

E-BOOK

La voiture autonome

Une chance pour une mobilité plus sûre, plus efficace et durable pour tous ?

Perspectives, nécessité d'agir et de réglementer

Table des matières

À propos de l'auteur	3
Présentation IKEM	4
Introduction : Quand la science-fiction gagne la rue	5
Comment la voiture autonome s'est-elle développée ces dernières années ?	6
Status quo : La voiture autonome aujourd'hui	7
Contexte : Que sont les véhicules avec des fonctions de conduite autonome ?	9
Autonome signifie indépendant et indépendant du conducteur	11
Le niveau d'automatisation ne dit pas tout	12
Les personnes continuent à assumer leurs responsabilités dans le système	15
La technologie qui se cache derrière l'autonomie	16
Conduite en réseau : D'un système propre au véhicule à un système global ?	25
Fonction de conduite manuelle, automatisée et autonome. Qu'est-ce que cela signifie ?	29
La fonction de conduite autonome a besoin de sa propre réglementation	38
Objectif : Une mobilité plus durable, plus sûre et efficace pour tous	43
Possibilités pour le transport et marché du travail	44
Les possibilités en terme de durabilité	50
Les risques de détournement des données et les possibilités d'accès aux données	55
Résumé : Vers un nouveau monde de la mobilité ?	56
Perspectives pour le transport individuel	58
Perspectives pour les véhicules utilitaires et les moyens de transport d'entreprise	59
Projets nationaux et internationaux pour les véhicules automobiles dotés de fonctions de conduite autonome.....	61

À propos de l'auteur

Chapitre suivant ↻



L'Ass. jur. Matthias Hartwig est avocat pleinement qualifié et intervenant scientifique depuis 2011 à l'Institut pour la protection du climat, l'énergie et la mobilité (IKEM). Depuis 2014, il y est responsable de l'équipe mobilité. Dans ses projets, il traite, entre autres, des questions juridiques de la mobilité. Cela comprend à première vue les domaines suivants :

- Droit de l'industrie de l'énergie, droit de la route et droit de la circulation routière
- Droit de planification
- Modèles d'incitation et de promotion dans le domaine de la mobilité
- Cadre du droit commercial de la mobilité (en particulier droit relatif aux aides d'État, aux marchés et à la concurrence)

Son équipe et lui mènent des recherches sur les questions juridiques, économiques et sociales liées aux véhicules automobiles ayant des fonctions de conduite automatisée ou autonome, et ce dans un grand nombre de projets :

➔ www.ikem.de/en/team/matthias-hartwig

L'Institut pour la protection du climat, l'énergie et la mobilité (IKEM) est une association indépendante à but non lucratif et un institut affilié de l'Université de Greifswald qui étudie les questions scientifiques clés se présentant sur la voie menant à un ordre économique et social durable. Il se base sur une perspective interdisciplinaire, intégrante et internationale. Les principaux thèmes de recherche d'IKEM sont :

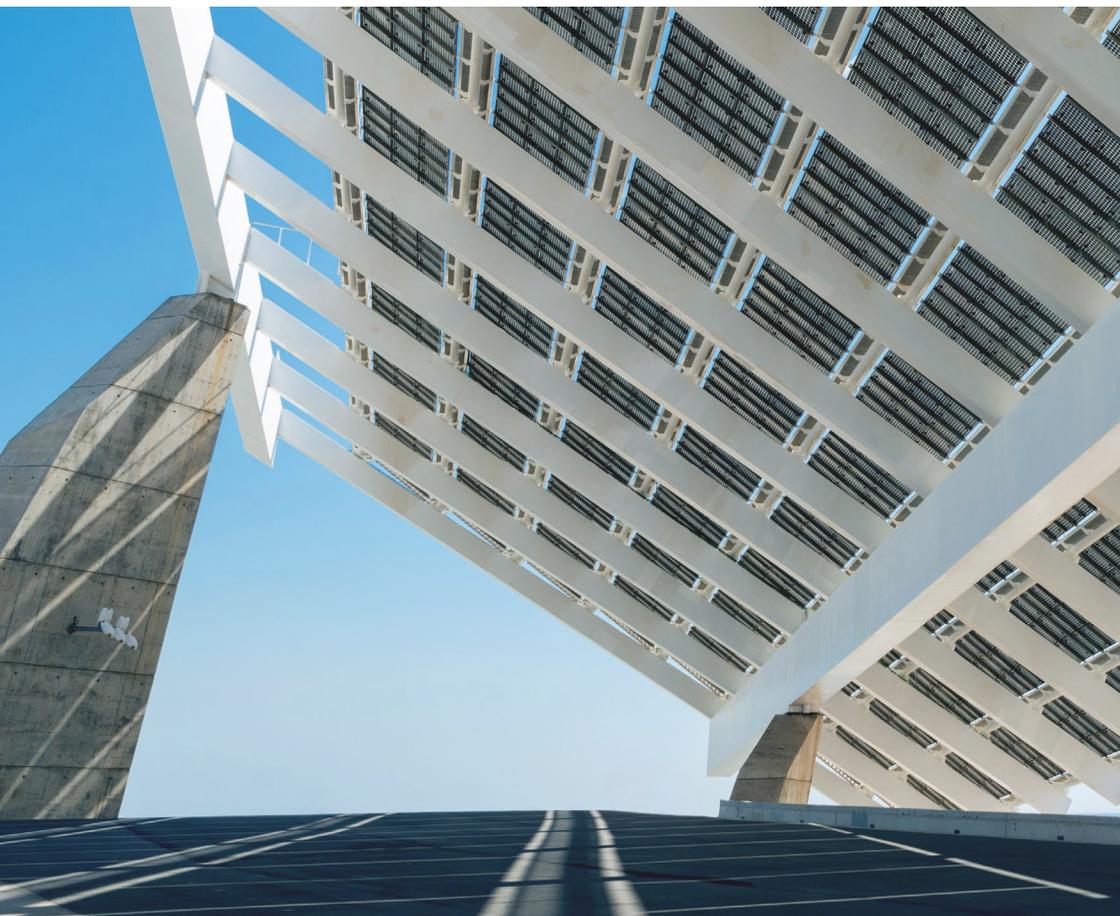
- Développement des énergies renouvelables
- Réseaux d'énergie durable
- Électromobilité
- Numérisation, automatisation et mise en réseau des transports
- Thèmes connexes de transport et de mobilité
- Mise en œuvre des objectifs de protection du climat
- Questions fondamentales de l'approvisionnement en énergie, de la planification, de la protection et de l'efficacité des ressources

Vous trouverez un aperçu des projets, des partenaires et des publications d'IKEM à l'adresse suivante :

➔ www.ikem.de/en

Introduction : Quand la science-fiction gagne la rue

Chapitre suivant ↻



Comment la voiture autonome s'est-elle développée ces dernières années ?

Pensez-vous que les voitures-robots relèvent de la science-fiction ? Il y a quelques années, aucun expert ne vous aurait sérieusement contredit. En 2004, l'agence américaine Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) a organisé sa première compétition dans le désert Mojave pour développer des véhicules dotés de fonctions de conduite autonome. L'objectif était de parcourir une distance d'environ 240 kilomètres en dix heures avec un système de commande autonome du véhicule. Le véhicule le plus performant n'a parcouru qu'une douzaine de kilomètres sur cette distance.

Depuis 2011 environ, plusieurs groupes technologiques américains affirment que leurs véhicules autonomes sont bientôt prêts à être commercialisés. Leurs véhicules auraient déjà parcouru avec succès des centaines de milliers de kilomètres d'essai avec seulement de rares interventions du conducteur d'essai.



Status quo : La voiture autonome aujourd'hui

Même si, rétrospectivement, ces annonces sont peut-être quelque peu prématurées et exagérées, ces entreprises ont donné une impulsion importante. Les véhicules dotés de fonctions de conduite autonome (également appelés véhicules autonomes, voitures robotisées, véhicules sans conducteur ou automoteurs) sont depuis lors à l'avant-garde de la recherche sur la mobilité et continuent de susciter une euphorie médiatique qui fait avancer le sujet. En quelques années seulement, les voitures robotisées ont déjà pris la place de toutes les voitures traditionnelles dans de nombreuses discussions. Aujourd'hui, l'euphorie s'est quelque peu atténuée et a cédé la place à une vision plus réaliste.

Aujourd'hui, les véhicules automobiles dotés de fonctions de conduite autonome peuvent faire face seuls à certaines situations de circulation, de sorte que des domaines d'application utiles apparaissent déjà pour ces véhicules. Presque tous les experts s'accordent toutefois à dire que l'assistance humaine sera nécessaire pendant longtemps encore dans certaines situations de circulation et pour l'entretien et la surveillance des véhicules.¹ De plus, les fonctions de conduite autonome ne peuvent pas être utilisées dans tous les domaines.

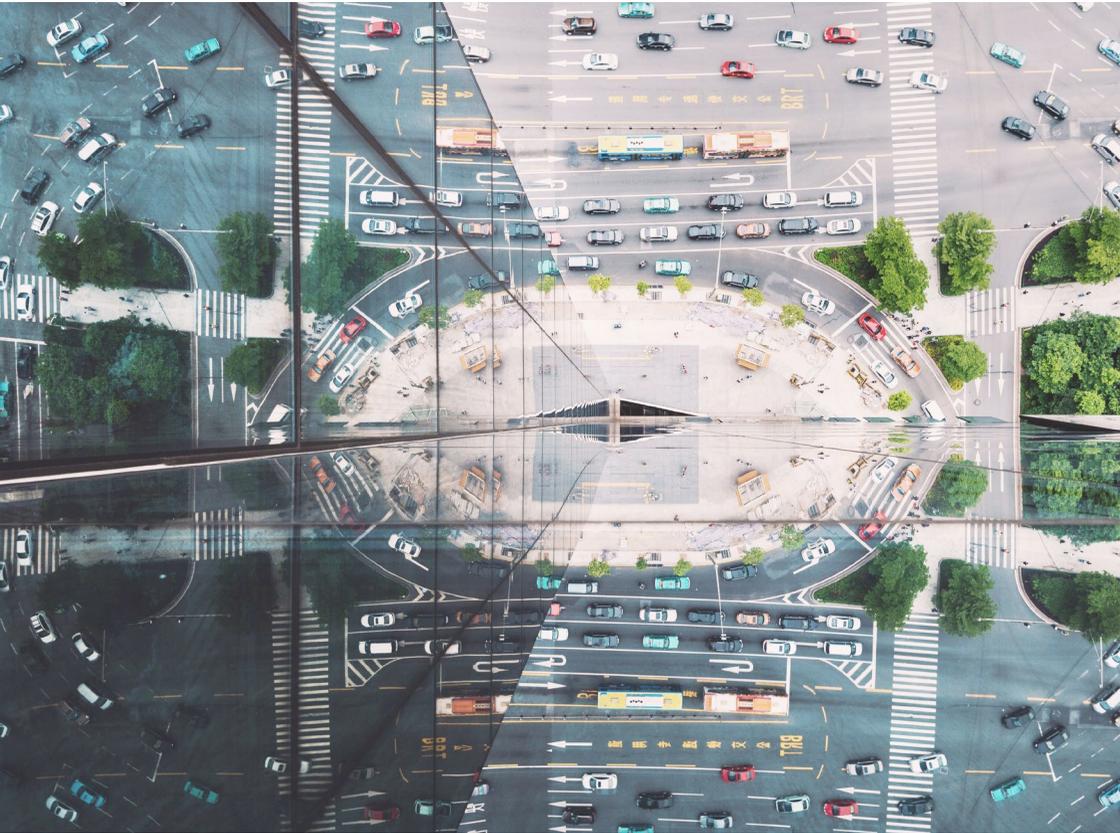
« Le trafic continuera d'être mixte, avec des véhicules de différents niveaux d'automatisation, des cyclistes et des piétons qui y prendront part côte à côte. »

Matthias Hartwig

Ainsi, si vous pensez aussi que les véhicules automobiles dotés de fonctions de conduite autonome relèvent de la science-fiction, vous apprendrez ici

- où en est cette technologie aujourd'hui,
- pourquoi les fonctions de conduite autonome seront bientôt utilisées dans la circulation,
- pourquoi nous en avons besoin, car elles peuvent contribuer à une mobilité durable et efficace et contribueront à la sécurité routière, et
- ce qu'il reste à faire pour accéder à une mobilité durable, sûre et efficace avec des véhicules automobiles dotés de fonctions de conduite autonome.

