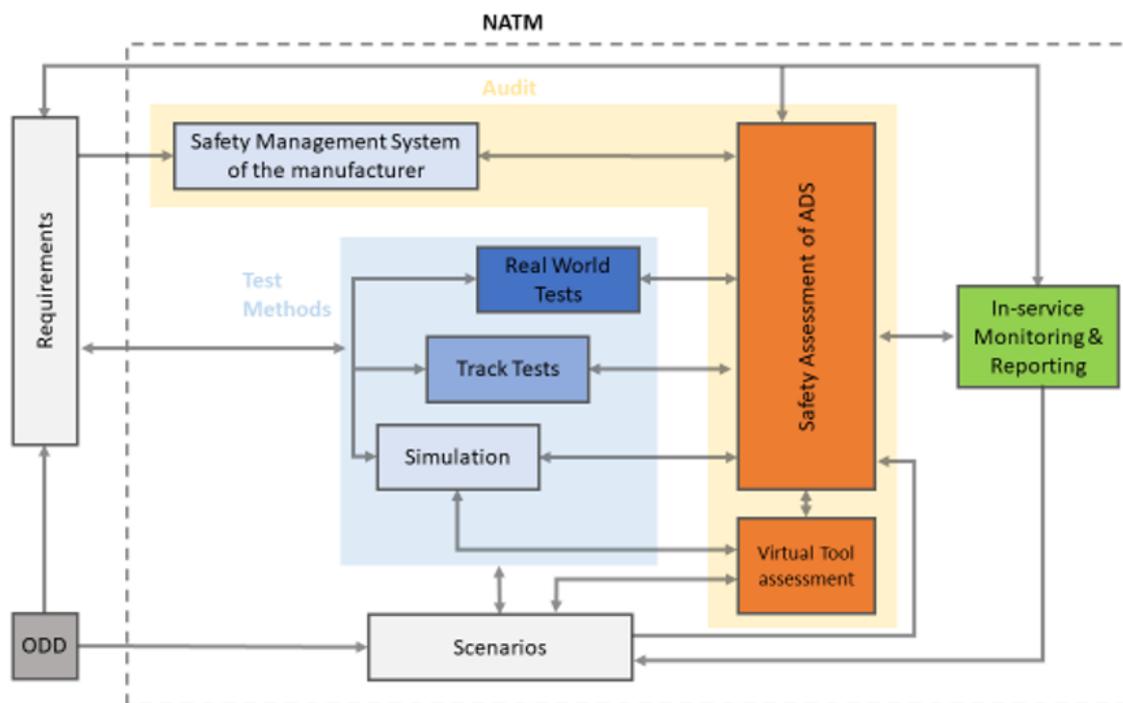
172. Comme indiqué précédemment, les composantes de la nouvelle méthode d'évaluation et d'essai de la conduite automatisée comprennent non seulement les trois méthodes d'essai susmentionnées, mais aussi une analyse globale (par exemple, une composante Audit et évaluation ou Surveillance en fonctionnement et notification). Si les méthodes d'essai sont destinées à évaluer le niveau de sécurité des systèmes de conduite automatisés, la composante Audit et évaluation permettra d'apprécier également la robustesse des stratégies et des processus. Les éléments de l'audit sont les suivants :

- a) Évaluation de la robustesse du système de gestion de la sécurité ;
- b) Évaluation des dangers et des risques (identifiés) propres au système ;
- c) Évaluation de la stratégie de vérification (par exemple, plan et matrice de vérification), qui décrit la stratégie de validation et l'utilisation intégrée des composantes en vue d'assurer une couverture adéquate ;
- d) Évaluation du niveau de conformité aux exigences atteint grâce à une utilisation intégrée de toutes les composantes, y compris la cohérence entre les résultats d'une composante en tant qu'informations fournies à une autre composante (en amont et en aval) et l'utilisation adéquate des scénarios. Ce niveau de conformité concerne aussi bien les véhicules neufs que les véhicules en service ;
- e) La phase d'audit et d'évaluation intègre également les résultats des essais virtuels, sur piste et en conditions réelles effectués par le constructeur.

173. Le diagramme de la figure 3 illustre les interactions entre les composantes, les scénarios et les prescriptions de sécurité (élaborées par le groupe FRAV). Chacun de ces éléments est examiné plus en détail dans les sections suivantes du présent document.

Figure 3

Interactions entre les composantes et les scénarios du groupe VMAD et les prescriptions de sécurité du groupe FRAV



XII. Intégration entre les éléments des groupes VMAD et FRAV

174. Le présent document décrit une méthode de validation générique. Le groupe FRAV élabore quant à lui des prescriptions génériques pour le produit à valider. Entre les deux, la relation est évidente : les prescriptions fonctionnelles peuvent affecter les exigences de validation et inversement. De plus, les exigences de validation peuvent contribuer à l'élaboration des prescriptions fonctionnelles.

175. À ce jour, le groupe FRAV a établi une liste de prescriptions de sécurité de haut niveau. Le détail des prescriptions fonctionnelles devra permettre de vérifier leur éventuelle incidence sur les méthodes de validation. Cette activité est gérée moyennant la participation commune des représentants des deux groupes de travail informels aux réunions.

176. Les différentes sections du présent document seront mises à jour au fur et à mesure de l'élaboration des prescriptions de sécurité et des aspects techniques de chacune des composantes, afin d'inclure des informations supplémentaires. Pour faciliter la compréhension, la présente section comprendra également des exemples de la façon dont les composantes de la nouvelle méthode d'évaluation et d'essai de la conduite automatisée peuvent être appliquées à certaines capacités fonctionnelles d'un système de conduite automatisé (par exemple, la conduite sur autoroute ; voir l'annexe II pour plus de détails), en fonction des prescriptions de sécurité définies. Les groupes FRAV et VMAD continueront d'élaborer et de mettre à jour les prescriptions fonctionnelles, ainsi que les caractéristiques techniques des composantes, selon les besoins. Ce travail est primordial aux fins de l'actualisation des directives de sécurité au fur et à mesure de l'évolution technologique.

Annexe I

Glossaire

On entend par « *abstraction* » le processus consistant à sélectionner les aspects essentiels d'un système source ou d'un système référent qui doivent être représentés dans un modèle ou une simulation, tout en ignorant les aspects non pertinents. Toute modélisation par abstraction repose sur l'hypothèse qu'elle ne doit pas affecter de manière sensible les utilisations prévues de l'outil de simulation.

On entend par « *système de conduite automatisé* » le matériel et le logiciel qui sont ensemble capables d'exécuter de manière continue la totalité de la tâche de conduite dynamique.

On entend par « *fonctionnalité du système de conduite automatisé* » une application d'un système de conduite automatisé conçue spécialement pour être utilisée dans un domaine de conception fonctionnelle.

On entend par « *fonction du système de conduite automatisé* » une application du matériel et du logiciel du système de conduite automatisé conçue pour exécuter une partie spécifique de la tâche de conduite dynamique.

On entend par « *essai en boucle fermée* » un environnement virtuel qui intègre les réactions de l'élément testé. Les objets simulés répondent aux actions du système (par exemple, le système interagit avec un modèle de trafic).

On entend par « *scénarios concrets* » les scénarios établis en sélectionnant des valeurs spécifiques pour chaque élément. Cette étape permet de s'assurer qu'un scénario d'essai donné est reproductible. Il est possible de concevoir une infinité de scénarios concrets pour chaque scénario logique comportant des plages de valeurs continues, ce qui permet de s'assurer que le véhicule est exposé à une grande variété de situations.

On entend par « *scénarios complexes* » les scénarios de circulation comportant une ou plusieurs situations impliquant un grand nombre d'autres usagers de la route, une infrastructure routière inattendue ou des conditions géographiques ou environnementales anormales.

On entend par « *scénarios critiques* » les scénarios de circulation comportant une situation dans laquelle le système de conduite automatisé doit effectuer une manœuvre d'urgence afin d'éviter une collision potentielle ou d'en atténuer les effets, ou répondre à une défaillance du système.

On entend par « *système déterministe* » un système dont l'évolution dans le temps peut être prédite de manière exacte et pour lequel un ensemble donné de stimuli produira toujours le même résultat.

On entend par « *simulation avec conducteur dans la boucle (simulation DIL)* » une simulation qui fait généralement appel à un simulateur de conduite pour tester la conception de l'interaction entre le conducteur humain et le système automatisé. Le simulateur est équipé de composants permettant au conducteur de jouer un rôle actif et de communiquer avec l'environnement virtuel.

On entend par « *tâche de conduite dynamique* » les fonctions concrètes et tactiques devant être assurées en temps réel pour conduire un véhicule équipé d'un système de conduite automatisé dans la circulation routière.

- Sont exclues les fonctions stratégiques telles que la planification d'un itinéraire et la sélection de destinations et de lieux de passage.
- Les fonctions visées peuvent être groupées logiquement dans trois grandes catégories :
 - a) Détection et perception ;
 - b) Planification et décision ;
 - c) Maîtrise du véhicule.

On entend par « *cas limite* » une situation rare qui nécessite néanmoins d'accorder une attention particulière à la conception pour que le véhicule automatisé/autonome puisse la gérer de manière raisonnablement sûre. La notion de rareté est relative et fait généralement référence à des situations ou à des conditions qui se produiront assez souvent dans une flotte déployée à grande échelle pour constituer un problème, mais qui n'ont peut-être pas été prises en compte dans le processus de conception. Les cas limites peuvent être des événements inattendus isolés, comme la présence d'un panneau de signalisation atypique ou d'un animal inhabituel sur une autoroute.

On entend par « *scénarios fonctionnels* » les scénarios présentant le niveau d'abstraction le plus élevé, qui tracent les grandes lignes du concept fondamental du scénario en donnant par exemple une description sommaire des actions du véhicule soumis à l'essai (ou véhicule sujet), des interactions du véhicule soumis à l'essai avec les autres usagers de la route et les objets et des autres éléments du scénario (par exemple, les conditions environnementales, etc.). Cette approche utilise un langage accessible pour décrire la situation et les éléments correspondants. Pour le catalogue de scénarios, un tel langage (naturel et non technique) doit être normalisé afin de permettre une compréhension commune des scénarios par les différents acteurs du secteur des véhicules automatisés.

On entend par « *simulation avec matériel dans la boucle (simulation HIL)* » une simulation qui fait appel à un modèle informatique exécuté sur un simulateur équipé d'entrées et de sorties pour tester le matériel d'un sous-système donné du véhicule. La simulation HIL permet de reproduire l'instrumentation du système (capteurs, actionneurs et composants mécaniques) de manière à tester les interactions des modules de commande électronique bien avant que le système final ne soit intégré.

On entend par « *scénarios logiques* » les scénarios pour lesquels les chercheurs sélectionnent des intervalles de valeurs ou des distributions de probabilité pour chaque élément du scénario fonctionnel (par exemple, la plage de largeur de la voie, exprimée en mètres). La description du scénario logique couvre tous les éléments et les prescriptions techniques nécessaires à la mise en œuvre d'un système capable de gérer ce type de scénario.

On entend par « *modèle* » une description ou représentation d'un système, d'une entité, d'un phénomène ou d'un processus.

On entend par « *étalonnage du modèle* » le processus de réglage des paramètres numériques ou de modélisation du modèle pour améliorer sa concordance avec un référent.

On entend par « *simulation avec modèle dans la boucle (simulation MIL)* » une approche qui permet de développer rapidement des algorithmes sans utiliser de matériel spécifique. En général, ce niveau de développement implique la mise en place d'une structure logicielle à haut niveau d'abstraction, fonctionnant sur des systèmes informatiques polyvalents.

On entend par « *paramètres du modèle* » les valeurs numériques permettant de caractériser les fonctionnalités d'un système. Il est impossible de mesurer directement ces valeurs, qui doivent être déduites des données réelles collectées lors de la phase d'étalonnage du modèle.

On entend par « *scénarios nominaux* » les scénarios de circulation comportant des situations qui reproduisent des manœuvres de conduite courantes et non critiques.

On entend par « *incident* » tout événement en lien avec la sécurité dans lequel est impliqué un véhicule équipé d'un système de conduite automatisé. Dans le contexte des rapports, on distingue deux catégories d'incidents.

On entend par « *incident non critique* » une interruption de fonctionnement, défaut, défaillance ou autre événement ayant eu ou pouvant avoir eu une incidence sur la sécurité du système de conduite automatisé, mais n'ayant pas causé un accident ou un incident grave. Cette catégorie englobe notamment les incidents mineurs, les situations ne perturbant pas le fonctionnement normal, les manœuvres d'urgence ou complexes visant à empêcher une collision et, plus généralement, toutes les situations en lien avec la sécurité du système de conduite automatisé en service (transfert de contrôle, interaction avec un opérateur à distance, etc.).

On entend par « *incident critique* » une situation dans laquelle se trouve le système de conduite automatisé et dans laquelle :

- a) Au moins une personne blessée a besoin d'une assistance médicale du fait qu'elle se trouvait dans le véhicule ou qu'elle a été victime de l'incident ;
- b) Le véhicule équipé du système de conduite automatisé, d'autres véhicules ou des objets fixes ont subi des dégâts d'une certaine importance ;
- c) Sur un quelconque véhicule impliqué dans l'incident, un coussin gonflable s'est déclenché.

On entend par « *domaine de conception fonctionnelle* » les conditions dans lesquelles une fonctionnalité d'un système de conduite automatisé est spécialement conçue pour fonctionner.

On entend par « *sortie du domaine de conception fonctionnelle* » :

- a) Une ou plusieurs conditions se situent en dehors des limites établies pour l'utilisation de la fonctionnalité du système de conduite automatisé, ou
- b) Une ou plusieurs conditions requises pour la fonctionnalité du système de conduite automatisé est absente.

On entend par « *essai en boucle ouverte* » un environnement virtuel qui n'intègre pas les réactions de l'élément testé (par exemple, le système interagit avec une situation de circulation enregistrée).

On entend par « *événement probabiliste* » un événement non déterministe, dont les résultats sont décrits par une loi de probabilité.

On entend par « *terrain d'essai ou piste d'essai* » une installation d'essai physique fermée à la circulation, où les performances d'un système de conduite automatisé peuvent être étudiées sur un véhicule réel. Il est possible d'introduire des éléments de circulation en stimulant les capteurs du véhicule ou en plaçant des dispositifs factices sur la voie.

On entend par « *stimulation par capteur* » une technique consistant à envoyer des signaux générés artificiellement à l'élément testé afin de l'amener à produire le résultat requis à des fins de validation en conditions réelles, de formation, de maintenance ou de recherche et développement.

On entend par « *simulation* » la reproduction dans le temps du fonctionnement d'un processus ou d'un système réel.

On entend par « *chaîne de simulation* » une combinaison d'outils de simulation utilisés pour étayer la validation d'un système de conduite automatisé.

On entend par « *simulation avec logiciel dans la boucle (simulation SIL)* » une simulation consistant à évaluer un modèle qui a été développé sur des systèmes informatiques polyvalents. Cette étape peut mettre en œuvre une version complète du logiciel très proche de sa version finale. La simulation SIL est utilisée pour décrire une méthode d'essai dans laquelle le code exécutable, par exemple des algorithmes ou une stratégie de contrôleur complète, est testé dans un environnement de modélisation permettant de valider ou de tester le logiciel.

On entend par « *processus stochastique* » un processus qui comporte ou fait intervenir une ou plusieurs variables aléatoires, et qui relève du calcul des probabilités.

On entend par « *spécifications du scénario d'essai* » la description détaillée des tâches que l'administrateur des essais doit accomplir pour préparer l'essai.

On entend par « *méthode d'essai* » une approche formalisée permettant de générer de manière cohérente des connaissances sur un système de conduite automatisé en effectuant des essais, par exemple des essais virtuels dans des environnements simulés, des essais physiques et structurés dans des environnements contrôlés et des essais en conditions réelles sur route.

