

L'automatisation des véhicules Annexes cahier N°1

INSPECTION GENERALE
DE L'ADMINISTRATION
N° 16-040R



CONSEIL GENERAL
DE L'ENVIRONNEMENT
ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE
010629-01





INSPECTION GENERALE
DE L'ADMINISTRATION

N° 16-040R

CONSEIL GENERAL
DE L'ENVIRONNEMENT
ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE
N° 010629-01

L'automatisation des véhicules

Annexes cahier N°1

Etabli par

Jean-François ROCCHI
Inspecteur général
de l'administration

Hervé de TREGLODE
Ingénieur général des mines

Bernard FLURY-HERARD
Ingénieur général des ponts,
des eaux et des forêts

Philippe BODINO
Chargé de mission à l'inspection
générale de l'administration

Frédéric RICARD
Ingénieur en chef des ponts,
des eaux et des forêts

- Février 2017 -

SOMMAIRE

Annexe 4 : Les systèmes équipant les véhicules.....	7
Annexe n° 5: Les capteurs et l'intelligence artificielle des véhicules autonomes	9
Annexe n° 6 : Les investissements des entreprises sur l'automatisation des véhicules	21
Annexe 7 : L'état du droit relatif au véhicule autonome dans les pays étrangers	37
Annexe 8 : Véhicules automatisés et sécurité routière	45

Annexe 4 : Les systèmes équipant les véhicules

Tous les véhicules vendus aujourd'hui dans le monde renferment des équipements comportant une part considérable d'électronique.

On distingue trois catégories de systèmes relatifs à la marche du véhicule : les systèmes de sécurité, les aides à la conduite et les ADAS (Advanced Driver Assistance System).

Les systèmes de sécurité

Leurs caractéristiques sont de ne pas nécessiter d'interaction avec le conducteur, de viser la seule sécurité du véhicule (donc, pas le confort). Ils peuvent ne pas comporter de part d'électronique et être purement mécaniques, mais c'est de moins en moins le cas. Ils sont normalisés à l'ISO et font l'objet d'obligations réglementaires au niveau UE et CEE-ONU WP29. Plusieurs systèmes de sécurité sont ainsi désormais obligatoires, comme le *système anti-blocage des roues (Antiblockiersystem ou ABS)*, l'ESP¹ (*Electronic Stability Program*), qui prémunit contre les tonneaux d'un véhicule ou TPMS (*Tire Pressure Measurement System*), système de mesure de pression des pneus.

Les aides à la conduite

Celles-ci interagissent avec le conducteur avec un niveau d'intelligence informatique limité. Elles visent le confort de conduite et ne font en général pas l'objet de normalisation ou d'obligation réglementaire, leur réalisation et implémentation étant au libre choix des constructeurs. Il s'agit des régulateurs de vitesse classiques (non adaptatifs), des boîtes robotisées, des essuies glaces automatiques, des radars ou caméras de recul, des détecteurs de présence dans l'angle mort, des indications de changement de rapport de vitesse, etc.

Les ADAS

Leurs caractéristiques sont qu'ils comportent une intelligence informatique poussée, font largement appel à des capteurs sophistiqués, tels que radars et Lidars (voir annexe 4), et interagissent avec le conducteur. Leur finalité est mixte, visant à la fois la sécurité et le confort de conduite. Ils sont en cours de normalisation à l'ISO et au CEN, ainsi qu'au WP29. Il s'agit des régulateurs de vitesse adaptatifs², des freinages automatiques d'urgence, des dispositifs de maintien dans la file ou direction automatique etc.

Ces sont les ADAS, pour améliorer la sécurité et le confort de conduite, qui sont l'objet des plus gros investissements, portant à la fois sur les capteurs et l'intelligence informatique du système. On en attend d'abord des améliorations en matière de sécurité (voir paragraphe « *L'impact sur la sécurité* » ci-dessous), même si beaucoup d'utilisateurs y voient plutôt un meilleur confort de conduite.

Les ADAS ne sont pas suffisants, seuls, pour constituer un véhicule autonome, lequel ne peut se résumer à une addition d'ADAS, comme expliqué ci-après au paragraphe « *Les différents types de véhicules automatisés* ». Les ADAS permettent, s'ils sont utilisés seuls, des véhicules partiellement automatisés³, mais un véritable véhicule autonome demandera une intelligence supérieure plus globale, que seul le « *deep learning* » peut apporter (voir annexe 5).

¹ Ou ESC Electronic Stability Control.

² Qui ralentissent si le véhicule précédent ralentit.

³ D'où l'expression « délégation partielle de conduite ».

Tableau 1 : Titre du tableau

Type d'aide	Objectif	Intelligence informatique	Interaction conducteur
Systèmes de sécurité	Sécurité	Modérée, voire absente	Pas d'interaction, sauf déconnexion du dispositif
Aides à la conduite	Confort de conduite	Informatique simple	Moyenne
ADAS	Sécurité et confort de conduite	Très poussée	Forte (surveillance du dispositif)

Source : Mission IGA-CGEDD

Ce tableau de l'électronisation des véhicules serait incomplet s'il ne mentionnait pas également les systèmes de communication des véhicules avec leur environnement extérieur : *infotainment*⁴, géolocalisation, appel d'urgence (*eCall* bientôt obligatoire dans les pays de l'Union européenne), connexion automatique du véhicule avec le constructeur, l'équipementier ou le réparateur, boîtier relié à l'assureur, etc⁵. Ainsi que, bientôt, les communications V2I et V2V.

⁴ L'*infotainment*, ou infodivertissement, regroupe les services d'information (stations de radio notamment) et de divertissement (musique, etc.) offerts au conducteur et aux passagers.

⁵ Voir à ce sujet le rapport « *Les véhicules communicants nécessitent-ils de nouvelles réglementations ?* » du CGEDD, 2014.

Annexe n° 5: Les capteurs et l'intelligence artificielle des véhicules autonomes

1 - Les capteurs permettent à un véhicule automatisé de savoir (1) où il est (**capteurs de localisation**), (2) s'il va ou non heurter un obstacle (**capteurs de détection**) et (3) quel est l'obstacle qu'il risque de heurter (**capteurs d'identification**). Les capteurs pour les fonctions 2 et 3 sont : des sonars à ultrasons, des caméras, des lasers, des caméras 3D, des radars et des caméras à infrarouge. Les capteurs sont dits passifs s'ils n'émettent pas ; ils sont dits actifs dans les autres cas. Il existe aussi des capteurs pour s'assurer de la vigilance du conducteur s'il doit être en mesure de reprendre vite la main : ils ne sont pas présentés ici⁶.

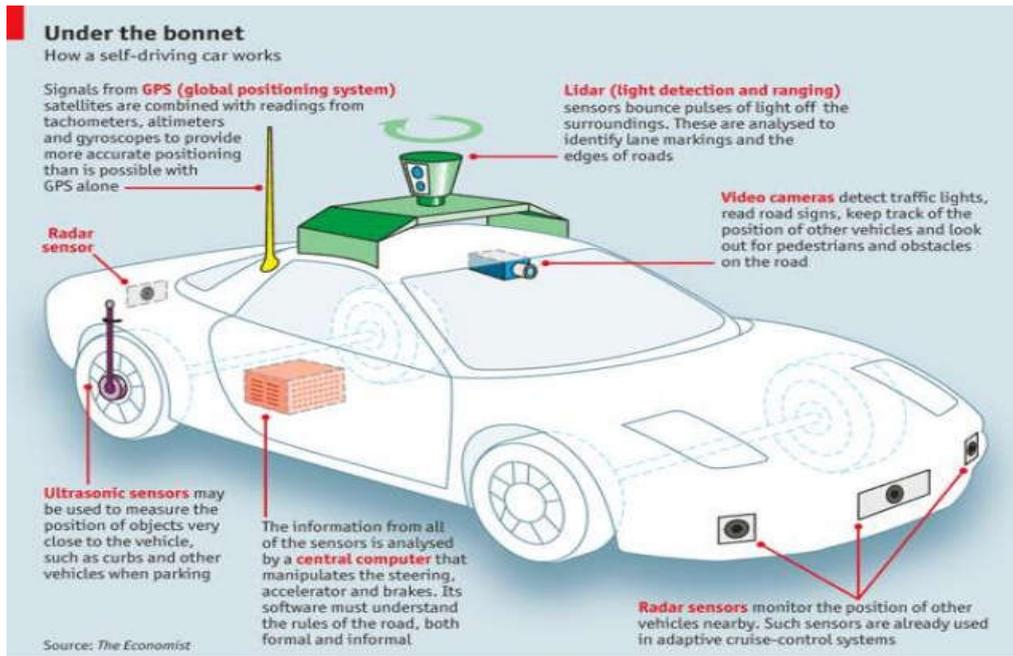


Schéma illustrant la position courante de différents capteurs sur une voiture automatisée
(source : *The Economist*)

Les capteurs de localisation, de détection et d'identification pour l'industrie automobile ont désormais tous **d'excellentes performances**. Leurs prix sont **très bas**, sauf les prix des lidars. Mais **une nouvelle génération de lidars peu chers est sur le point d'être commercialisée**.

⁶ Parmi les nombreuses études à ce sujet, il y a par exemple celle (financée par le ministère allemand de l'éducation et de la recherche) de Tobias Langner, Daniel Seifert, Bennet Fischer, Daniel Goehring, Tinosch Ganjineh et Raúl Rojas, dont les résultats ont été publiés en 2016 sous le titre « *Traffic Awareness Driver Assistance based on Stereovision, Eye-tracking, and Head-Up Display* ».

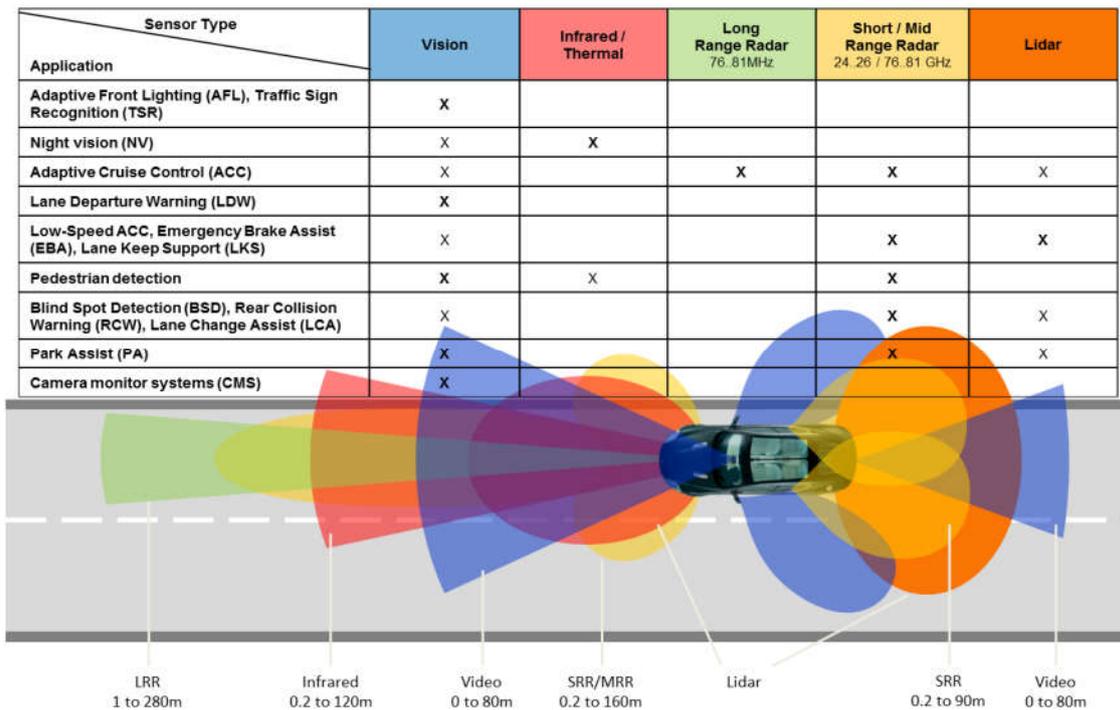


Schéma des capteurs le plus souvent utilisés par l'industrie automobile

(source : Texas Instruments dans "Cars are becoming rolling sensor platforms")

2 - Les **sonars** (« *Sound Navigation and Ranging* ») à ultrasons émettent régulièrement des ondes sonores (au-dessus de 20 000 Hz) qui, une fois réfléchies et retournées, permettent de mesurer la distance entre l'émetteur-récepteur du véhicule et l'objet. C'est un capteur qui est peu perturbé par les conditions atmosphériques. Leur portée est faible, mais ils conviennent bien pour les mesures dans les trois dimensions à faible distance. Ils sont incapables de mesurer les vitesses. Ils sont petits et peu chers. Parmi les fabricants, on trouve Bosch, Valeo, Murata et SensorTech.

3 - Les **caméras**, petites et peu chères, à haute résolution, sont capables de transmettre au véhicule des pixels en très grand nombre, mais les riches images en couleurs doivent pouvoir être interprétées par le système embarqué. Les caméras permettent les *identifications* et les *classifications* des objets ou personnes à l'extérieur. Il est nécessaire toutefois que la luminosité soit suffisante. Les caméras peuvent être gênées par les changements de luminosité ; la nuit, il faut éclairer la scène observée. Elles peuvent être aveuglées par une lumière trop forte, celle du soleil par exemple. Elles peuvent mesurer des vitesses, mais pas aussi bien que les radars ou les lidars. Grâce aux techniques de la *vision par ordinateur* (*computer vision* en anglais), les images et les données des autres capteurs peuvent donner toutes les données utiles au véhicule, en particulier dans l'espace environnant à trois dimensions⁷. Parmi les fabricants, on trouve Mobileye, Delphi, Honeywell et Toshiba.