Contexte : Que sont les véhicules avec des fonctions de conduite autonome ?



Un véhicule automobile doté de fonctions de conduite autonome n'a plus de conducteur au sens classique du terme une fois que cette fonction a été activée. La raison : pendant la conduite autonome, aucun individu n'est responsable de la surveillance constante de la situation de la circulation ou du contrôle du véhicule. Le véhicule suit un programme conçu par l'homme.

De plus, des personnes à l'extérieur du véhicule ou un préposé au véhicule assument une partie des fonctions et responsabilités auparavant assumées par le conducteur. Certaines tâches techniques peuvent également exécuter des systèmes d'environnement numériques à l'extérieur du véhicule. Avec le véhicule, ils forment alors un système complet. C'est pourquoi l'American Society of Automotive Engineers (SAE International), puis l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (INRIA), par exemple, préfèrent utiliser le terme de conduite coopérative (« cooperative driving ») pour les véhicules qui dépendent de la communication et de la coopération avec des systèmes techniques ou des personnes extérieures au véhicule.² De plus, les personnes activent la fonction de conduite autonome et ont donc le contrôle du véhicule, du moins en émettant des instructions que le véhicule applique automatiquement.

De cette manière les gens peuvent également mettre le véhicule hors de la circulation à tout moment. Les personnes remplissent également diverses fonctions dans l'entretien, la surveillance et l'accompagnement du véhicule. Les fonctions et responsabilités qui incombent au système du véhicule ou à un système d'environnement numérique et celles qui incombent à l'homme peuvent varier considérablement d'un système à l'autre.



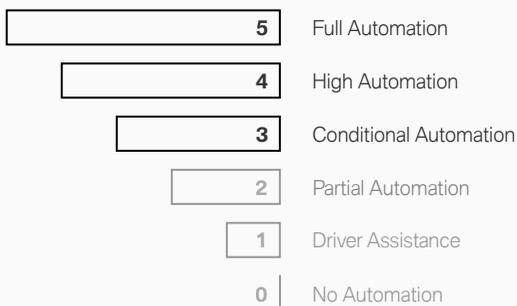
Autonome signifie indépendant et indépendant du conducteur

Le terme « autonome » vient du grec et peut être traduit par « auto-déterminé » ou par « indépendant ». Un véhicule automobile doté de fonctions de conduite autonome ne conduit pas en mode de conduite « auto-déterminée ». Il est guidé par un code logiciel avec lequel les programmeurs ont prédéterminé la réaction du véhicule. Le programme – et non le conducteur – détermine ainsi la réaction du véhicule en mode de conduite autonome. La traduction par « indépendant » est donc plus précise dans le sens où, dans la plupart des situations de circulation, le véhicule agit indépendamment de toute intervention humaine et un conducteur n'a pas constamment à surveiller ou à prendre en charge le système. Cela n'exclut pas la possibilité qu'une personne puisse désactiver la fonction de conduite autonome et ensuite commander le véhicule manuellement.

Le niveau d'automatisation ne dit pas tout

Les niveaux d'automatisation facilitent la classification des fonctions de conduite automatisée des véhicules. Toutefois, pour évaluer leurs fonctions, il est nécessaire d'examiner de plus près les différents systèmes.

Il existe différents niveaux d'automatisation pour les véhicules automatisés. Différencier ces niveaux permet une meilleure compréhension de ces véhicules et permet de mieux en discuter. La classification des véhicules routiers par la Society of Automotive Engineers (SAE) en six niveaux d'automatisation (niveau SAE 0-5) est devenue internationalement acceptée.³ Le gouvernement français utilise également cette classification⁴, tandis que le Ministère de l'Intérieur espagnol (Dirección General de Tráfico, DGT) l'a même traduite et incluse dans son INSTRUCCIÓN 15/V-113 pour l'approbation des essais pour les véhicules automobiles avec fonctions de conduite autonome.⁵



Selon cette définition, les véhicules autonomes ou les véhicules de niveau 5 de la SAE ne seraient que les véhicules capables de faire face à toute situation de circulation imaginable, et ce sans intervention humaine.

« Les véhicules autonomes ou de niveau 5 de la SAE n'existeront pas avant au moins 20 ans. »

Matthias Hartwig

Le gouvernement français, par exemple, suppose aussi qu'autour de 2030-2050, un degré d'autonomie « quasi-totale » en tout environnement d'usage sera atteint,⁶ en d'autres termes, le niveau 5 de la SAE n'est pas disponible pendant cette période, alors que le gouvernement allemand a jusqu'à présent complètement exclu le niveau 5 de la SAE de sa stratégie de conduite automatique et en réseau.⁷ Il est également extrêmement difficile pour les projets de recherche en cours de classer avec précision les véhicules désignés comme « autonomes » aux niveaux 3 à 5 de la SAE. Le terme « véhicule autonome » est donc aussi beaucoup plus large dans le langage courant et, par exemple, dans les définitions juridiques de certains États américains. C'est la raison pour laquelle dans ce texte, il est question de véhicules automobiles ayant des fonctions de conduite autonome. En considérant les niveaux de la SAE, les véhicules dotés de fonctions de conduite autonome, dont il est question ici, seraient mieux classés au niveau 4 (« haute automatisation »).

Lors de l'activation de la fonction de conduite autonome, toutes les tâches de conduite ayant lieu dans les conditions routières et environnementales approuvées sont contrôlées de manière autonome (indépendamment du conducteur) par les équipements techniques du véhicule. Si le véhicule reste dans l'environnement d'utilisation prévu,

aucun conducteur n'est nécessaire. Toutefois, ces véhicules ne sont pas en mesure de fonctionner de manière indépendante dans toutes les conditions routières et environnementales possibles (« under all roadway and environmental conditions »), comme l'exige le niveau 5 de la SAE. Par conséquent, la fonction de conduite autonome restera liée à un environnement d'exploitation spécifique et peut en outre dépendre de la communication et de la coopération avec des systèmes techniques ou avec des personnes extérieures au véhicule (« outside entities ») dans le sens d'une conduite coopérative. Le système peut même nécessiter une surveillance depuis l'extérieur du véhicule et une intervention humaine (« technical support ») dans des situations exceptionnelles.

Qu'est-ce qu'une fonction de conduite autonome ?

Une fonction de conduite autonome est capable de faire face à une situation de conduite définie avec précision dans un environnement de circulation spécifique et sans intervention humaine. Elle ne peut être activée que si les conditions cadres sont réunies.

Les personnes continuent à assumer leurs responsabilités dans le système

Une fois activée, la fonction de conduite autonome peut remplacer le conducteur, mais pas toutes les personnes du système.

S'il n'y a plus de chauffeur pour un véhicule, les personnes occupant d'autres fonctions assument une partie de la responsabilité qui incombait auparavant au chauffeur. Dans le langage courant et dans les projets de recherche aujourd'hui qualifiés d'« autonomes », les véhicules ont encore régulièrement un conducteur de sécurité qui intervient dans des situations critiques. Dans ces véhicules, la fonction de conduite autonome est encore en cours de développement. La conséquence en est que le conducteur de sécurité a plus de responsabilités qu'un conducteur classique. En France, en Espagne, en Italie et en Allemagne, les autorités exigent donc pour l'instant encore un conducteur de sécurité dans chaque véhicule. Ce conducteur doit suivre une formation spéciale en matière de sécurité afin d'être autorisé à conduire le véhicule,⁸ ou au moins avoir une qualification particulière.⁹

Même si, à l'avenir, il n'y aura plus de conducteur dans le véhicule et si les autorités l'exigent, il y aura toujours des préposés à l'intérieur ou à l'extérieur du véhicule. Parallèlement, le personnel de surveillance et de maintenance dans les dépôts et dans un centre d'opérateur (ou centre de contrôle) peut jouer un rôle important. Pendant longtemps encore, les responsables à l'intérieur ou à l'extérieur du véhicule devront donc être disponibles pour contrôler le véhicule avant sa mise en service, pour activer la fonction de conduite autonome, l'éteindre, et pour garantir un fonctionnement fiable pendant son fonctionnement. Dans des cas exceptionnels, il peut même être nécessaire qu'un « conducteur d'urgence » prenne en charge la conduite sur site ou à distance.¹⁰



La technologie qui se cache derrière l'autonomie

Pour qu'un véhicule puisse se déplacer sans l'intervention d'un conducteur, il doit disposer d'une mine d'informations. Afin d'obtenir ces informations et de les mettre à la disposition du véhicule, diverses avancées technologiques à l'extérieur du véhicule sont également nécessaires. Le tableau suivant donne un aperçu des technologies qui permettent des fonctions de conduite autonome. Il est ainsi plus facile de comprendre ce que ces véhicules peuvent faire.

Information

Commande de

conduite : Le véhicule doit « savoir » vers quelle destination il veut se rendre.

Positionnement

propre : Le véhicule doit « savoir » où il se trouve.

Technologies

- La commande de conduite est toujours déterminée par un être humain. Le véhicule ne peut décider « de manière autonome » où aller tant que le conducteur n'a pas au moins déterminé la destination en fonction de la catégorie (p. ex. « Conduis jusqu'à la prochaine station de charge »).
- La numérisation de la communication peut ici aider, si l'on pense, par exemple, aux possibilités offertes par les smartphones et les applications.

La plupart des systèmes actuels de positionnement dans le trafic utilisent le **système de positionnement global par satellite (GPS)**. Le GPS garantit une précision de positionnement avec des écarts inférieurs à huit mètres. Pour les fonctions de conduite autonome, des écarts de moins de cinq centimètres peuvent être nécessaires. Ceci peut être assuré par :

- **Le système de positionnement global différentiel (DGPS)** : des stations de référence sur Terre sont utilisées pour calculer les inexactitudes du GPS.
- **Orientation des points de repères et du marquage** : Si le système reconnaît des points de repère distinctifs grâce à ses capteurs (caméra), dont la position est enregistrée dans le système, il peut les utiliser pour se positionner. Des marquages routiers (ligne centrale) sont également recueillis pour faciliter l'orientation.

Information

Positionnement

propre : Le véhicule doit « savoir » où il se trouve.

Détection de l'état

propre : Le véhicule a besoin d'avoir beaucoup d'informations sur son propre état : fonctionnement des systèmes importants, sens de déplacement, vitesse, fermeture des portes, température intérieure et extérieure, etc.

Technologies

- **« Rail virtuel » avec identification par radiofréquence (RFID) ou autres méthodes :**
De petites puces ou d'autres aides électroniques à l'orientation sont appliquées dans ou sur la route ou dans l'environnement routier. Elles peuvent détecter électromagnétiquement les systèmes émetteur-récepteur correspondants et les utiliser pour se positionner automatiquement.
- Si la vitesse et le sens de déplacement du véhicule sont connus grâce aux données du véhicule, un changement de position peut être calculé.

De nombreux capteurs différents fournissent ces informations : dispositif de mesure de distance (« odomètre »), capteurs de vitesse de rotation sur les roues, compas gyroscopique, capteur de pression des pneus, capteur d'ouverture de porte, thermomètre, etc.

Information

Environnement

roucier : Le véhicule doit « savoir » quel itinéraire est le plus rapide et le plus sûr pour atteindre sa destination.

Situation du trafic :

Le véhicule a besoin de la position exacte des bâtiments et autres obstacles solides, de la position actuelle, du contour, de la vitesse et de la direction de déplacement de tous les usagers de la route présents dans la zone (voitures, bicyclettes, piétons), des panneaux de signalisation, des feux de circulation, etc. Ce n'est qu'avec une image précise de la situation du trafic qu'il peut prendre en compte toutes les règles de circulation et éviter de mettre en danger les autres usagers de la route.

Technologies

Des données géographiques statiques (données cartographiques) aux éléments statiques de la circulation (panneaux de signalisation, chantiers de construction) en passant par les feux de signalisation, la position des bancs de brouillard, des embouteillages, des voitures particulières, des bicyclettes et des piétons, un véhicule automobile à conduite autonome doit obtenir une image exacte de son environnement.

