

# Groupe de travail « Véhicule automatisé & connecté » Etat des lieux, enjeux et préconisations

## Feuille de Route

*Juillet 2023*



# Contributeurs

## En tant que coordinateur du groupe de travail

Mathieu PY, Algoé consultants

Adrien VITET, Algoé consultants

## En tant que pilote de sous-groupe

Sylvain BELLOCHE puis Guillaume COSTESEQUE, CEREMA

Dominique GRUYER, Université Gustave Eiffel

Cécile THEARD JALLU, Société d'avocats De Gaulle Fleurance & Associés

## En tant que participants et contributeurs

Alicia ALIAGA, CEREMA

Laura BIGI – LAB (GIE PSA –Renault)

Gaël BRESCIANI – HD Signs

Ludovic BROQUEREAU – Neovya

Christophe BRUSSET, Métropole Aix-Marseille Provence

Rémy DE FRAMOND – Lacroix City

Mohammed DJEDAI – Hitec

Thierry ERNST – Yogoko

Claude ESCALA – Supraways

Manon ESKENAZI – Laboratoire Ville Mobilité Transport (LVMT)

Catherine GONIOT – Rouen Métropole

Nicolas HAUTIERE – Université Gustave Eiffel

Emmanuel JOLLY – Vinci Energies

Mathieu MARTIN – Systra

Eric MONCEYRON – Bordeaux Métropole

Daniel MOULENE – BELWAY

Eugène OJEVAN – Supraways

Philippe ORVAIN – Nomadic Solutions

Chloé PERREAU - Montpellier Méditerranée Métropole

Christine PEYROT –Transdev

Hervé PHILIPPE – Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire

Pierre PLAINDOUX – Mc2i

Gerard SEGARRA – VICI

Manuel SILVA – HD Signs

Vincent TALON – Twinswheel

Patrick VIAL – Tisséo Collectivités

Sophie WEILL – Société d'avocats De Gaulle Fleurance & Associés

Benoit WIATRACK – Métropole Européenne de Lille



# Tables des matières

## Table des matières

En tant que coordinateur du groupe de travail .....	3
En tant que pilote de sous-groupe .....	3
En tant que participants et contributeurs.....	3
Préambule .....	7
Cadre de travail Mobilité 3.0.....	7
Cadre de travail du groupe « Véhicules automatisé et connecté » .....	7
<b><u>PARTIE 1 : Cas d'utilisation du véhicule automatisé.....</u></b>	<b>8</b>
Introduction .....	8
1.1 - Cas d'utilisation du véhicule automatisé : un triptyque « service / matériel / infrastructure » .....	11
1.1.1 - Application au transport de personnes.....	12
1.1.2 - Application au transport de marchandises .....	15
1.2 - Déploiement des cas d'utilisation du véhicule automatisé pour le transport de personnes .....	16
1.2.1 - Critères de priorisation pour le déploiement des cas d'utilisation du véhicule automatisé .....	16
1.2.2 - Territoires : typologie et principales caractéristiques .....	17
1.2.3 - Territoires et cas d'utilisation du véhicule automatisé .....	18
1.3 - Déploiement des cas d'utilisation du véhicule automatisé sur les territoires : leviers et freins à la mise en œuvre, actions préconisées .....	21
1.3.1 - Leviers à la mise en œuvre des cas d'utilisation .....	21
1.3.2 - Freins à la mise en œuvre des cas d'utilisation .....	21
1.3.3 - Actions préconisées pour le développement des cas d'utilisation du véhicule automatisé .....	22
1.4 - Conclusions.....	24
<b><u>PARTIE 2 : Défis, enjeux, problématiques technologiques pour le déploiement des Véhicules Automatisés.....</u></b>	<b>26</b>
Introduction .....	26
2.1 - Positionnement des travaux du GT2.....	27
2.1.1 - Vision européenne du déploiement des mobilités automatisées .....	27
2.1.2 - Positionnement par rapport aux autres groupes de travail .....	28
2.1.3 - Identification des grands enjeux et des grandes questions .....	29
2.2 - Les capteurs, le matériel, et les données .....	31
2.2.1 - Les capteurs : percevoir en tout temps, en toutes conditions, avec une couverture étendue. ....	31
2.2.2 - Les données et leur traitement : des données massives aux données intelligentes .....	36
2.2.3 - La cyber sécurité et sûreté de fonctionnement : minimiser l'impact des attaques et optimiser la résilience aux défaillances .....	47
2.3 - Infrastructures et moyens de communication.....	52
2.3.1 - Les routes et les infrastructures matérielles .....	52
2.3.2 - Les infrastructures numériques : Une perception débarquée et communicante .....	57

2.3.3 - Une supervision distante pour gérer et contrôler les véhicules automatisés.....	66
2.4.1 - Le coût économique et la viabilité.....	70
2.4.2 - Responsabilité et protection des informations.....	72
2.4.3 - Santé et confort .....	73
2.4.4 - Impact sur les mobilités existantes et sur la sécurité.....	73
2.4.5 - Actions et préconisations .....	74
2.5 – Synthèse .....	76
<b><u>PARTIE 3 : Quelles adaptations du cadre juridique ? .....</u></b>	<b>79</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>79</b>
<b>3.1 - Notion juridique de véhicule autonome/automatisé.....</b>	<b>79</b>
<b>3.2 - Cadre juridique général .....</b>	<b>80</b>
<b>3.3 - Autres sources juridiques .....</b>	<b>86</b>
<b>3.4 – Cas d’usage examinés .....</b>	<b>87</b>
3.4.1 - Encadrement juridique et besoin d’harmonisation supranational, au moins européen .....	88
3.4.2 - Enjeux autour des télécommunications et intégration de la 5G dans le secteur du véhicule automatisé.....	93
3.4.3 - Disponibilité, qualité et protection des données – Cybersécurité .....	94
3.4.4 - Enjeux juridiques et éthiques liés à l’IA .....	99
3.4.5 - Allocation des responsabilités et prise en charge assurantielle .....	103
3.4.6 - Nécessaire adaptation des règles de protection de la propriété intellectuelle.....	106
3.4.7 - VA et transition énergétique.....	109

## Préambule

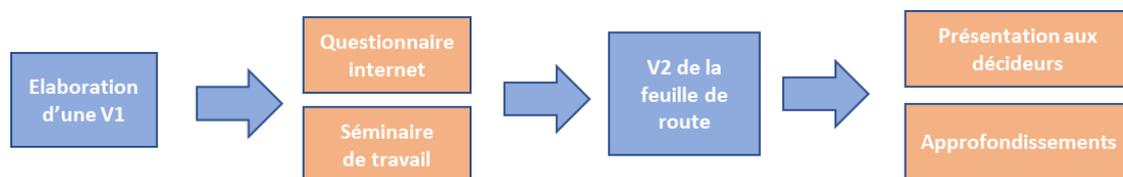
### Cadre de travail Mobilité 3.0

Depuis 1973, ATEC, devenue ATEC- ITS France en 2000, favorise les échanges et les expériences entre tous les professionnels de la mobilité. Par son action, l'association promeut l'utilisation des technologies de l'information et de la communication dans les transports. Ces solutions, baptisées ITS pour Intelligent Transport Systems and Services, contribuent à l'intégration de la mobilité numérique dans les politiques publiques et les outils développés par le secteur privé. ATEC ITS France compte parmi ses membres des collectivités territoriales, des services de l'Etat, de grands établissements d'enseignement et de recherche, les industriels et sociétés d'ingénierie du secteur de la mobilité, grands groupes, PME, TPE et startups.

Depuis 4 ans l'association est engagée dans le programme Mobilité 3.0, coconstruit avec le ministère des transports et de l'économie. Dans une logique systémique des mobilités et de développement économique, Mobilité 3.0 s'est focalisé dans un premier temps sur l'élaboration de feuilles de route, qui consistent à établir des diagnostics partagés sur des sujets clés, identifiés par le comité stratégique du programme, puis des propositions pour lever les freins identifiés.

L'approche des feuilles de routes est pluridisciplinaire et résolument opérationnelle, avec des actions visant un déploiement sous 3 à 5 ans.

La méthode est la réalisation d'une version 1 de chaque feuille de route avec un groupe cœur d'une vingtaine de contributeurs en moyenne, puis la mise en place d'un questionnaire ouvert en ligne, et un séminaire, tous deux ouverts, visant à présenter le diagnostic et les propositions et à les mettre au débat afin de les améliorer. Les questionnaires et séminaires rassemblent en général 50 à 100 professionnels. La feuille de route est ensuite actualisée et diffusée aux acteurs du secteur.



### Cadre de travail du groupe « Véhicules automatisés et connecté »

En 2017, la mise en place du groupe de travail « Véhicules automatisés et connectés » s'est organisée autour d'une volonté commune de partage de connaissance et de veille collective, afin d'établir un socle d'expertise commun, capitalisant sur la diversité des acteurs impliqués.

En 2019, au regard du renforcement des enjeux identifiés, l'ATEC ITS France organise le rapprochement du groupe de travail avec le programme Mobilité 3.0 sur décision du Comité Stratégique. L'ambition évolue de part cette initiative et induit, pour le groupe de travail, de converger vers une vision commune afin de structurer un ensemble de propositions d'actions.

Pour mener à bien la rédaction d'une feuille de route, un coordinateur a été désigné pour organiser la démarche. Compte tenu de la structuration des échanges lors des réunions, trois grands axes ont émergé : les cas d'utilisation du véhicule automatisé en premier lieu, et les enjeux technologiques et juridiques associés en second et tiers lieu.

Si chacun des acteurs impliqués dans le groupe a été en mesure d'appréhender les enjeux associés à ces axes, la construction d'une feuille de route a nécessité une forte spécialisation dans les sous thématiques traitées. Afin d'optimiser l'investissement en temps des parties prenantes et afin d'apporter une matière dépassant un simple état de l'art sur la thématique du Véhicule Automatisé, 3 sous-groupes ont été

créés (en accord avec les 3 axes présentés plus haut). Des pilotes ont été désignés et ont menés leurs propres réunions de sous-groupes. L'avancement des sous-groupes a dès lors été présenté lors de réunions plénières, organisées tous les deux mois. Ces réunions, ont été organisées sous la responsabilité du coordinateur.

## PARTIE 1 : Cas d'utilisation du véhicule automatisé

### Introduction

Les expérimentations de véhicules automatisés, ou véhicules à délégation partielle ou totale de conduite, se succèdent depuis plusieurs années : en France, à fin 2021, près de 150 expérimentations de transport de personnes et de marchandises ont été autorisées sur des voiries ouvertes à la circulation publique<sup>1</sup>. Avec les évolutions technologiques, ces expérimentations ouvrent peu à peu la voie à la mise en place en ville de véritables services de transport : d'abord services de mobilité au sein de zones fermées ou d'accès restreint pour répondre à des besoins temporaires, comme l'accès à un restaurant d'entreprises dans une zone d'activité lors de la pause déjeuner (dès 2017 à Rungis), ces expérimentations commencent à apporter un réel complément à l'offre de transport collectif conventionnelle. Des lignes de navettes automatisées apparaissent également depuis peu sur les plans officiels des réseaux de transport en commun de plusieurs collectivités : ligne navette N1 intégrée au réseau de transport métropolitain lyonnais en 2020, ligne 490 à Saint-Quentin-en-Yvelines, etc. Cette évolution laisse présager une montée en puissance progressive des services de mobilité routière automatisée dans les prochaines années, d'autant plus que la réglementation permet depuis septembre 2022 la mise en place de « services de transport routier automatisés » (ordonnance n°2021-443 du 14 avril 2021, cf. partie 3 sur les enjeux éthiques et réglementaires pour complément).

Le sujet du véhicule automatisé est large : le véhicule automatisé peut être routier, ferroviaire, aérien, maritime et fluvial... Afin de circonscrire les réflexions, le groupe de travail a choisi de se restreindre aux seuls modes routiers, c'est-à-dire là où les interactions avec les modes de transport conventionnels sont les plus prégnantes. Toutefois, cela ne doit pas faire oublier les autres formes automatisées de mobilité. Par exemple, la mobilité aérienne regroupe des formes diverses, tant pour le transport des personnes que des marchandises, parfois supportées par une infrastructure reliée au sol : téléphériques, drones, voire taxis volants, etc. La présente feuille de route, bien que restreinte à la mobilité



*Figure 1 : Lancement d'une expérimentation basée sur des voitures automatisées à Rouen (2017) - crédits Claire Garnier*



*Figure 2 : Vision de la ville de demain par Mercedes-Benz, présentant une diversité de modes de transport automatisés*

<sup>1</sup> Source : Ministère de la transition écologique

routière automatisée abordera certains contenus hors de ce périmètre dans une logique inclusive de l'ensemble des contributions apportés par les acteurs actifs au groupe de travail.

Si l'on se restreint à la mobilité routière automatisée, rappelons d'ailleurs qu'il existe une stratégie nationale de développement de la mobilité routière automatisée (SNMRA) pour 2020-2022<sup>2</sup>. Une mise à jour de cette stratégie nationale est prévue en 2023. Portée par Anne-Marie Idrac<sup>3</sup> avec l'appui des ministères concernés, cette stratégie propose comme ambition de faire de la France d'ici 2025 le lieu privilégié du déploiement de services de mobilité automatisée, avec des environnements de circulation adaptés aux enjeux de sécurité, en réponse aux besoins des territoires pour les différentes catégories et modes de transport : transport particulier, partagé et public, transport de passagers et fret. Cette stratégie donne des orientations en termes de cas d'usage, en lien avec l'évolution des technologies, qui sont reprises dans ce rapport.

Cette stratégie et ces expérimentations ne permettent cependant pas de savoir avec exactitude quand les services de mobilité routière automatisée seront pleinement opérationnels. Côté industriels, France Véhicule Autonome (FVA) envisage des déploiements de pilotes de services de mobilité automatisée et partagée sans conducteur à horizon 2025. La feuille de route de la filière Service de Transport Public Autonome (STPA) de FVA considère d'ailleurs plusieurs phases de déploiement, suivant des scénarios de circulation de complexité croissante résumés ci-après :

- Une première phase pour une circulation du véhicule automatisé sur des itinéraires prédéfinis (ou préétablis) avec une vitesse de circulation limitée, une faible densité de trafic et un opérateur à bord.
- Une seconde phase avec des vitesses de circulation plus importantes, se rapprochant progressivement des vitesses de circulation avec des véhicules conventionnels. Les environnements de circulation se complexifient.
- Une troisième phase avec des vitesses de circulation identiques aux véhicules conventionnels, et dans tout type d'environnement.

La réservation de voies, par exemple sur les voiries structurantes d'agglomération, permettrait de faciliter la circulation des véhicules automatisés à des vitesses plus importantes et donc d'augmenter la zone de pertinence de ces nouveaux modes de transport dans les prochaines années. France Véhicule Autonome propose ainsi des cas d'usage où le véhicule automatisé, par exemple en modalité robot-taxi, pourrait profiter des voies réservées au covoiturage : ce cas d'usage offre l'avantage de limiter les interactions avec les véhicules conventionnels.

Un des principaux atouts du véhicule automatisé est la flexibilité qu'il apporte pour l'organisation et la mise en œuvre de services de mobilité. Cette flexibilité devrait amener la possibilité d'adapter l'offre à la demande de transport au plus près du temps réel. Cela peut signifier : une forte réduction des délais nécessaires de réservation pour le transport de personnes à la demande, la possibilité d'adapter le nombre de véhicules sur une même ligne, une optimisation de l'itinéraire et des kilomètres parcourus par des « robots-taxis » ou pour la logistique urbaine, etc. Cependant, si le déploiement de flottes de véhicules automatisés pourrait répondre aux besoins de mobilité à l'échelle d'un territoire, la question de la gouvernance de la mobilité devant les risques de congestion accrue (davantage de véhicules en circulation et rareté de l'espace public disponible) et de sous-représentation de l'offre dans des quartiers les plus défavorisés se pose. A cela s'ajoute un effacement progressif de la frontière entre usage privatif

---

<sup>2</sup> Consultable sur le site du Ministère de la transition écologique : <https://www.ecologie.gouv.fr/mobilite-routiere-automatisee-et-connectee>

<sup>3</sup> Haute-représentante pour le développement des véhicules automatisés

et usage collectif d'un véhicule, rendant plus difficile une organisation durable et équitable des mobilités routières.

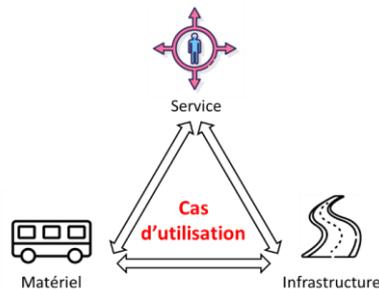
L'intégration du véhicule routier automatisé dans le système de mobilité urbaine est également conditionnée par sa capacité à répondre aux enjeux stratégiques de sécurisation des déplacements et de prise en compte de la transition écologique. Si cette réponse est assurée, le succès du déploiement de la mobilité automatisée dépendra de plusieurs conditions : l'acceptation sociale, voire sociétale, la plus-value pour les opérateurs de mobilité et un modèle économique stable et soutenable. La présente partie reviendra sur les critères à prendre en compte pour déployer la mobilité automatisée en phase avec les enjeux de mobilité.

Partant de ces constats, le groupe de travail positionne le véhicule routier automatisé comme un véhicule partagé, afin de mieux prendre en compte les impacts, ou externalités négatives, liés à la mobilité : amélioration de la sécurité des déplacements, réduction de la congestion, réduction des émissions de polluants et des gaz à effet de serre. Par rapport au transport public conventionnel, le véhicule automatisé offre deux avantages potentiels majeurs : d'une part la baisse du coût d'exploitation, un conducteur représentant plus de 60 % du coût d'exploitation d'un bus, et d'autre part l'augmentation des débits, rendue possible par la réduction des interdistances entre véhicules. Ainsi, sur une voie dédiée, les études les plus prometteuses laissent entrevoir des débits pouvant atteindre jusqu'à 4000 véh/h par voie (correspondant à des interdistances inférieures à la seconde).

## 1.1 - Cas d'utilisation du véhicule automatisé : un triptyque « service / matériel / infrastructure »

Dans l'hypothèse du développement du véhicule automatisé, plusieurs cas d'utilisation ou cas d'usage peuvent être déterminés. Ces cas d'utilisation se distinguent selon le type de service de mobilité apporté et par le matériel utilisé. L'infrastructure, à savoir l'aménagement de l'espace de circulation et son éventuelle instrumentation, vient compléter le triptyque devant permettre de déterminer les cas d'utilisation possibles à court, moyen ou long terme.

La figure 3 propose une représentation du triptyque du cas d'utilisation du véhicule automatisé.



*Figure 3: Triptyque constituant un cas d'utilisation du véhicule routier automatisé*

Pour que le cas d'utilisation soit opérationnel, **deux autres aspects sont à considérer** :

- **Acceptabilité des acteurs et des parties prenantes** : que l'on parle des usagers du service (demande de mobilité) ou des organisateurs et des opérateurs (mise en œuvre du service), L'acceptabilité est une condition nécessaire à la réussite du déploiement du cas d'utilisation.
- **Modèle économique** : concernant la mobilité routière automatisée, celui-ci n'est pas encore stabilisé. Pour considérer l'incertitude relative à cet aspect, une solution consiste à considérer plusieurs horizons temporels. Ainsi, à court terme, et en se référant à des expérimentations actuelles, on constate que le coût par passager transporté par véhicule automatisé s'apparente à celui du transport à la demande par des transports conventionnels : pour l'expérimentation de transport par voiture automatisée partagée à Rouen (2018), le subventionnement de la métropole est de l'ordre de 25 € pour un trajet. A long terme, l'enjeu est de se rapprocher du modèle économique actuel, voire de l'améliorer.

La figure 4 complète la figure précédente en incluant ces aspects, conditions nécessaires à l'opérationnalité du cas d'utilisation du véhicule automatisé.

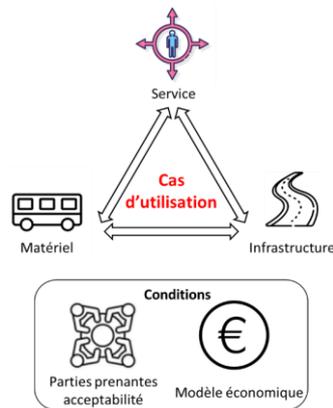


Figure 4 : Cas d'utilisation du véhicule automatisé avec les conditions d'opérationnalité

### 1.1.1 - Application au transport de personnes

Cette partie décrit les 3 composantes du triptyque du cas d'utilisation du véhicule routier automatisé pour le transport de personnes.

**La notion de service** correspond au type de service offert par le véhicule automatisé en réponse à un besoin de mobilité. Le groupe de travail convient que ce service de mobilité doit être complémentaire et non concurrent des services offerts aujourd'hui par des véhicules conventionnels. S'il remplace un service de transport conventionnel, il doit permettre d'apporter une plus-value pour ce service, par exemple pour son utilisateur ou en raison du modèle économique.

Sur la base des travaux menés par STPA et par le Cerema<sup>4</sup>, le groupe a regroupé ces services en 6 catégories ci-après. Les 5 premières catégories correspondent à la création de nouvelles lignes ou parties de lignes de transport, et la dernière catégorie à l'automatisation d'une ligne de transport existante :

- **Liaison de premier ou dernier kilomètre** : ce service permet de desservir une zone depuis ou vers un pôle multimodal ou un arrêt d'une ligne forte de transport (exemple : navette de Lyon-Confluence ou du Bois de Vincennes, voiture à Rouen-Madrillet),
- **Desserte interne à un site ou à un quartier** : par exemple au sein d'un site ou d'une zone industrielle, comme le campus de Rennes-Beaulieu,
- **Liaison en pôle à pôle ou en réseau**, par exemple entre 2 arrêts de lignes fortes de transport comme à Genève, ou entre gare de Lyon et gare d'Austerlitz à Paris,
- **Desserte en zone peu dense**. Dans ces zones où la dépendance à la voiture est forte, les services conventionnels sont généralement peu rentables et peu performants. La mobilité automatisée, avec du matériel de type navette comme au Japon dans le concept Michi-no-Eki ou pour des services de transport à la demande, est fortement attendue sur ces zones,
- **Complément temporaire d'une ligne de transport conventionnel existante en adaptation à la demande**, soit par un aménagement de l'offre en fonction de la demande (par exemple par l'ajout de véhicules à un moment donné), soit par l'amplitude horaire de fonctionnement (comme une desserte prolongée au-delà de la fin de service en raison d'un événement).

<sup>4</sup> in *Les expérimentations de véhicules autonomes : cadre réglementaire, parangonnage et perspectives servicielles*, Cerema, mars 2020.

- **Automatisation d'une ligne de transport existante** : des véhicules automatisés viennent remplacer les véhicules conventionnels pour assurer le service sur une ligne de transport, par exemple pour assurer un meilleur service, pour un coût d'exploitation plus faible, etc.

La notion de matériel correspond au type de véhicule routier considéré pour le cas d'utilisation. Ce matériel peut prendre différentes formes, peut-être non encore toutes connues. Afin de simplifier la réflexion, et sur la base de leurs caractéristiques, le groupe a retenu 5 types de matériel routier :

- **Voiture particulière** : correspondant à la catégorie M1<sup>5</sup> au sens de l'article R311-1 du Code de la route, ce véhicule peut être utilisé de manière individuelle ou partagée pour le transport de personnes. Dans une hypothèse de prise en compte des enjeux liés à la mobilité et à la transition écologique en milieu urbain, l'usage partagé est à privilégier. 
- **Robot-taxi** : ce véhicule de quelques places est prévu pour circuler sur un parcours ou une zone donnée. Son parcours n'est pas fixé et dépend des besoins des usagers. Ce véhicule ne dispose pas de poste de conduite. 
- **Pod** : cette appellation comprend des petits véhicules automatisés, qui peuvent éventuellement se regrouper les uns avec les autres (notion de train urbain définie dans le code de la route). Ces véhicules n'existent pour l'instant qu'au stade de prototype et de démonstrateur. 
- **Navette urbaine** : ce véhicule a été introduit dans la réglementation française en 2018 (alinéa 6.13 de l'article R311-1 du Code de la route), avec une vitesse maximale de circulation de 50 km/h par construction. S'il est possible de l'homologuer en France, il ne s'agit pas d'une catégorie de véhicules reconnue à l'échelle internationale à ce jour. L'appellation « navette urbaine » et sa définition posent également question, étant donné que des expérimentations emploient ce véhicule sur des routes hors agglomération. 
- **Bus** : cette appellation comprend ici tout véhicule de transport de passagers dont le nombre de places est supérieur à celui d'une navette (autobus ou autocar notamment). Il peut être amené à circuler à des vitesses supérieures à 50 km/h. 

Les caractéristiques principales de chaque catégorie de matériel considérée sont résumées dans le tableau ci-après.

Matériel	Homologation (version non automatisée)	Nombre de places	Vitesse maximale en homologation	Poste de conduite
Voiture particulière	Oui	< 9 4 à 5 usuellement	> 80 km/h	Oui
Robot-taxi	Non	< 9 ?	Non déterminée	Non
Pod	Non	1 à 2	< 50 km/h ?	Non déterminé
Navette urbaine	Oui (France uniquement)	8 à 16 dont 4 ou 5 assises	50 km/h	Non
Bus	Oui	> 15	> 50 km/h	Oui

<sup>5</sup> Véhicules conçus et construits pour le transport de passagers comportant, outre le siège du conducteur, huit places assises au maximum

**La notion d'infrastructure** considère l'insertion du véhicule dans son environnement. Comme indiqué en introduction, ce volet du triptyque considère aussi bien les questions :

- **D'aménagement de l'espace de circulation**, par exemple mise en place de voies réservées, création de zones de rencontre, règlementation du stationnement en bord de voirie, renforcement de la signalisation horizontale, etc... La mise en place de voies réservées ou dédiées, comme sur les anciennes lignes de chemin de fer, apporte des facilités de déploiement des véhicules routiers automatisés, en limitant les interactions avec les autres usagers. Les aménagements effectués seront bien sûr différents selon la vitesse de circulation pratiquée sur l'infrastructure.
- **D'instrumentation de l'infrastructure**. Cette instrumentation peut être utile pour que le véhicule se repère plus facilement dans l'environnement ou pour lui transmettre des informations par connectivité. Le niveau d'instrumentation de la voirie pourra dépendre de sa position dans la hiérarchisation ou la classification du réseau établie par le gestionnaire (axe structurant ou majeur, axe de desserte...). L'aspect technique de l'instrumentation de l'infrastructure routière est traité plus en détail en partie 2 sur les enjeux technologiques.

Pour caractériser cet aménagement et cette instrumentation, le groupe s'accorde pour distinguer 3 horizons temporels. Pour chacun d'entre eux, il a été déterminé les évolutions nécessaires pour accompagner pleinement le déploiement du véhicule automatisé de niveau 4, au regard des vitesses de circulation pratiquées ou prévisibles (cf. tableau ci-dessous). Les dates de ces horizons temporels sont données à titre indicatif.

	Vitesse maximale de circulation du véhicule	Aménagement de l'infrastructure routière	Instrumentation de l'infrastructure routière
<b>T0 / court terme (2022)</b>	20 à 30 km/h en milieu urbain Vitesse supérieure, si l'environnement est contrôlé ou semi-contrôlé.	Avec le flux, si compatibilité des vitesses  Sur voies réservées, voire en site propre, sinon	Instrumentation ponctuelle (ex : zones d'interaction comme carrefours giratoires, zones de mauvaise réception GNSS, etc...)
<b>Moyen terme (2025 / 2030)</b>	50 km/h en milieu urbain et périurbain	Dans le flux de circulation en urbain et périurbain (hors voies structurantes d'agglomération ?)	Instrumentation de l'infrastructure pour la supervision, en plus des zones d'interaction ou de mauvaise réception GNSS
	80 à 130 km/h	Voies réservées voire dédiées à 100 %	
<b>Long terme (&gt; 2030)</b>	Vitesse du flux	Dans le flux, quel que soit l'environnement	Indéterminé

Comme détaillé en partie 2, l'arrivée de la mobilité automatisée et connectée impliquera à terme que l'infrastructure ne soit pas seulement physique, mais dispose d'une couche numérique, par exemple pour faciliter la localisation du véhicule automatisé.

#### **Synthèse : les cas d'utilisation de la mobilité automatisée pour le transport de personnes**

En croisant les services possibles avec les matériels envisagés, une première liste de cas d'utilisation résumée dans le tableau ci-après peut être obtenue. Ce tableau n'explore cependant pas le volet « infrastructure » du triptyque, qui dépend fortement du contexte : ainsi, un service de premier ou de dernier kilomètre avec une navette est possible si l'itinéraire emprunte une rue avec des vitesses de circulation proches de 50 km/h. Ce même service empruntant une voie structurante d'agglomération ne sera cependant plus possible à court terme avec le même matériel.

Ce tableau présente une vision prospective des cas d'utilisation pertinents. On distinguera cependant les croisements jugés compatibles et pertinents (sous forme de « x ») avec ceux potentiellement compatibles ou potentiellement pertinents (« sous forme de ? »), l'incertitude demeurant sur la trajectoire d'évolution de matériels automatisés encore récents. Ainsi, les navettes urbaines pourraient être utilisées, notamment à moyen ou long terme, pour des services de mobilité hors agglomération (ce qui est aujourd'hui incompatible avec leur définition dans le code de la route).

Service	Matériel	Voiture particulière	Robot-taxi	Pod	Navette urbaine	Bus
Premier / dernier km		x	?	x	x	?
Desserte interne (site, quartier urbain ou périurbain)		?	x	x	x	
Liaison pôle à pôle ou en réseau		?	x	x	x	x
Desserte zone peu dense		x	x			x
Complément temporaire d'une ligne existante		x (amplitude)		x (amplitude)	x (amplitude, renfort)	x (renfort, amplitude ?)
Ligne existante automatisée					?	x

### 1.1.2 - Application au transport de marchandises

Pour le transport de marchandises, hors sites fermés (entrepôts, complexes...), l'enjeu en milieu urbain porte notamment sur la tournée automatisée et la desserte du dernier kilomètre.

De nouveaux matériels routiers, tels que des droïdes de livraison ont été expérimentés avec succès ces dernières années, en France comme à l'étranger, par exemple pour assister un facteur dans sa tournée. D'autres types de matériel routier sont également envisageables à terme, comme des VUL - Véhicules Utilitaires Légers (catégorie N1 selon le code de la route) automatisés.



Figure 5 : Droïdes de livraison

Concernant les droïdes, leur déploiement en milieu urbain pose plusieurs questions : réglementation associée à ces véhicules (non définis dans le code de la route), et par corollaire espace de circulation et aménagement de l'infrastructure pour ces « véhicules », cohabitation avec les autres usagers et acceptabilité de ceux-ci, sécurité des déplacements... Pour ces raisons, le rapport du député Pichereau en 2021 [1] a préconisé le lancement d'un appel à projet sur la thématique des engins de livraison automatisés du dernier kilomètre.

Contrairement au transport de personnes pour lequel il existe des autorités organisatrices, sur la logistique, les collectivités locales jouent plutôt un rôle de régulateur : elles n'agissent pas directement sur l'offre privée. Au sein d'une métropole, plusieurs zones ou quartiers sont des lieux favorables au développement de cette mobilité automatisée : les centres-villes, avec des espaces pouvant être particulièrement exigus, et les zones commerciales ou industrielles, voire des sites comme les campus universitaires, sont les zones de déploiement prioritaire de ces véhicules de transport de marchandises.

D'autres réflexions sont en cours sur les matériels, par exemple le tram-fret pour l'intermodalité transport de marchandises et transport de personnes. Les collectivités et les acteurs privés portent un intérêt particulier à cette combinaison, qui pose des contraintes d'ordre organisationnelles, mais qui permet de répondre à l'enjeu du « camion invisible » en ville. Les créneaux horaires peuvent être différents ou non pour le transport de marchandises et de personnes.

## 1.2 - Déploiement des cas d'utilisation du véhicule automatisé pour le transport de personnes

Le groupe de travail considère que **le développement du véhicule routier automatisé doit s'inscrire dans la réponse aux enjeux locaux de mobilité, aux enjeux nationaux de sécurité routière et aux enjeux internationaux de changement climatique et de réduction des émissions de gaz à effet de serre, tout en prenant en compte l'acceptation sociale de cette innovation et la plus-value socio-économique qu'elle apporte tant pour les opérateurs de mobilité que pour les utilisateurs du service.**

Les services de mobilité routière automatisée seront mis en œuvre dans les territoires : la vision ci-dessus doit donc pouvoir être déclinée de manière opérationnelle.

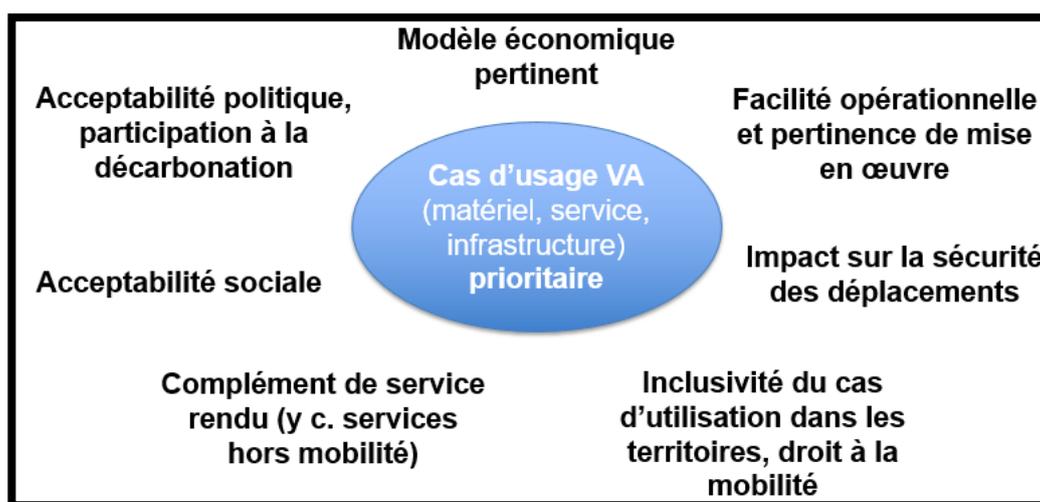
### 1.2.1 - Critères de priorisation pour le déploiement des cas d'utilisation du véhicule automatisé

Le déploiement du véhicule automatisé doit s'inscrire dans la vision stratégique énoncée ci-avant. Aussi, le groupe de travail a souhaité identifier les principaux critères permettant de déterminer les cas d'utilisation et leurs lieux de déploiement à privilégier.

Les critères de priorisation pour le déploiement du véhicule automatisé retenus par le groupe de travail sont les suivants :

- **Acceptabilité politique et participation à la décarbonation** : ce critère vient répondre à la nécessité de prendre en compte aussi bien les enjeux locaux en termes de mobilité que les enjeux nationaux et internationaux de participation du véhicule automatisé à la transition écologique et à la décarbonation du transport. Des interrogations demeurent vis-à-vis des coûts énergétiques et des impacts environnementaux liés au développement des véhicules automatisés et connectés, que ce soit en raison de leur motorisation mais également de leurs équipements en matériel informatique et à l'usage des données numériques.
- **Pertinence du modèle économique** : ce critère signifie que le cas d'utilisation doit être viable pour être pertinent, il fait d'ailleurs écho aux conditions d'opérationnalité associées au triptyque du cas d'utilisation décrit en première partie. Une attention particulière devra être portée à l'examen préalable de l'ensemble des coûts induits pour le déploiement de systèmes de mobilité routière automatisée efficaces. La prise en compte de l'ensemble des coûts d'investissement, de fonctionnement et de maintenance, qu'ils soient relatifs à l'aménagement et à l'instrumentation des infrastructures, physiques et numériques, sont à prendre en compte. A noter que certains coûts, comme ceux liés à la cybersécurité restent encore flous.
- **Facilité opérationnelle et pertinence à la mise en œuvre du cas d'utilisation** : tout en répondant aux besoins de mobilité sur le territoire, ce critère rappelle que le cas d'utilisation ne doit pas être trop complexe à mettre en œuvre, notamment pour pouvoir être facilement démonté en cas de problème lors de l'exploitation.
- **Impact sur la sécurité des déplacements** : ce critère rappelle que le véhicule automatisé doit concourir à un objectif d'amélioration de la sécurité routière. En aucun cas le service de mobilité automatisée ne devra la détériorer et une analyse de risque pourra être effectuée pour vérifier ce point, ce qui est d'ailleurs envisagée par la réglementation de juin 2021 [2] sur les services de transport routier automatisés.
- **Acceptabilité sociale et sociétale** : ce critère est indispensable du fait qu'il s'agit d'un service innovant de transport de personnes et/ou de marchandises. La pédagogie, la communication et l'accompagnement des usagers et des métiers impactés sont des éléments devant permettre de faciliter cette acceptabilité.

- **Complément de service rendu, tant sur le plan de la mobilité que pour des services hors du domaine de la mobilité** : ce critère vient rappeler que le véhicule automatisé ne vient pas remplacer ou concurrencer un service de transport existant, par exemple avec des moyens de transport conventionnels. Au contraire, un nouveau service de mobilité automatisée doit apporter une plus-value, devenir un élément complémentaire dans l'offre de transport de passagers et de marchandises.
- **Inclusivité du cas d'utilisation dans les territoires, accès au service, droit à la mobilité** : ce critère vient rappeler qu'un des objectifs de la mobilité automatisée est d'offrir la possibilité de déplacement à des usagers n'ayant pas accès à la mobilité, pour des raisons personnelles ou en lien avec l'offre de transport actuelle. Par ailleurs, il faut rester attentif à l'égalité des droits à voyager avec des niveaux de confort et de sécurité donnés, quels que soient les personnes transportées.



*Figure 6 : Critères de priorisation pour le déploiement des cas d'utilisation du véhicule automatisé*

### 1.2.2 - Territoires : typologie et principales caractéristiques

La notion de « territoire » regroupe des zones hétérogènes. Une analyse radiale permet de distinguer des centres urbains denses, des quartiers de ville et de périphérie, et des zones plus rurales. Cette hétérogénéité se traduit également par une typologie variée d'infrastructures dont certaines viennent marquer des quartiers de manière plus spécifique. Ainsi, les aires piétonnes et zones de rencontre sont des zones se situant plutôt dans des centralités, quand des voiries structurantes avec séparation physique des sens de circulation se situent plutôt dans les périphéries.

Afin de simplifier la réflexion sur le déploiement du véhicule automatisé sur les territoires, il a été acté une classification de ceux-ci en 5 zones ou quartiers :

- **Les hypercentres** : concentrant les services, ces zones très commerçantes sont aussi les mieux desservies en transport en commun. Plusieurs expérimentations de véhicules automatisés, aussi bien pour le transport de personnes que pour le transport de marchandises, se sont déroulées dans ces quartiers : citons Paris-Pont Charles de Gaulle, Lyon-Confluence, Nantes-quais de Loire... Les politiques actuelles tendent à favoriser la circulation des modes actifs au détriment de la voiture individuelle dans ces zones ;
- **Les quartiers de ville ou cœurs d'agglomération** : dans ces quartiers marqués par une densité plus faible que dans les hypercentres, l'offre de transport en commun est moins abondante et concurrence plus difficilement la voiture individuelle ou les autres modes de transport.

Quelques expérimentations de véhicules automatisés se sont déroulées dans des villes de taille moyenne qui ne disposent pas de ligne de transport à haut niveau de service comme Autun ou Verdun.

- **Les périphéries** : l'offre de transport dans ces quartiers est essentiellement radiale, en lien avec la majorité des besoins des déplacements de ces zones. En fonction de leur densité, de leur éloignement au centre-ville et de la disponibilité de transports en commun efficaces, on peut distinguer :
  - **Périphérie - 1ère couronne** : généralement assez bien desservies par les transports en commun et assez bien fournies en termes d'infrastructures, ces zones peuvent s'avérer assez denses. On y trouve aussi bien de l'habitat que des activités économiques et industrielles. Les expérimentations de véhicules automatisés se sont souvent intéressées à ces zones, en particulier pour assurer la desserte du premier / dernier kilomètre en raccordement à une ligne forte de transport en commun ;
  - **Périphérie – 2nde couronne** : moins denses, ces zones accueillent également moins de services. L'offre de transport devient plus faible. Peu d'expérimentations se sont déroulées dans ces zones jusqu'à maintenant ;
- **Les zones peu denses** : marquées par une forte dépendance à la voiture individuelle, ces zones restent difficiles à desservir par des transports en commun du fait de la demande diffuse et du coût important de l'offre. L'absence de polarisation de ces zones rend encore plus difficile l'organisation d'un service efficace de mobilité, laissant des habitants de ces zones sans réponse à leur besoin de mobilité.

### 1.2.3 - Territoires et cas d'utilisation du véhicule automatisé

Les besoins en termes de mobilité sont différents d'un quartier à l'autre. Dès lors, sur la base des éléments précédents, l'objectif du groupe de travail a été de mieux comprendre les cas d'utilisation les plus adaptés à chaque quartier en tenant compte des critères de priorisation établis.

La première étape consiste à déterminer les cas d'utilisation possibles ou probables pour chaque type de quartier. La figure 7 illustre le résultat de la réflexion menée.

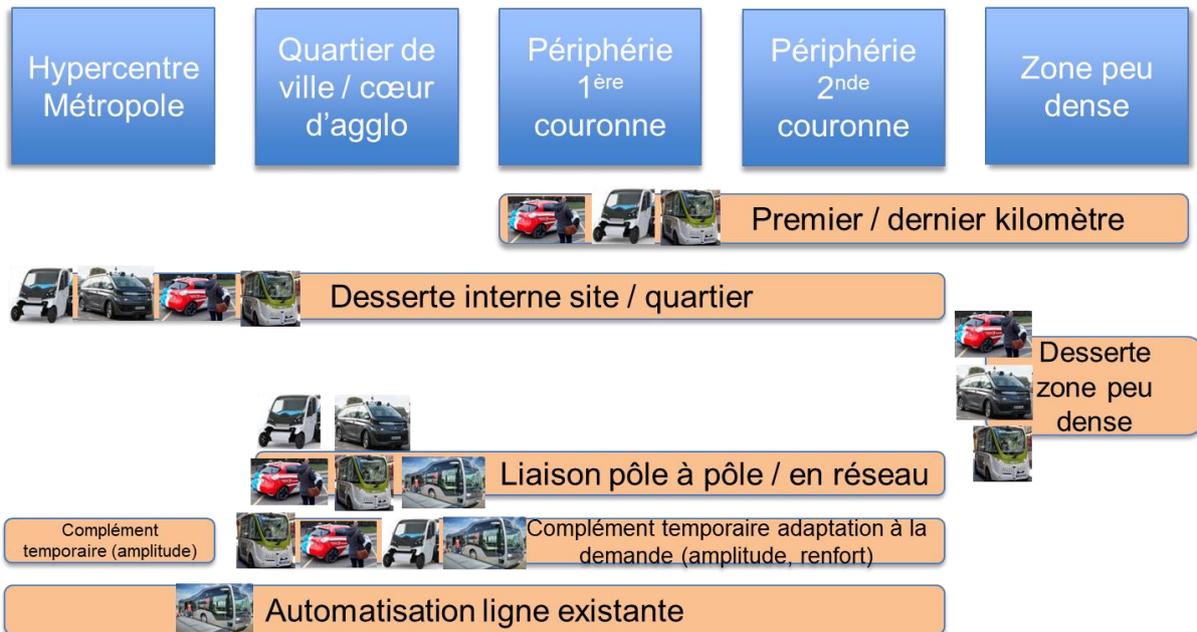


Figure 7 : Cas d'utilisation possibles du véhicule automatisé par type de quartier

Cette première étape a permis de mieux apprécier le rôle que peut jouer la mobilité routière automatisée sur chaque territoire. Ensuite, et au regard des critères de priorisation énoncés, le groupe de travail a pu identifier les réflexions prioritaires à apporter pour répondre à la vision stratégique pour chaque type de quartier d'un territoire.

Ainsi, le déploiement du véhicule automatisé doit permettre de répondre aux objectifs énoncés ci-dessous, pour chaque type de quartier ou de zone :

- **En hypercentre, le déploiement du véhicule automatisé doit permettre d'accompagner la transformation en cours de ces quartiers vers des espaces plus partagés.** Bien que l'offre de services y soit déjà abondante, le véhicule automatisé doit pouvoir répondre aux besoins de mobilité tout en tenant compte de l'évolution conjoncturelle de ces espaces vers des zones de rencontre et la diminution de l'espace laissé à la voiture particulière. En particulier, le véhicule automatisé, électrique, pourrait faire l'objet d'une étude d'opportunité sur son déploiement dans ces quartiers en tant que mesure d'accompagnement de la mise en place des Zones à Faibles Emissions (ZFEs).
- **Dans les cœurs de villes de taille moyenne, le déploiement du véhicule automatisé pourrait offrir une alternative à la voiture individuelle.** Dans ces zones, le transport collectif conventionnel n'est que rarement plébiscité car peu performant : la voiture individuelle règne assez facilement et n'a que peu de concurrence. Le déploiement d'un mode de transport plus adaptable et plus flexible permettrait de disposer d'un système de transport plus efficace et donc potentiellement davantage emprunté. Il conviendra cependant de bien identifier le modèle économique sous-jacent, et de s'assurer que les vitesses commerciales proposées par ces nouvelles mobilités sont compétitives par rapport à la voiture individuelle.
- **En périphérie, le déploiement du véhicule automatisé doit viser à renforcer l'offre de transport, que ce soit à destination du centre-ville ou des autres zones de la périphérie, voire au sein d'une même zone.** Dans ces zones, l'offre de transport reste très majoritairement radiale, ne permettant pas de répondre à des besoins de déplacement entre deux zones de la périphérie. De plus, l'offre de transport en périphérie souffre particulièrement d'un déficit tant

en termes d'amplitude horaire que de fréquence, se concentrant parfois sur les plages horaires sur lesquelles la demande est la plus forte. La mise en œuvre de services de type « premier / dernier kilomètre » ou de services de type « liaison pôle-à-pôle » à l'aide de véhicules automatisés doit permettre de faciliter l'accès de la population de ces zones au transport en commun et à répondre à un maximum de demandes de déplacement. Le véhicule automatisé routier doit également pouvoir favoriser la desserte des zones économiques (zones artisanales, zones industrielles, etc.) : ces lieux périphériques sont souvent difficiles à desservir par des moyens conventionnels du fait de l'éparpillement de la demande dans l'espace et dans le temps.

- **Dans les zones peu denses, le véhicule routier automatisé peut permettre de proposer des services de mobilité même peu capacitaires, malgré la difficulté réelle de mettre en place un modèle économique pérenne.** En effet, dans ces zones, le système de transport repose quasi uniquement sur la voiture individuelle : il y a donc un enjeu à proposer de nouveaux services de mobilité avec des parcours s'adaptant aux besoins des usagers. La problématique principale est l'adaptation des voiries pour permettre la circulation des véhicules automatisés, l'enjeu est donc aussi budgétaire.