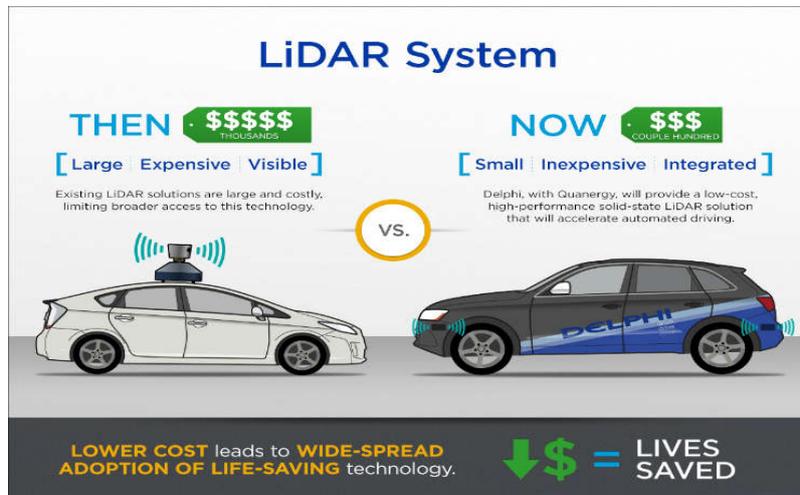
4 - Les **scanners lasers** (LiDAR pour *Light Detection and Ranging*, ou lidars) sont des **capteurs de grande importance**, voire **essentiels** au véhicule autonome selon beaucoup. Ils permettent, par l'émission d'une lumière cohérente dans le spectre (invisible) infrarouge, de mesurer une distance avec la réflexion de la lumière émise. Utilisant le plus souvent des miroirs en rotation, les scanners laser 3D ont un large champ d'observation (par exemple, ceux de la Google Car voient à 360°), et peuvent mesurer une distance entre 2 mètres au minimum (plutôt 30 mètres pour de bons résultats) et 350 mètres au maximum, avec une

⁷ Parmi les nombreuses études sur ce sujet, on peut lire le rapport de 2009 de Vincent Frémont (de l'Université de technologie de Compiègne en France) : « *Odométrie 3D vision/lidar pour les véhicules intelligents* ».

précision de 2,5 centimètres environ. Leur résolution angulaire est inférieure à 1°. Mais ils peuvent être gênés par la pluie, la neige ou le brouillard. La luminosité peut être quelconque. Leur résolution est faible, contrairement aux caméras. Parmi les fabricants, on trouve Continental, LeddarTech, Quadenery et Velodyne.

Aujourd'hui, ce sont des capteurs lourds et extrêmement chers (plusieurs dizaines de milliers d'euros)⁸. Mais plusieurs fabricants ont annoncé le développement prochain de capteurs sans plan tournant, bien plus petits et bien moins chers (moins de 300 euros). Ainsi, la société californienne Velodyne a-t-elle annoncé cette année la vente de lidars au prix de 8 000 dollars américains (au lieu de 70 000-100 000 dollars auparavant), un prix qui pourrait baisser plus tard jusqu'à 1 000 dollars.

La société californienne Quanergy Systems a, de son côté, annoncé la production de lidars (capteurs toutefois qui ne voient pas à 360°) au prix de 250 dollars vers 2018-2019.



Présentation comparative des anciens et nouveaux lidars par Delphi et Quanergy en 2016
(source : Quanergy)

La société Valeo a aussi développé un lidar (SCALA) très peu cher (prix inconnu).



Le lidar SCALA de Valeo (produit avec Ibeo Automotive Systems GmbH) de portée entre 30 cm et 200 m
(source : Valeo)

⁸ « The sensors and chips for [the Google] car [are] astronomically expensive. For instance, LIDAR alone costs around \$75,000. Prices as to the whole setup cost around \$150,000. This is way beyond the price scope of 99 % of drivers. However, the costs in the future, once economies of scale kick in, are expected to drop and be able to be scaled down readily. » (site de Google)

Des recherches sont faites au Massachusetts Institute of Technology (MIT, États-Unis), dans son *Photonic Microsystems Group*, pour fabriquer des lidars à puces électroniques sur des galettes de silicium de 300 millimètres⁹. Chaque lidar pourrait coûter seulement 10 dollars en cas de production à grande échelle.

5 - Les **caméras 3D** permettent d'avoir des images en couleurs en trois dimensions. Mais ces appareils sont onéreux, n'ont pas une grande portée et nécessitent de lourds traitements informatiques.

6 - Les **radars** (*Radio Detection and Ranging*), petits et peu chers, mesurent les distances grâce à la réflexion des ondes émises. Ils peuvent mesurer les vitesses relatives et les distances relatives des objets extérieurs. Leur portée est bonne, mais leur résolution médiocre : entre 0,25 m et 1 m selon la portée. Les radars de 24 GHz (bande K) comme ceux de 77 GHz (bande M) peuvent fonctionner de jour comme de nuit ; des radars de 77 GHz continuent de fonctionner assez bien en toutes conditions atmosphériques, et peuvent avoir une portée importante (de 0,25 m à 250 m). Les radars peuvent fonctionner à très courtes distances, mais moins bien que les sonars. Ils sont utilisés notamment pour prévenir les collisions. Parmi les fabricants, on trouve Delphi, Kyocera, Valeo et Visteon.

7 - Les **caméras à infrarouge** permettent de voir la nuit. On en trouve deux types : pour l'infrarouge lointain (*far infrared* ou FIR en anglais) et pour l'infrarouge proche (*near infrared* ou NIR en anglais).

8 - Les **capteurs de localisation** sont : le GPS (donne la localisation dans l'espace à trois dimensions, ainsi que la vitesse et le cap du véhicule), le GPS différentiel (bien plus précis), l'odométrie des roues (par la mesure de la rotation du volant et de la rotation des roues ou du moteur), les accéléromètres, les gyroscopes (qui mesurent les changements dans les trois angles de rotation possible), les centrales à inertie (qui, en combinant accéléromètres et gyroscopes, permettent de localiser le véhicule), les radars mesurant la vitesse par rapport au sol, les boussoles et les capteurs mécaniques d'inclinaison.

9 - En France, le pôle de compétitivité Mov'eo a engagé en mai 2014 le projet AWARE (*All Weather All Roads Enhanced Vision*) dans le cadre du 17^e appel à projets du Fonds unique interministériel (FUI). « *Le but du projet est de développer un capteur de visibilité dit « tous temps – toutes conditions », notamment en situations dégradées type « nuit » ou « brouillard », afin de percevoir l'environnement d'un véhicule et de détecter les vulnérables, avec l'objectif de proposer une solution abordable économiquement.* » (selon Mov'eo). Le porteur du projet est ULIS SAS. Sont partenaires : CEA Leti, Valeo, Oktal, Ifsttar (COSYS), Nexyad, Safran Sagem, Cerema et IAC.

10 - La conduite semi-autonome ou autonome est fondée sur l'alliance des capteurs, des systèmes d'information (fusion de données multi-capteurs, intelligence artificielle, etc.) et des équipements de la voiture. L'intelligence est aujourd'hui encore souvent assise sur des algorithmes qui apprennent à la voiture à bien se comporter en toutes circonstances : freinage d'urgence si un obstacle surgit, etc. Mais les circonstances sont innombrables et l'apprentissage est extrêmement long. Ces deux limites conduisent tous les constructeurs et équipementiers à accorder une attention toujours plus grande à l'intelligence artificielle basée sur l'*apprentissage profond* (*deep learning* en anglais).

Il est en effet presque impossible d'écrire un programme qui fonctionnera de manière sûre dans toutes les situations. L'efficacité des algorithmes n'est pas suffisante. Souvent, les constructeurs de voitures hautement automatisées abandonnent une partie de la programmation manuelle par l'*« apprentissage machine »* (ou *« apprentissage automatique »*)¹⁰. C'est cet apprentissage qui fonde les systèmes de toutes les grandes entreprises d'Internet. Il leur permet de filtrer les contenus indésirables, d'ordonner des

⁹ Cf. article « *MIT and DARPA Pack Lidar Sensor Onto Single Chip* » de Christopher V. Poulton et Michael R. Watts, publié par IEEE le 4 août 2016.

¹⁰ On peut lire avec intérêt la thèse de doctorat déjà ancienne (Université Paris 6) soutenue par Isabelle Rivals le 20 janvier 1995 : « *Modélisation et commande de processus par réseaux de neurones ; application au pilotage d'un véhicule autonome* » (cf. archives ouvertes HAL).

réponses à une recherche, de présenter des recommandations, de sélectionner des données utiles à chaque internaute. Un tel système entraînable (capable d'apprendre) est comme une boîte noire avec une entrée (pour une image, un son ou un texte) et une sortie qui peut représenter la catégorie de l'objet dans l'image, le mot prononcé ou le sujet dont parle le texte.

Dans sa forme la plus courante, l'« *apprentissage machine* » est *supervisé*. On montre en entrée de la machine une photographie d'un objet, par exemple une voiture, et on lui donne la sortie désirée pour une voiture. Puis on lui montre la photo d'un chat avec la sortie désirée pour un chat. Après chaque exemple, la machine ajuste ses paramètres internes pour rapprocher sa sortie de la sortie désirée. Après avoir montré à la machine des milliers ou des millions d'exemples *étiquetés* avec leur catégorie, la machine devient capable de *classifier* correctement la plupart d'entre eux (95 % environ pour les meilleurs systèmes). Mais il y a plus : elle peut aussi classifier correctement des images de voiture ou de chien qu'elle n'a jamais vues durant son apprentissage ! C'est ce qu'on appelle la *capacité de généralisation*.

Il existe bien des méthodes d'apprentissage. Toutes étaient insatisfaisantes, jusqu'à l'apparition de l'*apprentissage profond* (*deep learning*), inventé sans succès un peu avant 1990, réinventé avec succès en 2012. Ici, le système est constitué d'une série de modules, chacun représentant une étape de traitement. Chaque module peut être entraîné, avec des paramètres ajustables. À chaque exemple soumis à la machine, les paramètres des modules sont ajustés de manière à rapprocher la sortie produite par le système de la sortie désirée. L'adjectif *profond* vient de l'arrangement de ces modules en couches superposées et successives.

Il existe plusieurs architectures informatiques d'*apprentissage profond*. L'une des plus utilisées est le *réseau de neurones à convolution*, dont l'architecture des connexions est inspirée de celle du cortex visuel des mammifères. Elle doit beaucoup au Français Yann Le Cun. Elle est employée en particulier par la société israélienne MobilEye pour l'intelligence artificielle des véhicules autonomes. Il existe d'autres architectures d'*apprentissage profond*, comme les *réseaux récurrents* qui sont bien adaptés au cas de texte.

L'une des difficultés des systèmes actuels d'apprentissage profond est l'impossibilité de bien en comprendre le fonctionnement. Les résultats de reconnaissance sur photographie sont remarquables... mais on ne sait pas vraiment pourquoi !

11 - Les sociétés travaillant à l'amélioration de l'apprentissage profond sont ambitieuses. Parmi les plus puissantes, il y a Google, Apple, Facebook, Baidu, MobilEye, Nvidia, etc.

La société américaine Nvidia propose à ses clients qui préparent des véhicules autonomes ou semi-autonomes (Tesla, etc.) l'ordinateur *Drive PX 2* (avec réseau de neurones *deep learning*¹¹) d'une puissance remarquable¹² : 8 billions (8×10^{12}) de flops¹³.

¹¹ Cf. « *End to End Learning for Self-Driving Cars* » publié le 25 avril 2016 (par Mariusz Bojarski, Davide Del Testa, Daniel Dworakowski, Bernhard Firner, Beat Flepp, Prasad Goyal, Lawrence D. Jackel, Mathew Monfort, Urs Muller, Jiakai Zhang, Xin Zhang, Jake Zhao et Karol Zieba, tous auteurs de Nvidia).

¹² « *La nouvelle configuration monoprocesseur de NVIDIA DRIVE PX 2 – qui ne consomme que 10 Watts et inclut des fonctionnalités de pilotage automatique sur autoroute ou de cartographie HD – permet aux véhicules autonomes d'exploiter des réseaux de neurones profonds pour traiter des données à partir de caméras et de capteurs multiples.*

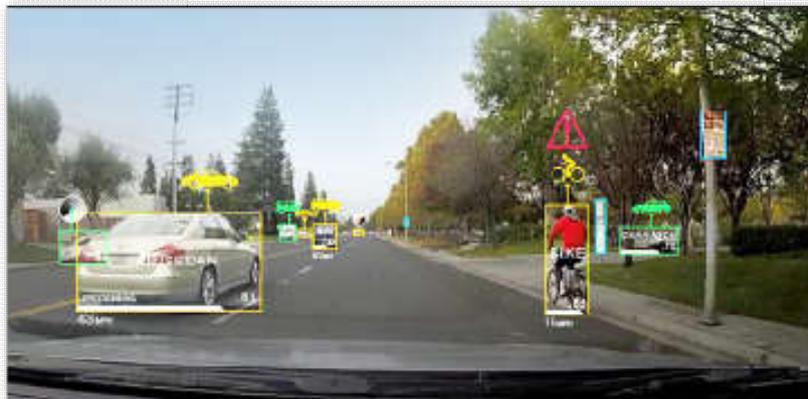
DRIVE PX 2 peut analyser en temps réel l'environnement périphérique du véhicule, vous géolocaliser avec précision sur des cartes HD ou bien planifier des itinéraires en toute sécurité. C'est la plateforme de développement pour véhicules autonomes la plus avancée au monde, qui combine des technologies de Deep Learning, de fusion multi-capteurs et de vision panoramique pour transformer votre expérience de conduite.