On entend par « *scénario de circulation (ou scénario)* » une séquence ou combinaison de situations permettant d'évaluer les prescriptions de sécurité d'un système de conduite automatisé. Les scénarios comprennent une tâche de conduite dynamique, ou une séquence de tâches de conduite dynamique. Ils peuvent également comprendre une grande diversité d'éléments, par exemple certaines parties de la tâche de conduite dynamique, ou toutes les parties, différents tracés de route, différents types d'usagers de la route, différents types d'objets statiques, ou présentant des comportements dynamiques divers, et différentes conditions environnementales (parmi de nombreux autres facteurs).

On entend par « *transfert de contrôle* » le transfert du contrôle dynamique du véhicule entre le système de conduite automatisé et l'utilisateur de secours.

On entend par « *demande de transfert de contrôle* » un avertissement communiqué par le système de conduite automatisé à l'utilisateur de secours pour lui signifier qu'il doit reprendre le contrôle dynamique du véhicule.

On entend par « *prise en compte de la demande de transfert de contrôle* » la reprise du contrôle dynamique du véhicule par l'utilisateur de secours en réponse à une demande de transfert de contrôle.

On entend par « *validation du modèle de simulation* » l'opération consistant à déterminer la mesure dans laquelle un modèle constitue une représentation exacte du monde réel au regard des utilisations prévues de l'outil.

On entend par « *simulation avec véhicule dans la boucle (simulation VIL)* » une simulation consistant à tester le comportement d'un véhicule d'essai en associant des composants réels et un environnement virtuel. Elle permet de reproduire la dynamique du véhicule de manière réaliste et peut être mise en œuvre sur un banc d'essai ou sur une piste d'essai.

On entend par « *vérification du modèle de simulation* » l'opération consistant à déterminer le niveau de conformité d'un modèle ou d'un outil d'essai virtuel aux prescriptions et spécifications détaillées dans les modèles théoriques, les modèles mathématiques ou d'autres modèles.

On entend par « *essai virtuel* » l'opération consistant à tester un système à l'aide d'un ou plusieurs modèles de simulation.

Annexe II

Scénarios fonctionnels applicables aux routes à chaussées séparées

Table des matières

	<i>Page</i>
I. Introduction	35
II. Contributions à la présente proposition	35
III. Éléments de base des scénarios fonctionnels	35
IV. Couverture.....	35
V. Symboles utilisés dans le présent document	36
VI. Liste de scénarios possibles pour les essais du système de conduite automatisé sur autoroute de niveau 3	36
A. Conduite normale (maintien dans la voie)	38
1. Conduite normale (maintien dans la voie).....	38
B. Interaction avec d'autres véhicules ou des objets	40
1. Changement de voie	41
2. Freinage critique (d'urgence) sans changement de voie.....	42
C. Détection des règles de circulation et des équipements routiers et réaction à ceux-ci.....	46
D. Géométrie de la route spécifique au pays	48
E. Situation inhabituelle	49
VII. Références	49

I. Introduction

La présente section est une synthèse des divers scénarios de circulation récemment élaborés, dont l'objectif est d'établir une liste de scénarios fonctionnels pour les essais des systèmes de conduite automatisés sur autoroute. Il est envisagé d'y inclure certains scénarios logiques, ou certaines façons possibles de les décrire, comme convenu dans le cadre de la discussion en cours. Le domaine de conception fonctionnelle est le suivant : autoroute, vitesse maximale de 130 km/h, changements de voie autorisés.

II. Contributions à la présente proposition

- a) Règlement ONU n° 157 (systèmes automatisés de maintien dans la voie) dans sa version actuelle ;
- b) Catégories de scénarios TNO (V1.7, Pays-Bas) ;
- c) Bibliothèque de scénarios SAFE (Fortellix) ;
- d) Scénarios d'accidents mis à disposition par le Japon ;
- e) Scénarios fonctionnels proposés par la Chine (CATARC) ;
- f) Scénarios élaborés par le Centre commun de recherche ;
- g) Catalogue de types de conflits mis à disposition par l'Allemagne (IGLAD).

Les éléments fournis par le Japon, les Pays-Bas, SAFE et la Chine ont été soumis pour examen et discussion à la réunion du groupe VMAD qui s'est tenue le 10 décembre 2020 ; la proposition de l'Allemagne a été communiquée le 16 décembre 2020.

III. Éléments de base des scénarios fonctionnels

Comme expliqué précédemment dans la section relative au catalogue de scénarios, les scénarios fonctionnels peuvent couvrir un certain nombre d'éléments (par exemple, la géométrie de la route à différents niveaux d'abstraction, le comportement du véhicule soumis à l'essai et les objets mobiles ou statiques).

Les facteurs supplémentaires qui ne sont pas couverts par les scénarios fonctionnels (par exemple, les vitesses, les accélérations, les positions, les conditions environnementales, les défaillances, les erreurs de communication, la géométrie des routes à des niveaux plus détaillés) doivent être traités par un scénario logique.

La répartition des éléments entre les scénarios fonctionnels et logiques (c'est-à-dire la question de savoir quels facteurs doivent être pris en compte par quel type de scénario) n'ayant pas encore été débattue et arrêtée, la classification présentée dans le présent document est une version initiale qui sera mise à jour au fil des discussions.

IV. Couverture

Les collisions impliquent toujours d'autres véhicules ou des objets (en supposant que ceux-ci puissent fonctionner correctement en l'absence d'autres véhicules ou objets). Les 24 scénarios fonctionnels illustrés dans la section 2 ci-après (Interaction avec d'autres véhicules ou objets, sous Conduite normale) pouvant rendre compte de toutes les interactions entre d'autres véhicules ou objets et le véhicule soumis à l'essai, on peut considérer qu'ils couvrent correctement les collisions avec d'autres véhicules ou objets.

Comme indiqué précédemment, les facteurs non couverts par les scénarios fonctionnels proposés (par exemple, la vitesse initiale du véhicule soumis à l'essai, la taille, la position initiale, la vitesse initiale, l'accélération des autres véhicules ou objets), les facteurs influant sur la perception (par exemple, les conditions météorologiques, la luminosité, l'angle mort, les faux positifs, les clignotants des autres véhicules) et les facteurs influant sur la stabilité du véhicule (par exemple, la courbe, la pente, le revêtement, le vent, etc.) peuvent être décrits au moyen de paramètres dans des scénarios logiques.

Conformément à ce qui a été mentionné précédemment, il est prévu d'ajouter ultérieurement dans l'annexe II des scénarios correspondant à des niveaux d'abstraction inférieurs (par exemple, des scénarios logiques et les éventuelles méthodes pour les décrire). Des scénarios fonctionnels devraient également être ajoutés dès que le sous-groupe 1 et le groupe de travail informel du groupe VMAD seront parvenus à un accord.

V. Symboles utilisés dans le présent document

Symbole	Description
	Véhicule soumis à l'essai
	Véhicule aval
	Autres véhicules faisant partie du scénario
	Obstacle infranchissable sur la trajectoire prévue
	Obstacle franchissable sur la trajectoire prévue

VI. Liste de scénarios possibles pour les essais du système de conduite automatisé sur autoroute de niveau 3

Tableau récapitulatif des contributions du sous-groupe 1 du groupe VMAD

Famille de scénarios		Sous-scénario	Scénarios d'accidents (Japon)	Catégories de scénarios (Pays-Bas, TNO)	Bibliothèque de scénarios (SAFE)	Scénarios fonctionnels (Chine, CATARC)	Catalogue de types de conflits (Allemagne)
1. Conduite normale	1-1. Maintien dans la voie	a. Conduite en ligne droite		X	X	X	X
		b. Négociation de virage		X	X	X	X
2. Interaction avec d'autres véhicules ou objets	2-1. Changement de voie	a. Changement de voie du véhicule soumis à l'essai en présence d'un véhicule amont	X	X			X
		b. Insertion sur l'autoroute	X		X	X	X
		c. Insertion en fin de voie	X		X		X
		d. Insertion dans une voie occupée	X	X			X
		e. Obstacle infranchissable sur la trajectoire prévue	X	X	X		X

Famille de scénarios		Sous-scénario	Scénarios d'accidents (Japon)	Catégories de scénarios (Pays-Bas, TNO)	Bibliothèque de scénarios (SAFE)	Scénarios fonctionnels (Chine, CATARC)	Catalogue de types de conflits (Allemagne)
2-2. Freinage critique (d'urgence) sans changement de voie	f. Obstacle franchissable sur la trajectoire prévue	X	X			X	X
	g. Freinage du véhicule aval	X	X	X		X	X
	h. Présence d'un véhicule aval plus lent ou à l'arrêt	X	X	X		X	X
	i. Queue de poisson	X	X	X		X	X
	j. Sortie de voie	X	X	X		X	X
	k. Détection des véhicules faisant des embardées et réaction à ceux-ci	X	X	X			X
3. Détection des règles de circulation et des équipements routiers et réaction à ceux-ci	a. Panneau de limitation de vitesse				X	X	
	b. Feux de signalisation					X	X
	c. Traversée d'un tunnel					X	
	d. Péage					X	
	e. Obstacles classiques					X	X
4. Géométrie de la route spécifique au pays	a. Véhicule à une intersection				X		
5. Situation inhabituelle	a. Conducteur à contresens (venant en sens inverse)				X		X

Notes sur les contributions des membres du sous-groupe 1 du groupe VMAD :

- Scénarios fonctionnels (Chine, CATARC) : Il s'agit d'une liste extraite d'un catalogue général décrivant différents domaines de conception fonctionnelle, tels que « Route classique », « Voie rapide urbaine » ou « Autoroute », et les éléments à détecter, notamment « Panneau de limitation de vitesse », « Ligne de délimitation de voies », « Péage », etc. Les scénarios fonctionnels proposés ci-après dans le présent document sont beaucoup plus génériques que ceux évoqués par la Chine, qui constituent donc un sous-ensemble de la présente liste. Par exemple, les éléments « Péage » ou « Obstacles classiques » proposés par la Chine sont compatibles avec la rubrique « Obstacle infranchissable sur la trajectoire prévue » de la présente liste de scénarios.
- Catégories de scénarios (Pays-Bas, TNO) : Il s'agit d'un catalogue de scénarios très complet contenant beaucoup plus de scénarios que nécessaire pour une utilisation sur autoroute. La terminologie et les descriptions ont été soigneusement réfléchies. Il est possible de créer des scénarios en associant des étiquettes correspondant à différentes couches.

- Scénarios d'accidents (Japon) : Il s'agit de scénarios portant uniquement sur les interactions avec d'autres véhicules. Ils décrivent les différentes géométries de la route et les positions que peuvent occuper les autres véhicules autour du véhicule soumis à l'essai. Tous les autres paramètres sont considérés comme des caractéristiques (accélération, décélération, changement de voie, maintien dans la voie, etc.).
- Bibliothèque de scénarios (SAFE) : Il s'agit d'une liste de scénarios, accompagnés d'exemples très concrets ou plus généraux. Le dépassement de véhicules se déplaçant lentement sur la voie adjacente et le dépassement de véhicules à l'arrêt sont traités dans deux scénarios différents, mais la conduite derrière un véhicule ne fait l'objet que d'un seul scénario.
- Catalogue de types de conflits (Allemagne) : Il s'agit d'une liste de types de conflits, qui est utilisée notamment par les enquêteurs pour classer dans différentes catégories les scénarios conduisant à des accidents. Le catalogue distingue les conflits selon qu'ils impliquent ou non un autre usager de la route. Il utilise des symboles différents de ceux des autres documents pour décrire un scénario ou une situation (principalement divers types de flèches). La conduite à droite et la conduite à gauche sont traitées séparément. Le catalogue contient 251 scénarios répartis en sept grands types de conflits, tels que « circulation longitudinale » ou « piéton traversant la route ».

Remarque : Les paramètres figurant dans les rubriques « Principaux paramètres du scénario » et « Paramètres étudiés » de la présente section sont donnés à titre d'exemples. D'autres paramètres peuvent être essentiels pour les essais de validation.

A. Conduite normale (maintien dans la voie)

1. Conduite normale (maintien dans la voie)

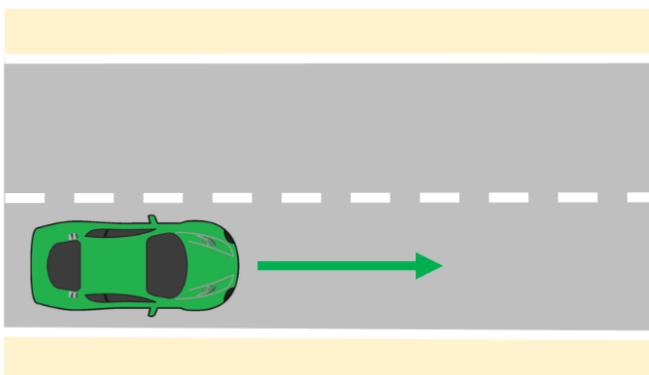
Remarque : Le maintien dans la voie jusqu'à 60 km/h est traité dans le Règlement ONU n° 157 relatif à l'homologation des systèmes automatisés de maintien dans la voie (ALKS). Les scénarios fonctionnels de maintien dans la voie peuvent être classés en deux catégories en fonction de la géométrie de la route. Ils peuvent également être répartis en plusieurs groupes en fonction de la voie dans laquelle se trouve le véhicule : centrale, de gauche, de droite, etc.

a) Conduite en ligne droite

- Sans véhicule aval ;
- Avec véhicule aval ;
- Avec d'autres véhicules sur les voies adjacentes (en mouvement ou arrêtés).

Figure 1

Représentation schématique : conduite en ligne droite



Description générale :

Le véhicule soumis à l'essai roule sur une route rectiligne. L'objectif de ce scénario est de tester la capacité du véhicule à rester dans sa voie dans des conditions normales ou difficiles [1, 2, 4].

Principaux paramètres du scénario : vitesse du véhicule soumis à l'essai (règles de circulation), largeur de la voie, profil de vitesse du véhicule aval (le cas échéant), disposition et profil de vitesse des autres véhicules (le cas échéant).

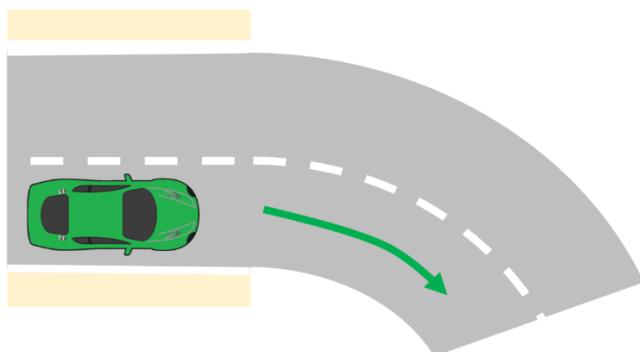
Paramètres étudiés : déviation par rapport au centre de la voie (valeur nominale et distribution), déviation par rapport à la vitesse désirée, respect des changements de vitesse, variations dans le temps, distance entre le véhicule soumis à l'essai et le véhicule aval (le cas échéant), réaction aux autres véhicules, etc.

b) Négociation de virage (à droite et à gauche)

- a) Sans véhicule aval ;
- b) Avec véhicule aval ;
- c) Avec d'autres véhicules sur les voies adjacentes (en mouvement ou arrêtés).

Figure 2

Représentation schématique : négociation de virage



Description générale :

Le véhicule soumis à l'essai aborde un virage. L'objectif de ce scénario est de tester la capacité du véhicule à gérer les courbures de la route définies dans le domaine de conception fonctionnelle [1, 2, 4].

Principaux paramètres du scénario : vitesse du véhicule soumis à l'essai (règles de circulation), largeur de la voie, profil de vitesse du véhicule aval (le cas échéant), disposition et profil de vitesse des autres véhicules (le cas échéant).

Paramètres étudiés : déviation par rapport au centre de la voie (valeur nominale et distribution), déviation par rapport à la vitesse désirée, respect des changements de vitesse, variations dans le temps, distance entre le véhicule soumis à l'essai et le véhicule aval (le cas échéant), distance par rapport aux autres véhicules, etc.