Une « **Carte Locale Dynamique** » (**LDM : Local Dynamic Map**) enregistre les données nécessaires dans le véhicule. Les informations statiques (p. ex. les données cartographiques) peuvent être stockées dans la LDM à l'avance et comparées lors de conduites test à l'environnement réel sur l'itinéraire prévu. Toutefois, les données ainsi obtenues doivent également être constamment mises à jour. La LDM peut récupérer les données des capteurs du véhicule lui-même ou des capteurs ou des services numériques situés à l'extérieur du véhicule (📍 voir illustration).

- Afin de répondre au grand besoin de données, le véhicule doit être mis en réseau avec son environnement. Les dispositifs suivants assurent la communication :

Information

Environnement

routier : Le véhicule doit « savoir » quel itinéraire est le plus rapide et le plus sûr pour atteindre sa destination.

Situation du trafic :

Le véhicule a besoin de la position exacte des bâtiments et autres obstacles solides, de la position actuelle, du contour, de la vitesse et de la direction de déplacement de tous les usagers de la route présents dans la zone (voitures, bicyclettes, piétons), des panneaux de signalisation, des feux de circulation, etc. Ce n'est qu'avec une image précise de la situation du trafic qu'il peut prendre en compte toutes les règles de circulation et éviter de mettre en danger les autres usagers de la route.

Technologies

- **Téléphonie mobile :** Les grandes quantités de données peuvent être mieux gérées avec un standard de téléphonie mobile élevé. Le standard pour la téléphonie mobile 5G, qui fait actuellement l'objet de nombreuses discussions, semble particulièrement adapté dans ce domaine en raison de ses débits élevés de transmission de données, de sa transmission en temps réel et de ses temps de latence réduits.
- **WLAN :** Un réseau local de données sans fil (WLAN) sera mis en place à l'aide de modules radio sur les lampadaires et les portiques afin d'améliorer la communication.
- Des capteurs dans le véhicule ou sur le bord de la route détectent l'environnement et la situation de la circulation :
- **Appareil photo numérique :** Les caméras capturent l'environnement de manière optique, mais peuvent ne pas tout détecter (p. ex. obscurité, brouillard ou rétroéclairage).
- **Scanner laser / lidar :** De nombreux faisceaux laser peuvent être utilisés pour mesurer de manière optique la distance et la vitesse des objets. Cela permet de dessiner une image exacte de l'environnement.

Information

Environnement

roumier : Le véhicule doit « savoir » quel itinéraire est le plus rapide et le plus sûr pour atteindre sa destination.

Situation du trafic :

Le véhicule a besoin de la position exacte des bâtiments et autres obstacles solides, de la position actuelle, du contour, de la vitesse et de la direction de déplacement de tous les usagers de la route présents dans la zone (voitures, bicyclettes, piétons), des panneaux de signalisation, des feux de circulation, etc. Ce n'est qu'avec une image précise de la situation du trafic qu'il peut prendre en compte toutes les règles de circulation et éviter de mettre en danger les autres usagers de la route.

Technologies

- **Capteurs radar et à ultrasons :** D'autres technologies de mesure de la direction et de la distance complètent le spectre de perception d'autres capteurs et assurent la redondance de sorte à ne rien négliger.
- **Regroupement et évaluation des données des capteurs :** Différents capteurs et les images et données qu'ils dessinent et recueillent présentent des avantages et des inconvénients différents. Les ordinateurs peuvent utiliser ces informations pour calculer une image uniforme qui capture le trafic bien mieux qu'un simple capteur.
- **Carte numérique régionale :** Les données géographiques et les données dynamiques du trafic peuvent être réunies et affinées dans une carte numérique indépendante du véhicule. Le véhicule peut accéder à ces données.
- **Données des capteurs d'autres véhicules** (Communication véhicule à véhicule, V2V) : Peuvent également être utilisées pour compléter une carte numérique régionale (p. ex. informations sur la congestion, provenant d'autres véhicules).

Information

Environnement

roumier : Le véhicule doit « savoir » quel itinéraire est le plus rapide et le plus sûr pour atteindre sa destination.

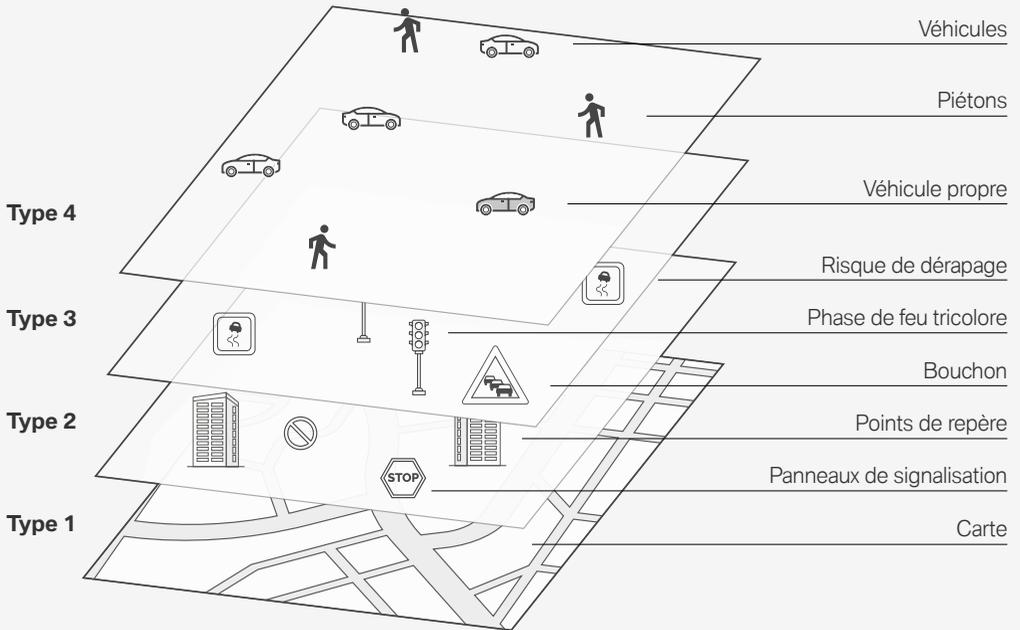
Situation du trafic :

Le véhicule a besoin de la position exacte des bâtiments et autres obstacles solides, de la position actuelle, du contour, de la vitesse et de la direction de déplacement de tous les usagers de la route présents dans la zone (voitures, bicyclettes, piétons), des panneaux de signalisation, des feux de circulation, etc. Ce n'est qu'avec une image précise de la situation du trafic qu'il peut prendre en compte toutes les règles de circulation et éviter de mettre en danger les autres usagers de la route.

Technologies

- **Panneaux de signalisation numériques :** Une caméra ne peut pas détecter avec suffisamment de certitude si un feu est vert ou rouge. Un signal radio numérique émis par le feu tricolore peut clarifier la situation.
- **Technique de commande :** Utilisée pour réunir un grand nombre des données susmentionnées dans un centre opérateur afin de surveiller et d'entretenir de manière centralisée le véhicule et l'infrastructure, et de coordonner de l'extérieur les interventions nécessaires.

Exemple d'une « Carte Locale Dynamique »



Type 1 : Données géographiques statiques

Type 2 : Éléments statiques de la circulation

Type 3 : Éléments dynamiques de la circulation

Type 4 : Données hautement dynamiques

Puissants programmes informatiques et intelligence artificielle

En particulier, le regroupement et l'évaluation des données des capteurs nécessitent l'utilisation d'ordinateurs puissants et de programmes informatiques complexes.

L'intelligence artificielle peut également être utilisée dans ce cas.

Que signifie intelligence artificielle ?

L'intelligence artificielle décrit la capacité d'un programme informatique à déterminer des relations logiques à partir de grandes quantités d'informations (analyse et reconnaissance de formes) et à en tirer des conclusions selon des règles précises (p. ex. prédire des modèles).

Ces méthodes sont souvent utilisées pour la reconnaissance et l'analyse d'images. Par exemple, si un programme informatique a déjà analysé des dizaines de milliers d'images de voitures de différents modèles, il pourra identifier une voiture comme telle même s'il n'a pas encore « vu » le modèle concret auparavant. Si le programme informatique a analysé un grand nombre de changements de direction de véhicules, il peut prédire le changement de direction d'un véhicule avec une certaine probabilité. Cette capacité est d'une grande importance pour les fonctions de conduite autonome, car les systèmes sont mieux à même de s'orienter dans des environnements et des scénarios de cas inconnus. Cependant, de tels systèmes ne peuvent pas prendre de décisions indépendantes et conformes à l'éthique, comparables à celles d'un être humain. Par conséquent, le terme « intelligence artificielle » peut parfois susciter des attentes exagérées.



Conduite en réseau : D'un système propre au véhicule à un système global ?

Le système autonome d'un véhicule automobile avec fonctions de conduite autonome peut, dans certaines circonstances, dépendre des systèmes d'environnement numériques. D'un point de vue technique, le système du véhicule associé aux systèmes d'environnement numériques peut également être considéré comme un système global. Ce système global doit répondre à certaines exigences afin d'assurer des résultats optimaux en matière de sécurité routière et de fluidité du trafic. La conduite autonome exige un changement de perspective : l'accent passe du véhicule à un système global, car dans de nombreuses situations de circulation, elle n'atteindra un niveau de performance approprié qu'en étroite coopération avec des systèmes d'environnement numériques.¹¹ Par exemple, une conduite rapide sur un carrefour routier avec feux de signalisation ne sera probablement possible que si le véhicule reçoit un signal lumineux numérique, et si la situation du trafic d'un carrefour complexe et des routes d'accès est détectée en plus par des capteurs routiers.

On a l'habitude de voir un véhicule automobile comme un outil uniforme et distinct utilisé par un conducteur. Jusqu'à présent, cette dissociation a rendu la loi identique dans tous les pays de l'UE. Selon la loi actuelle sur l'homologation, une autorisation d'exploitation n'est accordée à un véhicule automobile que s'il s'agit d'un véhicule sûr et conforme à l'état de la technique. En revanche, tous les règlements de la circulation routière s'adressent au conducteur, qui doit contrôler son véhicule et est responsable de toute réaction du véhicule lui-même. Si le conducteur ne devient qu'un passager dans le véhicule, cette dissociation ne fonctionne plus. Le fait qu'un véhicule doté de fonctions de conduite autonome puisse être conforme au code de la route doit être démontré au moment de l'homologation et contrôlé à intervalles réguliers.

La perception du véhicule en tant qu'outil délimitable doit également être remise en question. La capacité d'un véhicule doté de fonctions de conduite autonome à effectuer sa tâche de conduite en toute sécurité et avec fluidité dépendra de plus en plus des informations provenant de divers systèmes d'environnement numériques (panneaux de signalisation numériques, cartes régionales numériques, capteurs routiers, etc.) (véhicule connecté). Le véhicule roule sur base de sa propre carte numérique, qu'il met à jour en permanence à l'aide d'informations externes. La fiabilité de ces données ne peut pas toujours être décidée par le seul véhicule. Il doit s'appuyer en partie sur le système d'environnement. Le gouvernement français souligne également que « Le développement de l'infrastructure numérique et la connectivité des réseaux routiers peut constituer un facteur d'accélération du développement du véhicule autonome » et « Les échanges de données du véhicule autonome et connecté constituent un levier clé pour créer de la valeur par le développement de services liés à la mobilité. »¹²

Suivant cette idée, le gouvernement italien a directement intégré le règlement sur les véhicules autonomes dans un règlement sur les routes intelligentes et réglemente l'homologation des systèmes de guidage automatique immédiatement après les véhicules autonomes.¹³ Dans les projets de recherche que j'ai pu accompagner, j'en suis venu à la conclusion que le niveau 5 de la SAE restera longtemps un rêve, mais que des applications très avantageuses et importantes seront trouvées pour la conduite autonome coopérative (niveau 4 de la SAE en réseau avec V2V et V2X).



Exemple Feu de signalisation

- Un véhicule ne peut pas capturer un feu de circulation conventionnel avec une caméra avec suffisamment de certitude.
- Il ne peut donc rouler rapidement à un carrefour que s'il reçoit, en plus du signal optique, un signal numérique provenant du feu.
- Toutefois, ce signal n'a de valeur que si l'opérateur du feu garantit sa fiabilité.
- Le véhicule est donc de plus en plus relié à des systèmes d'environnement numériques.