L'architecture totalement évolutive de NVIDIA DRIVE PX 2 vous permet d'exploiter une vaste gamme de configurations allant des processeurs mobiles à refroidissement passif 10 Watts jusqu'aux systèmes à double processeur mobile et à double GPU délivrant jusqu'à 24 trillions d'opérations Deep Learning par seconde. Plusieurs plateformes DRIVE PX 2 peuvent être utilisées en parallèle pour déployer des solutions de conduite pour les véhicules entièrement autonomes. » (extrait du site de la société Nvidia)



Drive PX 2 pour véhicules autonomes de la société Nvidia

(source : Nvidia)



Représentation faite par le Drive PX 2 de la société Nvidia

(source : Nvidia)

12 - Laurent Zimmermann, le directeur du groupe de produits Véhicule connecté à Valeo (cf. article « *Quel véhicule autonome pour demain ?* » publié par La Jaune et la Rouge dans son numéro de septembre 2016), a résumé ainsi les difficultés des recherches en cours :

« Tenir la promesse de sécurité accrue

Le principal défi du véhicule autonome est probablement de tenir la promesse de sécurité accrue mise en avant par les constructeurs. Le point le plus délicat touche probablement aux composants logiciels intervenant dans la fusion de données, la reconnaissance de scènes, la planification des trajectoires.

Ces composants sont majoritairement issus de processus de programmation par apprentissage de type deep learning, à l'opposé des logiciels obtenus par programmation impérative, de loin les plus utilisés dans notre industrie automobile.

Or il n'existe aucun retour d'expérience de l'utilisation dans des applications critiques de ce type de logiciels, par ailleurs bannis des secteurs aéronautiques, nucléaires ou ferroviaires.

¹³ Un flops est un « floating-point operation per second » (opération en virgule flottante par seconde en français). On s'en sert pour mesurer la vitesse d'un système informatique. Un billion de flops (trillion of flops en anglais) est appelé aussi téraflops.

Et, plus les algorithmes sont puissants, plus leur fonctionnement est opaque. Les standards et méthodes de conception et de preuve de la sûreté de fonctionnement sont ici à construire.

À cet égard, l'accident qui a coûté la vie au conducteur d'une Tesla model S en Floride en mai 2016 et les vives réactions qu'il a provoquées ont malheureusement mis en lumière les limites de la technologie déployée à ce jour, mais aussi l'insuffisance du cadre réglementaire régissant l'homologation et l'utilisation des véhicules autonomes. ».

La difficile question de la reprise en main du véhicule par le conducteur.

Les six niveaux (du niveau 0 au niveau 5) de la SAE International ont été définis le 16 janvier 2014 (document J3016_201401¹⁴). Du niveau 0 au niveau 2, l'homme contrôle l'environnement de conduite ; à partir du niveau 3, c'est le système d'autonomie. Selon la définition de la SAE International¹⁵ :

- le niveau 2 (« partial automation ») est « the driving mode-specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the dynamic driving task » ;
- le niveau 3 (« conditional automation ») est « the driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the human driver will respond appropriately to a request to intervene ».

L'une des questions les plus importantes et les plus difficiles concernant les véhicules partiellement ou totalement autonomes regarde la désactivation de la conduite autonome et la reprise en main par le conducteur.

- **La National Highway Traffic Safety Administration** (NHTSA, dépendant du *Department of Transportation*) aux États-Unis a publié en août 2015 un rapport de grand intérêt sur l'évaluation des facteurs humains aux niveaux NHTSA 2 et 3 : « *Human Factors Evaluation of Level 2 and Level 3 Automated Driving Concepts* »¹⁶.

Au niveau NHTSA 2 (qui correspond globalement au niveau 3 SAE), la voiture peut être autonome, mais la désactivation peut être soudaine, sans avertissement. Aussi le conducteur doit-il être vigilant à tout instant même s'il est en position *hands off* et *feet off*, c'est-à-dire mains et pieds écartés du volant et des pédales. Au niveau NHTSA 3 qui correspond globalement niveau 4 SAE), le conducteur peut ne pas être constamment vigilant, mais il doit être prêt à reprendre la conduite manuelle en étant prévenu à l'avance.

Dans son étude, la NHTSA a mené trois expériences avec des volontaires : deux pour le niveau NHTSA 2 et une pour le niveau NHTSA 3. Elle a testé deux modalités d'alerte, soit alerte visuelle, soit alerte à la fois visuelle et haptique¹⁷ (action sur le siège du conducteur). Et elle a testé trois niveaux de gravité : alerte de prudence (30 secondes), alerte d'urgence (30 secondes) et alerte phasée (en deux phases d'annonce, alerte de prudence de dix secondes suivi d'alerte d'urgence de vingt secondes). La NHTSA a considéré que le **temps de réaction** du conducteur était le délai entre le début de l'alerte et le moment où il a de nouveau

¹⁴ « *Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems* ».

¹⁵ Dans la définition de la NHTSA aux États-Unis, il n'y a que cinq niveaux (du niveau 0 au niveau 4, cf. document de mai 2013 sous le titre « *Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles* »). Au niveau 2, le véhicule peut être autonome (*hands off* et *feet off*), mais le conducteur doit être prêt à reprendre les commandes à tout moment car le « *system can relinquish control with no advance warning* ». Au niveau 3, quand le véhicule est en mode autonome, il doit assurer toutes les opérations en toute sécurité ; toutefois, le conducteur « *is expected to be available for occasional control, but with sufficiently comfortable transition time* ». Pour le niveau 3, la NHTSA ne précise pas ce qu'est un temps de transition suffisamment confortable...

¹⁶ DOT HS 812 182.

¹⁷ En rapport avec le sens du toucher.

posé les yeux sur la route ; le **temps de reprise en main** est le délai qui s'écoule entre le début de l'alerte et le placement des mains et des pieds sur les instruments de conduite (le placement des mains et pieds menant immédiatement à de premières actions de conduite, sauf rares exceptions).

Des trois expériences qui ont été conduites, la NHTSA a tiré plusieurs conclusions nettes. La modalité des alertes est de grande importance, l'alerte visuelle à elle seule ne suffisant pas. En cas d'alerte d'urgence, les réactions sont rapides : le temps moyen de réaction est de 1,2 seconde, et le temps de reprise en main est compris entre 1,3 seconde et 2,4 secondes. D'autre part, il apparaît que les conducteurs (qui ne sont jamais des experts) font généralement confiance aux automatismes.

Les expériences ont aussi montré l'importance de deux inclinations psychologiques, dont tous les constructeurs devront tenir le plus grand compte. La première est le renversement des priorités (*Primary Task Reversal*). Un conducteur occupé à une tâche autre que la conduite va vouloir parfois achever sa tâche (rédiger et envoyer un message par smartphone singulièrement) avant de revenir à la conduite, et cela même si une alarme se déclenche¹⁸. Il faut aussi tenir le plus grand compte de l'accoutumance aux alertes (*Alert Annoyance Habituation*). Elle amène peu à peu tout conducteur à mésestimer ou même à ignorer un message d'alerte, surtout si le message ne signale pas un danger imminent.

Il est important de rappeler les principales conclusions des nombreuses études sur la conscience¹⁹. N'accède à la conscience qu'une chose à la fois, Tout homme ne peut être conscient de deux choses à la fois, et tout homme ne peut prendre conscience que de trois choses différentes par seconde. Le cerveau est donc une machine très lente par rapport à un ordinateur ; de surcroît, il ne peut projeter dans la conscience qu'une histoire à la fois. Ce rappel démontre qu'un conducteur ne peut en même temps être attentif à conduire une voiture et attentif à écrire un texto. Au mieux, il fera successivement l'un puis l'autre.

- **Une étude antérieure de l'université de Leeds**²⁰ (« *Transition to manual: Driver behaviour when resuming control from a highly automated vehicle* » publiée en novembre 2014²¹) a démontré que même si les conducteurs peuvent reprendre rapidement la main après une désactivation, il faut du temps avant que leur conduite redevienne tout à fait normale. Les auteurs se sont placés dans le cas du niveau NHTSA 3 (sur simulateur).

Les résultats démontrent que la maîtrise de la conduite est la meilleure dans le cas de désactivation à intervalle fixe (fixé ici à six minutes). Le résultat est de bon sens. Dans le cas de désactivation après que l'attention visuelle à la conduite ait cessé d'être bonne, le regard du conducteur continue d'être erratique longtemps après la reprise en main : précisément durant 40 secondes environ. En parallèle, les petits coups de volant ne cessent pas tout de suite, loin s'en faut.

De même, apparaît un pic important d'événements vers 15-20 secondes. Quel est le sens de ce pic pour les désactivations qui surviennent à intervalle variable ? Le premier résultat montre que l'attention visuelle (concentration du regard sur le centre de la voie routière) augmente vite durant 15-20 secondes, puis décroît jusqu'à 40-45 secondes, avant de remonter à nouveau. Le 2^{ème} résultat est relatif au contrôle des mouvements latéraux de la voiture (*Standard Deviation of Lane Position* ou SDLP, mesuré en mètres) : il s'améliore nettement jusqu'à 15-20 secondes, puis se dégrade jusqu'à 35 secondes environ. Le troisième résultat se rapporte à la fréquence des actions correctrices au volant (mesuré en fréquence de coups de

¹⁸ « *The data indicate that some operators will exhibit a complete reversal in priority from driving-related tasks to non-driving-related tasks. It may be that this primary task reversal phenomenon is the greatest risk facing operator involvement in secondary tasks when operating an automated vehicle. When operators shift their priorities to non-driving tasks, their readiness to respond to driving-related prompts and alerts can be delayed by a perceived obligation to complete the non-driving task first.* »

¹⁹ Cf. « *Le code de la conscience* » de Stanislas Dehaene (Odile Jacob, Paris, 2014), etc.

²⁰ Institute of Transport Studies, University of Leeds, United Kingdom.

²¹ Rapport publié dans « *Transportation Research Part F Traffic Psychology and Behaviour* » par Natasha Merat, A. Hamish Jamson, F Frank C.H. Lai, Michael Daly et Oliver M.J. Carsten.

volant par minute) : le nombre des corrections augmente énormément vers 15-20 secondes, puis décroît pour se stabiliser plus ou moins vers 35-40 secondes.

Le rapport de l'université de Leeds conclut à la nécessité de retenir le délai de quarante secondes pour une reprise en main qui soit *confortable* comme le prescrit la définition du niveau NHTSA 3. C'est un temps bien plus long que celui qu'envisagent beaucoup des constructeurs et équipementiers dans le monde. N'est-il pas exagérément long ? On peut plaider que la sécurité est assurée par le conducteur bien avant, même si le regard du conducteur et la course de la voiture ne sont pas encore stables.

« On peut aussi penser que dans toutes les études sur la reprise en mains, les conducteurs savent pourquoi ils sont là et ils savent qu'ils doivent reprendre la main. C'est un biais. La question à se poser est que fait le système ? Sollicite-t-il une nouvelle prise en main ? Ou serait-il en sécurité en freinant et en se rangeant ?²² »

On peut affirmer en tout cas que **le temps laissé à tout conducteur pour reprendre en main un véhicule autonome après le déclenchement d'une alerte d'urgence doit être *au minimum* égal à une valeur (à déterminer) comprise entre 10 et 20 secondes.**

- **Le Laboratoire LESCOT** (ergonomie et sciences cognitives pour les transports) de L'IFSTTAR à Bron près de Lyon (en France) a engagé de nombreuses études. Mais aucune n'a encore porté sur la question des reprises en main. Une étude sur le monitoring des conducteurs de véhicules automatisés est néanmoins en préparation.
- **Le Laboratoire de psychologie des comportements et des mobilités (LPC) de L'IFSTTAR** a publié trois rapports²³ sur les résultats de ses études sur le comportement des véhicules automatisés et de leurs conducteurs.

La **première étude**, sur l'intérêt porté aux véhicules autonomes par les deux tiers des conducteurs français, se résume ainsi : « *C'est une étude en ligne (N= 421, 36 % d'hommes) évaluant les attitudes envers la conduite complètement automatisée, l'acceptabilité a priori et les intentions d'utilisation. 52 % acceptent un véhicule autonome a priori (ce taux monte à 62 % après avoir fait l'essai), ce taux monte à 75 % en cas de condition physique dégradée (« chouette on va pouvoir conduire bourrés ! » a été une des premières réactions, le panel est prêt à y consacrer sept heures d'apprentissage et 1 624 € de surcoûts). L'intérêt est plus porté vers les créneaux, les embouteillages, l'autoroute (environ 60 %) que sur l'utilisation en ville (environ 29 %).* ».

La **deuxième étude** montre que la reprise en main sans entraînement en cas d'urgence pouvait durer en moyenne (pour les 60 conducteurs de l'expérience) de 2 à 8 secondes. En cas d'anticipation (le système prévenant à l'avance de la nécessité de reprendre le contrôle de la voiture), le temps de reprise en main varie en moyenne entre 3,6 et 15,2 secondes pour la première reprise de contrôle, et en moyenne de 2,7 à 13,9 secondes pour la seconde reprise de contrôle. La reprise en main peut donc être très lente, la durée pouvant être nettement au-dessus du temps généralement considéré comme convenable (10 secondes). Il faut apprendre aux conducteurs à se servir convenablement d'un véhicule ndes). Elle se conclut par trois points clefs de leurs expériences sur le simulateur de conduite à Satory : pleinement autonome (afin de réagir convenablement lors des reprises en main).

²² Hélène Tategrain (LESCOT IFSTTAR Bron).

²³ A) « *Intention to use a fully automated car : Attitudes and a priori acceptability* » (publié le 9 mai 2014) de William Payre (Institut Vedecom), Julien Cestac et Patricia Delhomme (IFSTTAR). B) « *Fully Automated Driving : Impact of Trust and Practice on Manual Control Recovery* » (2005) de William Payre (Institut Vedecom), Julien Cestac et Patricia Delhomme (IFSTTAR).

C) « *Conduite complètement automatisée : acceptabilité, confiance et apprentissage de la reprise de contrôle manuel* », thèse de doctorat de William Payre pour l'obtention du grade de docteur en psychologie, présentée à Paris le 3 décembre 2015 (thèse préparée au LPC de L'IFSTTAR).

- Un haut niveau de confiance peut augmenter le temps de reprise en main en cas d'urgence,
- un entraînement approprié peut atténuer les conséquences fâcheuses de l'excès de confiance sur les temps de reprise en main.