B. Interaction avec d'autres véhicules ou des objets

Les 24 scénarios illustrés ci-dessous peuvent rendre compte des interactions avec d'autres véhicules roulant dans la même direction sur la même voie ou sur des voies adjacentes.

		Surrounding Traffic Participants' Position and Behavior				
		Cut in	Cut out	Acceleration	Deceleration (Stop)	
Road Geometry and Ego-vehicle behavior	Road geometry	Ego-vehicle behavior				
	Main roadway	Lane keep	No.1	No.2	No.3	No.4
		Lane change	No.5	No.6	No.7	No.8
	Merge	Lane keep	No.9	No.10	No.11	No.12
		Lane change	No.13	No.14	No.15	No.16
	Branch	Lane keep	No.17	No.18	No.19	No.20
		Lane change	No.21	No.22	No.23	No.24

Dans les 12 scénarios avec changement de voie du véhicule soumis à l'essai, le véhicule le plus proche de lui ne se trouve pas nécessairement sur la même voie ou sur une voie adjacente ; il peut se trouver à deux voies de distance. Même dans ces circonstances, il doit être détecté par le véhicule soumis à l'essai, car les deux peuvent interagir l'un avec l'autre s'ils changent simultanément de voie. Pour décrire correctement ces situations dans les 12 scénarios, il convient d'inclure certains paramètres tels que le « nombre de voies », la « voie du véhicule soumis à l'essai » et la « position relative entre le véhicule soumis à l'essai et l'autre véhicule ». Les exemples de « route principale » sont présentés ci-dessous. D'autres cas de « route fusionnée » et de « route ramifiée » sont également à prendre en compte.

	Main road 2 lanes			Main road 3 lanes		
	Forward	Parallel running	Rear	Forward	Parallel running	Rear
No.5 LC in the opposite direction						
No.6 LC in the same direction						
No.7 Acceleration						
No.8 Deceleration						

1. Changement de voie

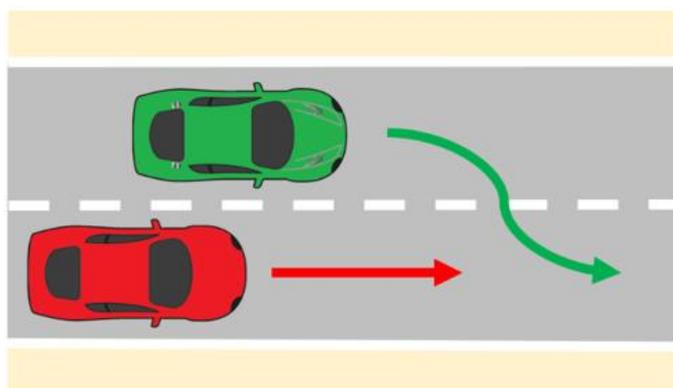
Remarque : Les scénarios de changement de voie sont compliqués par le fait qu'il est impossible d'obliger le système de conduite automatisé à changer de voie. En outre, la fonctionnalité et les principes du changement de voie (tels que les exigences techniques, les définitions, les critères d'activation, l'indication du changement de voie, etc.) seront définis à un stade ultérieur.

Les changements de voie peuvent être classés en fonction du nombre de véhicules présents sur la voie de destination. Si l'espace est suffisant pour effectuer le changement de voie, il n'est pas nécessaire de coopérer avec les autres véhicules. Si la voie de destination est occupée par d'autres usagers de la route, le véhicule soumis à l'essai doit s'adapter à leur comportement et s'insérer.

a) Changement de voie du véhicule soumis à l'essai en présence d'un véhicule amont

Figure 3

Représentation schématique : changement de voie



Description générale :

Un autre véhicule se trouvant dans une voie adjacente roule dans la même direction que le véhicule soumis à l'essai. L'intention du véhicule soumis à l'essai est de passer sur la voie dans laquelle circule l'autre conducteur [1, 3].

Principaux paramètres du scénario : moment du changement de voie, vitesse du véhicule soumis à l'essai (règles de circulation), largeur de la voie, profil de vitesse du véhicule aval (le cas échéant), disposition et profil de vitesse des autres véhicules (le cas échéant).

Paramètres étudiés : déviation par rapport aux centres des voies (valeur nominale, dépassement), moment du changement de voie (vitesse transversale du véhicule soumis à l'essai), distance entre le véhicule soumis à l'essai et le véhicule aval (le cas échéant), distance par rapport aux autres véhicules, etc.

b) Insertion sur une autoroute

Aucune description n'a été fournie.

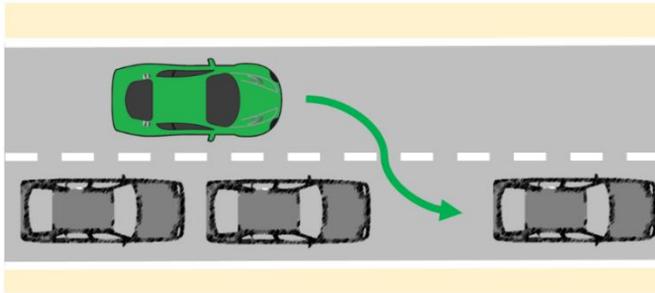
c) Insertion en fin de voie

Aucune description n'a été fournie.

d) **Insertion dans une voie occupée**

Figure 4

Représentation schématique : insertion dans une voie occupée



Description générale :

Des véhicules occupent la voie adjacente à celle du véhicule soumis à l'essai. L'intention du véhicule soumis à l'essai est de passer sur la voie dans laquelle circulent les autres conducteurs [1-4]. Le niveau de difficulté du scénario dépend de la géométrie de la route, de la vitesse, du nombre et de la disposition des autres véhicules.

Principaux paramètres du scénario : tracé de la route, disposition et profil de vitesse des autres véhicules (le cas échéant), vitesse du véhicule soumis à l'essai (règles de circulation), largeur des voies, etc.

Paramètres étudiés : distance par rapport aux autres véhicules, moment du changement de voie (vitesse transversale du véhicule soumis à l'essai).

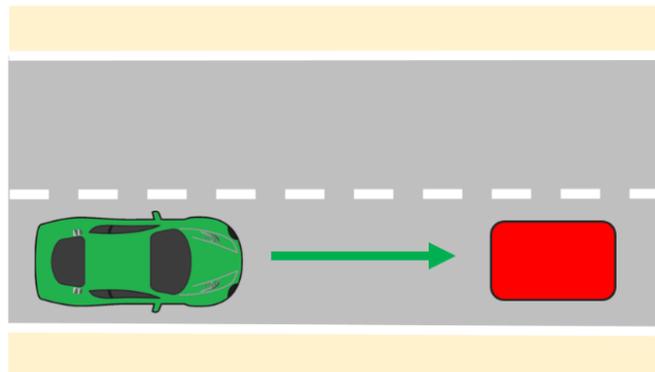
2. **Freinage critique (d'urgence) sans changement de voie**

Remarque : Cette famille de scénarios comprend un certain nombre de scénarios fonctionnels critiques. Comme le montre également le tableau récapitulatif des contributions, la plupart des membres du sous-groupe 1 ont mis ces scénarios en évidence dans leurs documents.

a) **Obstacle infranchissable sur la trajectoire prévue (y compris d'autres voitures et des usagers de la route vulnérables)**

Figure 5

Représentation schématique : obstacle infranchissable



Description générale :

Le véhicule soumis à l'essai circule sur une voie sur laquelle se trouve un obstacle infranchissable. L'objectif du véhicule soumis à l'essai est de continuer à rouler en ligne droite. Le véhicule soumis à l'essai doit réagir [1, 2]. Le niveau de gravité du scénario dépend de la vitesse du véhicule soumis à l'essai.

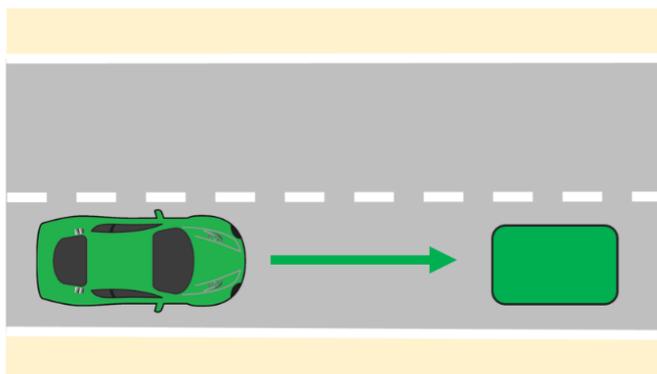
Principaux paramètres du scénario : tracé de la route (visibilité de l'obstacle se trouvant sur la trajectoire), disposition et profil de vitesse des autres véhicules (le cas échéant), vitesse du véhicule soumis à l'essai.

Paramètres étudiés : réaction du véhicule soumis à l'essai (changement de voie ou freinage), distance par rapport à l'obstacle, vitesse transversale du véhicule soumis à l'essai (en cas de changement de voie), etc.

b) Obstacle franchissable sur la trajectoire prévue (par exemple, une plaque d'égout)

Figure 6

Représentation schématique : obstacle franchissable



Description générale :

Le véhicule soumis à l'essai circule sur une voie sur laquelle se trouve un obstacle franchissable, par exemple une plaque d'égout ou une branche de faible diamètre. L'objectif du véhicule soumis à l'essai est de continuer à rouler en ligne droite. Le véhicule soumis à l'essai doit réagir [1, 4]. Le niveau de difficulté du scénario dépend de la vitesse du véhicule soumis à l'essai.

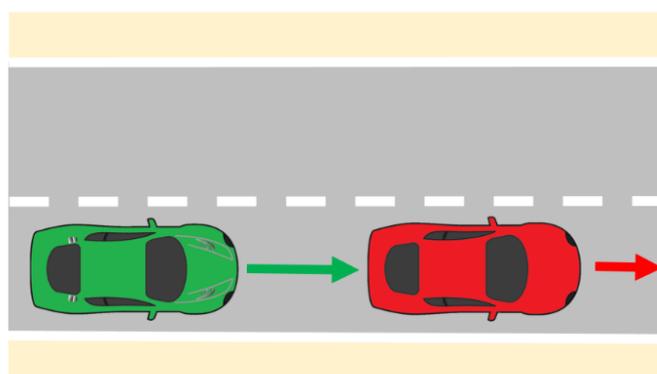
Principaux paramètres du scénario : tracé de la route (visibilité de l'obstacle se trouvant sur la trajectoire), disposition et profil de vitesse des autres véhicules (le cas échéant), vitesse du véhicule soumis à l'essai.

Paramètres étudiés : réaction du véhicule soumis à l'essai (faux positif, changement de voie ou freinage), distance par rapport à l'obstacle, vitesse transversale du véhicule soumis à l'essai (en cas de changement de voie), etc.

c) Freinage du véhicule aval

Figure 7

Représentation schématique : freinage du véhicule aval



Description générale :

Le véhicule soumis à l'essai roule derrière un véhicule aval. Le véhicule aval freine, le véhicule soumis à l'essai doit adapter sa vitesse afin de maintenir la distance de sécurité avec le véhicule aval [1-4].

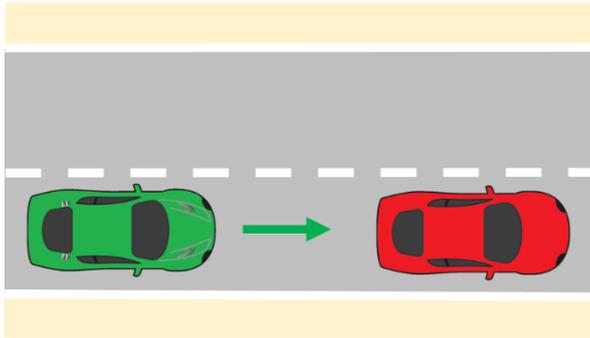
Principaux paramètres du scénario : vitesse du véhicule soumis à l'essai (règles de circulation), profil de vitesse du véhicule aval (décélération), disposition et profil de vitesse des autres véhicules (le cas échéant).

Paramètres étudiés : distance entre le véhicule soumis à l'essai et le véhicule aval, réaction aux autres véhicules circulant sur les voies adjacentes, etc.

d) Présence d'un véhicule aval plus lent ou à l'arrêt

Figure 8

Représentation schématique : véhicule aval plus lent ou à l'arrêt



Description générale :

Le véhicule aval roule plus lentement que le véhicule soumis à l'essai. Le véhicule soumis à l'essai peut freiner ou changer de voie pour éviter une collision [1-4]. Le niveau de gravité du scénario dépend des vitesses respectives du véhicule aval et du véhicule soumis à l'essai.

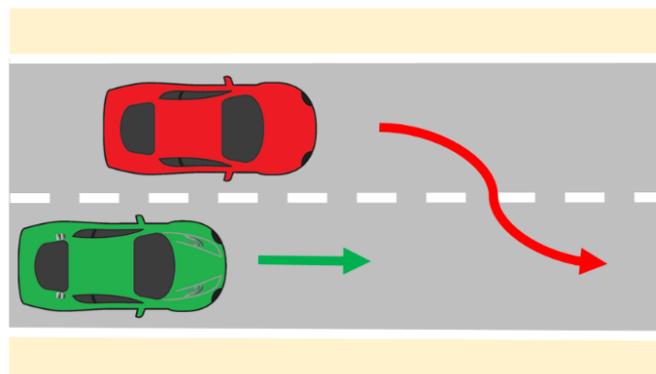
Principaux paramètres du scénario : vitesse du véhicule soumis à l'essai (règles de circulation), profil de vitesse du véhicule aval (décélération), disposition et profil de vitesse des autres véhicules (le cas échéant).

Paramètres étudiés : distance entre le véhicule soumis à l'essai et le véhicule aval, réaction aux autres véhicules circulant sur les voies adjacentes, etc.

e) Queue de poisson

Figure 9

Représentation schématique : insertion dans une voie occupée



Description générale :

Un autre véhicule se trouvant dans une voie adjacente roule dans la même direction que le véhicule soumis à l'essai. L'autre véhicule change de voie et devient le véhicule aval du véhicule soumis à l'essai [1-4]. Le niveau de gravité du scénario dépend de la distance entre les deux véhicules et de la vitesse transversale du véhicule aval.

Principaux paramètres du scénario : vitesse transversale du véhicule aval, distance par rapport au véhicule aval, vitesse du véhicule soumis à l'essai, largeur de la voie, disposition et profil de vitesse des autres véhicules (le cas échéant).

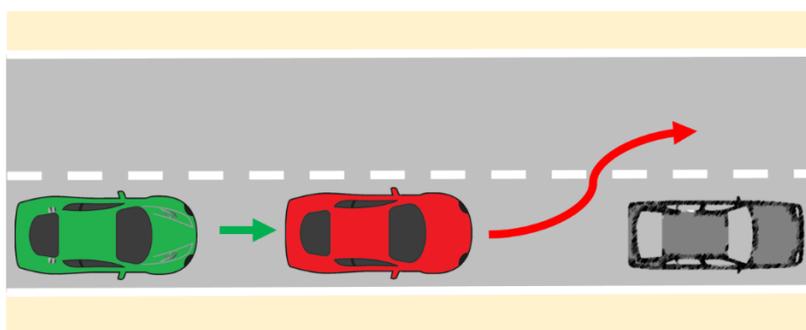
Paramètres étudiés : distance entre le véhicule soumis à l'essai et le véhicule aval, distance par rapport aux autres véhicules, etc.

f) Sortie de voie

- a) Sortie de voie pour rejoindre une sortie d'autoroute
- b) Sortie de voie pour changer de voie

Figure 10

Représentation schématique : sortie de voie



Description générale :

Le véhicule soumis à l'essai roule derrière un véhicule aval. Le véhicule aval change de voie et n'est donc plus le véhicule aval du véhicule soumis à l'essai [1-4]. Un obstacle est présent dans la voie sur laquelle circule le véhicule soumis à l'essai. Le niveau de difficulté du scénario dépend de la vitesse du véhicule soumis à l'essai et de la vitesse transversale du véhicule aval.