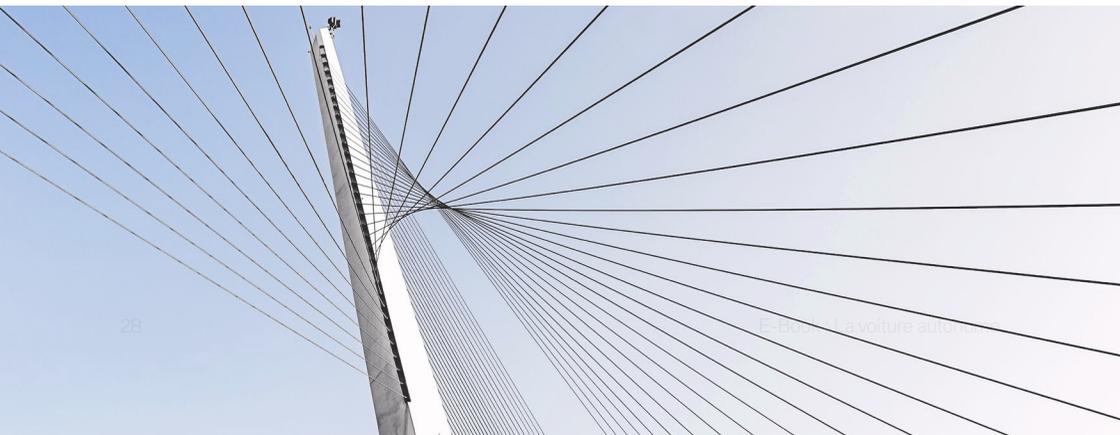
Exemple Parking à étages

- Un parking à étages conçu pour le service voiturier autonome pourrait bientôt fournir à un véhicule automobile compatible avec le mode de conduite les données complètes sur l'état de la circulation : des caméras et autres capteurs entrent les places de parking gratuites, les véhicules et les piétons dans une carte dynamique (système d'environnement technique).
- La navigation devient très facile pour le véhicule automobile en mode de conduite autonome. Toutefois, il doit pouvoir se fier aux informations. Non seulement le véhicule doit être sûr, mais le véhicule et le système d'environnement doivent former ensemble un système global sûr afin d'éviter les accidents.
- À un moment donné, la question se pose de savoir qui conduit réellement dans ce cas – le véhicule ou le parking à étages.

Techniquement, le véhicule et le système d'environnement formeraient un système global. Ce n'est que si ce système global est sûr et fournit suffisamment de données valides pour la navigation que le véhicule pourra naviguer en toute sécurité et avec fluidité dans la circulation. Afin de pouvoir identifier à qui incombe la responsabilité, il faut continuer à avoir des domaines de responsabilité juridiquement définis.

Par conséquent, à l'avenir, il y aura probablement des administrateurs système pour le véhicule et ils s'opposeront aux administrateurs système pour les différents systèmes d'environnement numérique. Techniquement, cependant, la considération isolée d'un seul système conduirait souvent à une impasse, car seule l'interaction de tous les composants offre le niveau requis de sécurité et de fluidité du trafic. Certains s'attendent à ce que « cela se traduise par un processus d'homologation du système avec des processus de contrôle très complexes et une obligation de preuves »¹⁴. Les nouveaux défis réglementaires qui se profilent sont étroitement liés à la réglementation de véhicule à véhicule (V2V) et de véhicule à infrastructure (V2X). Jusqu'à présent, pratiquement aucun pays n'a présenté d'approche réglementaire définitive pour cette technologie. L'Italie est pionnière en la matière avec sa clause expérimentale sur les routes intelligentes et l'homologation des systèmes de guidage automatique.¹⁵ Le gouvernement français a annoncé une réglementation légale des questions les plus importantes dans ce domaine :

- « Cybersécurité: réglementation technique et analyse de la menace »
- « Règles de mise en commun des données, outils et méthodes d'évaluation et de validation des systèmes »
- « Cadre d'échanges des données du véhicule. »¹⁶



Fonction de conduite manuelle, automatisée et autonome. Qu'est-ce que cela signifie ?

Bien que de nombreux termes soient utilisés dans les discussions pour décrire les véhicules automatisés et leurs fonctions, une distinction sera faite ici entre les véhicules automobiles ayant des fonctions de conduite manuelle, automatisée et autonome selon la différenciation juridique requise. Il s'agit de trois modes de conduite différents avec des exigences réglementaires et techniques différentes. Un seul véhicule automobile peut avoir à la fois une fonction de conduite manuelle, automatisée ou autonome. Malheureusement, il est déroutant de constater que ces termes sont déjà utilisés de façon inexacte en droit. Par exemple, le ministère espagnol de l'Intérieur réglemente déjà le « modo autónomo » dans son Instrucción 15/V-113¹⁷, mais laisse au conducteur une responsabilité qui autorise un maximum de classement au niveau 2 de la SAE. J'essaie donc de tracer une délimitation plus claire.

Fonction de conduite manuelle

Jusqu'à présent, le droit français, italien et espagnol de la circulation routière ne réglementait que la situation juridique des véhicules automobiles à conduite manuelle. Certains systèmes d'aide à la conduite en font également partie, car ils ne modifient pas la répartition conventionnelle des tâches entre les personnes et la technologie. Le conducteur reste responsable de la conduite du véhicule dans toutes les situations. Le conducteur doit observer la situation de la circulation en tout temps et garder le système de commande du véhicule sous contrôle. En France, en Italie et en Espagne, par contre, seule une réglementation pour les applications expérimentales a été émise jusqu'à présent pour les niveaux d'automatisation plus élevés.

Fonction de conduite automatisée

Les véhicules automobiles dotés de fonctions de conduite automatisée sont définis ici comme des véhicules dans lesquels le conducteur, après avoir activé le mode de conduite automatisé, peut se détourner de la circulation et du contrôle du véhicule, mais il reste la solution de repli et, en substance, le point de référence pour la responsabilité.

La classification en niveaux de la SAE est difficile à faire ici. Comme le conducteur reste toujours un point de référence du système, la fonction de conduite automatisée ainsi décrite ne peut plus être entièrement classée au niveau 3 de la SAE et nous devons probablement encore parler du niveau 2.

En France (Ordonnance n° 2016-1057 du 3 août 2016) et en Italie (Decreto 28 febbraio 2018), il n'existe actuellement qu'un seul règlement permettant l'homologation, à titre expérimental uniquement, des véhicules qui assument partiellement ou totalement les fonctions du conducteur. Les véhicules automobiles dotés de fonctions de conduite automatisée peuvent alors être homologués, bien qu'il ne faille pas sous-estimer ici que l'homologation peut être exigeante du point de vue de la sécurité. Bien que la réglementation espagnole relative aux véhicules test (Instrucción 15/V-113) ne mentionne expressément que les fonctions de conduite autonome, elle met le conducteur à contribution d'une manière qui devrait probablement être classée au niveau 2 de la SAE.

Ici aussi, le test de niveaux plus élevés de la SAE n'est possible que si le conducteur conserve finalement les tâches de surveillance et les possibilités d'intervention du niveau 2 de la SAE. Le législateur allemand, en revanche, est allé au-delà d'une clause expérimentale en 2017 et, conformément à l'intitulé officiel de la loi sur la circulation routière, a édicté une réglementation générale pour les « véhicules automobiles dotés de fonctions de conduite hautement ou entièrement automatisée ».¹⁸

La réglementation promet beaucoup plus que ce qu'elle peut offrir, car elle ne couvre pas les niveaux 3 et 4 de la SAE, contrairement à l'intitulé officiel. Au contraire, elle contient un règlement très approprié, précisément pour ces véhicules avec fonctions de conduite automatisée jusqu'à un véhicule exigeant de niveau 2 de la SAE. Le règlement est intéressant pour d'autres États européens, car il montre clairement que le niveau 2 de la SAE, où le conducteur délègue déjà certaines tâches au système, n'est plus couvert par le droit conventionnel. Ces véhicules automobiles dotés de fonctions de conduite automatisée ont besoin de leur propre réglementation. C'est pourquoi le droit allemand prévoit qu'un conducteur doit continuer à s'asseoir dans ces véhicules. Bien que le conducteur puisse se détourner des événements de la circulation et du système de contrôle du véhicule pendant le trajet automatisé,¹⁹ il doit rester alerte et en mesure de prendre en charge le système de contrôle du véhicule.²⁰ Il reste dans la position de responsabilité d'un conducteur conventionnel et est le destinataire de toutes les réglementations légales du code de la route, même pendant le trajet automatisé.²¹ Si le conducteur constate que son véhicule en mode de conduite automatisée contrevient aux réglementations relatives au code de la route, il doit désactiver le système.²² Le système doit enregistrer de manière indépendante tout écart pertinent²³, puis demander au conducteur de désactiver le mode de conduite automatisée et de commander le véhicule manuellement²⁴.

Le plus grand défi pour les développeurs de tels véhicules est donc de maintenir et de contrôler en permanence l'attention du conducteur, car celui-ci est toujours indispensable pour le système. Un autre aspect intéressant du règlement allemand est que le législateur exige que le véhicule soit à tout moment conforme aux règles de circulation relatives à la conduite du même véhicule.²⁵ Étant donné qu'un système technique n'est pas en mesure de simuler complètement le comportement humain, le conducteur ne peut pas être complètement déchargé de ses responsabilités.

Le règlement montre donc aussi à quel point la réglementation des niveaux 3 et 4 de la SAE est exigeante, puisque le droit des transports devrait être complètement repensé pour eux. C'est exactement ce que le législateur allemand a voulu éviter et il s'est donc abstenu de dégager complètement le conducteur de sa responsabilité. Il est devenu évident que les véhicules automobiles dotés de fonctions de conduite automatisée posent leurs propres défis tant aux concepteurs qu'aux législateurs. L'élaboration et la réglementation de ce segment doivent être clairement séparées des exigences relatives aux fonctions de conduite autonome.

Dans le domaine de l'aviation, l'automatisation s'est accompagnée d'exigences de plus en plus élevées pour la formation des deux pilotes présents dans chaque avion commercial. Les deux se surveillent également l'un l'autre. Une évolution correspondante du trafic individuel motorisé sur route est exclue, puisque les exigences pour l'obtention du permis de conduire ne peuvent plus être significativement relevées pour des raisons de sécurité sociale (mobilité pour tous). Aujourd'hui encore, il n'est pas facile d'obtenir un permis de conduire. Ce problème ne devrait pas être aggravé par l'automatisation.



Que signifie transport individuel ?

Dans le cas du transport individuel, en règle générale, une seule personne utilise un moyen de transport. Contrairement aux transports en commun, cette personne détermine la période, l'itinéraire et la destination. La voiture est le moyen de transport le plus classique en ce qui concerne le transport privé motorisé.

Fonction de conduite autonome

Une fonction de conduite autonome est caractérisée par le fait que le conducteur n'est plus considéré pendant la conduite autonome comme solution de repli et point de référence essentiel pour la responsabilité. Pendant la conduite autonome, le système est responsable du contrôle longitudinal et latéral du véhicule, de la surveillance et de la réponse appropriée aux conditions routières et environnementales et doit également agir comme solution de repli sans pouvoir compter sur l'intervention d'un conducteur humain.²⁶ Le conducteur ne doit plus être pris en compte dans le développement d'une telle fonction autonome de conduite. Il n'est pas responsable de la surveillance du système et n'assume pas la responsabilité d'une récidive. Cette situation exige une architecture système du véhicule complètement différente. En mode de conduite autonome, le véhicule doit être capable de résoudre lui-même toutes les situations de circulation standard dans lesquelles il peut se trouver. Même en cas de défaillance d'un sous-système et dans des situations exceptionnelles, le véhicule doit au moins pouvoir se piloter vers un état sûr (par exemple, s'arrêter en toute sécurité sur la route).



L'intervention humaine peut rester nécessaire dans des cas clairement définis tels que

- Pendant l'entretien
- Pendant l'activation
- Dans des situations de circulation exceptionnelles
- Dans des situations exceptionnelles
- Après la désactivation délibérée de la fonction de conduite autonome par une personne

Toutefois, le véhicule doit être conçu de manière à ce qu'un certain temps puisse s'écouler avant que les assistants humains ne deviennent actifs et qu'il ne devienne pas un obstacle à la circulation même pendant cette période d'attente.