Concernant la **troisième étude**, William Payre en fait le résumé suivant : « [...] un des objectifs de cette thèse a été d'étudier dans quelle mesure la conduite complètement automatisée sera acceptée. Bien que l'automobiliste soit conduit par son véhicule, il pourrait être amené à en reprendre le contrôle manuel dans différentes circonstances. En effet, cette manœuvre pourrait être effectuée en situation d'urgence ou de manière anticipée par le conducteur alors qu'il pourrait être engagé dans une autre activité que la conduite. La réalisation de cette reprise de contrôle manuel pourrait être plus ou moins difficile selon la situation et l'expérience d'interactions avec le système complètement automatisé. Nous avons examiné la manière dont cette manœuvre pourrait être apprise par des conducteurs, en testant l'effet de différentes formes d'entraînement sur la performance et la sécurité (temps de réponse et qualité de la reprise de contrôle). Nous avons mesuré l'acceptabilité et la confiance, les attitudes des conducteurs, les intentions d'utilisation du système de conduite complètement automatisée et l'impact de ces variables sur les comportements dans le véhicule.

Les résultats de ces trois études sont discutés. Les méthodes d'entraînement que nous avons développées pourraient servir à former les nouveaux utilisateurs de cette technologie. Le rôle du conducteur dans ce type de véhicule et la nature de la tâche de conduite sont questionnés. Le degré de supervision exercé sur le système deviendrait secondaire par rapport à la réalisation d'une autre tâche non liée à la conduite. Enfin, les limites de nos études et les perspectives pour les recherches à venir dans le domaine sont examinées. ».

S'agissant des recherches sur les conditions de comportements, L'IFSTTAR a reconnu devant la mission CGEDD-IGA le 16 septembre 2016 que la France était devancée par plusieurs autres pays, comme la Grande-Bretagne.

- Le 26 août 2016 a été approuvée pour publication l'article de Hallie Clark et Jing Feng de la North Carolina State University (Department of Psychology) aux États-Unis, appelé « Age differences in the takeover of vehicle control and engagement in non-driving-related activities in simulated driving with conditional automation ». Cette étude était importante, dans la mesure où le véhicule automatisé est souvent présenté comme un avantage pour les conducteurs les plus âgés et les moins alertes. Le résumé est le suivant : « permettre à des jeunes (moyenne d'âge 19,9 ans) et à des conducteurs plus vieux (moyenne d'âge 70,4 ans) de librement décider quand et comment engager des activités non relatives à la conduite pendant la conduite. Nous avons examiné l'effet de l'âge, le niveau d'engagement d'activité et l'intervalle de prise de contrôle sur la performance de contrôle pendant la reprise en main. Constat : les conducteurs ont des activités différentes : les jeunes sur l'électronique, les vieux en conversation. Les vieux profitent plus que les jeunes de l'intervalle plus long en termes de temps de réponse aux notifications. La reprise en main est possible en moins de dix secondes pour les deux populations (plutôt 4,5 secondes pour les jeunes et 7,5 pour les vieux).- En ayant à l'esprit l'étape intermédiaire du niveau 3 (échelle de la NHTSA ou échelle de la SAE International), la NHTSA (dans son document « *Human Factors Evaluation of Level 2 And Level 3 Automated Driving Concepts – Concepts of Operation* » publié en juillet 2014) a mis en avant les quatre dangers et les quatre avantages possibles de l'autonomie partielle :

Tableau 2 : Titre du tableau

DANGER	AVANTAGE
Confusion modale (mode manuel et mode autonome)	Diminution de la pression mentale et de la fatigue mentale du conducteur
Erreur de décision (la responsabilité de la décision finale pouvant être source de confusion entre le système et le conducteur, par exemple pour déclencher ou non un freinage d'urgence)	Diminution des petites erreurs de conduite commises par le conducteur (toujours nombreuses quelle que soit l'attention du conducteur)
Enclenchement excessif du système d'autonomie par le conducteur (le conducteur pouvant ainsi perdre vite sa capacité à bien conduire)	Prévention des distractions du conducteur (qui peuvent mener à de graves accidents)
Désœuvrement du conducteur (avec risque d'endormissement, de lassitude, etc.)	Aide aux jeunes conducteurs novices pour les aider à acquérir vite de l'expérience

Source : Mission IGA-CGEDD

Alors que Tesla présente la technologie Autopilot de son Model S comme étant du niveau 2 (échelle de la NHTSA), qui exige que le conducteur puisse reprendre la main à tout moment et sans avertissement préalable, beaucoup de conducteurs croient vite, sous l'effet de l'habitude, avoir à faire avec une voiture de niveau 3 (échelle de la SAE International ou échelle de la NHTSA) qui ne nécessite pas leur vigilance constante mais qui exige seulement qu'ils interviennent à la demande du système, avec un « *temps de transition suffisamment confortable* » selon l'échelle de la NHTSA. Le danger vient de ce risque de *confusion modale*.

Le danger est le même pour le niveau 3 de la SAE International et pour le niveau 2 de la NHTSA. Le niveau 3 de la SAE International peut se révéler dangereux si les procédures de reprise en mains ne sont pas bonnes. En cas d'extrême urgence, il faut en effet que le conducteur au niveau 3 (SAE International) reprenne le contrôle de sa voiture dans un délai très court. Alors que beaucoup de constructeurs pensent que le bon délai de reprise en main **dans des circonstances normales** est de **dix secondes**, un tel délai est manifestement bien trop long **dans des circonstances exceptionnelles**, par exemple pour éviter des accidents comme celui de la Tesla Model S le 7 mai 2016 (qui circulait à la vitesse de 121 km/h). C'est la raison pour laquelle des constructeurs comme Volvo (projet *Drive Me*) ou Ford (projet *Ford Smart Mobility*), selon qui le niveau 3 restera trop dangereux quoi qu'on fasse, travaillent directement à produire des véhicules de niveau 4 (SAE International), sans passer par le difficile niveau 3 (SAE International).

Il apparaît aussi que les véhicules au **niveau 2 (SAE International)**, pour être sûrs, **ne doivent pas engendrer de confusion dans l'esprit du conducteur**. Il doit savoir à tout instant que son action et sa vigilance sont indispensables à la circulation en sécurité de son véhicule. Pour cela, soit le conducteur est tenu d'effectuer à tout moment des tâches indispensables de conduite (tourner le volant, etc.), soit le système vérifie à tout moment que le conducteur est bien en position de reconduire immédiatement (par exemple en l'obligeant à poser les mains sur le volant, en surveillant la position de la tête et des yeux, en l'astreignant à des tâches secondaires, etc.)²⁴. Ces questions paraissent solubles, quoique les solutions

²⁴ L'industrie ferroviaire a beaucoup travaillé aux « *dispositifs de veille automatique* » pour s'assurer en permanence que le conducteur d'un train est présent et conscient. Si le conducteur n'agit pas comme il convient, les dispositifs déclenchent l'arrêt d'urgence du train. Les dispositifs sont différents d'un pays à l'autre. La SNCF en France recourt à la « *veille automatique à contrôle de maintien d'appui* » (VACMA). Ce dispositif oblige le conducteur à agir de temps en temps sur une commande ou une autre ; en

demandent beaucoup d'attention ; il semble bien que Tesla ne les ait pas bien toutes résolues pour ses voitures électriques avec Autopilot.

La reprise en main de manière sûre par le conducteur en cas de nécessité est le problème le plus délicat auquel est confrontée toute l'industrie automobile. De nombreuses études ont été faites, et sont présentement accomplies à ce sujet dans de nombreux pays. Il apparaît que la bonne reprise en mains exige une anticipation qui doit être suffisamment longue, surtout si le conducteur est occupé à une autre tâche que la conduite. Demander à un conducteur d'être prêt à reprendre la main en urgence à tout moment sans être prévenu est une procédure dangereuse, même si la bonne veille du conducteur est constamment vérifiée par un système de *monitoring* (caméra, etc.). Reprendre la main ce n'est pas que reprendre le volant, c'est comprendre tout le contexte dans lequel évolue le véhicule.

On voit que les problèmes posés par le niveau 3 (SAE International) sont difficiles à dénouer. Au niveau 3 en effet, lorsque la voiture est en mode autonome, le constructeur doit avoir fixé des procédures :

- (1) pour que le conducteur soit à même de reprendre la main aussi vite que la sécurité peut l'exiger mais avec un préavis *suffisamment confortable* (pour reprendre l'expression utilisée en mai 2013 par la NHTSA pour définir son niveau 3),
- (2) pour que la voiture s'immobilise sans danger si le conducteur ne réagit pas comme il convient²⁵.

Ce niveau 3 est un grand défi pour les constructeurs, les équipementiers et les entreprises de l'industrie numérique. Il est si grand d'ailleurs que plusieurs d'entre eux y renoncent en voulant passer directement du niveau 2 au niveau 4. De nombreuses administrations nationales dans le monde commencent à réfléchir sur les règles, probablement internationales, qui devront être fixées pour garantir la circulation des véhicules en mode autonome à ce niveau 3 (SAE International).

Faut-il interdire le niveau 3 (échelle de la SAE International) ? Ce serait extrêmement difficile. Ce serait une décision à laquelle s'opposeraient de très nombreux constructeurs dans le monde. Car beaucoup d'entre eux s'apprêtent (comme les sociétés françaises Renault et PSA Peugeot Citroën) à commercialiser vers 2019-2021 des voitures de niveau 3 (SAE International). S'y opposeraient aussi de très nombreux États. Mais il est certain que l'industrie automobile devra, à ce niveau 3, apporter aux autorités d'homologation une solide démonstration de sécurité pour chaque type de véhicules.

cas d'inaction prolongée, un signal sonore retentit, précédant de quelques secondes le déclenchement de l'arrêt d'urgence. Contrairement aux cas des véhicules routiers, l'arrêt d'urgence est ici très facile à faire en toute sécurité, car la signalisation ferroviaire protège automatiquement le train de tout autre convoi.

²⁵ C'est ce que la NHTSA appelle le « *Terminal State* » (cf. document de la NHTSA « *Human Factors Evaluation of Level 2 And Level 3 Automated Driving Concepts – Concepts of Operation* » publié en juillet 2014) : « *An example of this in an L3 vehicle would be when the automated component(s) detects a need for the operator to assume full control of the vehicle and sends an alert. The operator, for whatever reason, fails to disengage the automated component. While continuing to attempt to get the operator to comply, the system may have to bring the vehicle to a safe state. In both L2 and L3 vehicles, existing prototypes and designs indicate that many methods for handling the terminal state are in development. An example of placing the vehicle in a terminal state is having the automated component move the vehicle to the side of the road and come to a complete stop.* ».

Annexe n° 6 : Les investissements des entreprises sur l'automatisation des véhicules

Les investissements de confort et de sécurité les plus importants portent désormais sur les aides à la conduite, les capteurs, les systèmes informatiques et les connexions.

Selon plusieurs études (Strategy& de PricewaterhouseCoopers en 2015, etc.), le marché de ces équipements à bord va augmenter vite dans les années à venir. Les technologies donnant lieu aux plus gros chiffres d'affaires seraient celles qui concernent, par ordre décroissant d'importance, (1) la sécurité (une cinquantaine de milliards d'euros dans cinq ans), (2) la conduite autonome, (3) « l'infotainment », (4) le confort, (5) la gestion des flottes à distance, (6) la gestion de la mobilité, (7) l'intégration des systèmes embarqués avec les autres systèmes utilisés dans la vie personnelle ou professionnelle du conducteur. Un puissant mouvement industriel et commercial est lancé, que rien ne paraît pouvoir freiner. Les innovations vont métamorphoser le véhicule routier. Concomitante avec le développement de l'*Internet des objets*, la métamorphose se produira vite même si l'autonomie de conduite à niveau élevé (5 pour les voitures) ne voyait pas le jour avant longtemps.

1 - Au moins **trente-quatre entreprises** accomplissent de gros investissements dans l'automatisation des véhicules (voitures surtout)²⁶ :

- Apple (conduit le projet Titan auquel travailleraient 1 000 personnes, mais Apple²⁷ aurait réduit fortement son effectif en décidant, à l'été de 2016, de se concentrer sur les technologies d'autonomie automobile et non plus sur la construction de véhicules autonomes) ;
- Audi (associé avec Alibaba, Baidu et Tencent) ;
- Baidu (développe le système d'autonomie appelé Baidu Brain, est associé à BMW, est autorisé à des expérimentations en Californie depuis la fin d'août 2016, est associé à Nvidia pour développer une plate-forme d'intelligence artificielle pour véhicule autonome) ;
- BMW (est associé à Baidu, Intel et Mobileye, est co-proprétaire de HERE avec Daimler et Audi) ;
- Bosch (est équipementier pour Google, Tesla, etc., est associé à TomTom pour la cartographie) ;
- Chery Automobile Co. (associé avec Baidu sur la voiture *Chery eQ*) ;
- DAF (étudie et expérimente²⁸ des convois de camions semi-autonomes avec Daimler, Iveco, MAN, Scania et Volvo) ;
- Delphi Automotive (a acquis en juillet 2015 la société Ottomatika Inc. (qui produit des logiciels portant sur les données des capteurs), est associé avec le *Land Transport Authority* de Singapour, est associé avec Quanergy Systems pour concevoir de nouveaux lidars, est associé à Mobileye pour produire des véhicules autonomes au niveau 4 ou 5 de l'échelle de la SAE International dès 2019²⁹) ;

²⁶ Cf. CB Insights (article du 11 août 2016 intitulé « 33 Corporations Working On Autonomous Vehicles »), etc.

²⁷ Selon un article publié le 9 septembre 2016 par *The New York Times*.

²⁸ Expérimentation notamment vers Amsterdam (Pays-Bas) en avril 2016.

²⁹ Cf. communiqué de presse de Delphi et Mobileye publié le 24 août 2016.