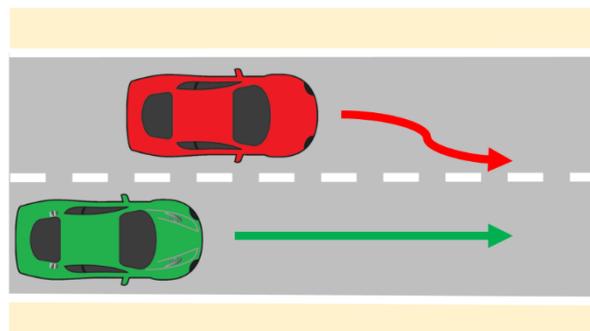
Principaux paramètres du scénario : vitesse transversale du véhicule aval, distance par rapport au véhicule aval, vitesse du véhicule soumis à l'essai, largeur de la voie, disposition et profil de vitesse des autres véhicules (le cas échéant).

Paramètres étudiés : distance entre le véhicule soumis à l'essai et l'obstacle, distance par rapport aux autres véhicules, etc.

g) Détection des véhicules faisant des embardées et réaction à ceux-ci

Figure 11

Représentation schématique : véhicule faisant des embardées



Description générale :

Un autre véhicule se trouvant dans une voie adjacente roule dans la même direction que le véhicule soumis à l'essai. L'autre véhicule fait une embardée vers la voie du véhicule soumis à l'essai [1-3].

Principaux paramètres du scénario : vitesse transversale de l'autre véhicule, vitesse du véhicule soumis à l'essai, largeur de la voie, disposition et profil de vitesse des autres véhicules (le cas échéant).

Paramètres étudiés : distance entre le véhicule soumis à l'essai et le véhicule faisant des embardées, distance par rapport aux autres véhicules, etc.

C. Détection des règles de circulation et des équipements routiers et réaction à ceux-ci

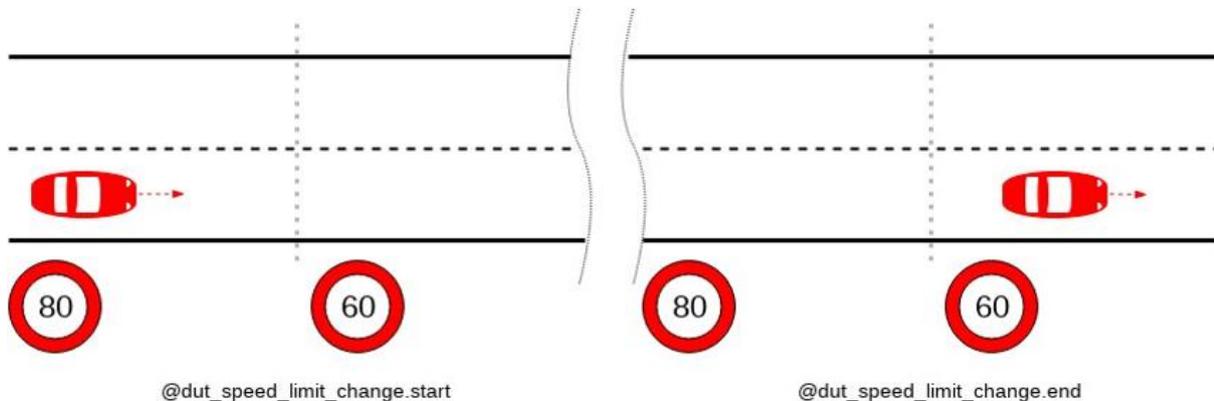
Remarque : Ces scénarios sont implicitement présents dans presque tous les documents, mais sont parfois traités comme des équipements routiers spéciaux. Ils doivent être considérés comme susceptibles de se produire simultanément avec d'autres scénarios. Il convient également de noter que les règles de circulation sont différentes selon les pays ou les régions.

a) Panneau de limitation de vitesse

Ce scénario demande au véhicule soumis à l'essai de répondre de manière appropriée aux changements de limites de vitesse en décélérant lorsqu'il entre dans une zone où la limite de vitesse diminue et en accélérant lorsqu'il aborde une zone où la limite de vitesse augmente. Dans l'exemple ci-dessous, la vitesse maximale passe de 80 km/h à 60 km/h.

Figure 12

Représentation schématique : changement de limite de vitesse pour le véhicule soumis à l'essai



Environnement requis : une route sur laquelle la limite de vitesse change au moins une fois.

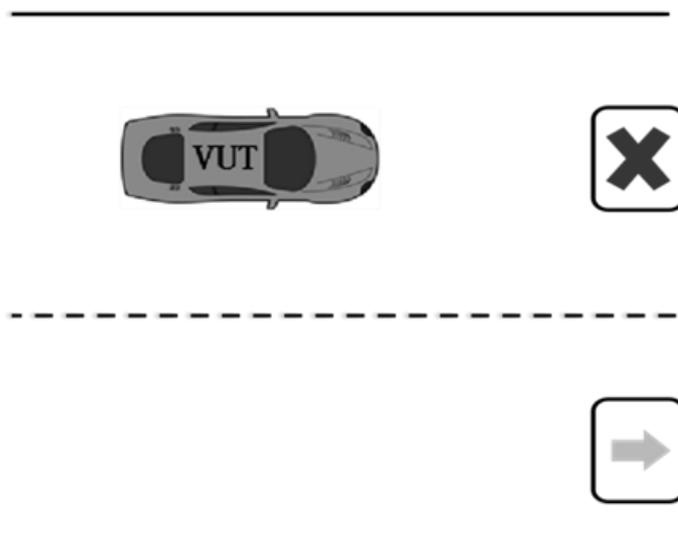
Comportement du véhicule soumis à l'essai : le véhicule soumis à l'essai circule sur la route et est censé adapter sa vitesse en fonction des changements de limitation.

Le véhicule soumis à l'essai s'insère en fin de voie.

b) Feux de signalisation

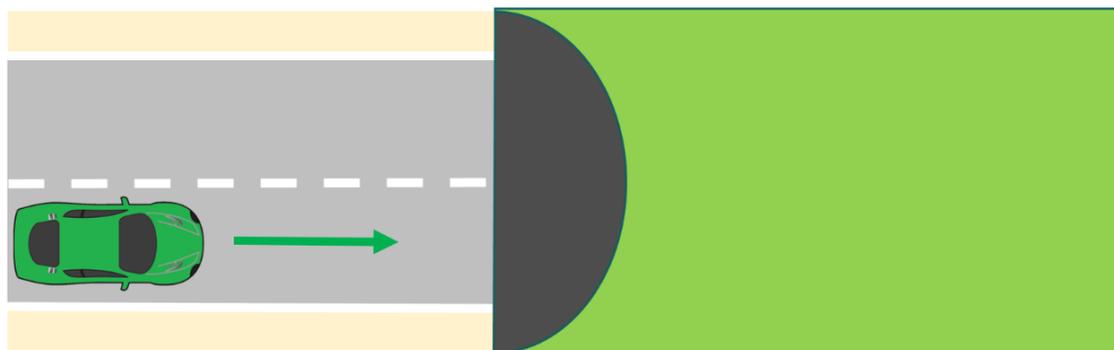
Environnement requis : une route comportant au moins deux voies. Les feux de signalisation sont placés au-dessus de la route, et les feux de signalisation des voies adjacentes sont maintenus au vert.

Figure 13
Représentation schématique : feux de signalisation sur voies rapides



c) **Traversée d'un tunnel**

Figure 14
Représentation schématique : traversée d'un tunnel



Description générale :

Le véhicule soumis à l'essai traverse un tunnel (absence de signaux GPS et de lumière naturelle) [4]. Le véhicule doit s'adapter à l'éclairage qui change rapidement et à l'absence de signaux GPS. Le niveau de difficulté du scénario dépend de la vitesse du véhicule soumis à l'essai, de la différence de luminosité entre l'extérieur et l'intérieur du tunnel et de la longueur du tunnel.

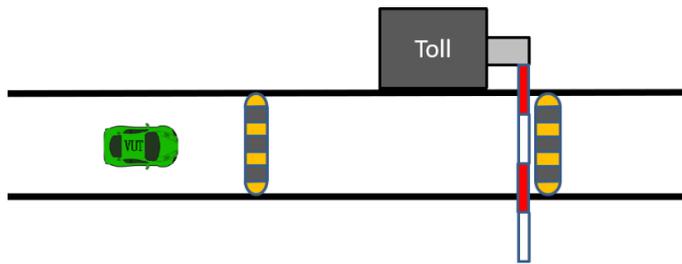
Principaux paramètres du scénario : vitesse du véhicule soumis à l'essai, luminosité.

Paramètres étudiés : vitesses transversale et longitudinale du véhicule soumis à l'essai, déviation par rapport au centre de la voie, etc.

d) **Péage**

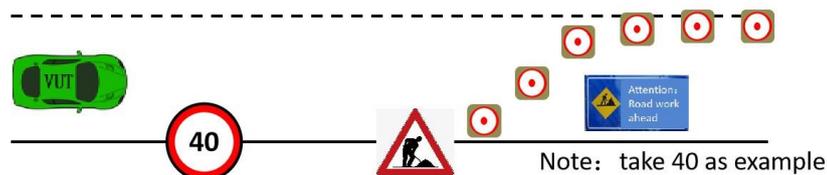
Environnement requis : une longue route rectiligne comprenant au moins une voie. Cette section de route comporte un péage, et des panneaux indiquant la présence de la station de péage, des panneaux de limitation de vitesse et des ralentisseurs sont installés en amont de la station de péage, comme illustré à la figure 15.

Figure 15

Représentation schématique : franchissement d'une station de péage**e) Obstacles classiques**

Environnement requis : une longue route rectiligne comprenant au moins deux voies. La ligne séparant ces deux voies est une ligne pointillée blanche. Des cônes et des panneaux de signalisation sont placés sur ces voies, de manière à répondre aux exigences de contrôle de la circulation pour l'opération d'entretien de la route, comme illustré à la figure 16.

Figure 16

Représentation schématique : franchissement d'obstacles classiques**D. Géométrie de la route spécifique au pays**

Remarque : Ce scénario ne concerne qu'un nombre limité de pays ou de régions, la pertinence de sa mise en œuvre dépend donc du marché cible du système de conduite automatisé.

a) Véhicule à une intersection

Les carrefours représentent un défi pour le véhicule soumis à l'essai en raison de la probabilité accrue de conflits avec d'autres usagers de la route.

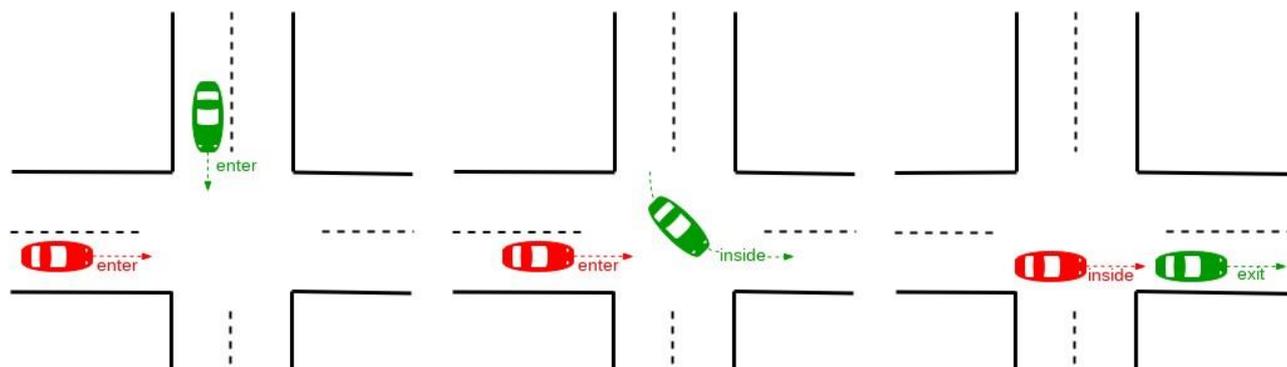
Dans ce scénario, le véhicule soumis à l'essai traverse une intersection en même temps qu'une autre voiture. Ce scénario teste le comportement du véhicule soumis à l'essai lorsqu'il se trouve sur une trajectoire de collision avec une autre voiture à une intersection, éventuellement équipée de panneaux, de signaux ou de feux de signalisation. Le véhicule soumis à l'essai doit être en mesure de traverser l'intersection en toute sécurité et d'éviter la collision ou d'en atténuer les effets.

Environnement requis : une intersection comportant au moins trois voies. Elle peut être ou non contrôlée (c'est-à-dire équipée ou non de panneaux de signalisation, de feux de circulation, etc.).

Comportement du véhicule soumis à l'essai : le véhicule soumis à l'essai traverse l'intersection tout droit ou en tournant à gauche ou à droite.

Comportement de l'autre véhicule : une autre voiture s'approche de la même intersection depuis une autre direction et traverse le carrefour de telle sorte que sa trajectoire croise celle du véhicule soumis à l'essai.

Figure 17

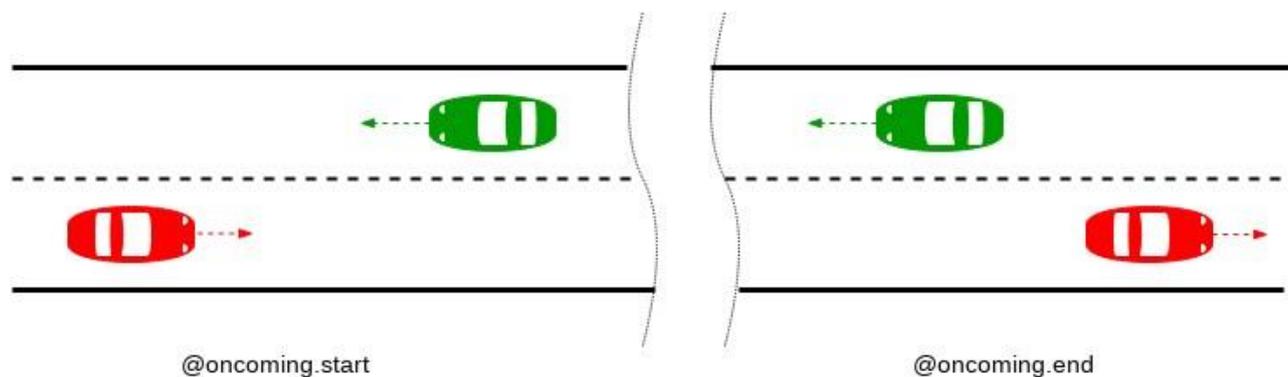
Représentation schématique : véhicule à une intersection**E. Situation inhabituelle**

Remarque : Ce scénario peut se produire dans le monde réel. Le soin de décider si ce type de scénario doit être traité revient cependant au groupe compétent.

a) Conducteur à contresens (venant en sens inverse)

Dans ce scénario, une voiture roulant en sens inverse s'approche du véhicule soumis à l'essai et le croise.

Figure 18

Conducteur à contresens

Environnement requis : une route à deux voies sur laquelle les véhicules suivent des directions opposées.

Comportement du véhicule soumis à l'essai : le véhicule soumis à l'essai circule sur une voie, vraisemblablement à vitesse constante.

Comportement de l'autre véhicule : au début du scénario, une autre voiture roule sur l'autre voie et s'approche du véhicule soumis à l'essai. À la fin, l'autre voiture se trouve toujours sur l'autre voie, après avoir croisé le véhicule soumis à l'essai.

VII. Références

- [1] Règlement ONU n° 157 (systèmes automatisés de maintien dans la voie). Consultable en ligne à l'adresse suivante : <https://unece.org/transport/documents/2021/03/standards/un-regulation-no-157-automated-lane-keeping-systems-alks>.
- [2] E. de Gelder, O. Op den Camp, N. de Boer (Pays-Bas) : Scenario Categories for the Assessment of Automated Vehicles, version 1.7, 21 janvier 2020.
- [3] SAFE (Fortellix) Highway and ADAS Traffic Scenario Library, Scenario Definitions at the functional Level, version 1.0, novembre 2020.