Cette complexité peut être limitée par la restriction locale de la zone d'exploitation et par une sélection et une conception minutieuses de l'itinéraire. Si, par exemple, une navette pour un service régulier est développée par un opérateur de transport local dans une petite zone résidentielle avec une zone limitée à 30 km/h, une carte numérique très détaillée peut être fournie pour cette zone et dans laquelle ont déjà été entrés tous les panneaux de signalisation et règles de circulation.

« Enfin, les concepteurs de véhicules doivent tenir compte de toutes les situations de circulation possibles dans lesquelles le véhicule peut se trouver, déjà dès la phase de développement, et les anticiper dans une certaine mesure. »

Matthias Hartwig

Si, par exemple, il s'avère que le véhicule ne peut pas dépasser les véhicules de collecte des ordures, il n'est pas nécessaire de conduire le véhicule pendant les heures où les ordures sont collectées dans la zone résidentielle. Alternativement, il peut également contacter à temps un centre des opérations afin d'autoriser des manœuvres de conduite inhabituelles. De telles situations sont faciles à prévoir et à planifier pour une petite région. Si le véhicule se retrouve dans une situation de circulation non calculée, il peut rouler sur le bord de la route et attendre l'intervention des employés du centre des opérations. En France et en Italie, de tels systèmes ne sont, d'une manière générale, pas non plus réglementés, mais peuvent être approuvés conformément à l'Ordonnance n° 2016-1057 du 3 août 2016 ou au Decreto 28 febbraio 2018. En Espagne, ils sont expressément couverts par l'Instrucción 15/V-113, qui ne va toutefois, en y regardant de plus près, pas au-delà des exceptions italiennes et françaises. En effet, la Convention de Vienne sur la circulation routière de 1968 interdit jusqu'alors les systèmes sans conducteur dans la mesure où ils ne sont pas couverts par les règlements CEE/NU. Les règlements CEE/NU ne prévoient pas encore de fonctions de conduite autonome. La Convention de Vienne a été ouverte dans la mesure où elle permet désormais aussi aux États signataires de réglementer un conducteur en dehors du véhicule. Dans la pratique, toutes les réglementations légales stipulent donc qu'un conducteur de sécurité doit être présent à chaque fois, et son placement à l'extérieur du véhicule n'est concevable qu'en présence d'exigences élevées en matière de cyber-sécurité et de disponibilité des signaux.

Véhicules à fonctions de conduite multiples

D'ici quelques années déjà, des véhicules pourront être contrôlés manuellement par un conducteur et auront également des fonctions de conduite automatisée et autonome.

Exemple : BMW Série 3 avec différents modes de conduite

Une BMW Série 3 avec assistant de stationnement, assistant d'embouteillage et radar de régulation de distance est déjà à la pointe de la technologie. D'ici quelques années, d'autres fonctions d'assistance offertes par le véhicule seront très fiables même dans des plages de vitesse plus élevées, de sorte que nous pourrions parler d'un assistant autoroutier. L'intervention du conducteur dans ce véhicule ne serait nécessaire que dans de rares cas. Le conducteur reste dans le système, mais il est guidé de manière appropriée pour intervenir en cas de besoin (mode de conduite automatique). Parallèlement, il sera toujours possible pour le conducteur de prendre le contrôle du véhicule, seules les fonctions d'assistance au conducteur et d'assistance en cas d'urgence restant actives (mode de conduite manuelle).

Toutefois, il est tout à fait réaliste de penser que l'assistant de stationnement de cette BMW Série 3 pourra alors fournir ce que l'on appelle un service voiturier autonome dans un parking à étages, à condition que le parking à étages concerné supporte cette fonction. Si le véhicule et le parking à étages offrent tous deux cette fonction coordonnée, le conducteur descend à la barrière du parking.



Le véhicule, en étroite coordination avec le système d'environnement numérique du parking à étages, prend en charge le trajet jusqu'à la place de stationnement au 3ème étage. Il s'agit d'une fonction de conduite autonome qui pourrait être de plus en plus utilisée dans d'autres environnements au fil des années, dans la mesure où elle offre un système d'environnement numérique correspondant. La condition préalable à l'activation de la fonction de conduite autonome sera toujours que le système d'environnement soit compatible, qu'il signale au véhicule qu'il est actif et fonctionnel et que le véhicule y soit enregistré.

La BMW de cet exemple ne serait pas un véhicule manuel, automatisé ou autonome, mais un véhicule automobile avec les trois fonctions de conduite. Dans chacun des trois modes de conduite, les concepteurs du véhicule et le conducteur doivent tenir compte de leurs propres réglementations.

La fonction de conduite autonome a besoin de sa propre réglementation

Les fonctions de conduite manuelle, automatisée et autonome nécessitent chacune leur propre réglementation. Bien que la première réglementation relative à la conduite manuelle ait été accompagnée par l'introduction des premières automobiles, il n'existe pas de réglementation appropriée pour les fonctions de conduite automatisée et autonome en France, en Italie et en Espagne. Alors que les clauses expérimentales dans les trois États permettent aux véhicules d'être testés jusqu'au niveau 3 de la SAE, il sera difficile pour les autorités de décharger le conducteur de sa responsabilité et de formuler les exigences de sécurité et les tests de sécurité nécessaires sans un programme réglementaire détaillé. L'instruction espagnole détaillée Instrucción 15/V-113 est jusqu'à présent l'approche la plus utile allant dans cette direction, car elle fournit aux autorités une orientation relativement plus détaillée, en particulier pour les tests de sécurité. Toutefois, la disparition du conducteur du véhicule n'est pas non plus expressément prévue ici. Contrairement aux fonctions de conduite manuelle et automatisée, le conducteur n'est plus l'ancien point de référence pour la régulation des fonctions de conduite autonome. Il est important de réaliser que les fonctions de conduite autonome ne pourront également jamais simuler un conducteur humain. C'est la raison pour laquelle des réglementations légales distinctes sont nécessaires pour ce mode de conduite. Elles sont basées sur le droit de la circulation routière et sur les normes éthiques existantes, mais tiennent mieux compte des conditions techniques.

Les clauses d'expérimentation en vigueur en Italie, en Espagne et en France ont jusqu'à présent contraint les autorités compétentes à suivre aussi étroitement que possible la législation existante en matière d'homologation, de circulation et de permis de conduire. En fin de compte, elles devront aussi appliquer toutes les normes du droit traditionnel de la circulation routière aux véhicules automobiles dotés de fonctions de conduite automatisée et autonome. Les véhicules sont donc soumis à toutes les dispositions du droit traditionnel de la circulation routière de la même manière qu'un conducteur humain.

Les réglementations légales sont toujours des consignes en matière de comportement qu'interprètent les praticiens du droit humain (juges, représentants officiels en économie, administration) pour des êtres humains. Pour résumer, l'exigence est donc que le système automatisé simule le conducteur. Ce règlement s'applique à la conduite automatisée, car le conducteur reste responsable du système en arrière-plan et doit être en mesure de prendre immédiatement le contrôle du véhicule en situation d'urgence. Ce conducteur jugera ensuite le système selon qu'il réagira ou non dans une situation de circulation comme il l'aurait fait lui-même.

Que peuvent faire les gens, que peuvent faire les machines ?

Pour une fonction de conduite autonome, la condition préalable susmentionnée n'est pas remplie. La simulation d'un conducteur humain n'est pas toujours bénéfique pour la sécurité routière et la fluidité du trafic. Dans certains cas, c'est le contraire qui peut se produire.

L'homme et la machine sont trop différents dans la perception et l'analyse des situations de circulation et dans leurs possibilités de réaction pour que l'application des mêmes réglementations aux deux parties puisse avoir un sens dans toutes les situations. L'intelligence des êtres humains ne peut être simulée par des machines, ainsi qu'une excellente reconnaissance d'images et la capacité à analyser des situations. À cela s'ajoutent l'intuition et la capacité d'évaluer de manière éthique et indépendante les situations, ce dont les machines ne disposent pas.



Les machines, par contre, ont des capacités de traitement de l'information presque illimitées et des capacités multitâches, qui ne sont finalement limitées que par la quantité d'informations dont elles disposent. En ce qui concerne également la réaction, d'un côté, on trouve la flexibilité humaine et la responsabilité personnelle, de l'autre, du côté des machines, une fiabilité supérieure (fidélité au programme) et une vitesse de réaction en fractions de seconde.

Les fonctions de conduite autonome ont donc besoin de leurs propres lignes directrices pour l'élaboration de la partie du Code de la route relative aux véhicules et de ses décrets correspondants. Celles-ci doivent inclure la partie du Code de la route relative au conducteur et les décrets correspondants dans la mesure où ils reflètent les attentes légitimes des autres usagers de la route dans le cadre d'un trafic mixte.²⁷ L'ensemble des règles de comportement pour le conducteur doit être transféré à la machine avec le sens des proportions et les compétences techniques nécessaires pour qu'elle puisse participer en toute sécurité au trafic mixte. Par exemple, les véhicules autonomes devraient également s'arrêter à un feu rouge, même s'ils disposent d'informations fiables selon lesquelles aucun autre véhicule ne circule à l'intersection. Sinon, ils donneraient le mauvais exemple. En outre, ces réglementations doivent être adaptées aux capacités d'une machine, guidées par des résultats optimaux en matière de sécurité routière et de fluidité du trafic.

Le gouvernement français se réfère principalement aux règlements de la CEE pour le développement nécessaire de la réglementation.²⁸ L'Italie et l'Espagne font preuve d'une retenue comparable en matière de réglementation. Cela est vrai dans la mesure où les approches nationales spéciales vont à l'encontre de l'esprit d'harmonisation européenne et internationale du droit d'homologation. Toutefois, les organes de la CEE/NU sont des organes d'harmonisation juridique et non d'établissement de figures juridiques fondamentalement nouvelles, de sorte qu'il leur sera difficile d'initier le changement de paradigme nécessaire en droit. Des pionniers nationaux sont donc également nécessaires dans la législation, mais ils devraient conserver la possibilité d'une harmonisation ultérieure pour leurs réglementations provisoires. Le gouvernement français fait déjà allusion à la possibilité d'une réglementation pionnière en matière de transport public avec des navettes autonomes.²⁹

Normes éthiques

En 2018, en France, 3 248 personnes ont perdu la vie dans des accidents de circulation.³⁰ Bien que ce chiffre décrive un creux historique, il est déprimant. Le Premier ministre Édouard Philippe attribue la baisse significative du nombre de victimes principalement à la nouvelle limitation de vitesse à 80 km/h sur les routes de campagne.³¹ Ce chiffre montre, entre autres, que la participation à la circulation routière confronte parfois un conducteur à des décisions éthiques très fondamentales. Même lorsque le conducteur accélère, il doit être conscient que des vitesses plus élevées peuvent également représenter de plus grands risques pour la vie et la santé des passagers du véhicule et des autres usagers de la route. Bon nombre des questions éthiques qui se posent pendant la conduite trouve certainement une réponse différente lorsqu'une machine conduit. Peut-elle prendre les mêmes risques pour la vie et la santé des êtres humains que les conducteurs au quotidien ? Les machines peuvent-elles même tuer et blesser des personnes ou choisir une vitesse qui met les gens en danger ? Nous ne pouvons pas répondre à ces questions ici. Cependant, il est clair qu'elles doivent être discutées et évaluées avant que des réglementations légales ne puissent être promulguées pour les véhicules automobiles ayant des fonctions de conduite autonome ou avant que ces véhicules ne puissent participer de manière expérimentée à la circulation routière.

En Allemagne, une commission d'éthique créée par le ministère fédéral des Transports a élaboré 20 règles éthiques pour l'arrivée dans la circulation des véhicules automatisés et en réseau. Elles concernent également les voitures autonomes.³² Ces règles sont totalement indépendantes de la situation en Allemagne et peuvent servir de ligne directrice pour l'élaboration d'une directive pour le développement de véhicules automobiles ayant des fonctions de conduite autonome dans les autres pays également. « Il semble raisonnable de transférer les scénarios pertinents au catalogue central de scénarios d'une autorité neutre afin de créer des spécifications correspondantes universelles, y compris les éventuels tests d'homologation. »³³ ➔ Le rapport du Comité d'éthique avec ses 20 règles ne fait que 20 pages, est disponible en anglais³⁴ et donne un bref aperçu des normes éthiques selon lesquelles le cadre juridique pour les véhicules automobiles ayant des fonctions de conduite autonome peut également être développé. Le gouvernement français a également reconnu l'importance des questions éthiques et a créé un séminaire aux questions d'éthique et d'acceptabilité liées au véhicule autonome, dont les résultats futurs ouvriront la voie à de nouvelles législations.