- Ford³⁰ ;
- General Motors (est propriétaire désormais de Sidecar et de Cruise Automation, est investisseur dans Lyft, développe son système d'autonomie appelé Super Cruise, a investi dans la société d'autopartage Yi Wei Xing Technology) ;
- Google X (a conduit de très nombreuses expérimentations en Californie, dans l'État de Washington et en Arizona, est associé à Fiat Chrysler Automobiles) ;
- Honda (mène des expérimentations en Californie) ;
- Hyundai ;
- IVECO ;
- Jaguar Land Rover (projette de déployer une flotte de cent véhicules pour des expérimentations en Grande-Bretagne) ;
- Kamaz (constructeur de camions en Russie, s'est associé en août 2016 à Yandex et l'Institut russe NAMI pour développer des navettes de transport public) ;
- *Leshi Internet Information & Technology* connue comme LeEco (entreprise chinoise de production de biens électroniques et de distribution de vidéos, dirigée par Jia Yueting, ayant annoncé en août 2016 vouloir construire une très grande usine de fabrication de voitures électriques LeSee, avec centre de recherches sur l'autonomie de conduite, à Huzhou dans la province du Zhejiang) ;
- MAN ;
- Mercedes-Benz, et plus largement, le groupe Daimler, (développe la très automatisée Class E) ;
- Microsoft (est associé à Volvo, Toyota et HERE) ;
- Mobileye (occupe une position centrale dans les capteurs et l'intelligence artificielle des voitures) ;
- Nvidia (célèbre fabricant de cartes graphiques qui développe Nvidia Drive PX2 avec *deep learning*, travaille à son projet de véhicule autonome BB8 équipé du système DaveNet, vend depuis octobre 2016 le système d'exploitation pour véhicule autonome appelé DriveWorks³¹ Alpha 1) ;
- Otto (rachetée par Uber en 2016, a développé un système d'autonomie pour camion, a procédé avec Budweiser en octobre 2016 à des essais de camions semi-autonomes au niveau 4 de Fort Collins à Colorado Spring aux États-Unis) ;

³⁰ Le 16 août 2016, la société Ford a annoncé son intention de commercialiser en grand nombre dès 2021 des véhicules autonomes de niveau 4 (échelle de la SAE International), dans le cadre de son projet « *Ford Smart Mobility* ». Ce serait des voitures commerciales (petites voitures à hayon, berlines ou SUV) sans volant ni pédales pour du « *ride-sharing service* » ou « *ride-hailing service* » (c'est-à-dire voitures en autopartage ou taxis-robots) ; elles circuleraient sur n'importe quel type de route, mais dans une zone bien délimitée et aménagée. Dans ce but, Ford est en train de doubler ses équipes de la Silicon Valley et du campus de Palo Alto en Californie, et de tripler sa flotte de véhicules en expérimentation en Californie, en Arizona et dans le Michigan. Ford a investi dans la société de la Silicon Valley appelée Velodyne pour produire des capteurs LiDAR moins onéreux, ainsi que dans l'entreprise californienne Civil Maps experte en cartographie 3D. Ford a acquis l'entreprise israélienne SAIPS, experte en intelligence artificielle (*deep learning*). Ford a encore passé un ambitieux accord avec la société Nirenberg Neuroscience fondée par la neuroscientifique Sheila Nirenberg. Ford a acquis la société Chariot (services de transport) de Californie en septembre 2016.

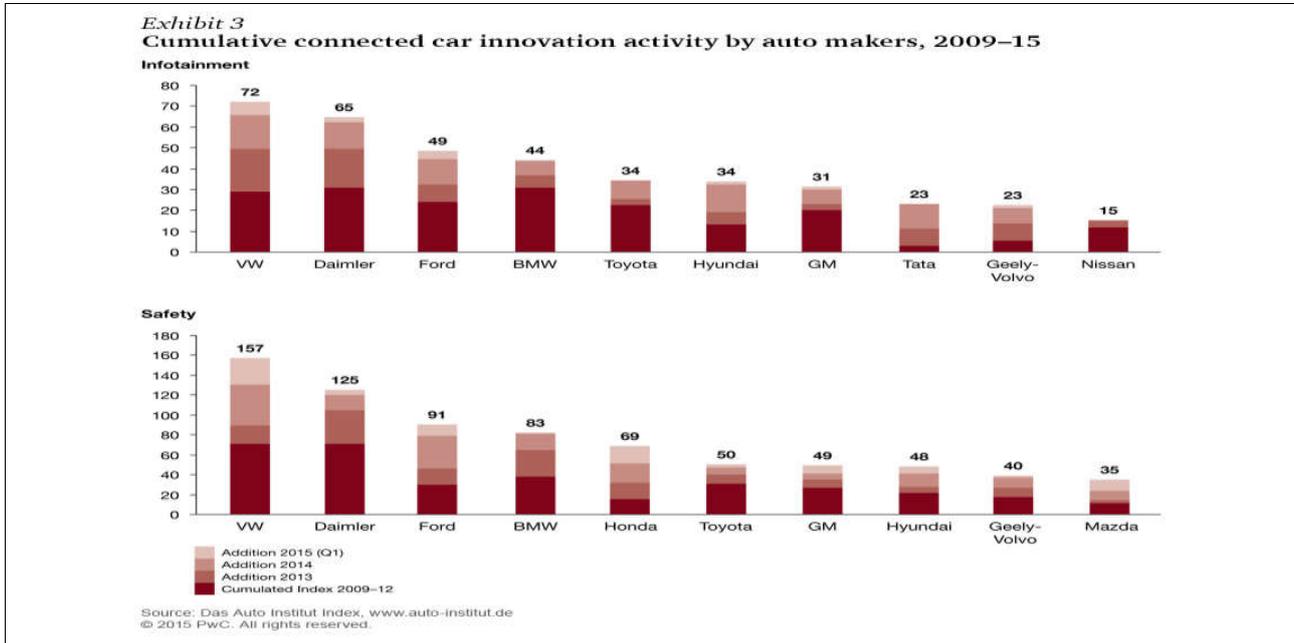
³¹ Le DriveWorks de la société Nvidia est un « *Software Development Kit for Autonomous Driving* » (cf. site de Nvidia). « *Driveworks is an open platform for OEMs and car companies to pick and choose the bits they want/need for their solutions.* » (selon le CEO de Nvidia le 28 septembre 2016).

- PSA Peugeot Citroën (a annoncé la commercialisation de voitures *hands on* de niveau 2 vers 2020, et *hands off* de niveau 3³² entre 2020 et 2022, mène (seul ou avec ses partenaires) des expérimentations avec dix véhicules autonomes, quatre de ses prototypes (Citroën C4 Picasso) avaient déjà parcouru 60 000 kilomètres d'essais sur route ouverte en Europe à l'été de 2016) ;
- Renault-Nissan (conduit des expérimentations de la Nissan LEAF à Tokyo, est associé à Toyota pour la cartographie, a acheté en septembre 2016 le développeur français de logiciels Sylphee, a annoncé en septembre 2016 s'allier avec Microsoft pour un partenariat sur la voiture connectée, a fondé dans le cadre de l'Alliance Renault-Nissan une Mobility Division de 300 personnes pour le développement et la vente en 2020 de dix modèles avec fonctions d'autonomie, développe (par Nissan) la technologie d'autonomie appelée ProPilot) ;
- Scania ;
- Tata Elxsi ;
- Tesla (a développé ses Model S et X avec Mobileye sans LiDAR, prépare la Model 3 avec Nvidia, a annoncé en octobre 2016 que le niveau 5 serait techniquement atteint dès la fin de 2017) ;
- Toyota (a annoncé un budget d'un milliard de dollars en cinq ans pour fonder un centre de R&D – *Toyota Research Institute* – sur le véhicule autonome près de l'Université Stanford et près du MIT aux États-Unis, est associé à trois universités américaines³³, est associé avec Uber China racheté par Didi) ;
- Uber (a institué un centre de recherches à Pittsburgh, est associé à l'Université d'Arizona) ;
- Volkswagen (prépare pour 2017 le SUV semi-autonome XC90, est associé à Microsoft, est associé avec la société d'autopartage Gett) ;
- Volvo Cars (conduit l'ambitieux projet Drive Me, s'est associé à Uber pour les taxis autonomes, a fondé une coentreprise avec la société américano-suédoise Autoliv pour développer les aides à la conduite et les systèmes d'autonomie, est en train de recruter 450 personnes en Suède pour ses travaux de recherche et développement sur la voiture autonome) ;
- Yutong (a conduit avec succès ses premières expérimentations en Chine avec des bus autonomes).

³² Cf. déclaration à la mission CGEDD-IGA du représentant de PSA lors de la réunion avec VeDeCoM à Versailles le 22 septembre 2016.

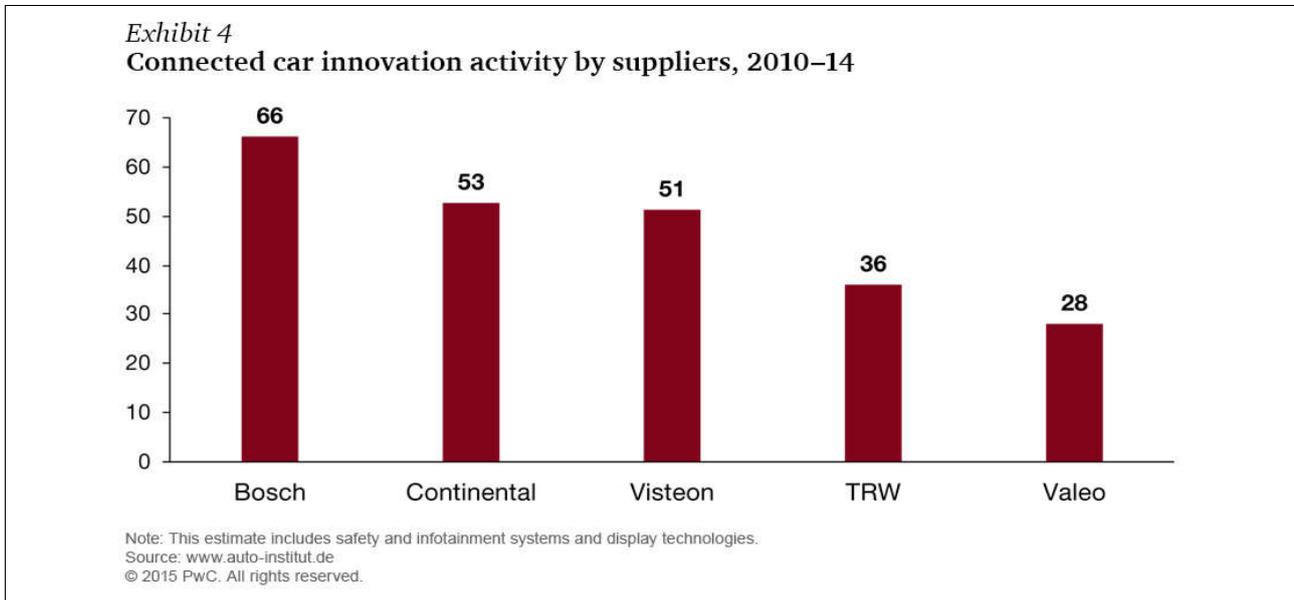
³³ MIT, Stanford et Université du Michigan.

2 - Selon le rapport de la société de conseil Strategy& (qui dépend de PricewaterhouseCoopers) du 16 septembre 2015³⁴, les dépenses d'investissements innovants en faveur des voitures connectées permettent de classer ainsi les **constructeurs** du monde selon une échelle prenant en compte quatre critères (degré d'innovation, objet, originalité et maturité) :



Source : Strategy& (une branche de PwC)

Et pour ce qui concerne les **équipementiers** :



Source : Strategy&

Les efforts et réussites ainsi pris en compte regardent sept domaines des technologies de la voiture connectée :

- sécurité (marché de 49,3 milliards d'euros en 2021) ;

³⁴ « Connected Car Study 2015: Racing ahead with autonomous cars and digital innovation » par Richard Viereckl, Dietmar Ahlemann, Alex Koster et Sebastian Jursch, rapport publié le 16 septembre 2015.

- conduite autonome (marché de 39,6 milliards d'euros en 2021) ;
- infotainment (marché de 13,4 milliards d'euros en 2021) ;
- confort (marché de 7,6 milliards d'euros en 2021) ;
- gestion des flottes à distance (marché de 7,1 milliards d'euros en 2021) ;
- gestion de la mobilité (marché de 5,6 milliards d'euros en 2021) ;
- intégration avec les autres systèmes de la vie courante du conducteur (marché de 66 millions d'euros en 2021).

Les conclusions de Strategy& démontrent notamment que :

- les dépenses en faveur de la conduite autonome seront de grande importance dans les toutes prochaines années ;
- les constructeurs et équipementiers allemands sont au premier rang de l'innovation, mais les succès des Japonais, Américains et Coréens sont aussi de grande importance.

Il faut garder à l'esprit que les entreprises d'Internet (Google, Apple, Uber, etc.) travaillant au véhicule autonome ne sont pas prises en considération dans cette comparaison des investissements, quoique leurs propres efforts d'innovation représentent un grand défi pour toute l'industrie automobile.

3 - Le rapport de Thomson Reuters³⁵ appelé « *The 2016 State of Self-Driving Automotive Innovation* » de janvier 2016, fondé sur les brevets déposés pour **(A) la conduite autonome, (B) l'aide à la conduite et (C) la télématique**, confirme en partie les conclusions précédentes. Tandis que le nombre de ces brevets a augmenté de beaucoup depuis 2011 (près de 4 800 en 2015), on observe que le nombre le plus grand et l'augmentation la plus rapide regardent la catégorie A.