- [4] Japon – Proposal of Traffic Scenarios for Highway Driving (Supplemental version for presentation), décembre 2020.
- [5] Chine (CATARC) – Proposal about functional scenario from CATARC, décembre 2020.
- [6] Centre commun de recherche (Commission européenne) – Speed profile for car following tests. Consultable en ligne à l'adresse suivante : https://wiki.unece.org/download/attachments/92013066/ACSF-25-13%20%28EC%29%2020190121_TestSpecification_ALKS_JRC.pdf?api=v2.
- [7] IGLAD – Codebook, Conflict Types, 2019.

Annexe III

Évaluation de crédibilité en vue de l'utilisation d'une chaîne de simulation dans la validation d'un système de conduite automatisé

I. Introduction, objectif et champ d'application

1. Le recours à la modélisation et à la simulation se généralise grâce à l'évolution des capacités de calcul, de la précision, de la facilité d'emploi et de la disponibilité de logiciels adéquats. La modélisation et la simulation peuvent s'avérer bénéfiques pour la validation de la sécurité des systèmes de conduite automatisés, car elles permettent de passer outre certaines limitations imposées aux essais réels et de multiplier les scénarios d'essai. Cependant, elles peuvent également conduire à des résultats erronés, bien qu'apparemment corrects, en particulier dans le cas de simulations complexes qui ne sont pas appuyées de manière adéquate par des pratiques solides abordant tous les aspects de la modélisation et de la simulation, au-delà de la validation pure et simple. Par conséquent, pour réaliser des essais virtuels à la place ou en conjonction avec d'autres composantes de la nouvelle méthode d'évaluation et d'essai de la conduite automatisée, il convient impérativement de renforcer la confiance dans la crédibilité de la modélisation et de la simulation. Les deux opérations peuvent intervenir dans des essais virtuels si un évaluateur juge leurs résultats suffisamment crédibles pour prendre de bonnes décisions, en tenant compte des incertitudes potentielles qui y sont liées.

2. La validation de la modélisation et de la simulation peut être considérée comme la marque de crédibilité de la simulation, malgré certaines insuffisances, notamment la portée restreinte des essais et la difficulté de récupérer les données à l'appui des procédures de validation. Le recours à la modélisation et à la simulation nécessite de porter une plus grande attention à l'ensemble des facteurs influant sur leur qualité et leur validité, afin de :

a) Mettre au point un cadre commun permettant d'établir, de justifier, d'évaluer et de rendre compte de la crédibilité globale de la modélisation et de la simulation ;

b) Préciser les niveaux de confiance à accorder aux résultats de la phase de validation.

3. En parallèle, ce cadre devrait être suffisamment général pour s'appliquer à divers types de modélisation et de simulation et différentes applications. L'objectif est cependant compliqué par les grandes différences entre les caractéristiques des systèmes de conduite automatisés et la variété des types et applications de modélisation et de simulation. Ces considérations mènent à la mise en place d'un cadre d'évaluation de la crédibilité (fondé sur le risque/éclairé) pertinent et approprié pour toutes les applications de modélisation et de simulation.

4. Le cadre d'évaluation de la crédibilité fournit une description générale des principaux aspects pris en compte pour juger de la crédibilité d'une solution de modélisation et de simulation, accompagnée de principes relatifs au rôle d'évaluateur tiers dans le processus de validation en ce qui concerne la crédibilité. L'évaluateur devrait étudier la documentation et les autres éléments produits pour étayer la crédibilité durant la phase d'audit, les essais de validation proprement dits ayant lieu lorsqu'il existe suffisamment d'éléments permettant d'affirmer qu'un outil ou une chaîne de simulation produit des résultats crédibles.

5. Enfin, le résultat de l'évaluation de la crédibilité actuelle devrait définir l'enveloppe dans laquelle l'outil virtuel peut être utilisé pour soutenir l'évaluation du système de conduite automatisé.

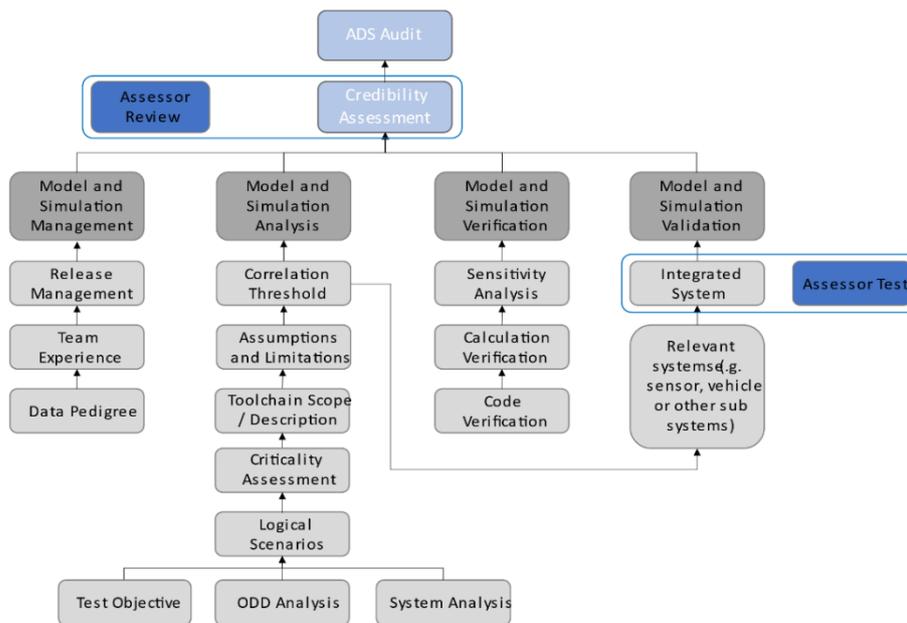
II. Composantes du cadre d'évaluation de la crédibilité

6. La modélisation et la simulation permettent de réaliser des essais virtuels à condition que leur crédibilité soit établie par une évaluation de leur adéquation à l'objectif visé. Cette approche suppose l'examen et l'appréciation de cinq de leurs propriétés :

- a) La capacité : que peuvent faire la modélisation et la simulation, et quels sont les risques associés ;
- b) L'exactitude : le degré de fidélité avec les données cibles est reproduit par la modélisation et la simulation ;
- c) La justesse : le degré de pertinence et de robustesse des données et algorithmes de la modélisation et de la simulation ;
- d) L'utilisabilité : la formation et l'expérience qui sont nécessaires, la qualité du processus appliqué ;
- e) L'adéquation : degré d'adaptation de la modélisation et de la simulation à l'évaluation du domaine de conception fonctionnelle et du système de conduite automatisé.

Figure 1

Représentation graphique de la relation entre les composantes du cadre d'évaluation de la crédibilité



7. L'établissement de la crédibilité de la modélisation et de la simulation nécessite une méthode unifiée permettant d'étudier ces propriétés et d'en vérifier les résultats. Le cadre d'évaluation de la crédibilité introduit une manière d'évaluer cette crédibilité et d'en rendre compte sur la base de critères d'assurance qualité permettant de déterminer des niveaux de confiance à accorder aux résultats. En d'autres termes, la crédibilité est déterminée en évaluant les facteurs suivants, qui influencent la modélisation et la simulation et qui sont considérés comme les principaux éléments contribuant à leurs propriétés, et donc à leur crédibilité d'ensemble : la gestion de la modélisation et de la simulation, l'expérience et l'expertise de l'équipe, l'analyse et la description de la modélisation et de la simulation, le pedigree données/entrée, la vérification, validation et caractérisation de l'incertitude. Chacun de ces facteurs témoigne du niveau de qualité atteint par la modélisation et la simulation, la comparaison entre les niveaux obtenus et les niveaux requis conduisant à conforter ou non la crédibilité de la modélisation et de la simulation et son adéquation avec des essais virtuels. La relation entre les composantes du cadre d'évaluation de la crédibilité est illustrée dans la figure 1.

A. Modèles et gestion de la simulation

8. Le cycle de vie de la modélisation et de la simulation est un processus dynamique comportant souvent de nouvelles distributions qu'il convient de surveiller et de documenter. Des activités de gestion devraient être établies afin d'étayer la modélisation et la simulation à la manière de la gestion du produit d'un travail. Des informations pertinentes sur les aspects suivants devraient être fournies ici.

1. Gestion de la modélisation et de la simulation

9. Cette activité devrait :

- a) Décrire les modifications entre les distributions ;
- b) Préciser le logiciel correspondant (par exemple, produit logiciel spécifique et version) et l'agencement matériel (par exemple, configuration XiL) ;
- c) Enregistrer les processus de révision internes qui ont accepté les nouvelles distributions ;
- d) Être soutenue pendant toute la durée d'utilisation du modèle virtuel.

2. Gestion des distributions

10. Toute version d'une chaîne d'outils de modélisation et simulation utilisée pour diffuser des données aux fins de la certification devrait être conservée. Les modèles virtuels constituant la chaîne d'outils d'essai devraient être documentés en termes de méthodes de validation correspondantes et de seuils d'acceptation afin d'étayer la crédibilité d'ensemble de la chaîne d'outils. Le développeur devrait appliquer une méthode permettant de tracer les données générées et de les relier à la version correspondante de la modélisation et de la simulation.

11. Contrôle de qualité des données virtuelles. L'exhaustivité, l'exactitude et la cohérence des données devraient être garanties tout au long des distributions et de la durée de vie d'une chaîne d'outils de modélisation et de simulation, afin d'étayer les procédures de vérification et de validation.

3. Expérience et expertise de l'équipe

12. Même si l'expérience et l'expertise sont déjà présentes de façon générale au sein de l'organisation, il est important d'établir la confiance dans l'expérience et l'expertise propres aux activités de modélisation et simulation.

13. La crédibilité de la modélisation et de la simulation dépend non seulement de la qualité des modèles de simulation, mais également de l'expérience et de l'expertise du personnel intervenant dans la validation et le déroulement de la modélisation et de la simulation. Par exemple, une bonne compréhension des limitations et du domaine de validation évitera une utilisation éventuellement incorrecte de la modélisation et de la simulation ou une interprétation incorrecte de leurs résultats.

14. D'où l'importance d'établir la base de la confiance du constructeur du système de conduite automatisé dans l'expérience et l'expertise :

- a) Des équipes qui valideront la chaîne d'outils de simulation ;
- b) Des équipes qui utiliseront la simulation validée pour l'exécution d'essais virtuels aux fins de la validation du système de conduite automatisé.

15. Une gestion correcte de l'expérience et l'expertise de l'équipe accroissent le niveau de confiance en ce qui concerne la crédibilité de la modélisation et de la simulation et de leurs résultats en garantissant que les facteurs humains derrière la modélisation et la simulation sont pris en considération et que tout risque à composante humaine éventuel est contrôlé, ainsi que l'on peut s'y attendre dans tout système de gestion approprié.

16. Si la chaîne d'outils du constructeur du système de conduite automatisé intègre ou exploite des apports ou des produits extérieurs à l'organisation, le constructeur fournira une explication des mesures qu'il a prises pour étayer sa confiance dans la qualité et l'intégrité de ces apports.

17. L'expérience et l'expertise de l'équipe comprennent deux niveaux.

a) Niveau de l'organisation :

18. La crédibilité est établie en mettant en place des processus et des procédures visant à recenser et à maintenir les compétences, les connaissances et l'expérience nécessaires pour accomplir des activités de modélisation et simulation. Les processus suivants devraient être établis, maintenus et documentés :

a) Les processus visant à recenser et évaluer la compétence et les aptitudes de l'individu ;

b) Les processus visant à former un personnel compétent à l'exercice des tâches relatives à la modélisation et la simulation.

b) Niveau de l'équipe :

19. Une fois qu'une modélisation et une simulation ont été mises au point, leur crédibilité est principalement dictée par les compétences et les connaissances de la personne/de l'équipe qui validera la chaîne d'outils de modélisation et simulation et l'utilisera pour la validation du système de conduite automatisé. La crédibilité est établie par la documentation attestant que ces équipes ont reçu la formation adéquate pour remplir leurs missions.

20. Le constructeur du système de conduite automatisé devrait alors :

a) Indiquer sur quoi il fonde sa confiance dans l'expérience et l'expertise de la personne/l'équipe qui valide la chaîne d'outils de modélisation et de simulation ;

b) Indiquer sur quoi il fonde sa confiance dans l'expérience et l'expertise de la personne/l'équipe qui utilise la simulation pour mener l'essai virtuel afin de valider le système de conduite automatisé.

21. La démonstration par le constructeur du système de conduite automatisé de la façon dont il applique les principes de la norme ISO 9001 ou de bonnes pratiques ou normes similaires afin de garantir la compétence de son organisation de modélisation et simulation et des personnes qui la composent constituera la base de cette détermination. L'évaluateur ne peut pas substituer son jugement sur l'expérience et l'expertise de l'organisation ou de ses membres à celle du constructeur.

4. Pedigree données/entrée

22. Le pedigree données/entrée contient un enregistrement de traçabilité des données du constructeur du système de conduite automatisé utilisées pour la validation de la modélisation et de la simulation.

a) Description des données utilisées pour la modélisation et la simulation

a) Le constructeur du système de conduite automatisé devrait documenter les données utilisées pour valider le modèle et noter les caractéristiques de qualité importantes ;

b) Le constructeur du système de conduite automatisé devrait fournir une documentation montrant que les données utilisées pour valider les modèles couvrent les fonctionnalités prévues que la chaîne d'outils doit virtualiser ;

c) Le constructeur du système de conduite automatisé devrait documenter les procédures de calibrage utilisées pour faire correspondre les paramètres des modèles virtuels avec les données d'entrée collectées.

b) Effet de la qualité des données (par exemple, couverture des données, ratio signal/bruit et incertitude/biais/fréquence d'échantillonnage des capteurs) sur l'incertitude des paramètres du modèle

23. La qualité des données utilisées pour élaborer le modèle affectera l'estimation et le calibrage des paramètres du modèle. L'incertitude dans les paramètres du modèle sera un autre aspect important dans l'analyse de l'incertitude finale.

5. Pedigree données/sortie

24. Le pedigree données/sortie contient un enregistrement des sorties de la modélisation et de la simulation utilisées pour la validation du système de conduite automatisé.

a) Description des données générées par la modélisation et la simulation

a) Le constructeur du système de conduite automatisé devrait fournir des informations sur l'ensemble des données et scénarios utilisés pour la validation de la chaîne d'outils de l'essai virtuel ;

b) Le constructeur du système de conduite automatisé devrait documenter les données exportées et noter les caractéristiques de qualité importantes, en utilisant par exemple les méthodes de corrélation définies à l'annexe II ;

c) Le constructeur du système de conduite automatisé devrait tracer une sortie de modélisation et simulation correspondant à la configuration de simulation.

i) Effet de la qualité des données sur la crédibilité de la modélisation et de la simulation

a) Les données de sortie de la modélisation et de la simulation devraient être suffisamment vastes pour permettre l'exécution correcte des calculs de validation. Les données devraient refléter de manière adéquate le domaine de conception fonctionnelle pertinent pour l'évaluation virtuelle du système de conduite automatisé ;

b) Les données de sortie devraient permettre d'effectuer un contrôle de cohérence/plausibilité des modèles virtuels en exploitant éventuellement des informations redondantes.

ii) Gestion des modèles stochastiques

a) Les modèles stochastiques devraient être caractérisés du point de vue de leur variance ;

b) Les modèles stochastiques devraient offrir la possibilité d'une réexécution déterministe.

B. Analyse et description de la modélisation et de la simulation

25. L'analyse et la description de la modélisation et de la simulation visent à les définir dans leur ensemble et à identifier l'espace des paramètres qui peut être évalué par essai virtuel. Elles définissent la portée et les limitations des modèles et de la chaîne d'outils, ainsi que les sources d'incertitude qui peuvent affecter ses résultats.