Objectif : Une mobilité plus durable, plus sûre et efficace pour tous



Les véhicules automobiles dotés de fonctions de conduite autonome promettent une mobilité durable, sûre et efficace pour tous. La question de savoir si et quand cette promesse sera tenue dépend de divers facteurs.

Avec le soutien du gouvernement français et de l'Union européenne, non seulement de grands groupes automobiles, mais aussi de nombreuses entreprises jusqu'alors inconnues dans le secteur automobile investissent des milliards dans la recherche de véhicules dotés de fonctions de conduite automatisée et autonome et dans le développement d'un environnement numérique pour ces véhicules.

Possibilités pour le transport et marché du travail

Toutes les parties prenantes considèrent que les véhicules automobiles ayant des fonctions de conduite autonome peuvent contribuer à la réalisation des objectifs suivants :

Augmentation de la sécurité de la circulation³⁵

Plus de 90 pour cent de tous les accidents mortels de la route sont dus à des erreurs commises par les usagers de la route.³⁶ Seulement environ un pour cent des accidents sont dus à des défaillances techniques.³⁷ Les êtres humains commettent des erreurs. Les machines ont le potentiel d'améliorer la sécurité routière. Les véhicules en réseau ayant des fonctions de conduite automatisée ou autonome peuvent absorber et traiter beaucoup plus d'informations en peu de temps qu'un conducteur humain, ne se fatiguent pas et ne sont jamais ivres.



Ils ne négligeront pas un feu de circulation numérique et, grâce à des capteurs situés sur le côté de la rue, ils peuvent même regarder dans les coins et détecter de manière sûre les situations de circulation complexes aux intersections.

Une grande partie des sources d'erreurs qui sont aujourd'hui à l'origine des accidents de la circulation peuvent ainsi être exclues. Toutefois, les systèmes automatiques peuvent et doivent également être conçus de telle sorte que les erreurs potentielles n'entraînent pas de blessures ou de maladies mortelles et que de nouvelles sources d'erreurs soient évitées. En France, les véhicules automobiles ayant des fonctions autonomes de conduite ne seront homologués que s'ils évitent autant que techniquement possible les dommages corporels et les réduisent sensiblement par rapport à la conduite humaine. La règle de base est : « Prééminence des enjeux de sécurité routière et de cybersécurité »³⁹ : « il s'agit de s'assurer que les systèmes développés sont conformes aux attentes de sécurité individuelles et sociétales, tant sur la sécurité routière que sur la cyber-sécurité ou encore la protection des données individuelles. La construction de systèmes de validation robustes est une priorité ».³⁹ En d'autres termes : « Les systèmes de circulation semi-automatisés et entièrement automatisés servent d'abord à améliorer la sécurité de toutes les personnes impliquées dans la circulation routière. (...) La protection des personnes a la priorité sur toute autre considération utilitaires. L'objectif est de réduire les dommages au point de les éviter totalement. »⁴⁰

Augmentation de la fluidité et de l'efficacité du trafic

L'erreur humaine et le manque d'information sont à l'origine d'une grande partie des perturbations de la circulation. Les systèmes automatisés et en réseau peuvent recueillir une quantité presque illimitée d'informations pour optimiser la conduite et le guidage routier, dans la mesure où ces informations sont disponibles.

La question de savoir si les véhicules automobiles dotés de fonctions de conduite automatisée améliorent ou entravent le flux de circulation dépend dans une large mesure de la profusion des informations géographiques et des informations sur la circulation dont ils disposent, ainsi que du développement des capteurs présents dans les véhicules et sur le bord des routes, et des systèmes d'environnement numériques. Une grande partie des informations nécessaires sont déjà disponibles sur Internet. Par exemple, les services météorologiques peuvent déjà fournir des données météorologiques valides pour la conduite en réseau. Cependant, cette validation représente un grand défi pour les données cartographiques et de circulation jusqu'aux feux de signalisation numériques. La technologie des capteurs placés en bord de route destinés à l'enregistrement des événements liés à la circulation et de la situation de stationnement (enregistrement des données, par exemple par radar et lidar) n'est pas gratuite non plus, mais promet une augmentation considérable de l'efficacité du trafic, même pour ce qui est de la recherche conventionnelle de stationnement.

Dans les projets de recherche, les villes et les municipalités, par exemple, reconnaissent de nouvelles tâches et possibilités de conception. Sur des cartes dynamiques régionales et des plates-formes numériques supplémentaires pour leur territoire, elles pourront par exemple enrichir les données cartographiques valides avec des informations sur les règles de circulation, les chantiers et des données dynamiques de circulation et les mettre à disposition pour les fonctions de conduite automatisée, autonome et en réseau. Parallèlement, elles pourraient recouvrer la souveraineté sur le contrôle et le guidage de la circulation, qu'elles ont à l'heure actuelle en partie perdu au profit du Big Data. C'est une vision optimiste de l'avenir, mais qui peut être réalisée avec un peu de volonté politique.



Créer de nouvelles opportunités économiques et de nouveaux emplois grâce à la modernisation et à l'innovation technologiques⁴¹

Le marché mondial des véhicules autonomes devrait atteindre 54,23 milliards de dollars US en 2019 et 556,67 milliards de dollars US d'ici à 2026, soit un taux de croissance moyen de 39,47 %.⁴²

Les attentes économiques du gouvernement français, par exemple, en ce qui concerne la stimulation économique apportée par la conduite automatisée et en réseau, sont élevées.⁴³ Le gouvernement allemand (« Rester le fournisseur principal » et « Devenir le marché leader »)⁴⁴ et le gouvernement américain (« Avec le développement des véhicules automatiques, la créativité et l'innovation américaine a le potentiel de redéfinir la mobilité »)⁴⁵ sont encore moins prudents dans leurs attentes quant au potentiel que cela représente pour leur économie. Il faut espérer que les attentes économiques positives associées à la conduite automatisée et en réseau seront satisfaites pour tous les pays de l'Union européenne.

D'autre part, la perte d'emplois (par exemple, les chauffeurs de bus dans les transports publics) n'est pas à craindre dans les années à venir. Les « transferts de qualifications et d'emploi »⁴⁶ attendus par le gouvernement français se feront probablement encore un peu désirer. Les fonctions de conduite autonome ne pourront que progressivement faire face à des situations de circulation de plus en plus nombreuses. Dans le trafic urbain dense, sur les routes nationales ou départementales et pour les grands bus sur les axes principaux, des chauffeurs sont encore nécessaires. Toutefois, l'utilisation de véhicules autonomes pourrait entraîner une augmentation du nombre de passagers dans les transports publics. Des minibus autonomes peuvent amener davantage de passagers aux arrêts de bus centraux et rendre ainsi les transports publics plus attrayants. Sur les routes principales, il faudrait ainsi probablement plus de conducteurs, et non moins.

« La voiture autonome offre également la possibilité de créer davantage d'emplois dans la recherche, le développement et l'entretien. »

Matthias Hartwig

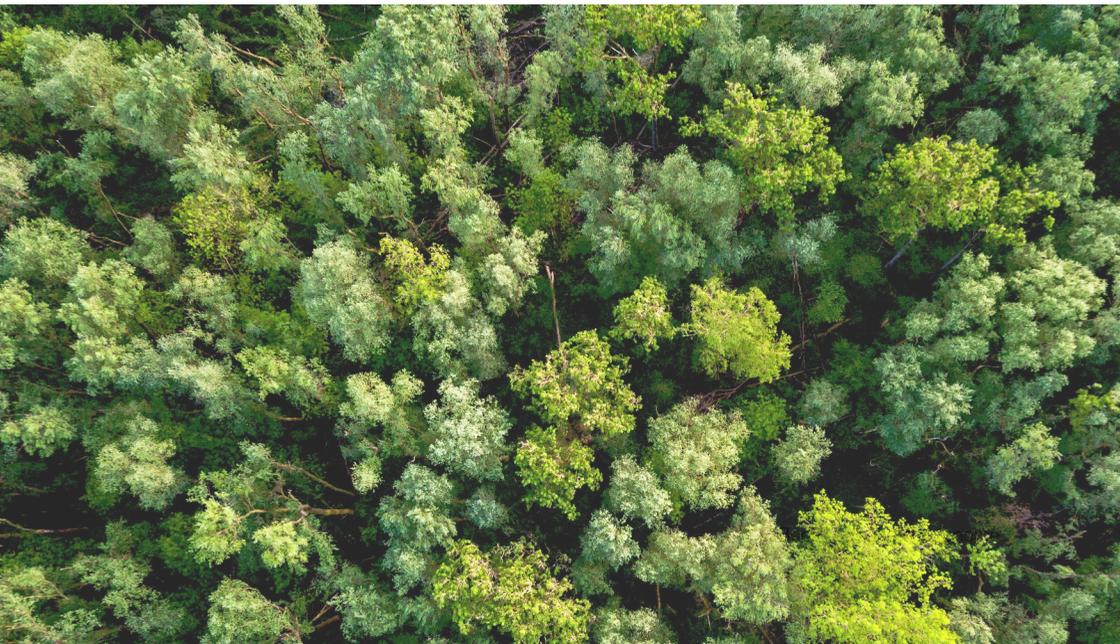
Les centres de contrôle auront également besoin de personnel capable de surveiller les véhicules et, dans des situations exceptionnelles, d'envoyer rapidement un technicien sur les lieux. Ils seraient comparables aux centres d'appels des fournisseurs de services pour ascenseurs pour personnes.

Nouveaux potentiels d'utilisation du véhicule lui-même

Un véhicule automobile doté de fonctions de conduite autonome a le potentiel de permettre aux utilisateurs d'utiliser le trajet pour vaquer à d'autres tâches aussi bien privées que professionnelles. Les navetteurs, en particulier, gagnent dans ce cas beaucoup de temps, autrefois consacré à la conduite. Les utilisateurs peuvent écrire leurs premiers e-mails sur le chemin du bureau et regarder un film sur le chemin du retour.

Les possibilités en terme de durabilité

En outre, nombreux sont ceux qui espèrent que les véhicules automobiles dotés de fonctions de conduite autonome tiendront également les trois promesses suivantes. La réalisation de ces objectifs dépend toutefois dans une large mesure de l'orientation que prendront les décideurs politiques et économiques et d'une réglementation précoce et efficace émise par le législateur.



Trafic zéro émission

Selon l'accord de Paris sur la protection du climat (2015), l'augmentation de la température moyenne mondiale doit être limitée à bien moins de 2 °C par rapport au niveau préindustriel. Certains efforts sont faits pour limiter l'augmentation de température à 1,5 °C par rapport au niveau préindustriel. En effet, les émissions de gaz à effet de serre (méthane, dioxyde de carbone, protoxyde d'azote et autres) en particulier doivent être considérablement réduites.⁴⁷ En intégrant les mesures de protection du climat dans les politiques, stratégies et plans nationaux,⁴⁸ les risques et les conséquences du changement climatique devraient être considérablement réduits.

Dans de nombreux secteurs (production de chaleur, agriculture), il est plus difficile de réduire les émissions de gaz à effet de serre que dans le secteur des transports. La plupart des experts s'accordent donc à dire que les émissions directes dues aux transports doivent être nulles à long terme afin d'atteindre les objectifs de l'accord sur la protection du climat (trafic zéro émission).

En outre, les transports sont en partie responsables de nombreux problèmes environnementaux et sanitaires qui génèrent des particules, des composés azotés et d'autres émissions. C'est aussi pour cette raison que le trafic sans émissions est un objectif politique important.

L'augmentation de la fluidité et de l'efficacité du trafic grâce à l'utilisation de véhicules autonomes peut déjà contribuer proportionnellement à la réduction des émissions, mais n'assurera pas encore en soi un trafic

zéro émission. Cela suppose également que tous les véhicules autonomes fonctionnent simultanément et exclusivement avec de l'électricité provenant de sources renouvelables (véhicules électriques avec batterie rechargeable ou pile à combustible). La fonction de conduite autonome et l'entraînement électrique de la batterie font donc la paire, car le véhicule sait quand il doit être rechargé et peut se connecter automatiquement à un point de charge. C'est pourquoi les véhicules électriques sont actuellement utilisés dans presque tous les projets de conduite autonome nationaux et européens en cours. L'automatisation, la numérisation et l'électrification des transports sont pensées ensemble par des experts.