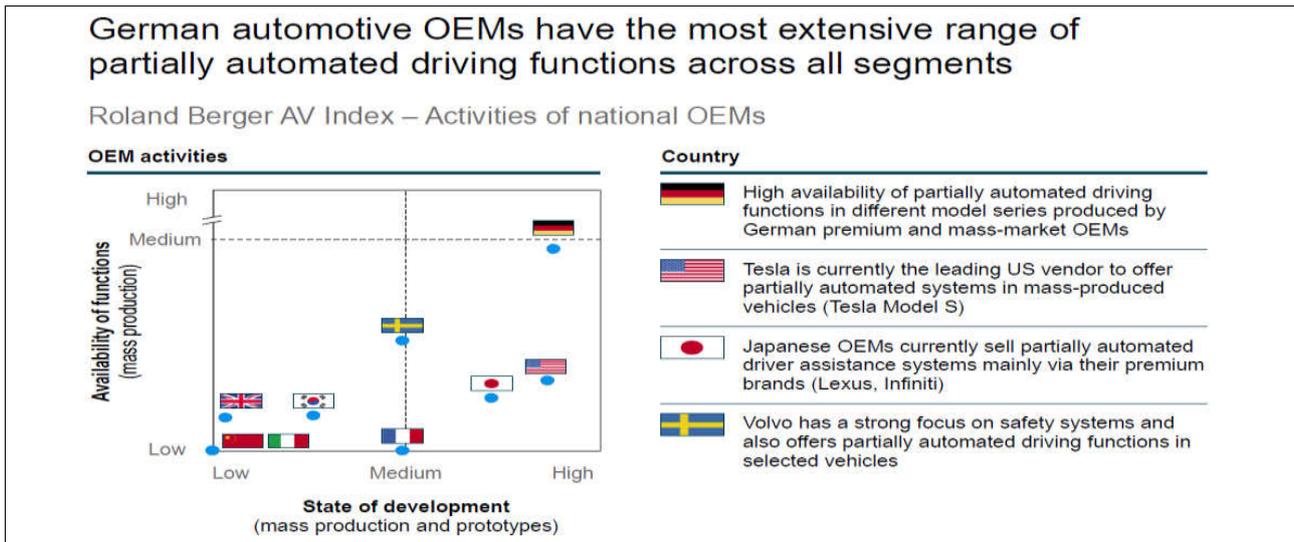
Pour les années courant de 2010 à octobre 2015, Toyota, Denso, Bosh, Nissan, Honda, Hyundai, Mitsubishi, Daimler, General Motors et Fuji sont, dans la catégorie A, les leaders ; dans la catégorie B, il s'agit de Bosch, Toyota, Hyundai, Daimler, Continental, General Motors, Volkswagen, Audi, BMW et Mando ; dans la catégorie C, on trouve General Motors, Hyundai, Marvell, LG, Denso, Samsung, UPS, ETRI, SK Hynix et Mitsubishi.

L'absence des grandes sociétés d'Internet dans ce tableau est remarquable. Ce qui conduit l'auteur du rapport à écrire : « Tech and media companies like Apple, Google, Tesla and others entering the space have definite advantages in terms of their contributions to the future car. However, most lack the necessary manufacturing expertise and facilities possessed by traditional automotive companies that can move R&D projects to viable, commercial realities. ».

4 - La société Roland Berger³⁶ a présenté à Bruxelles le 16 février 2016 sa vision de l'avenir de l'automobile. Elle a montré notamment la force des différents constructeurs et équipementiers pour développer et commercialiser des automatismes permettant des conduites partiellement autonomes. Les industries en Allemagne, aux États-Unis, au Japon et en Suède paraissent avoir une longueur d'avance sur les autres à cet égard. Surtout l'industrie allemande.

³⁵ Groupe international d'information professionnelle, financière et juridique qui emploie plus de 50 000 personnes.

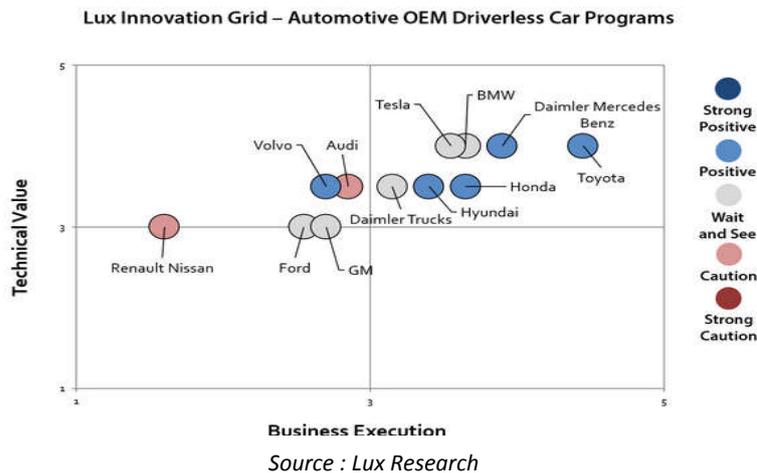
³⁶ « *Automotive 4.0 – Outlook and Implications – TRAN hearing on "Towards a European Road Safety Area"* » par Sebastian Feldmann (partenaire de Roland Berger GmbH).



Source : Roland Berger

5 - Ajoutons encore que dans une étude achevée en décembre 2015, la société britannique Juniper Research a dressé la liste des cinq sociétés les plus prometteuses envers la voiture autonome. Elle a pour cela pris en compte plusieurs critères comme ceux-ci : essais, expérimentations sur route, développement technologique, ambition du projet, potentiel, opportunités commerciales. Les cinq premiers de la liste sont : Google, Volvo, Daimler, Tesla et Apple.

6 - Dans un rapport d'avril 2016 (« *Determining Who's in the Fastlane for Autonomous Vehicles: A Comparison of Automotive OEM Plans for Driverless Cars* »), la société Lux Research a évalué la capacité de douze parmi les constructeurs les plus avancés à gagner la course au véhicule autonome. Pour cela, elle a pesé notamment la stratégie, la feuille de route, les partenariats et les investissements de chaque constructeur.



Les auteurs en concluent de leur analyse que seuls cinq constructeurs détiennent la clef du succès : Daimler, Honda, Hyundai, Toyota et Volvo. Et ils ont ajouté : « *Automotive companies aspiring to become "mobility providers" – earning money from services like ride-sharing rather than simply sales of cars – are the most likely to succeed in this rapidly changing marketplace.* ».

7 - Ces cinq rapports démontrent la puissance de feu, pour préparer l'automatisation des véhicules, des **constructeurs et équipementiers allemands, japonais, américains et coréens**.

Les constructeurs français sont-ils en arrière³⁷ ? Ils ne sont jamais cités en tant que tels dans le rapport de Thomson Reuters. Toutefois, Renault y est présente par son partenaire japonais **Nissan**. Pour ce qui concerne **l'autonomie de conduite** (catégorie A), Nissan (au 4^e rang) a déposé trois fois moins de brevets que le premier de la catégorie A, à savoir le constructeur japonais Toyota, et un peu moins que l'équipementier allemand Robert Bosch GmbH. Pour ce qui concerne les brevets relatifs aux **aides à la conduite** (catégorie B), Nissan (au 11^e rang) a déposé quatre fois moins de brevets (200 contre 800 entre 2010 et octobre 2015) que le premier de la catégorie B, à savoir Bosch, et presque trois fois moins que Toyota. Pour ce qui concerne la **télématique**, Nissan ne figure pas dans la liste des seize premières entreprises citées par Thomson Reuters. Quant à **l'équipementier français Valeo**, il est au-delà du vingtième rang pour les brevets relatifs à l'autonomie de conduite, au treizième rang pour les brevets relatifs aux aides à la conduite, et au-delà du seizième rang pour la télématique.

Il est vrai que dans les trois rapports, il est fait l'hypothèse que les grands de l'automatisme font la course en tête. Ce ne serait plus vrai si les constructeurs et équipementiers actuels (Mercedes-Benz, Bosch, Toyota, etc.) se laissaient dominer par les géants de l'Internet (Google, Baidu, etc.) sur le terrain de l'intelligence artificielle des véhicules.

8 - Remarquons que les entreprises chinoises ne sont pas reprises dans les listes de Thomson Reuters. Se peut-il néanmoins que la Chine surprenne un jour le monde par sa capacité insoupçonnée d'investissement et d'innovation ? La Chine est désormais le plus grand marché automobile (voitures neuves) au monde³⁸. Suivant le plan quinquennal 2016-2022 de l'État chinois qui a dégagé un budget pour les véhicules autonomes de 10 milliards de yuans (environ 1,3 milliard d'euros), de nombreuses et puissantes sociétés et universités chinoises travaillent sur le véhicule autonome (voiture et bus notamment). Singulièrement :

- des constructeurs : Changan, Dongfeng Motors (partenaire de PSA), GAC Group, SAIC Motor (partenaire de Volkswagen), BAIC Group, FAW Group, Geely, BYD Auto (partenaire de Daimler pour construire des voitures électriques), Chery Automobile, Yutong (constructeur d'autobus qui expérimente des bus autonomes dans ses emprises de Zhengzhou^{39,40}) ;
- des sociétés d'Internet : Baidu (partenaire de BMW), Leshi Internet Information & Technology (LeEco), Huawei, Alibaba Group (travaillant avec SAIC Motor pour des véhicules autonomes équipés du système appelé YunOS), Tencent Holdings (qui projette de produire industriellement avant 2020, dans le cadre d'une Joint Venture appelée *Future Mobility*, des voitures électriques et autonomes en coopération avec la société taiwanaise *Hon Hai Precision Industry*⁴¹) ;
- des universités : Tongji (Shanghai), Tsinghua (Pékin).

³⁷ Rappelons que les constructeurs français font face depuis de nombreuses années à une rude concurrence des autres constructeurs partout dans le monde. Selon le Comité des constructeurs français d'automobiles (CCFA, cf. « *L'industrie automobile française – Analyse et statistiques 2014* »), la production de voitures particulières des constructeurs français a diminué de 9,6 % entre 2007 et 2013 dans le monde, et de 46,3 % entre 2007 et 2013 en France. Le poids des constructeurs français dans le monde était de 7,3 %, en diminution. Le commerce extérieur automobile de la France (tous constructeurs confondus) est négatif depuis une dizaine d'années : le déficit était de 5,6 milliards d'euros en 2013.

³⁸ Marché de 21 millions de voitures neuves en 2015 (30 % des ventes dans le monde entier), contre 17,4 millions aux États-Unis, 13,7 millions dans l'Union européenne, 4,2 millions au Japon, 2,8 millions en Inde et 2,5 millions au Brésil.

³⁹ *Yutong Industrial Park* de Zhengzhou dans la province du Henan (Chine).

⁴⁰ Des expérimentations sur route ouverte ont notamment été faites en 2015 sur la grande route qui relie Zhengzhou et Kaifeng (province du Henan), villes distantes de 32,6 kilomètres. La vitesse de pointe était de 68 km/h. Il y avait 26 feux de circulation à franchir d'une ville à l'autre. Le bus totalement autonome des expérimentations était équipé de caméras et de lidars (un lidar de chaque côté du bus).

⁴¹ Plus connue sous son nom commercial *Foxconn Technology Group*.

Notons bien que dans les prévisions publiées par la société IHS Automotive le 7 juin 2016 concernant les ventes de voitures autonomes ou semi-autonomes en 2035, il y aurait 5,7 millions de ces voitures en Chine (marché le plus vaste au monde pour ces voitures), 4,4 millions aux États-Unis, 3 millions dans l'Union européenne, 1,2 million dans l'ensemble Japon-Corée comme en Europe de l'est.

9 - La détermination chinoise peut se mesurer aussi à l'effort en faveur des expérimentations.

Par exemple, dans la ville d'Anting au sein du district de Jiading⁴²⁴³ (dans le nord-ouest de la municipalité de Shanghai), ville où se situe l'un des plus grands centres de construction automobile en Chine⁴⁴, une grande zone pilote (dans le cadre d'un projet appelé « *A Nice City* ») a été ouverte aux voitures autonomes en expérimentation. Autorisée par le ministère de l'industrie et de l'information, elle est la première de ce genre en Chine. Pour l'administrer, un groupement professionnel a été fondé : le *United Innovation Center of Intelligent Connected Vehicle Industry and Technology* (ICV). Cet ICV rassemble :

- 15 instituts de recherche (China Automotive Technology and Research Center (CATARC), etc.) ;
- 4 universités (dont celle de Tongji à Shanghai et celle de Tsinghua à Pékin) ;
- 18 constructeurs (à savoir Audi, BMW, BAIC, FAW Group, Changan, Ford, Geely, GM, Greatwall, NextEV, PATAAC, Porsche, SAIC Motor, Tesla, Toyota, Volvo, Yutong, Mercedes-Benz) ;
- 5 équipementiers (à savoir Bosch, Continental, Delphi, Harman, Murata Manufacturing) ;
- 11 entreprises d'information et de communication (Baidu, Gaode, Huawei, Infineon, ZTE, Company360, China Unicom, etc.) ;
- 4 incubateurs et fournisseurs de services (à savoir *Shanghai International Automobile City* ou SIAC, Auto Innovation Park, EVCARD⁴⁵, Edrive).

Il n'y a dans cette liste ni PSA-Dongfeng, ni Renault-Nissan.

Ce groupement (ICV) va gérer la zone pilote (*National ICV Testing Demonstration Base*) de Jiading, qui fera une grande place aux communications V2X⁴⁶. La zone expérimentale de Jiading s'étendra en quatre étapes :

- la première étape, commencée lors de l'inauguration officielle de la zone pilote à Anting les 7 et 8 juin 2016, porte sur une zone fermée (pas de route ouverte) de 2 km² ;
- la deuxième étape commencera en décembre 2016, et couvrira 5 km² dans les emprises du *Shanghai Auto Expo Park* et du campus de l'université de Tongji ;
- la troisième étape commencera en décembre 2017, et couvrira 100 km² (toute la ville d'Anting) pour 5 000 véhicules autonomes ;
- la quatrième et dernière étape débutera en 2019, et la zone pilote couvrira alors un territoire de 150 km² (connectant Anting et le *Hongqiao Transportation Hub*) sur lequel circuleront 10 000 véhicules autonomes (qui pourront librement rouler sur 500 kilomètres de route).

⁴² Là où se trouve le *Circuit international de Shanghai* (qui accueille notamment le Grand Prix de Chine de Formule 1).

⁴³ Ce district de Jiading concentre 70 % de la production de l'industrie automobile de la municipalité de Shanghai (25 millions d'habitants environ dans toute la municipalité).