1. Description générale

a) Le constructeur du système de conduite automatisé devrait fournir une description de l'ensemble de la chaîne d'outils ainsi que de la façon dont les données de la simulation seront utilisées pour étayer la stratégie de validation du système ;

b) Le constructeur du système de conduite automatisé devrait fournir une description claire de l'objectif de l'essai.

2. Hypothèses, limitations connues et sources d'incertitude

a) Le constructeur du système de conduite automatisé devrait justifier les hypothèses de modélisation qui ont guidé la conception de la chaîne d'outils de modélisation et de simulation ;

b) Le constructeur du système de conduite automatisé devrait fournir des éléments de preuve concernant :

i) La façon dont les hypothèses définies par le constructeur jouent un rôle dans la définition des limitations de la chaîne d'outils ;

ii) Le niveau de fidélité requis pour les modèles de simulation ;

c) Le constructeur du système de conduite automatisé devrait fournir des justificatifs prouvant que la tolérance pour la corrélation simulation-réel est acceptable pour l'objectif de l'essai ;

d) Enfin, cette section devrait comprendre des informations sur les sources d'incertitude dans le modèle. Cela représentera un apport important pour l'analyse finale de l'incertitude, qui définira comment les sorties du modèle peuvent être affectées par les différentes sources d'incertitude du modèle utilisé.

3. Champ d'application (à quoi sert le modèle ?). Il définit comment la modélisation et la simulation sont utilisées dans la validation du système de conduite automatisé.

a) La crédibilité de l'outil virtuel devrait être assurée par un champ d'application clairement défini pour les modèles développés ;

b) La modélisation et la simulation parvenues à maturation devraient permettre une virtualisation des phénomènes physiques à un degré de précision qui correspond au niveau de fidélité requis pour la certification. Ainsi, la modélisation et la simulation serviront de « terrain d'épreuve virtuel » pour tester le système de conduite automatisé ;

c) Les modèles de simulation nécessitent des scénarios et des mesures conçus pour la validation. La sélection de scénarios utilisés pour la validation devrait être suffisante, de sorte que la chaîne d'outils fonctionne de la même manière dans des scénarios extérieurs au champ d'application de la validation ;

d) Le constructeur du système de conduite automatisé devrait fournir une liste de scénarios de validation accompagnée des limitations des paramètres correspondants ;

e) L'analyse du domaine de conception fonctionnelle est un apport crucial pour dériver les exigences, le champ d'application et les effets que la modélisation et la simulation doivent prendre en considération pour étayer la validation du système de conduite automatisé ;

f) Les paramètres générés par les scénarios définiront des données extrinsèques et intrinsèques pour la chaîne d'outils et les modèles de simulation.

4. Évaluation de la criticité

26. Les modèles de simulation et les outils de simulation utilisés dans l'ensemble de la chaîne d'outils devraient être étudiés afin de déterminer leur responsabilité dans le cas d'une erreur affectant la sécurité dans le produit final. L'approche proposée pour l'analyse de la criticité est dérivée de la norme ISO 26262, qui requiert une qualification pour certains des outils utilisés dans le processus de développement. Afin de dériver le degré de criticité des données simulées, l'évaluation de la criticité doit prendre en compte les paramètres suivants :

a) Les conséquences pour la sécurité des personnes, par exemple les classes de gravité dans la norme ISO 26262 ;

b) Le degré auquel les résultats simulés influencent le système de conduite automatisé.

27. Le tableau ci-dessous présente un exemple de matrice d'évaluation de la criticité illustrant cette analyse. Les constructeurs de systèmes de conduite automatisés peuvent adapter cette matrice à leur usage particulier.

Tableau 1
Matrice d'évaluation de la criticité

Incidence sur le système de conduite automatisé	Importante	s.o.	Fonctionnement en mode dégradé en respectant les contraintes du système réduit	Création d'un plan de conduite légal et sans collision	Exécution et mise en œuvre correcte du plan de conduite
	Modérée		Détermination de l'emplacement	Prévision du comportement futur d'autres acteurs	Perception des objets statiques et dynamiques pertinents à proximité du système de conduite automatisé
	Mineure	Contrôle stratégique du système de conduite automatisé par l'utilisateur	Communication et interaction avec les autres usagers de la route	Gestion sûre des transitions de contrôle	Détermination de l'atteinte des performances nominales spécifiées
	Négligeable	Interaction de l'utilisateur avec l'interface	Communication de l'état de fonctionnement à l'utilisateur	s.o.	
		Négligeable	Mineure	Modérée	Importante
		Conséquence de la décision			

28. Dans la perspective de l'évaluation de la criticité, trois cas sont envisageables pour l'évaluation :

- a) Les modèles ou outils qui sont clairement des candidats à une évaluation complète de la crédibilité ;
- b) Les modèles ou outils qui peuvent être ou non des candidats à une évaluation complète de la crédibilité, à la discrétion de l'évaluateur ;
- c) Les modèles ou outils qui ne doivent pas obligatoirement être soumis à une évaluation de la crédibilité.

C. Vérification

29. La vérification d'une modélisation et d'une simulation implique l'analyse de la mise en œuvre correcte des modèles conceptuels/mathématiques en s'appuyant sur la chaîne d'outils de modélisation et simulation. La vérification contribue à la crédibilité de la modélisation et de la simulation en apportant l'assurance qu'elles ne présenteront pas un comportement irréaliste pour un ensemble de commandes qui ne peuvent pas être testées. La procédure est basée sur une approche multiétapes incluant la vérification du code, la vérification du calcul et l'analyse de la sensibilité.

1. Vérification du code

30. La vérification du code implique des essais visant à démontrer qu'aucun défaut numérique/logique n'affecte les modèles virtuels.

a) Le constructeur du système de conduite automatisé devrait documenter l'exécution des techniques de vérification de son propre code, par exemple la vérification statique/dynamique du code, une analyse de convergence et une comparaison avec des solutions exactes, le cas échéant⁴ ;

b) Le constructeur du système de conduite automatisé devrait fournir une documentation montrant que l'exploration dans le domaine des paramètres d'entrée a été suffisamment vaste pour identifier la combinaison de paramètres pour laquelle la modélisation et la simulation présentent un comportement instable ou irréaliste. Des mesures de couverture de la combinaison de paramètres peuvent être utilisées pour démontrer l'exploration requise des comportements des modèles ;

c) Le constructeur du système de conduite automatisé devrait adopter des procédures de contrôle de vraisemblance/cohérence chaque fois que les données le permettent.

2. Vérification des calculs

31. La vérification des calculs consiste à évaluer les erreurs numériques affectant la modélisation et la simulation :

a) Le constructeur du système de conduite automatisé devrait documenter les estimations d'erreurs numériques (par exemple, erreur de discrétisation, erreur d'arrondi, convergence de procédures itératives) ;

b) Les erreurs numériques devraient être maintenues suffisamment confinées pour ne pas affecter la validation.

3. Analyse de sensibilité

32. L'analyse de sensibilité vise à quantifier la façon dont les valeurs de sortie du modèle sont affectées par des changements dans les valeurs d'entrée du modèle et donc à identifier les paramètres ayant le plus grand impact sur les résultats du modèle de simulation. L'étude de sensibilité aide également à déterminer le degré auquel le modèle de simulation satisfait aux seuils de validation lorsqu'il est soumis à de légères variations des paramètres. Elle est donc fondamentale pour étayer la crédibilité des résultats de la simulation.

a) Le constructeur du système de conduite automatisé devrait fournir une documentation démontrant que les paramètres les plus critiques influençant le résultat de la simulation ont été identifiés au moyen de techniques d'analyse de la sensibilité, notamment en appliquant une perturbation des paramètres du modèle ;

b) Le constructeur du système de conduite automatisé devrait démontrer que des procédures de calibrage robustes ont été adoptées pour recenser et calibrer les paramètres les plus critiques afin d'accroître la crédibilité de la chaîne d'outils élaborée ;

c) Enfin, les résultats de l'analyse de sensibilité serviront également à définir les entrées et paramètres dont la caractérisation de l'incertitude nécessite une attention particulière afin de définir correctement l'incertitude des résultats de la simulation.

4. Validation

33. La validation est un processus quantitatif consistant à déterminer le degré auquel un modèle ou une simulation est une représentation exacte du monde réel dans la perspective des usages prévus de la modélisation et de la simulation. Des exemples de validation de la chaîne d'outils virtuels sont présentés à l'annexe III, appendice 3 du présent document. Les éléments ci-après devraient être pris en compte dans le cadre de l'évaluation de la validité d'un modèle ou d'une simulation.

⁴ Roy, C. J. (2005). Review of code and solution verification procedures for computational simulation. *Journal of Computational Physics*, 205 (1), p. 131 à 156.

a) Mesures de performance (indicateurs)

a) Les mesures de performance sont des indicateurs qui permettent de comparer les résultats des essais virtuels aux résultats en conditions réelles. Ces indicateurs sont définis pendant l'analyse de la modélisation et de la simulation ;

b) Les indicateurs de validation peuvent inclure :

i) L'analyse des valeurs discrètes, par exemple la rapidité de détection ou la rapidité d'allumage ;

ii) L'évolution dans le temps, par exemple les positions, les vitesses ou l'accélération ;

iii) L'analyse basée sur le flux d'actions, par exemple des calculs distance/vitesse, le calcul du temps restant avant collision ou l'enclenchement du freinage.

b) Mesures d'ajustement

a) Les cadres analytiques utilisés pour comparer le monde réel et les indicateurs de simulation sont généralement des indicateurs de performance clefs (KPI) indiquant la comparabilité statistique entre deux ensembles de données ;

b) La validation devrait montrer que les indicateurs de performance clefs sont corrects.

c) Méthode de validation

a) Le constructeur du système de conduite automatisé devrait définir les scénarios logiques utilisés pour la validation de la chaîne d'outils de l'essai virtuel. Ces scénarios devraient couvrir dans toute la mesure du possible le domaine de conception fonctionnelle de l'essai virtuel pour la validation du système de conduite automatisé ;

b) La méthode exacte dépend de la structure et de l'objet de la chaîne d'outils. La validation peut porter sur un ou plusieurs des éléments suivants :

i) Des modèles de sous-systèmes : par exemple, un modèle d'environnement (réseau routier, conditions météorologiques, interaction des usagers de la route), des modèles de capteur (détection électromagnétique et mesure de la distance (RADAR), la détection et la localisation par la lumière (LiDAR), caméra), ou un modèle de véhicule (direction, freinage, groupe motopropulseur) ;

ii) Le système du véhicule (modèle de la dynamique du véhicule accompagné du modèle de l'environnement) ;

iii) Le système d'un capteur (modèle de capteur accompagné du modèle de l'environnement) ;

iv) Le système intégré (modèle d'un capteur + modèle de l'environnement avec les influences du modèle du véhicule).

d) Exigence de précision

34. L'exigence concernant le seuil de corrélation est définie pendant l'analyse de la modélisation et de la simulation. La validation devrait montrer que les indicateurs de performance clés correspondent à ce qui est attendu. Les méthodes de corrélation décrites dans l'annexe II, par exemple, peuvent être utilisées à cette fin.

e) Portée de la validation (la partie de la chaîne d'outils à valider)

35. Une chaîne d'outils se compose de multiples outils et chaque outil utilisera un certain nombre de *modèles*. La portée de la validation comprend tous les outils et les *modèles* pertinents soumis à la validation.

f) Résultats de la validation interne

a) La documentation devrait non seulement apporter la preuve de la validation du modèle de simulation, mais également servir à obtenir des informations suffisantes sur les processus et produits qui garantissent la crédibilité globale de la chaîne d'outils utilisée ;

b) La documentation/les résultats peuvent être reportés d'évaluations antérieures de la crédibilité.

g) Validation indépendante des résultats

36. L'évaluateur devrait vérifier la documentation fournie par le constructeur et peut soumettre l'outil intégré dans son ensemble à des essais. Si les résultats des essais virtuels ne correspondent pas suffisamment à ceux des essais physiques, l'évaluateur peut demander que les essais virtuels et/ou physiques soient refaits. Dans ce cas, les résultats sont examinés et tout écart doit être signalé au constructeur, lequel doit alors le justifier de façon satisfaisante.

h) Caractérisation de l'incertitude

37. Cette section traite de la caractérisation de la variabilité attendue des résultats de la chaîne d'outils virtuelle. L'évaluation devrait comprendre deux phases. Dans la première, les informations collectées dans la section de l'analyse et de la description de la modélisation et de la simulation et dans celle du pedigree données/entrée sont utilisées pour caractériser l'incertitude dans les données d'entrée, dans les paramètres du modèle et dans la structure de modélisation. Ensuite, en propageant toutes les incertitudes à travers la chaîne d'outils virtuelle, l'incertitude dans les résultats du modèle est quantifiée. En fonction de l'incertitude dans les résultats du modèle, des marges de sécurité adéquates devront être introduites par le constructeur du système de conduite automatisé dans l'utilisation de l'essai virtuel pour la validation de ce système.

i) Caractérisation de l'incertitude dans les données d'entrée

38. Le constructeur du système de conduite automatisé devrait démontrer qu'il a correctement estimé les entrées du modèle critique au moyen de techniques robustes telles que des répétitions multiples pour l'évaluation de la quantité.

ii) Caractérisation de l'incertitude dans les paramètres du modèle (à la suite d'un calibrage)

39. Le constructeur du système de conduite automatisé devrait démontrer que les paramètres critiques du modèle qui ne peuvent pas être estimés de façon identique sont caractérisés au moyen d'une distribution ou d'intervalles de confiance.

iii) Caractérisation de l'incertitude dans la structure de modélisation et de simulation

40. Le constructeur du système de conduite automatisé devrait apporter la preuve que les hypothèses de modélisation se voient attribuer une caractérisation quantitative de l'incertitude générée (par exemple, en comparant la sortie de différentes approches de la modélisation chaque fois que possible).

iv) Caractérisation de l'incertitude aléatoire ou épistémique

41. Le constructeur du système de conduite automatisé devrait viser à établir une distinction entre la composante aléatoire de l'incertitude (qui peut seulement être estimée, mais pas réduite) et l'incertitude épistémique découlant du manque de connaissance dans la virtualisation du processus.

III. Structure de la documentation

42. Cette section définit la façon dont les informations ci-dessus seront collectées et organisées dans la documentation remise par le constructeur du système de conduite automatisé à l'autorité compétente :

a) Le constructeur du système de conduite automatisé devrait produire un document (un « manuel de simulation ») structuré conformément à la présente description pour fournir les justificatifs concernant les sujets présentés ;

b) La documentation devrait être remise en même temps que la distribution correspondante de la modélisation et de la simulation et des données produites la concernant ;

c) Le constructeur du système de conduite automatisé devrait fournir des références claires qui permettent de relier la documentation aux données/à la modélisation et à la simulation correspondantes ;

d) La documentation devrait être conservée pendant le cycle entier de l'utilisation de la modélisation et de la simulation. L'évaluateur peut auditer le constructeur du système de conduite automatisé en jugeant sa documentation ou en menant des essais physiques.

Annexe IV

Liste des incidents qu'il est recommandé de signaler

1. Un rapport diligent devrait être soumis pour chaque incident critique. Les rapports périodiques devraient être soumis sous la forme de compilations de données (par heure de fonctionnement ou par kilomètre parcouru) pour les véhicules équipés d'un système de conduite automatisé en service (système activé). Un constructeur qui n'aurait pas accès à toutes les données d'un système en service devrait convenir avec l'autorité concernée de la marche à suivre.

2. On trouvera ci-après une liste d'incidents découlant des prescriptions de sécurité établies par le groupe FRAV. Il est recommandé que ces incidents soient obligatoirement signalés dans les rapports. Les incidents ont été répartis dans trois catégories selon leur pertinence par rapport à la tâche de conduite dynamique, à l'interaction avec les utilisateurs d'un véhicule équipé d'un système de conduite automatisé et aux conditions techniques pour le système. Le tableau ci-après indique pour chaque incident s'il convient de soumettre un rapport diligent ou un rapport périodique.