Accès pour tous à des systèmes de transport sûrs, abordables, accessibles et durables⁴⁹ et transports non discriminatoires⁵⁰

Si la politique et l'économie tracent la voie, des navettes autonomes et des véhicules comparables avec une tâche de conduite spécifique limitée et une zone d'exploitation locale limitée seront en mesure de fournir dans un avenir proche des transports publics locaux qui permettront à tous d'effectuer des trajets porte à porte confortablement et à tout moment. S'il est bien conçu, un tel système de transport nécessiterait beaucoup moins de véhicules et à peine quelques places de stationnement (seulement des arrêts). Cela promet de grandes possibilités en matière d'urbanisme et d'aménagement du territoire.

Les espaces actuellement utilisés par la circulation pourraient trouver un nouvel usage (parcs, aires de jeux, cafés, etc.). Une navette autonome peut également être programmée pour traiter toutes les personnes sur un pied d'égalité, quels que soient leur sexe, leur âge, leur appartenance ethnique, leur orientation sexuelle et leurs caractéristiques ou limitations physiques. En prenant en compte les recherches des sciences sociales, le sentiment de sécurité des passagers peut également augmenter considérablement. Cela peut être réalisé, par exemple, par une conception appropriée du véhicule, du système, des arrêts et de l'itinéraire. C'est également très important pour un trafic non discriminatoire pour tous.

Dans le système de transport actuel, l'accent est mis sur le transport individuel motorisé. Dans les zones rurales en particulier, toutes les personnes trop jeunes, trop âgées ou trop malades pour conduire leur propre voiture, ou qui ont trop peu d'argent pour le faire, sont souvent exclues de la mobilité ou dépendent d'un conducteur titulaire d'un permis de conduire. Les véhicules automobiles dotés de fonctions de conduite autonome peuvent rompre cette dépendance en rendant les nouvelles formes des transports en commun conventionnels réalisables et abordables pour toutes les municipalités, et ce de manière étendue.

Plus d'espace pour les personnes, moins d'espace pour la circulation, moins de consommation de ressources

La mobilité pour tous est fondamentalement une bonne chose et promet une meilleure qualité de vie. Cependant, les villes et les villages dont les rues et les places sont utilisées exclusivement pour la conduite et le stationnement offrent une qualité de vie inférieure. Les surfaces scellées par l'asphalte routier endommagent également les sols et favorisent les inondations.⁵¹

Les véhicules automobiles dotés de fonctions de conduite autonome peuvent – en combinaison avec les transports publics existants – permettre une mobilité porte-à-porte confortable, fiable et efficace pour tous et jouer un rôle important dans la logistique de proximité.

« De cette manière, beaucoup de gens trouveront plus facile de se passer de la voiture particulière. »

Matthias Hartwig

Moins de véhicules seront également utilisés pour les livraisons de colis. En outre, un volume de trafic plus faible et une évaluation automatique de l'état du trafic permettront une meilleure gestion du temps et une réduction de la congestion. Dans un système de circulation numérique, les véhicules peuvent également adapter à l'avance leur vitesse à l'état du trafic et trouver des places de stationnement sans chercher. Les fonctions de conduite autonome et la numérisation transforment ainsi de concert le paysage urbain. De plus, moins de véhicules est également synonyme de moins de consommation de ressources autre part.



Les risques de détournement des données et les possibilités d'accès aux données

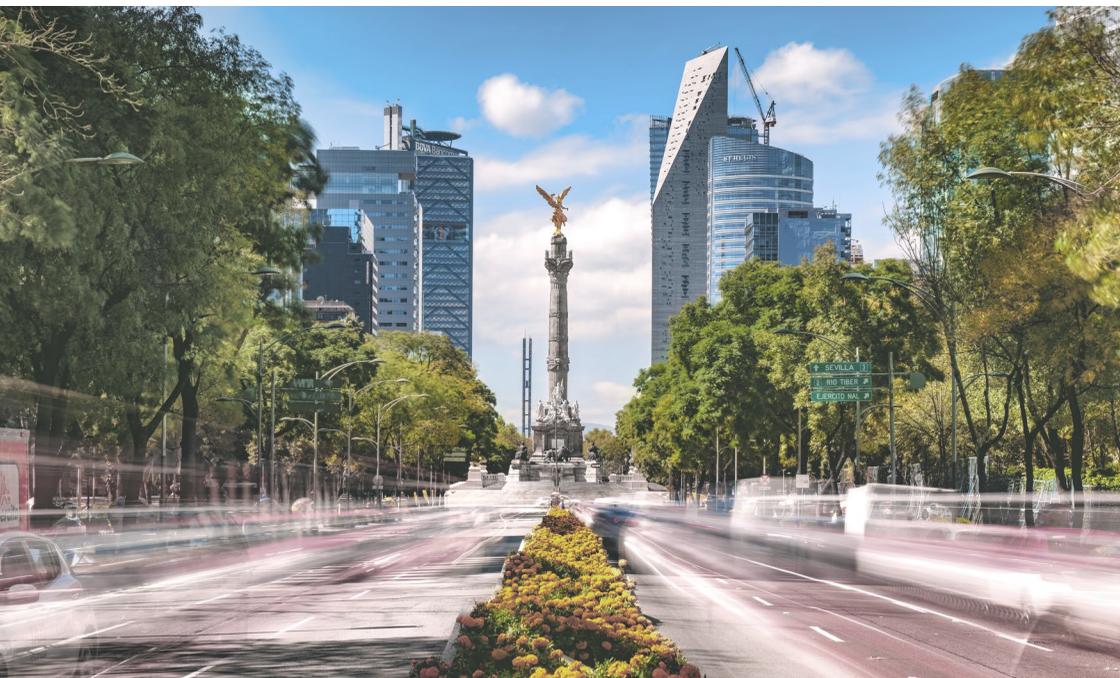
L'automatisation et la mise en réseau du trafic comportent également des risques. Si les véhicules automobiles ayant des fonctions de conduite autonome ne sont pas utilisés correctement, le pire qui puisse arriver serait une augmentation du volume du trafic, une augmentation des émissions et une inégalité des chances en matière de mobilité. En outre, les constructeurs doivent faire tout ce qui est en leur pouvoir pour éviter les attaques de pirates informatiques sur les véhicules et pour garantir la sécurité des données. Les véhicules automobiles dotés de fonctions de conduite autonome peuvent être utilisés à mauvais escient afin de collecter des données et constituent une cible intéressante pour les pirates informatiques. Un regard sur la Chine révèle d'autres risques : la Chine teste actuellement un système d'évaluation octroyant des points sociaux à tous les citoyens chinois. Ce système pourrait également décider de leurs chances d'accéder aux services publics de mobilité. En Europe, les possibilités d'abus de ce type doivent être combattues de manière efficace et globale au moyen de réglementations cohérentes en matière de protection et de sécurité des données. La recherche sur les véhicules automobiles ayant des fonctions de conduite autonome discute également de plus en plus de ces possibilités d'abus et des solutions possibles.

Résumé :

Chapitre suivant ↻

Vers un nouveau monde de la mobilité ?

À quoi peuvent servir les véhicules automobiles dotés de fonctions de conduite autonome ? Service voiturier autonome, navettes de transport de proximité autonomes, stations d’emballage et balayeuses autonomes – les possibilités sont nombreuses.



Il résulte des exigences élevées décrites ci-dessus que les véhicules automobiles dotés de fonctions de conduite autonome ne peuvent actuellement pas faire face à toutes les situations de circulation imaginables sans intervention humaine. Certaines situations continuent d'exiger un contrôle humain. Au moins sur les routes nationales ou départementales à grande vitesse ou dans un trafic urbain dense, les conducteurs seront toujours nécessaires.

D'ici quelques années, cependant, il y aura des fonctions de conduite autonome qui maîtriseront de plus en plus de situations de circulation sans l'intervention du conducteur. Ils pourront par exemple, en étroite collaboration avec un système d'environnement numérique, entrer et sortir d'un parking à étages et se garer sur une place libre (service voiturier). Divers scénarios de déploiement limités localement et fonctionnellement sont également envisageables dans le transport de voyageurs. Au fil des années, les domaines et champs d'application vont s'élargir. Avec des services de transport public collectif autonome à la demande (Robots-Taxis) aux zones d'exploitation limitées, les fournisseurs de services de partage pourraient peut-être couvrir une grande partie de leurs zones d'activité actuelles dans 20 ans déjà avec une BMW Vision iNEXT et compléter ainsi leur offre de covoiturage. Une combinaison pourrait même être envisageable : Celui qui souhaiterait conduire le robot-taxi lui-même scannerait son permis de conduire et conduirait lui-même. Grâce à la multimodalité et à la numérisation de la communication (applications et centres de mobilité), les véhicules dotés de fonctions de conduite autonome peuvent s'intégrer à des transports publics performants à la mobilité porte à porte. Les bus avec chauffeurs continueront à circuler sur les lignes principales sur les routes nationales ou départementales et dans un trafic urbain dense. Les tramways et les trains de banlieue sont également (partiellement) adaptés à l'utilisation de fonctions de conduite autonome.

Perspectives pour le transport individuel

Pendant un certain temps encore, vous ne pourrez pas acheter une voiture capable de faire face à n'importe quelle situation de circulation imaginable, par exemple sur une route de campagne, sans intervention humaine. Toutefois, des voitures particulières seront bientôt disponibles à la vente et disposant de fonctions situationnelles limitées comme le service voiturier autonome ou la conduite hautement automatisée sur l'autoroute. Dans les années à venir, les villes et les municipalités pourraient également équiper les zones (délimitées individuellement) dotées de systèmes d'environnement numériques permettant une conduite autonome pour le transport public à grande échelle. Les voitures particulières équipées en conséquence pourraient alors éventuellement utiliser également ces systèmes payants. Dans des situations de circulation complexes et dangereuses – comme sur les routes nationales ou départementales à grande vitesse ou dans un trafic urbain dense – les conducteurs de véhicules privés ayant des fonctions de conduite autonome devront encore conduire le véhicule pendant un certain temps.

Perspectives pour les véhicules utilitaires et les moyens de transport d'entreprise

De même, l'utilisation de véhicules ayant des fonctions de conduite autonome dans le domaine des véhicules utilitaires et des moyens de transport d'entreprise offre de nombreuses possibilités. Par exemple, on peut imaginer des stations d'emballage ou des balayeuses qui se déplacent de façon autonome et se rendent sur leur lieu d'utilisation la nuit en empruntant des routes vides. De telles applications sont peut-être possibles en quelques années seulement, car elles ne nécessitent pas de vitesses élevées et seraient donc plus faciles à mettre en œuvre.

En outre, une grande variété d'applications opérationnelles pour les véhicules automobiles dotés de fonctions de conduite autonome sont concevables. Dans un proche avenir, les ports utiliseront des grues autonomes, des chariots élévateurs à fourche et des véhicules de transport pour l'ensemble de la manutention, et les véhicules automobiles dotés de fonctions de conduite autonome feront également bientôt partie de la vie quotidienne dans les entrepôts.

Il y a quelques années, les aéroports ont commencé à acquérir de l'expérience avec des véhicules autonomes non seulement dans le transport de passagers, mais aussi dans la gestion des bagages. Les potentiels de sécurité, de durabilité et d'efficacité qu'offrent les fonctions de conduite autonome est important dans ces domaines.



«La pertinence des fonctions de conduite autonome pour la sécurité routière et dans le cadre de leurs opportunités économiques est très élevée.»

Matthias Hartwig

Ils apportent aussi une grande promesse de confort accru et de gains de temps. Reste à savoir si les véhicules ayant des fonctions de conduite autonome réaliseront également leur grand potentiel pour la protection de l'environnement et du climat, s'ils tiendront la promesse d'une mobilité égale avec moins de trafic et s'ils rendront possible une mobilité abordable et non discriminatoire pour tous. Avec un peu de volonté politique, c'est possible. Les véhicules automobiles dotés de fonctions de conduite autonome peuvent alors contribuer significativement à une meilleure mobilité pour tous.

Projets nationaux et internationaux pour les véhicules automobiles dotés de fonctions de conduite autonome

Il existe actuellement dans le monde entier une grande variété de projets de développement et de test de véhicules automobiles dotés de fonctions de conduite autonome. Vous trouverez ci-dessous des exemples de projets nationaux et internationaux. L'avenir nous montrera quels concepts sont adaptés à la circulation et à l'utilisation quotidiennes.