⁴⁴ C'est en cette ville d'Anting que sont produites les voitures du partenariat sino-allemand *SAIC Volkswagen Automotive*. Cette *joint venture* détient la plus grosse part de marché du pays (sous les marques Volkswagen et Škoda).

⁴⁵ Système d'autopartage de voitures électriques à Shanghai, ouvert en janvier 2015.

⁴⁶ Les systèmes de la zone pilote de Jiading utiliseront les communications DSRC (*Dedicated Short Range Communications*) des États-Unis, le LTE-V (*Long Terme Evolution-Vehicle*) de la Chine et la future 5G.

10 - Une autre expérimentation va se développer en Chine à Wuhu (ville de près de quatre millions d'habitants dans la province de l'Anhui), dans le cadre d'une coopération conclue en 2016 entre la ville et la société Baidu portant sur les bus, les navettes et les taxis robots. Dans une première étape de trois ans, certaines zones de Wuhu seront délimitées pour des essais de véhicules autonomes. Dans l'étape suivante, des premiers services commerciaux seront offerts aux habitants. Dans une troisième et dernière étape, dans cinq ans environ, les véhicules autonomes circuleront dans toute la ville en service commercial.

11 - Le 19 octobre 2016 en Californie, le directeur général de Tesla Motors (Elon Musk) a annoncé que ses nouvelles voitures Model S et Model X seront **dès maintenant** toutes équipées de huit caméras (d'une portée de 250 mètres), de douze capteurs à ultrasons (de portée deux fois plus longue qu'aujourd'hui) et d'un radar à l'avant (permettant de voir le véhicule qui est devant le véhicule qui précède la Tesla).

Le système d'intelligence artificielle (Tesla Vision avec *deep learning*, quarante fois plus puissant qu'aujourd'hui) sera désormais fourni par la société Nvidia (plate-forme Drive PX 2), et non plus par Mobileye. Le système d'autonomie développé par Tesla prend le nom d'Autopilot 2.0 désormais. Les aides à la conduite (freinage d'urgence, maintien dans la file, avertisseur de collision, régulateur de vitesse adaptatif, etc.) des nouvelles voitures seront activées progressivement en 2016 et 2017 (par la technologie *On The Air* ou OTA tous les deux ou trois mois), après analyses des données recueillies auprès des voitures vendues et validation du système d'autonomie. Aussi **les nouvelles voitures des Model S et X auront-elles momentanément**, jusqu'en décembre 2016 probablement, **moins de fonctionnalités que les actuelles**.

Les voitures des deux modèles (S et X) seront désormais toutes équipées pour permettre un jour **l'autonomie complète**. Elles seront vendues avec **deux options**. La **première option**, appelée *Enhanced Autopilot*, vaudra 5 000 dollars. Elle n'utilisera que quatre caméras, et non huit. Elle permettra une conduite semi-autonome dès la fin de 2016 : changement automatique de file, parking automatique, sortie automatique d'autoroute, etc. La **seconde option**, appelée *Full Self-Driving Capability*, vaudra 8 000 dollars. Elle permettra **à terme** la conduite totalement autonome (**niveau 5** selon l'échelle de la SAE International) avec saisie de la destination au départ. La conduite totalement autonome sous la seconde option ne sera activée qu'à une date inconnue qui dépendra singulièrement de la réglementation ; mais Elon Musk a assuré le 19 octobre 2016 que **l'autonomie totale sera techniquement prête à la fin de 2017**. Selon l'industriel, la sécurité sera améliorée **d'un facteur deux** au moins. Une expérimentation d'un parcours en niveau 5 sera faite de Los Angeles à New York avant la fin de 2017, sans une seule action sur le volant (« *without the need for a single touch* »).

Tesla Motors prépare la vente en 2017 d'un nouveau modèle moins cher (à partir de 35 000 dollars), appelé Model 3. Des voitures de ce modèle seront aussi vendues avec les deux options d'autonomie.

12 - En de nombreux pays du monde, les expérimentations ont pour objet de préparer l'automatisation de plus en plus poussée des véhicules. Mais pourront-elles prouver l'amélioration constante et suffisante de la sécurité ? Les quelques études faites paraissent démontrer que les distances ainsi parcourues sont encore bien trop petites pour en induire des conclusions sûres. Néanmoins, les expérimentations donnent d'utiles résultats de tendance.

13 - Ainsi en est-il d'une étude accomplie par le *Virginia Tech Transportation Institute*⁴⁷ (étude commandée par Google) sur les voitures autonomes de Google, la société qui accomplit les plus nombreux essais sur voie publique, a donné lieu à rapport final en janvier 2016⁴⁸. L'auteur a comparé les résultats des accidents du programme *Self-Driving Car* de Google avec les données connues et corrigées⁴⁹ des accidents pour l'ensemble du pays (États-Unis). L'étude a discerné quatre niveaux de gravité des accidents ; toutefois le niveau 4, le moins grave, regroupe des incidents si faibles que l'étude n'en a pas tenu compte.

⁴⁷ VTTI.

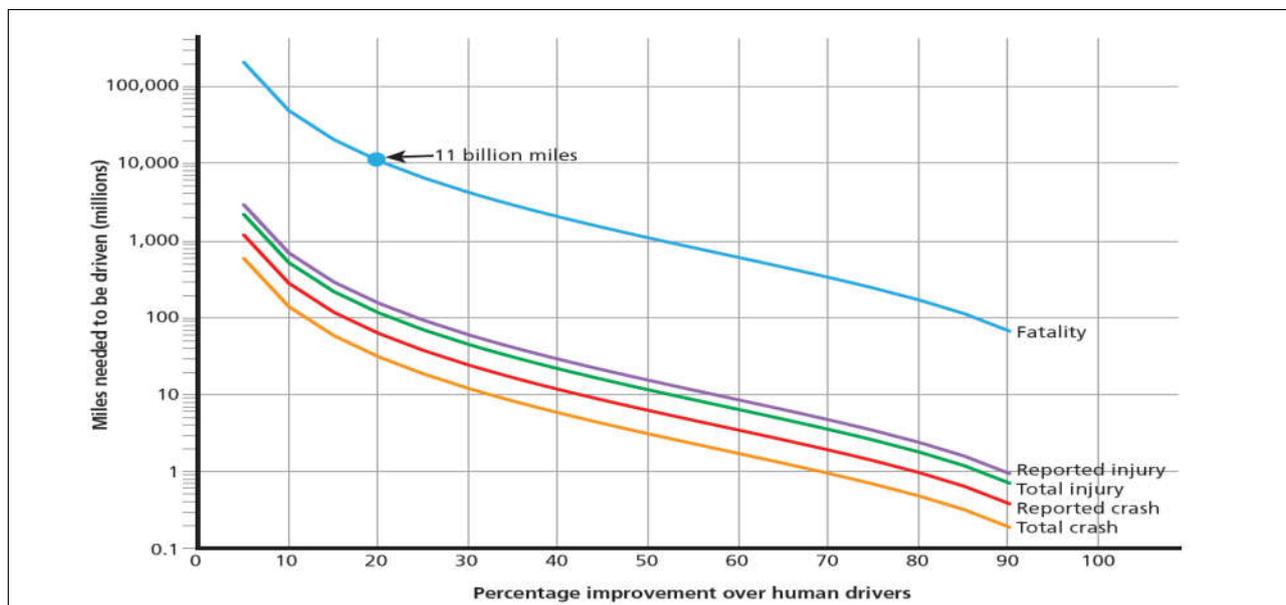
⁴⁸ « *Automated Vehicle Crash Rate Comparison Using Naturalistic Data* ».

⁴⁹ De nombreux accidents ne sont pas connus des autorités publiques.

Les conclusions sont que le taux d'accidents sérieux (niveaux 1 et 2) est plus bas pour les voitures autonomes de Google que les taux nationaux : 1,6 contre 2,5 accidents par million de milles pour le niveau 1, et 1,6 contre 3,3 accidents par million de milles pour le niveau 2. Pour les accidents les moins graves (niveau 3), l'écart est encore plus grand : 5,6 contre 14,4.

Mais les distances parcourues par les voitures de Google sont très courtes (1,3 million de milles) comparées aux distances de l'étude nationale⁵⁰ à laquelle l'auteur a travaillé (34 millions de milles⁵¹). Pour cette raison, l'auteur ne peut être sûr de la robustesse de ses conclusions. S'agissant des petits accidents (niveau 3), qui apparaissent au moins deux fois moins nombreux dans le cas des voitures de Google, il révèle en revanche un fait d'importance : l'analyse des données de Google démontre que jamais les voitures de Google n'ont été en faute lors des accidents étudiés⁵². Selon l'auteur du VTTI, cette conclusion tend à démontrer que des véhicules autonomes à faible vitesse seraient très sûrs.

14 – Sur la question des distances parcourues par les véhicules autonomes en essais, une étude de grand intérêt⁵³ a été faite par Rand Corporation aux États-Unis en 2016. Les conclusions sont résumées dans le graphique ci-dessous. Considérons par exemple le nombre des tués (« *fatality* »). Si l'on voulait prouver que le taux de défaillance d'un véhicule autonome était inférieur de 20 % à celui des autres voitures⁵⁴, il faudrait que la distance parcourue par les véhicules autonomes de même type soit de onze milliards de milles (presque dix mille fois la distance déjà parcourue par toutes les voitures de Google). Autrement dit, pour une flotte de 100 véhicules autonomes circulant à toute heure de l'année, il faudrait... 518 ans d'essais ! La conclusion des auteurs, c'est que l'amélioration quant à la sécurité routière grâce à l'automatisation des voitures, préalable à l'acceptation de véhicules commercialisés, devra être prouvée d'une manière autre que par des expérimentations sur route ouverte. Il faudra des mesures *in vitro* (simulations informatiques, etc.) et non *in situ*.



Source : Rand

⁵⁰ Appelée « *Second Strategic Highway Research Program (SHRP 2) Naturalistic Driving Study (NDS)* » ou plus simplement SHRP 2 NDS

⁵¹ Le trafic annuel aux États-Unis étant de 3 000 milliards de véhicules-milles.

⁵² Le désormais célèbre accident à très faible vitesse de la voiture Google à Mountain View (Californie) a eu lieu le 14 février 2016, après la fin de l'étude du VTTI.

⁵³ « *Driving to Safety – How Many Miles of Driving Would It Take to Demonstrate Autonomous Vehicle Reliability* » par Nidhi Kalra et Susan M. Paddock.

⁵⁴ L'auteur a retenu un niveau de confiance de 95 % et une puissance de test de 80 %.

15 - Des sociétés se sont d'ailleurs développées pour entreprendre ces simulations par ordinateur : ainsi la société néerlandaise TASS International, ainsi la société française ESI Group (avec son simulateur de capteurs Pro-SiVIC). Des instituts de recherche travaillent aussi à ces simulations : ainsi le Laboratoire sur les interactions véhicules-infrastructure-conducteurs (LIVIC), dépendant de L'IFSTTAR⁵⁵, avec la plate-forme SiVIC⁵⁶, étroitement associé à la société ESI Group. La société TASS International travaille beaucoup sur la sécurité générale des véhicules automatisés, tandis que le LIVIC de L'IFSTTAR travaille sur la qualité de leurs capteurs. En France, l'UTAC CERAM se prépare activement à l'homologation des nouvelles aides à la conduite et des systèmes d'autonomie de conduite.

Sur la difficulté à valider la sécurité des aides à la conduite qui sont de plus en plus complexes, on pourra lire la communication « *Facing ADAS validation complexity with usage oriented testing* » de Laurent Raffaëlli, Frédérique Vallée, Guy Fayolle, Philippe De Souza, Xavier Rouah, Matthieu Pfeiffer, Stéphane Géronimi, Frédéric Pétrou et Samia Ahiad, de janvier 2016.

En France, dans le cadre de la Nouvelle France Industrielle (NFI), l'institut de recherche technologique (IRT) en Île-de-France appelé SystemX a lancé le 1^{er} mars 2015 son projet 2015-2019 « *Simulation pour la sécurité du véhicule autonome* » (SVA). Comme l'a expliqué SystemX :

« Le projet SVA, dans le cadre du plan Véhicule Autonome de la Nouvelle France Industrielle, a pour objectif de répondre par la simulation numérique au défi posé par la complexité de la démonstration de la sécurité du véhicule autonome. En effet, cette complexité, liée à la fois au grand nombre de situations que le conducteur rencontre sur la route, leur incertitude, et aux technologies embarquées, rend les validations par des tests en usages réels extrêmement coûteux, voire impossibles pour certains. ».

Le projet SVA a deux objectifs :

« Fournir aux constructeurs et aux équipementiers une méthodologie, une plateforme et des outils de simulation pour permettre de concevoir des véhicules autonomes sûrs et de les valider » ;

« Spécifier, adapter ou développer des modèles des éléments du véhicule et de son environnement afin de pouvoir simuler le comportement du véhicule en cas d'apparition d'une défaillance d'un de ses composants ainsi que l'incidence sur son fonctionnement de perturbations extérieures (effacement de marquages au sol, éblouissement...) ».

16 - C'est en Californie que les expérimentations de voitures autonomes sont actuellement les plus nombreuses. Conformément à la loi de cet État⁵⁷, les sociétés ayant reçu autorisation pour des expérimentations sur les routes publiques de Californie ont remis leurs données de la période octobre 2014-novembre 2015 sur les « *disengagements* » : désactivations du système d'autonomie quand la voiture

⁵⁵ L'IFSTTAR (laboratoires LICIT, GRETTIA et LEPSIS) a aussi développé le simulateur Symuvia pour étudier les circulations routières. Mais il n'a jamais encore été utilisé pour étudier les conséquences de la circulation de véhicules autonomes en ville. Mais il a montré que les connexions V2X amélioreraient nettement la fluidité des circulations urbaines.

⁵⁶ Cf. « *Development of Full Speed Range ACC with SiVIC, a virtual platform for ADAS Prototyping, Test and Evaluation* » de Dominique Gruyer, Steve Pechberti et Sébastien Glaser.