I. Incidents liés à l'exécution par le système de conduite automatisé de la tâche de conduite dynamique, tels que :

- a) Incidents critiques pour la sécurité (tels que définis précédemment), connus du constructeur du système ou de l'équipementier ;
- b) Incidents liés à l'utilisation du système de conduite automatisé hors de son domaine de conception fonctionnelle ;
- c) Incapacité du système de conduite automatisé à réaliser une manœuvre à risque minimal lorsqu'il le faut ;
- d) Incidents de communication (la connectivité étant pertinente pour le concept de sécurité du système) ;
- e) Incidents liés à la cybersécurité ;
- f) Interaction avec le centre de contrôle à distance (le cas échéant) en cas de défaillance majeure du système de conduite automatisé ou du véhicule.

II. Incidents liés à l'interaction du système de conduite automatisé avec les utilisateurs de véhicules équipés d'un système de conduite automatisé, tels que :

- a) Indisponibilité du conducteur (le cas échéant) et autres incidents liés à l'utilisateur (par exemple, erreurs de l'utilisateur, utilisation inappropriée du système et prévention d'une utilisation inappropriée) ;
- b) Incidents liés à l'échec d'un transfert de contrôle (raison, pourcentage d'opération réalisé) ;
- c) Prévention de la prise de contrôle dans des conditions dangereuses.

III. Incidents liés aux conditions techniques pour le système de conduite automatisé, y compris l'entretien et les réparations :

- a) Incidents liés à la défaillance du système de conduite automatisé, donnant lieu à une demande d'intervention ;
- b) Incidents liés à l'entretien et aux réparations ;

- c) Incidents liés à des modifications non autorisées (manipulations) ;
- d) Modifications apportées par le constructeur du système de conduite automatisé ou l'équipementier pour régler un problème de sécurité identifié et majeur (moyennant les protections adéquates).

IV. Incidents liés aux nouveaux scénarios importants pour la sécurité

Tableau 1

Incidents liés aux nouveaux scénarios importants pour la sécurité

<i>Incident</i>	<i>Rapport diligent [1 mois]</i>	<i>Rapport périodique [1 an]</i>
1.a Incidents critiques pour la sécurité, connus du constructeur du système ou de l'équipementier	X (en cas de risque déraisonnable)	X
1.b Incidents liés à l'utilisation du système de conduite automatisé hors de son domaine de conception fonctionnelle	X	X
1.c Incapacité du système de conduite automatisé à réaliser une manœuvre à risque minimal lorsqu'il le faut ;	X	X
1.d Incidents de communication		X
1.e Incidents liés à la cybersécurité		X
1.f Interaction avec un opérateur à distance, le cas échéant		X
2.a Indisponibilité du conducteur (le cas échéant) et autres incidents liés à l'utilisateur		X
2.b Incidents liés à une défaillance d'un transfert de contrôle		X
2.c Prévention de la prise de contrôle dans des conditions dangereuses		X
3.a Incidents liés à une défaillance du système de conduite automatisé		X
3.b Incidents liés à l'entretien et aux réparations		X
3.c Incidents liés à des modifications non autorisées		X
3.d Modifications apportées par le constructeur du système de conduite automatisé ou l'équipementier pour régler un problème de sécurité identifié et majeur		X
4. Incidents liés à la découverte de nouveaux scénarios importants pour la sécurité	X	X

Annexe V

Aperçu des méthodes d'essai pour les essais sur piste et les essais en conditions réelles

I. Introduction

1. Un premier aperçu des pratiques de référence, des procédures, des ressources techniques et des outils concernant les essais sur piste et les essais en conditions réelles a été établi⁵.
2. Cet aperçu a montré qu'un grand nombre de procédures et de normes relatives aux essais sur piste ont été élaborées et utilisées pour évaluer la sécurité des véhicules équipés d'un système de conduite automatisé (un système de maintien dans la voie, par exemple), et en particulier d'un système actif d'aide à la conduite, lesquelles peuvent servir de base à l'élaboration, à venir, d'une méthode pour les essais sur piste.
3. Il a également montré qu'aucune procédure visant à évaluer la sécurité des véhicules équipés d'un système de conduite automatisé sur la voie publique n'avait encore été mise au point, la plupart des documents disponibles étant les directives ou spécifications d'essai pour ces véhicules, établies par les équipementiers au cours des phases de développement de leurs systèmes, ou pour les essais avec des conducteurs humains⁶.
4. La présente annexe donne une vue d'ensemble de l'approche suggérée pour les essais sur piste et les essais en conditions réelles, à savoir les matrices d'essai. On trouvera dans l'annexe VI des considérations et des recommandations relatives aux prochaines étapes de l'élaboration des méthodes d'essai.

II. Les matrices d'essai

5. Le point de départ de l'élaboration des méthodes pour les essais sur piste et les essais en conditions réelles est la matrice d'essai. L'approche décrite ici recommande l'utilisation d'une matrice générale pour les essais physiques, et de deux matrices spécifiquement conçues pour les essais sur piste d'une part et les essais en conditions réelles d'autre part.
6. La matrice générale pour les essais physiques aurait pour objet de donner une vue d'ensemble claire de la façon dont les prescriptions de sécurité établies par le groupe FRAV pourraient être évaluées au moyen d'essais sur piste, d'essais en conditions réelles, ou des deux à la fois⁷.
7. Les matrices d'essai pour les essais sur piste et les essais en conditions réelles seraient conçues différemment, afin de tenir compte des différents contextes dans lesquels les essais sont menés et de s'assurer que les avantages de chaque méthode d'essai peuvent être mis à profit.

On notera que les matrices d'essai présentées ici à titre d'exemples ne sont que des illustrations ; elles contiennent donc des critères fictifs.

⁵ Document de travail VMAD-SG4-06-05.

⁶ Le Règlement ONU n° 157 sur les systèmes automatisés de maintien dans la voie contient des dispositions qui s'appliquent aux essais en conditions réelles. Aux fins de l'élaboration d'un essai en conditions réelles dans le cadre de la nouvelle méthode d'évaluation et d'essai, ces dispositions ne sont toutefois pas assez détaillées pour être considérées comme des spécifications comprenant une procédure.

⁷ Cette matrice générale comprendrait uniquement les prescriptions de sécurité appropriées aux essais physiques. Elle exclurait ainsi les prescriptions qui doivent être évaluées à l'aide d'autres composantes de la nouvelle méthode d'évaluation et d'essai. Si le groupe VMAD décidait de donner une vue d'ensemble au niveau de la nouvelle méthode d'évaluation et d'essai, en indiquant la ou les composantes à utiliser pour évaluer la conformité avec les prescriptions de sécurité établies par le groupe FRAV, la matrice générale pourrait alors être intégrée à cette vue d'ensemble.

A. Matrice générale pour les essais physiques

8. La matrice générale offrirait une vue d'ensemble claire du ou des types d'essais physiques à réaliser afin d'évaluer la conformité avec les prescriptions de sécurité applicables établies par le groupe FRAV.

9. L'exemple du tableau VII.1 illustre le concept de base de la vue d'ensemble à partir d'une sélection des 40 points de sécurité initiaux établis par le groupe FRAV⁸. Il convient de noter que cet exemple n'est qu'une illustration et ne devrait pas être considéré comme une expression de la position du groupe VMAD s'agissant de l'applicabilité de chaque méthode d'essai en fonction des points de sécurité.

10. En outre, l'exemple ne tient pas compte des travaux du groupe FRAV sur les points de sécurité depuis la dix-huitième réunion du groupe VMAD. Enfin, ces points devraient être plus amplement détaillés ultérieurement, par l'ajout d'une ou plusieurs prescriptions mesurables par point.

11. Une fois que ces prescriptions mesurables auraient été établies, elles figureraient dans la colonne de gauche du tableau, à la place des points de sécurité actuellement présents.

Tableau 1

Exemple de matrice générale pour les essais physiques

<i>Prescription de sécurité (FRAV)</i>	<i>Essais sur piste</i>	<i>Essais en conditions réelles</i>
1. Le système de conduite automatisé devrait réaliser la tâche de conduite dynamique dans sa totalité.	Oui	Oui
2. Le système de conduite automatisé devrait contrôler les mouvements longitudinaux et latéraux du véhicule.	Oui	Oui
(...)		
7. Le système de conduite automatisé devrait s'adapter en fonction des risques sur le plan de la sécurité.	Oui	Si le cas se présente
8. Le système de conduite automatisé devrait s'adapter en fonction des conditions de circulation.		Oui
(...)		
30. Le système de conduite automatisé devrait gérer en toute sécurité les courtes périodes de sortie du domaine de conception fonctionnelle.	Oui	Oui
31. En cas de collision, le système de conduite automatisé devrait arrêter le véhicule et se désactiver.	Oui	Si le cas se présente
(...)		

12. La mention « Si le cas se présente » dans le tableau ci-dessus indique que dans le cadre des essais en conditions réelles, il ne serait pas question d'évaluer la prescription de sécurité correspondante du fait que cela ne serait généralement pas souhaitable de le faire sur la voie publique par souci de sécurité. Toutefois, sachant que des situations imprévues se produisent durant les essais en conditions réelles, lesdites situations pourraient être admises, auquel cas il conviendrait d'évaluer les réactions du système par rapport à la prescription. La sécurité des essais sur la voie publique devrait également être prise en compte. L'évaluateur ou le conducteur en seraient responsables, ce qui devrait les amener à reprendre le contrôle de la tâche de conduite si nécessaire.

⁸ Comme exposé dans le document de travail VMAD-18-03.

13. Le sous-groupe 4 du groupe VMAD se prononcera ultérieurement sur la façon d'inclure les situations du type « Si le cas se présente » dans la méthode applicable aux essais en conditions réelles. Faudrait-il les introduire dans la matrice d'essai, ou bien devrait-on rédiger des instructions, s'appliquant aux protocoles d'essai, pour expliquer aux évaluateurs comment les gérer ?

14. En outre, à la place des mentions « Oui » et « Si le cas se présente », le tableau pourrait déjà fournir davantage d'informations sur la finalité de l'essai, comme dans l'exemple ci-dessous :

Tableau 2

Exemple d'une autre structure pour la matrice générale des essais physiques

<i>Prescription de sécurité (FRAV)</i>	<i>Essais sur piste</i>	<i>Essais en conditions réelles</i>
XX. Le système de conduite automatisé devrait réagir en toute sécurité à une queue de poisson.	Examen de la réaction du système de conduite automatisé dans le cas où il faut éviter une collision à la suite d'une queue de poisson.	Examen visant à vérifier si le système de conduite automatisé corrige la position du véhicule en réaction à la queue de poisson. Examen de la réaction du système de conduite automatisé dans le cas où il faut éviter une collision à la suite d'une queue de poisson, si ce cas se présente.

B. Matrice pour les essais sur piste

15. La colonne de gauche de la matrice pour les essais sur piste ferait référence aux scénarios élaborés par le sous-groupe 1 du groupe VMAD, lesquels, selon les prévisions du sous-groupe 4, indiqueraient l'état de la circulation, les éléments d'infrastructure, les objets, les éléments du domaine de conception fonctionnelle, etc.

16. La colonne des prescriptions de sécurité ferait référence aux prescriptions applicables, qui auraient été établies par le groupe FRAV et qui seraient évaluées dans le scénario considéré. Selon les prévisions du sous-groupe 4 du groupe VMAD, le groupe FRAV fournirait des prescriptions permettant de déterminer les critères de réussite, lesquels seraient à leur tour présentés dans la colonne des critères de l'évaluation.

17. La colonne des spécifications d'essai supplémentaires permettrait de mentionner des conditions ou des paramètres supplémentaires qui n'auraient pas été ou pas pu être décrits dans le scénario de circulation ou dans les prescriptions de sécurité, mais qui seraient nécessaires pour réaliser l'essai sur piste (la durée minimale de l'essai, par exemple).

18. Il convient de noter que l'exemple de matrice ci-dessous n'est qu'une illustration de la structure envisagée. Ainsi, les mentions sont volontairement générales et ne devraient pas être considérées comme une expression de la position du groupe VMAD s'agissant de la pertinence des essais sur piste pour évaluer les prescriptions de sécurité visées.

19. Les scénarios, les prescriptions de sécurité et les critères d'évaluation doivent être fournis par le sous-groupe 1 du groupe VMAD et le FRAV. Les éventuelles spécifications d'essai supplémentaires doivent quant à elles résulter de débats au sein du sous-groupe 4 du VMAD.

Tableau 3
Exemple de matrice pour des essais sur piste

<i>Scénario de circulation</i>	<i>Prescriptions de sécurité</i>	<i>Spécifications d'essai supplémentaires</i>	<i>Critères d'évaluation</i>
Cette colonne ferait référence au scénario sur lequel l'essai est fondé. Selon les prévisions du sous-groupe 4 du groupe VMAD, les scénarios indiqueraient l'état de la circulation, les éléments d'infrastructure, les objets, les éléments du domaine de conception fonctionnelle, etc.	Cette colonne ferait référence aux prescriptions de sécurité pertinentes pour le scénario de circulation visé. Selon les prévisions du sous-groupe 4 du groupe VMAD, le groupe FRAV fournirait des prescriptions permettant de déterminer les critères de réussite, lesquels seraient à leur tour présentés dans la colonne des critères de l'évaluation.	Cette colonne servirait à compléter la description du scénario de circulation par des informations ou des paramètres requis en vue de réaliser l'essai sur piste (éventuellement).	Cette colonne présenterait les critères de l'évaluation.
<i>Les exemples ci-dessous illustrent l'objet de la matrice pour les essais sur piste. Ces exemples sont délibérément communs, conformément au souhait du sous-groupe 4 du groupe VMAD. Les scénarios et les prescriptions de sécurité seraient fournis par le sous-groupe 1 du groupe VMAD et le FRAV. La matrice évoluerait en fonction de l'avancement des activités.</i>			
Déplacement sans obstacles en ligne droite	<ul style="list-style-type: none"> • Positionnement latéral sûr dans une voie de circulation 	<ul style="list-style-type: none"> • L'essai dure 5 minutes au minimum 	Cet essai doit démontrer que le véhicule équipé du système de conduite automatisé ne quitte pas sa voie et garde une position stable à l'intérieur de celle-ci sur toute la plage des vitesses inscrites dans les limites du système.
Déplacement sans obstacles dans une courbe	<ul style="list-style-type: none"> • Positionnement latéral sûr dans une voie de circulation • Adaptation à l'état de la route 	<ul style="list-style-type: none"> • L'essai dure 5 minutes au minimum 	Cet essai doit démontrer que le véhicule équipé du système de conduite automatisé ne quitte pas sa voie et garde une position stable à l'intérieur de celle-ci sur toute la plage des vitesses et des courbures inscrites dans les limites du système.

<i>Scénario de circulation</i>	<i>Prescriptions de sécurité</i>	<i>Spécifications d'essai supplémentaires</i>	<i>Critères d'évaluation</i>
Queue de poisson d'un autre véhicule sur une ligne droite	<ul style="list-style-type: none"> • Réagir à la queue de poisson en toute sécurité • Positionnement longitudinal sûr par rapport au véhicule aval 	<ul style="list-style-type: none"> • Scénario comportant certains paramètres sélectionnés, visant à tester l'évitement par le système de conduite automatisé d'une collision à la suite d'une queue de poisson dangereuse, conformément aux prescriptions de sécurité⁹ 	Cet essai doit démontrer que le véhicule équipé du système de conduite automatisé est capable, jusqu'à un certain point, d'éviter une collision avec un véhicule qui lui fait une queue de poisson.
Scénario de sortie du domaine de conception fonctionnelle	<ul style="list-style-type: none"> • Détection par le système de conduite automatisé des limites du domaine de conception fonctionnelle • Réaction automatisée (en cas de non-réaction de l'utilisateur de secours ou d'absence de réaction si ce dernier n'existe pas) 	<ul style="list-style-type: none"> • Essai portant sur la non-réaction de l'utilisateur de secours 	L'essai doit démontrer que le système de conduite automatisé est capable d'arrêter le véhicule en toute sécurité en cas de non-réaction de l'utilisateur de secours.