Enfin, signalons l'intérêt du déploiement du véhicule routier automatisé sur les petites lignes ferroviaires, tel qu'indiqué dans le rapport du député Pichereau (2021) [1].

### 1.3 - Déploiement des cas d'utilisation du véhicule automatisé sur les territoires : leviers et freins à la mise en œuvre, actions préconisées

En vue d'un déploiement du véhicule automatisé sur les territoires en phase avec la vision stratégique, le groupe de travail a identifié les leviers et les freins à la mise en œuvre, et préconise plusieurs actions à implémenter.

#### 1.3.1 - Leviers à la mise en œuvre des cas d'utilisation

Les leviers identifiés par le groupe de travail pour le développement du véhicule automatisé et le déploiement de cas d'utilisation prioritaires sont les suivants :

- **Réglementation sur les systèmes de transport routier automatisés** : l'évolution de la réglementation, en particulier la parution du décret 2021-873 (juin 2021) sur les « systèmes de transport routier automatisés » offre de nouvelles opportunités en termes de services de mobilité. Pour mémoire, la partie 3 sur les enjeux juridiques et éthiques revient plus en détail sur ce point.
- **Sécurité des déplacements** : il s'agit de la première des promesses associées aux développements technologiques sur le véhicule automatisé, même si ce dernier ne supprimera pas tous les accidents.
- **Politiques publiques sur la transition écologique, en particulier en faveur des modes peu émissifs** : comme tout véhicule électrique, le véhicule automatisé s'inscrit dans cette catégorie des véhicules peu émissifs en circulation. Comme tous les véhicules électriques, cependant, sa fabrication et sa fin de vie ont un impact plus important que celle d'un véhicule thermique en termes d'émissions. Concernant la logistique urbaine, la piétonisation des centres-villes est un levier pour le déploiement de services de tournée automatisée.
- **Des acteurs de la mobilité automatisée en pointe dans leurs domaines** : la France dispose d'organismes en pointe sur l'innovation, que ce soit pour le volet « matériel » des cas d'utilisation, par exemple constructeurs de navettes urbaines ou de droïdes de livraison (voire, hors modes routiers, des concepteurs de solutions de navettes aériennes automatisées supportées par une infrastructure au sol), ou pour le volet « services » avec des opérateurs de transport ayant déjà été partie prenante de plusieurs expérimentations.
- **Pour la logistique urbaine automatisée, développement de la livraison à domicile** : la livraison à domicile se développe depuis plusieurs années et s'est également trouvée renforcée par la crise sanitaire.
- **La nécessité de décarboner les mobilités** et donc de déployer davantage de services de transport en commun, le véhicule électrique ne permettant que de diviser par 2 ou 3 les émissions sans être totalement « zéro émission ». Les gains économiques et de débits permis par le véhicule automatisé de transport public pourront amener une offre plus importante.

#### 1.3.2 - Freins à la mise en œuvre des cas d'utilisation

Les principaux freins identifiés par le groupe de travail pour le développement du véhicule automatisé et le déploiement des cas d'utilisation prioritaires sont les suivants :

- **Acceptabilité collective et acceptabilité des autres usagers** : si les enquêtes effectuées après utilisation d'un service de transport automatisé montrent des taux de satisfaction importants, les études réalisées sur la population en général montrent un niveau d'acceptation moindre. En novembre 2020, le baromètre Vedecom/Macif indiquait que 70 % des français exprimaient une

attitude positive vis-à-vis de ce mode de déplacement, mais avec une confiance parfois limitée sur sa fiabilité et sur leur sécurité [3]. Pour la logistique urbaine, il convient de noter que l'absence d'acceptation des droïdes de livraison a entraîné par le passé des mesures d'interdiction de leur circulation dans des villes américaines.

- **Besoin de repenser l'offre et l'organisation des transports** : le véhicule automatisé apporte de nouvelles solutions de transport dont la gestion et l'exploitation peuvent différer de celles relatives aux solutions conventionnelles existantes. Ainsi, une flotte de robot-taxis pourrait être exploitée par une structure privée, et les véhicules pourraient ne pas avoir à suivre des parcours prédéfinis : il est donc probable qu'avec le déploiement des véhicules automatisés, l'organisation et l'offre des transports soient à revoir, ce qui pourrait être un frein au développement de ce véhicule pour des autorités organisatrices.
- **Freins économiques** : l'incertitude du modèle économique et le coût encore important du déploiement, notamment pour des collectivités de taille modeste, viennent freiner le développement de la mobilité automatisée. En particulier, la présence d'un « opérateur de sécurité » (« safety driver ») à bord d'un véhicule est un frein à l'émergence d'un modèle économique permettant le développement de systèmes de mobilité automatisée.
- **Manque de maturité technologique**, rendant difficile l'appréciation du domaine d'emploi par les décideurs. La vitesse de circulation des navettes automatisées, souvent décriée comme étant trop faible, est révélatrice de ce manque de maturité.
- **Synergie nécessaire entre tous les acteurs** : le déploiement du véhicule automatisé sur le terrain fait appel à des parties prenantes diverses qui ne partagent pas nécessairement la même vision sur le développement de cette innovation. Un objectif commun est à trouver pour permettre la synergie indispensable au déploiement de cette innovation.
- **Réglementation** : plus particulièrement pour les véhicules individuels (type M1 au sens de l'article R311-1 du Code de la route), pour lesquels peu de possibilités sont aujourd'hui offertes par la réglementation internationale pour le déploiement des dispositifs de délégation de conduite ou les aides à la conduite.

### 1.3.3 - Actions préconisées pour le développement des cas d'utilisation du véhicule automatisé

La stratégie nationale pour le développement du véhicule automatisé propose déjà plusieurs actions à mettre en œuvre pour le développement du véhicule automatisé. Le groupe de travail a donc souhaité compléter les actions préconisées sur la base de la vision stratégique et des leviers et des freins indiqués ci-avant.

Les actions proposées selon un ordre de priorité décroissant établi par les participants au groupe de travail, sont les suivantes :

**Préconisation 1 : Intégrer en amont des expérimentations les besoins de mobilité exprimés par le territoire**, notamment au travers des documents de planification existants comme les plans de mobilité, **tout en incluant au projet les Autorités Organisatrices de la Mobilité (AOM) compétentes sur le territoire, les gestionnaires d'infrastructures concernées, les usagers et les riverains.**

- *Porteur : Ecosystème industriel.*
- *Parties prenantes : Collectivités territoriales et associations d'usagers.*

**Préconisation 2 : Alléger les procédures administratives avant expérimentation pour faciliter et accélérer leur déploiement et conditionner les autorisations d'expérimentation à l'obtention d'un résultat**, positif ou négatif, et qui puisse être soutenu par une évaluation.

- *Porteur : Etat.*
- *Parties prenantes : Collectivités territoriales, écosystème industriel.*

**Préconisation 3 : Approfondir les changements impliqués par le déploiement du véhicule routier automatisé**, aussi bien en termes de service offert à l'utilisateur qu'en termes d'impact sur les organisations.

- *Porteur : Etat.*
- *Parties prenantes : Collectivités territoriales.*

**Préconisation 4 : Mettre en place une structure d'échange entre collectivités**, qui seront les acteurs majeurs de la mise en œuvre du décret 2021-873 sur les services de transport routier automatisés. Aujourd'hui, peu de collectivités ont une réelle connaissance de la réglementation existante, ainsi que des possibilités et des limites actuelles offertes par la technologie. Les services de mobilité automatisée risquent d'engendrer un bouleversement de la gouvernance des mobilités pouvant remettre en cause le rôle des collectivités.

- *Porteur : Etat.*
- *Parties prenantes : Collectivités territoriales.*

**Préconisation 5 : Repenser l'offre et étudier les mutualisations possibles entre un service de mobilité routière automatisée et d'autres services**, comme des services d'information ou des services de transport de marchandises.

- *Porteur : Ecosystème industriel.*
- *Parties prenantes : Etat, collectivités territoriales, associations d'utilisateurs.*

**Préconisation 6 : Travailler sur les déterminants de l'acceptabilité**, plus particulièrement de l'acceptabilité collective, du véhicule automatisé et des mesures d'appropriation de celui-ci. **Il convient d'être clair sur les objectifs relatifs à l'acceptabilité** que ce soit l'acceptabilité sociale, sociétale, sécuritaire, économique et écologique. Cette action permettra de mieux identifier les causes du rejet de cette innovation, d'apporter des réponses adaptées, et de mieux comprendre les cas d'utilisation les plus prometteurs. Si ce type de travaux est déjà effectué dans plusieurs projets comme SAM, des actions complémentaires de concertation avec les citoyens pourraient s'avérer riches en enseignements.

- *Porteur : Etat.*
- *Parties prenantes : Organismes de recherche, collectivités territoriales, écosystème industriel, association d'utilisateurs.*

**Préconisation 7 : Favoriser la diversité des expérimentations de services et/ou d'usages, sources d'interactions entre les politiques locales de mobilité et les développements technologiques. Ces expérimentations doivent notamment porter sur la mobilité des personnes (sur des domaines opérationnels potentiellement complexes comme les tunnels) et sur la logistique urbaine.** Concernant la logistique urbaine, les expérimentations sont encore peu nombreuses et les besoins des collectivités restent importants. La mise en place de schémas directeurs locaux ou nationaux, et la création de lieux de démonstration dédiés peuvent apparaître comme des solutions pour faire mûrir les technologies et accoutumer les décideurs et les diverses parties prenantes (dont les autres usagers de la voirie).

- *Porteur : Etat.*
- *Parties prenantes : Collectivités territoriales.*

**Préconisation 8 : Construire une méthodologie commune d'évaluation a priori des coûts d'investissement et d'exploitation des infrastructures physiques et numériques pour accueillir les véhicules automatisés.**

- *Porteur : Etat.*
- *Parties prenantes : Collectivités territoriales, écosystème industriel.*

**Préconisation 9 : Réaliser des analyses en cycle de vie (ACV) sur les différents éléments du système « véhicule automatisé et connecté »** (collecte / traitement / exploitation de la donnée, véhicule, équipement de l'infrastructure), en vue de confirmer la comptabilité du développement des différentes technologies avec la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC).

- *Porteur : Etat.*
- *Parties prenantes : Ecosystème industriel, collectivités territoriales.*

**Préconisation 10 : Etudier et valider les modèles économiques avant de lancer de nouvelles expérimentations**, en regard de l'acceptabilité économique pour les usagers et la puissance publique.

- *Porteur : Etat*
- *Parties prenantes : Collectivités territoriales*

**Préconisation 11 : Intégrer les connaissances issues des études existantes pour les partager et renforcer la communication pour sensibiliser le grand public et former les décideurs publics.** Il semble important de pouvoir démystifier la technologie et d'établir objectivement quelles sont les possibilités mais aussi les limites de ces outils, pour bien saisir leurs domaines d'emploi.

- *Porteur : Etat.*
- *Parties prenantes : Organismes de recherche, collectivités territoriales, écosystème industriel.*

**Préconisation 12 : Continuer à soutenir économiquement de nouveaux services de mobilité basée sur le véhicule automatisé**, en particulier pour les cas d'utilisation permettant d'offrir des solutions de mobilité là où les services de transport conventionnels sont peu performants (en particulier en périphérie et dans les zones peu denses). Cette action peut être temporaire le temps que le modèle économique se stabilise.

- *Porteur : Etat.*
- *Parties prenantes : Collectivités territoriales.*

**Préconisation 13 : Renforcer la cohésion et les échanges entre les parties prenantes (y compris les citoyens, premiers acteurs des territoires)**, pour favoriser l'émergence d'une vision commune et permettre une synergie française sur cette thématique. Par cette action, le groupe de travail veut également manifester son soutien à la stratégie nationale, qui va dans ce sens.

- *Porteur : Etat.*
- *Parties prenantes : Collectivités territoriales, écosystème industriel, associations d'usagers.*

## 1.4 - Conclusions

Le déploiement du véhicule routier automatisé est la traduction d'une articulation entre la notion de service, celle de matériel et celle d'infrastructure sur laquelle il est mis en place. Ce triptyque doit permettre de répondre aux enjeux tant locaux que nationaux et internationaux liés à la mobilité. Sur cette base, le groupe de travail a déterminé les cas d'utilisation prioritaires pour chaque type de quartier ou zone d'un territoire. L'opérationnalité de ces cas d'utilisation sera cependant soumise à la considération et l'acceptabilité des parties prenantes et à un modèle économique pertinent, qui doit encore se stabiliser pour chaque cas d'utilisation.

Au regard des échanges du groupe de travail, il apparaît essentiel de faire de la mobilité routière automatisée un outil au service de la transition écologique. Cet aspect a été rappelé à plusieurs reprises dans les réunions de travail, par plusieurs acteurs. En milieu urbain, étant donné la rareté du foncier disponible, cela signifie qu'il faut aller vers un partage plus important des véhicules : le véhicule automatisé doit dès lors être perçu comme un moteur de la mobilité partagée – quel que soit le véhicule considéré.

Enfin, le déploiement du véhicule routier automatisé interpellera à terme sur la gouvernance de la mobilité. En effet, ces services risquent de détériorer la circulation (cf. étude du Forum International des Transports sur Lisbonne<sup>6</sup>) ou d'amener un déséquilibre dans l'offre de transport : le régulateur de la mobilité jouera un rôle encore plus crucial avec le déploiement de cette innovation.

---

<sup>6</sup> Assessing the impacts of deploying a shared self-driving urban mobility system: an agent-based model applied to the city of Lisbon, Portugal, ITF, 2017

# PARTIE 2 : Défis, enjeux, problématiques technologiques pour le déploiement des Véhicules Automatisés

## Introduction

Depuis plusieurs décennies, nos villes et leurs systèmes de transport sont en pleine mutation et en pleine évolution. Nos systèmes de transport sont en effet de plus en plus complexes, et arrivent à leur limite d'efficacité d'un point de vue sécurité, gestion de l'énergie, pollution, et trafic. Pour répondre aux contraintes environnementales et écologiques de plus en plus prégnantes, il est impératif de pouvoir proposer des solutions et des changements de paradigme permettant à notre société, à nos villes, et à nos agglomérations d'être plus efficaces, résilientes, et écoresponsables.

Ces changements passent, entre autres, par l'adaptation et l'adoption de services de mobilité de plus en plus interconnectés et automatisés. Il est en effet nécessaire de penser à une mobilité de demain plus équitable, plus économe, et surtout plus viable économiquement. Depuis une dizaine d'année maintenant, il apparait qu'une partie de la solution passe par la mise en œuvre de nouveaux services de mobilité électrique, automatisés, et connectés, complémentaires aux mobilités existantes. D'un point de vue microscopique, l'objectif est de proposer aux usagers des technologies et des moyens de mobilité utilisant des infrastructures dédiées et adaptées pour un déplacement plus efficace et optimal respectant un ensemble de critères et d'enjeux (sécurité, énergie et pollution, mobilité et accessibilité, confort et santé) pour des objectifs aussi bien personnels qu'économique (optimisation des flux, gain de temps, transport de biens).

Il est ici proposé une vision d'ensemble de cette problématique, qui pose la question du choix du type d'infrastructures dédiées à privilégier, de leur impact sur les autres modes de transport, et abordant les bénéfices et les faiblesses du déploiement des VAC (Véhicule Automatisé et Connecté)[4] et permettant de mettre en lumière les enjeux d'un point de vue sécurité, efficacité énergétique, génération de pollutions multiples (particule, CO2, bruit ...), rapport coûts – bénéfices et optimisation du trafic.

Comment peut-on définir l'écosystème routier ? Un essai de définitions de cet écosystème routier pour la mobilité automatisé pourrait être le suivant : des humains/utilisateurs qui utilisent/interagissent/coopèrent avec des technologies et moyens de mobilité sur des infrastructures dédiées et adaptées, y compris l'infrastructure des autres transports ayant une emprise sur l'infrastructure routière (comodalité), pour se déplacer efficacement et de manière optimale selon 4 critères principaux (sécurité / énergie et pollution / mobilité et trafic / confort et santé) pour des objectifs personnels ou économiques.

Cet écosystème de mobilité complexe est représenté dans la figure 8, qui permet notamment d'identifier les interactions entre les acteurs de cet écosystème (usagers, technologie et système, route et infrastructure, mobilité et service de mobilité). La présente partie de cette feuille de route vise à identifier les verrous technologiques associés au développement du véhicule automatisé et établir un ensemble de préconisations pour la levée de ceux-ci.

## 2.1 - Positionnement des travaux du GT2

### 2.1.1 - Vision européenne du déploiement des mobilités automatisées

En s'appuyant sur la roadmap ERTRAC présentée en figure 9, nous pouvons clairement définir des domaines temporels de déploiement de moyens de mobilités plus ou moins complexes et automatisés. A court terme il apparait que les premiers moyens de mobilité automatisée ne dépasseront pas les niveaux 3 et 4 d'automatisation et seront principalement dédiés aux configurations autoroutières et à la mobilité urbaine, périurbaine et rurale à faible vitesse sur infrastructures dédiées et adaptées. A moyen terme, le déploiement en configuration mixte sera envisagé. Cette constatation représente un consensus au niveau européen. A plus long terme, il est envisagé de mettre en circulation des véhicules et moyens de mobilité totalement autonomes (niveau 5 d'automatisation). Néanmoins avant d'arriver à ce niveau, de nombreuses problématiques et de nombreux verrous technologiques sont à lever. Ils font l'objet des sections suivantes de ce document.

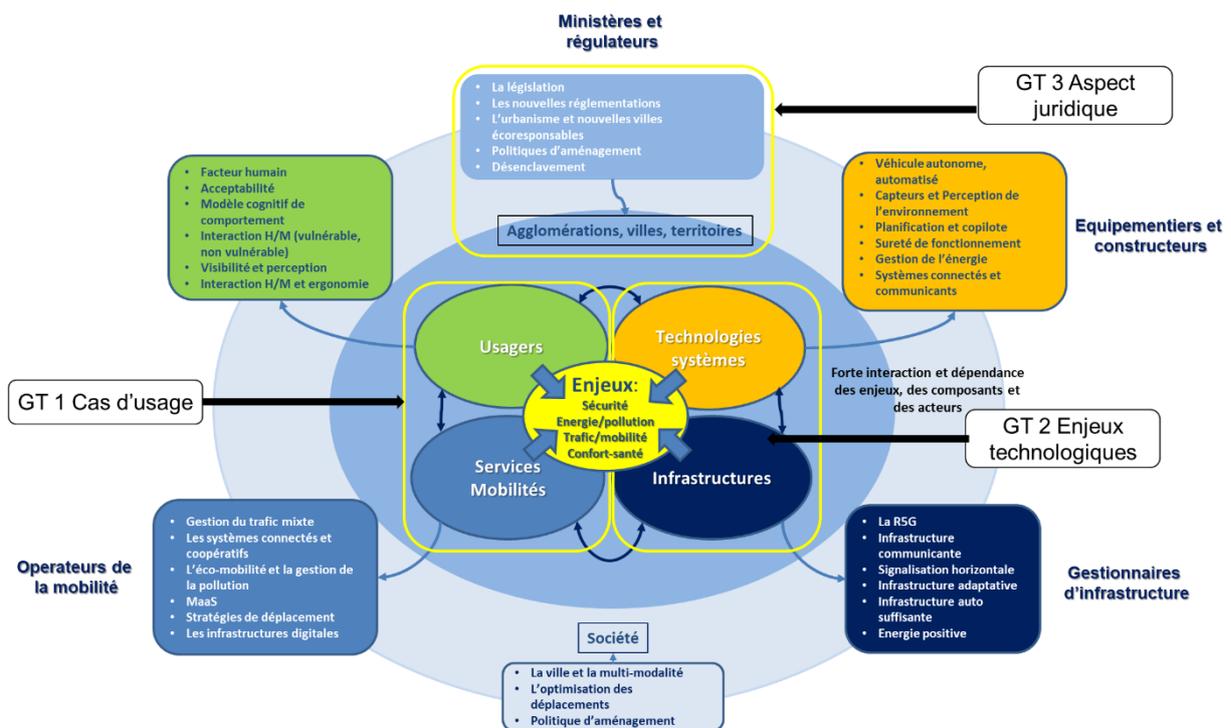


Figure 8 : L'écosystème routier dans son ensemble : Domaines, acteurs, thématiques de recherche (source : Université Gustave Eiffel)

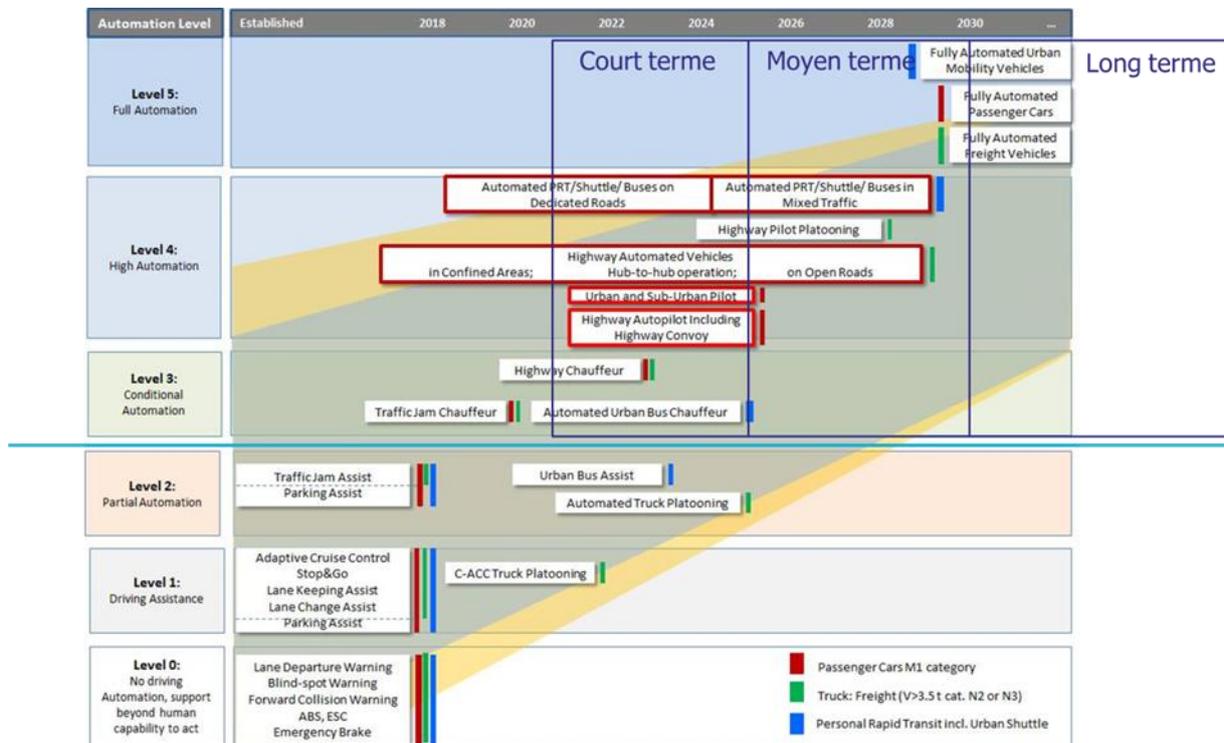


Figure 9 : Roadmap estimée du déploiement des services de mobilité automatisée

### 2.1.2 - Positionnement par rapport aux autres groupes de travail

Dans le cadre du travail ATEC ITS, les problèmes et les enjeux sous-jacents au déploiement court terme, moyen terme, et long terme des services de mobilités automatisées ont été décomposés en trois sous-groupes.

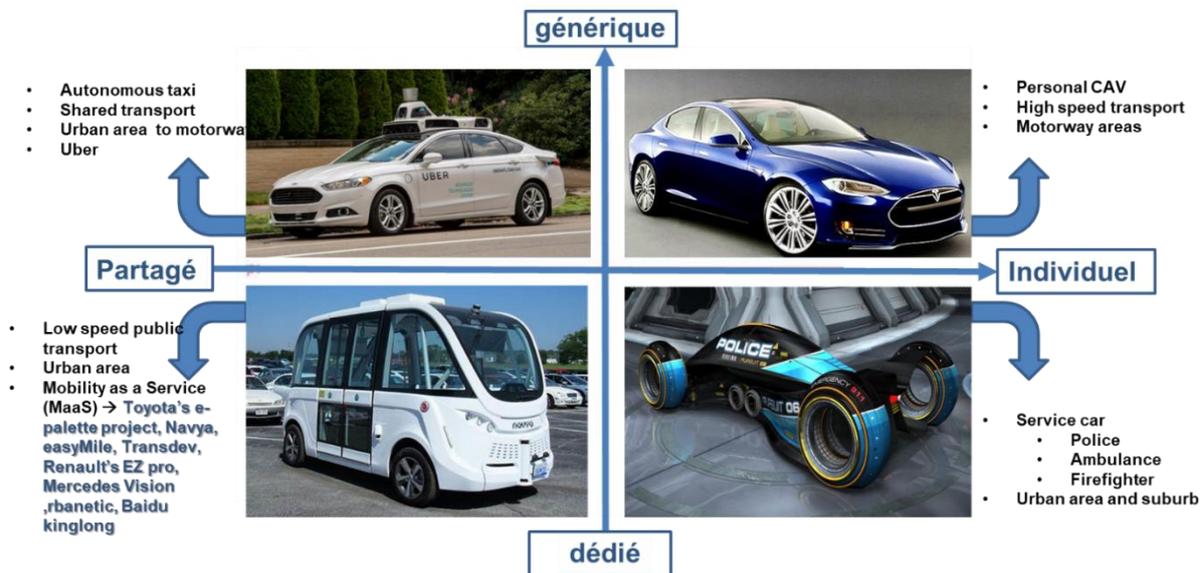


Figure 10 : Types de mobilités routières automatisées

Le premier concerne la proposition et la définition des cas d'usage et du déploiement des nouveaux services de mobilités automatisés sur les territoires. Le second aborde les défis et les enjeux technologiques et notamment la gestion complexe de l'information dans ces systèmes. Le dernier concerne l'encadrement juridique de la mobilité automatisée.

Comme évoqué en partie 1, le groupe de travail a décidé de n'aborder que 5 modes de mobilité représentatifs et ayant une grande probabilité d'être déployés : le véhicule individuel, le robot taxi, les MaaS et Pod, les navettes, et les bus.

En effet, le véritable enjeu de la mobilité de demain se situe probablement au niveau des transports collectifs et notamment des bus. Dans ce contexte, les navettes automatisées sont finalement une étape préliminaire et nécessaire avant le bus connecté et autonome qui commence à faire son apparition (Notamment des expérimentations en Chine et en France). Une classification ou priorisation « stratégique » de déploiement en adéquation avec les collectivités et les territoires peut être proposée : navettes, bus, pods, robots taxis, véhicule individuel.

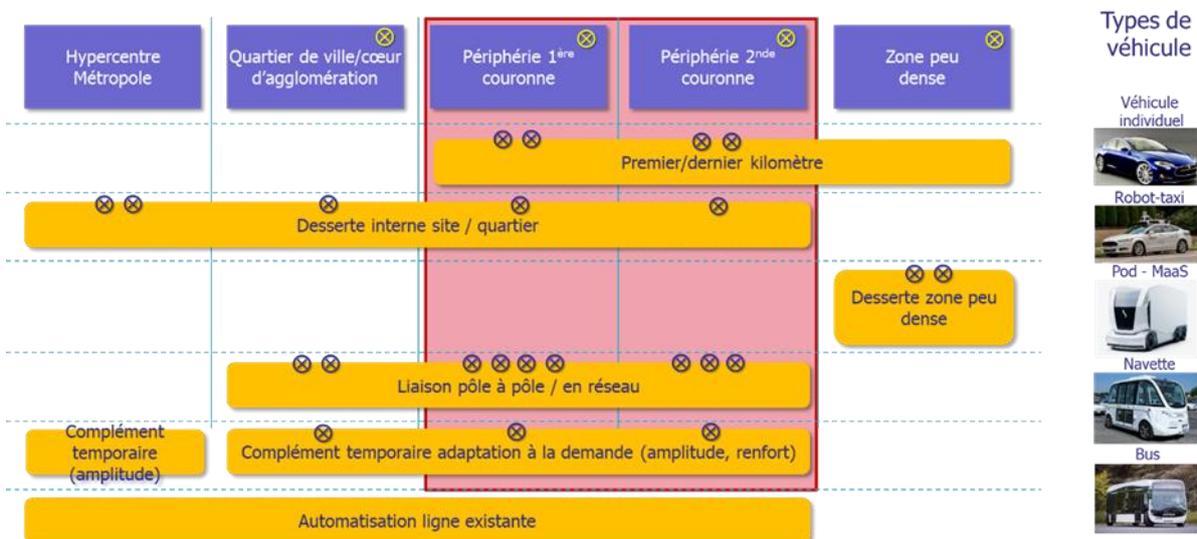


Figure 11 : Déclinaison par territoires/quartiers des cas d'usage les plus pertinents (sorties GT1)

### 2.1.3 - Identification des grands enjeux et des grandes questions

A partir des conclusions et des propositions faites en partie 1 (voir figure 11 et figure 7 du GT1), un ensemble de grandes questions relevant des enjeux technologiques ont été identifiées et priorisées :

- Faut-il instrumenter l'espace de circulation ? Si oui comment et avec quelles technologies et quel niveau de déploiement ? En fonction des cas d'usage identifiés, des réponses et des voies de développement peuvent-elles être proposées ?
- Quelle(s) approche(s) de la gestion de l'espace de circulation en cas d'usage partagé peuvent être appliquées par et pour les différents types de transport (véhicule automatisé, navette, navette aérienne guidée automatisée, etc.) ?
- Dans le cadre des moyens de mobilités automatisées, sera-t-il nécessaire d'utiliser une supervision permettant d'optimiser et de réguler les services comme déjà appliqué dans la gestion des flottes de transports en commun conventionnels ?
- Sera-t-il nécessaire d'uniformiser une technologie de communication, ou des modes mixtes pourront-ils coexister (ex. : carte SIM, 4G/5G, Wifi) ?
- Comment gère-t-on la répartition de l'intelligence entre les véhicules et les infrastructures ?
- Prend-on en compte suffisamment la cyber sécurité (Sécurité des dispositifs et des informations) et la sûreté de fonctionnement ?

- Quelle sera l'évolution des technologies à 10 ans ? Quels risques d'obsolescence, quels niveaux d'adaptabilité et de mise à jour des systèmes externes de supervision ? Quels niveaux de compatibilité et de rétrocompatibilité ?
- Y a-t-il possibilité de circuler en milieu rural sans problématique de sécurité routière ? Si oui, à quelle vitesse de service et avec quels aménagements ?
- Faut-il aborder les enjeux, les verrous et les problématiques autour de la donnée, de sa transmission, et de sa protection ?
- Quel doit être le niveau d'interopérabilité des systèmes, applications, fonctions ? Qu'est-ce que cela implique ? Faut-il des architectures capteurs/communication/logiciels/matériels compatibles et interconnectables ? Ceci pose la question des dispositifs hybrides, susceptibles d'accueillir plusieurs standards internationaux (vs cas d'usages, vs zones géographiques, vs décisions normatives, ...).
- Faut-il proposer des normes et des standards spécifiques pour les gestions des données et des formats d'échanges de données dans les services de mobilités automatisées ?
- Comment gérer les architectures de communication V2X systématiquement multi-support (G5 et 5G) afin de permettre un choix et une optimisation du support et du média de communication à utiliser ? Comment gérer l'interopérabilité des médias de communication entre les équipements installés et les nouveaux équipements ?
- De plus, dans une optique de développement durable et écoresponsable, faut-il proposer des procédures et des protocoles pour la mise à jour, l'évolution, et la maintenance des systèmes et des moyens de mobilité automatisée ? Ceci amène l'impératif de proposer des standards internationaux cohérents : au minimum européen, mais si possible worldwide.

Si nous analysons ces questions, nous pouvons les classer en 3 grands sujets impactant le déploiement des mobilités automatisées et ayant des enjeux, des problématiques et des verrous spécifiques à aborder :

- Le véhicule et ses capteurs, son matériel, et les données
- Les infrastructures matérielles et numériques
- Les services et leur viabilité économique

Dans chacun de ces sujets, sont abordés les sous thèmes, les verrous techniques, et des solutions possibles. En termes de méthode, nous nous appuyerons sur un ensemble de projets, d'initiatives, et de cas d'usage déjà déployés et expérimentés en prenant en compte des retours d'expériences : Milla (expérimentation à Vélizy); Navya (expérimentation à Lyon); Tornado (expérimentation à Rambouillet); EasyMile (expérimentation à Satory), et Rouen Normandie Autonomous Lab (Transdev, Métropole Rouen Normandie, Région Normandie, Banque des Territoires, Matmut, Groupe Renault et l'Union Européenne) qui déploie un service de mobilité automatisée sur route ouverte avec des navette Lohr. De plus, nous pouvons aussi citer plusieurs initiatives en cours sous forme de Chaires autour de la mobilité automatisée et connectée. C'est le cas de la Chaire pédagogique d'excellence Véhicule Autonome et Connecté de l'INSA Rouen Normandie en partenariat avec ALADIN, groupement ADAS de PME membres de NextMove. C'est également le cas de la Chaire ECAV (Electric, Connected and Autonomous Vehicle for smart mobility) portée par l'IFPEN et la fondation Tuck. En région Aquitaine, le projet scientifique d'ANITI se décompose en trois grands programmes de recherche : IA acceptable, IA certifiable et IA collaborative. Chaque programme de recherche réunit plusieurs chaires. Il est aussi intéressant de mentionner la précédente Chaire Drive for All portée par Mines ParisTech, Peugeot-Citroën, Safran, Valeo sur l'automatisation des véhicules terrestres.

D'autres technologies, non encore expérimentées sont susceptibles d'apporter d'autres perspectives en termes de modèles économiques, d'usages et d'usages partagés de l'espace urbain. C'est le cas des solutions de type transport aérien guidé (cf. page 41).

## 2.2 - Les capteurs, le matériel, et les données

### 2.2.1 - Les capteurs : percevoir en tout temps, en toutes conditions, avec une couverture étendue.

#### 2.2.1.1 - Etat des lieux

**Une quantité de capteurs croissante** : Plus les niveaux d'automatisation augmentent et plus la nécessité d'embarquer et d'utiliser des sources d'information de plus en plus nombreuses et diverses est nécessaire. Les enjeux abordés ne sont pas seulement la sécurité mais également la réduction de la consommation d'énergie, la réduction de l'émission de polluant, et une gestion plus efficace et optimale des services de mobilité dans différents types d'environnements (voir figure 11). La figure 12 donne une estimation non exhaustive du nombre probable de capteurs proprioceptifs et extéroceptifs qu'il sera nécessaire d'embarquer dans un véhicule autonome (niveau 5 d'automatisation). Cette estimation donne une vision assez réaliste des types et des technologies des principaux capteurs qui seront probablement utilisés : entre autres différents types de caméras, des Radars, des Lidars, des capteurs IR, des capteurs neuro-morphiques, et des systèmes de positionnement potentiellement à base de GPS. Néanmoins, ceci n'est qu'une extrapolation de l'existant. Actuellement les moyens de mobilité fondent leur fonctionnement sur un nombre limité de ces types de capteurs existants sur le marché.

**Des capteurs avec des limites de fonctionnement** : Néanmoins, il apparait clairement que les capteurs utilisés actuellement ne sont pas suffisants et qu'ils souffrent de limites liées à leurs technologies. Ces technologies subissent un ensemble de perturbations liées à l'atmosphère, à l'environnement et aux matériaux, et aux sources d'énergies présentes dans cet environnement. Ces perturbations sont partiellement représentées dans la figure 13 et impactent les capteurs en fonction de leurs bandes de fréquence.

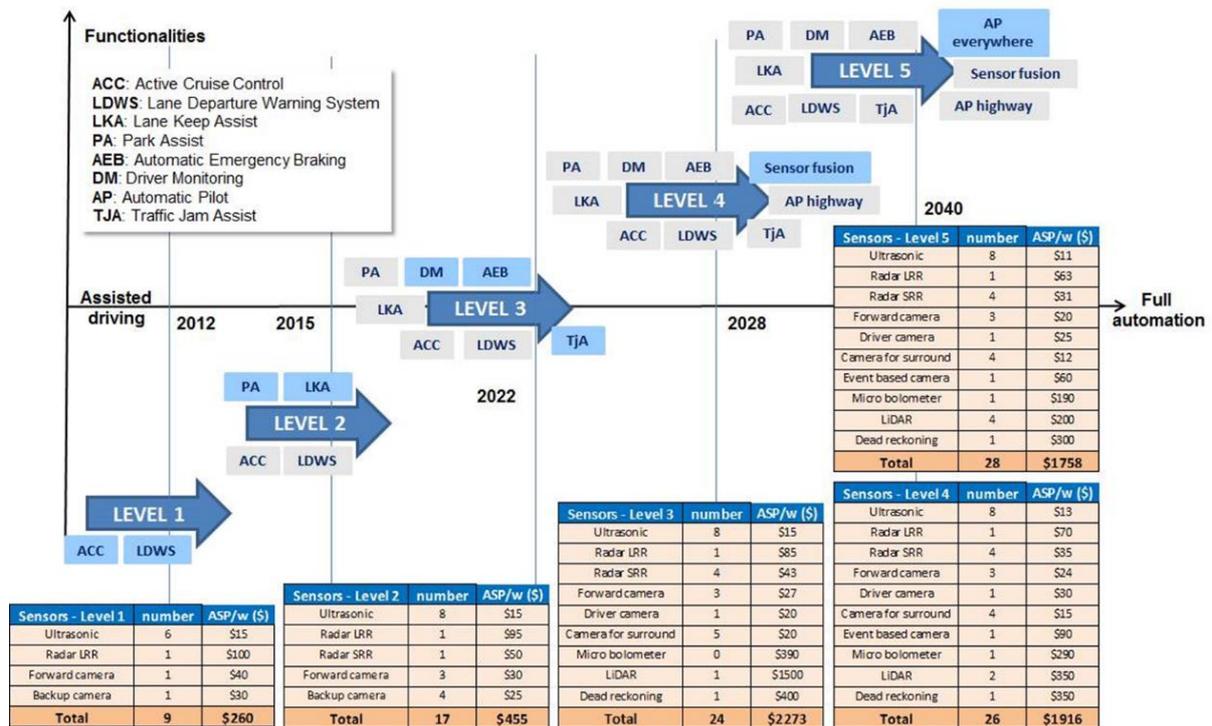


Figure 12 : Déploiement des véhicules automatisés, une complexité grandissante et un nombre de capteurs nécessaire toujours de plus en plus important

**Les capteurs, le point faible des systèmes de mobilité automatisée :** Actuellement, pour évoluer à moyennes et grandes vitesses, les moyens de mobilité automatisé sont limités à des configurations routières très linéaires, et des conditions environnementales minimisant la présence des classes de perturbations (voir figure 13). En traduction, si les moyens de mobilité veulent atteindre des vitesses élevées alors il faut rouler en ligne droite avec un environnement dégagé sans pluie, sans brouillard, et sans neige ([12] présente l'impact de la chute de neige sur la capacité perceptive du Lidar). Si nous voulons évoluer dans des environnements plus complexes et plus dégradés, alors il faut se déplacer beaucoup plus lentement. De plus, dans ces mobilités « lentes », en cas de problèmes comme la présence d'un obstacle ou une mauvaise lisibilité et visibilité des informations, alors le véhicule doit s'arrêter ou redonner la tâche de conduite à un opérateur humain. Ces types de situations ont été très fréquentes dans les expérimentations faites pour le déploiement des navettes automatisées. Par exemple, l'expérimentation faite à Versailles Satory pendant plus d'un an a montré sur un parcours de quelques kilomètres que le moindre obstacle (papier, feuilles ...) ou véhicule très proche (voiture, moto, vélo) étaient à l'origine d'un freinage d'urgence dangereux pour les occupants de la navette. Dans cette configuration, la priorité porte en effet sur des contraintes de sécurité fortes appliquées souvent au détriment du confort des passagers.

### 2.2.1.2 - Les enjeux, les leviers et freins à la mise en œuvre

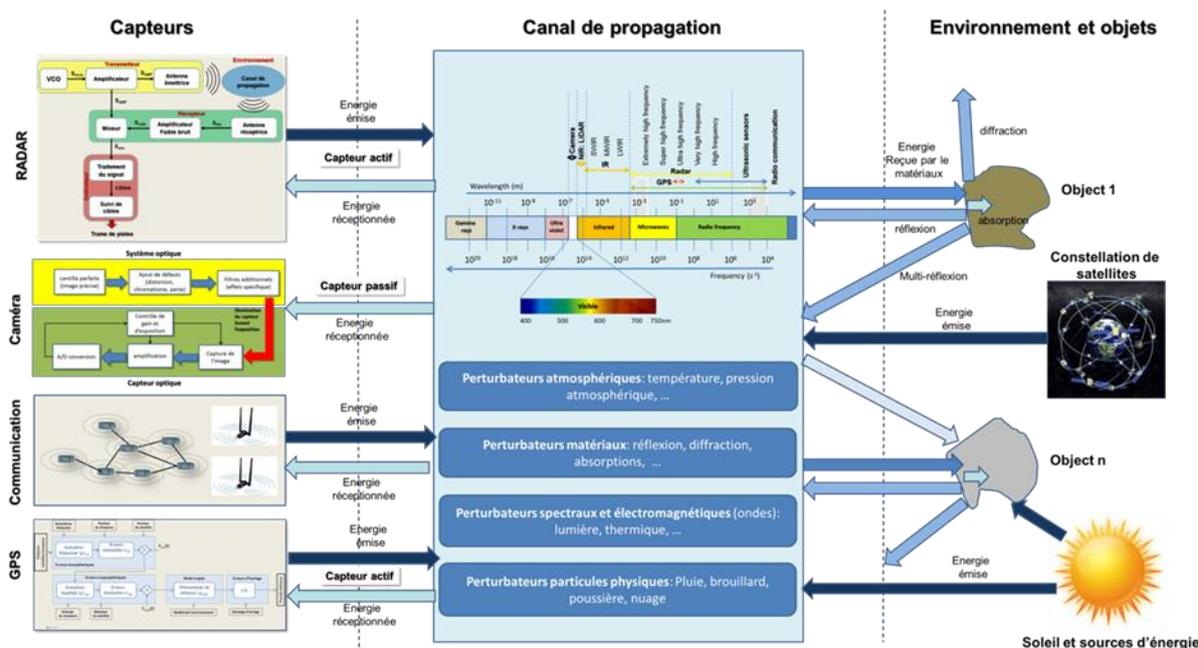


Figure 13 : Perturbateurs du canal de propagation et de l'environnement sur la qualité des capteurs et des données (source : Université Gustave Eiffel)

**Nouvelle génération de capteurs :** Afin de pouvoir garantir un fonctionnement des capteurs embarqués, des systèmes de perception, et par extension des modules de décision et de contrôle du véhicule fiable et robuste, il est nécessaire d'étudier l'amélioration des technologies des capteurs actuels [9]. En effet les capteurs actuels ADAS utilisés pour la mobilité automatisée de niveaux 2 montrent leurs limites de fonctionnement dû à leur conception. Ces capteurs assurent des fonctionnalités et des comportements hors de leurs domaines de fonctionnement initiaux.

Actuellement les pistes abordées tentent de faire émerger des solutions pour fusionner le mieux possible différentes technologies tout en détectant et en identifiant les limites de fonctionnement des capteurs. Ceci permet alors de limiter l'impact d'un capteur défectueux qui sort de son domaine de fonctionnement nominal et de placer le système de perception et par extension le véhicule automatisé dans une configuration de fonctionnement dégradé mais toujours sûre pour les usagers.

Une voie de développement consisterait à passer des capteurs actuels ADAS et robotique à des capteurs plus spécifiques et plus dédiés à une mobilité complexe et autonome en interaction avec son environnement. Les enjeux sont alors de proposer des technologies permettant d'étendre les domaines de fonctionnement pour couvrir les situations dites défavorables et dégradées. Si nous utilisons la figure 14, l'objectif serait de pouvoir avoir un capteur fiable, robuste, et précis couvrant tous les axes de performance de cette figure.

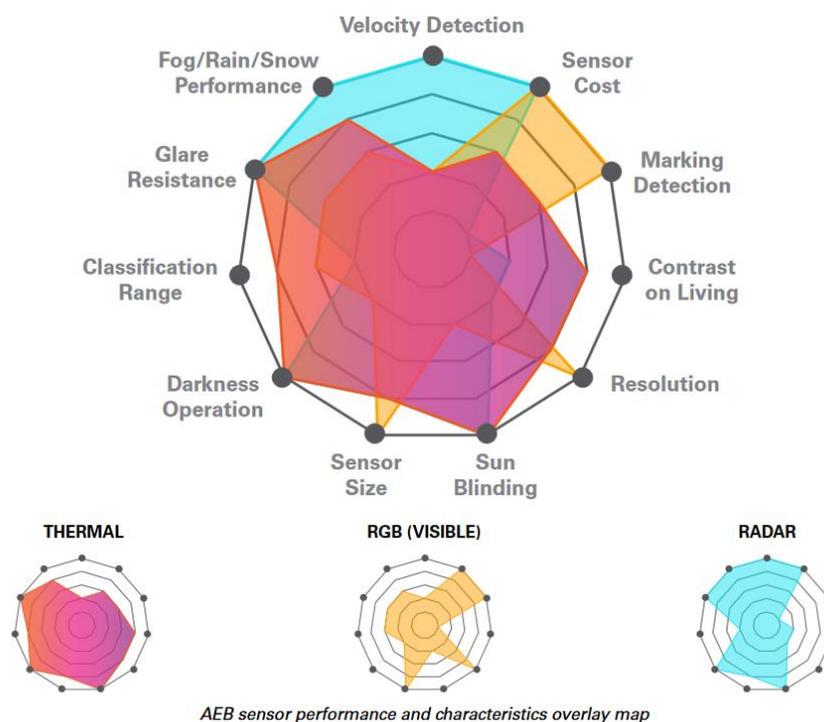


Figure 14 : Exemple de performance dans le fonctionnement des capteurs IR, camera, et RADAR (source : FLIR [17])

**Des capteurs plus intelligents et adaptés :** A terme, le véhicule doit pouvoir s'appuyer des capteurs plus « intelligents » et moins impactés par les perturbateurs présentés dans la figure 13. Néanmoins de nombreuses questions sont toujours d'actualité :

- Quels capteurs utiliser et quelles technologies ?
- Quelles topologies de capteurs et quelques architectures de traitements ?
- Quelles performances attendues pour quelles finalités ?
- Quelles compatibilités et niveaux d'interférences entre les technologies employées ?