Les projets suivants sont des projets dans lesquels l'IKEM est impliqué. L'accent est mis sur un système autonome de transports publics locaux :

HEAT (« Hamburg Electric Autonomous Transportation ») par HOCHBAHN

➤ Minibus autonomes

HUB CHAIN

➤ Transport à la demande

Interregional Automated Transport (I-AT)

➤ Secteur transport et logistique

Sohjoa Baltic

➤ Minibus électriques à conduite autonome

Exemples pour la France : Vous trouverez une vue d'ensemble des pilotes français pour la conduite automatisée et en réseau à l'adresse suivante ➤ <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr>

- ¹ Exemple : Vous pouvez obtenir une vue d'ensemble des problèmes qui prévalent actuellement dans les essais des véhicules autonomes en France du point de vue du gouvernement français dans : République Française: Développement du véhicule automatisé – Orientations stratégiques pour l'action publique, Mai 2018, p. 48, <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/90p%20VDEF.pdf> (consultation : 25.11.2019).
- ² INRIA: Véhicules autonomes et connectés, p. 8, <https://www.inria.fr/institut/strategie/vehicules-autonomes-et-connectes> (consultation : 25.11.2019).
- ³ Norme SAE J3016: <http://articles.sae.org/15021/> (consultation : 15.10.2019).
- ⁴ Avec une explication en français : République Française: Développement du véhicule automatisé – Orientations stratégiques pour l'action publique, Mai 2018, p. 16 et 17, <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/90p%20VDEF.pdf> (consultation : 25.11.2019).
- ⁵ Ministerio del Interior (DGT): Instrucción 15/V-113, p. 6, <http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/normativa-legislacion/otras-normas/modificaciones/15.V-113-Vehiculos-Conduccion-automatizada.pdf> (consultation : 25.11.2019).
- ⁶ République Française : Développement du véhicule automatisé – Orientations stratégiques pour l'action publique, Mai 2018, p. 18, <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/90p%20VDEF.pdf> (consultation : 25.11.2019).
- ⁷ Ministère fédéral des transports et de l'infrastructure numérique : Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren [Traduction] « Stratégie de conduite automatisée et en réseau », sept. 2015, p. 10-12.
- ⁸ En Italie, par exemple : Art. 10 Decreto 28 febbraio 2018, MIT, <http://www.infoparlamento.it/Pdf/ShowPdf/774> (consultation : 25.11.2019).
- ⁹ En Espagne, par exemple : Ministerio del Interior (DGT): Instrucción 15/V-113, p. 3, <http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/normativa-legislacion/otras-normas/modificaciones/15.V-113-Vehiculos-Conduccion-automatizada.pdf> (consultation : 25.11.2019).
- ¹⁰ Ainsi, par exemple, proposé en Allemagne par : le Conseil scientifique consultatif auprès du ministre fédéral des Transports et de l'Infrastructure numérique : Automatisiertes Fahren im Straßenverkehr [Traduction] « Conduite automatisée dans la circulation routière », April 2017, S. 15.
- ¹¹ Le gouvernement français, par exemple, le souligne également : République Française: Développement du véhicule automatisé – Orientations stratégiques pour l'action publique, Mai 2018, p. 69-71, <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/90p%20VDEF.pdf> (consultation : 25.11.2019).

- 12 République Française : Développement des véhicules autonomes – Orientations stratégiques pour l'action publique, Mai 2018, p. 4, https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/18029_D%C3%A9veloppement-VA_8p_DEF_Web.pdf (consultation : 25.11.2019).
- 13 Art. 12 Decreto 28 febbraio 2018, MIT, <http://www.infoparlamento.it/Pdf/ShowPdf/774> (consultation : 25.11.2019).
- 14 En Allemagne, par exemple : le Conseil scientifique consultatif auprès du ministre fédéral des Transports et de l'Infrastructure numérique : Automatisiertes Fahren im Straßenverkehr [Traduction] « Conduite automatisée dans la circulation routière », Avril 2017, S. 16.
- 15 Art. 12 Decreto 28 febbraio 2018, MIT, <http://www.infoparlamento.it/Pdf/ShowPdf/774> (consultation : 25.11.2019).
- 16 République Française : Développement des véhicules autonomes – Orientations stratégiques pour l'action publique, Mai 2018, p. 8, https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/18029_D%C3%A9veloppement-VA_8p_DEF_Web.pdf (consultation : 25.11.2019).
- 17 Ministerio del Interior (DGT): Instrucción 15/V-113, p. 1.
- 18 §§ 1a, 1b, 1c, 63a et 63b Straßenverkehrsgesetz (Loi allemande sur la circulation routière).
- 19 § 1b alinéa 1 partie 1 Straßenverkehrsgesetz (Loi allemande sur la circulation routière).
- 20 § 1b alinéa 1 partie 2 et alinéa 2 Straßenverkehrsgesetz (Loi allemande sur la circulation routière).
- 21 § 1a alinéa 4 Straßenverkehrsgesetz (Loi allemande sur la circulation routière).
- 22 § 1b alinéa 2 N° 2 et § 1a alinéa 2 phrase 1 N° 2 Straßenverkehrsgesetz (Loi allemande sur la circulation routière).
- 23 § 1a alinéa 2 phrase 1 N° 4 Straßenverkehrsgesetz (Loi allemande sur la circulation routière).
- 24 § 1a alinéa 2 phrase 1 N° 5 Straßenverkehrsgesetz (Loi allemande sur la circulation routière).
- 25 § 1a alinéa 2 phrase 1 N° 2 Straßenverkehrsgesetz (Loi allemande sur la circulation routière).

- ²⁶ La définition du « Modo Autonomo » au Ministerio del Interior (Ministère de l'Intérieur espagnol) (DGT) va aussi dans ce sens : Instrucción 15/V-113, p. 1, <http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/normativa-legislacion/otras-normas/modificaciones/15.V-113-Vehiculos-Conduccion-automatizada.pdf> (consultation : 25.11.2019).
- ²⁷ Le gouvernement français, par exemple, pense aussi dans ce sens : République Française: Développement des véhicules autonomes – Orientations stratégiques pour l'action publique, Mai 2018, p. 41-45, https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/18029_D%C3%A9veloppement-VA_8p_DEF_Web.pdf (consultation : 25.11.2019).
- ²⁸ République Française : Développement des véhicules autonomes – Orientations stratégiques pour l'action publique, Mai 2018, p. 44, https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/18029_D%C3%A9veloppement-VA_8p_DEF_Web.pdf (consultation : 25.11.2019).
- ²⁹ République Française : Développement des véhicules autonomes – Orientations stratégiques pour l'action publique, Mai 2018, p. 45 et 46, https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/18029_D%C3%A9veloppement-VA_8p_DEF_Web.pdf (consultation : 25.11.2019).
- ³⁰ Observatoire national interministériel de la sécurité routière, Données annuelles en référence au bilan 2018, <https://www.onisr.securite-routiere.interieur.gouv.fr/outils-statistiques/recueil-de-donnees-annuelles> (consultation : 25.11.2019).
- ³¹ <https://www.gouvernement.fr/partage/10852-allocation-a-coubert-sur-le-theme-de-la-securite-routiere> (consultation : 25.11.2019).
- ³² Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren [Traduction] « Comité d'éthique Conduite automatisée et en réseau », rapport de juin 2017, pages 10-13.
- ³³ Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren [Traduction] « Comité d'éthique Conduite automatisée et en réseau », rapport de juin 2017, règle N° 18 phrase 3.
- ³⁴ <https://www.bmvi.de/SharedDocs/EN/publications/report-ethics-commission.html> (consultation : 25.11.2019).
- ³⁵ Objectif de durabilité de l'ONU 3.6 : <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg3> (consultation : 23.05.2019), expressément en tant qu'objectif pour la conduite automatisée et en réseau : Ministère fédéral des Transports et de l'Infrastructure numérique : Stratégie de conduite automatisée et en réseau, sept. 2015, p. 9f.

- ³⁶ Exemple : INRIA : Véhicules autonomes et connectés, p. 8, <https://www.inria.fr/institut/strategie/vehicules-autonomes-et-connectes> (consultation : 25.11.2019).
- ³⁷ Statistisches Bundesamt (Office fédéral allemand de la Statistique) (2015) : accidents de la route 2014. Dans : série spécialisée 8, série 7, Wiesbaden.
- ³⁸ République Française : Développement des véhicules autonomes – Orientations stratégiques pour l’action publique, Mai 2018, p. 8, https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/18029_D%C3%A9veloppement-VA_8p_DEF_Web.pdf (consultation : 25.11.2019).
- ³⁹ République Française : Développement des véhicules autonomes – Orientations stratégiques pour l’action publique, Mai 2018, p. 7, https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/18029_D%C3%A9veloppement-VA_8p_DEF_Web.pdf (consultation : 25.11.2019).
- ⁴⁰ Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren [Traduction] « Comité d’éthique Conduite automatisée et en réseau », rapport de juin 2017, règle N° 1 phrase 2.
- ⁴¹ Objectif de durabilité de l’ONU 8.2 : <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg8> (consultation : 23.05.2019).
- ⁴² Allied Market Research (2018): <https://www.alliedmarketresearch.com/autonomous-vehicle-market> (consultation : 15.10.2019).
- ⁴³ République Française : Développement des véhicules autonomes – Orientations stratégiques pour l’action publique, Mai 2018, p. 41-45, https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/18029_D%C3%A9veloppement-VA_8p_DEF_Web.pdf (consultation : 25.11.2019).
- ⁴⁴ Ministère fédéral des transports et de l’infrastructure numérique : Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren [Traduction] « Stratégie de conduite automatisée et en réseau », sept. 2015, p. 10-12.
- ⁴⁵ Ministère américain des Transports : Preparing for the future of transportation – Automated Vehicles 3.0 [Traduction] « Préparer l’avenir des transports – Véhicules automatisés 3.0 », p. ii; <https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/policy-initiatives/automated-vehicles/320711/preparing-future-transportation-automated-vehicle-30.pdf> (consultation : 25.11.2019).

- ⁴⁶ République Française : Développement des véhicules autonomes – Orientations stratégiques pour l'action publique, Mai 2018, p. 41-45, https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/18029_D%C3%A9veloppement-VA_8p_DEF_Web.pdf (consultation : 25.11.2019).
- ⁴⁷ Convention de Paris, Art. 2 alinéa. 1 lit. a: https://unfccc.int/sites/default/files/french_paris_agreement.pdf (consultation : 25.11.2019).
- ⁴⁸ Objectif de durabilité de l'ONU 13.2 : <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg13> (consultation : 23.05.2019).
- ⁴⁹ Objectifs de durabilité de l'ONU 11.2 et 11.3 : <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg11> (consultation : 23.05.2019).
- ⁵⁰ Objectifs de durabilité de l'ONU 5.1 et 10.2.
- ⁵¹ Moins d'imperméabilisation des sols est un indicateur de durabilité propre de l'ONU 11.3.1.

Répertoire des images

au début ↻

Cache	© Steven Han / Gettyimages
Page 5	© J2R / Gettyimages
Page 7	© BMW Group
Page 9	© 7077' / Eyeem
Page 11	© Liao Xie / Gettyimages
Page 16	© BMW Group
Page 25	© Danny Hu / Gettyimages
Page 27	© Fabian Plock / Gettyimages
Page 27	© Bim / Gettyimages
Page 28	© Yevgeniy Babichenmo / Gettyimages
Page 32	© Adinda Fika / Unsplash
Page 34	© Tomasz Zajda / Gettyimages
Page 37	© Bill Bonfield / Gettyimages
Page 40	© Mareen Fischinger / Gettyimages
Page 43	© Bim / Gettyimages
Page 45	© Shi Jing / Gettyimages
Page 47	© Michele Palazzo / Gettyimages
Page 50	© Yulia-Images / EyeEm
Page 55	© Clu / Gettyimages
Page 56	© Ferrantraite / Gettyimages
Page 60	© Prasit photo / Gettyimages



Mentions légales

Bayrische Motoren Werke AG

Petuelring 130

80788 Munich

Téléphone : 0049 089 382 0

Contact : [➔ bmw.com/contact](https://www.bmw.com/contact)