⁹ Cette mention laisse entendre que le scénario de circulation ne prévoit pas de situation critique sur le plan de la sécurité (et les paramètres correspondants à sélectionner). Si cette situation devait être prévue dans le scénario, cette case du tableau pourrait être vide.

C. Matrice pour les essais en conditions réelles

20. Dans les colonnes de gauche figureraient les prescriptions de sécurité que le groupe FRAV établirait et permettrait d'évaluer.

21. Les rangées supérieures à droite présenteraient les situations de circulation à reproduire durant les essais en conditions réelles. Du fait de la nature dynamique de la circulation en conditions réelles, il semble peu probable que les situations de circulation se produisent telles que décrites dans les scénarios élaborés par le sous-groupe 1 du groupe VMAD, si bien qu'il n'est pas fait référence à ces scénarios dans la matrice. Les situations de circulation présentées dans la deuxième rangée seraient décrites plus en détail dans les protocoles d'essai accompagnant la matrice, cette description devant être plutôt générale de sorte qu'on ait quasiment la certitude de la rencontrer durant les essais en conditions réelles. Afin d'éviter toute confusion avec les scénarios de circulation détaillés mis au point par le sous-groupe 1 du groupe VMAD, on parle donc (provisoirement) de « situations de circulation »¹⁰.

22. Il convient de noter que les cinq situations de circulation présentées dans l'exemple ci-après sont de simples illustrations.

23. Dans les autres cellules de la matrice figurent les critères d'évaluation selon les prescriptions de sécurité correspondant aux situations de circulation applicables, lesquels doivent être fournis par le groupe FRAV. Les critères d'évaluation devraient résumer ce qui est attendu en une seule phrase, une présentation plus détaillée desdits critères devant être fournie dans les protocoles d'essai accompagnant la matrice le cas échéant.

24. La présence de critères d'évaluation indiquerait que la prescription de sécurité visée devrait faire l'objet d'un examen pour la situation de circulation correspondante. À titre d'illustration, dans la rangée 1.1 du tableau ci-après, la conformité à la prescription de maintien du véhicule dans sa voie de circulation devrait être vérifiée dans toutes les situations de circulation. (On notera que les critères d'évaluation présentés dans le tableau ci-après sont de simples exemples. En outre, ils ne rendent pas compte de la position du groupe VMAD quant à la nécessité de contrôler la conformité à la prescription de sécurité visée dans les situations de circulation pour lesquelles les critères sont fournis.)

25. Cela étant, le sous-groupe 4 du VMAD continuera d'étudier la possibilité d'introduire dans la matrice les situations du type « Si le cas se présente ». Il s'agit de situations qu'il n'est pas souhaitable de tester sur la voie publique, bien qu'elles puissent se produire¹¹. À titre d'illustration, dans la rangée 2.1 du tableau ci-après, où il est question de réagir en toute sécurité à une queue de poisson, il faudrait tester la réaction du système de conduite automatisé en conditions réelles. Toutefois, cette réaction à une situation dangereuse ne devrait être testée que dans le cas où elle se présenterait durant les essais en conditions réelles, comme indiqué par l'ajout de la mention « le cas échéant ».

26. De plus, on ne sait pas avec certitude si les situations dont il est question se produiront au cours des essais en conditions réelles (dans les situations de circulation prévues), de sorte qu'on ne peut pas en imposer l'évaluation ; on sait seulement qu'elles peuvent avoir lieu. À titre d'illustration, dans la rangée 2.1 du tableau ci-après, où il est question de réagir en toute sécurité à une queue de poisson, la situation pourrait également se produire dans l'une quelconque des autres situations de circulation mentionnées plus haut.

¹⁰ Si le sous-groupe 1 du groupe VMAD venait à élaborer des scénarios généraux applicables à la matrice conçue pour les essais en conditions réelles, le sous-groupe 4 y ferait alors référence.

¹¹ L'évaluateur devrait pouvoir interrompre un essai sur la voie publique dans le cas où la situation devient dangereuse. Le sous-groupe 4 du VMAD continuera à examiner cette question et pourrait décider d'introduire des recommandations dans les protocoles d'essai.

27. Quoi qu'il en soit, le sous-groupe 4 du VMAD déterminera la manière la plus pratique et la plus claire de décrire les situations du type « Si le cas se présente ». Les suggestions qui ont été faites jusqu'à présent sont les suivantes :

a) Traiter ces situations à part (par exemple, fournir des conseils ou des orientations dans les protocoles d'essai uniquement) ;

b) Les inclure dans la matrice en signalant certaines conditions (par exemple, voir la rangée 2.2 dans le tableau ci-après ; on notera en particulier la situation du changement de voie, qui requiert une évaluation à condition que le cas se présente) ;

c) Signaler les situations du type « Si le cas se présente » (au moyen d'un astérisque, par exemple) et introduire les critères d'évaluation, ainsi que des conseils ou des orientations, dans les protocoles d'essai. (Cette troisième option n'est pas illustrée dans le tableau ci-après).

28. Les conditions telles que la durée minimale de l'essai ou la fréquence minimale d'une situation de circulation donnée durant un essai seraient énumérées dans les protocoles d'essai.

Tableau 4
Exemple de matrice pour des essais en conditions réelles : conduite sur autoroute

Prescriptions de sécurité	Situations de circulation				
	Conduite sur autoroute	Insertion	Changement de voie	Dépassement	Sortie d'autoroute
1.1 Positionner le véhicule en toute sécurité dans une voie de circulation	Cet essai doit démontrer que le véhicule équipé du système de conduite automatisé ne quitte pas sa voie et garde une position stable à l'intérieur de celle-ci sur toute la plage des vitesses inscrites dans les limites du système.	Le système de conduite automatisé démontre que le véhicule se trouve dans une position stable à l'intérieur de la voie de circulation cible à la fin de la procédure de changement de voie.	Le système de conduite automatisé démontre que le véhicule se trouve dans une position stable à l'intérieur de la voie de circulation cible à la fin de la procédure de changement de voie.	Le système de conduite automatisé démontre que le véhicule se trouve dans une position stable à l'intérieur de la voie de circulation cible à la fin de la procédure de changement de voie.	Le système de conduite automatisé démontre que le véhicule se trouve dans une position stable dans la voie de sortie de l'autoroute.
2.1 Réagir à une queue de poisson en toute sécurité	Le système de conduite automatisé adapte la position du véhicule en réaction à la queue de poisson. Le système de conduite automatisé réagit de façon appropriée ¹² à une queue de poisson dangereuse, le cas échéant ¹³ .				

¹² La réaction « appropriée » serait alors définie dans les protocoles d'essai accompagnant la matrice (source : groupe FRAV).

¹³ Il convient de déterminer si les situations du type « Si le cas se présente » doivent être mentionnées dans la matrice elle-même. Elles le sont ici, comme dans d'autres parties du tableau, à titre d'illustration.

<i>Prescriptions de sécurité</i>	<i>Situations de circulation</i>				
	<i>Conduite sur autoroute</i>	<i>Insertion</i>	<i>Changement de voie</i>	<i>Dépassement</i>	<i>Sortie d'autoroute</i>
2.2 Positionner le véhicule en toute sécurité par rapport au véhicule aval	Le système de conduite automatisé démontre que le véhicule est maintenu dans une position longitudinale sûre par rapport au véhicule aval.	Le système de conduite automatisé démontre que le véhicule est maintenu dans une position longitudinale sûre par rapport au véhicule aval pendant et après la procédure de changement de voie.	Le système de conduite automatisé démontre que le véhicule est maintenu dans une position longitudinale sûre par rapport au véhicule aval avant et pendant la procédure de changement de voie. Le système de conduite automatisé démontre que le véhicule est maintenu dans une position longitudinale sûre par rapport au véhicule aval après la procédure de changement de voie, le cas échéant.	Le système de conduite automatisé démontre que le véhicule est maintenu dans une position longitudinale sûre par rapport au véhicule aval avant et pendant la procédure de changement de voie.	Le système de conduite automatisé démontre que le véhicule est maintenu dans une position longitudinale sûre par rapport au véhicule aval, le cas échéant.

Annexe VI

Pistes de travail

Catalogue de scénarios : mise à jour

1. Les paragraphes suivants donnent un aperçu des travaux qui pourraient être menés dans le futur pour enrichir et tenir à jour le catalogue de scénarios du groupe VMAD.
2. Les scénarios qui ne figurent pas encore dans le catalogue et qui sont jugés utiles devraient y être introduits.
3. Il est prévu que le catalogue soit doté d'étiquettes permettant de rechercher tous les scénarios correspondant aux attributs de tel ou tel domaine de conception fonctionnelle (une taxonomie normalisée sera mise en place à cet effet) et aux comportements attendus.
4. Les scénarios propres à chaque pays devraient être pris en compte afin d'être introduits dans le catalogue de scénarios ultérieurement.
5. Le catalogue de scénarios n'est pas nécessairement exhaustif ; les autorités peuvent ainsi être amenées à envisager au besoin des scénarios supplémentaires pour étayer la validation de la sécurité d'un système de conduite automatisé. [Une décision de ce type pourrait s'appuyer sur le domaine de conception fonctionnelle et le comportement du système de conduite automatisé. Par exemple, si l'on met au point un véhicule automatisé/autonome sur la base d'un domaine de conception fonctionnelle qui ne fait pas partie du catalogue de scénarios, il est primordial d'ajouter de nouveaux scénarios au catalogue afin que les scénarios appliqués pour les essais fassent partie intégrante du domaine visé.]

Composantes 2 et 3 – essais sur piste et essais en conditions réelles – considérations et prochaines étapes

6. L'étape suivante dans l'élaboration des méthodes pour les essais sur piste et les essais en conditions réelles (voir l'annexe V) consiste à introduire dans les matrices d'essai les prescriptions de sécurité, les scénarios ou situations de circulation ainsi que les critères d'évaluation. Cette étape sera suivie d'autres étapes avant que l'approche de la matrice puisse être appliquée en tant que méthode d'évaluation.
7. On trouvera ci-dessous un aperçu des étapes requises à cette fin, et quelques considérations préalables.

A. Introduction de données dans la matrice

8. Pour pouvoir avancer dans l'élaboration de la méthode d'essai fondée sur une matrice, il faut en premier lieu introduire dans ladite matrice des prescriptions, des scénarios et des critères d'évaluation. En effet, la plupart des étapes suivantes, sinon toutes, dépendent en grande partie du contenu de la matrice. Par exemple, faute de savoir ce qui devrait être testé et selon quels critères, il serait difficile, voire impossible, de déterminer la durée et la portée d'un essai en conditions réelles.
9. Ainsi, la matrice serait alimentée avec les prescriptions de sécurité et les critères d'évaluation que le groupe FRAV établirait ; pour les essais sur piste, il faudrait également y introduire les scénarios élaborés par le sous-groupe 1 du groupe VMAD. Sachant que le groupe FRAV et le sous-groupe 1 du groupe VMAD continuent d'élaborer les prescriptions de sécurité et les scénarios de circulation respectivement, les travaux du sous-groupe 4 sur les matrices elles-mêmes seront largement maintenus en attente jusqu'à ce que ces prescriptions et scénarios soient disponibles.

10. S'agissant de l'introduction en temps voulu des données dans les matrices, les critères à appliquer pour les essais seraient choisis en coordination avec les groupes VMAD et FRAV, et les scénarios, en coordination avec le sous-groupe 1.

B. Élaboration des protocoles d'essai

11. Une fois que les données ont été introduites dans la matrice d'essai, le sous-groupe 4 du groupe VMAD se charge d'élaborer les protocoles d'essai¹⁴. Ces protocoles comprendraient, par exemple, la portée et la durée des essais, les conditions d'essai (dans la mesure où elles ne seraient pas décrites dans les critères ou dans les scénarios ou situations de circulation), ainsi que d'autres informations nécessaires pour que les personnes réalisant les essais puissent interpréter la matrice et les protocoles d'essai de façon uniforme, puis faire des évaluations de façon uniforme également.

C. Validation de l'approche appliquée pour les essais

12. Les matrices d'essai et les protocoles d'essai qui les accompagnent doivent d'abord faire l'objet d'une validation ayant pour but de démontrer qu'ils produisent bien l'évaluation requise en ce qui concerne la sécurité des véhicules équipés d'un système de conduite automatisé. Cette validation est d'autant plus importante pour les essais en conditions réelles qu'il n'existe actuellement aucun cadre réglementaire, aucune procédure ni aucune spécification permettant d'évaluer la sécurité d'un système de conduite automatisé.

13. Lorsque les matrices d'essai et les protocoles d'essai correspondants (sous forme de projets convenables) auront été élaborés, le processus de validation proprement dit sera conçu. Les questions à se poser au stade de la conception du processus de validation pourraient être les suivantes :

- a) Combien de configurations d'essai et de véhicules d'essai sont nécessaires ?
- b) Combien de fois les matrices d'essai et les protocoles d'essai doivent-ils être soumis à l'épreuve de la validation ?
- c) Qui est chargé de l'épreuve de validation des matrices d'essai et des protocoles d'essai ?
- d) Les matrices d'essai et les protocoles d'essai doivent-ils être validés par un certain nombre de pays ?
- e) Chaque pays devrait-il organiser sa propre épreuve de validation des matrices d'essai et des protocoles d'essai ?

Composante 5 – Surveillance en fonctionnement et notification – rapports provenant d'autres sources

14. L'intérêt de la composante Surveillance en fonctionnement et notification dépendra de la disponibilité de données sur les performances des systèmes de conduite automatisés sur le plan de la sécurité. Ainsi, en limitant l'exigence de notification aux seuls constructeurs, on limiterait également les types d'incidents pouvant être décelés dans le cadre de la surveillance en fonctionnement et, par voie de conséquence, le niveau d'amélioration de la sécurité pouvant être atteint en exploitant les informations obtenues de cette manière. Dans d'autres secteurs des transports, le mécanisme de notification est étendu à d'autres sources telles que les conducteurs, les opérateurs, les utilisateurs, les gestionnaires et les autres personnes concernées. La question de savoir s'il est possible d'en faire autant doit faire l'objet d'échanges entre le WP.29 et le WP.1.

¹⁴ Parmi les paramètres d'essai devrait figurer le domaine de conception fonctionnelle associé au système de conduite automatisé à l'essai.

15. Par exemple, les incidents liés à une infraction au code de la route ne peuvent être couverts par les seules données collectées à partir du véhicule puisqu'il n'est pas prévu que le système de conduite automatisé enfreigne la loi délibérément. Si le système ne sait pas qu'il est en infraction, il n'enregistrera donc aucune donnée. Il peut alors être utile de consulter d'autres parties, telles que les autorités locales et le ou les utilisateurs du véhicule équipé du système de conduite automatisé, ainsi que les constructeurs, afin de recenser les incidents de ce type et de collecter les données s'y rapportant.

Composante 5 – Surveillance en fonctionnement et notification – mise en commun d'informations entre les autorités chargées de la sécurité et les Parties contractantes

16. La composante Surveillance en fonctionnement et notification a pour objet final le renforcement de la sécurité des systèmes de conduite automatisés par la diffusion des enseignements tirés sous la forme de recommandations en matière de sécurité. La diffusion de ces recommandations sans délai et à grande échelle devrait avoir un impact aux niveaux national et international. Les autorités chargées de la sécurité devraient avoir accès à ces recommandations, ainsi qu'aux rapports des constructeurs et aux autres informations pertinentes (telles que les données des gestionnaires des autoroutes, les rapports d'enquête sur les accidents, les résultats des recherches, les statistiques nationales, etc.). Toutes ces informations devraient les aider à gérer les problèmes de sécurité liés au déploiement des systèmes de conduite automatisés.

17. Un mécanisme de mise en commun des informations entre les autorités chargées de la sécurité au niveau international est souhaitable et pourrait être coordonné par le groupe VMAD du GRVA, sous la direction du WP.29.