La qualité et les performances des capteurs et des sources d'information restent des enjeux majeurs pour le déploiement des moyens de mobilité et surtout pour assurer un fonctionnement des VA en mode dégradé (problèmes d'accès à l'information, manque de visibilité, ...). Dans ce cas, les capteurs fonctionnent hors de leur domaine de fonctionnement initial et l'application d'un fonctionnement en mode dégradé est nécessaire. Les solutions identifiées pour limiter cette sortie du mode opérationnel ou minimiser l'impact de ce fonctionnement dégradé sont de 2 natures :

- La première consiste à identifier des capteurs redondants et complémentaires afin de limiter l'impact de potentielles défaillances d'un ou plusieurs capteurs. Ceci impose de pouvoir

identifier la source de la défaillance et de quantifier le niveau de fonctionnement de chaque source. Ceci va de pair avec les problématiques de sûreté de fonctionnement.

- La seconde consiste à proposer des nouvelles technologies ou des évolutions de technologies existantes afin de pouvoir répondre à des objectifs et des performances de perception bien identifiés. Ceci amène une autre question : quelles sont les besoins du VA en termes d'informations, dans quelles situations, et avec quel domaine de fonctionnement ?

Actuellement, les travaux réalisés sur les capteurs concernent l'exploitation des données brutes, leur mise en forme pour respecter des spécifications génériques, et la qualification et quantification des informations produites pour garantir un haut niveau de qualité en fonction des environnements rencontrés et des contextes de conduite. Par conséquent, la question reste : comment utiliser et exploiter au mieux les données sans risque de dysfonctionnement ou de défaillance pour les modules aval de traitement de l'information ? De plus, se pose la question de la valeur et de la pertinence des capteurs « intelligents » produisant des informations à un niveau sémantique et/ou symbolique. Pour la notion de "symbolique", ça concerne les représentations conceptuelles et synthétisées des éléments, des situations, des configurations, des actions ... Dans des cartes de perception dynamique locale et étendue, ça permet de synthétiser une partie de l'information sous forme d'un symbole auquel on va rattacher une configuration (variables, paramètres) avec leur plage de valeurs, et des notions dynamiques potentiellement abstraites pour représenter des activités et des actions. Pour l'aspect sémantique, ça concerne la capacité à fournir une signification et un sens à la donnée. Par exemple, le fait d'avoir un usager vulnérable ou non vulnérable porte un sens important du point de vue du risque d'une situation. Une configuration spatiale et temporelle d'un véhicule relativement aux voies de circulation portera une sémantique (véhicule en train de changer de voie, en train de changer de direction dans une intersection, s'engageant dans une manœuvre interdite, ...)

### 2.2.1.3 - Actions et préconisations

**Préconisation 1** : Mise en œuvre d'initiatives de recherches et de développements sur les **nouvelles générations et nouvelles technologies de capteurs embarqués plus résilients et plus robustes aux conditions dégradées et défavorables**. Ces capteurs seront plus « intelligents » et intégreront des traitements bas niveau au plus proche du capteur. Cette notion d'intelligence recouvre également les concepts d'autodiagnostic, de quantification du niveau de performance temps réel, et d'adaptation aux conditions de visibilité courantes. Les utilisations directes de ces capteurs concernent l'estimation fiable, précise, et certaine des attributs des acteurs de la scène routière :

- **Obstacles** : détection, suivi, reconnaissance et identification
  - **Routes** : détection, suivi, reconnaissance et identification (marquages, voies, singularité)
  - **Ego-véhicule** : Positionnement et ego-localisation (pouvant également servir pour la calibration spatiale et temporelle des informations provenant d'autres sources et mobiles)
  - **Environnement** : détection et identification de la présence de perturbateurs (i.e. conditions climatiques), de signalisation routière verticale, de mobiliers urbains, de singularités structurelles (pont, tunnel, ...).
  - **Conducteur** : détection et identification de l'état courant (type d'occupation, zone d'intérêt, comportement, état physiologique, ...)
- *Porteurs : Fournisseurs de véhicules, Instituts et laboratoires de recherche (Université, EPST, EPIC, IRT, ITE, ...).*
- *Parties prenantes : Constructeurs et équipementiers automobiles & poids lourds, constructeurs de véhicules de transport en commun (tram, bus, et navettes), fournisseurs et fabricant d'équipement et capteurs pour l'infrastructure.*

**Préconisation 2 :** Construction d'une **filière** abordant la problématique des **capteurs et de la simulation des capteurs pour les « ADAS tout temps »** nécessaires spécifiquement pour les systèmes de mobilité automatisée. Cette initiative doit aborder les domaines, les fonctions, et par extension les questions de R&D énumérées dans la figure 15.

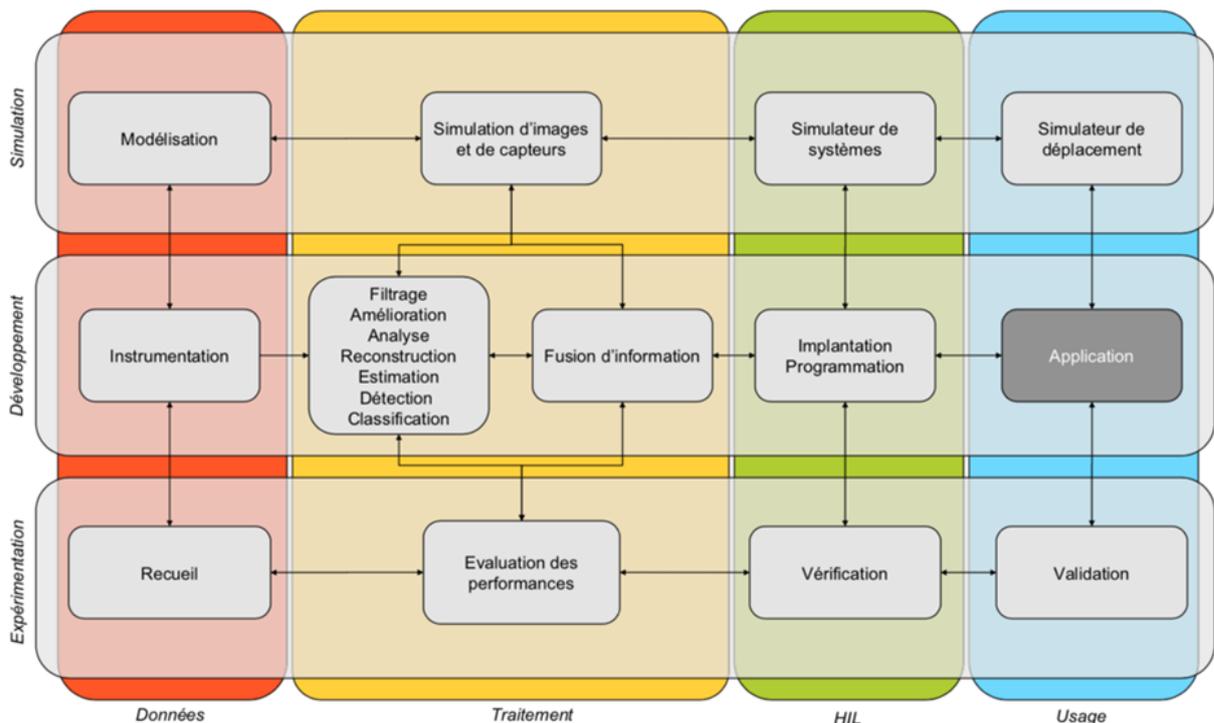
- *Porteurs : Instituts et laboratoires de recherche (Université, EPST, EPIC, IRT, ITE, ...), éditeurs de suites logicielles (dans le domaine de la simulation), Pôles de compétitivité.*
- *Parties prenantes : Sociétés assurant la certification et l'homologation, sites de test, services techniques de l'Etat.*

**Préconisation 3 :** Proposer un **cadre** normatif pour les étapes de **test, d'évaluation, de validation, et de certification des capteurs et des moyens de perception**. Ce cadre doit s'appliquer aussi bien aux environnements virtuels (modèles et outils de simulation) qu'aux environnements réels. Ce domaine de l'évaluation et de la validation amène à proposer une génération automatisée des scénarios de test, des métriques adaptées (qualitative, quantitative, et sémantique), et la génération de vérité terrain et de leur pertinence ou domaine d'applicabilité.

- *Porteurs : Sociétés assurant la certification et l'homologation, les sites de test, services techniques de l'Etat.*
- *Parties prenantes : Fournisseurs de véhicules, Constructeurs et équipementiers automobiles & poids lourds, constructeurs de véhicules de transport en commun (tram, bus, et navettes), fournisseurs et fabricant d'équipement et capteurs pour l'infrastructure.*

**Préconisation 4 :** Proposer des recherches sur les problèmes de **restauration des données** produites par un capteur en cas de dégradation par des événements connus et modélisables (par exemple pluie, brouillard)

- *Porteurs : Instituts et laboratoires de recherche (Université, EPST, EPIC, IRT, ITE, ...), laboratoires R&D privés.*
- *Parties prenantes : Fournisseurs de véhicules, Fournisseurs et fabricant d'équipement et capteurs pour l'automobile et l'infrastructure.*



## 2.2.2 - Les données et leur traitement : des données massives aux données intelligentes

### 2.2.2.1 - Etat des lieux

**La fusion des données pour une perception résiliente :** De plus en plus, afin de pouvoir minimiser les risques de défaillance, de mauvais fonctionnement, et de dégradation de la perception, les systèmes embarqués et les algorithmes de traitement de l'information doivent fusionner un nombre croissant de types d'informations produits par plusieurs types de technologies [11]. Il est clair que la configuration des sources d'information et la couche de perception/localisation est prioritaire et critique car elle alimente les traitements plus hauts niveaux comme les systèmes de décision et les modules de génération des trajectoires, des actions, et des manœuvres. Sans perception, pas de connaissance de l'environnement, et pas de possibilité de planifier des trajectoires, des manœuvres, et des actions.

#### **L'ego-localisation, une fonction primordiale pour connaître notre état courant et nos états futurs.**

De plus, pour automatiser la mobilité, la perception de l'environnement pour la détection et le suivi des obstacles et les attributs de la route (marquage, nombre de voies, singularité de type intersection, ...) n'est pas suffisant. Il faut également disposer d'une localisation aussi bien relative qu'absolue permettant de connaître notre positionnement courant et de prédire notre état futur.

Cette ego-localisation pour le VA est essentielle et doit répondre à un grand nombre de contraintes permettant de garantir un haut niveau de qualité de service et d'information. En effet, cette fonction doit fournir une grande précision, assurer une continuité du service même en environnements contraints (canyon urbain, tunnel, ...), avoir une grande robustesse, être fiable, et surtout fournir des données intègres.

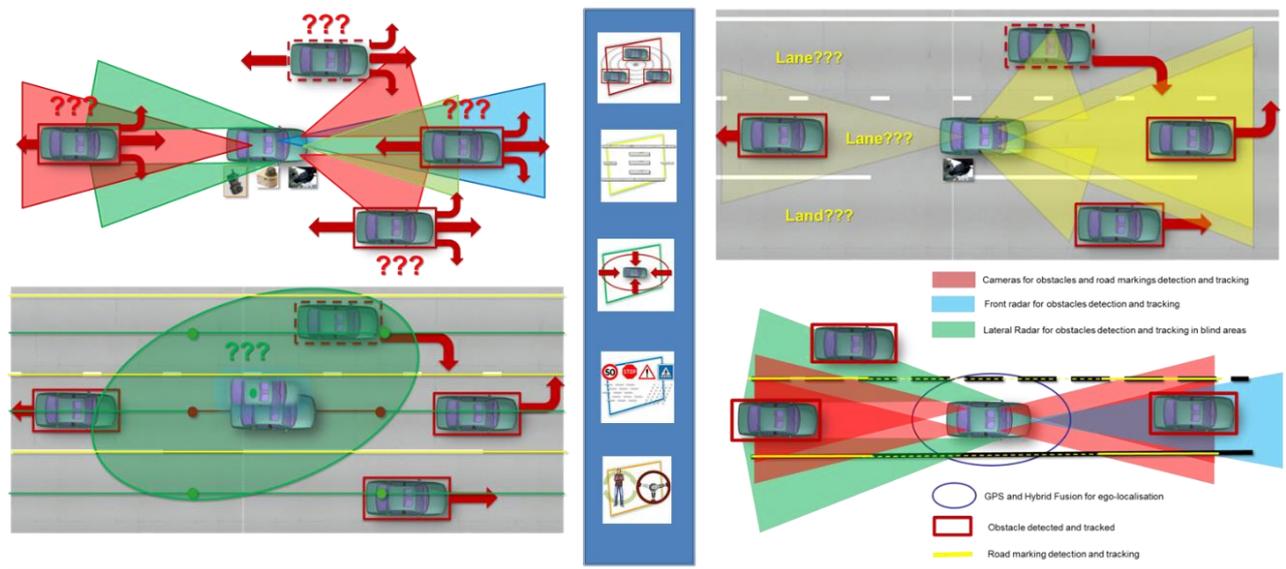
Pour répondre à ce défi, de très nombreuses études et développements ont été réalisés. Logiquement et intuitivement, les solutions proposées s'appuient souvent sur l'utilisation du GNSS (exploitation des différentes constellations de satellites comme le GPS et Galileo). Néanmoins des approches récentes utilisent également des approches coopératives utilisant des capacités et des services fournis par l'infrastructure. Ces services se traduisent souvent par la génération, la mise à jour, et la mise à disposition de Digital Twin et de HD-Maps.

De plus, les communications V2X permettent d'obtenir des informations partagées par les autres usagers de la route équipés de moyens de communication et de module de perception et localisation. Cette localisation étendue, distribuée, coopérative permet d'augmenter la quantité d'information utilisable, et garantit des performances et une continuité de service accrue.

Cet aspect ego-localisation distribuée et communicant sera abordé dans la section dédiée aux infrastructures physiques et numériques. Ensuite, dans le cadre d'une mobilité sur un parcours prédéfini, connu, et limité en distance, des méthodes relatives de type SLAM sont disponibles. Dans ce type d'application, les solutions sont diverses et variées et exploitent, entre autres, des approches bio-inspirées, par Deep-Learning, et par fusion multi-sources (caméras et Lidars). Néanmoins, les approches de type SLAM comme les approches à base d'IA nécessitent l'utilisation de beaucoup de ressources en puissance de calcul et en mémoire.

**L'omniprésence de l'IA :** Depuis une décennie, afin de pouvoir améliorer les performances des modules de perception, de nombreuses recherches et initiatives proposent d'utiliser des méthodes de perception à base d'algorithmes utilisant de l'IA par apprentissage. Nous pouvons même affirmer que depuis quelques années, l'utilisation de telle méthodes (Machine Learning, ANN, CNN, Deep Learning ... au sens large, les méthodes par apprentissage) est devenue incontournable [10]. Néanmoins ces approches ne sont pas encore suffisantes pour garantir le niveau de perception nécessaire pour garantir une fiabilité et une robustesse suffisante au déploiement des mobilités automatisées. Néanmoins, les méthodes proposées dans la littérature scientifique proposent déjà des solutions pour estimer les attributs et l'état des principaux acteurs de la scène routière (figure 16 et 17). Ces méthodes ont les fonctionnalités suivantes :

- Estimer en temps réel le niveau de performance, de qualité, et d'incertitude des capteurs et de leurs données.
- Détecter et identifier des objets statiques et/ou dynamiques dans l'environnement (acteur obstacle « vulnérable », « non vulnérable », « statique », « dynamique »).
- Détecter et identifier des zones roulables/navigables et les types de signalisation horizontales et verticales (acteur « route » et acteur « environnement »).
- Détecter l'état courant de l'égo-véhicule et détecter les potentielles dégradations et défaillances dans sa dynamique et ses comportements (acteur « ego-véhicule »).
- Détecter et identifier les conditions atmosphériques et climatiques courantes (acteur « environnement »).
- Segmenter l'environnement en zone sémantique (acteur « environnement »).
- Identifier des défaillances et cyber attaques niveaux.
- Générer des décisions et des actions pour contrôler l'évolution des véhicules.
- Détecter et anticiper l'état, le comportement, et les intentions des usagers [acteurs « conducteur » et les usagers (acteur obstacle « vulnérable »)].



*Figure 16 : La perception de l'environnement consiste à estimer les attributs et l'états de 5 acteurs majeurs de la scène routière : les obstacles, la route, l'égo-véhicule, l'environnement, et le conducteur (source : Université Gustave Eiffel).*

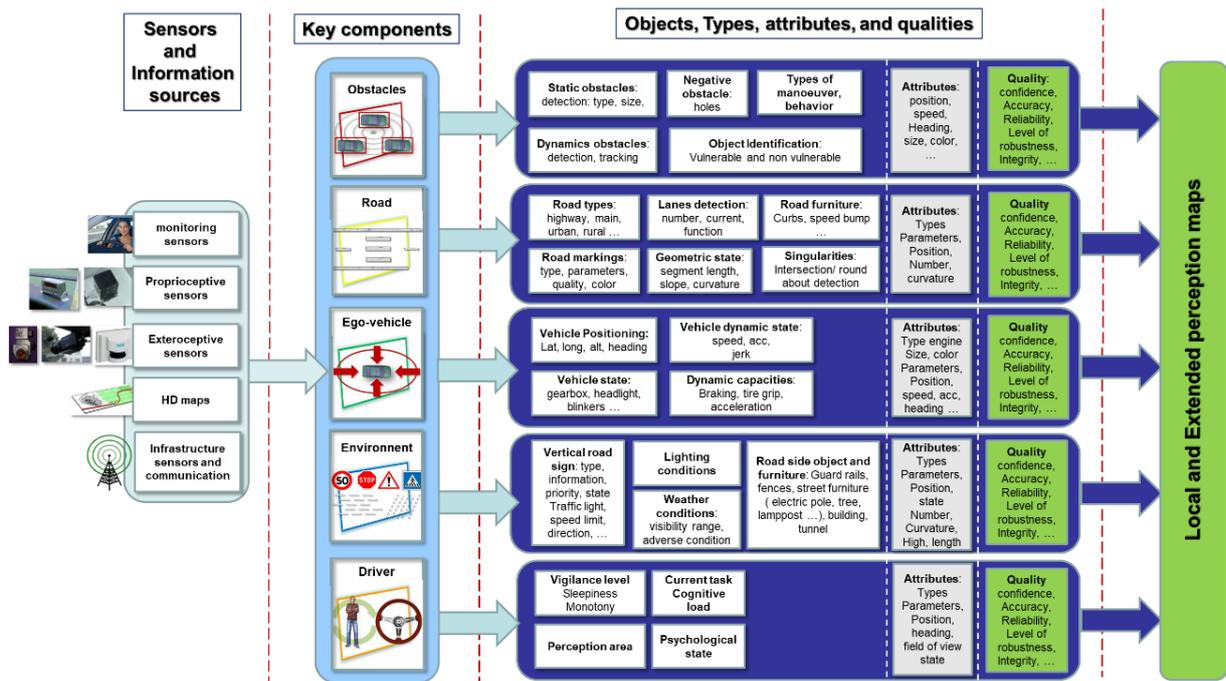
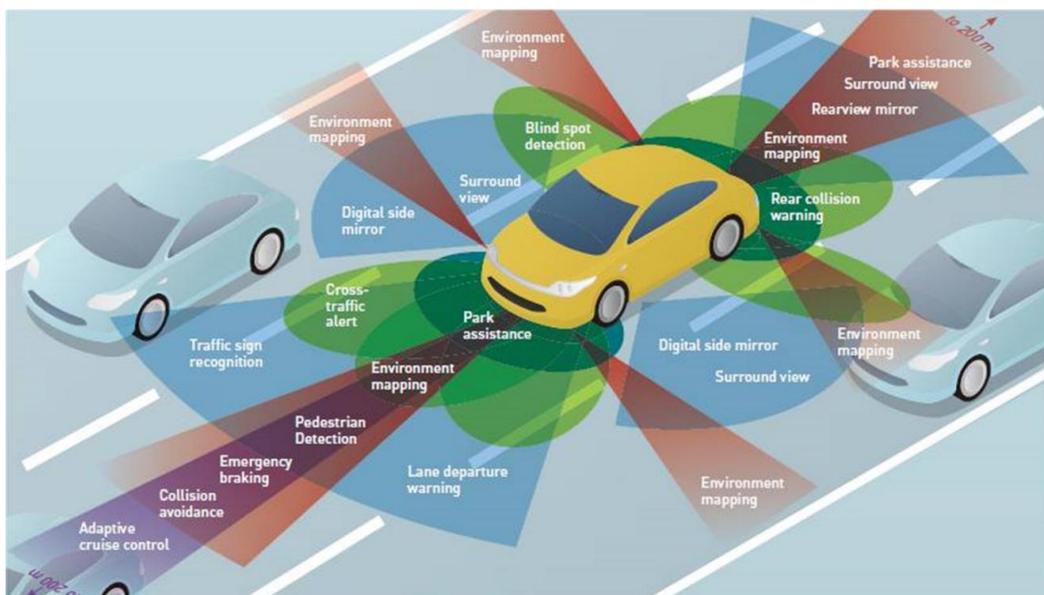


Figure 17 : Ensemble des informations potentiellement présentes une carte de perception dynamique locale ou étendue (source : Université Gustave Eiffel).

**Une quantité et une complexité des données croissantes :** L'utilisation d'un nombre croissant de capteurs qui disposent de résolutions et de périodes de fonctionnement en croissance constante implique une augmentation très significative de la quantité de données à traiter. Ceci amène donc les constructeurs et les équipementiers à adapter les architectures matérielles et logicielles afin de pouvoir traiter ces flux de données de manière fiable et efficace. De plus, chacune des données doivent être associées à une quantification de sa qualité et de son niveau d'utilisabilité (figure 17). Ceci amène à générer de nombreuses données, d'où le problème de la gestion des données massives. De plus en plus les architectures matérielles sont soit distribuées soit utilisent des architectures basées sur des nouvelles technologies (GPU, carte neuromorphique, calculateur quantique ...).



### 2.2.2.2 - Les enjeux, les leviers et freins à la mise en œuvre

**IA, apprentissage et interprétabilité** : Concernant les traitements d'information à base de système par apprentissage, deux problèmes importants subsistent : l'apprentissage et la compréhension du fonctionnement et des résultats.

En effet, comment comprendre et interpréter le fonctionnement et les résultats obtenus par ces méthodes à base d'IA alors qu'elles sont souvent constituées de réseaux et de graphes de neurones avec des poids servant à avoir des représentations polynomiales pour modéliser des environnements, des objets, des événements, des comportements ...

Ces méthodes sont donc proches de « boîte noire » dont il est impossible à ce stade de garantir la pertinence des résultats en toutes situations.

De plus, afin de pouvoir utiliser ces méthodes, une étape d'apprentissage est nécessaire.

En effet, ces méthodes ne peuvent rien produire d'autre que ce qu'on leur a appris. Ceci nécessite donc de disposer de données en grand nombre et suffisamment représentatives pour couvrir tous les cas d'usage et toutes les configurations et situations pouvant être rencontrées par le système.

Si un algorithme a appris à reconnaître uniquement des véhicules à moteur, alors il ne sera pas en mesure de pouvoir reconnaître des piétons ou des objets faisant partie du mobilier urbain. Ceci nécessite donc d'intégrer des nouvelles notions d'apprentissage sous incertitude et de quantification du niveau d'incertitudes des résultats.

Cette nouvelle étape est primordiale pour permettre la détection de défaillances du système et ainsi mettre à jour ce système avec une nouvelle phase d'apprentissage. De plus, il semble pertinent de pouvoir aborder les notions d'interprétabilité et de consistance des résultats fournis par ces algorithmes. De plus en plus de travaux de recherche se penchent sur ces problématiques.

Cet enjeu concerne les « Synthetic Data » qui englobent les notions et systèmes de construction et de génération de données créées artificiellement plutôt que générées par des événements réels. Ces données « augmentées » sont alors utilisées comme données de test, d'évaluation, validation de nouveaux produits, outils, et modèles.

De nombreux travaux dans ce domaine sont proposés par des sociétés comme Intel, Baidu, NVIDIA. Plusieurs objectifs sont généralement recherchés. Le premier concerne la réalité améliorée comme ce qui est proposé par Intel et son approche de Deep Learning pour l'amélioration du photo réalisme d'une image.

Cette approche s'appuie sur un apprentissage des modificateurs à partir de dataset de données réelles. La seconde est la réalité augmentée qui consiste à ajouter des artefacts et des objets dans un flot de données réelles ou virtuelles (i.e. Baidu et NVIDIA). C'est le cas des travaux de l'INRIA avec l'ajout de données simulées brutes dans le flot de données d'un capteur réel de type Lidar. Le troisième est la réalité enrichie qui consiste à ajouter des artefacts (réel/virtuel) pour peupler une scène. NVIDIA (Omniverse, DRIVE Sim, and digital twin) de son côté construit à partir de données réelles un jumeau numérique qu'il va ensuite pouvoir modifier pour produire de nombreux scénarios virtuels.



*Figure 19 : Deep Learning pour l'amélioration du photo réalisme d'une image (INTEL), et réalité augmentée avec Drive Sim de NVIDIA.*

Dans le Grand Défi IA, le projet Confiance.AI<sup>7</sup> propose des recherches sur 5 axes : la caractérisation de l'IA, l'IA de confiance by design, l'ingénierie de la donnée et des connaissances, la maîtrise de l'ingénierie système fondée sur l'IA et l'IA de confiance pour l'embarquer. Ce projet a pour ambition de proposer des solutions efficaces pour la construction de composants IA à confiance maîtrisée, la construction de données/connaissances pour augmenter la confiance dans l'apprentissage ou encore l'interaction générant de la confiance entre l'utilisateur et le système fondé sur l'IA.

**Evaluation et validation :** Avant de pouvoir déployer les premiers moyens de mobilité automatisée sur les infrastructures routières adaptées ou non, il est critique de pouvoir mettre en œuvre les procédures, protocoles et métriques pour évaluer, valider et certifier les applications, les systèmes, les fonctions, et les modules entrant dans leur conception. L'évaluation des performances peut être considérée à plusieurs niveaux : quantitatif, qualitatif, et sémantique. Il est donc pertinent d'adapter une approche multi-systèmes en testant les technologies des véhicules automatisés sur des systèmes de transports dont le fonctionnement et l'environnement d'évolution est proche de celui des VA. Il pourrait également être pertinent de considérer la possibilité de modélisation, de test et de développement de certaines briques technologiques grâce au développement du système de transport aérien guidé par exemple. Les navettes de ce système ressemblent à celles qui fonctionnent sur les routes, toutefois elles bénéficient d'un site propre intégral et donc sans perturbation parasite externe. Cela permettra de concevoir un système de communication, détection, dont la robustesse viendra d'une solidité avérée de l'IA qui sera testée comme un corps unifié et unique. De plus, de manière à tester des configurations extrêmes et critiques, l'utilisation d'environnements de test réels contrôlés et de plateformes de simulation (ViL, HiL, MiL, SiL) devient indispensable. Néanmoins, ces moyens expérimentaux de test doivent également être validés et certifiés. En effet, même si la simulation est parfaite pour générer des scénarios répétables et contrôlables, pour générer des vérités terrain, et pour permettre l'application de très nombreuses procédures de test automatisés, il est nécessaire de pouvoir vérifier et valider les niveaux de représentativité des modèles utilisés [15]. Ces procédures de validation sont très gourmandes en termes de scénarios à générer et de traitement de ces données afin de construire des références et d'évaluer les performances des algorithmes, des fonctions, et des applications. De nombreux travaux se penchent sur ce problème de génération de scènes, de scénarios, et de datasets représentatifs des situations pouvant être rencontrées dans l'environnement routier. C'est le cas de SystemX avec MOSAR, et de l'association européenne ASAM avec sa suite OpenX (OpenODD, OpenDrive, OpenScenario, ...). Néanmoins la quantité de scénarios, de situations, d'événements, de variables, et de paramètres à générer et à manipuler est clairement exponentielle. C'est pour cette raison que des recherches sont réalisées sur la réduction de la combinatoire, la réduction des espaces, et l'optimisation de la couverture de test. Le CEA et l'INRIA mènent des recherches actives sur ces domaines. Même si ces traitements

<sup>7</sup> Confiance.AI : concevoir et industrialiser des systèmes à base d'intelligence artificielle de confiance - <https://www.confiance.ai/>

peuvent être fait hors temps réel et en post-traitement, il est essentiel de disposer de plus en plus de puissance de traitement et de stockage. Ces ressources ne pouvant pas être raisonnablement embarquées dans un véhicule, elles sont souvent mises à disposition dans des centres serveurs distants. Côté Français, le Grand Défi IA finance le projet PRISSMA<sup>8</sup> qui a pour objectif de proposer des définitions, des procédures, des méthodes, des outils, et des métriques permettant de pouvoir évaluer, valider, et pré-certifier des systèmes de systèmes, et des systèmes à base d'IA pour la mobilité automatisée.

**Le stockage et le traitement des données de grande taille :** La quantité des données et les ressources en termes de capacité et de puissance de traitement (mémoires, processeurs, support de stockage) permettant d'alimenter et de faire fonctionner des services de mobilité automatisé explosent littéralement ces dernières années. Ainsi la constitution, l'exploitation, et la mise à jour des cartes HD nécessitent des capacités de stockage très grandes mais également des temps d'accès très courts de manière à pouvoir transmettre à un véhicule des « tuiles » (sous partie de la carte totale) autour de sa localisation. De plus, le traitement des données embarquées nécessite des architectures matérielles et logicielles de plus en plus performantes et puissantes. Ceci pose un ensemble de questions sur la topologie matérielle et logicielle à mettre en œuvre. Comment doit-on gérer et distribuer l'intelligence et le traitement des données ? Est-il nécessaire d'embarquer et de stocker le maximum d'information dans le véhicule ou alors doit-on distribuer ces informations entre le véhicule et des centres serveurs ? Ces besoins se traduisent par un intérêt de plus en plus grandissant du Edge Computing aussi bien pour aider les fonctions de perception/décision/planification embarquées, débarquées et de Supervision/Hypervision des flottes de véhicules automatisés. Même si ces traitements (perception/décision/planification) peuvent être fait en embarquer, avec l'omniprésence des traitements à base d'IA, il devient essentiel de disposer de plus en plus de puissance de calcul et de stockage. Ces ressources seront de plus en plus difficiles à embarquer dans un véhicule. Il est donc pertinent de penser qu'une partie non négligeable de ces traitements et de ces applications sera gérée depuis l'infrastructure et des centres serveurs distants. Par conséquent une partie des traitements nécessaires au fonctionnement d'un véhicule se fera de plus en plus à distance (Cloud Computing). Ceci est entre autre proposé dans le projet Trapèze.

**Une standardisation des données pour une meilleure efficacité et interopérabilité :** Dans les services de mobilité automatisée, de nombreux véhicules de technologies différentes, utilisant des capteurs et des traitements embarqués différents, des cartographies HD différentes devront cohabiter, interagir et coopérer. Ceci amène la nécessité de prendre en compte les notions de généricité et d'interopérabilité des informations et des connaissances. Il faudra en effet que les véhicules équipés soient en mesure de communiquer efficacement avec leur environnement de manière à comprendre, prédire, et anticiper des situations à risque. Plusieurs groupes de travail au niveau européen travail sur ces questions d'uniformisation et de standardisation des données. De plus, comme les données provenant des capteurs, il est nécessaire de pouvoir assurer un haut niveau de qualité des informations en sortie des différents niveaux de traitement de l'information (perception, localisation, décision, planification, action). Une mise en œuvre de mécanisme de quantification de la qualité des données, de leur disponibilité, de leur lisibilité, et de leur niveau de performances permettra de connaître l'état de fonctionnement ou de dysfonctionnement des différentes parties d'une application complexe et de pouvoir réagir efficacement et de manière adaptée.

**Les niveaux de traitement et les niveaux de données :** Avec le déploiement des premiers prototypes et des premières expérimentations, il apparait que les informations et par extension les sources d'information nécessaires sont réparties sur 3 niveaux/couches :

- **Les informations en interaction directe :** carte de perception dynamique locale obtenue à partir des capteurs embarqués et des informations locales à un ego-véhicule.

---

<sup>8</sup> PRISSMA : Plateforme de Recherche et d'Investissement pour la Sûreté et la Sécurité de la Mobilité Autonome  
- <https://prissma.univ-gustave-eiffel.fr/>

- **Les informations en interaction indirecte** : carte de perception dynamique étendue utilisant des sources distantes et des moyens de communication V2X
- **Les jumeaux numériques et les cartes HD** intégrant des modèles de l'infrastructure routière complétant les informations présentes sans les cartes de perception dynamique locales et étendues.

Au niveau des traitements de l'information, trois niveaux sont également identifiés :

- **La Vision** (embarquée) qui concerne surtout les aspects perception et localisation locales du véhicule et du moyen de mobilité automatisée,
- **La Supervision** (centre de supervision), qui concerne plus les aspects gestion à distance des flottes de mobiles automatisés suivant un ensemble de stratégies, de critères, et de contraintes courantes ou prédites (modèles d'anticipation et d'extrapolation)
- **L'Hypervision** (globale) qui couvre la manipulation d'informations haut-niveaux et potentiellement sémantiques pour gérer un ensemble de flottes de véhicules distribués gérées par différents centres de supervision.

Concernant les aspects « sécurité » des véhicules routiers et des véhicules automatisés et connectés, un ensemble de normes est proposé et présenté dans le tableau 1. Ces normes concernent aussi bien la sécurité des usagers, que l'échange des données et des informations, que la fusion des données, que les systèmes logiciels, que la cybersécurité. Chaque système développé et proposé pour le déploiement des VAC devra prendre en compte ces normes pour être validé, certifié, et homologué. Concernant le développement des systèmes à base d'IA, le LNE<sup>9</sup> a proposé en juillet 2021 un référentiel de certification de processus pour l'IA abordant les aspects « conception », « développement », « évaluation » et « maintien en conditions opérationnelles » [8].

Dans l'ensemble des normes présentées dans le tableau 1, le SOTIF<sup>10</sup> (ISO/PAS 21448 :2019 Véhicules routiers - Sécurité de la fonction attendue) est un peu particulier. En effet, cette norme s'intéresse à la nature spécifique des fonctions et des applications alors que l'ISO 26262 s'intéresse davantage aux moyens d'éviter les dysfonctionnements. En effet, l'utilisation de technologies et d'architecture logicielle complexes pour les ADAS de plus en plus actives (automatisation de la conduite) nécessite de pouvoir estimer si le fonctionnement d'une application peut présenter des dangers potentiels. Il ne s'agit donc plus seulement de protéger les systèmes contre les dysfonctionnements (sécurité fonctionnelle) mais de proposer des nouvelles approches pour l'analyse du fonctionnement et des performances des systèmes critiques.

Dans ce contexte, l'absence de risque déraisonnable dû à des comportements dangereux liés à la fonctionnalité prévue ou aux limitations de performance est défini comme la sécurité de la fonctionnalité prévue (SOTIF). L'objet de cette norme est de fournir des lignes directrices sur la conception, la vérification et les mesures de validation nécessaires pour atteindre la SOTIF.

La sécurité intrinsèque des composants électriques / électroniques reste une tâche de sécurité fonctionnelle couverte par l'ISO 26262. La norme SOTIF couvre également les aspects « Interface Homme Machine ». Quant à la cybersécurité (attaques externes), elle est principalement couverte par les normes ISO/SAE 21434 et SAE J3061. L'ISO 21434<sup>11</sup> couvre chaque étape du cycle de vie du véhicule, de la conception à la mise hors service, en passant par l'ingénierie sécurisée et le développement de produits. Dans ce cadre, l'ingénierie de la cybersécurité s'applique aux véhicules connectés, aux systèmes électroniques, aux logiciels, etc. De plus, cette norme de sécurité automobile donne aux développeurs une feuille de route détaillée pour intégrer des mesures de sécurité dans les processus de

<sup>9</sup> Laboratoire national de métrologie et d'essais

<sup>10</sup> SOTIF (Security Of The Intended Function): <https://www.iso.org/fr/standard/70939.html>

<sup>11</sup> ISO/SAE 21434 Cybersécurité et conformité automobile - <https://www.iso.org/fr/standard/70918.html>

développement tout au long de la chaîne d'approvisionnement. Plus spécifiquement, l'ISO 21434 aborde les aspects suivants :

- La définition d'un processus structurant pour la cybersécurité dans les phases de conception.
- L'établissement et le maintien d'un cadre cohérent pour la cybersécurité à l'échelle mondiale.
- La fourniture d'une approche informée des menaces pour guider les contrôles de sécurité.
- L'adoption et l'application d'une approche basée sur les risques.
- La fourniture des conseils pour développer un système de gestion de la cybersécurité (CSMS) pour les véhicules.
- L'identification des lignes directrices pour la cybersécurité tout au long du cycle de vie du véhicule.

Quant à la SAE J3061<sup>12</sup>, elle définit un cadre pour les processus intervenant dans le cycle de vie de sécurité pour les systèmes de véhicules cyber-physiques. Il fournit des conseils et des informations de haut niveau sur les outils, les méthodes, et les bonnes pratiques liées à la cybersécurité. La SAE J3061 établit un ensemble de principes directeurs de haut niveau pour la cybersécurité en ce qui concerne les systèmes de véhicules cyber-physiques. Ceci comprend :

- Définir un cadre de processus de cycle de vie complet qui peut être adapté et utilisé dans les processus de développement de chaque organisation pour intégrer la cybersécurité dans les systèmes de véhicules cyber-physiques, de la phase de conception à la production, l'exploitation, le service et le démantèlement.
- Fournir des informations sur certains outils et méthodes courants utilisés lors de la conception, de la vérification et de la validation des systèmes de véhicules cyber-physiques.
- Fournir des principes directeurs de base sur la cybersécurité pour les systèmes de véhicules.
- Jeter les bases d'autres activités d'élaboration de normes dans le domaine de la cybersécurité des véhicules.

Les aspects « communication avec l'infrastructure routière et d'autres véhicules (V2X) » sont abordés dans l'ISO 20077<sup>13</sup> Véhicules routiers - Véhicule étendue (ExVe). Initialement cette norme spécifie les règles générales et les principes de base que le constructeur du véhicule étendu (ExVe) prend en compte lors de l'élaboration de sa propre méthode de conception. Cependant, avec l'utilisation de nouvelles interfaces et vecteurs de communications de plus en plus obligatoires dans le développement des véhicules automatisés, l'ISO est également applicable dans la conception des fonctionnalités ExVe impliquant l'utilisation de la connectivité.

---

<sup>12</sup> J3061\_202112: Cybersecurity Guidebook for Cyber-Physical Vehicle Systems (Stabilized Dec 2021) - [https://www.sae.org/standards/content/j3061\\_202112/](https://www.sae.org/standards/content/j3061_202112/)

<sup>13</sup> ISO 20077-1:2017, Véhicules routiers — Méthodologie du véhicule étendu (ExVe). <https://www.iso.org/fr/standard/66975.html>

Aim	Standard and Description	Stakeholder	Measures
Human Safety	ISO 19237:2017 Pedestrian detection and collision mitigation systems	Class B and C AV Developers, Regulators, System Auditors, Accident Investigators, Insurer	Causal filters Non-contrastive (Why), Contrastive (Why-Not), Counterfactual (What-If). Should show input influence and should be able to explain the system globally
	ISO 22078:2020 Bicyclist detection and collision mitigation systems		
	ISO 26262:2011: Road vehicles – Functional safety. An international standard for functional safety of electrical and/or electronic (E/E) systems in production automobiles (2011). It addresses possible hazards caused by malfunctioning behaviour of E/E safety-related systems, including interaction of these systems. An update in 2018.		
	UL 4600: Standard for Safety for the Evaluation of Autonomous Products. a safety case approach to ensuring autonomous product safety in general, and self-driving cars in particular		
	SaFAD: Safety First for Automated Driving. White paper by eleven companies from the automotive industry and automated driving sector about framework for development, testing and validation of safe automated passenger vehicles (SAE Level 3/4).		
	RSS (Intel) / SFF (NVIDIA): Formal Models & Methods to evaluate safety of AV on top of ISO 26262 and ISO 21448 (proposed by companies).		
	IEEE Initiatives: "Reliable, Safe, Secure, and Time-Deterministic Intelligent Systems (2019)"; "A Vision for Prioritizing Human Well-being with Autonomous and Intelligent Systems" (2019); "Assessment of standardization gaps for safe autonomous driving (2019)".		
	ISO/DIS 21448:2021 Road Vehicles – Safety of the intended functionality (SOTIF) The Autonomous: Global safety reference, created by the community leading automotive industry players, which facilitates the adoption of autonomous mobility on a grand scale (2019).		
		Class A: End-Users; Class B: Technicians and Engineers; Class C: Regulators and Insurers	
Information and Data exchange	ISO/TR 21707:2008: Integrated transport information, management, and control-Data quality in intelligent transport systems (ITS). "specifies a set of standard terminology for defining the quality of data being exchanged between data suppliers and data consumers in the ITS domain" (2018).	Class A and C Passengers, Auxiliary Drivers, Pedestrians, Regulators, System Auditors, Accident Investigators Insurers	Cause filters Non-contrastive (Why), Contrastive (Why-Not), Counterfactual (What-If). May show input influence
	ISO 13111-1:2017: The use of personal ITS station to support ITS service provision for travellers. "Defines the general information and use cases of the applications based on the personal ITS station to provide and maintain ITS services to travellers including drivers, passengers and pedestrians" (2017).		
	ISO/TR 21707:2008: Integrated transport information, management, and control—Data quality in ITS systems. "Specifies a set of standard terminology for defining the quality of data being exchanged between data suppliers and data consumers in the ITS domain" (2018).		
	ISO 13111-1:2017: The use of personal ITS station to support ITS service provision for travellers. "Defines the general information and use cases of the applications based on the personal ITS station to provide and maintain ITS services to travellers including drivers, passengers and pedestrians" (2017).		
	ISO 15075:2003: In-vehicle navigation systems—Communications message set requirements. "Specifies message content and format utilized by in-vehicle navigation systems" (2003).		
	ISO/TR 20545:2017: Vehicle/roadway warning and control systems. "Provides the results of consideration on potential areas and items of standardization for automated driving systems" (2017).		
	ISO 17361:2017: Lane departure warning		
	ISO 20077:2019: Road Vehicles — Extended vehicle (ExVe) methodology ISO/DIS 23150: Data communication between sensors and data fusion unit for automated driving functions.		
Cybersecurity and safety for AV	ISO/TR 4804:2020 Road vehicles — Safety and cybersecurity for automated driving systems — Design, verification and validation	Car manufacturers, OEM, SME, ...	
	ISO/SAE 21434:2021: Véhicules routiers — Ingénierie de la cybersécurité		
	SAE J3061_202112: Cybersecurity Guidebook for Cyber-Physical Vehicle Systems (Stab. Dec 2021)		
	ISO/AWI TS 5083 Road vehicles — Safety and cybersecurity for automated driving — Design, verification and validation (working draft)		
AI, sensor fusion, perception, systems	ISO/IEC TR 5469 :Artificial Intelligence — Functional Safety and AI systems (working draft)		
	ISO/IEC 2382-1:1993 Information technology – Vocabulary – Part 1: Fundamental terms		
	ISO/IEC/IEEE 15288:2015 Systems and software engineering – System life cycle processes		
	ISO/IEC 15026-2:2011 Systems and software engineering — Systems and software assurance		
	ISO/IEC 22989 : Information technology — Artificial intelligence — Artificial intelligence concepts and terminology		

Figure 20 : Principales normes appliquées au VAC pour les aspects sécurité, échange des données et des informations, IA, Fusion de données, systèmes logiciels, et cybersécurité. [10]

### 2.2.2.3 - Actions et préconisations

**Préconisation 1 : Format des données et des cartes :** Lancer un groupe français à même de contribuer aux spécifications communes et partagées des formats des cartes de perception dynamique locale et étendue. A faire avec des groupes de normalisation telle que les groupes de travail européens ayant défini les CPM pour les communications. Ceci consiste à proposer des interfaces et des formats génériques et efficaces de données/informations pour permettre la gestion optimisée et sûre des grands flux de données, et surtout une interopérabilité des données et des architectures logicielles de traitement des données.

- *Porteurs : DGITM.*
- *Parties prenantes : Les partenaires impliqués dans ce groupe de travail sont les entités intervenant dans les groupes de normalisation (AFNOR) : instituts, laboratoires, et entreprises impliquées sur la thématique.*

**Préconisation 2 : Proposer des procédures et des protocoles pour l'évaluation, la validation, et la certification** des applications, des systèmes, des fonctions, et des modules entrant dans la conception des systèmes de mobilité automatisée. L'évaluation des performances peut être considérée à plusieurs niveaux : quantitatif, qualitatif, et sémantique. Cette préconisation touche aussi bien le développement des systèmes de traitement de l'information à base d'IA (avec ou sans étape d'apprentissage) que les outils servant à faire cette validation.

En effet, au niveau des applications, il est de plus en plus critique de pouvoir bénéficier de procédures, de protocoles, et de métriques permettant de pouvoir comprendre le fonctionnement des systèmes à base d'IA mais également pour pouvoir quantifier le niveau de confiance et de certitude que nous pouvons accorder aux résultats produits par ces algorithmes. Nous parlons ici des problèmes d'interprétabilité et de niveaux de confiance de ces systèmes. Au niveau des outils (simulation ou moyens expérimentaux réels), il se pose la même question. Quels sont leurs niveaux de validité et de représentativité pour garantir la pertinence des résultats d'évaluation ; Par conséquent il faut pouvoir proposer des métriques et des procédures de vérification et de validation des outils et des modèles employés dans les procédures de validation des algorithmes / fonctions / modules / applications / systèmes / services.

- *Porteurs : Sociétés assurant la certification et l'homologation, les sites de test, services techniques de l'Etat.*
- *Parties prenantes : Fournisseurs de véhicules, constructeurs et équipementiers automobiles & poids lourds, constructeurs de véhicules de transport en commun (tram, bus, et navettes), fournisseurs et fabricant d'équipement et capteurs pour l'infrastructure.*

**Préconisation 3 : Mettre en œuvre des architectures de traitement de données massives distribuées** (cloud). Ce point inclut de plus en plus la question de la génération, du traitement, et de l'évaluation de très grandes quantités de données. De plus en plus il est nécessaire de pouvoir distribuer ces traitements en utilisant des centres serveurs, des réseaux de machines, des fermes GPU distribuées. Ces architectures passant par le « cloud » sont de plus en plus vitales. Des recherches sont donc nécessaires concernant ces nouvelles architectures distribuées à forte capacité de calcul. En parallèle, cela nécessite de mettre en avant des recherches sur les nouvelles technologies de maintien de l'information et de résilience (recherches sur le codage de grandes quantités d'information sur des supports cristallins ou biologique).

**Préconisation 4 : Proposer des normes et des procédures pour les modes dégradés.** En cas de mise en défaut des algorithmes, des systèmes de perceptions, des systèmes de décision, et des contrôleurs, il est nécessaire de disposer de règles, recommandations, et stratégies permettant à un mobile automatisé de fonctionner en mode **dégradé adapté** à la situation courante et maximisant le critère de

sécurité des occupants du véhicule et des autres usagers de la route. Les événements, pouvant mettre en défaut les capteurs et les applications, sont par exemple des conditions dégradées (climatiques, configuration de l'infrastructure, masquage, interférences ...) réduisant le niveau de visibilité des informations de l'environnement, ou de non-disponibilités ou manques d'informations. Dans ces conditions, les capteurs et les algorithmes sortent de leurs domaines de fonctionnement nominal (sortie d'ODD). Il faut pouvoir réagir à ces configurations particulières et singulières afin d'éviter qu'elles se transforment en situations critiques d'accident ou de presque accidents. Ces procédures de fonctionnement « alternatifs sécuritaires » et « dégradés adaptés » peuvent se décliner en différents types de comportement :

- Arrêter le véhicule sur la voie de circulation en mettant en œuvre les actions et informations nécessaires pour prévenir les autres usages,
  - Adopter une trajectoire d'urgence et de sécurité permettant de stopper le véhicule sur une zone sécuritaire (bande d'arrêt d'urgence ou voie la plus à droite avec signalisation de l'état du véhicule aux autres usagers)
  - Appliquer une procédure pour passer à des modes dégradés adaptés à la situation pour permettre la tolérance aux fautes et aux défaillances.
  - En cas de dégradation des conditions et des moyens de production/fourniture des données nécessaire à assurer la conduite automatisée dans son ODD, il peut être plus adapté de proposer un ODD multicouches permettant d'appliquer une stratégie ou des mécanismes de passage d'un ODD à un autre.
- *Porteurs : Fournisseurs de véhicules, Constructeurs et équipementiers automobiles & poids lourds, constructeurs de véhicules de transport en commun (tram, bus, et navettes).*
- *Parties prenantes : Sociétés assurant la certification et l'homologation, les sites de test, services techniques de l'Etat, juristes.*

## 2.2.3 - La cyber sécurité et sûreté de fonctionnement : minimiser l'impact des attaques et optimiser la résilience aux défaillances

### 2.2.3.1 - Etat des lieux

**La sûreté de fonctionnement dans les mobilités automatisées** : Depuis plusieurs décennies, beaucoup de travaux ont été réalisés et des normes et standards ont été proposés pour permettre de gérer les problèmes de fiabilité et de sûreté de fonctionnement. Ceci passe par la proposition d'étude et de modèles représentant le vieillissement de composants (électronique, mécanique, électrique, électrotechnique ...), la détection de défaillances (mineures à majeures), et potentiellement les corrections ou l'atténuation de l'impact de défaillances et dysfonctionnements. Ces procédures et modélisations ont été très vite appliquées aux systèmes informatiques puis aux algorithmes.

Dans le cadre du déploiement des systèmes de mobilité automatisée, de très nombreuses solutions ont été mises en œuvre. En général, ces solutions sont souvent focalisées sur les systèmes proprioceptifs du véhicule (capteurs proprioceptifs, algorithmes centrés « ego-véhicule »). Des méthodes proposées par l'Université Gustave Eiffel (thèse V. Judalet) ont pu mettre en évidence qu'avec des modélisations multi-modèles du comportement du véhicule, il était possible de détecter efficacement une défaillance et d'identifier le capteur proprioceptif et/ou l'actionneur en cause. Ce système fonctionne en temps réel durant le fonctionnement du véhicule. De plus, cette étude a montré que dans certains cas il était possible, temporairement, de corriger la défaillance afin de pouvoir placer le véhicule dans une configuration spatiale sécuritaire aussi bien pour les occupants du véhicule que pour les autres usagers de la route.

Ces travaux ont été poursuivis par l'ESTACA et par VEDECOM en les étendant à la détection des défaillances de capteurs extéroceptifs et d'algorithmes de perception. A l'Université de Sherbrooke, d'autres travaux exploitaient la redondance et la complémentarité des capteurs proprioceptifs pour détecter les défaillances et les capteurs en cause.

Plus récemment, l'Université Paris Saclay a également abordé le problème difficile de la quantification de la confiance et de la qualité des sources d'information nécessaires à la localisation d'un véhicule automatisé. La qualité des sources se traduit, entre autres, par des indicateurs estimant la consistance et l'intégrité des sources de données. Dans ces travaux, les sources de données traitées sont la caméra, le GPS, et une cartographie. Le but a été d'estimer le niveau de corrélation et d'adéquation des informations produites par ces sources afin de pouvoir détecter et identifier une erreur, et de quantifier le niveau de confiance et de fiabilité. Cette procédure permet alors de calculer un niveau d'intégrité pour une fonction étudiée. Cette évaluation de la qualité d'une donnée et d'un capteur est très importante, en amont de l'étape de fusion de données et de décision, pour obtenir une estimation de l'état d'un système ou de l'environnement précise et robuste.

En parallèle des modèles et des applications permettant le diagnostic et la surveillance temps réel de l'état de fonctionnement et de la qualité des capteurs, actionneurs, et modules de traitement embarqués dans un véhicule, nous avons vu apparaître des nouveaux types de dégradations et de défaillances intentionnelles des données et des sources d'informations. Ces dégradations, attaques, interférences font partie des cyber-attaques. Depuis une décennie, avec le développement des systèmes de mobilité automatisée ayant pour vocation à se piloter seule sans aucune intervention humaine, la détection et la minimisation de l'impact de ces mécanismes/algorithmes/stratégies générant des attaques sont devenues une priorité. En effet, en plus de pouvoir dégrader délibérément et intentionnellement les données ou leur accès, ces attaques peuvent également aller jusqu'à la prise de contrôle du véhicule en le pilotant ou en l'obligeant à appliquer des manœuvres dangereuses et accidentogènes. Ces attaques vont donc avoir pour objectif de dégrader la qualité des données, leur disponibilité, leur lisibilité, et leurs performances.

### 2.2.3.2 - Les enjeux, les leviers et freins à la mise en œuvre

La cyber sécurité et la sûreté de fonctionnement sont très importantes pour garantir la disponibilité, l'accessibilité, et la qualité des données. Dans certains cas les problèmes de cyber sécurité peuvent être vus comme des problèmes de sûreté de fonctionnement. En effet, suivant les attaques, le résultat de cette attaque se traduira par une défaillance d'un ou plusieurs capteurs, du système de mobilité, ou d'une des sous parties de ce système. Même si de nombreux travaux et plusieurs normes (voir table 1) traitent ce problème, le problème est loin d'être résolu et des travaux sur la mise en place de moyens et de stratégies permettant de minimiser l'impact des attaques sont clairement nécessaires.

**La sûreté de fonctionnement** : Les enjeux de ce domaine sont clairement de pouvoir détecter, identifier, et minimiser l'impact d'une défaillance d'un capteur ou d'un actionneur embarqué dans un véhicule. Ce type de fonctions est très importante afin de pouvoir garantir un haut niveau de sécurité des moyens de mobilité. Plusieurs possibilités sont abordées pour répondre à cette problématique. Certaines solutions essaient de d'identifier et de corriger la défaillance en cas de problème de mesure d'une donnée par un capteur. D'autres solutions utilisent la redondance pour détecter le capteur défaillant et le désactiver. D'autres calculent et estiment en temps réel la fiabilité et la qualité d'un capteur afin de pouvoir pondérer son utilisation dans une architecture de fusion de données. Néanmoins avec le développement grandissant des méthodes à base d'apprentissage, la détection des défaillances devient plus complexe à traiter et à mettre en œuvre.

Cette partie fait clairement référence au niveau d'intégrité de la sécurité automobile (ASIL)<sup>14</sup>.

Les véhicules automatisés et connectés doivent appliquer ces niveaux non pas uniquement pour les composants électroniques mais également pour les systèmes de perception/décision/action. De plus des normes sont déjà proposées et cités dans le tableau 1.

**La cyber sécurité et les cyber attaques, un problème de validité et de disponibilité des données critiques** : Avec les développements croissant des mobilités automatisées utilisant de plus en plus de lignes de code (300 millions de lignes de codes estimés pour un véhicule totalement automatisé) et de systèmes communicant et coopératifs (coopération inter véhicules, avec carte HD), les problèmes de cybersécurité et d'attaques de types génération d'interférences et leurrage malveillants sont devenus plus prégnants et ultra critiques. Ces attaques, qui peuvent avoir plusieurs objectifs (vol de données, défaillance intentionnelle, prise de contrôle), sont de plus en plus courantes et nécessitent la mise en œuvre de stratégies et de protocoles de sécurité de plus en plus complexes. Pour les véhicules automatisés et l'utilisation des moyens de communication (VANET), les contraintes de sécurité des V2X sont divisées en cinq catégories : (1) **la disponibilité**, (2) **l'intégrité des données**, (3) **la confidentialité**,

---

<sup>14</sup> ASIL est le système de classification des risques défini par la norme ISO 26262 pour la sécurité fonctionnelle des véhicules routiers. La norme définit la sécurité fonctionnelle comme « l'absence de risque déraisonnable dû à des dangers causés par un comportement défectueux des systèmes électriques ou électroniques ». Les ASIL établissent des exigences de sécurité, basées sur la probabilité et l'acceptabilité des dommages, pour que les composants automobiles soient conformes à la norme ISO 26262. Il existe quatre ASIL identifiés par ISO 26262—A, B, C et D. ASIL A représentent le degré de danger le plus bas et ASIL D représente le plus élevé. Les systèmes sécuritaires de type airbags, ABS, ESP, direction assistée nécessitent un niveau ASIL-D, car les risques associés à leur défaillance sont les plus élevés.

Les ASIL sont donc faits pour analyser le niveau de dangers et évaluer les risques des composants électroniques d'un véhicule. Chaque niveau s'appuie sur la mesure de trois variables spécifiques : La gravité (blessures subies par l'utilisateur), l'exposition (quelle fréquence d'exposition au danger), et la contrôlabilité (comment éviter les blessures). Chacune de ces variables est décomposée en sous-classes. La gravité comporte quatre classes allant de « aucune blessure » (S0) à « blessures mettant la vie en danger/mortelles » (S3). L'exposition comporte cinq classes allant de « incroyablement improbable » (E0) à « hautement probable » (E4). La contrôlabilité comporte quatre classes allant de « contrôlable en général » (C0) à « incontrôlable » (C3). Toutes les variables et sous-classifications sont analysées et combinées pour déterminer l'ASIL requis.

(4) l'**authenticité** et (5) la **non-répudiation**. Néanmoins, dans les V2X, les attaques les plus dangereuses sont celles qui ciblent la disponibilité des informations. En effet, elles empêchent aux utilisateurs autorisés ou aux systèmes de conduite automatisée l'accès aux informations. Parmi ces attaques nous pouvons citer :

- **Les attaques « Blackhole » et « Greyhole »**. Dans ces 2 attaques, le nœud de communication compromis arrête de relayer les messages vers les nœuds voisins. La diffusion d'informations sur le réseau est alors bloquée. Le « *Blackhole* » consiste à supprimer tous les messages, alors que le « *Greyhole* » supprime uniquement certains messages. Dans le réseau, chaque nœud doit être authentifié pour faire partie du réseau. Dans ce cas, le processus d'authentification peut empêcher l'attaquant externe de lancer des attaques. Mais ceci n'est pas adapté contre des attaques internes au réseau.
- **Les « flooding attack »** qui consiste à envoyer un énorme volume de messages pour saturer le nœud de communication qui devient alors indisponible. Le VANET est très sensible et vulnérable à ce type d'attaque.
- **Le brouillage (*jamming attack*)** qui consiste à diffuser des signaux pour corrompre les données ou brouiller le canal de transmission. Actuellement aucune solution efficace n'existe pour empêcher ce type d'attaque. Seule l'utilisation d'antennes directionnelles peut limiter son effet (éviter des zones de brouillage).
- **Les attaques dites par coalition et peloton (« Coalition and platooning attacks »)**. Dans ce type d'attaque, un ensemble de nœuds de communication compromis va collaborer pour exécuter des actions malveillantes et nuisibles comme le blocage d'informations ou l'isolement de véhicules du réseau. Cette attaque peut cumuler et faire collaborer plusieurs types d'attaques.

Les menaces liées à l'intégrité des données sont également un enjeu sensible pour les VAC. Afin de garantir un fonctionnement optimal des applications de conduite automatisée, il est très important de pouvoir garantir l'exactitude et la cohérence des données qui se propagent sur le réseau. Parmi ces attaques, nous pouvons citer :

- **La modification et l'altération des données** ainsi que **l'injection de faux messages** qui va induire des dysfonctionnements dans les systèmes embarqués par le véhicule.
- Les attaques de **relecture/répétition** qui consiste à rejouer les messages reçus à un moment différent pour ressembler à ceux qui ont été envoyés par l'expéditeur d'origine. Une stratégie de défense consiste à utiliser le cache (mémorisation des messages récemment reçus) afin de comparer le contenu des nouveaux messages et à rejeter les messages temporellement erronés. Dans les VANET, un horodatage, une information de marquage à usage unique, et une courte durée de vie d'un message permettent d'obtenir une certaine résilience à ces attaques.
- Les **attaques d'usurpation (« spoofing »)** des données GPS consiste à transmettre des fausses données GPS (faux emplacement de l'émetteur) ou à retarder leur transmission les rendant ainsi erronées. Si les données GPS (positionnement et date) sont fausses alors les autres véhicules obtiendront une perception également fausse. Il est intéressant de rappeler que comme les antennes de communication, les antennes GPS sont sensibles au brouillage. A cela peut s'ajouter une attaque de répétition. Dans ce cas, les protocoles doivent proposer des contrôles de plausibilité pour détecter les données défailtantes (spatialement et temporellement).

Les attaques sur la confidentialité des données ne seront pas aussi nuisibles en termes de sûreté de fonctionnement des systèmes, mais elles représentent clairement une violation de l'accès aux données privées d'un individu. L'attaque d'écoute (« *Eavesdropping* ») va consister à capturer des informations sensibles et confidentielles présentes dans les messages. Une solution consiste à crypter les données mais cette solution ralentit sensiblement la transmission. En utilisant les données de positionnement

(« *tracking attack* »), les attaquants peuvent suivre l'itinéraire d'un usager. Malheureusement, ces informations de positionnement sont très utiles pour les VAC.

Les attaques sur l'authenticité sont également délicates. En effet, un nœud doit être authentifié (certificats et signatures numériques) afin d'accéder au réseau. L'authentification est un « bouclier » qui protège des attaques extérieures au réseau. Certaines attaques menacent clairement cette protection comme les attaques « *Sybil* » et les attaques « masquées » ou encore d'« *usurpation d'identité* ». La première simule de nombreuses fausses identités alors que la seconde exploite une vraie identité afin d'obtenir un accès au réseau et aux informations confidentielles.

Dans les attaques citées précédemment, dès qu'elles sont détectées ou qu'un risque d'attaque probable est estimé, alors le véhicule peut réagir et se mettre à l'arrêt le temps qu'un diagnostic extérieur soit réalisé par un opérateur humain.

A cela s'ajoute les attaques sémantiques qui vont comprendre les stratégies et les mécanismes de fonctionnement d'un protocole et en changer certains paramètres pour accéder complètement au système sans que celui-ci soit en mesure de détecter l'attaque et de prendre la mesure la plus adaptées (arrêt du véhicule).

**CAN, Ethernet, et liaison série, un point sensible** : Cependant, les attaques énumérées précédemment sont principalement liées aux communications et aux capteurs. Il existe également des attaques sur les données transitant sur les réseaux de communication filaires internes au véhicule. C'est le cas des données sur le bus CAN et autre média de communications filaires qui contiennent des informations sensibles sur l'état de fonctionnement du véhicule, sur les commandes à appliquer aux actionneurs, ou plus simplement sur les données des capteurs embarqués.

En cas de mise en défaut des communications et des bus de communication, se pose alors les mêmes questions que pour une défaillance de la qualité de la perception : Comment doit-on agir pour continuer de garantir un haut niveau de sécurité, quelle stratégie et quelles règles appliquer pour passer dans un mode « dégradé » adapté mais toujours fonctionnel ?

Ces types d'attaques peuvent se produire en obtenant un accès physique aux véhicules, aux logiciels embarqués dans les véhicules ou aux interfaces du logiciel embarqué. Le pirate informatique peut alors accéder aux fonctions et données du véhicule à l'aide d'un opérateur ou même d'un employé mécontent du fabricant pour insérer des logiciels malveillants dans le système à l'aide d'un lecteur flash ou d'un support similaire. Lors d'une attaque par déni de service, le pirate peut accéder au système de bus CAN et submerger le support de communication avec un excès de données pour perturber la fonctionnalité de services de type pelotons de véhicules. De même, après avoir obtenu un accès physique, le pirate peut également voler et manipuler les données arrivant en temps réel ou stockées dans le système embarqué et envoyer de fausses commandes. En cas d'attaques d'usurpation d'identité, le pirate peut accéder via les véhicules aux informations individuelles et personnelles des passagers.

### 2.2.3.3 - Actions et préconisations

Il apparaît clairement que dans le développement des services de mobilité automatisée, des systèmes de perception, et des futurs protocoles de communication, la prise en compte des couches de sécurité et de sûreté de fonctionnement permettant de détecter et d'identifier des attaques, des défaillances et des dysfonctionnements est un enjeu critique. Les recherches sur cette problématique sont très importantes à aborder pour déployer des services de mobilités automatisés (impliquant les capteurs et les médias de communication) en toute sécurité.

**Préconisation 1 : Etablir une norme et des réglementations spécifiques pour la cybersécurité appliquée aux moyens de mobilités automatisées.** Initialement nous avons d'un côté la sécurité des systèmes d'information (ISO 27000), et de l'autre la sécurité industrielle (sûreté de fonctionnement et sécurité fonctionnelle avec l'IEC 61508 et les normes sectorielles). La norme IEC 62443 sert désormais de liant à ces deux environnements. Aujourd'hui la norme IEC 62443 est incontournable au niveau de la gestion du risque de cybersécurité des installations industrielles il est primordial d'appliquer son déploiement dans le cadre d'une norme applicative spécifique. Par exemple, dans le ferroviaire la nouvelle norme TS 50.701 décline la norme 62443 et l'applique au contexte spécifique du transport sur rail. Il faut également prendre en compte la norme ISO/TR 4804 de 2020 sur les véhicules routiers et sur les aspects « Safety and cybersecurity for automated driving systems — Design, Verification and Validation ».

- *Porteurs : CN (commission de normalisation), AFNOR, DGITM.*
- *Parties prenantes : Fournisseurs de véhicules, Industriels développant et commercialisant les produits impactés par la ou les normes, sociétés expertes en cybersécurité et sûreté de fonctionnement.*

**Préconisation 2 :** Construire une filière abordant cette problématique critique directement liée à la sécurité afin de pouvoir garantir une résilience et une résistance des capteurs, des moyens de communication, et des systèmes de traitement des informations. Cette préconisation inclue également l'identification des futures cyber-attaques et d'anticipation les protections à mettre en œuvre.

- *Porteurs : Instituts et laboratoires de recherche (Université, EPST, EPIC, IRT, ITE, ...), DGITM, Pôles de compétitivité.*
- *Parties prenantes : Sociétés assurant la certification et l'homologation, Constructeurs et équipementiers automobiles & poids lourds, constructeurs de véhicules de transport en commun (tram, bus, et navettes), fournisseurs et fabricant d'équipement et capteurs pour l'infrastructure, sites de test, services techniques de l'Etat.*

**Préconisation 3 :** Mettre en œuvre des projets et des groupes de travail pour la réalisation d'architectures matérielles résilientes et adaptatives avec la capacité de réallouer les ressources (mémoires et traitement) en cas de défaillance d'une partie de l'architecture (recherche déjà engagée sur les FPGA auto organisatrices et adaptables). Ceci implique également la capacité à diagnostiquer en temps réel l'état de fonctionnement des différentes parties de l'architecture).

- *Porteurs : Instituts et laboratoires de recherche (Université, EPST, EPIC, IRT, ITE, ...), Pôles de compétitivité.*
- *Parties prenantes : Sociétés assurant la certification et l'homologation, Constructeurs et équipementiers automobiles & poids lourds, constructeurs de véhicules de transport en commun (tram, bus, et navettes), fournisseurs et fabricant d'équipement et capteurs pour l'infrastructure, sites de test.*

## 2.3 - Infrastructures et moyens de communication

### 2.3.1 - Les routes et les infrastructures matérielles

#### 2.3.1.1 - Etat des lieux

Les infrastructures matérielles correspondent actuellement :

- Aux voies de circulation sur lesquelles roulent les véhicules : rues, avenues, boulevards, routes, routes à chaussées séparées, autoroute.
- Aux infrastructures de signalisation installées sur ces voies : les panneaux de signalisation, les feux de signalisation, les panneaux à messages variables, voire les signalisations sonores (passage à niveau).

Actuellement les infrastructures et surtout les systèmes de signalisations horizontales et verticales restent les mêmes que ceux déjà déployés pour la conduite humaine. Néanmoins, la vision humaine est différente des capacités de perceptions embarquées sur les véhicules. De très nombreuses perturbations viennent altérer les capacités des capteurs en fonction de leur technologie et de leur mode de fonctionnement. Jusqu'à très récemment les travaux de recherche avaient pour objectif d'exploiter au mieux les marquages existants afin d'en extraire les primitives exploitables par les algorithmes de perception et de maintien/changement de voie. Cependant il semble de plus en plus pertinent et intelligent de ne plus rester humain-centré mais de proposer des nouvelles signalisations plus capteur-centrées.

Il faut également avoir conscience que les infrastructures de nouvelles générations devront efficacement intégrer l'usager, le véhicule et les systèmes de contrôle et de régulation. Il est très clair que la « route intelligente » plus couramment appelée « Infrastructure Physique et Digitale » (connectée, instrumentée, équipée) comprendra des systèmes d'information, de surveillance et de contrôle entièrement intégré ; et des moyens de communication (VRU, centres serveurs/cloud : V2X... (V2P, V2N..)) entre les usagers de la route et de la rue (piétons, cyclistes, conducteurs, passagers), les véhicules et les opérateurs routiers/infra. La mobilité automatisée s'appuiera sur des systèmes coopératifs véhicule-route qui gèreront les demandes de déplacement et les mouvements de circulation en suivant des règles de conduite (probablement adaptées) et des contraintes spatiales, temporelles, et de confort. Le service de mobilité automatisé devra observer, mesurer, comprendre, interpréter, signaler, et réagir en fonction de son état et de son environnement. Il devra également transmettre toutes les informations utiles à l'enrichissement des informations nécessaires aux centres de contrôle et aux autres usagers : transmission des informations instantanées sur la météo, les incidents et les conditions de voyage.

De manière à fournir une continuité de service pour la perception et la localisation en situation dégradée et défavorable (i.e. Tunnel, canyon urbain, ...), plusieurs approches ont été proposées dans le passé. Ces approches s'appuient sur l'utilisation soit de RSU (Unité de Bord de Voie) permettant de mettre en œuvre des approches par triangulation, soit d'antenne RFID placée dans ou sur le marquage. Cette seconde approche permet d'améliorer significativement la précision de la localisation latérale en utilisant la différence de phase entre un signal émit et le signal reçu après réémission. Ensuite d'autre approche de type SLAM vont construire des cartes contenant les invariants et pointsaillant de l'environnement. Dans ce cadre, il serait intéressant de proposer l'installation de balise statique, saillante, et invariant dans les zones empêchant une localisation fiable. Par extension, l'objectif serait d'améliorer et d'enrichir des HD-Maps avec des nouveaux attributs à bas coûts mais utiliser pour la localisation du VA.

### 2.3.1.2 - Les enjeux, les leviers et freins à la mise en œuvre

Les infrastructures routières existantes en France correspondent à environ 1 100 000 km dont 12 000 km d'autoroutes, 10 000 km de routes nationales, 380 000 km routes départementales et 700 000 km de routes communales. Les rendre toutes compatibles avec les exigences de qualité nécessaires au bon fonctionnement des véhicules Automatisés ne semble pas envisageable

Par contre il est sans doute possible de se limiter à certains itinéraires, à certaines portions ou à certains nœuds dangereux, voire à des tronçons spécifiques en particulier pour optimiser le transport en commun.

Ce coût financier des matériaux et des composants nécessaires pour équiper les infrastructures routières est difficilement soutenable pour les gestionnaires d'infrastructures, et risque de conduire à des priorisations des zones à équiper qui risque d'exclure des régions faiblement peuplées et des acteurs ruraux. Ceci pose le problème de l'équité. Actuellement, ne faut-il pas mieux favoriser le déploiement de véhicules complètement autonomes capables de se déplacer sans communication avec l'infrastructure ? L'équipement des routes sur tout le territoire Français semble irréaliste et risque d'entraîner des dépenses colossales.

Le coût d'entrée / coût de renouvellement de l'infrastructure, l'impact et le partage de ces coûts est clairement un frein technologique majeur. En effet, le déploiement des nouvelles technologies de communication de type 5G sont très chères. De plus, ceci amène une forte tendance de « mise à jour » des technologies incompatible avec les rythmes actuels des collectivités qui investissent sur plusieurs années / décennies.

*Cependant, un des gros intérêts du véhicule automatisé est sa capacité à constituer un mode de transport partagé potentiellement moins coûteux qu'avec l'usage de véhicule avec chauffeur.*

Dans [13], une définition est donnée pour assurer une conception des routes « ergonomiques ». Cette définition s'appuie sur les trois règles fondamentales de l'AIPCR :

- **Le guidage optique** : La route doit donner aux usagers les informations nécessaires pour avoir suffisamment de temps pour anticiper une situation singulière nécessitant une prise de décision critique (jonctions, virages serrés, passages piétons, arrêts de bus, allées, etc.). Cette capacité de perception permet alors d'adapter le comportement de conduite de manière à rester dans un espace à risque minimum. Ceci correspond à la règle des 4 à 6 secondes ;
- **Perception spatiale** : La structure et l'organisation des bords de route et de l'environnement proche doivent conduire les conducteurs à choisir la vitesse la plus appropriée et à stabiliser le suivi de voie. Ceci correspond à la règle du « champ de vision » ;
- **Attentes du conducteur** : la route doit préprogrammer correctement les actions du conducteur et respecter ses attentes construites avec ses perceptions récentes. Ceci correspond à la règle de la « logique ». En effet, il faut garantir une logique spatiale et temporelles de la géométrie et de la signalisation (horizontale et verticale) sur le réseau routier.

Il est évident que ces règles doivent être adaptées et modifiées pour correspondre aux besoins et aux limites des véhicules automatisés.

**Un environnement de perception adapté** : Pour pouvoir fonctionner en toute sécurité, le véhicule automatisé a besoin, en plus de ses informations propres, des informations en temps réel sur les obstacles (dynamiques, statiques, vulnérables, non vulnérables ...), la route (configuration géométrique, signalisations horizontales et verticales, état d'adhérence ...), et des événements dynamiques (conditions dégradées, accidents ...). Un des enjeux est de pouvoir proposer un environnement qui soit adapté à la perception embarquée dans les véhicules automatisés. Ceci implique de pouvoir proposer des nouveaux types de signalisation capteur-centrés. Il s'agit donc de proposer des nouvelles

infrastructures matérielles adaptatives et partagées pour le VAC. Le frein concerne le fait que ces nouvelles infrastructures pourront être mises en œuvre dans des milieux avec du trafic mixte et avec des interactions possibles avec les vulnérables (piétons, cyclistes, motocyclistes). Il ne faut pas que les autres usagers soient impactés et perturbés par des nouvelles infrastructures et des signalisations incompréhensibles voire ambiguë/contradictoire pour l'utilisateur.

**Qualifier et garantir le niveau de lisibilité et de disponibilité :** De plus, concernant ces adaptations, il est important de pouvoir garantir la lisibilité ainsi que la disponibilité des données présentes dans les niveaux de l'ISAD. L'infrastructure et les informations fournies par celle-ci devront probablement être adaptées en fonction de la nécessité des services et des besoins spécifiques du VA en terme d'ODD et de niveau d'automatisation SAE<sup>15</sup> à mettre en œuvre. Cette notion de service induit l'utilisation et l'équipement de zones adaptées pour un service spécifique (Voir figure 29). Il faut que les signalisations soient « saillantes », « contrastées », et « lisibles ».

Par conséquent, il faudra garantir une forte corrélation entre les ODD, les informations provenant de l'infrastructure (ISAD), et les fonctions nécessaires aux niveaux d'automatisation (SAE) pour atteindre des hauts niveaux de classification ISAD et ainsi assurer la continuité des ODD en réduisant au maximum les reprises de contrôle du conducteur et en améliorant le confort tout en préservant la sécurité.

**Traiter les zones critiques et singulières à risque :** Enfin, si les véhicules automatisés utilisent les infrastructures existantes, alors il est nécessaire d'identifier et de traiter les zones critiques et singulières à risque (passage piéton, voie cycliste en urbain ; tunnels et échangeurs complexes en milieux interurbains...). Dans ces configurations, sera-t-il nécessaire d'équiper spécifiquement l'infrastructure pour permettre le déploiement des véhicules automatisés ? Si oui, quel type d'infrastructure et quels types de services ? Quelle interaction avec les véhicules automatisés ?

La réglementation actuelle tend à aller vers une interdiction des véhicules automatisés sur des voies pouvant être partagées avec les usagers vulnérables. Dans ces conditions, il est probable que les signalisations présentes sur ces environnements dédiés et contrôlés pourront être adaptées et conçues spécifiquement pour des moyens de perception non humain.

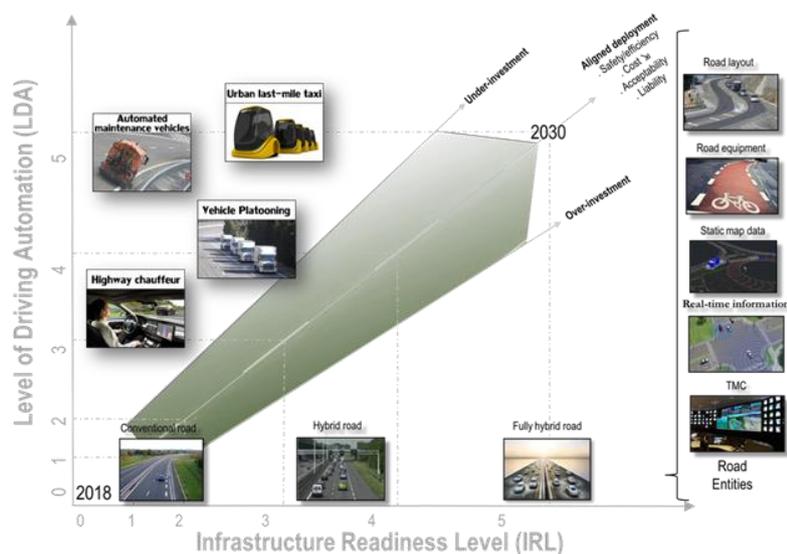


Figure 21 : Besoin en niveau de disponibilité et de lisibilité de l'infrastructure pour le déploiement des systèmes de mobilité automatisée.

<sup>15</sup> ex-Society of Automotive Engineers

### 2.3.1.3 - Actions et préconisations

Des tendances se dessinent concernant les voies de circulation :

En plus des moyens de communications, on peut imaginer équiper les voies de circulation de moyens matériels supplémentaires mieux adaptés aux véhicules automatisés, tels que des capteurs intégrés à la chaussée, des marquages au sols plus visibles pour les capteurs, des unités de bords de route, etc.

Une autre approche consiste à réduire le nombre de types d'usagers pouvant circuler sur les voies. C'est le principe des TCSP, Transport en Commun en Site Propre, dont les voies sont réservées au seul transport en commun, ou partagées avec certains autres usagers bien identifiés (taxis, vélos ...). Cela peut être réalisé pour les véhicules automatisés, bien entendu pour le transport en commun, mais aussi partagé avec d'autres véhicules automatisés qui ont des besoins et des comportements similaires contrairement aux autres véhicules.

Le groupe de travail propose la mise en place d'études pour l'utilisation ou la création des voies spécifiques, dédiées exclusivement aux VA. La non mixité avec les autres véhicules ou avec les autres usagers réduit de façon importante les risques encourus par cette mixité. Les voies peuvent de plus être matérialisées avec des bordures, des séparateurs de voies, pour en augmenter la sécurité.

Ces voies 100 % dédiées aux VA pourraient être créées au sol spécialement, comme une nouvelle ligne TGV, ou réalisées sur des voies ferrées réaménagées pour recevoir des véhicules routiers automatisés ou encore sur des infrastructures spécifiques aériennes sur pylônes ou même en voies souterraines, ce qui apparaît cependant difficile en France.

**Préconisation 1** : Choisir des voies pour le meilleur bénéfice pour la collectivité.

- *Porteurs : DGITM, Territoires, et Collectivités.*
- *Parties prenantes : Services Techniques de l'Etat, des Territoires et des Collectivités, AOMs<sup>16</sup>, Fabricants et sociétés expertes en véhicules autonomes et en communication V2X, Sociétés expertes en réseaux de communication.*

**Préconisation 2** : Etudiez les perspectives que peuvent donner l'usage de voies dédiées à 100 % aux véhicules autonomes destinés à un transport de masse.

- *Porteurs : DGITM, AOMs, GART.*
- *Parties prenantes : Services Techniques de l'Etat, des Territoires et des Collectivités, AOMs, Fabricants et sociétés expertes en véhicules autonomes et en communication V2X, Sociétés expertes en réseaux de communication.*

**Préconisation 3** : Mettre en œuvre un groupe de réflexion sur la recherche et le développement de nouvelles techniques, technologies, topologies de signalisations horizontales et verticales adaptées aux systèmes de perception pour les véhicules automatisés. Ceci implique le développement de nouvelles signalisations « intelligentes » avec potentiellement des nouvelles formes et des nouveaux modèles. Il sera pertinent d'aborder également les capteurs passifs intégrables dans la chaussée et/ou dans le marquage et qui ont la capacité de réagir et de réémettre un signal émit depuis le véhicule et modulé pour intégrer de l'information. Il faudra trouver les bons compromis entre les technologies, les longueurs d'ondes utilisées (capteur et signalisation), les types de matériaux (pour les signalisations) et leurs caractéristiques (optimisation de la perception pour un capteur particulier), la résistance aux conditions dégradées, la longévité, et le coût de la fabrication, de l'installation, et de la maintenance.

- *Porteurs : Instituts et labos de recherche, UGE, Cerema.*

---

<sup>16</sup> Autorité Organisatrice de la Mobilité (AOM) est une personne publique compétente pour l'organisation des mobilités au sein de son ressort territorial.

- *Parties prenantes : Services Techniques de l'Etat, des Territoires et des Collectivités, Sociétés expertes en communication V2X, Sociétés expertes en signalisation verticale et horizontale, sites de tests.*

**Préconisation 4 :** Mettre en œuvre des moyens expérimentaux, des métriques et des procédures de test permettant une évaluation croisée des capteurs embarqués et de la signalisation routière :

- Capteur : savoir si sa capacité à percevoir un type de marquage et de signalisation routière est suffisante pour être utilisé dans un véhicule automatisé ou sur une station de perception sur l'infrastructure.
- Marquage et de signalisation routière : savoir si sa capacité à produire une information spécifique est suffisante pour être lisible, disponible, et utilisable pour un type de capteur embarqué ou sur l'infrastructure.

Ces tests pourront permettre de produire une labellisation ou une homologation « VA » pour un capteur lui permettant d'être utilisé dans un moyen de mobilité automatisée. Ces protocoles d'évaluation, benchmarké à un niveau européen, établiront également une corrélation entre la détection de la signalisation par un capteur embarqué et les mesures produites par un appareil/système de référence. L'action consiste à développer un banc HIL pour tester un capteur pour véhicule automatisé dédié pour la perception d'un panneau routier donné et vice versa.

- *Porteurs : Cerema, LNE, UGE.*
- *Parties prenantes : Services Techniques de l'Etat, des Territoires et des Collectivités, Sociétés expertes en communication V2X, Sociétés expertes en signalisation verticale et horizontale, sites de tests.*

**Préconisation 5 :** Développer le concept « d'itinéraire sûr » ou de « route de haute qualité de service ». L'objectif est de doter les véhicules autonomes d'une "Infrastructure Physique et Digitale" qui maximise la sécurité en réponse au juste équilibre recherché en Europe. Cette infrastructure se caractérise par un ensemble de fonctionnalités et d'événements qui peuvent influencer la fiabilité des véhicules autonomes. L'infrastructure doit être adaptée aux services déployés mais aussi aux milieux routiers adressés. Pour atteindre le haut niveau de robustesse requis pour les véhicules autonomes, il devient évident que l'infrastructure doit évoluer, par exemple en prenant en charge de nouveaux capteurs innovants. Cette évolution s'accompagne d'un concept plus global qui est une réponse globale à des enjeux sociétaux de haut niveau : Ces aspects sont, entre autres, abordés dans les projets « **For Ever Open Road** » et sa version française « **Route 5e Génération** ».

- *Porteurs : DGITM, Territoires, et Collectivités.*
- *Parties prenantes : Services Techniques de l'Etat, des Territoires et des Collectivités, AOMs, Fabricants et sociétés expertes en véhicules autonomes et en communication V2X, Sociétés expertes en réseaux de communication.*

**Préconisation 6 :** Favoriser l'émergence d'infrastructures physiques et digitales ayant la capacité de s'auto-diagnostiquer et de corriger les défauts et les défaillances mineures.

- *Porteurs : DGITM, Territoires, Collectivités, UGE, Cerema.*
- *Parties prenantes : Services Techniques de l'Etat, des Territoires et des Collectivités, AOMs, Fabricants et sociétés expertes en véhicules autonomes et en communication V2X, Sociétés expertes en réseaux de communication.*

## 2.3.2 - Les infrastructures numériques : Une perception débarquée et communicante

### 2.3.2.1 - Etat des lieux

Plusieurs possibilités s'offrent à nous pour le développement des moyens de perception utiles pour les applications d'automatisation de la conduite. La première, beaucoup plus appliquée en Asie, consiste à mettre le maximum d'intelligence sur l'infrastructure et à embarquer le minimum d'intelligence et de traitement dans le véhicule. La seconde, beaucoup plus appliquée en Amérique du nord, consiste à embarquer le maximum d'intelligence et de traitement dans le véhicule. La troisième, beaucoup plus appliquée en Europe, consiste à trouver un juste équilibre entre les traitements embarqués et débarqués. Cette solution semble la plus adaptée et la plus pertinente pour garantir un haut niveau de sécurité et une limitation de la puissance de calcul à embarquer dans le véhicule. En effet, ces solutions utiliseront un mélange d'intelligence embarquée avec des systèmes extéroceptifs et proprioceptifs, des systèmes de communication de type VANET (802.11p et 5G) et de communication de supervision via un gestionnaire de flotte. Cependant ceci nécessite de pouvoir équiper l'infrastructure, de pouvoir également assurer la maintenance de cette infrastructure. Ces solutions, dites coopératives et basées sur les communications I2V et V2I, sont bien adaptées pour traiter des zones routières singulières et difficile à aborder par les véhicules automatisés. C'est le cas des intersections complexes ou des sens giratoires. Des travaux abordés dans le cadre du projet FUI TORNADO ont permis de proposer une solution utilisant des caméras sur l'infrastructure pour aider une navette automatisée à passer un sens giratoire. Dans cette configuration la navette dispose toujours de sa perception embarquée et va être aidée par l'infrastructure de manière ponctuelle. Par contre en opposition de phase, le projet Trapèze propose de mettre la majorité des traitements sur l'infrastructure ou dans ces centres de contrôle afin d'envoyer aux véhicules uniquement des manœuvres et des consignes à suivre. Cependant avec cette approche, que se passe-t-il en cas de défaillance des moyens de communication et des systèmes de perception et de traitement déportés ? Une solution peut être d'avoir des transports passant d'un mode « automatisé et libre » à un mode « autonome et guidé ». Dans tous les cas les moyens de communication restent un élément essentiel. Ensuite, comme déjà abordé dans la section 3, la quantité de connaissance et de données nécessaires au bon fonctionnement des véhicules nécessite l'utilisation de cartes HD qui ne peuvent être gérées et maintenues que depuis des centres serveurs aillant les capacités de les maintenir, de les gérer, de les mettre à jour, et de pouvoir les partager avec les flottes de véhicules automatisés.

Il est clair que l'infrastructure et la perception depuis l'infrastructure est un service important pour aider le véhicule dans des situations critiques, dégradées, à faible visibilité, et à faible présence d'informations exploitables par la perception. De plus en plus, comme présenté dans la figure 19, la complexité des cartes HD va aller en grandissant avec l'intégration de nouvelles fonctionnalités et de nouvelles informations. Le déploiement de station permettant d'estimer et de prédire les conditions de visibilité, de pollution, et climatique s'inscrit dans cette logique. De plus, les véhicules seront de plus en plus utilisés comme des sondes permettant de transmettre des informations sur les zones et des situations courantes. Ces sondes produiront les messages et les informations nécessaires à la mise à jour des cartes HD de niveaux C et D du standard ISAD.

L'appui de l'infrastructure est très important pour faciliter et sécuriser la montée en vitesse des véhicules autonomes. Cet aspect est un point crucial pour les transports en commun, ou 1km/h de vitesse commerciale gagné sur une ligne est synonyme de gains forts en coûts d'exploitation et service au client.

	Level	Name	Description	Digital information provided to Avs			
				digital map with static road signs	VMS, warnings, incidents, weather	Microscopic traffic situation	Guidance: speed, gap, lane advice
Conventional infrastructure	E	Conventional infrastructure / no AV support	Conventional infrastructure without digital information. Avs need to recognise road geometry, road signs, and road markings.				
	D	Static digital information / Map support	Digital map data is available with static road information (signs and markings). Map data could be complemented by physical reference points (landmarks). Traffic lights, short term road works and VMS need to be recognized by Avs.	☑			
Digital infrastructure	C	Dynamic digital information	All dynamic and static infrastructure information is available in digital form and can be provided to Avs	☑	☑		
	B	Cooperative perception	Infrastructure is able to perceive microscopic traffic situations and to provide this data to Avs in real time.	☑	☑	☑	
	A	Cooperative driving	Based on the real-time information on vehicle movements, the infrastructure is able to guide Avs (groups of vehicles or single vehicle) in order to optimize the overall traffic flow.	☑	☑	☑	☑

*Figure 22 : Niveaux de services nécessaires sur l'infrastructure pour le développement des véhicules automatisés*

**Une première proposition de standardisation de message :** L'ETSI a récemment approuvé un rapport technique qui définit le service de perception collective (CPS). Le rapport présente la première proposition de standardisation du format de message de perception collective (CPM) et des règles de génération de ces messages. Un CPM contient entre autres des informations sur le véhicule qui génère le CPM, sur ses capteurs embarqués (leur portée, leur champ de vue, etc.), et sur la perception depuis ce véhicule (les objets détectés avec leur position, vitesse, taille, etc.). En particulier, les messages CPM comprennent un en-tête ITS (Intelligent Transport Systems), une PDU (Protocol Data Unit) et 5 conteneurs : *Management Container*, *Station Data Container*, *Sensor Information Containers (SIC)*, *Perceived Object Containers (POC)* et *Free Space Addendum Container (FSAC)*. L'en-tête ITS PDU comprend des éléments de données tels que la version du protocole, l'ID du message et l'ID de la station. Le conteneur de gestion est obligatoire et fournit des informations de base sur l'émetteur, y compris son type (par exemple, véhicule ou RSU) et sa position. Le conteneur de données de la station est facultatif et comprend des informations supplémentaires sur l'émetteur (par exemple, sa vitesse, son cap ou son accélération). Le SIC est facultatif et peut signaler jusqu'à 128 capteurs dans un CPM. Ces conteneurs décrivent les capacités des capteurs embarqués dans le véhicule émetteur. Les POC (facultatifs) peuvent transmettre jusqu'à 128 objets détectés dans un CPM. Un POC fournit des informations sur les objets détectés (par exemple, leur distance par rapport au véhicule émetteur, leur vitesse et leurs dimensions) et la date à laquelle les mesures ont été effectuées. Le FSAC est facultatif et décrit les zones d'espace libre dans les zones de détection des capteurs. Les règles de génération de CPM définissent la fréquence à laquelle un véhicule doit générer et transmettre un CPM et les informations qu'il doit inclure. Les règles actuelles de génération des CPM de l'ETSI établissent qu'un véhicule doit vérifier dans une période donnée ( $T_{GenCpm}$ ) si un nouveau CPM doit être généré et transmis. Cette période est comprise entre 0,1s et 1s. Un véhicule doit générer un nouveau CPM s'il a détecté un nouvel objet ou si l'une des conditions suivantes est satisfaite pour l'un des objets précédemment détectés :

- Sa position absolue a changé de plus de 4 m depuis la dernière fois que ses informations ont été incluses dans un CPM.
- Sa vitesse absolue a changé de plus de 0,5 m/s depuis la dernière fois que ses informations ont été incluses dans un CPM.
- La dernière fois que l'objet détecté a été inclus dans un CPM, c'était il y a 1 seconde (ou plus).

Un véhicule inclut dans un nouveau CPM tous les nouveaux objets détectés et les objets qui satisfont à au moins une des conditions précédentes. Le véhicule génère toujours un CPM chaque seconde même si aucun des objets détectés ne satisfait à l'une des conditions précédentes. Les informations sur les capteurs embarqués ne sont incluses dans le CPM qu'une fois par seconde. L'ETSI a proposé à ce jour le premier ensemble de règles de génération pour la perception collective. Ces règles sont actuellement des préconisations et des bases de travaux (références) qui ont pour vocation à évoluer avec le temps et les besoins des nouveaux moyens de transport.

La normalisation des messages (systèmes de communication) devrait être proposé d'ici 3 à 5 ans (Le WG1 de l'ETSI ☐ <https://portal.etsi.org/TB-SiteMap/ITS/its-wg1-tor> ) et fixer les règles à adopter au niveau des messages à utiliser par les véhicules et les usagers de la route. Ces messages comprendront des nouveaux messages pour les vulnérables (VAM pour Vulnerable Awareness Message, et Vulnerable Road Users (VRU) awareness), des messages « prioritaires » destinés aux centres et aux systèmes de supervision qui ne voit que ce que les véhicules et les stations de perception fixes transmettent comme informations centres de supervision et de contrôle. L'ETSI proposera des standards et des normes pour les CPS (Collective Perception Service) et les CPM (Collective Perception Message).

**Un enrichissement des informations comprenant les conditions météorologiques :** Il est de plus en plus évident, comme le montre la figure 19, que l'enrichissement des cartes HD passera par la multiplication de stations de perception et de mesure. Ces stations dont la densité et les fonctionnalités pourront être variables permettront de pouvoir collecter un ensemble d'informations sur la densité du trafic, sur les niveaux de pollutions, sur les conditions climatiques, et sur la présence de services spécifiques. Des actions sont actuellement en cours dans ce sens pour équiper l'infrastructure avec un ensemble de dispositifs, matériels, fonctions, services pour percevoir, estimer, et prédire les conditions dégradées :

- Déploiement de stations « météo » pour les services de mobilité (entre autres VA).
- Pixellisation/discrétisation de l'environnement routier avec des cellules/briques de 2km/2km.
- Il y aura un data center par pays européen.
- Il y aura de la redondance et une continuité des données météo. Il y aura une utilisation des données temps réels (véhicules sondes et station) et l'utilisation de modèles prédictifs.

Pour conduire en toute sécurité, un ensemble de fonctions clés doit être disponible et doit être assuré avec un haut niveau de fiabilité et de disponibilité. Ces données doivent permettre le contrôle de trajectoire fiable et l'anticipation de situations simples ou complexes. Plus le niveau d'automatisation augmente et plus les véhicules sont dépendants de l'infrastructure et des moyens de communication. Par conséquent l'infrastructure doit fournir un niveau croissant de qualité d'information et de service (HQoI et HQoS). Les principales informations que l'infrastructure doit fournir sont résumées dans le tableau 2.

Selon le niveau d'automatisation, les véhicules attendront de l'infrastructure un niveau donné de HQoI et HQoS. L'impact des ornières et des nids-de-poule est négligeable sur la sécurité à 50 km/h mais devient critique à 130 km/h. L'approche de zones avec des conditions météorologiques spécifiques (pluie, brouillard, glace) est négligeable à basse vitesse mais critique à haute vitesse.

Ces concepts de HQoI et HQoS doivent être quantifiés et pour cela il est nécessaire de définir un ensemble de métriques permettant de quantifier le niveau de qualité et de fonctionnalité des informations que l'infrastructure doit fournir.

- 1ère approche (aujourd'hui) : analyse de la base de données des accidents et application d'un niveau de corrélation entre l'accident et la présence ou l'absence de certaines caractéristiques de la route.

- 2ème approche (recherche ouverte) : approche probabiliste visant à estimer une probabilité d'accident compte tenu de certaines valeurs des caractéristiques de l'infrastructure routière et inversement à fixer un seuil en adéquation avec un niveau de sécurité donné.

Paramètres de l'infrastructure	Rôle et Impact	Variabilité sur le temps
Lisibilité du marquage au sol	Guidage du véhicule pour le contrôle latéral	Statique
Courbure et dévers de la route	Stabilité du véhicule, prévention des sorties de voies et de route	Statique
Pente de la route	Evitement des collisions lors des manœuvres de dépassement	Statique
Résistance au dérapage, niveau d'adhérence	Stabilité du véhicule en ligne droite et en courbe	Statique, temporaire
Ornières, nids-de-poule, ruptures, fissures	Stabilité du véhicule dans toutes les situations	Temporaire
Visibilité géométrique	Evitement des collisions lors des manœuvres de dépassement	Statique
Lisibilité de l'état des feux de circulation	Traversée d'intersection sûre	Dynamique
Lisibilité des panneaux routiers	Conduite dans le respect du code de la route et du code de la route (ex. limitation de vitesse)	Statique
Évaluation des conditions météorologiques	Stabilité du véhicule, avancement du véhicule, dépassement en toute sécurité	Dynamique

Figure 23 : Principales informations que l'infrastructure doit fournir pour garantir le déploiement des moyens de mobilités automatisées

Jusqu'à présent, la base de données des accidents impliquant des véhicules automatisés commence seulement à être collectée et signalée. Seuls les rapports américains sont disponibles. Il est nécessaire de proposer des approches combinant les bases de données réelles avec des modèles de simulation basés sur la physique. Selon les niveaux HQoI et HQoS<sup>17</sup>, le véhicule pourra alors décider de passer en mode automatisé (niveau 3 à 5) ou en mode manuel (niveau 0 à 2).

En 2021 l'association PIARC propose une classification des « smart roads » et présente une définition des niveaux d'équipement nécessaires pour les différents niveaux de mobilité [13] :

- **Human way (HU) road segments** : Le segment de route est inadapté aux VAC.
- **Assisted way (AS) road segments** : Supports et services partiels pour les VAC.
- **Automated way (AT) road segments** : Caractéristiques physiques similaires aux routes l'AS mais avec des capacités de communication (alerte et réduction des désengagements)
- **Full Automated way (FA) road segments** : Supports et services complets pour les VAC de niveau 4 incluant des bonnes capacités de connectivités.
- **Autonomous way (AU) road segments** : Supports et services complets uniquement pour les VAC de niveau 4 et 5 incluant des capacités de connectivités exceptionnelles.

Dans ce travail, plusieurs scénarios sont proposés intégrant la disponibilité ou non d'une SRC (Smart Road Classification), d'une infrastructure numérique, et d'une information publique sur le

<sup>17</sup> Hierarchical Quality of Information / Hierarchical Quality of Service

désengagement et l'ODD<sup>18</sup> des véhicules automatisés. Deux indicateurs ont été proposés pour quantifier le SRL (Niveau d'Intelligence de la Route) :

- Le premier caractérise le niveau de service pour la conduite automatisée (LOSAD pour Level Of Service for Automated Driving). Cet indicateur représente l'état de préparation/disponibilité physique du segment routier pour prendre en charge l'utilisation du véhicule automatisé.
- Le second que nous avons abordé précédemment est l'ISAD. Cet indicateur est plus dédié au niveau de connectivité et d'informations disponibles par l'utilisation des communications.

Le SRL pourrait alors être déterminé en combinant ces 2 indicateurs.

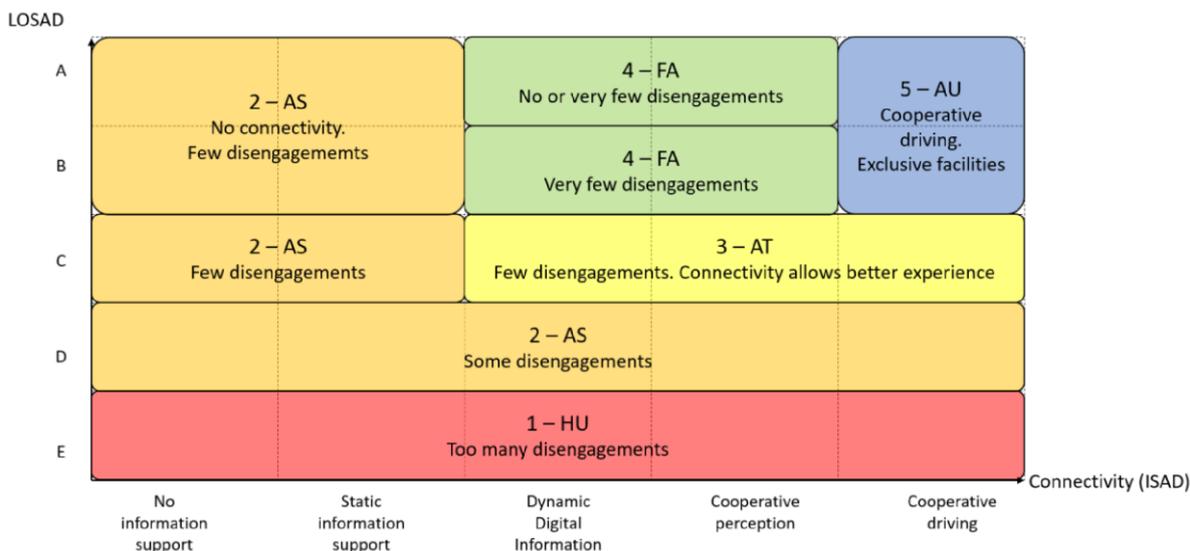


Figure 24 : Niveau de « Smart Road », une combinaison de l'ISAD et du LOSAD (Source : PIARC [13])

Dans ce document [13], pour chaque niveau d'équipement, un tableau synthétique est fourni et présente les paramètres et variables à prendre en considération :

Les couches : Infrastructure physique, Infrastructure numérique, connectivité, usager ...

Pour chaque couche, un nombre de facteurs sont proposés : type de route, géométrie, vitesse, marquage et signalisation horizontale, chaussée, travaux ...

Pour chacun de ces facteurs, l'état (statique, dynamique), le domaine routier (section, segment, ...), ainsi que les paramètres le définissant sont énumérés.

Pour finir, pour chaque niveau d'équipement (HU, AS, AT, FA, AU), des contraintes et des conditions sont données.

### 2.3.2.2 - Les enjeux, les leviers et freins à la mise en œuvre

**Les communications, où, combien, comment** : Afin de garantir une couverture la plus efficace et adaptée au déploiement des véhicules communicants et automatisés, de nombreux projets installent des infrastructures de communication sur un corridor allant du nord au sud de l'Europe. Néanmoins, afin de pouvoir couvrir l'ensemble des autoroutes, la densité de bornes (5G et WiFi 802.11p) reste très conséquente. La question suivante se pose, qui va installer le service complet et qui va en faire la

<sup>18</sup> Operational Design Domain : Le concept d'ODD permet de définir dans quelles conditions le système a été conçu pour permettre l'automatisation de la conduite. Il permet donc de spécifier les conditions opérationnelles à valider. Ce concept recouvre les dimensions du contexte : conditions climatiques, de luminosité ou l'exigence sur le parcours, etc.

maintenance afin d’assurer un très haut niveau de qualité et de performance de ces médias critiques dédiés à la mobilité automatisée ? De plus, le déploiement de la 5G va-t-elle garantir un très haut niveau de performances tout en permettant une large couverture du territoire ? Faut-il mettre en œuvre un réseau dédié pour les VAC ? Le déploiement de la 5G peut potentiellement contribuer à réduire le coût de l’infrastructure physique là où celle-ci est peu équipée, et à offrir la scalabilité nécessaire (non atteignable avec l’ITS-G5) et le haut niveau de service (Qo) des services C-V2X (Partage largeur de bande et latence).

Afin de garantir une QoS, un niveau de performance minimal devra être garanti (latence, qualité, continuité de service ...). Comment peut-on garantir cette performance ? Les limites des moyens de communication doivent être parfaitement connues et modélisées afin de connaître leur impact sur le niveau de réactivité des véhicules automatisés.

**Les communications, une nécessité à haut niveau de service et robuste aux attaques :** Les moyens de communications sont essentiels pour la coordination des véhicules et de leurs manœuvres à distance. Ceci pose le problème de la disponibilité des messages et des moyens de communication sur un itinéraire complet. Le problème de la cybersécurité et des cyber-attaques est plus que critique.

Concernant les cyber-attaques, de nombreux travaux se portent de plus en plus sur l’estimation de l’impact des cyberattaques sur la sécurité et la stabilité des pelotons de véhicules connectés et automatisés lors des insertions, des sorties des pelotons et des changements de voie du peloton. La figure 24 montre partiellement la difficulté de cette problématique. En effet, les types d’attaques sont très nombreuses et bien entendu, un agent malveillant pourra en même temps mettre en œuvre une fusion de plusieurs de ces types d’attaques. Cette dernière remarque pose la question du coût en recherches et en moyens qu’il est nécessaire d’allouer à la cybersécurité et aux mises à jour logicielles et matérielles.

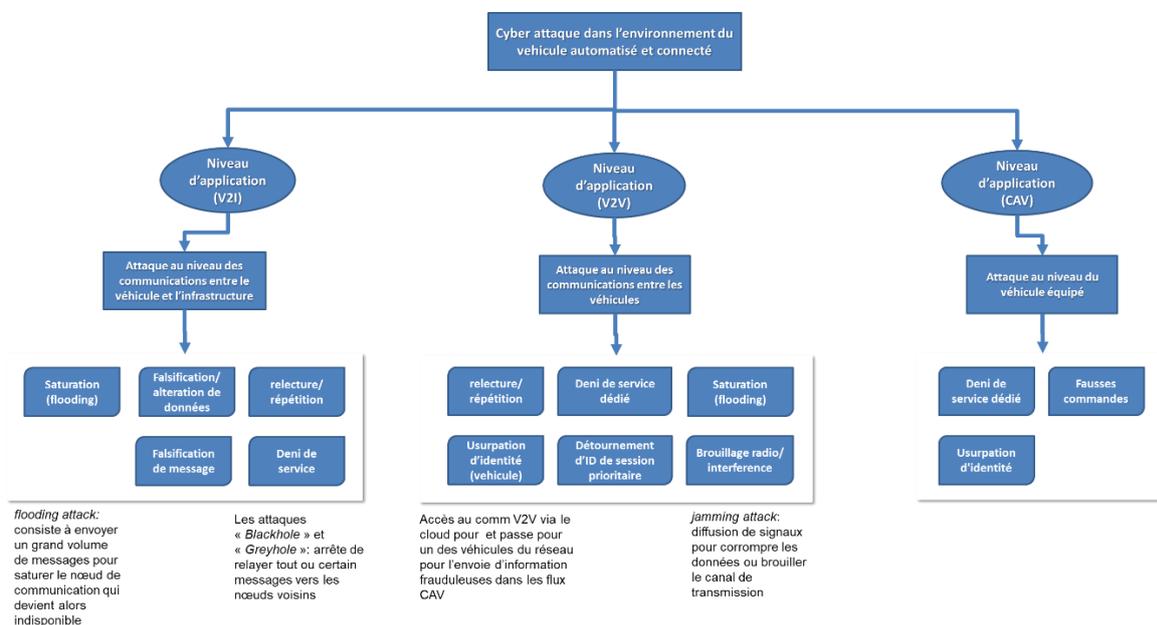
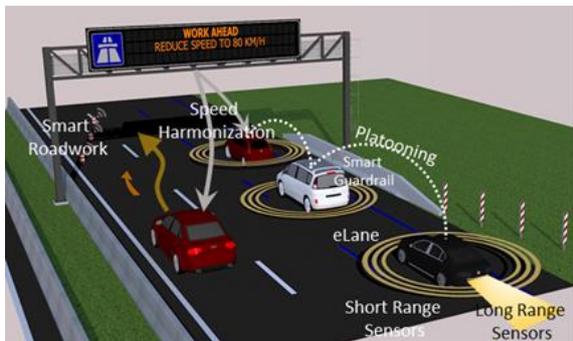


Figure 25 : Arbre des types de cyber-attaques dans l'environnement des véhicules connectés et automatisés



## Configuration autoroutière



## Configuration urbaine

*Figure 26 : une infrastructure communicante adaptée aux configurations de route*

**L'enrichissement des cartes HD** : L'objectif de ce type de carte et des informations qu'elle contient est de fournir une couverture la plus complète des données statiques, dynamiques, sémantiques, événementielles pour permettre au VA de disposer des informations nécessaires pour prendre les meilleures décisions. Ceci revient à disposer d'un jumeau numérique "thématique" qui pourra apporter l'information pertinente en fonction du cas d'utilisation. Dans ces informations, il y a aussi les informations météorologiques et la quantification du niveau de visibilité et de disponibilité des informations nécessaires pour le VA (fonctionnement tout temps et toutes conditions pour les VAC de niveau 5). Néanmoins, cette perception des conditions dégradées et de l'estimation/modélisation de ces conditions est toujours un verrou. Une solution est par conséquent d'utiliser des VA comme capteur/sonde pour alimenter les bases de données météo routières. Mais que se passera-t-il en cas de faible densité des véhicules équipés ?

**Nécessité de normalisation des données et des cartes HD** : D'un point de vue technique, la mise en œuvre des cartes HD et des concepts de véhicules sondes amène la question de la normalisation. Les gestionnaires autoroutiers publics disposent déjà de bases de données (description statique de leurs infrastructures) qui seront à faire évoluer avec les autres acteurs de l'écosystème. Ceci pose la question de la compatibilité, de l'interopérabilité, et de l'homogénéisation des connaissances et des informations. Dans tous les cas, une communauté autour de la normalisation des données pour l'évaluation de la qualité de service devrait être créée autour des gestionnaires de routes, des constructeurs automobiles et des analystes de données afin de construire une norme commune. De plus, le risque de cyber-attaque et de piratage doit être considéré comme très critique lorsque des modifications/mises à jour/corrections sont faites dans les bases de données permettant de générer les cartes HD et les consignes à transmettre aux véhicules. En effet, un piratage et une altération de la qualité et de la cohérence de ces données peut potentiellement aboutir à passer tous les véhicules d'une flotte du mode autonome au mode manuel. Il est encore une fois évident que l'intelligence doit être efficacement distribuée sur les véhicules et au niveau de l'infrastructure.

**Les indicateurs et niveaux de qualité des sources et des données** : Se pose ensuite la qualité et la disponibilité des données. En effet, les véhicules sondes peuvent produire des mauvaises mesures en cas de dysfonctionnement des capteurs, le centre de contrôle et de gestion des données peut également être équipé d'algorithmes moyennement ou peu efficaces pour détecter des incohérences et des défauts, finalement l'infrastructure routière elle-même peut être dégradée et difficile à percevoir et à lire pour les capteurs des véhicules et des stations fixes. Ceci met en lumière la nécessité de pouvoir disposer de procédures garantissant la qualité des données et des traitements, et d'une supervision efficace voire de systèmes de redondance des capteurs de collecte de ces données.

**L'obsolescence des technologies** : L'obsolescence des technologies est un point critique et crucial dans les métiers liés à la voirie. En effet, sur les infrastructures, les équipements sont installés pour des durées de vie de 12 à plus de 15 ans, voire souvent plus ... L'évolutivité des solutions sera une des clés

d'investissement pour les territoires connectés durables et résilients. Ce point a été souligné dans le rapport sur les Territoires connectés produit par la DGE.

### 2.3.2.3 Actions et préconisations

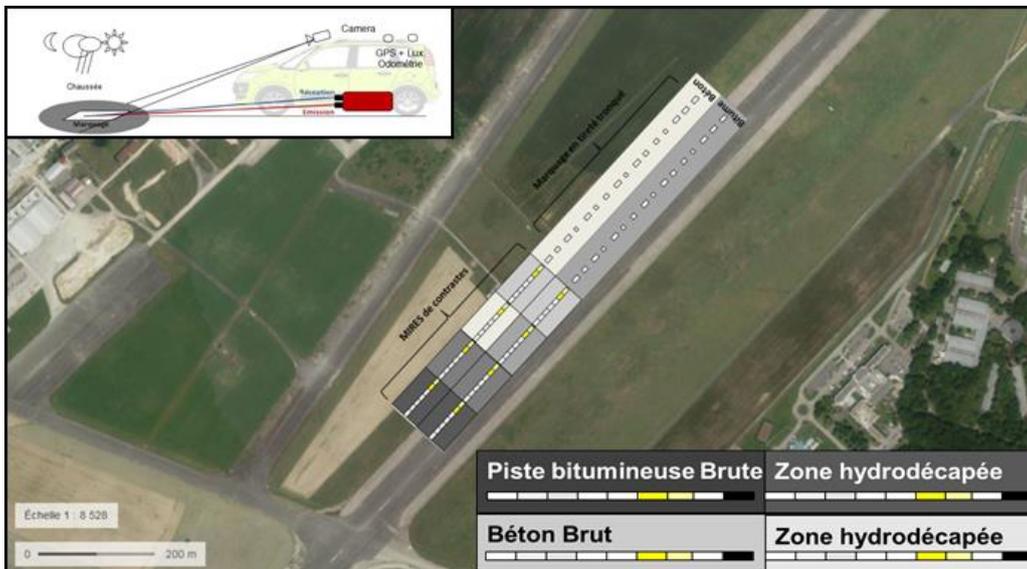
**Préconisation 1 : Proposer des normes définissant les notions de Haute Qualité d'Information et de service de l'infrastructure.** Les concepts de HQoI et HQoS doivent être mis en œuvre et le niveau de qualité, de lisibilité, d'accessibilité, de disponibilité de l'infrastructure doit être estimé dynamiquement (mise en œuvre de métriques et de labels). Ces mesures de qualité de l'infrastructure sont essentielles pour connaître si le niveau de qualité et de fonctionnalité des informations que l'infrastructure doit fournir est suffisant pour appliquer un certain niveau d'automatisation sur un segment de route. Ceci permettra de proposer des nouveaux concepts et labels de qualité pour des services de mobilité automatisée tels que le label « itinéraire sécurisé ». Une route (ou une infrastructure physique) pourra être labélisée si les valeurs de ses caractéristiques sont incluses dans un espace garantissant qu'un véhicule automatisé peut y circuler en toute sécurité. Ceci implique la modélisation du niveau de fonctionnalité des infrastructures dans les cartes HD.

- *Porteurs : DGITM, Territoires, et Collectivités, UGE, Cerema.*
- *Parties prenantes : Services techniques de l'Etat, des territoires et des collectivités, AOMs, fabricants et sociétés expertes en véhicules autonomes et en communication V2X, Sociétés expertes en réseaux de communication.*

**Préconisation 2 : Afin de garantir le domaine de fonctionnement, proposer des critères de performances minimum pour des services de communication pour les VAC et constituer des groupes de travail et de réflexion en France intervenant activement dans la construction des normes de communication pour les VAC.**

- *Porteurs : DGITM, Territoires, et Collectivités.*
- *Parties prenantes : Services techniques de l'Etat, des territoires et des collectivités, sociétés et organismes experts en communication V2X, sociétés expertes en réseaux de communication.*

**Préconisation 3 : Afin de normaliser les informations HD, mettre en œuvre des groupes de travail centrés sur le développement d'une communauté uniformisant la structure [niveaux (statique, dynamique, permanent, temporaire, événement, sémantique ...), le contenu (ensemble des paramètres et des variables de la cartes), et les niveaux de qualité et de fonctionnalité (niveau d'adaptation, niveau d'adéquation ...)] des HD Maps et des informations utilisables par les VA.**



Reference test track for camera

Figure 27 : moyens expérimentaux pour quantifier l'adéquation capteur/infrastructure (source Université Gustave Eiffel)

Les communications sont essentielles pour la coordination des véhicules et de leurs manœuvres à distance. Se pose alors le problème de la cybersécurité et de la sûreté de fonctionnement.

- *Porteurs : DGITM, Territoires, et Collectivités, UGE, Cerema.*
- *Parties prenantes : Services techniques de l'Etat, des territoires et des collectivités, sociétés et organismes experts en communication V2X, sociétés expertes en réseaux de communication, sociétés expertes en cybersécurité et sûreté de fonctionnement.*

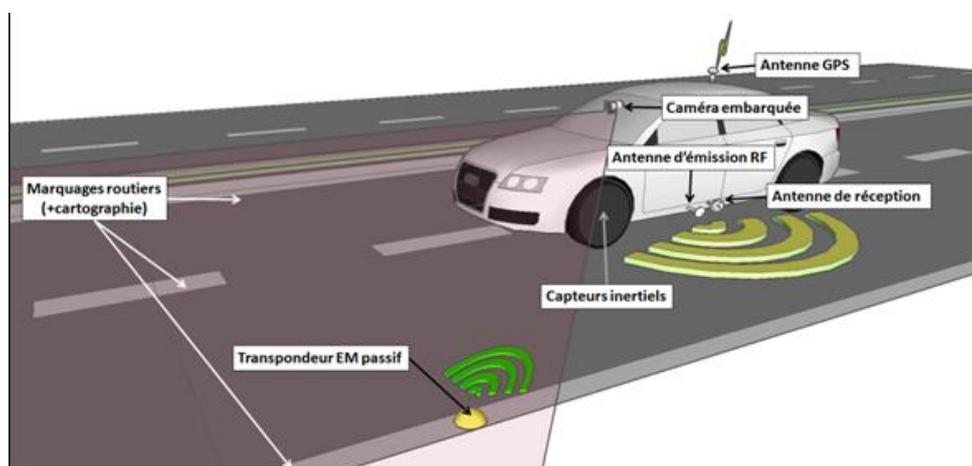


Figure 28 : Une perception et une localisation interactive et coopérative

**Préconisation 4 : En vue d'une communication plus intelligente et résiliente, mettre en œuvre des groupes de travail et des initiatives de recherche** et développement pour proposer des technologies et stratégies de communication « intelligentes », résilientes, faible consommation, résistantes aux attaques et aux interférences. Ces travaux proposeront également des stratégies de routage et de clustering d'objets pour une communication dynamique et efficace comme celles proposées par l'Université Gustave Eiffel (méthode CBL+).

- *Porteurs : DGITM, Territoires, et Collectivités, UGE, Cerema.*
- *Parties prenantes : Services techniques de l'Etat, des territoires et des collectivités, sociétés et organismes experts en communication V2X, sociétés expertes en réseaux de communication, sociétés expertes en cybersécurité et sûreté de fonctionnement.*

**Préconisation 5 :** Afin de disposer de **nouvelles architectures de perception hybrides et distribuées, mettre en œuvre des projets collaboratifs impliquant des partenaires industriels et des partenaires académiques. Il s'agit de proposer des nouvelles architectures de perception et de fusion multi-capteurs** permettant de détecter, suivre, interpréter des marquages routiers « intelligents » prenant en compte des capteurs embarqués et débarqués, ainsi que les cartes HD et des systèmes communicants de type RFID. L'objectif de mettre en œuvre ces architectures pouvant être hybrides (avec et sans modèle se basant sur les théories de l'estimation et les méthodes d'IA par apprentissage) est de pouvoir se localiser de manière fiable et précise en permettant de calculer une localisation HQoS distribuée et coopérative avec un niveau élevé de garantie de service.

- *Porteurs : DGITM, Territoires, et Collectivités, UGE, Cerema.*
- *Parties prenantes : Services techniques de l'Etat, des territoires et des collectivités, pôles de compétitivité, constructeurs et équipementiers automobiles & poids lourds, constructeurs de véhicules de transport en commun (tram, bus, et navettes), fournisseurs et fabricant d'équipement et capteurs pour l'infrastructure, sites de test, sociétés et organismes experts en communication V2X, sociétés expertes en réseaux de communication, sociétés expertes en cybersécurité et sûreté de fonctionnement.*

**Préconisation 6 :** **Trouver des solutions vis-à-vis de la capacité d'évolutivité des infrastructures.** Limiter l'obsolescence des technologies est un point critique et crucial qu'il faut aborder. En effet, les moyens de mobilité ont une dynamique d'évolution de plus en plus élevée. Actuellement les infrastructures et les équipements sont installés pour des durées de vie de 12 à plus de 15 ans, voire souvent plus ... L'évolutivité des solutions est clairement à aborder et des solutions sont à trouver. Ce point est une des clés d'investissement pour les territoires connectés durables et résilients.

- *Porteurs : UGE, Cerema.*
- *Parties prenantes : Services techniques de l'Etat, fournisseurs et fabricant d'équipement et capteurs pour l'infrastructure, sites de test, sociétés expertes en réseaux de communication, sociétés expertes en cybersécurité et sûreté de fonctionnement.*

## 2.3.3 - Une supervision distante pour gérer et contrôler les véhicules automatisés

### 2.3.3.1 - Etat des lieux

Le déploiement des moyens de vision, supervision, hypervision est abordé différemment suivant les régions du monde dans lesquelles les services de mobilité sont déployés et surtout en fonction du type de moyen de transport (Train, tramway, bus, métro, taxi, véhicule partagé ...). Pour ce qui concerne les services de mobilité automatisée, plusieurs approches sont possibles en fonction du niveau et des stratégies de déploiement de l'intelligence :

**« L'intelligence » peut être majoritairement embarquée dans le véhicule** (approche « vision » plutôt anglo-saxonne)

- Cette stratégie repose essentiellement sur les capacités de perception et de décision du véhicule. Ceci pose des problèmes en cas de conditions météorologiques dégradées et de mauvaises conditions de visibilité et de lisibilité de l'environnement : portée de perception limitée ou information non disponible ou difficilement observable.

« **L'intelligence** » peut être principalement mise sur l'infrastructure (approche « supervision » plutôt appliquée en Asie).

- Le contrôle et la gestion des données se fait depuis un ou des centres de contrôle routier.
- Le problème de ce type de stratégie concerne la possibilité de subir des cyberattaques qui vont soit brouiller des signaux (plus de communication), soit modifier le contenu des messages envoyés par les véhicules, soit transmettre des informations et des consignes fausses depuis le centre de contrôle. Une solution est de disposer d'une redondance des centres de contrôle et d'un recoupement des informations.
- Néanmoins, sans information de l'infrastructure, le véhicule devient presque aveugle.

« **L'intelligence** » peut être partagée entre les véhicules et les infrastructures (stratégie hybride « vision » et « supervision », plutôt appliquée en Europe)

- Cette solution est plus robuste aux pannes, défaillances, et inconvénients se produisant sur l'une des 2 parties (véhicule et centre de contrôle). Cette stratégie est meilleure du point de vue de la sécurité de fonctionnement mais elle est plus coûteuse puisqu'elle nécessite plus de matériels, plus de capteurs, plus d'algorithmes.
- Dans cette configuration, le véhicule peut être utilisé comme une sonde afin de vérifier la lisibilité et l'accès aux informations proposées par l'infrastructure.
- Cette solution permet également de mieux détecter des attaques externes (cohérence des données provenant des sondes et de l'infrastructure).
- Le centre de contrôle peut utiliser des stations fixes de perception et la perception embarquée. Cette configuration peut permettre de garantir un niveau supérieur de qualité de la perception.

### *2.3.3.2 - Les enjeux, les leviers et freins à la mise en œuvre*

Pour garantir un haut niveau de QoS et QoI, il est primordial de pouvoir monitorer et diagnostiquer en temps réel la capacité et la qualité de l'infrastructure et des données qu'elle génère et qu'elle met à disposition des véhicules. Utiliser les véhicules équipés de sources d'information et de moyens de communication (véhicules sondes) peut être une solution. Mais est ce que la qualité des données est suffisante ? En effet, les véhicules disposeront probablement d'architectures et de capteurs différents, quel sera alors le niveau de couverture, de consistance, de cohérence, et d'information des capteurs et des modules de perception. La réponse est difficile à donner et sera très variable en fonction des composants, matériaux, capteurs des véhicules et de l'infrastructure, certains nécessitant des actions de maintenance prédictive/préventive. Les véhicules « sonde » seront à mettre en œuvre car en l'absence de stations fixes de perception, ils pourront permettre au centre de contrôle de maintenir des fonctionnalités de supervision du trafic en temps réel et de supervision de l'infrastructure en temps différé. La mise en commun et la supervision croisée permettront de proposer des services d'hypervision du système.

**Vision, supervision, hypervision, quelle est la meilleure stratégie ?** : Dans les systèmes dit « Supervisés », l'ensemble du système de transport automatisé est contrôlé par un superviseur « omniscient » gérant toutes les décisions prises par les véhicules automatisés. Cette architecture suppose de disposer d'un réseau de communication d'un très haut niveau de fiabilité et de protection contre les attaques extérieures. Dans les systèmes « supervisés », trois sous-catégories peuvent être mises en œuvre :

- **L'architecture distribuée** dans laquelle les calculs sont effectués sur plusieurs centres de contrôle. Cette architecture demande plus de moyens mais assure une plus grande fiabilité aux attaques et aux défaillances. En effet un réseau de centre de contrôle permet d'appliquer des stratégies de répartition des traitements qui peuvent s'adapter en fonction de la situation courante.

- **L'architecture centralisée** dans laquelle les calculs ne sont effectués que sur un seul centre de contrôle responsable de toute la gestion du trafic et des véhicules automatisés. Cette architecture est plus critique car une attaque sur le centre de contrôle ou une génération d'interférence bloquant les communications entre les véhicules et le centre de contrôle vont produire un blocage complet du service de mobilité automatisée.
- **L'architecture hybride** qui utilise un centre de contrôle « maître » (centre d'hypervision) qui va gérer les centres de données et de contrôle distribués. Cette architecture est un compromis entre les 2 précédentes. De même que pour l'intelligence (centralisée ou localisée), de nombreuses expériences ont montré pour de nombreux autres systèmes opérationnels que l'application de solutions hybrides était souvent plus adaptée et plus efficace pour répondre aux usages et aux configurations complexes, multiples et variées.

**Identification des services obligatoires et critiques** : Ceci passe par le type de données à collecter et à transmettre, les délais et les latences de transmission, la portée, la période de transmission, le niveau de qualité des données (précision, certitude, confiance, fiabilité). Il faut garantir un niveau de monitoring et de diagnostic des systèmes aussi bien embarqués dans les véhicules que débarqués dans les centres de contrôle et de gestion des données de cartographie. En embarqué, en cas de coupure de la liaison entre les centres serveurs et les véhicules automatisés, il faut garantir un mode dégradé permettant au véhicule de continuer à fonctionner en autonomie et lui permettant de faire les actions nécessaires pour se mettre dans une configuration sécurisée.

**Automatisation des centres de contrôle** : Cette dernière remarque amène des questions concernant les centres de supervision : faut-il des systèmes entièrement automatisés (systèmes de raisonnement et de décision à base d'IA) ou opérateurs humains dans la boucle sont-ils indispensables ? Dans ce cas, y a-t-il des procédures et des formations particulières.

**Une infrastructure adaptée et potentiellement partagée mais à quel coût ?** De plus, les coûts de maintenance de tels stations de perception, de centres de contrôle, et de centres de données risquent d'être élevés pour garantir un haut niveau de qualité de service. Ce coût devra probablement être distribué et équilibré par la fourniture d'un service réduisant les coûts de transport. Cela peut se faire en étendant le concept de qualité de service aux aspects environnementaux tels que la pollution de l'air ou la consommation d'énergie.

### 2.3.3.3 - Actions et préconisations

**Préconisation 1 : Afin de disposer d'infrastructures de supervision adaptées et dimensionnées pour les véhicules automatisés**, mettre en œuvre des initiatives et des recherches collaboratives sur les infrastructures adaptées aux véhicules automatisés et aux nouveaux moyens de mobilité en abordant les problèmes de la digitalisation des services et des espaces, en favorisant des solutions avec un faible impact et une faible empreinte environnementale. Ceci va nécessiter de proposer et de développer des nouvelles architectures et des nouvelles stratégies pour des services et des fonctionnalités plus efficaces, interopérables, et maintenable sur du long terme. (Capacité à s'adapter et à évoluer).

- *Porteurs : DGITM, UGE, Cerema.*
- *Parties prenantes : Services techniques de l'Etat, fournisseurs de plateformes de supervision, instituts et labos de recherche, fournisseurs et fabricants d'équipements et capteurs pour l'infrastructure, sites de test, sociétés expertes en réseaux de communication, sociétés expertes en cybersécurité et sûreté de fonctionnement, pôles de compétitivité.*

**Préconisation 2 : Service de secours** : Dans le cas d'une dégradation des performances et des moyens de perception du véhicule, le centre de supervision pourrait utiliser des **systèmes extérieurs** (humain (opérateur), drone, véhicule de « maintenance et de sécurité ») prenant le **contrôle** du véhicule en mode

dégradé. Ceci implique de mener des études, des travaux, et des développements pour mettre en œuvre des services de « secours ».

- *Porteurs : DGITM, Territoires et Collectivités, UGE, Cerema.*
- *Parties prenantes : Services Techniques de l'Etat, exploitants d'infrastructures, AOMs, constructeurs et équipementiers automobiles & poids lourds, constructeurs de véhicules de transport en commun (tram, bus, et navettes), fournisseurs et fabricants d'équipements et capteurs pour l'infrastructure, sites de test, Sociétés et organismes experts en communication V2X.*

## 2.4 - Services et viabilité économique

Cette section n'est pas à proprement parlé une section abordant les enjeux technologiques. Néanmoins c'est une section qui nous semble pertinente d'ajouter car elle ouvre de nombreuses voies de réflexion, et pose de nombreuses questions dont les réponses seront certainement liées au développement de nouvelles technologies ou à l'utilisation de technologies existantes.

### 2.4.1 - Le coût économique et la viabilité

Le concept d'ISAD (Infrastructure Support for Automated Driving) est proposé afin de définir les fonctionnalités et les niveaux d'informations nécessaires dans les cartes HD pour permettre le déploiement efficace des véhicules automatisés (INFRAMIX) étendu à l'utilisation, la collaboration, et l'interaction avec l'infrastructure physique et digitale. Néanmoins ce concept demande le déploiement de nouvelles infrastructures et/ou l'adaptation des infrastructures existantes. Ceci amène un ensemble de remarques, de questions, et de contraintes :

- Mettre en œuvre et déployer des nouvelles infrastructures coûte très cher, c'est clairement un frein tant les besoins et les coûts ne s'équilibrent pas. Faut-il proposer des stratégies de partage des coûts entre les usagers, les constructeurs, et les gestionnaires ?
- Sur quel(s) acteur(s) reposera la responsabilité de la mise en œuvre, la maintenance, et la gestion de ces infrastructures ? Actuellement, un manque de visibilité sur les modèles économiques (difficulté à établir un ROI / stratégie territoriale) semble être un frein important au déploiement des nouvelles infrastructures.
- Il sera nécessaire de proposer et de développer une stratégie d'adaptation a minima pour pallier les limites plus long terme (pas celles du moment) des capteurs embarqués.
- L'enjeu n'est pas tant l'investissement, que l'entretien de ces infrastructures. Comment les nouvelles sources de données peuvent permettre un meilleur entretien à coût constant ? Ceci pose la question des infrastructures ayant la capacité de s'auto-diagnostiquer et de corriger les défauts et les défaillances mineures.
- Quels seront les moyens humains et techniques nécessaires et quels seront les coûts associés ?
- Quel sera le niveau de SLA (Service-Level Agreement). Ce SLA définira la qualité de service et de prestation prescrite et attendue entre le véhicule automatisé (par extension l'utilisateur) et le gestionnaire d'infrastructure fournissant les services.

Concernant la construction et la génération des cartes HD, qui va ou qui doit s'en occuper ? Qui va ou qui doit les maintenir et les mettre à jour ? Qui va mettre en œuvre leur exploitation et leur mise à disposition ? Il faut des plans de développement, d'utilisation, et d'entretien qui permettent d'obtenir un équilibre entre les bénéfices et les coûts. Ce rapport coûts/bénéfices amène des questions sur le déploiement des infrastructures et des services qui y sont liés :

- Où a-t-on besoin d'équiper l'infrastructure ?
- Et avec quels types d'informations et de services ?
- A-t-on les moyens de déployer à grande échelle des infrastructures nécessaires pour les VA ?

Il faut clairement repenser le modèle actuel et proposer un nouveau modèle économique pour financer ces équipements. La manière de garantir un niveau de rentabilité suffisant est de pouvoir diversifier les services et les fonctionnalités des infrastructures.

- Quelle est la place pour la multifonctionnalité des équipements des infrastructures ? Est-ce que l'utilisation des capteurs et des sources de données initialement dédiés pour le fonctionnement

des VA peut être étendue pour permettre d'alimenter de façon opportuniste et non conventionnelle d'autres Systèmes d'Information (SI) et d'autres services.

- Par exemple, le déploiement d'un réseau d'information sur les conditions météo ne peut pas être uniquement dédié au VA. En effet, ce service nécessitant la mise en œuvre de très nombreuses stations fixes proches et de centres de contrôle et de collecte/d'analyse des données plus distant n'est, pour le moment, pas viable économiquement.
- Il faut trouver plusieurs services pour différents types d'utilisateurs. Ceci doit-il nous amener à proposer des stratégies d'utilisateur payeur.
- Pour les informations météorologiques discrétisées et locales, qui va ajouter cette couche dans les cartes HD (Haute Définition) ?

Le déploiement des services de mobilité automatisée va impliquer beaucoup d'intermédiaires. Comment être robuste aux cyberattaques ? Comment définir et estimer la viabilité du système de mobilité automatisée à grande échelle ? Il faut prendre en compte les exigences opérationnelles. Il faut pouvoir développer une hybridation adaptative en fonction des usages. Il faut pouvoir adapter un service de mobilité automatisée en fonction par exemple de la plage horaire d'utilisation et de disponibilité. Un véhicule peut ainsi servir à transporter des passagers la journée (ou durant les heures pleines), et transporter des marchandises durant la nuit (ou les heures creuses). Cette diversification des services pour une meilleure rentabilité passera aussi par le développement du MaaS (Mobility as a Service). Dans ce cadre, la mobilité devient un service générique, unifié, simple, et proposant de nombreux services annexes à la mobilité.

Il faut bien garder en tête les procédures d'évolution, de maintenance, et de reconditionnement des véhicules, des capteurs, des architectures embarquées.

**L'évolution** des moyens de mobilité dans le **temps** est un point saillant qui touche les problèmes de :

- Développement durable
- Recyclage (ex les batteries)
- Reconditionnement possible des véhicules
- Maintenance, mise à jour, évolution

De plus, avant le déploiement des services de mobilité automatisée en complément des moyens de mobilité actuels, il apparaît nécessaire de mettre en œuvre un certain nombre d'études et être en mesure de répondre à un certain nombre de questions sur les **niveaux de déploiement**. Ainsi il est nécessaire d'aborder les concepts suivants (voir figure 29) :

- **L'opportunité** : Concerne l'étude du déploiement dans le cas idéal où l'infrastructure est parfaite, les capteurs sont idéaux, et aucune perturbation n'impacte le véhicule. Si ce niveau d'étude donne un résultat positif alors nous pouvons passer au second niveau.
- **La faisabilité** : Concerne la mise en œuvre du service, des véhicules, et de l'infrastructure dans le cas réel avec les conditions réelles normales correspondant au domaine de fonctionnement nominal. Si ce niveau est jugé positivement, alors il faut aborder les cas limites et les fonctionnements hors du domaine de fonctionnement.
- **La maintenabilité** : Ce niveau a pour objectif d'estimer le niveau de robustesse et de résilience du véhicule, des capteurs, des traitements, de l'infrastructure et au sens large du service de mobilité dans les cas dégradés. Ceci implique de garantir un niveau minimum de service et de sécurité. Ce concept est directement lié à l'acceptabilité et à la confiance dans le système.

**L'énergie, un besoin nécessaire et indispensable** : Concernant la viabilité du service et surtout les aspects développement durable, il est primordial d'aborder et de traiter la question de **l'énergie**. Pour pouvoir développer et mettre en œuvre un service de mobilité automatisé éco-responsable, il faut garantir la **disponibilité** de l'énergie à tous moments, proposer une **topologie** et des **emplacements** pour les stations de recharge, et faire des **propositions d'offre** de recharge **adaptée**. Cette question de la disponibilité et de la consommation d'énergie pose le problème de l'optimisation des architectures logicielles et matérielles dans le véhicule. En effet, celles-ci doivent être correctement dimensionnées pour minimiser la consommation d'énergie (électrique et/ou autre). Actuellement, malgré le déploiement des moyens de mobilités décarbonées, des interrogations persistent. Ceci est principalement dû à une actuelle relative méconnaissance des coûts énergétiques, et des impacts environnementaux liés au développement du VA. Il est nécessaire de pouvoir proposer des stratégies permettant le renforcement d'une approche globale énergie comprenant le cycle de vie des matériels et technologies, et les besoins énergétiques de fonctionnement qui vont aller croissants.

Depuis 2020, avec la **pandémie** provoquée par le **COVID 19**, tout l'écosystème industriel mondial a été fortement impacté allant jusqu'à l'arrêt des activités de nombreuses entreprises. Ces perturbations graves dans le fonctionnement de l'économie mondiale se sont traduites, entre autres, par une **pénurie de semi-conducteur** produit majoritairement en Asie. Cette constatation soulève la question sensible de la **souveraineté** et de **résilience** de la **filière automobile** en cas de rupture de l'approvisionnement des pièces et composants essentiels à la conception, à la maintenance, et à la mise à jour des services et des moyens de mobilité automatisée aussi bien du point de vue du véhicule que de l'infrastructure.

#### **2.4.2 - Responsabilité et protection des informations**

L'infrastructure joue de plus en plus le rôle de capteurs et de systèmes de communication distribués alimentant soit une base de données centrale, soit des bases locales (centres de contrôle et de supervision) utilisée par les véhicules autonomes. Ce type d'architecture, pratique et efficace d'un point de vue technique peut soulever plusieurs problèmes.

- En matière de respect de la vie privée, les conducteurs voyageraient dans un monde où les capteurs sont omniprésents. Les capteurs seront aussi bien dans l'égo-voiture, que dans les véhicules de l'environnement proche, que sur la route sur laquelle les véhicules évoluent. De plus, ces capteurs et données seront traitées dans un endroit inconnu et non accessible par l'utilisateur. Pour faire confiance au système, un effort important doit être fait sur la réglementation de la confidentialité des données pour protéger les utilisateurs contre toute utilisation frauduleuse de leurs données privées. En France, la CNIL est chargée de la protection des personnes et de leurs informations personnelles. Elle devrait donc être informée de la mise en œuvre des projets impliquant la collecte des données privées ou ayant la capacité, après traitement, de pouvoir extraire des données privées. Il faut donc que les normes sur la protection des données soient adaptées et étendues à la mobilité automatisée.
- Côté responsabilité, une tâche complexe sera d'enquêter sur la responsabilité en cas d'accident. C'est ce qui se fait en aéronautique pour les crashes d'avions. En aéronautique, la responsabilité est souvent partagée entre le pilote, la compagnie aérienne, l'avionneur et les contrôleurs aériens. Dans le cas d'un système de transport routier automatisé, il est probable qu'il en serait de même. Cependant, le fait que le véhicule « sonde » estime automatiquement le niveau de service de la route peut compliquer cette tâche car la plupart des algorithmes d'estimation seront fournis sous forme de boîtes noires. Ensuite, en cas d'accident, comment déterminer qui est le responsable ? Ainsi, l'algorithme d'estimation des véhicules de sonde doit être certifié sur une route d'essai expérimentale et simulée calibrée afin de donner la possibilité de simuler les conditions d'accident.

Pour les véhicules automatisés de niveaux 3 et 4, il semble important de proposer la mise en œuvre de formations pour permettre une prise en main des VA en toute sécurité. Ceci permettra de mieux gérer les problèmes suivants :

- **Conflits et ambiguïtés de la compréhension d'une situation : système versus l'humain**
- Gestion des **événements** et de la **sémantique**.

### 2.4.3 - Santé et confort

Pour le groupe de travail, les thématiques de santé et confort apparaissent comme une thématique importante conditionnant le déploiement du véhicule autonome.

Les sous thématiques prégnantes relatives à ces sujets sont :

- L'impact du déploiement intensif d'infrastructure 5G et le déploiement de nombreuses sources d'émission électromagnétique sur les usagers et sur l'environnement à long terme.
- La prise en compte du facteur humain à l'intérieur des véhicules automatisés au travers du monitoring de l'habitacle et des usagers (Connaissance des événements quel qu'ils soient en vue d'identifier les montées de stress d'un ou un ensemble de passagers dans l'habitacle ou pour porter secours aux passagers avec des problèmes médicaux).

### 2.4.4 - Impact sur les mobilités existantes et sur la sécurité

Des verrous potentiels impactant le déploiement des VA concernent l'observation, la modélisation, et l'étude des nouveaux moyens de mobilité pour estimer son impact sur les systèmes existants et sur les usagers de la route. Est-ce que ces nouveaux moyens de mobilité vont améliorer ou dégrader les performances et la sécurité de la mobilité ?

La mise en œuvre des flottes de véhicules automatisés et des infrastructures nécessaires à son bon fonctionnement va impliquer de passer par une période transitoire (phase hybride) qui va probablement impliquer la gestion de trafic mixte. Le mélange de ces moyens de mobilité automatisée avec des moyens de transports plus traditionnels va-t-il produire plus ou moins d'accidents, plus ou moins mortels ?

Ces mobilités vont également amener le conducteur (niveau 3 et 4) à accomplir des tâches annexes indépendantes de la tâche de conduite. Comment le conducteur réagira en cas de désactivation du système d'automatisation de la conduite ? Le conducteur sera-t-il en mesure de reprendre la tâche de conduite alors que le système de conduite automatisée ne l'est plus ? Des études montrent que pour reprendre une tâche de conduite sans avoir conscience de la configuration routière courante nécessite plus de 10 secondes. Ce laps de temps est très long. Le système embarqué ou débarqué (centre de contrôle) sera-t-il en mesure de pouvoir anticiper une situation critique 10 secondes avant son existence ?

Les systèmes de mobilité automatisée vont à l'encontre de la mutualisation des risques. Le déploiement de ces nouveaux moyens de mobilité ne va-t-il pas générer des nouveaux types d'accidents ? Faut-il proposer des nouvelles protections pour les usagers de la route et pour les passagers de ces moyens de mobilité. Faut-il concevoir de nouvelles formes des VA adaptées pour minimiser la gravité des accidents ? Des études faites récemment montrent que suivant des configurations particulières, le déploiement de VAC minimisait le nombre de collisions mais que le peu de collisions restantes étaient plus graves.

## 2.4.5 - Actions et préconisations

**Préconisation 1 : Proposer des recherches et développements pour humaniser les transports aussi bien en termes de service que de chauffeur virtuel.** Un chauffeur rassure les passagers et assure une meilleure acceptabilité du service. Cet aspect a clairement un impact sur la viabilité économique du service. Il faut pouvoir développer les concepts de « Liftier du futur », de « compagnon virtuel ».

- *Porteurs : Organismes de recherche sur les facteurs humains, sur les aspects comportement, sociologie, Interaction Homme Machine, et en IA.*
- *Parties prenantes : AOMs, constructeurs et équipementiers automobiles & poids lourds, constructeurs de véhicules de transport en commun (tram, bus, et navettes), fournisseurs et fabricants d'équipements embarqué.*

**Préconisation 2 : Définir les fonctions supports du véhicule automatisé complémentaires au simple service de mobilité.** Ceci implique la proposition de service complémentaire de confort, de santé, de sécurité (services supplémentaires et adaptés).

- *Porteurs : Organismes de recherche médicale (CHU, INSERM).*
- *Parties prenantes : Constructeurs et équipementiers automobiles & poids lourds, constructeurs de véhicules de transport en commun (tram, bus, et navettes), fournisseurs et fabricants d'équipements embarqués.*

**Préconisation 3 : Etudier l'impact des ondes et émissions d'énergie** provenant des capteurs embarqués, des capteurs débarqués, et des moyens de communication.

- *Porteurs : Organismes de recherche médicale (CHU, INSERM), Fournisseurs de véhicules, Instituts et laboratoires de recherche (Université, EPST, EPIC, IRT, ITE, ...).*
- *Parties prenantes : Constructeurs et équipementiers automobiles & poids lourds, constructeurs de véhicules de transport en commun (tram, bus, et navettes), fournisseurs et fabricants d'équipements embarqués, de capteurs, et de moyens de communication.*

**Préconisation 4 : Renforcer la recherche sur l'optimisation des architectures logicielles et matérielles pour minimiser la consommation d'énergie** et prendre en considération l'impact environnemental de ces systèmes.

- *Porteurs : Fournisseurs de véhicules, instituts et laboratoires de recherche (Université, EPST, EPIC, IRT, ITE, ...).*
- *Parties prenantes : Constructeurs et équipementiers automobiles & poids lourds, constructeurs de véhicules de transport en commun (tram, bus, et navettes), fournisseurs et fabricants d'équipements matériel électronique embarqué, éditeur logiciel.*

**Préconisation 5 : De manière à garantir la production, la maintenance, l'évolution, et la mise à jour des services de mobilité automatisé, accroître le développement et l'étendue de l'écosystème industriel français produisant les composants et les connaissances critiques pour le déploiement et le maintien des mobilités automatisées.** Cette préconisation est critique car elle aborde la souveraineté industrielle de la France en matière de la mobilité automatisée, sa maîtrise et sa pérennité dans le temps.

- *Porteurs : Ministères.*
- *Parties prenantes : Constructeurs et équipementiers automobiles & poids lourds, constructeurs de véhicules de transport en commun (tram, bus, et navettes), fournisseurs et fabricant d'équipement matériel électronique et de semi-conducteur.*

**Préconisation 6** : Dans un cadre exploratoire, il est important de mener une réflexion et de tester des premiers POC d'un certain nombre de sous-systèmes en rupture et proposant un changement de paradigme. Cette préconisation est essentielle pour permettre de mettre en œuvre des dynamiques autour de la création et de la proposition de solutions exploratoires et alternatives impliquant des technologies et des stratégies différentes et nouvelles. Ces actions permettront de proposer des points de vue nouveaux et complémentaires aux développements actuels (VAC sur routes ouvertes ou partiellement dédiées avec la problématique de reprise en main par le conducteur). Cette préconisation aborde également la proposition et le développement des nouveaux paradigmes/stratégies/services de mobilité permettant de répondre aux contraintes économiques (financement, mise à jour, entretien) et assurant par extension une viabilité long terme.

- *Porteurs : Villes, agglomérations, régions.*
- *Parties prenantes : Constructeurs et équipementiers automobiles & poids lourds, constructeurs de véhicules de transport en commun (tram, bus, et navettes), start-up innovante sur la mobilité.*

**Préconisation 7** : **Mettre en place un Groupe de travail pour (1) Affiner les modèles économiques possibles** [qui paie quoi (quel niveau d'investissement pour la collectivité?)/pour offrir quels services], (2) **Recenser l'ensemble des études** d'évaluation « modèle économique » réalisés dans le cadre des projets R&D / expérimentation, et **consolider l'ensemble des enseignements** en vue d'établir un rapport détaillant des différents modèles économiques envisageable et sa déclinaison en guide d'aide à la décision pour les gestionnaires d'infrastructure.

- *Porteurs: Établissement de recherche (type LVMT ?).*
- *Parties prenantes : Fournisseurs de solutions, constructeurs automobiles, équipementiers et gestionnaires d'infrastructures (État / CD / Métropoles etc.) + Autres ?*

**Préconisation 8** : **Renforcer les liens avec le ferroviaire, le maritime, l'aéronautique** afin de construire des opportunités de capitalisation sur les connaissances et procédures mises en place dans ces secteurs. L'action proposée serait d'organiser des initiatives permettant de renforcer le lien avec ces mondes du « transport » et de la « mobilité » au sens large sur le volet « automatisation » en vue d'étudier les opportunités de capitalisation au niveau MRA et M automatisée aérienne. Ceci pourrait se traduire par une journée annuelle (DTFFP/DMR /DGAC) « mobilité automatisée », et des Chaires Recherches et Développements regroupant des industriels et des académiques dans les domaines ferroviaires, aériens, maritime, et routiers.

- *Porteurs : Ministères et services des ministères (DTFFP/DMR /DGAC, DGITM, STRMTG, DSR, ...).*
- *Parties prenantes : Constructeurs et équipementiers automobiles & poids lourds, ferroviaires, aériens, constructeurs de véhicules de transport en commun (tram, bus, et navettes), constructeurs de train, constructeur aéronautique.*

**Préconisation 9** : **Afin d'optimiser la gestion de l'énergie, proposer des stratégies de renforcement d'une approche globale de production et de gestion de l'énergie** pour les nouvelles mobilités durables et éco-responsables. Ces travaux doivent prendre en compte le cycle complet de vie des matériels et des technologies, ainsi que les besoins énergétiques de fonctionnement. Proposer des stratégies de déploiement optimisé des stations de recharges. Proposer des stratégies de gestion optimisée des batteries présentes dans les véhicules pour réinjecter une partie de cette énergie dans le réseau en cas de non-utilisation. Mener des ACV sur les différents éléments du système « véhicule automatisé » (collecte / traitement / exploitation de la donnée, véhicule, équipement de l'infra), en vue de confirmer la comptabilité du développement des différentes technologies avec la SNBC.

- *Porteurs : Villes, agglomérations, territoires, collectivités, régions, ministères et services des ministères (DTFFP/DMR/DGAC, DGITM, STRMTG, DSR, ...).*
- *Parties prenantes : Producteurs et gestionnaires d'énergies et de solution pour la production d'énergie (EDF, VINCI), gestionnaires d'infrastructures et de concessions (VINCI, Lacroix-city, ATLANDES, COFIROUTE, ...).*

## 2.5 – Synthèse

Le développement et le déploiement des moyens de mobilité automatisée est complexe et nécessite d'aborder de très nombreuses questions concernant aussi bien la qualité, la performance, la disponibilité, la maintenabilité, la résilience, la fiabilité, que la robustesse des composants, des algorithmes, et des applications entrant dans sa conception.

Pour aborder les enjeux technologiques, ainsi que les leviers et les freins sous-jacents à la mise en œuvre de ces véhicules automatisés, il est essentiel de décomposer ce système en sous-systèmes (fig. 28) en identifiant clairement les liens et les sujets à traiter. Cette figure fait clairement apparaître ces données à travers **4 pôles d'intérêt technologique** : le **véhicule**, **l'infrastructure**, **la donnée et l'information**, et le **traitement des informations**. Ces pôles sont fortement interconnectés et peuvent être traités à plusieurs niveaux : spatial, temporel, symbolique et sémantique. Ces 4 pôles sont indispensables pour le développement des services de mobilité (fig. 29 domaine de gauche). Ceci implique également de pouvoir quantifier la viabilité de ces services aussi bien d'un point de vue économique qu'humain.

Cette représentation est importante car elle met très clairement en évidence les enjeux, les problèmes, et les questions clés à prendre en compte et auxquels nous devons répondre pour permettre un développement et un déploiement des mobilités automatisées fiable, efficace, éco-responsable, et sûre. Nous voyons également que le cœur du problème concerne fortement la donnée et l'information qui font l'interface entre les moyens de mobilité et l'infrastructure. Ceci soulève alors le problème de la génération, de la gestion, du traitement, de la propagation, et de la protection des données.

Concernant le déploiement des services, trois niveaux de développement sont proposés.

Le premier est dit « opportunité » et concerne l'étude et le développement de POC dans un monde parfait et idéal sans aucune perturbation. Ce niveau permet uniquement de confirmer que le développement d'un nouveau service est réalisable.

Le second niveau est dit « faisabilité » et il est plus en adéquation avec la mise en œuvre du service dans des conditions réelles impliquant des perturbations de l'environnement « raisonnables », « connus », et « modélisés ». Ces perturbations devront respecter un certain nombre de contraintes pouvant être définies et appliquées au système dans son ODD.

Le troisième niveau est dit « maintenabilité » et aborde les situations critiques et dangereuses hors ODD. L'objectif de ce niveau est de pouvoir garantir que le service est capable de réagir de manière adaptée et sûre à des perturbations hors du domaine de fonctionnement normal. Ce niveau aborde la résilience des services de mobilité à des conditions météorologiques, environnementales, matérielles exceptionnelles :

- Défaillances de matériels (capteurs, microcontrôleurs, actionneurs ...),
- Corruptions des données et des traitements (cyber-attaques, algorithmes hors ODD ...),
- Infrastructures et données indisponibles, inaccessibles et/ou illisibles, ...),
- ...

Finalement, même si la technologie est disponible et opérationnelle, un service ne pourra être efficacement déployé que si sa viabilité économique est assurée. Ceci implique des acteurs d'ailleurs la

capacité de financer, d'entretenir, de mettre à jour, et de recycler/reconditionner ces nouveaux services de mobilité. Ceci implique la prise en compte de l'obsolescence des technologies et de la capacité à les mettre à jour et à garantir un niveau suffisant d'interopérabilité avec les moyens déjà existants.

De plus, il est très important de prendre en compte le facteur humain et les problèmes d'acceptabilité des services. En effet, pour être accepté ou acceptable, un service doit répondre à des contraintes d'acceptabilité aussi bien pratiques que sociales. D'un point de vue pratique, le service devra être facile d'utilisation (notion d'utilité et d'utilisabilité), à faible coût, fiable, et performant.

La viabilité passe également par la disponibilité et la gestion de l'énergie de manière éco-responsable (contrainte de développement durable). En effet, la mise en œuvre de nouvelles mobilités doit se faire en adéquation avec la disponibilité de l'énergie. Il faudra donc être en mesure de proposer une topologie et des emplacements de recharge efficaces et s'accompagnant de propositions d'offre de recharge adaptée. Cette question de la disponibilité et de la consommation de l'énergie ira de pair avec la nécessité de proposer des véhicules automatisés à faible consommation.

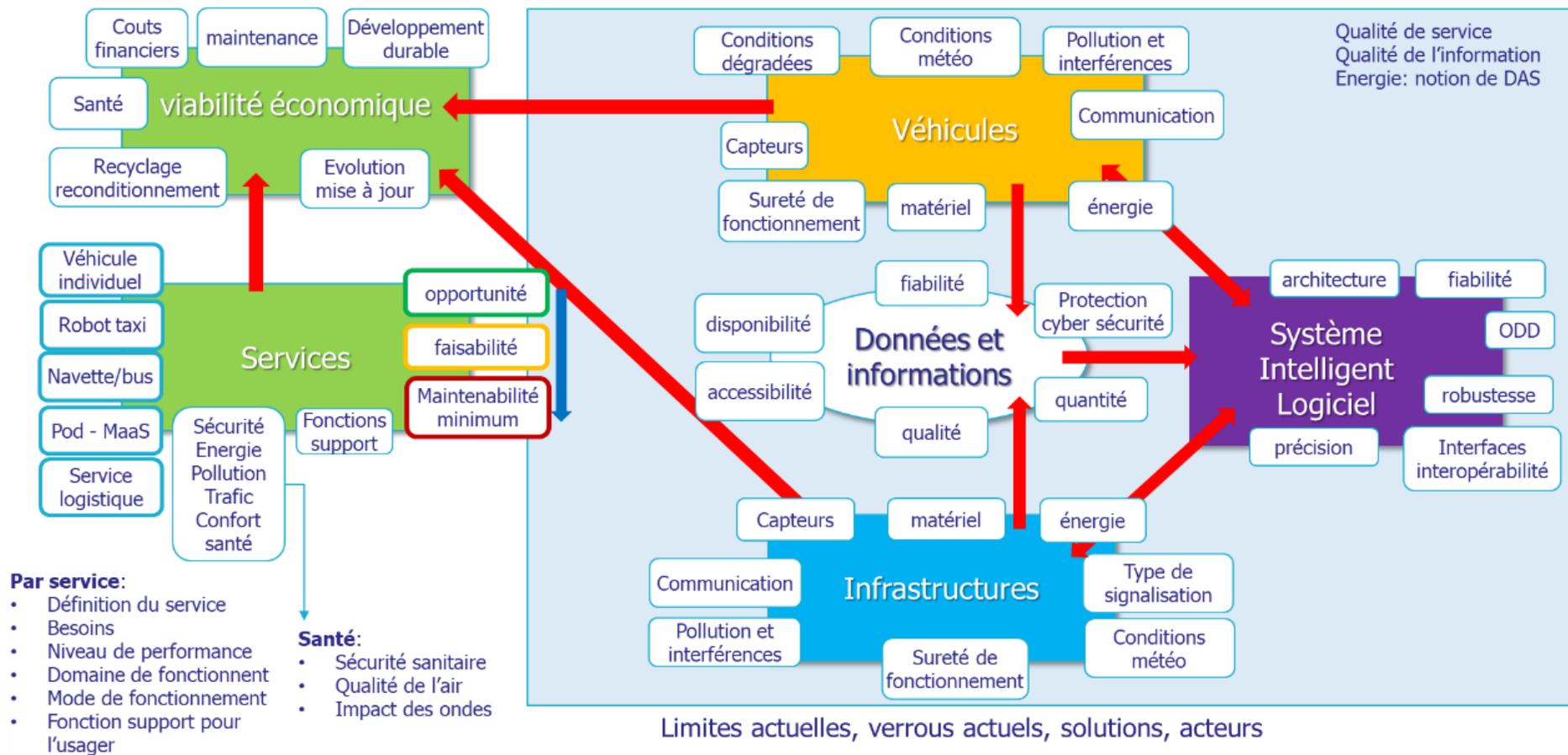


Figure 29 : Représentation générale et organisation des domaines impliqués dans le développement et le déploiement des VA : Défis, enjeux, problématiques technologiques

# PARTIE 3 : Quelles adaptations du cadre juridique ?

## Introduction

Sur le plan juridique et éthique, la circulation des véhicules automatisés s'assouplit en France et au niveau international. Encore soumis au niveau national à un régime dérogatoire d'autorisation, des textes récents sont venus ouvrir la voie à la libéralisation des véhicules automatisés et ont procédé à une harmonisation réglementaire au niveau international et européen.

Ce document présente la partie III de la feuille de route « Ville & Véhicule automatisé ». L'objectif du groupe d'experts a été d'établir un état des lieux du cadre juridique et éthique des véhicules automatisés, d'identifier les enjeux et les freins et de proposer des solutions opérationnelles pour accélérer le déploiement des véhicules automatisés.

Outre le droit des transports à proprement parler, qui doit être adapté pour faciliter son déploiement, le véhicule automatisé soulève une série d'enjeux juridiques et éthiques touchant divers cadres réglementaires et divers métiers ou secteurs, comme les télécommunications, la protection des données personnelles et la cybersécurité, la responsabilité et l'assurance, la propriété intellectuelle ou la préservation de l'environnement. Le groupe de travail s'est attaché à identifier clairement ces enjeux pour en tirer des propositions concrètes.<sup>19</sup>

### 3.1 - Notion juridique de véhicule autonome/automatisé

L'article 3 du Règlement (UE) 2019/2144<sup>20</sup> du Parlement Européen définit le **véhicule automatisé** comme « *un véhicule à moteur conçu et construit pour se déplacer de façon autonome pendant certaines périodes de temps sans supervision continue de la part du conducteur, mais pour lequel l'intervention du conducteur demeure attendue ou requise* ».

Le **véhicule « entièrement automatisé »** est, quant à lui et selon le même article, « *un véhicule à moteur qui a été conçu et construit pour se déplacer de façon autonome sans aucune supervision de la part d'un conducteur* ».

La notion de **véhicule autonome** recouvre donc à la fois les véhicules automatisés et entièrement automatisés. Également appelés véhicules à délégation partielle ou totale de conduite (VDPTC), l'on distingue parmi eux **cinq catégories selon leur niveau d'autonomie**, chaque niveau déterminant l'introduction d'une série de nouvelles fonctionnalités (et les trois premiers niveaux impliquant des seules aides à la conduite<sup>21</sup>).

L'Organisation Internationale des Constructeurs Automobiles (OICA) a, quant à elle, défini un barème avec 6 niveaux d'autonomie (de 0 à 5). Les trois premiers n'ont aucune automatisation, avec de simples technologies d'aide à la conduite. Il s'agit par exemple de la présence d'un radar de recul ou encore de la fonction *park assist*. Au niveau 5 le plus élevé, la voiture est complètement autonome, il n'y a plus de volant et la voiture pourrait même ignorer un ordre humain qu'elle jugerait dangereux<sup>22</sup>.

<sup>19</sup> Ce texte a été mis à jour pour la dernière fois à la mi-octobre 2022 et pour certains passages le 26 décembre 2022.

<sup>20</sup> [Règlement \(UE\) 2019/2144](#) relatif aux prescriptions applicables à la réception par type des véhicules à moteur et de leurs remorques, ainsi que des systèmes, composants et entités techniques distinctes destinés à ces véhicules, en ce qui concerne leur sécurité générale et la protection des occupants des véhicules et des usagers vulnérables de la route

<sup>21</sup> « Véhicules autonomes où en est-on ? », Bulletin des Transports et de la Logistique, 3757, 28-10-2019.

<sup>22</sup> <https://www.legipermis.com/blog/2016/08/05/tests-des-voitures-autonomes-autorises-en-france/#menu2>

Le droit français s'est récemment doté de ses propres définitions, intégrées à l'article R. 311-1 du Code de la route, qui distinguent les véhicules à délégation de conduite partiellement, hautement ou totalement automatisés<sup>23</sup>.

### 3.2 - Cadre juridique général

Le cadre juridique des véhicules automatisés se caractérise par la superposition de différentes normes internationales, supranationales et nationales. Les normes nationales ne sont pas harmonisées d'un pays à un autre, leur développement et leur utilisation sont à des stades d'évolution différents selon les pays : alors que dans certains, des véhicules automatisés avec des niveaux d'autonomie élevés peuvent déjà circuler, dans d'autres leur utilisation est encore cantonnée à certains usages ou tronçons.

Concernant les véhicules terrestres automatisés, à l'échelle internationale, de nombreux Etats sont signataires de la **Convention de Vienne sur la circulation routière du 8 novembre 1968**. Il s'agit d'un traité multilatéral conçu pour faciliter la circulation routière internationale et améliorer la sécurité routière en harmonisant les réglementations entre les parties contractantes. Cette Convention avait déjà été modifiée une première fois le 26 mars 2014 pour permettre l'arrivée des véhicules automatisés : le paragraphe 5 bis de son article 8 impose désormais que les systèmes embarqués ayant une incidence sur la conduite du véhicule soient conformes aux prescriptions en matière de construction, de montage et d'utilisation énoncées dans les instruments juridiques internationaux relatifs aux véhicules à roues et aux équipements et pièces susceptibles d'être montés et/ou utilisés sur un véhicule à roues. Si tel n'est pas le cas, ces systèmes doivent, selon le même article, « être neutralisés ou désactivés par le conducteur<sup>24</sup> ».

En janvier 2022, la Convention de Vienne a fait l'objet d'un nouvel amendement entré en vigueur le 14 juillet 2022, visant à permettre aux États signataires d'autoriser la conduite autonome<sup>25</sup> sur les voies publiques. Il a (i) créé deux notions nouvelles (« système de conduite automatisé » et le « contrôle dynamique »)<sup>26</sup> et (ii) introduit un nouvel article 34 bis<sup>27</sup>. Selon cet article, l'exigence selon laquelle tout véhicule ou tout ensemble de véhicules en mouvement doit avoir un conducteur est réputée satisfaite lorsque le véhicule utilise un système de conduite automatisé conforme :

---

<sup>23</sup> Véhicule partiellement automatisé : véhicule équipé d'un système de conduite automatisé exerçant le contrôle dynamique du véhicule dans un domaine de conception fonctionnelle particulier, devant effectuer une demande de reprise en main pour répondre à certains aléas de circulation ou certaines défaillances pendant une manœuvre effectuée dans son domaine de conception fonctionnelle ;

Véhicule hautement automatisé : véhicule équipé d'un système de conduite automatisé exerçant le contrôle dynamique d'un véhicule dans un domaine de conception fonctionnelle particulier, pouvant répondre à tout aléa de circulation ou défaillance, sans exercer de demande de reprise en main pendant une manœuvre effectuée dans son domaine de conception fonctionnelle. Ce véhicule peut être intégré dans un système technique de transport routier automatisé tel que défini au 1° de l'article R. 3151-1 du code des transports ;

Véhicule totalement automatisé : véhicule équipé d'un système de conduite automatisé exerçant le contrôle dynamique d'un véhicule pouvant répondre à tout aléa de circulation ou défaillance, sans exercer de demande de reprise en main pendant une manœuvre dans le domaine de conception technique du système technique de transport routier automatisé auquel ce véhicule est intégré, tels que définis aux 1° et 4° de l'article R. 3151-1 du Code des transports.

<sup>24</sup> [Annexe de l'Accord européen complétant la Convention de 1968 sur la circulation routière.](#)

<sup>25</sup> <https://www.ruetir.com/2022/07/06/autonomous-driving-green-light-for-driverless-cars-in-the-eu-from-14-july/> : Autonomous driving, green light for driverless cars in the EU from 14 July.

<sup>26</sup> « Article 1 : Définitions

- Le "système de conduite automatisé" désigne un système associant des éléments matériels et logiciels permettant d'assurer le contrôle dynamique d'un véhicule de façon prolongée.

- Le "contrôle dynamique" désigne l'exécution de toutes les fonctions opérationnelles et tactiques en temps réel nécessaires au déplacement du véhicule. Il s'agit notamment du contrôle du déplacement latéral et longitudinal du véhicule, de la surveillance de la route, des réactions aux événements survenant dans la circulation routière, ainsi que de la préparation et du signalement des manœuvres. »

<sup>27</sup> <https://europe-cities.com/2022/07/05/the-vienna-convention-allows-the-use-of-self-driving-cars-from-14-july-2022-states-will-be-able-to-ratify-the-legislation/>.

- a) à la réglementation technique nationale, et à tout instrument juridique international applicable, concernant les véhicules à roues et les équipements et pièces susceptibles d'être montés et/ou utilisés sur un véhicule à roues ;
- b) à la législation nationale régissant le fonctionnement du véhicule. Ainsi, en France, un décret n°2021-1034 du 21 juillet 2022<sup>28</sup> (entré en vigueur le 24 juillet 2022) est venu publier cet amendement de la Convention de Vienne au Journal Officiel et l'intégrer en droit national.

L'harmonisation internationale est donc en mouvement pour accueillir le véhicule automatisé et cette initiative créant l'article 34 bis va dans ce sens.

Par ailleurs, plus d'une cinquantaine de pays (dont les membres de l'Union européenne, le Japon et la Corée du Sud) a adopté le 25 juin 2020 à l'ONU un **règlement sur les systèmes automatisés de maintien de la trajectoire pour les voitures (ou ALKS)**<sup>29</sup>. Cette première norme internationale contraignante sur l'automatisation des véhicules inclut notamment une boîte noire obligatoire, des règles de vitesse maximale, une obligation pour les systèmes embarqués d'être conformes aux exigences de l'ONU en matière de cybersécurité... Ce règlement est entré en vigueur le 22 janvier 2021 et s'applique à l'homologation de type des véhicules de la catégorie M1 (1) en ce qui concerne leur système automatisé de maintien dans la voie.<sup>30</sup>

1. Au **niveau européen**, le **Règlement (UE) 2019/2144 du Parlement Européen et du Conseil du 27 novembre 2019**<sup>31</sup> fournit la définition rappelée en préambule des véhicules automatisés et comporte des prescriptions spécifiques relatives aux véhicules automatisés et aux véhicules entièrement automatisés.

2. En **France**, les règles applicables à l'utilisation des véhicules sont définies par le **Code de la route**. Dès 2016, un **régime dérogatoire a été instauré à titre temporaire** pour permettre la circulation de véhicules automatisés dans le cadre d'expérimentations : une Ordonnance du 3 août 2016, modifiée par la loi PACTE du 22 mai 2019, avait ainsi établi un régime d'autorisation pour la circulation des véhicules automatisés à des fins d'expérimentation sur la voie publique<sup>32</sup> en précisant que la délivrance de cette autorisation est subordonnée à la condition que le système de délégation de conduite puisse être à tout moment neutralisé ou désactivé par le conducteur.

Par la suite, l'article 31 de la **Loi d'orientation des mobilités du 24 décembre 2019 dite « LOM »**<sup>33</sup> a habilité le gouvernement à adapter par voie d'ordonnances le cadre juridique actuel, et notamment le Code de la route, afin de permettre la circulation des véhicules autonomes sur la voie publique.

Deux réglementations ont été adoptées sur son fondement : l'une relative au cadre juridique général de circulation des véhicules autonomes, l'autre relative au sujet spécifique de la gestion des données générées et utilisées par ces véhicules. Plus précisément :

<sup>28</sup> Décret n°2022-1034 du 21 juillet 2022 portant publication de l'amendement à la Convention internationale sur la circulation routière de Vienne du 8 novembre 1968, adopté à Genève le 14 janvier 2022.

<sup>29</sup> Règlement sur « les systèmes automatisés de maintien de trajectoire » adopté par le Forum mondial pour l'harmonisation des règlements concernant les véhicules de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies (UNECE) qui rassemble aujourd'hui 53 Etats.

<sup>30</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A42021X0389>.

<sup>31</sup> [Règlement \(UE\) 2019/2144 du Parlement Européen et du Conseil du 27 novembre 2019 \(prescriptions pour la réception par type afin de garantir la sécurité générale des véhicules et la protection des usagers vulnérables de la route\)](#).

<sup>32</sup> Article 1 de [l'Ordonnance n°2016-1057 du 3 août 2016 relative à l'expérimentation de véhicules à délégation de conduite sur les voies publiques](#).

Le Décret n°2018-211 du 28 mars 2018 relatif à l'expérimentation de véhicules à délégation de conduite sur les voies publiques, précise quant à lui les conditions de délivrance de l'autorisation ainsi que les modalités de mise en œuvre.

<sup>33</sup> [Loi n°2019-1428 du 24 décembre 2019](#) d'orientation des mobilités.

- i. Une première **Ordonnance n°2021-443 relative au régime de responsabilité pénale** applicable en cas de circulation d'un véhicule à délégation de conduite et à ses conditions d'utilisation a été adoptée le 14 avril 2021<sup>34</sup>, complétée par un décret du 29 juin 2021<sup>35</sup>. Ce décret se décompose en deux titres, le premier introduisant un certain nombre de définitions et de règles de sécurité "de haut niveau", le second fixant les modalités de mise en service des systèmes de transports routiers automatisés (STRA). Ce décret prévoyait que les dispositions relatives aux STRA n'entreraient en vigueur que le lendemain de la publication du décret portant publication de l'amendement à la Convention internationale sur la circulation routière du 8 novembre 1968. Ce dernier décret ayant été publié le 23 juillet 2022 (voir ci-dessus), ces dispositions sont entrées en vigueur depuis le 24 juillet 2022.

Ces textes fournissent donc un **cadre juridique pour les systèmes de conduite automatisés**, en matière de définitions, d'obligations d'information, de niveau d'attention attendu de la part du conducteur, de modalités d'exonération du conducteur en cas d'infraction, ainsi qu'en termes de sécurité et de conditions d'utilisation des systèmes de transport routier automatisés, de procédures de mise en service et d'exploitation...

Ces nouvelles dispositions permettent aussi, en substance, d'engager la responsabilité pénale du constructeur du véhicule ou de son mandataire en cas de conduite automatisée, et non plus celle du conducteur.

Plus précisément, l'Ordonnance n°2021-443 impose que la décision d'activer un système de conduite automatisé soit prise par le conducteur, préalablement informé par le système que ce dernier est en capacité d'exercer le contrôle dynamique du véhicule. Le système doit ensuite - en cas de dysfonctionnement ou si les conditions d'utilisation ne sont plus remplies alerter le conducteur, solliciter une reprise en main et, à défaut de reprise en main ou en cas de défaillance grave, mettre le véhicule en sécurité.

Cette Ordonnance traite également du cas du **transport routier de personnes**, en prévoyant les modalités de mise en service et d'exploitation d'un système de transport routier automatisé, et en particulier celles relatives à la démonstration de sécurité. Le système de transport routier automatisé (**SRTA**) est défini comme un système déployé **sur des parcours ou des zones de circulation prédéfinis, et complété de règles d'exploitation, d'entretien et de maintenance**, aux fins de **fournir un service de transport routier public collectif ou particulier de personnes**, ou de service privé de transport de personnes, à l'exclusion des transports soumis à la sécurité des transports publics guidés<sup>36</sup>.

---

<sup>34</sup> [Ordonnance n° 2021-443 du 14 avril 2021](#) relative au régime de responsabilité pénale applicable en cas de circulation d'un véhicule à délégation de conduite et à ses conditions d'utilisation.

<sup>35</sup> [Décret n°2021-873 du nia](#) portant application de l'Ordonnance n° 2021-443 du 14 avril 2021 relative au régime de responsabilité pénale applicable en cas de circulation d'un véhicule à délégation de conduite et à ses conditions d'utilisation.

<sup>36</sup> Article R. 3151-1 du Code des transports créés par le décret précité du 29 juin 2021.

Deux éléments majeurs définissent donc ce système de transport routier automatisé :

- Les zones/parcours prédéfinies<sup>37</sup> utilisables par les transports automatisés et dont l'utilisation doit être assujettie aux règles d'exploitation, d'entretien et de maintenance ;
- Les systèmes sont conçus dans le but de fournir les services de transport de personnes.

L'exploitation d'un système de transport routier automatisé peut impliquer la participation d'un organisateur<sup>38</sup>, d'un exploitant<sup>39</sup>, d'un chef de file<sup>40</sup>, mais aussi l'implication du gestionnaire de la voirie<sup>41</sup> et de l'organisme qualifié<sup>42</sup> responsable de l'évaluation de la sécurité du système.

Le système de transport routier automatisé sera soumis à des conditions d'utilisation définies par son concepteur et l'intervention à distance sur ces systèmes ne pourra être effectuée que par une personne habilitée, titulaire d'un permis de conduire correspondant à la catégorie du véhicule considéré.

Les nouvelles règles prévues par le Code des transports (article L.3151-1) relatives à la mise en service du système de transport routier automatisé précisent que tout système doit être conçu, mis en service, et le cas échéant modifié de telle sorte que le niveau global de sécurité soit au moins équivalent au niveau de sécurité existant ou à celui des systèmes de transport comparables. Ces règles sont entrées en vigueur le 24 juillet 2022.

La sécurité doit être démontrée par rapport aux trois catégories de personnes :

- Les usagers,
- Le personnel d'exploitation,
- Les tiers.

Cette règle est une adaptation du principe GAME (Globalement Au Moins Equivalent) utilisé pour l'autorisation de tout système nouveau de transport. Cela étant, l'autorisation des transports routiers automatisés est une première.

Afin de démontrer le niveau de sécurité, le système de référence devrait être celui des transports guidés (comme étant le plus proche en termes de principes de fonctionnement). Cette hypothèse est renforcée par le fait que les procédures de démonstration de sécurité définies par ces nouveaux textes<sup>43</sup> - qui sont également entrées en vigueur le 24 juillet 2022 - sont une adaptation de la procédure d'autorisation des transports prévue par le décret n° 2017-440 du 30 mars 2017 relatif à la sécurité des transports publics guidés<sup>44</sup>.

---

<sup>37</sup> Article R. 3151-1. P. 7 « Parcours ou zone de circulation prédéfini : ensemble des sections routières ou espace dont les limites géographiques sont définies, sur lesquelles est prévue la circulation ou l'arrêt d'un ou plusieurs véhicules d'un système de transport routier automatisé ».

<sup>38</sup> Article R. 3151-1. P. 12 « pour les services de transport public collectif exécutés dans le cadre de l'article L. 1221-3, l'autorité territorialement compétente au sens de l'article L. 1221-1 ou L. 1241-1; pour les services de transport publics collectifs organisés en application de la section 3 du titre premier du livre premier de la troisième partie du présent code, l'entreprise citée à l'article L. 3111-17; pour les services de transport public particulier, l'exploitant au sens de l'article L. 3122-1; pour les services privés, les personnes physiques ou morales visées au R. 3131-1 et R. 3131-2 ».

<sup>39</sup> Article R. 3151-1. P. 13 « personne physique ou morale assurant directement ou à la demande de l'organisateur du service l'exploitation du système de transport ainsi que la gestion et la maintenance de celui-ci. L'exploitant peut être la même entité que l'organisateur du service ou que le concepteur du système technique. En cas de pluralité d'exploitants, le terme exploitant désigne le chef de file ».

<sup>40</sup> Article R. 3151-1. P. 14 « exploitant désigné par l'organisateur du service pour assurer la coordination de l'exploitation du système de transport en s'appuyant sur les différents exploitants et gestionnaires d'infrastructures ».

<sup>41</sup> L'autorité chargée de la voirie au sens du code de la voirie routière.

<sup>42</sup> Organisme agréé pour procéder à l'évaluation de la sécurité de la conception, de la réalisation et de l'exploitation des systèmes de transport routiers automatisés.

<sup>43</sup> Art. R. 3152-5 et suivants du Code des transports.

<sup>44</sup> Décret n°2017-440 du 30 mars 2017 relatif à la sécurité des transports publics guidés.

La conception, la mise en place, l'autorisation, l'exploitation et la maintenance d'un système de transport routier automatisé sont donc fondées sur les principes de fonctionnement des transports guidés.

ii. Une **seconde Ordonnance** n°2021-442 portant sur **l'accès aux données des véhicules**, a été adoptée le 14 avril 2021 par le gouvernement, en application de l'article 32 de la LOM<sup>45</sup>. Ce texte crée un nouveau chapitre relatif aux données des véhicules au sein du Code des transports (nouveaux [articles L1514-1 à L1514-8](#)<sup>46</sup>) : l'accès aux données des véhicules est désormais encadré, permettant une meilleure connaissance des incidents et des risques routiers, du patrimoine de l'infrastructure, des conditions de trafic et des risques électroniques tout en contribuant à la sécurité des trafics et des réseaux routiers.

Cette Ordonnance devait être complétée par un décret d'application publié en principe avant le 15 octobre 2021<sup>47</sup>. Un projet de décret a été notifié par la France à la Commission européenne le 15 juillet 2022<sup>48</sup> pour fixer le cadre juridique français d'accès aux données des véhicules pour la prévention des accidents et l'amélioration de l'intervention en cas d'accident, la connaissance et la cartographie de l'infrastructure routière et de son équipement et la connaissance du trafic routier. Il précise également la durée de conservation des données par le constructeur du véhicule ou son mandataire.

Sur le plan juridique, les actions à venir sont donc les suivantes :

- Finaliser le cadre législatif et réglementaire relatif aux données liées aux systèmes d'automatisation, issu de l'article 32 de la LOM ;
  - Cf. Ordonnance n°2021-442 précédemment évoquée et en attente de décret d'application ;
- Définir les besoins réglementaires pour les cas d'usage de fret et de logistique automatisés ;
- Elaborer le cadre réglementaire pertinent pour les cas d'usage de fret et de logistique automatisés ;
- Participer aux travaux européens sur l'évolution de la directive relative au permis de conduire.

**Dans ce contexte, la France se dote progressivement, d'un cadre juridique permettant la circulation sur la voie publique de véhicules autonomes/automatisés, avec notamment l'arrivée de deux textes<sup>49</sup> qui ont véritablement donné corps à un environnement juridique dédié au véhicule autonome/automatisé et à la délégation de conduite.**

#### REGLEMENTATION DES VEHICULES AERIENS : AERONEFS / DRONES, TRANSPORTS AERIENS GUIDES

Au-delà des véhicules terrestres, les véhicules autonomes se développent également sous forme d'aéronefs et de drones.

Le Règlement UE 2018/1139 du 4 juillet 2018<sup>50</sup> définit l'aéronef comme « *tout appareil qui peut se soutenir dans l'atmosphère grâce à des réactions de l'air autres que les réactions de l'air sur la surface de la terre* » et l'aéronef sans équipage à bord (« UAS ») comme « *tout aéronef exploité ou destiné à être exploité de manière autonome ou à être piloté à distance sans pilote à bord* ».

<sup>45</sup> [Ordonnance n° 2021-442 du 14 avril 2021 relative à l'accès aux données des véhicules.](#)

<sup>46</sup> Elle a introduit concrètement un nouveau chapitre IV au titre Ier du livre V de la première partie de la partie législative du code des transports, dédié aux "données du véhicule" et composé de huit articles qui déterminent les contours de la transmission, par le constructeur, des données produites par les systèmes intégrés à un véhicule terrestre à moteur.

<sup>47</sup> [Stratégie nationale de développement de la mobilité routière automatisée 2020-2022](#)

<sup>48</sup> Voir les détails de la notification sur le [site](#) de la Commission européenne.

<sup>49</sup> Ordonnance n°2021-443 du 14 avril 2021 relative au régime de responsabilité pénale applicable en cas de circulation d'un véhicule à délégation de conduite et le Décret n° 2021-873 du 29 juin 2021 portant application de l'Ordonnance n° 2021-443 du 14 avril 2021 relative au régime de responsabilité pénale applicable en cas de circulation d'un véhicule à délégation de conduite et à ses conditions d'utilisation.

<sup>50</sup> Article 3 du [Règlement \(UE\) 2018/1139 du Parlement européen et du Conseil du 4 juillet 2018](#) concernant des règles communes dans le domaine de l'aviation civile et instituant une Agence de l'Union européenne pour la sécurité aérienne.

Trois règlements de la Commission européenne encadrent les aéronefs sans équipage à bord :

- [Règlement \(UE\) 2019/1139 de la Commission du 4 juillet 2018](#) concernant des règles communes dans le domaine de l'aviation civile et instituant une Agence de l'Union européenne pour la sécurité aérienne
- [Règlement Délégué \(UE\) 2019/945 de la Commission du 12 mars 2019](#) relatif aux systèmes d'aéronefs sans équipage à bord et aux exploitants, issus de pays tiers, de systèmes d'aéronefs sans équipage à bord
- [Règlement d'exécution \(UE\) 2019/947 de la Commission du 24 mai 2019](#) concernant les règles et procédures applicables à l'exploitation d'aéronefs sans équipage à bord

Le règlement d'exécution (UE) 2019/947 consacre, sous son premier considérant, le principe de l'utilisation de drones : « *les aéronefs sans équipage à bord, quelle que soit leur masse, peuvent opérer dans le même espace aérien du ciel unique européen que les aéronefs avec équipage, qu'il s'agisse d'avions ou d'hélicoptères* »

Les articles 3 à 6 du règlement d'exécution (UE) 2019/947 définissent trois catégories d'exploitation d'UAS :

- Une première catégorie dite « ouverte » qui désigne les engins d'une masse inférieure à 2 kg, évoluant en vue directe du pilote à distance et à moins de 120 mètres de la surface ; elle n'est soumise à aucune autorisation d'exploitation préalable, ni déclaration d'exploitation.
- Une deuxième catégorie dite « spécifique » ; elle concerne les drones dont l'exploitation implique soit le survol de rassemblements, soit le transport de personnes ou le transport de marchandises dangereuses qui, en cas d'accident, peuvent présenter des risques élevés pour des tiers. Cette catégorie nécessite une autorisation d'exploitation de l'UAS, ainsi qu'une autorisation ou une déclaration de l'exploitant de l'UAS.
- Une troisième catégorie dite « certifiée », qui requiert la certification de l'UAS, ainsi que celle de l'exploitant et, le cas échéant, l'octroi d'une licence au pilote à distance.

En marge de ces drones et aéronefs se situent les transports aériens guidés automatisés, reposant sur une infrastructure aérienne dont ils ne dérivent jamais.

Ils sont régis par le décret n°2017-440 du 30 mars 2017 relatif à la sécurité des transports publics guidés<sup>51</sup>, dont le titre II est spécifiquement consacré aux systèmes urbains. La procédure d'autorisation et de mise en service d'un tel système est réalisée à travers le principe GAME (Globalement Au Moins Equivalent) dédié à tout système nouveau (c'est notamment ce principe qui est adapté et mis à la base de la nouvelle procédure d'autorisation de transport public assuré par les moyens de transport automatisés).

Quant à l'aspect aérien du transport aérien guidé automatisé, celui-ci est renforcé par la présence du transport par câble en milieu urbain dont la mise en place est encouragée par le Gouvernement, ce que prévoyait déjà la loi Grenelle 1<sup>52</sup>. Les téléphériques<sup>53</sup> étant considérés comme une solution écologique pouvant répondre aux défis de décarbonation des transports urbains et, présentant des solutions de transports efficaces dans des milieux urbains contraints.

Une Ordonnance de 2015<sup>54</sup> est ensuite venue modifier le Code des transports en mettant en place les mécanismes juridiques nécessaires à la conception des téléphériques dans les zones urbaines et cela notamment en termes de possibilités d'usage de l'espace urbain et d'emprise au sol de ces infrastructures.

<sup>51</sup> Complétés par trois arrêtés d'application du même jour relatifs (i) aux dossiers de sécurité des systèmes de transport public guidés urbains, (ii) au contenu des dossiers de sécurité des systèmes de transport public guidés à vocation touristique ou historique et (iii) aux dossiers de sécurité des systèmes mixtes.

<sup>52</sup> Article 13 de la loi n°2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement.

<sup>53</sup> « Les téléphériques désignent des installations de transport par câble équipées de 1 ou 2 cabines circulant en aller-retour sur des câbles porteurs fixes (exemple : Portland, New-York). Les cabines sont généralement de grande dimension, leur capacité variant d'environ 30 à 200 personnes. » [http://www.strmtg.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/transports\\_cables.pdf](http://www.strmtg.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/transports_cables.pdf).

<sup>54</sup> Ordonnance n°2015-1495 du 18 novembre 2015 relative à l'instauration de servitudes d'utilité publique pour le transport par câbles en milieu urbain.

Le cadre réglementaire pour ces transports existe donc déjà, renforcé par une vaste palette du référentiel technique (notamment en matière du transport automatisé) pour l'autorisation des systèmes de transport aérien guidé automatisé, et de nombreuses similitudes en termes de procédure d'autorisation entre le transport automatisé terrestre et le transport aérien guidé automatisé permettront de s'en servir comme d'un référentiel plus performant offrant un nouveau cadre technique.

### 3.3 - Autres sources juridiques

Un certain nombre de référentiels, ou textes à venir, complètent le dispositif décrit ci-dessus.

Ainsi, en 2017, la CNIL a publié un pack de conformité consacré aux véhicules connectés et aux données personnelles<sup>55</sup>. Plus récemment, le CEPD<sup>56</sup> a soumis à consultation publique des Lignes directrices 1/2020 sur le traitement des **données à caractère personnel** dans le cadre des véhicules connectés et des applications liées à la mobilité, aboutissant à une nouvelle version datée du 9 mars 2021<sup>57</sup>.

Dans un avis du 20 mai 2021<sup>58</sup>, le Comité National Pilote d'Ethique du Numérique (sous l'égide du Comité Consultatif National d'Ethique pour les sciences de la vie et la santé), a rendu un avis sur les enjeux éthiques soulevés par les véhicules routiers équipés de fonctions de conduite automatisées, dits « véhicules autonomes » contenant 19 préconisations relatives (i) à la terminologie utilisée à propos du véhicule et des fonctions liées à son automatisation, (ii) à la sécurité routière et à la sûreté de fonctionnement, (iii) au contrôle humain du véhicule, (iv) aux libertés des personnes et (v) aux impacts sociaux et environnementaux. Cet avis fera l'objet d'une étude approfondi dans la suite de la feuille de route.

Bien que relevant du droit de la santé, la loi sur la bioéthique n°2021-1017 du 2 août 2021, et la garantie humaine dans l'usage de l'IA en santé qu'elle vient d'instaurer, pourront être utilisées comme référence dans l'univers de la mobilité.

Au niveau européen, les divers travaux de la Commission et du groupe d'experts en IA<sup>59</sup> et désormais le projet de Règlement européen sur l'IA du 21 avril 2021<sup>60</sup>, annoncent une réglementation articulée selon le degré de risque de l'IA (IA interdites, IA à haut risque, IA à risques plus minimes, le VA se logeant dans la deuxième catégorie), un contrôle humain pour les IA à haut risque, une gouvernance stricte s'appliquant à la fois au niveau européen et national, un principe de transparence et un système de certification, un soutien à l'innovation par un mécanisme de « sand box », le tout doté d'un haut niveau de sanctions dans l'esprit du RGPD, voire qui vont au-delà pour certaines violations.

<sup>55</sup> Le pack de conformité consacré aux véhicules connectés et aux données personnelles de la CNIL est disponible [ici](#).

<sup>56</sup> Comité Européen de Protection des Données ou EDPB, European Data Protection Board, en anglais.

<sup>57</sup> [https://edpb.europa.eu/our-work-tools/our-documents/guidelines/guidelines-012020-processing-personal-data-context-connected\\_en](https://edpb.europa.eu/our-work-tools/our-documents/guidelines/guidelines-012020-processing-personal-data-context-connected_en) (en anglais).

<sup>58</sup> [https://www.cne-ethique.fr/fr/actualites/cnpen-le-vehicule-autonome-enjeux-dethique#.YKu5DIXO\\_Oc.linkedin](https://www.cne-ethique.fr/fr/actualites/cnpen-le-vehicule-autonome-enjeux-dethique#.YKu5DIXO_Oc.linkedin).

<sup>59</sup> Le Parlement européen a adopté, le 20 octobre 2020, une résolution qui concerne les aspects éthiques et a invité la Commission européenne à proposer un cadre juridique encadrant le développement, le déploiement et l'utilisation de l'IA et ses technologies connexes. Le 20 janvier 2021, le Parlement européen a adopté une résolution sur l'utilisation de l'IA dans les domaines civils et militaires et le 21 avril 2021, la Commission européenne a officiellement publié son projet de règlement relatif à une approche européenne de l'intelligence artificielle. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:e0649735-a372-11eb-9585-01aa75ed71a1.0020.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:e0649735-a372-11eb-9585-01aa75ed71a1.0020.02/DOC_1&format=PDF).

<sup>60</sup> <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/proposal-regulation-laying-down-harmonised-rules-artificial-intelligence>.

### 3.4 – Cas d’usage examinés

Deux grandes catégories d’usage des véhicules automatisés peuvent être distinguées dans le cadre des présents travaux :

- **Transports publics** : les véhicules automatisés répondent aux objectifs de développement de transports publics plus efficaces, d’élargissement des territoires desservis, de réduction de l’impact environnemental, etc.

On peut citer divers exemples :

- Les navettes mises en place en 2016 dans le quartier des Confluences à Lyon et en 2017 entre la gare de Lyon et la gare d’Austerlitz à Paris ;
- La ligne de bus n° 490 ouverte en mars 2021 à Saint-Quentin-en-Yvelines.
- L’un des projets financés dans le cadre du programme H2020 est le projet Avenue (*Autonomous vehicle to evolve to a new urban experience*), d’une durée de 4 ans et dont le budget atteint 22 millions d’euros, et qui réunit 16 partenaires européens répartis dans 7 pays : des universités et des centres de recherche, des industriels et des opérateurs de transports publics. Les expérimentations consistent à déployer une flotte de minibus autonomes dans les services de transports de 4 grandes villes européennes : Lyon, Genève, Luxembourg et Copenhague<sup>61</sup>.

- **Navettes dans les entreprises, voitures personnelles, camions autonomes, robots-taxis** : les enjeux tiennent à la réduction de la congestion du trafic routier, de l’impact environnemental, à la possible réduction du nombre de véhicules, etc.

Par ailleurs, les travaux du sous-groupe 1 ont été ciblés sur :

- Les **véhicules automatisés de niveau 3 ou plus**.
- Les **véhicules automatisés partagés**, dont les membres du groupe de travail estiment qu’ils seront généralement les premiers à être déployés.

Dans ce contexte et ce périmètre, notre groupe de travail a identifié les freins et enjeux suivants attachés au déploiement massif des véhicules automatisés :

- **Encadrement juridique et besoin d’harmonisation supranational, y compris européen, dans le domaine des transports** : L’utilisation - notamment transfrontalière - des véhicules automatisés requiert la mise en place d’un cadre juridique uniforme. Cet objectif s’avère ambitieux au niveau supranational, compte tenu des enjeux juridiques qui peuvent se révéler différents selon les types de véhicules concernés et des degrés d’avancement variés des Etats sur le sujet.
- **Enjeux liés aux télécommunications et intégration de la 5G dans le secteur de la mobilité (et sa cohabitation avec d’autres technologies : 4G, wifi, etc.)** : Le développement du véhicule automatisé exige le déploiement d’outils de télécommunication performants et résilients, en particulier la 5G. La 5G pose une série d’enjeux juridiques et éthiques propres, liés notamment à la structuration de l’architecture 5G et à l’organisation de ses acteurs. Sont également impliquées d’autres problématiques juridiques telles que la souveraineté ou la protection des données et l’éthique (voir ci-après) tandis que subsistent des régulations différenciées<sup>62</sup>.

<sup>61</sup> <https://h2020-avenue.eu/>.

<sup>62</sup> Voir notamment le [Rapport](#) de l’Institut Montaigne de mai 2019.

- **Disponibilité, qualité et protection des données** : Au-delà des seules données personnelles et du RGPD, le véhicule automatisé repose sur la collecte et la production de nombreuses données. Bien que permise par la réglementation européenne en vigueur, la libre circulation de ces données doit cependant être adaptée pour sécuriser les différents acteurs et promouvoir l'ouverture des données et l'accès à des données de qualité. Ces flux de données, notamment personnelles, emportent également un enjeu majeur de cybersécurité, dans un secteur où la sécurité routière tient un rôle éminent. En effet, ces véhicules pourraient engendrer jusqu'à 1 Go de données par seconde<sup>63</sup>.
- **Enjeux juridiques et éthiques liés à l'IA** : Le véhicule automatisé intègre des technologies fondées sur l'IA : les problématiques juridiques et éthiques telles que la place de l'humain dans le développement de l'IA et le niveau de contrôle sur les algorithmes, de même que la gouvernance associée, se posent donc dans le cadre de la conception, la production, l'usage et la maintenance des véhicules automatisés.
- **Allocation des responsabilités et prise en charge assurantielle** : l'un des principaux enjeux des véhicules automatisés réside dans la répartition des rôles entre les acteurs et par voie de conséquence, de leurs responsabilités (civile, pénale, administrative...), et de leur prise en charge par les assurances, en cas d'accident ou autre forme de défaillance du véhicule, notamment entre (i) le gestionnaire d'infrastructure et de réseau, (ii) le gestionnaire du véhicule, (iii) le conducteur et (iv) le fournisseur de données.
- **Impact du VA sur les règles de protection des actifs immatériels et évolution des modèles de protection et de valorisation** : les véhicules automatisés, comme tout domaine innovant, nécessiteront de sécuriser et de permettre la valorisation des investissements dans les actifs immatériels, y compris la propriété intellectuelle : le régime de valeur classique fondé sur la propriété est susceptible d'évoluer notamment vers un modèle articulé autour des services et de la donnée.
- **VA et transition énergétique** : les règles en matière de transition écologique imposent de produire des véhicules qui consomment très peu de gaz à effets de serre. En France, plus aucun véhicule fonctionnant à énergie fossile ne devra être vendu à compter de 2040, ce qui implique d'examiner comment concilier les exigences liées à la production de véhicules automatisés et celles de la transition énergétique.

Le déploiement des véhicules automatisés apporte donc son lot de questions juridiques et éthiques, pour lesquelles le groupe de travail de l'ATEC a élaboré certaines propositions de réponses et d'actions.

### 3.4.1 - Encadrement juridique et besoin d'harmonisation supranational, au moins européen

Les réglementations routières, de quelque niveau qu'elles soient, reposaient avant tout sur la présence permanente et active d'un conducteur.

En droit français, cette logique est présente dans l'article R. 412-6-I du Code de la route, selon lequel « *Tout véhicule en mouvement ou tout ensemble de véhicules en mouvement doit avoir un conducteur* ». Il en va de même par exemple de l'article 8 §5 de la Convention de Vienne.

<sup>63</sup> INRIA 2018, *Véhicules autonomes et connectés. Les défis actuels et les voies de recherche*, Livre Blanc n°2 p.28.

Ces dispositions nécessitent donc d'être adaptées au véhicule autonome pour lequel l'homme n'intervient que ponctuellement dans l'activité de conduite, pouvant être tantôt passager, tantôt conducteur.

Au niveau international, les travaux sont notamment menés dans le cadre du Forum mondial pour l'harmonisation des réglementations sur les véhicules, en s'articulant autour de deux groupes de travail :

- Un **groupe d'experts constitué dans le cadre du Forum mondial pour la sécurité routière (WP1)** : ce groupe est chargé de rédiger un **nouvel instrument juridique sur l'utilisation des véhicules automatisés dans la circulation ("LIAV GE")** qui devrait compléter les Conventions de 1949 et 1968 sur la circulation routière. Ce texte comprendra un ensemble de dispositions juridiques pour un déploiement sécurisé des véhicules automatisés dans le trafic international. Le groupe d'experts a une durée de deux ans (avec une possibilité de prolongation) à compter du 1er juillet 2021. À l'issue de son mandat, le Groupe d'experts soumettra le projet complet de nouvel instrument juridique à son organe de supervision, le Forum mondial pour la sécurité routière (WP.1), pour examen et décision.
- **Un groupe de travail sur les véhicules automatisés/autonomes et connectés (GRVA)** constitué au sein du Forum mondial de l'harmonisation des règlements concernant les véhicules ([WP 29](#)), qui est lui-même un groupe de travail permanent dans le cadre institutionnel des Nations Unies en charge pour l'harmonisation mondiale de la réglementation des véhicules.

C'est dans ce cadre que l'ONU a adopté le 25 juin 2020, un règlement contraignant sur les véhicules automatisés incluant une boîte noire obligatoire<sup>64</sup>. Le règlement doit entrer en vigueur en 2021 et bien que les États-Unis ne fassent pas partie du Forum mondial, ses constructeurs automobiles devront suivre ce nouveau règlement pour pouvoir vendre leurs véhicules à l'étranger.

A l'échelon européen, le sujet des véhicules autonomes a fait l'objet de publications anciennes des institutions européennes :

- Une communication de la Commission européenne intitulée « En route vers la mobilité automatisée : une stratégie de l'UE pour la mobilité du futur »<sup>65</sup>,
- Une résolution du Parlement européen sur les véhicules autonomes dans les transports européens<sup>66</sup>.

Il faut néanmoins rappeler que le Règlement (UE) 2019/2144 du Parlement européen et du Conseil du 27 novembre 2019<sup>67</sup> donne une définition du véhicule automatisé et pose des prescriptions spécifiques relatives aux véhicules automatisés et aux véhicules entièrement automatisés.

Pour autant, les institutions européennes ne semblent pas avoir institué de groupe de travail spécifiquement en charge des sujets liés aux véhicules autonomes<sup>68</sup>.

---

<sup>64</sup> Règlement sur « les systèmes automatisés de maintien de trajectoire » adopté par le Forum mondial pour l'harmonisation des règlements concernant les véhicules de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies (UNECE) qui rassemble aujourd'hui 53 Etats.

<sup>65</sup> [COM\(2018\) 283](#) du 17 mai 2018.

<sup>66</sup> [2018/2089\(INI\)](#) du 15 janvier 2019.

<sup>67</sup> [Règlement \(UE\) 2019/2144 du Parlement Européen et du Conseil du 27 novembre 2019 \(prescriptions pour la réception par type afin de garantir la sécurité générale des véhicules et la protection des usagers vulnérables de la route\).](#)

<sup>68</sup> Ceci étant, une [page](#) dédiée au sujet "Cooperative, connected and automated mobility (CCAM)" relate les initiatives adoptées en la matière.

En France, le régime juridique actuellement applicable demeure un **régime dérogatoire** et temporaire qui ne permet la circulation de véhicules automatisés que dans le **cadre limité d'expérimentations**<sup>69</sup>.

Les véhicules autonomes en circulation bénéficient donc tous de **ce régime d'expérimentation**.

Mais le législateur et le gouvernement mettent actuellement en place le **cadre juridique général** qui servira de développement de ces véhicules. Les textes adoptés en France en avril et juillet 2021 ainsi que la modification de janvier 2022 de la Convention de Vienne entraînant le décret du 21 juillet 2022 permettent désormais la circulation de véhicules à délégation de conduite sur des parcours ou des zones de circulation prédéfinis... Cette évolution du cadre juridique s'effectue en parallèle de l'élaboration des règles techniques de sécurité, et nécessite désormais, pour sa finalisation, l'adoption du décret d'application de l'article 32 de la LOM relatif au traitement des données.

## BREF TOUR D'HORIZON INTERNATIONAL : L'ALLEMAGNE, LE ROYAUME UNI, ISRAEL ET LES ETATS-UNIS COMME PRECURSEURS ?

- En Allemagne :

Une stratégie sur les voitures autonomes a été adoptée en Allemagne dès 2015. Deux ans plus tard, une loi a autorisé la circulation de véhicules autonomes de niveau 3.

Un plan de recherche a ensuite été mis en place en 2019 et une loi sur la conduite autonome est en cours d'adoption pour créer le cadre juridique pour la circulation de véhicules autonomes sur voie ouverte dès 2022. Des zones et des scénarios d'utilisation seront définis tels que le transport par navette de courte distance<sup>70</sup>.

L'Allemagne entend donc jouer un rôle moteur et pionnier au niveau de la réglementation européenne et internationale pour accélérer son développement et pourrait être le premier pays au monde à permettre la conduite de véhicules sans conducteur sur route.

- En Angleterre

Le 28 avril 2021, le ministère des Transports britannique a annoncé que des véhicules autonomes de niveau 3 (ne nécessitant pas de garder en permanence les mains sur le volant, grâce à un système du type AKLS<sup>71</sup>) pourraient circuler dès la fin de l'année 2021. Ces véhicules ne pourraient toutefois circuler que dans des scénarios précis, et jusqu'à 60km/h<sup>72</sup>. Ces technologies ne seraient autorisées que dans certains scénarios précis, ainsi que si le gouvernement tient son planning.

En dépit de cette annonce, et lors de notre vérification avant l'été 2021, le processus législatif d'adoption de cette réglementation n'avait semble-t-il pas encore débuté.

- Aux Etats-Unis

<sup>69</sup> Ordonnance du 3 août 2016, par la suite modifiée par la loi PACTE du 22 mai 2019.

<sup>70</sup> [https://www.lemonde.fr/idees/article/2021/06/05/l-allemande-devient-le-premier-pays-au-monde-a-integrer-des-vehicules-sans-chauffeur-a-la-mobilite-du-quotidien\\_6082974\\_3232.html](https://www.lemonde.fr/idees/article/2021/06/05/l-allemande-devient-le-premier-pays-au-monde-a-integrer-des-vehicules-sans-chauffeur-a-la-mobilite-du-quotidien_6082974_3232.html).

<sup>71</sup> Pour Automated Lane-Keeping Systems.

<sup>72</sup> <https://www.bbc.com/news/technology-56906145>

Aux Etats-Unis, une majorité d'Etats a déjà adopté les mesures réglementaires autorisant le déploiement des véhicules autonomes dans l'espace public<sup>73</sup>. Pour les autres, aucune réglementation spécifique n'a été adoptée<sup>74</sup> ou la présence d'un conducteur y est encore requise<sup>75</sup>.

Au niveau fédéral, deux tentatives en matière de réglementation des véhicules autonomes n'ont pu aboutir en 2017 : les projets de lois SELF DRIVE et AV STRAT se sont en effet conclus par des échecs au Sénat. Elles avaient pour objectif de permettre au NHTSA de réglementer les VA et d'exiger des certifications de sécurité<sup>76</sup>.

En janvier 2021, la National Highway Transportation Safety Administration (NHTSA) a adopté un règlement<sup>77</sup> imposant aux constructeurs et aux exploitants automobiles de lui signaler tous les accidents impliquant des systèmes de conduite automatisée. Cette obligation a pris effet le 29 juin 2021 pour une durée de trois ans.

En parallèle, la NHTSA a sollicité des contributions sur l'élaboration d'un cadre réglementaire pour la sécurité des systèmes de conduite automatisée<sup>78</sup>. Ce cadre vise à définir, évaluer et gérer objectivement la sécurité des performances de ces systèmes tout en assurant la flexibilité nécessaire pour permettre de nouvelles innovations. Le régulateur américain a mis en place de nouvelles règles concernant la sécurité des véhicules autonomes. « *Il n'est plus nécessaire pour les constructeurs d'équiper les véhicules autonomes de commandes de conduite manuelle* », rapporte la National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) le jeudi 10 mars 2022. Jusqu'à présent, il était compliqué de déployer un véhicule autonome sans pédale ni volant en raison des règles de sécurité en vigueur qui supposent que le conducteur en ait le contrôle<sup>79</sup>.

- En Israël

Le 19 août 2020, le ministre de la Justice israélien a lancé, jusqu'en septembre 2020, une consultation publique concernant la réglementation des véhicules autonomes.

Israël souhaite utiliser ce moyen de transport pour les transports publics mais aussi le covoiturage. Cette consultation prévoit notamment la création d'un comité consultatif qui comprendra divers représentants (ministère des transports, police, ministère de la justice ...) afin de conseiller le gouvernement.

**Ainsi, le cadre juridique du véhicule automatisé est en pleine évolution, que ce soit au niveau national ou international. Ce caractère évolutif laisse la porte ouverte à des propositions d'adaptations.**

## REGLEMENTATION DES AERONEFS / DRONES

Les aéronefs sans équipage à bord bénéficient d'ores et déjà d'une réglementation européenne unifiée.

<sup>73</sup> Alabama, Arizona, Arkansas, California, Colorado, Connecticut, Delaware, District of Columbia, Floride, Georgie, Hawaii, Idaho, Illinois, Indiana, Iowa, Kentucky, Louisiane, Maine, Massachusetts, Michigan, Minnesota, Mississippi, Nebraska, Nevada, New Hampshire, New York, Caroline du Nord, Dakota du Nord, Ohio, Oklahoma, Oregon, Pennsylvanie, Caroline du Sud, Dakota du Sud, Tennessee, Texas, Utah, Vermont, Virginia, Washington, Wisconsin.

<sup>74</sup> Alaska, Kansas, Maryland, Missouri, Montana, New Jersey, New Mexico, Rhode Island, West Virginia, Wyoming.

<sup>75</sup> Connecticut, District of Columbia, Illinois, Massachusetts, New Hampshire, New York, and Vermont.

<sup>76</sup> <https://www.brookings.edu/research/autonomous-vehicles-as-a-killer-app-for-ai/>.

<sup>77</sup> [https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/2021-06/Standing\\_General\\_Order\\_2021\\_01-digital-06292021.pdf](https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.gov/files/2021-06/Standing_General_Order_2021_01-digital-06292021.pdf).

<sup>78</sup> <https://www.federalregister.gov/documents/2020/12/03/2020-25930/framework-for-automated-driving-system-safety>.

<sup>79</sup> <https://www.usine-digitale.fr/article/plus-besoin-d-un-humain-pour-assurer-la-securite-des-vehicules-autonomes-aux-etats-unis.N1795332>.

## ☛ Motivation

Les réglementations internationales et européennes en cours d'adoption ou de mise en œuvre seront d'application obligatoire ; à court terme, la mise en conformité avec ces textes demandera un investissement non négligeable : un support technique existe, mais il n'est pas suffisant.

En France, le gouvernement a adopté la majorité des textes d'application de la LOM. L'adoption de ce cadre juridique place la France parmi les pays précurseurs en matière de véhicule automatisé. Lorsque les réglementations internationales et européennes auront toutes été modifiées, une adaptation du cadre juridique français pourrait toutefois être nécessaire pour en tenir compte.

De nombreux projets de législation émergent partout dans le monde, et ces projets sont encore très peu détaillés.

En outre, la question de l'accès aux données du véhicule automatisé est cruciale, pour contribuer à renforcer la sécurité de l'usage du VA, prévenir les accidents et en analyser les caractéristiques pour en éviter de nouveaux.

**Préconisation 1 : L'État français et l'UE devraient renforcer l'effort d'accompagnement dans l'utilisation des normes et standards**, y compris par le financement d'outils de diagnostic et de mise aux normes, et leur corollaire, la certification (voir l'exemple du RGPD avec un 1<sup>er</sup> schéma comme Europrivacy™ homologué comme premier et unique Label européen par l'EDPB le 10 octobre 2022).

- *Porteur : Etat.*
- *Parties prenantes : AOM, associations de professionnels.*

**Préconisation 2 : Publier rapidement les derniers textes d'application de la LOM.**

- *Porteur : Etat.*

**Préconisation 3 : Adopter une approche plus européenne et internationale du traitement juridique des véhicules automatisés**, notamment en interagissant avec le futur espace européen des données de mobilité et les nouveaux outils réglementaires (Data Governance Act, Data Act, etc. ...).

- *Porteurs : Institutions Internationales et Européennes.*
- *Parties prenantes : Membres des organes internationaux et européens de discussion.*

**Préconisation 4 : Création d'expérimentations et projets à moyenne et grande échelle pour aider à la mise en œuvre du cadre juridique modifié.**

- *Porteurs : Constructeurs, AOM.*

**Préconisation 5 : Création de guides hors rails** pour générer des normes adaptées à un partage de l'espace urbain (définir le niveau de priorité de circulation entre les différents types de véhicules).

- *Porteurs : Etat, institutions Internationales et Européennes.*

**Préconisation 6 : Favoriser le déploiement de nouveaux systèmes de transport automatisé** en rendant homogène l'usage des différents modes de transports automatisés.

- *Porteurs : AOM.*

**Préconisation 7 : Réfléchir au développement de modes alternatifs de transports non routiers** pour désengorger le trafic, en particulier les transports aériens guidés.

- *Porteurs : Constructeurs.*

**Préconisation 8 : Introduire un mécanisme de réciprocité des homologations des dispositifs routiers et aériens,** au moins au niveau européen, avec l'implication du Service Technique des Remontées Mécaniques et Transports Guidés dans cette homologation.

- *Porteurs : Etat /institutions internationales et européennes.*

**Préconisation 9 : Harmoniser les différents régimes juridiques** (notamment transports aériens guidés).

- *Porteurs : Etat.*

### **3.4.2 - Enjeux autour des télécommunications et intégration de la 5G dans le secteur du véhicule automatisé**

Les véhicules automatisés doivent – par construction – être équipés de capteurs pour recevoir les signaux émis par leur environnement. Des réseaux de communication et un écosystème informatique doivent être mis en place pour traiter les données générées et reçues par les véhicules connectés.

Ces tâches sont notamment rendues possibles par la 5G, laquelle constitue la seule technologie mobile capable de faire transiter les masses de données nécessaires pour pouvoir analyser un mouvement et y répondre en une fraction de seconde grâce à la hausse des débits, de la densité de connexions des communications à faible latence.

Pour cette raison, 5G et véhicules autonomes sont indéfectiblement liés, ces véhicules ayant besoin de la 5G et la 5G ayant notamment été développée pour ces véhicules – ainsi, les véhicules connectés représenteraient 53% du trafic IoT en 2023 selon une étude Gartner (octobre 2019).

En outre, le recours à la 5G induit en lui-même divers enjeux juridiques, dont notamment celui tiré de l'élaboration du cadre juridique de déploiement de l'architecture 5G. En effet, la 5G autorise une plus grande capacité de découpage du réseau en plusieurs tranches virtuelles (slices), exploitées chacune depuis une infrastructure partagée commune. Dans ces conditions, le service rendu à l'utilisateur final résultera de la combinaison complexe de sous-systèmes et de services : des slices dédiées pourraient ainsi être (i) consacrées à des acteurs de la mobilité, (ii) opérées par un tiers de confiance (iii) s'appuyant sur des opérateurs virtuels eux-mêmes agrégeant (iv) des services de *compute* distribué (*Edge-Cloud*), (v) des services de sécurité (gestion des droits des identités, des conditions de sécurité, réponses aux attaques...), (vi) des opérateurs « physiques » d'infrastructures de données et de communication...

La structuration juridique de l'architecture 5G appliquée aux véhicules autonomes constituera un enjeu fort de leur développement.

#### **☛ Motivation**

Le développement du numérique en mobilité exige le déploiement d'outils de télécommunication performants et résilients, en particulier la 5G. La 5G pose une série d'enjeux, dont celui de la sécurité des données et de la souveraineté, tandis que subsistent les régulations différenciées.<sup>80</sup>

**Préconisation 1 : Maitriser le périmètre de données nécessaires pour dimensionner le recours à la 5G,** dans une approche pas à pas (y compris au regard de l'impact environnemental).

- *Porteur : Editeurs de logiciels, constructeurs, Etat.*

**Préconisation 2 : Evaluer la pertinence de l'utilisation d'autres modes de télécommunications que la 5G** (comme les CITS), notamment compte tenu des enjeux notamment juridiques induits par ces différents modes.

---

<sup>80</sup> Voir notamment le Rapport de l'Institut Montaigne de mai 2019 [ici](#).

- *Porteur : Editeurs de logiciels, constructeurs, associations d'usagers.*

**Préconisation 3 : Promouvoir la coordination de la normalisation, de la certification et des lignes directrices harmonisées sur la 5G et la cybersécurité à l'échelle de l'UE, adaptée au monde de la mobilité<sup>81</sup>.**

- *Porteurs : Tous les acteurs.*

### **3.4.3 - Disponibilité, qualité et protection des données – Cybersécurité**

L'accès aux données physiques et numériques du véhicule nécessaire à l'identification et à la conformité du véhicule et de ses composants, est prévu à l'article L311-2 du Code de la route, uniquement en cas d'accident. Réciproquement, l'article 32 de la LOM permet l'accès aux données pertinentes des systèmes intégrés des véhicules aux gestionnaires d'infrastructures routières, aux autorités organisatrices de mobilité, aux forces de l'ordre et de secours aux fins d'intervention, de prévention, d'amélioration des interventions et des accidents, de connaissance de l'infrastructure routière et du trafic.

L'Ordonnance no. 2021-442 du 14 avril 2021 a posé les premiers jalons de la collecte des données utilisées par les véhicules autonomes pour les finalités suivantes : prévention des accidents, évaluation de l'état des infrastructures routières, observation du trafic, analyse des accidents, détermination des responsabilités en présence de véhicules à délégation de conduite, et correction des défauts des systèmes.

Selon chacune de ces finalités, les personnes autorisées à accéder aux données de mobilités et les modalités d'accès sont distinctes :

- Pour les gestionnaires d'infrastructure, forces de police et de gendarmerie et services d'incendie et de secours :
  - Accès aux données **aux fins de détection d'incidents, d'accidents et de conditions dangereuses de circulation** ;
  - Objectif : connaissance de l'état de l'infrastructure et de son équipement pour les gestionnaires d'infrastructures et de l'état du trafic pour les gestionnaires d'infrastructure et les autorités organisatrices de la mobilité ;
  - Les données sont anonymisées par un procédé garantissant la suppression irréversible du lien entre lesdites données et le numéro de série ou tout identifiant du véhicule, de son conducteur, propriétaire ou locataire (article L1514-1 du Code des transports).
- Pour les gestionnaires d'infrastructures routières :
  - Accès aux fins de connaissance et de cartographie de l'infrastructure routière et de son équipement ;
  - Objectif : garantir ses conditions de sécurité ;
  - Les données sont également anonymisées par un procédé garantissant la suppression irréversible du lien entre lesdites données et le numéro de série ou tout identifiant du véhicule, de son conducteur, propriétaire ou locataire <sup>82</sup>.
- Pour les gestionnaires d'infrastructures routières et aux autorités organisatrices de la mobilité :

<sup>81</sup> Voir également les autres mesures clés préconisées par la Commission européenne pour le renforcement de la cybersécurité dans la 5G, de décembre 2020 [ici](#).

<sup>82</sup> Article L1514-2 du Code des transports.

- Accès aux fins de connaissance du trafic routier<sup>83</sup> ;
  - Sous un format anonymisé.
- En cas d'accident de la route :
    - Pour les organismes chargés des enquêtes techniques dans le cadre d'enquêtes administratives : accès aux fins d'étude et d'analyse des accidents aux données des dispositifs d'enregistrement des données d'état de délégation de conduite<sup>84</sup> ;
    - Pour les sociétés d'assurance qui garantissent les véhicules impliqués dans l'accident : accès aux données permettant de caractériser l'état de la délégation de conduite et ses conditions d'activation et de désactivation ;
    - Pour les entreprises d'assurance qui garantissent les véhicules impliqués dans l'accident et le FGAO<sup>85</sup>: accès aux données des dispositifs d'enregistrement des données d'état de délégation de conduite relatives aux conditions d'activation, de désactivation et de reprise en main du système de conduite automatisé aux fins de déterminer les indemnités nécessaires à l'application du contrat d'assurance<sup>86</sup>.
    - Pour les constructeurs de véhicules terrestres à moteur à délégation de conduite, ou de l'un de leurs équipements, ou leur mandataire : accès aux données des véhicules permettant le renforcement de la sécurité des systèmes de délégation de conduite (à définir par voie réglementaire)<sup>87</sup>.

L'Ordonnance no. 2021-442 ouvre également la voie à la **correction télématique de certains défauts de sécurité** par les constructeurs de véhicules terrestres à moteur dans le cas où ces défauts peuvent affecter l'ensemble d'une série de véhicules et sont susceptibles de compromettre, de façon grave, la sécurité du véhicule, des occupants ou des autres usagers de la route en portant atteinte aux intérêts vitaux des personnes<sup>88</sup>.

Les constructeurs de véhicules terrestres à moteur devront enfin notifier à l'autorité nationale de réception des véhicules, la survenance d'une attaque par voie électronique susceptible de porter atteinte aux systèmes d'information contribuant au fonctionnement ou à la sécurité du véhicule. Ils devront transmettre à cette autorité des données techniques permettant d'analyser l'attaque ainsi notifiée. A défaut, une peine de 75 000 euros d'amende sera encourue par les dirigeants de la personne morale concernée (article L1514-8 du Code des transports).

Cette Ordonnance a vocation à être complétée par des dispositions réglementaires sur la conservation des données.

---

<sup>83</sup> Article L1514-3 du Code des transports.

<sup>84</sup> Article L1514-4 du Code des transports.

<sup>85</sup> Fonds de garantie des assurances obligatoires de dommages mentionné à l'article L. 421-1 du code des assurances.

<sup>86</sup> Article L1514-5 du Code des transports.

<sup>87</sup> Article L1514-7 du Code des transports.

<sup>88</sup> Article L1514-6 du Code des transports.

En cas d'accident, auront par ailleurs accès aux données du dispositif d'enregistrement des données d'état de délégation de conduite :

- Les fonctionnaires du corps de commandement ou d'encadrement de la police nationale mentionnés aux articles L. 130-1 et L. 130-3 du présent code, lorsque le véhicule est impliqué dans un accident de la circulation ayant occasionné un dommage corporel ;
- Les agents compétents pour constater les contraventions au présent code en application de l'article L. 130-4, à l'occasion des contrôles des véhicules et de leurs conducteurs ;
- Le titulaire du certificat d'immatriculation du véhicule ou les personnes visées aux trois derniers alinéas de l'article L. 121-3, en cas de constatation d'une des contraventions mentionnées à cet article.

Au-delà de cette réglementation spécifique, le traitement des données personnelles est strictement encadré à l'échelle européenne par le RGPD de 2016<sup>89</sup> et en droit français par deux lois : la loi « Informatique et libertés » n°78-17 du 6 janvier 1978<sup>90</sup> et la loi n° 2018-493 du 20 juin 2018 venant la modifier, relative à la protection des données personnelles. Pour rappel, le RGPD énonce cinq grands principes pour le traitement des données : la finalité poursuivie, la minimisation, la durée de conservation, la sécurité et la confidentialité, et le respect des droits des personnes dans l'usage de leurs données.

Au surplus du respect de ces piliers, d'autres règles plus spécifiques sont en voies d'être érigées. C'est le CEPD, qui dans ses lignes directrices consacrées au traitement de données personnelles dans le contexte des véhicules connectés du 9 mars 2021<sup>91</sup>, rappelle que les données personnelles doivent être collectées et traitées en accord avec le RGPD et recommande que le partage des données avec des tiers se fasse sous une forme anonymisée ou pseudonymisée.

Les caméras embarquées dans les véhicules posent quant à elles la question du traitement des images captées dans l'environnement. Permettant une reconstitution du paysage traversé par le véhicule, ces images seront utiles en cas d'accident ou de litige, mais ne seraient pas sans interroger les droits des personnes présentes sur les images captées et ceux des auteurs propriétaires d'œuvres architecturales sur le domaine public<sup>92</sup>. Dans sa délibération du 26 janvier 2021 portant avis sur la proposition de loi relative à la sécurité globale<sup>93</sup>, la CNIL indique à propos des caméras embarquées, la nécessité de prendre en compte dès la conception d'un tel système, le respect de la réglementation à la protection des données personnelles.

Enfin, la LOM avait prévu – conformément au droit européen - un dispositif d'ouverture des données destinées à faciliter les déplacements<sup>94</sup>. Un décret n°2020-1753 du 28 décembre 2020 a précisé les contours de la compensation financière applicables à cette mise à disposition de données.

---

<sup>89</sup> [Règlement \(UE\) 2016/679 du Parlement européen et du Conseil du 27 avril 2016, relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données. Le Règlement est applicable partout en Europe depuis le 25 mai 2018.](#)

<sup>90</sup> [Loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés.](#)

<sup>91</sup> [https://edpb.europa.eu/our-work-tools/our-documents/guidelines/guidelines-012020-processing-personal-data-context-connected\\_en](https://edpb.europa.eu/our-work-tools/our-documents/guidelines/guidelines-012020-processing-personal-data-context-connected_en) (en anglais).

<sup>92</sup> Voir en ce sens l'article « Les véhicules connectés confrontés à la liberté de panorama », Dalloz IP/IT 2020.435

<sup>93</sup> Voir la publication de la CNIL [ici](#).

<sup>94</sup> Article 25 de la LOM.

En principe, la consultation de ces données de mobilité est gratuite pour les utilisateurs. Toutefois, une compensation financière est demandée aux utilisateurs pour les données dynamiques à partir d'un certain nombre de requêtes par heure ou par jour et en fonction de la catégorie de service. Cette compensation financière ne peut alors être supérieure aux coûts informatiques liés à la mise à disposition et doit être fixée selon **des critères objectifs, transparents, vérifiables et non discriminatoires**.

A l'aune de la multiplication de l'encadrement juridique, plusieurs questions demeurent : qu'en est-il de référentiels de bonnes pratiques liées à la donnée de mobilité ? Au-delà du RGPD, qu'en est-il de la réalité de terrain de la libre circulation des données permise par la réglementation européenne en vigueur (cf. Règlement du *Free flow of data*) ? Quels moyens mettre en place ou adapter pour sécuriser les différents acteurs et promouvoir l'ouverture des données ?

En matière de cybersécurité, les véhicules autonomes peuvent générer des risques importants pour les passagers et autres usagers de la route. Dans un rapport publié le 11 février 2021<sup>95</sup>, l'Agence de l'UE pour la cybersécurité (ENISA) et le Centre commun de recherche de la Commission (CCR) ont dressé une série de recommandations pour atténuer les risques en matière de cybersécurité liés à l'intelligence artificielle embarquée dans les véhicules autonomes.

L'agence de cybersécurité ajoute que des processus d'évaluation continue des risques, accompagnés de renseignements sur les menaces, permettraient d'identifier les risques potentiels d'IA et les menaces émergentes liées à l'adoption de l'IA dans la conduite autonome. Ce rapport n'envisage toutefois pas les mesures concrètes qui pourraient être mises en œuvre et ne peut donc constituer que les prémices d'une future réglementation spécifique aux véhicules autonomes.

Plus généralement, la réglementation de la cybersécurité est en évolution constante. C'est le cas notamment en France avec la publication de la loi no. 2022-309 du 3 mars 2022 visant la mise en place d'une certification de cybersécurité des plateformes numériques destinée au grand public<sup>96</sup>, avec affichage d'un cyberscore et de la localisation des données. Son entrée en application est prévue au 1<sup>er</sup> octobre 2023.

Il en va de même au niveau européen : le 15 septembre 2022, une [proposition de règlement](#) relatif aux exigences de cybersécurité applicables aux produits comportant des éléments numériques, connue sous le nom de « loi sur la cyber-résilience », a été publiée sur le site internet de la Commission européenne. Son objectif est, dans le cadre de stratégie de cybersécurité de l'Union européenne ([Cybersecurity Strategy](#)), de garantir une plus grande sécurité des produits matériels (IoT) et logiciels. A terme, cette réglementation aura donc vocation à s'appliquer aux équipements embarqués des véhicules automatisés.

## REGLEMENTATION DES AERONEFS / DRONES

La gestion des données personnelles issues des UAS est également prise en compte. Les règles régissant les UAS doivent ainsi respecter de nombreux principes et règles et notamment les règles en matière de protection des données personnelles.

Le règlement 2018/1139 pose comme règle générale que « *Les règles relatives aux aéronefs sans équipage à bord **devraient permettre de respecter les droits garantis par la législation de l'Union, et en particulier le droit au respect de la vie privée et familiale, consacré par l'article 7 de la Charte des droits fondamentaux de l'Union européenne, et le droit à la protection des données à caractère personnel, énoncé à l'article 8 de la Charte et à l'article 16 du traité sur le fonctionnement de l'Union européenne, et régi par le RGPD*** ».

<sup>95</sup> <https://www.enisa.europa.eu/news/enisa-news/cybersecurity-challenges-in-the-uptake-of-artificial-intelligence-in-autonomous-driving>.

<sup>96</sup> Qui impose de nouvelles obligations en matière de cybersécurité aux grandes plateformes numériques, aux messageries instantanées et aux sites de visioconférence les plus utilisés.

Le considérant 16 du règlement d'exécution 2019/947 dispose que « *En ce qui concerne les risques pour la protection de la vie privée et des données à caractère personnel, les exploitants d'aéronefs sans équipage à bord devraient être enregistrés s'ils exploitent un aéronef sans équipage à bord équipé d'un capteur pouvant recueillir des données à caractère personnel. Cela ne devrait toutefois pas être le cas lorsque l'aéronef sans équipage à bord est considéré comme un jouet au sens de la directive 2009/48/CE du Parlement européen et du Conseil relative à la sécurité des jouets* ».

En outre, pour les UAS relevant de catégorie spécifique, l'exploitant de l'UAS doit mettre en place des « *procédures visant à garantir que toutes les exploitations sont conformes au règlement (UE) 2016/679 relatif à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et à la libre circulation de ces données. En particulier, il procède à une analyse d'impact relative à la protection des données, lorsque l'autorité nationale chargée de la protection des données l'exige en application de l'article 35 du règlement (UE) 2016/679.* »

#### ☛ Motivation

L'article 32 de la LOM donne aux différents acteurs de la mobilité un accès aux données du véhicule connecté et des assistants numériques de conduite. Cet article opère un changement fondamental pour les collectivités : ces données, que l'on peut qualifier d'intérêt général, leur permettraient de mieux connaître la demande de mobilité, c'est-à-dire les déplacements en voiture (80% de la part modale kilométrique), et ainsi construire leurs stratégies et évaluer leurs actions.

**Préconisation 1** : Publier rapidement le décret d'application de l'article 32 et ses arrêtés, en concertation avec les acteurs publics (AOM) et privés (fournisseurs).

➤ *Porteur : Etat.*

**Préconisation 2** : Confier à l'ART un rôle comprenant le règlement des différends liés à l'article 32.

➤ *Porteur : Etat.*

**Préconisation 3** : Monter sans attendre des expérimentations et projets, afin de mieux cerner les difficultés et capitaliser sur les bonnes pratiques.

➤ *Porteurs : Constructeurs, AOM.*

#### ☛ Motivation

Le RGPD et les lois nationales de protection des données ont renforcé les obligations et sanctions pesant sur les responsables de traitement et leurs sous-traitants. Les titulaires de bases de données de mobilité ou leurs exploitants sont concernés en premier lieu. En même temps, le traitement de données personnelles est nécessaire pour améliorer le trafic et promouvoir les nouvelles mobilités. Le cadre juridique doit s'y adapter et les autorités s'y atteler.

**Préconisation 1** : Promouvoir l'adoption de référentiels et méthodologies de référence (MR) de la CNIL pour le traitement des données personnelles dans la mobilité afin de définir un cadre plus clair, prévisible, adapté au terrain et juridiquement sécurisant pour les acteurs de ce secteur (à l'instar des référentiels et méthodologies applicables aux données de santé).

➤ *Porteurs : tous les acteurs.*

**Préconisation 2** : Promouvoir l'adoption de codes de conduite construits avec les acteurs de terrain pour la collecte et l'usage des données personnelles au service de la mobilité.

- *Porteurs : tous les acteurs.*

**Préconisation 3 :** Promouvoir la mise à jour / la clarification / l'adaptation au monde de la mobilité / l'acceptation par les autorités, des règles techniques d'anonymisation des données personnelles et de conservation sécurisée des données potentiellement ré-identifiantes.

- *Porteurs : tous les acteurs.*

**Préconisation 4 :** Sensibiliser sur les atouts de la certification au RGPD des traitements de données en association avec des outils logiciels performants et des expertises adaptées : le RGPD contient près de 70 références à la certification - outre le fait que la certification est « la » prochaine grande étape de la mise en œuvre du RGPD, l'objectif pour les entreprises de mobilité est de fiabiliser leurs traitements, donc de les valoriser et d'être pionnières sur le marché (voir le premier schéma de certification Europrivacy™ homologué par le CEPD le 10 octobre 2022).

- *Porteurs : tous les acteurs.*
- *Parties prenantes : tous les acteurs.*

**Préconisation 5 :** Étudier les nouvelles techniques de protection des données pour en saisir les opportunités dans le secteur de la mobilité (données synthétiques, avatars, jumeaux numériques. etc.). Le cas échéant, les promouvoir.

- *Porteurs : Etat, institutions internationales et européennes, AOM.*
- *Parties prenantes : Membres des organes internationaux et européens de discussion.*

**Préconisation 6 :** Favoriser la coordination des actions de cybersécurité pour un niveau d'exigence élevé homogène dans l'ensemble de l'UE.

- *Porteurs : Editeurs de logiciels, prestataires de services.*
- *Parties prenantes : Membres des organes internationaux et européens de discussion.*

**Préconisation 7 :** Développer et promouvoir aux niveaux européen et interne l'adoption de mesures concrètes spécifiques pour lutter contre les risques de cybercriminalité dans le cadre des véhicules autonomes.

- *Porteurs : Etat, institutions internationales et européennes.*

#### **3.4.4 - Enjeux juridiques et éthiques liés à l'IA**

La modélisation par les véhicules automatisés de leur environnement afin qu'ils puissent se guider en respectant les règles de circulation et éviter les obstacles repose sur l'intelligence artificielle (IA) qui traite l'ensemble de ces informations et agit sur le système de gouvernance des commandes.

Or, l'utilisation de l'IA pose de nombreux problèmes éthiques. À titre d'exemple, si le véhicule automatisé est dans une situation qui l'engage à sauver soit les passagers de la voiture, soit les personnes sur le passage piéton, que doit-il faire ? Cette question éminemment éthique devra être tranchée par les pouvoirs publics. Au-delà des questions portant sur l'atteinte à la vie des personnes, d'autres questions éthiques se posent : neutralité des algorithmes utilisés, acceptation des véhicules automatisés par les citoyens, etc.

Le Parlement européen a adopté, le 20 octobre 2020, une résolution qui concerne les aspects éthiques et a invité la Commission européenne à proposer un cadre juridique encadrant le développement, le déploiement et

l'utilisation de l'IA et ses technologies connexes. Le Parlement européen recommande notamment que des normes IA européennes dignes de confiance soient mises en place et indique qu'il faudrait être en mesure d'expliquer, de façon précise, les décisions prises par l'IA.

Le 20 janvier 2021, le Parlement européen a adopté une résolution sur l'utilisation de l'IA dans les domaines civils et militaires<sup>97</sup>. Il y a réaffirmé que :

- Le cadre commun de l'UE doit garantir le respect de la dignité humaine et des droits de l'homme, tels qu'ils sont consacrés dans la charte des droits fondamentaux de l'Union européenne et être assorti de définitions harmonisées et de principes éthiques communs ;
- L'IA est un progrès scientifique qui ne doit pas entraîner de régression du droit, et qu'en aucun cas l'IA, la robotique et les technologies connexes ne peuvent enfreindre les droits fondamentaux, la démocratie et l'état de droit ;
- L'IA utilisée dans un contexte militaire et civil doit faire l'objet d'un véritable contrôle humain, de sorte qu'à tout moment, une personne humaine ait la possibilité de la corriger, de l'interrompre ou de la désactiver en cas de comportement imprévu, d'intervention accidentelle, de cyberattaques, d'ingérence de tiers ;
- La prise de décision autonome ne devrait pas exonérer l'être humain de sa responsabilité et que les humains doivent toujours assumer la responsabilité ultime des processus de prise de décision, de sorte que l'identité de la personne responsable de la décision puisse être établie.

Le 21 avril 2021, la Commission européenne a officiellement publié son projet de règlement relatif à une approche européenne de l'intelligence artificielle <sup>98</sup>. Le projet définit un nouveau cadre juridique pour l'IA destiné à appréhender de nombreux défis liés à cette technologie. Thierry Breton a ainsi affirmé que « *Les propositions présentées aujourd'hui visent à conforter la position de l'Europe en tant que pôle mondial d'excellence dans le domaine de l'IA, du laboratoire au marché, à faire en sorte que, en Europe, l'IA respecte nos valeurs et nos règles et à exploiter son potentiel à des fins industrielles* ».

La Commission européenne distingue cinq types de risque : inacceptable, élevé, haut risque, limité et minime. A chaque type de risque est associé un lot d'obligations qui doivent être respectées.

- Lorsque les systèmes d'IA présentent un **risque inacceptable** (lorsqu'ils sont considérés comme une menace évidente pour la sécurité, les moyens de subsistance et les droits des personnes), **ils seront interdits**. Cela recouvre notamment les systèmes d'IA qui manipulent le comportement humain pour priver les utilisateurs de leur libre arbitre et des systèmes qui permettent la notation sociale par les États.

<sup>97</sup> [Résolution du Parlement européen du 20 janvier 2021 sur l'intelligence artificielle](#): questions relatives à l'interprétation et à l'application du droit international dans la mesure où l'Union est concernée dans les domaines des utilisations civiles et militaires ainsi qu'à l'autorité de l'État en dehors du champ d'application de la justice pénale (2020/2013(INI)).

<sup>98</sup> Communiqué de presse de la Commission européenne du 21 avril 2021, consultable [ici](#), projet de règlement disponible [ici](#) (en anglais uniquement).

- Lorsque le **risque est élevé**, la Commission cite notamment l'exemple des **infrastructures critiques (par exemple les transports)** et sont susceptibles de mettre en danger la vie et la santé des citoyens<sup>99</sup>, les systèmes d'IA devront être conformes à des obligations strictes pour pouvoir être mis sur le marché :
  - Systèmes adéquats d'évaluation et d'atténuation des risques ;
  - Qualité élevée des ensembles de données alimentant le système afin de réduire au minimum les risques et les résultats ayant un effet discriminatoire ;
  - Enregistrement des activités afin de garantir la traçabilité des résultats ;
  - Documentation détaillée fournissant toutes les informations nécessaires sur le système et sur sa finalité pour permettre aux autorités d'évaluer sa conformité ;
  - Informations claires et adéquates à l'intention de l'utilisateur ;
  - Contrôle humain approprié pour réduire au minimum les risques ;
  - Niveau élevé de robustesse, de sécurité et d'exactitude.
- Lorsque le **risque est limité**, comme dans le cas d'utilisation de chat bots, des **obligations spécifiques en matière de transparence** s'appliquent : le fournisseur devra faire preuve de transparence en informant les utilisateurs qu'ils interagissent avec un système d'IA.
- Lorsque le **risque est minime**, c'est-à-dire que les systèmes d'IA ne représentent qu'un risque minime pour les droits ou la sécurité des utilisateurs, **le projet de règlement ne prévoit pas d'intervention**. Le projet prévoit toutefois la création de codes de conduite facultatifs pour ces systèmes d'IA.

La Commission européenne a conçu le projet de règlement à l'image du RGPD : création d'un comité européen de l'intelligence matricielle, amendes jusqu'à 4% du chiffre d'affaires annuel mondial (voir 6% pour certaines infractions) et application extraterritoriale.

Au niveau national, dans un avis du 7 avril 2021<sup>100</sup>, le Comité National Pilote d'Ethique du Numérique (sous l'égide du Comité Consultatif National d'Ethique pour les sciences de la vie et la santé), pose les jalons d'un cadrage des aspects éthiques du véhicule automatisé.

- (i) Sur la **terminologie**, l'avis préconise l'emploi du mot « Véhicule à conduite automatisée »
- (ii) A propos de **sécurité routière**, l'avis suggère de signaler les véhicules à conduite automatisée. Il conseille en outre que les futures réglementations exigent la transparence sur la conception des fonctions critiques du véhicule ; le parcours jusqu'à l'homologation doit selon lui être rigoureux et les éléments techniques comme les logiciels doivent faire l'objet de protections appropriées. Sur la question du dilemme en cas d'accident inévitable, l'avis souligne qu'il s'agit « d'une expérience de pensée sur les choix moraux humains ». Il recommande d'abord de prévenir ce type de situation en limitant la conduite automatisée à certaines conditions et à isoler ces véhicules. Ensuite, l'avis suggère de programmer les véhicules de sorte qu'ils suivent des règles explicites, sans distinguer les situations de dilemme par rapport aux autres situations.

<sup>99</sup> Voir Annexe III disponible [ici](#) (uniquement en anglais) "Management and operation of critical infrastructure: AI systems intended to be used as safety components in the management and operation of road traffic and the supply of water, gas, heating and electricity."

<sup>100</sup> [https://www.ccne-ethique.fr/fr/actualites/cnpen-le-vehicule-autonome-enjeux-dethique#.YKu5DIXO\\_Oc.linkedin](https://www.ccne-ethique.fr/fr/actualites/cnpen-le-vehicule-autonome-enjeux-dethique#.YKu5DIXO_Oc.linkedin).

- (iii) Sur **le contrôle humain du véhicule**, l'opérateur à distance doit bénéficier à tout moment d'une possibilité de la reprise en main. Ensuite, l'utilisateur du véhicule s'il est supervisé doit pouvoir prévenir l'opérateur à distance en cas d'alerte. Pour les véhicules non supervisés, les utilisateurs doivent recevoir une formation adaptée. L'avis souligne que la possibilité de choix entre les modes manuel et automatisé doit être systématiquement prévue et qu'en mode automatisé, il ne faut autoriser que des choix préétablis, normés et certifiés.
- (iv) Sur la **liberté des personnes**, le Comité recommande de prévoir des mécanismes de gestion et de protection des données personnelles recueillies et traitées dans l'utilisation de ces véhicules, et de prendre en compte des transferts de données hors de l'Europe. L'avis fait également état des possibilités techniques de contrôle à distance du verrouillage ou du déplacement du véhicule à conduite automatisée par une instance publique ou privée, et de l'atteinte à la liberté d'aller et venir qui en résulterait.
- (v) L'avis conclut sur **les impacts sociaux et environnementaux**, qui le conduit notamment à préconiser le recours à diverses consultations citoyennes locales sur les services de mobilité, sur l'autorisation de circulation des véhicules autonomes sur des territoires donnés. Le Comité recommande aussi une anticipation de l'impact du déploiement de ces véhicules sur l'emploi et les métiers, et de soumettre leur déploiement à une homologation environnementale globale prenant aussi en compte les infrastructures matérielles et numériques dans les différents modes d'usage et de fonctionnement. L'avis invite enfin à tirer parti de la possibilité de **mise en convoi de camions sur le réseau routier**, rendue possible par les technologies de conduite automatisée, pour élaborer une politique de transport de fret multimodal respectueux de l'environnement.

Ce faisant, le CNPEN fait notamment écho aux travaux précédents du CCNE<sup>101</sup> qui ont abouti à l'article 17 de la nouvelle loi n°2021-1017 du 2 août 2021 relative à la bioéthique instaurant une garantie humaine dans l'usage de l'IA en santé. Selon ce dispositif, des dispositifs médicaux fonctionnant à base d'IA devront faire l'objet d'information et de contrôle en amont (producteurs) et en aval (patients médecins) grâce à des points de supervision humaine et une exigence d'explicabilité. Ce principe, transposé aux véhicules automatisés, pourrait ainsi permettre de garder un certain contrôle sur l'IA, et de mettre en œuvre certaines garanties de transparence, traçabilité et explications sur les décisions engendrées par l'IA. Ceci sera cohérent avec le futur Règlement européen sur l'IA et son concept de contrôle humain dans les IA à haut risque.

Enfin, le 28 septembre 2022, la Commission européenne a adopté une [proposition de directive](#) destinée à harmoniser les règles nationales en matière de responsabilité applicables à l'IA. Devant l'inadaptation des règles nationales actuelles obligeant une victime à démontrer une faute, un dommage et un lien de causalité alors qu'un système d'IA s'avère souvent complexe et opaque, l'ambition de ce texte est de permettre aux victimes de dommages liés à l'IA d'obtenir plus facilement réparation et de leur garantir qu'elles bénéficient des mêmes normes de protection lorsqu'elles sont lésées par des produits ou services d'IA que si leur préjudice était causé dans d'autres circonstances. Entre autres dispositions, deux mesures sont particulièrement notables :

- La création d'une « **présomption de causalité** » pour résoudre les difficultés rencontrées par les victimes lorsqu'elles doivent expliquer en détail la façon dont un préjudice a été causé par une faute ou une omission particulière dans un contexte de systèmes d'IA complexes ;

---

<sup>101</sup> Comité Consultatif National d'Ethique

- L'introduction d'un **droit d'accès aux éléments de preuve** auprès des entreprises et des fournisseurs concernés (tout en respectant les règles sur le secret des affaires), lorsque des systèmes d'IA utilisés sont considérés comme étant à haut risque.

#### ☛ Motivation

Les enjeux éthiques créés par l'utilisation des véhicules automatisés impliquent l'élaboration de règles précises compréhensibles par tous et emportant l'adhésion des différents acteurs, tel un gage de confiance.

#### **Préconisation 1 : Publier un guide avec des critères concrets harmonisés sur la notion d'IA « à haut risque ».**

- *Porteur : Etat.*

**Préconisation 2 : S'agissant des projets à base d'IA, promouvoir et travailler sur des cas d'usage concrets de mise en œuvre de la « garantie humaine »** à l'instar de celle prévue dans le **secteur de la santé** (cf. art. 17 de la Loi du 2 août 2021 relative à la bioéthique). La future législation européenne l'exigera également pour l'usage de l'IA à haut risque dans des secteurs à enjeux comme la mobilité (cf. Projet de règlement sur l'IA du 21 avril 2021, art. 14 : *Contrôle humain*).

- *Porteurs : Etat, associations d'usagers, éditeurs de logiciels, constructeurs, assureurs.*
- *Parties prenantes : tous les acteurs.*

#### **Préconisation 3 : Utilisation des travaux du Parlement européen autour de l'IA et de la charte de la vie robomobile pour créer une charte éthique sur l'usage de l'IA dédiée aux véhicules automatisés.**

- *Porteurs : Etat, associations d'usagers, éditeurs de logiciels, constructeurs, assureurs.*
- *Parties prenantes : tous les acteurs.*

**Préconisation 4 : Plus largement, définir des règles claires, harmonisées et transparentes** (référentiels, normes et certification, codes de conduite...) **sur l'usage de l'IA dans la mobilité**, en anticipant les futures règles européennes sur l'usage éthique et sociétal de l'IA dont les principes sont déjà posés : (i) robustesse technique & sécurité, (ii) respect de la vie privée & gouvernance des données, (iii) transparence, (iv) diversité, non-discrimination & équité, (v) bien-être sociétal & environnemental, (vi) responsabilité.

- *Porteurs : Etat, institutions internationales et européennes, AOM.*

### **3.4.5 - Allocation des responsabilités et prise en charge assurantielle**

En tant que véhicule susceptible d'engendrer un dommage et d'autant plus par son caractère innovant hautement technologique et dépendant de la machine, le VA soulève la question de la responsabilité des différents acteurs du véhicule automatisé et de leur couverture assurantielle. En France, toute personne physique ou morale possédant un véhicule<sup>102</sup> doit être couverte par une assurance pour les éventuels dommages subis par des tiers<sup>103</sup>. Cette obligation d'assurance s'applique, sans aucun doute, aux véhicules automatisés. Cependant, dans le cas de véhicules automatisés, se pose la question de la personne devant souscrire l'assurance. Est-ce le propriétaire du véhicule automatisé ? Au constructeur ? A l'entreprise responsable du développement de l'algorithme ? Au

---

<sup>102</sup> Défini comme « tout véhicule terrestre à moteur, c'est-à-dire tout véhicule automoteur destiné à circuler sur le sol et qui peut être actionné par une force mécanique sans être lié à une voie ferrée, ainsi que toute remorque, même non attelée » par [l'article L.324-1 du Code de la route](#).

<sup>103</sup> [Article L324-1 du Code de la route](#).

conducteur dans la mesure de son interaction avec le véhicule ? La question de l'interaction est complexe et une possible réponse serait que tous ces acteurs soient tenus de souscrire une assurance, et ce afin que les tiers soient les mieux protégés.

La question de l'assurance est intimement liée à la question de la responsabilité. Quel partage de responsabilités notamment entre le gestionnaire d'infrastructure et de réseau, le gestionnaire du véhicule et le conducteur ? Une première réponse réside dans l'[Ordonnance du 14 avril 2021](#) en matière de responsabilité pénale, laquelle permet d'exclure la responsabilité pénale du conducteur lorsque le contrôle dynamique du véhicule est géré par le système de conduite automatisé. De même, l'utilisation de boîtes noires, telles qu'imposées par le règlement de l'ONU (cf. supra) ainsi que les règles d'accès aux données du dispositif d'enregistrement des données d'état de délégation de conduite, permettront d'établir qui doit être responsable dans quel cas. Pour autant, les acteurs dans le secteur des véhicules automatisés devront décider et contractualiser la part de responsabilité qui leur sera *in fine* imputée.

Les véhicules autonomes, cumulés avec des infrastructures routières elles-mêmes connectées, auront pour effet de réduire certains risques d'accident. Il en va par exemple ainsi en matière de risques météorologiques, très accidentogènes mais pour lesquels peu d'offres sont actuellement disponibles.

Mais les véhicules autonomes pourraient aussi induire – de manière temporaire – de nouveaux comportements à risques (« tests » sur les véhicules des nouveaux propriétaires, etc.). Ce type d'attitude a déjà pu être constaté lors de l'introduction des radars pédagogiques conduisant certains conducteurs à accélérer fortement à leur approche, pour « tester » ces radars et y afficher une vitesse élevée.

Du seul point de vue des usages, les véhicules autonomes devraient donc avoir des conséquences sur les risques d'accident de la circulation.

Sur le plan juridique, rappelons que la question de la responsabilité pénale du conducteur a été pour partie traitée par l'Ordonnance n° 2021-443 du 14 avril 2021 : cette Ordonnance exclut la responsabilité pénale pour les infractions résultant d'une manœuvre d'un véhicule dont les fonctions de conduite sont déléguées à un système de conduite automatisé, lorsque ce système exerce le contrôle dynamique du véhicule au moment des faits.

La mise en circulation de véhicules autonomes pourrait ensuite concorder avec une réforme générale de la responsabilité civile, engagée de longue date mais qui tarde à être adoptée. Un projet du ministère de la justice avait vu le jour le 13 mars 2017, mais reste dans l'attente d'arbitrages interministériels sur certains sujets sensibles. La commission des lois du Sénat a pris l'initiative de relancer les débats, en publiant en juillet 2020, 23 propositions « *pour simplifier la vie des Français en facilitant la réparation des dommages* ». Une proposition de loi a été enregistrée sur cette base, et se fonde sur le précédent projet en y intégrant le travail de la commission des lois du Sénat.

Une telle réforme aurait incontestablement des implications sur les véhicules autonomes, puisque la proposition de loi envisage notamment de modifier la loi Badinter qui s'applique en cas d'accident de la circulation et de l'intégrer dans le Code civil.

Quoi qu'il en soit, en l'absence même d'entrée en vigueur de cette réforme, les accidents impliquant des véhicules autonomes seront régis par le régime général de responsabilité civile résultant du Code civil et ne seront donc pas confrontés à un vide juridique. A ce régime général de responsabilité peuvent également s'ajouter, ou se substituer des règles particulières comme en matière de transport public ou de transport de marchandises.

A l'inverse, le traitement assurantiel des véhicules autonomes est encore confronté à de nombreuses inconnues, qui s'expliquent notamment par le manque de positionnement des assureurs en matière de recherche et de développement sur les outils d'analyse de risques.

Ce positionnement se double du fait que certains constructeurs tels que Tesla<sup>104</sup> commencent à eux-mêmes proposer des polices d'assurance, avec des tarifs sensiblement plus faibles que ceux des assureurs.

L'enjeu en matière de répartition des responsabilités semble donc principalement attaché au modèle économique devant être mis en place pour le traitement des risques d'accident en matière de véhicules autonomes. En outre, de nouvelles grilles d'évaluation des préjudices (équivalent de la nomenclature Dinthilac adaptée au véhicule automatisé avec les tarifications correspondantes) verront possiblement le jour.

A noter : En collaboration avec la CNIL, les acteurs de l'assurance ont mis à jour et publié le 15 juillet 2021 le « pack assurance », un guide sur la protection des données personnelles dédié à leur secteur.<sup>105</sup> La CNIL a elle-même publié une série de fiches pratiques pour aider les acteurs dans leurs traitements de données personnelles en matière d'assurance en reprenant les fondamentaux du RGPD.<sup>106</sup> Les données personnelles de localisation et d'usage font notamment partie des données répertoriées comme nécessitant une protection, dans le cadre de la passation, la gestion et l'exécution des contrats d'assurance. Plus généralement, le guide n'est pas spécifique au monde de la mobilité mais s'y applique. Son application concrète et spécifique à ce secteur devra être observée sur le terrain et des guides spécifiques seront utilement envisagés.

Sur le plan européen, les règles de la responsabilité sont en mouvement. Outre la proposition de directive sur la responsabilité en matière d'IA du 28 septembre 2022 (visée ci-dessus), la Commission européenne a publié le même jour une proposition de Directive venant réformer la Directive de 1985 sur la responsabilité du fait des produits défectueux. Entre autres points, et sous réserve de confirmation à l'issue de son chemin parlementaire, cette Directive inclura désormais la responsabilité du fabricant de logiciels (et donc notamment de systèmes logiciels embarqués dans des produits ou services comme par exemple à bord de véhicules automatisés) en plus des biens meubles. Les dommages réparables seront élargis aux lésions corporelles, aux dommages aux biens et aux pertes de données. Les règles de prescription seront également assouplies et les règles de preuve allégées en faveur des victimes, en créant une présomption de défectuosité et une obligation de divulgation d'éléments de preuve.

#### ☛ Motivation

Compte-tenu de ses spécificités, l'assurance des véhicules automatisés ne pourra pas s'appuyer sur le modèle assurantiel actuel en l'état. En effet, les véhicules automatisés impliquent d'une part de nombreux acteurs (gestionnaire d'infrastructure et de réseau, gestionnaire du véhicule, conducteur ...) et d'autre part de nombreux capteurs, qui pourraient être utilisés pour mieux préciser les risques, les dommages et les couvertures assurancielles correspondantes.

---

<sup>104</sup> Rapport 2020-2021 Véhicule autonome *D'une approche technologique et urbaine à la mobilité inclusive et durable dans les territoires* p. 144.

<sup>105</sup> <https://www.ffa-assurance.fr/actualites/traitement-des-donnees-caractere-personnel-guide-actualisation-du-pack-de-conformite>.

<sup>106</sup> <https://www.cnil.fr/fr/assurance>.

**Préconisation 1 : Création de modèles d'assurance du véhicule automatisés et/ou de bonnes pratiques en la matière,** qui viseront à mieux assurer ce type de véhicule.

- *Porteurs : Assureurs, constructeurs, éditeurs de logiciels, prestataires de services, associations d'usagers.*
- *Parties prenantes : Tous les acteurs.*

**Préconisation 2 : En matière d'assurance intempéries, prise en compte des solutions météorologiques** qui viendront préciser les risques et permettront une meilleure prise en charge en cas d'accident.

- *Porteurs : Assureurs, constructeurs, éditeurs de logiciels, prestataires de services, associations d'usagers.*
- *Parties prenantes : Tous les acteurs.*

**Préconisation 3 : Utilisation d'analyses statistiques (notamment en matière d'accidentologie) pour établir des grilles de préjudices et une tarification plus adaptée.** Ce qui implique la définition de nouvelles méthodes de calcul du risque, par le développement de nouvelles technologies<sup>107</sup>.

- *Porteurs : Assureurs, constructeurs, éditeurs de logiciels, prestataires de services, associations d'usagers.*
- *Parties prenantes : Tous les acteurs.*

**Préconisation 4 :** Inclure le véhicule automatisé dans la prochaine réforme du droit français de la responsabilité civile à sa juste valeur et au regard des enjeux (données, multiples acteurs...), et conserver à son égard les acquis de la loi Badinter, qui a facilité l'indemnisation des victimes. Procéder à une harmonisation de la réforme française en cours sur la responsabilité avec la réglementation européenne sur l'IA et les futures règles européennes en matière de responsabilité (IA et produits défectueux).

- *Porteurs : Etat.*
- *Parties prenantes : Tous les acteurs.*

**Préconisation 5 : En matière de big data : mettre fin à la confusion fréquemment constatée entre corrélation et causalité.**

- *Porteurs : Etat, associations d'usagers.*
- *Parties prenantes : Tous les acteurs.*

**Préconisation 6 :** Sur la base de la version mise à jour du [pack assurance de juillet 2021](#), élaborée par les acteurs de l'assurance en collaboration avec la CNIL, promouvoir l'adoption d'un guide sectoriel couvrant les besoins spécifiques de la smart data en mobilité, notamment des véhicules automatisés et la nécessaire interopérabilité entre eux, de même qu'une nouvelle façon de calculer les préjudices en intégrant les nouveaux acteurs.

- *Porteurs : Etat, associations d'usagers.*
- *Parties prenantes : Tous les acteurs.*

### 3.4.6 - Nécessaire adaptation des règles de protection de la propriété intellectuelle

Selon Charles Uthus, vice-président des politiques internationales au sein de l'American Automotive Policy Council (AAPC) : « *La propriété intellectuelle dans l'industrie automobile est aujourd'hui plus importante que jamais [...]. Et son importance grandira à mesure que nous avancerons, à un rythme rapide, vers la mise au point de véhicules entièrement autonomes.* »

<sup>107</sup> Rapport sur le véhicule autonome intitulé « *D'une approche technologique et urbaine à la mobilité inclusive et durable dans les territoires ?* » de la Communauté d'Intérêt Movin'On lancée par la Macif, 20 mai 2021 (voir p142) - <https://presse.macif.fr/assets/rapport-civa-080221-low-pdf-0dc6-821df.html?lang=fr>.

Si les acteurs du secteur auront à cœur de valoriser leurs investissements réalisés dans la construction et l'évolution de leurs bases de données, notamment grâce à la protection de la propriété intellectuelle ou du secret, il est acté qu'une bonne partie de l'innovation se produit quand (i) les connaissances et (ii) les savoir-faire sont mis à disposition de tous les acteurs (ou au moins de certains d'entre eux).

Il est donc nécessaire d'envisager un nouveau régime fondé sur le partage des données entre tous les acteurs des véhicules automatisés. À titre d'exemple, Baidu dans le cadre de son projet « Apollo » a mis en ligne toutes les données de son projet en open source<sup>108</sup>.

Entre autres questions structurantes se pose celle de la valeur de la donnée et de son caractère marchand ou non. Or, en droit européen, relayé en cela par le droit français, la donnée personnelle ne relève en principe pas du domaine patrimonial et n'est qu'une extension du corps humain sur laquelle l'individu est censé garder le contrôle (d'où les droits individuels renforcés prévus par le RGPD). Reste le sort des données qui ne sont pas personnelles.

Ceci joue alors même que le droit français s'est désormais orienté vers une approche d'open data des bases de données publiques (cf. Loi République numérique) et de partage des bases de données privées financées avec des fonds publics, et que l'UE pousse vers un partage plus global des données (public/public et public/privé, voire privé/privé) pour soutenir l'innovation européenne et la renforcer à l'égard des puissances tierces, y compris des GAFA. Le règlement européen sur le « Free Flow of Data » entré en application le 28 mai 2019 et qui vise à supprimer les obstacles à la libre circulation des données non personnelles dans les États membres et les systèmes informatiques en Europe, contribue à cette nouvelle approche.

Il en est de même du projet de Data Act publié par l'Union européenne le 23 février 2022 et dont l'article 35 prévoit que le droit d'accès aux données générées par les produits et services d'IoT prévaudra sur le droit sui generis de producteur de base de données prévu par la Directive 1996/9/EC (transposée en droit français). Au-delà, ce futur texte européen ambitionne de mieux distribuer la valeur dérivée de l'usage des données personnelles et non personnelles entre les acteurs de l'économie de la donnée, en particulier lorsqu'il s'agit d'IoT et d'objets connectés.

Ainsi, le Data Act propose de :

- Faciliter le partage de données entre entreprises (B2B) et avec les consommateurs (B2C), en particulier en instaurant l'obligation de rendre la donnée générée par l'usage d'objets connectés et services liés, disponible en retour d'une compensation juste et équitable ;
- Permettre l'usage de la donnée détenue par les entreprises et, à titre exceptionnel en cas de besoin justifié, par les organes publics des États membres et les institutions, agences et organes de l'UE ;
- Faciliter la **permutation de services de traitement de données** (Cloud et Edge Computing) en régulant la relation contractuelle entre les prestataires de services et les consommateurs, incluant une abolition graduelle de frais de permutation pour les consommateurs ;
- **Soutenir le développement de normes d'interopérabilité** pour les données et leur réutilisation à travers les secteurs ;
- **Mettre en place des garanties contre l'accès illégal aux données** non personnelles dans le cloud par des gouvernements tiers.

Le **Data Act** fonctionnera de pair avec le **Data Governance Act**, publié le 23 juin 2022 pour une application obligatoire à partir de septembre 2023 et qui vise à promouvoir le partage de données personnelles et non personnelles en mettant en place des structures de partage intermédiaires. Ceci comprend :

---

<sup>108</sup> <https://www.neousys-tech.com/en/discover/fanless-in-vehicle-pc/baidu-apollo-open-source-autonomous-driving-platform>.

- Un guide et une assistance technique et juridique pour faciliter la réutilisation de certaines catégories de données protégées du secteur public (informations commerciales confidentielles, propriété intellectuelle, données personnelles) ;
- La certification obligatoire des fournisseurs de services d'intermédiation de données ;
- La certification optionnelle pour des organisations pratiquant l'altruisme dans le partage de données.

Notons enfin que les données personnelles strictement et définitivement anonymisées (non pas seulement pseudonymisées) et les données non personnelles depuis l'origine, sont hors champ du RGPD et des droits nationaux de protection des données personnelles. Les données anonymisées ou originellement non personnelles peuvent donc librement faire l'objet de partage et d'exploitation sous réserve du respect des droits de propriété intellectuelle de chaque acteur.

Dans la mobilité, un pas significatif a été franchi avec l'expérimentation dans la région lyonnaise depuis 2013 puis l'adoption à un niveau plus large, de la licence de partage des données de mobilité, dite « Licence Mobilité »<sup>109</sup>. Publiée en mars 2021 par l'Union des transports publics et ferroviaires (UTP) et le Groupement des autorités responsables de transport (GART) pour inciter les acteurs au partage et à la réutilisation des données dans la mouvance de la LOM, cette licence s'inspire tout en s'en démarquant, de la licence ODbL<sup>110</sup>, utilisée sur le Point d'accès national (PAN) et applicable aux données publiques. Elle est le fruit d'une concertation d'un collectif composé d'autorités organisatrices de la mobilité, d'opérateurs de transport public, de services de mobilité privés d'Île de France et de la région lyonnaise.

Le principe est de mixer le partage des données et la valorisation des investissements, notamment selon les principes suivants :

- Limitation du partage à l'identique des bases de données dérivées : les ré-utilisateurs n'ont l'obligation de publier sous cette licence que les informations « de même nature, de même granularité, de mêmes conditions temporelles et de même emprise géographique ». L'objectif est de ne pas fragiliser les modèles d'affaires fondés sur l'exploitation commerciale des données tout en assurant un partage des améliorations apportées aux données d'origine ;
- Identification du réutilisateur au bénéfice des deux parties (connaissance mutuelle des contraintes et projets de chacun, amélioration de la qualité des données, pertinence des services créés, ...) ;
- Engagement de compatibilité à la stratégie de mobilité définie par l'autorité publique compétente sur son territoire ;
- Comme le permet l'article L.1115-3 du Code des transports et au-delà de certains seuils d'utilisation, une compensation financière peut être demandée à l'utilisateur lorsque la transmission des données à cet utilisateur sollicite le service de fourniture des données au-delà de seuils dont les caractéristiques et les niveaux sont définis par le Décret n° 2020-1753 du 28 décembre 2020 relatif à certaines conditions de mise à disposition des données numériques destinées à faciliter les déplacements. Le montant de la compensation ainsi que les modalités de facturation sont fixés par le Concédant dans les CGU de sa Plateforme de diffusion. Cette compensation financière doit être raisonnable et proportionnée aux coûts légitimes encourus pour la fourniture et la diffusion des données pertinentes sur les déplacements et la circulation.

<sup>109</sup> <https://www.lagazettedescommunes.com/726668/transports-une-licence-pour-garder-le-contrôle-sur-les-données/>.

<sup>110</sup> Open Database License.

## ☛ Motivation

Le smart data exige l'accès à des bases de données et leur connexion. Les droits de propriété intellectuelle peuvent freiner cet accès, en procurant notamment une exclusivité à celui qui a investi dans la création & structuration, vérification & qualification ou l'évolution des bases de données. Accélérer la mise en œuvre de règles unifiées pour faciliter le partage des données tout en valorisant l'innovation dans le but d'optimiser leur usage pour améliorer la mobilité.

**Préconisation 1 : Continuer de tester sur le terrain et promouvoir le recours élargi aux licences en matière de mobilité** (licence mobilité, OdbL, ...) **et favoriser les retours d'expérience** afin d'identifier les bonnes pratiques et éventuelles difficultés en mode collaboratif / Inscrire de dispositif dans la mise en œuvre de la future réglementation européenne en matière d'Open data (DGA, DA, Espace européen des données de mobilité) (voir ci-dessous).

- *Porteurs : AOM, prestataires de services, éditeurs de logiciel, associations d'usagers.*
- *Parties prenantes : Tous les acteurs.*

**Préconisation 2 : Promouvoir et mieux encadrer le partage et la circulation des données de mobilité en s'appuyant sur les règles d'Open Data français et la réglementation européenne de l'Open (Research) Data et du Free Flow of Data**, dans le cadre du marché unique numérique / suivre leur mise en œuvre dans les textes d'application de la LOM (ouverture des bases de données de mobilité), avec en ligne de mire *le Data Governance Act* (DGA) et *le Data Act* (DA), i.e. les futurs règlements européens ayant pour vocation de fixer un cadre de confiance pour le partage des données et la réutilisation des données publiques et privées dans l'UE.

- *Porteurs : Etat, institutions internationales et européennes, AOM.*
- *Parties prenantes : Tous les acteurs.*

**Préconisation 3 : Favoriser l'Open Data en privilégiant les prestations de services de données à valeur ajoutée, en s'appuyant sur des projets concrets.**

- *Porteurs : AOM, prestataires de services, éditeurs de logiciel.*

**Préconisation 4 : Distinguer le partage de la propriété intellectuelle et le partage des données de mobilité et accompagner les acteurs en ce sens pour préserver l'incitation à l'innovation.**

- *Porteurs : Associations professionnelles, éditeurs de logiciels, AOM, prestataires de services, acteurs liés.*

### 3.4.7 - VA et transition énergétique

En France, c'est l'article 37-XI de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte du 22 juillet 2015 qui a autorisé le gouvernement à adapter la législation pour permettre la circulation de véhicules à délégation partielle ou totale de conduite sur la voie publique, à des fins expérimentales.

Or, l'article L224-7 du Code de l'environnement (introduit par la loi précitée et modifiée notamment par la LOM) impose une proportion minimale d'acquisition de véhicules « à faibles émissions » et à « très faibles émissions » aux institutions publiques qui gèrent un parc de plus de vingt véhicules pour des activités n'appartenant pas au secteur concurrentiel<sup>111</sup>.

---

<sup>111</sup> Ces proportions minimales sont fixées pour l'Etat et ses établissements publics à :

Le règlement (UE) 2018/842 du Parlement européen et du Conseil impose des obligations aux États membres afin de respecter l'objectif de l'Union de réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 30 % par rapport aux niveaux de 2005 en 2030 pour les secteurs qui ne font pas partie du système d'échange de quotas d'émission de l'Union établi par la directive 2003/87/CE du Parlement européen et du Conseil.

Au niveau national, la LOM pose l'objectif d'atteindre, d'ici à 2050, la décarbonation complète du secteur des transports terrestres, entendue sur le cycle carbone de l'énergie utilisée. Pour atteindre cet objectif, deux objectifs intermédiaires ont été fixés :

- 1) Une hausse progressive de la part des véhicules à faibles et très faibles émissions parmi les ventes de voitures particulières et de véhicules utilitaires légers neufs visant notamment à respecter le règlement (UE) 2019/631 du Parlement européen et du Conseil du 17 avril 2019 établissant des normes de performance en matière d'émissions de CO<sub>2</sub> pour les voitures particulières neuves et pour les véhicules utilitaires légers neufs ;
- 2) La fin de la vente des voitures particulières et des véhicules utilitaires légers neufs utilisant des énergies fossiles, d'ici à 2040 (objectif issu de la Commission Mixte Paritaire (CMP) du 20 juillet 2021).

Enfin, la loi portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets<sup>112</sup>, a été promulguée le 22 août 2021. Elle prévoit dans son article 103 que « D'ici le 1er janvier 2030, la fin de la vente des voitures particulières neuves émettant plus de 123 grammes de dioxyde de carbone par kilomètre selon la norme WLTP, au sens du règlement (UE) 2017/1151 de la Commission du 1er juin 2017 complétant le règlement (CE) n° 715/2007 du Parlement européen et du Conseil relatif à la réception des véhicules à moteur au regard des émissions des véhicules particuliers et utilitaires légers (Euro 5 et Euro 6) et aux informations sur la réparation et l'entretien des véhicules, modifiant la directive 2007/46/CE du Parlement européen et du Conseil, le règlement (CE) n° 692/2008 de la Commission et le règlement (UE) n° 1230/2012 de la Commission et abrogeant le règlement (CE) n° 692/2008, c'est-à-dire plus de 95 grammes de dioxyde de carbone par kilomètre selon la norme NEDC, au sens du même règlement (UE) 2017/1151 de la Commission du 1er juin 2017. Les véhicules émettant plus que ce seuil représente, à cette date, au maximum 5 % de l'ensemble des ventes annuelles de voitures particulières neuves ». Des mécanismes de soutien à l'acquisition de véhicules plus propres sont en outre prévus ainsi que le recours à des biocarburants pour les véhicules lourds ou encore la transformation des véhicules.

Au niveau européen, la Commission européenne a proposé, en décembre 2020, de moderniser la législation européenne sur les batteries<sup>113</sup>. A ce titre, les batteries mises sur le marché de l'UE devraient devenir durables, hautement performantes et sûres tout au long de leur cycle de vie. La Commission propose ainsi des exigences obligatoires pour toutes les batteries : utilisation de matières issues de sources responsables avec un usage limité de substances dangereuses, teneur minimale en matières recyclées, empreinte carbone, performance, durée et marquage, etc. En outre, à partir du 1er juillet 2024, seules les batteries industrielles rechargeables et les batteries

- 
- a) 50 % de véhicules à faibles émissions jusqu'au 31 décembre 2026 et 70 % à compter du 1er janvier 2027 ;
  - b) 37,4 % de véhicules à très faibles émissions du 1er janvier 2026 au 31 décembre 2029 et 45 % à compter du 1er janvier 2030

Et pour les collectivités territoriales à :

- a) 30 % de véhicules à faibles émissions jusqu'au 31 décembre 2024, 40 % du 1er janvier 2025 au 31 décembre 2029 et 70 % à compter du 1er janvier 2030 ;
- b) 37,4 % de véhicules à très faibles émissions du 1er janvier 2026 au 31 décembre 2029 et 40 % à compter du 1er janvier 2030 (Seuils modifiés par l'Ordonnance n° 2021-1490 du 17 novembre 2021 portant transposition de la directive (UE) 2019/1161 du Parlement européen et du Conseil du 20 juin 2019 modifiant la directive 2009/33/CE relative à la promotion de véhicules de transport routier propres et économes en énergie).

<sup>112</sup> Loi n°2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets.

<sup>113</sup> Voir communiqué de presse de la Commission européenne du 10 décembre 2020 [ici](#).

de véhicules électriques pour lesquelles une déclaration relative à l'empreinte carbone a été établie peuvent être mises sur le marché.

Il faut toutefois souligner l'opinion de certains spécialistes qui envisagent une hausse sensible de la consommation énergétique de ces véhicules du fait de la masse de données traitées<sup>114</sup> : l'impact économique des *data centers* est en effet déjà connu. D'où la recommandation fréquente de soumettre le déploiement des véhicules autonomes à une homologation environnementale relative non seulement aux véhicules mais aussi aux infrastructures qui en découlent.

Par conséquent, le développement du véhicule autonome dans les transports en commun constituera un véritable enjeu. En effet, les véhicules autonomes particuliers privés s'ils se maintiennent ou augmentent continueront d'avoir un impact environnemental conséquent.

## REGLEMENTATION DES AERONEFS / DRONES

La construction d'UAS est, comme celle de véhicules, strictement encadrée en ce qui concerne leur impact sur l'environnement. En effet, la protection de l'environnement doit impérativement être garantie lorsque des UAS sont construits.

Le considérant 2 du règlement 2018/1139 prévoit qu'un « **niveau élevé et uniforme de protection de l'environnement devrait être garanti à tout moment** en adoptant des mesures garantissant que les biens, les personnes et les organismes prenant part à des activités d'aviation civile dans l'Union satisfont au droit de l'Union applicable, et aux normes internationales et aux pratiques recommandées. »

En outre le considérant 18 du règlement précité prévoit que « **Les exigences essentielles en matière de compatibilité environnementale de la conception des produits aéronautiques devraient prendre en compte, si nécessaire, à la fois le bruit des aéronefs et leurs émissions afin de protéger l'environnement et la santé humaine des effets nuisibles de ces produits.** Elles devraient correspondre aux exigences qui ont été établies en la matière au niveau international, telles que définies dans la convention de Chicago. Afin d'assurer une cohérence parfaite, il convient que le présent règlement renvoie aux dispositions pertinentes de ladite convention. Cependant, les produits, pièces et équipements non fixes devraient être soumis aux exigences essentielles en matière de compatibilité environnementale définies à l'annexe III du présent règlement dans la mesure où les dispositions de la convention de Chicago ne contiennent pas d'exigences relatives à la protection de l'environnement. En ce qui concerne ces produits, pièces et équipements non fixes, il convient aussi de prévoir la possibilité de fixer des exigences détaillées concernant la protection de l'environnement. »

### ☛ Motivation

Réduire les émissions de gaz à effet de serre est le mot d'ordre de nombreuses lois nationales et/ou européennes adoptées ces dernières années. Les véhicules automatisés n'échappent pas à cet objectif et doivent nécessairement répondre aux objectifs de transition énergétiques.

**Préconisation 1 : Diminuer les émissions unitaires, réduire les distances parcourues et assurer un report modal important** (essentiellement sur les déplacements périphéries –agglomérations) **dans le cadre de l'usage et du développement du véhicule automatisé.**

- *Porteurs : Constructeurs, usagers, AOM, Etat.*
- *Parties prenantes : Tous les acteurs.*

<sup>114</sup> Rapport 2020-2021 Véhicule autonome *D'une approche technologique et urbaine à la mobilité inclusive et durable dans les territoires* p. 49 et suivants.

**Préconisation 2 : Développer de nouvelles normes qui permettent de produire des véhicules automatisés répondant aux normes environnementales actuelles en ayant un impact positif sur l'environnement.**

- *Porteurs : Etat, institutions internationales et européennes.*

**Préconisation 3 : Favoriser l'utilisation des véhicules autonomes dans les transports publics.**

- *Porteurs : AOM.*
- *Parties prenantes : Etat, institutions internationales et européennes.*

# Table des illustrations

Figure 1 : Lancement d'une expérimentation basée sur des voitures automatisées à Rouen (2017) - crédits Claire Garnier .....	8
Figure 2 : Vision de la ville de demain par Mercedes-Benz, présentant une diversité de modes de transport automatisés .....	8
Figure 3: Triptyque constituant un cas d'utilisation du véhicule routier automatisé .....	11
Figure 4 : Cas d'utilisation du véhicule automatisé avec les conditions d'opérationnalité .....	12
Figure 5 : Droïdes de livraison .....	15
Figure 6 : Critères de priorisation pour le déploiement des cas d'utilisation du véhicule automatisé.....	17
Figure 7 : Cas d'utilisation possibles du véhicule automatisé par type de quartier .....	19
Figure 8 : L'écosystème routier dans son ensemble : Domaines, acteurs, thématiques de recherche (source : Université Gustave Eiffel).....	27
Figure 9 : Roadmap estimée du déploiement des services de mobilité automatisée.....	28
Figure 10 : Types de mobilités routières automatisées .....	28
Figure 11 : Déclinaison par territoires/quartiers des cas d'usage les plus pertinents (sorties GT1).....	29
Figure 12 : Déploiement des véhicules automatisés, une complexité grandissante et un nombre de capteurs nécessaire toujours de plus en plus important.....	31
Figure 13 : Perturbateurs du canal de propagation et de l'environnement sur la qualité des capteurs et des données (source : Université Gustave Eiffel).....	32
Figure 14 : Exemple de performance dans le fonctionnement des capteurs IR, camera, et RADAR (source : FLIR [17]) .....	33
Figure 15 : Vue d'ensemble des méthodes à mettre en œuvre pour développer des ADAS tout temps (source : Université Gustave Eiffel).....	35
Figure 16 : La perception de l'environnement consiste à estimer les attributs et l'états de 5 acteurs majeurs de la scène routière : les obstacles, la route, l'égo-véhicule, l'environnement, et le conducteur (source : Université Gustave Eiffel).....	37
Figure 17 : Ensemble des informations potentiellement présentes une carte de perception dynamique locale ou étendue (source : Université Gustave Eiffel). .....	38
Figure 18 : Les véhicules automatisés, une augmentation croissante des fonctions nécessitant toujours plus de traitement et toujours plus de capteurs .....	39
Figure 19 : Deep Learning pour l'amélioration du photo réalisme d'une image (INTEL), et réalité augmentée avec Drive Sim de NVIDIA.....	40
Figure 20 : Principales normes appliquées au VAC pour les aspects sécurité, échange des données et des informations, IA, Fusion de données, systèmes logiciels, et cybersécurité. [10].....	44
Figure 21 : Besoin en niveau de disponibilité et de lisibilité de l'infrastructure pour le déploiement des systèmes de mobilité automatisée. ....	54
Figure 22 : Niveaux de services nécessaires sur l'infrastructure pour le développement des véhicules automatisés .....	58
Figure 23 : Principales informations que l'infrastructure doit fournir pour garantir le déploiement des moyens de mobilités automatisées.....	60
Figure 24 : Niveau de « Smart Road », une combinaison de l'ISAD et du LORAD (Source : PIARC [13]) .....	61
Figure 25 : Arbre des types de cyber-attaques dans l'environnement des véhicules connectés et automatisés ...	62
Figure 26 : une infrastructure communicante adaptée aux configurations de route.....	63
Figure 27 : moyens expérimentaux pour quantifier l'adéquation capteur/infrastructure (source Université Gustave Eiffel) .....	65
Figure 28 : Une perception et une localisation interactive et coopérative .....	65
Figure 29 : Représentation générale et organisation des domaines impliqués dans le développement et le déploiement des VA : Défis, enjeux, problématiques technologiques .....	78

# Références

- [1] Le déploiement européen du véhicule autonome : pour un renforcement des projets européens, rapport du député Damien Pichereau, juillet 2021.
- [2] Décret n° 2021-873 du 29 juin 2021 portant application de l'Ordonnance n°2021-443 du 14 avril 2021 relative au régime de responsabilité pénale applicable en cas de circulation d'un véhicule à délégation de conduite et à ses conditions d'utilisation
- [3] Vedecom & MACIF, 1<sup>ère</sup> édition du baromètre VEDECOM & MACIF : « *Les français sont-ils prêts à accepter le véhicule autonome dans leur vie quotidienne ?* », novembre 2020 (enquête juillet 2020)
- [4] Dominique Gruyer and Abdelmenname Hedhli. Les véhicules automatisés : communiquer pour anticiper les risques. In Chocs de communication en sécurité routière. Hermes, 2021.
- [5] ETSI ITS. Intelligent transport system (its); vehicular communications; basic set of applications; analysis of the collective perception service (cps). Technical report, ETSI TR 103 562 V2.1.1, December 2019.
- [6] G. Thandavarayan, M. Sepulcre, and J. Gozálvez. Generation of cooperative perception messages for connected and automated vehicles. IEEE Transactions on Vehicular Technology, November 2020.
- [7] Daniel Omeiza, Helena Webb, Marina Jirotko, Lars Kunze, "Explanations in Autonomous Driving: A Survey", arXiv:2103.05154v2 [cs.HC] 11 Mar 2021.
- [8] LNE, "Référentiel de Certification de Processus pour l'IA. Conception, développement, évaluation et maintien en conditions opérationnelles ». Réf. rédacteur : LNE/DEC/CITI/CH, Révision n°2.0. Approbation LNE : 12/07/2021
- [9] PIARC, « Véhicules automatisés : défis et opportunités pour les exploitants et les autorités routières. ». Rapport Technique 2021R03FR du Comité Technique B.2 véhicules automatisés : défis et opportunités pour les exploitants et les autorités routières. [https://www.piarc.org/fr/fiche-publication/35948-fr-Véhicules automatisés et opportunités pour les exploitants et les autorités routières](https://www.piarc.org/fr/fiche-publication/35948-fr-Véhicules_automatisés_et_opportunités_pour_les_exploitants_et_les_autorités_routières). ISBN : 978-2-84060-654-3.
- [10] Jamil Fayyad, Mohammad Jaradat, Dominique Gruyer, and Homayoun Najjaran, « Deep Learning Sensor Fusion for Autonomous Vehicles Perception and Localization: A Review. », in SENSORS journal for the special issue « Sensor Data Fusion for Autonomous and Connected Driving ». Volume 20, issue 15. Published 29th July 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20154220>
- [11] Dominique Gruyer, Valentin Magnier, Karima Hamdi, Laurène Claussmann, Olivier Orfila, Andry Rakotonirainy, "Perception, information processing and modeling: critical stages for autonomous driving applications », in Annual Reviews in Control, volume 44, pages 323-341, November 2017.
- [12] Jessica Van Brummelen, Marie O'Brien, Dominique Gruyer, and Homayoun Najjaran, "Autonomous Vehicle Perception: The Technology of Today and Tomorrow", in Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Volume 89, April 2018, Pages 384–406. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.02.012>
- [13] Alfredo García García, Francisco Javier Camacho Torregrosa, David Llopis Castelló, José Francisco Monserrat del Río "Smart roads classification, a piarc special project.". Rapport Technique 2021SP01EN. PIARC. <https://www.piarc.org/ressources/publications/13/c39b62c-36452-2021SP01EN-Smart-Roads-Classification-PIARC-Special-Project-EN.pdf>
- [14] Dominique Gruyer, Olivier Orfila, Sébastien Glaser, Abdelmenname Hedhli, Nicolas Hautière and Andry Rakotonirainy, "Are Connected and Autonomous Vehicles the silver bullet for future transportation issues? Benefits and weaknesses on Safety, Consumption, and Traffic congestion." in e-Book Advances in Road Safety Planning, edited by Krzysztof Goniewicz, Frederick M. Burkle and Dorota Lasota, published in Frontiers in Sustainable Cities. Frontiers Research Topics. Pages 210-233. May 2021. <https://www.frontiersin.org/research-topics/11429/advances-in-road-safety-planning#overview>

[15] Dominique Gruyer, Serge Laverdure, Jean-Sébastien Berthy, Philippe Desouza, Mokrane Hadj-Bachir, «From Virtual to Real, How to Prototype, Test, Evaluate and Validate ADAS for the Automated and Connected Vehicle? », chapitre 4 de l'ouvrage "From AI to Autonomous and Connected Vehicles, Advanced Driver-Assistance Systems (ADAS)". Bapin, T. and Bensrhair, A. (eds.) (2021). ISTE Ltd., London, and John Wiley and Sons, New York. Série: Digital Science. ISBN: 9781786307279, Publication Date: August 2021, Hardcover 284 pp. <http://iste.co.uk/book.php?id=1800>

[16] PIARC, "Catalogue of case studies, Road safety improvements relevant to Vulnerable Road Users, Human Factors and Low- and Middle-Income Countries". Technical Committee C.2. Rapport Technique 2019R47EN. Design and operation of safer road infrastructure. 2019. <https://www.piarc.org/ressources/publications/12/8b8196b-32611-2019R47EN-Road-Safety-Catalogue-of-Case-Studies.pdf>

[17], "Fused aeb with thermal can save lives a test summary for testing agencies, automotive manufacturers, and tier 1 suppliers", white paper FLIR et VIS Labs, 2019. <https://www.flir.com/globalassets/oem/adas/flir-thermal-aeb-white-paper.pdf>