⁵⁷ « §227.46 Reporting Disengagement of Autonomous Mode.

(a) Upon receipt of a Manufacturer's Testing Permit, a manufacturer shall commence retaining data related to the disengagement of the autonomous mode. For the purposes of this section, "disengagement" means a deactivation of the autonomous mode when a failure of the autonomous technology is detected or when the safe operation of the vehicle requires that the autonomous vehicle test driver disengage the autonomous mode and take immediate manual control of the vehicle.

(b) Every manufacturer authorized under this article to test autonomous vehicles on public roads shall prepare and submit to the department an annual report summarizing the information compiled pursuant to subdivision (a) by January 1st, of each year.

(1) The first report shall cover the period from the date of issuance of the Manufacturer's Testing Permit to November 30th of the following year.

(2) After the first report, subsequent annual reports shall cover the period December 1st of the current year to November 30th of the following year. » (extrait de la réglementation de Californie sur les « *Autonomous Vehicles* »).

rend la main au conducteur pour quelque raison que ce soit. Cruise Automation, BMW, Honda et Ford avaient été exemptés de ce rapport, car leurs autorisations étaient trop récentes.

Les résultats des six sociétés sont :

- pour Bosch, 625 désactivations pour 935 miles parcourus,
- pour Delphi, 405 désactivations pour 16 662 milles parcourus,
- pour Google, 341 désactivations pour 424 331 milles parcourus,
- pour Nissan, 106 désactivations pour 1 485 milles parcourus,
- pour Mercedes-Benz, 967 désactivations pour 1 337 milles parcourus,
- pour Tesla Motors, aucune désactivation (*sic*), le nombre de milles parcourus n'ayant pas été révélés),
- pour Volkswagen, 260 désactivations pour 14 945 milles parcourus (57 milles par désactivation en moyenne).

Il faut avoir à l'esprit que la société Tesla, en plus de ses expérimentations, tire beaucoup d'enseignements des voitures qu'elle a vendues et qui, en circulation, lui envoient continûment des données. En mai 2016, Tesla faisait savoir que ses voitures connectées et semi-autonomes avaient déjà parcouru depuis 2014 (année d'introduction de son système de semi-autonomie) la distance totale de 780 millions de milles ; entre octobre 2015 et mai 2016, les voitures ont circulé en mode dit autonome sur une distance cumulée de 100 millions de milles⁵⁸.

De très loin, Google est la société qui a parcouru la plus grande distance. Parmi les 341 désactivations qu'elle a consignées (1 désactivation tous les 1 244 miles en moyenne), 272 sont dues à une défaillance de la technologie d'autonomie. Les autres désactivations, 69 précisément (soit 20 % des cas), sont dues à une action du conducteur pour un motif de sécurité. Mais selon Google, seulement 13 parmi ces 69 désactivations avaient pour but de prévenir une collision (avec une voiture ou autre). Précision d'importance : selon Google, les conducteurs de ses voitures ne cherchent pas à avoir aussi peu de désactivations qu'il est possible, car les désactivations sont aussi un moyen d'éprouver et d'analyser le système d'autonomie. Selon Google, le nombre de désactivations est néanmoins en rapide diminution : 5 318 milles par désactivation au quatrième trimestre de 2015 contre 785 milles par désactivation au premier trimestre de 2014.

Il est important d'avoir à l'esprit que les expérimentations de Google se font surtout dans les rues, dans celles de Mountain View (en Californie) et alentour en particulier. Or, c'est pour ces circulations urbaines ou péri-urbaines que les difficultés de la conduite autonome sont les plus grandes : de très nombreuses circonstances peuvent conduire en effet à la désactivation⁵⁹. D'ailleurs, sur les 341 désactivations de

⁵⁸ Cf. « *Tesla Tests Self-Driving Functions with Secret Updates to Its Customers' Cars – The Internet connection built into every Tesla gives the company a unique advantage in the race to develop autonomous vehicles.* » par Tom Simonite (article publié le 24 mai 2016 par le *MIT Technology Review*).

⁵⁹ Dans son rapport de décembre 2015, Google a écrit : « *Mastering autonomous driving on city streets – rather than freeways, interstates or highways – requires us to navigate complex road environments such as multi-lane intersections or unprotected left-hand turns, a larger variety of road users including cyclists and pedestrians, and more unpredictable behavior from other road users. This differs from the driving undertaken by an average American driver who will spend a larger proportion of their driving miles on less complex roads such as freeways. No surprisingly, 89 percent of our reportable disengagements have occurred in this complex street environment [...].* »

Google, 304 regardaient une route de type *street*, 32 pour le type *highway*, 4 pour le type *freeway* et 1 pour le type *interstate*.

L'accident d'une *Google Car* le 23 septembre 2016 a été assez abondamment relaté par la presse américaine, car c'est le plus grave des accidents d'une *Google Car* ; les dommages matériels n'ont jamais été importants. La voiture en mode autonome a été heurtée par un autre véhicule qui venait de brûler un feu rouge.

17 - Le gouvernement et l'administration des États-Unis (le secrétaire aux transports et l'administrateur de la NHTSA) réfléchissent sur la possibilité de construire un centre d'essais pour tester et certifier officiellement les aides à la conduite et les systèmes d'autonomie. Parmi les sites envisagés, il y en a un dans le Michigan (ancien site de General Motors dit *Willow Run* à Ypsilanti) et un autre en Californie (*GoMentum Station* à Concord).

18 - Parmi les autres expérimentations aux États-Unis, il faut citer la circulation d'une Audi SQ5 entre San Francisco et New York (5 633 kilomètres) en mars 2015 par l'équipementier Delphi.

Il faut citer encore le périple de l'équipementier Valeo (« *Valeo Hands off Tour* » de 13 000 milles, plus ou moins le long des frontières des États-Unis) de la voiture autonome Cruise4U – une Volkswagen Passat – entre le 1^{er} août et le 15 septembre 2016. La voiture était équipée d'une caméra frontale, et de quatre radars pour permettre les changements de file. Mais elle était surtout équipée d'un laser appelé *Valeo SCALA* qui peut détecter devant le véhicule tout objet et toute personne, à haute ou basse vitesse, de jour comme de nuit.

19 - En France dans la région Rhône-Alpes-Auvergne, le pôle de compétitivité Lyon Urban Truck & Bus a préparé la plate-forme Transpolis pour préparer les futurs moyens de transport. Transpolis se développera sur les deux sites voisins des Fromentaux et de La Valbonne dans l'Ain. Pour les véhicules autonomes, c'est surtout le site des Fromentaux, autrefois terrain militaire de quelque soixante-dix hectares, qui sera utilisé à partir de 2018. Sont actionnaires de la société Transpolis : L'IFSTTAR, Colas, Renault Trucks, Bretagne Mega, Vibratec SA, Adetel Group et EVE System.

20 - S'agissant des communications V2X, un assez grand nombre d'entreprises européennes dans les secteurs des automobiles et des télécommunications⁶⁰ ont publié le 6 juillet 2016 un projet de proposition à la Commission européenne appelé : « *Draft proposal: pre-deployment project for connected and automated driving* ». Ce projet 2017-2021 a pour but d'étudier la circulation en Europe de **plusieurs centaines de véhicules par pays** pour tester notamment les technologies des véhicules connectés ou automatisés en passant les frontières.

21 - L'État de Victoria en Australie a passé accord en 2016 avec la *Transport Accident Commission* (TAC), l'équipementier allemand Bosch et VicRoads (l'autorité publique chargée des routes et des circulations dans l'État). Pour les essais, un véhicule autonome (de niveau 4 selon l'échelle de la SAE International) a été mis au point par Bosch à Clayton (à Victoria), sur la base d'une voiture Tesla Model S P85D.

⁶⁰ Selon les auteurs du projet de proposition, les sociétés suivantes pourraient s'associer au projet d'expérimentation : Deutsche Telekom, KPN, Orange, Proximus, Vodafone, Eurofiber, Play, Ericsson, Nokia, Autoliv, Bosch, Continental, Valeo, BMW, Daimler, FCA, Ford, Hyundai, JLR, Opel, PSA, Renault, Toyota and VW.



La voiture Tesla Model S rééquipée par Bosch dans l'État de Victoria en Australie en 2016

(source : État de Victoria)

Ces essais et démonstrations en Australie avaient été précédés par d'autres accomplis en novembre 2015 à Adelaïde (capitale de l'Australie-Méridionale) par Volvo Cars avec la voiture Volvo XC90.



La voiture Volvo XC90 à Adelaïde (Australie) en novembre 2015 pour des essais (photographie de Motoring) (source : Volvo)

22 - Fondée par deux professeurs (Ingmar Posner et Paul Newman) du *Mobile Robotics Group* (MRG) de l'Université d'Oxford, Oxbotica est une entreprise britannique qui conçoit des systèmes d'autonomie pour véhicules. Son dernier système s'appelle Selenium. Il équipe huit navettes expérimentales à Greenwich (Londres), au titre du grand projet GATEway ; des circulations expérimentales commenceront au début de 2017, et dureront six mois.

Une voiture d'Oxbotica (avec Selenium) a été testée en octobre 2016 dans la ville nouvelle de Milton Keynes (Buckinghamshire) en Angleterre, dans le cadre du *Lutz Pathfinder Project*.



La voiture autonome d'Oxbotica à Milton Keynes (Angleterre) en octobre 2016

(source : Oxbotica)

23 - Pendant le Mondial de l'automobile à Paris en octobre 2016, l'équipementier français Valeo a procédé à des expérimentations en France de son système d'autonomie appelé « *Cruise4U* » (niveau 3 selon l'échelle de la SAE International).

24 - En août 2016, le gouvernement de Corée du Sud a décidé de construire un centre d'essai pour véhicules autonomes, à Hwaseong (province de Gyeonggi), sous le nom de K-City. Le nouveau centre sera près des installations actuelles de la *Korean Transportation Safety Authority* à Hwaseong. Les travaux coûteront environ 17 millions de dollars américains ; ils se termineront en décembre 2019.

En dehors de ce centre d'essai, le gouvernement coréen a autorisé les expérimentations de véhicule autonome sur 320 kilomètres de routes ouvertes.

25 - La société chinoise Baidu, en association avec trois constructeurs et équipementiers chinois (Chery Automobiles Co., BYD Auto et Shou Qi Group), a testé des voitures autonomes (une douzaine au moins) à Wuzhen (province de Zhejiang) en novembre 2016, à l'occasion de la World Internet Conference en cette ville.



Source : Baidu

Les circulations ont eu lieu sur un trajet de cinq kilomètres, à la vitesse maximale de 60 km/h. Les voitures sont équipées de lidar de la société Velodyne.

26 - En octobre 2015, la province canadienne de l'Ontario a été la première du pays à se lancer dans des expérimentations de véhicules autonomes sur route ouverte. Elles ont commencé en janvier 2016.

27 - En France, treize expérimentations ont été approuvées avant juillet 2016 par la DGEC sur demande des opérateurs suivants :

- Robosoft (décision le 22 décembre 2014),
- PSA (22 juin et 24 novembre 2015),
- Valeo (6 août 2015),
- VeDeCom (11 août 2015),
- Akka (11 août 2015),
- Navya (11 août 2015),
- EasyMile (11 août 2015),
- Valeo (16 octobre et 19 novembre 2015),
- VeDeCom (4 novembre 2015),
- EasyMile (22 décembre 2015),
- VeDeCom (4 février 2016),
- Renault (18 février 2016),
- VeDeCom (7 juin 2016).

Les dossiers remis ont tous abouti à une autorisation, moyennant parfois des modifications. Par deux fois, des avenants sont venus compléter l'autorisation initiale. Début mai 2016, près de 40 000 kilomètres de tests sur route ouverte avaient été parcourus par les véhicules des demandeurs français. On est encore loin, certes, des distances observées en Californie (près de 1,5 kilomètre pour Google par exemple).

Pour ce qui concerne les expérimentations des voitures sur route ouverte, les demandeurs insistent pour que, rapidement, les véhicules en essai puissent être pilotés par des conducteurs ordinaires, comme envisage de le faire Volvo à Londres en 2017.

Au 10 octobre 2016, 10 expérimentations étaient achevées, 6 expérimentations étaient en cours, 7 demandes étaient en instruction, 6 demandes étaient des manifestations d'intérêt et 1 demande avait été abandonnée.

Annexe 7 : L'état du droit relatif au véhicule autonome dans les pays étrangers

1 - États-Unis :

Le ministère des transports de l'État fédéral américain (D.O.T.) et son agence nationale (NHTSA) ont publié en septembre 2016 un document qui décrit la politique fédérale pour les véhicules autonomes. Ce document s'intitule « Accelerating the Next Revolution in Roadway Safety ».

Après avoir affirmé que l'avènement de cette nouvelle technologie était inévitable le document indique les bénéfices attendus : une diminution drastique du nombre d'accidents, l'amélioration de la mobilité pour les personnes exclues actuellement de l'usage de la voiture et enfin la diminution de la pollution de l'air et des économies d'énergie.

Le document vise les véhicules qui ont atteint un développement 3 à 5 de l'échelle SAE où le système est le conducteur, l'être humain ayant un rôle au plus limité à la supervision et la reprise en main.

Le premier volet du guide décrit les bonnes pratiques pour les concepteurs et fabricants de véhicules autonomes. Par une démarche pragmatique la NHTSA leur laisse la responsabilité de s'auto-certifier. Cette confiance n'empêche pas la NHTSA de vérifier si les véhicules fonctionnent bien et, si besoin, de prendre des actions coercitives ; les fabricants doivent rendre compte régulièrement dans un rapport rendu public appelé « évaluation de sécurité ». Cette évaluation doit couvrir les champs suivants :

- l'enregistrement et le partage des données,
- les informations personnelles,
- la sûreté du système,
- la cybersécurité du véhicule,
- l'interface homme-machine,
- la protection par rapport aux chocs (des occupants et des autres véhicules),
- l'éducation et la formation des conducteurs,
- l'enregistrement et la certification (pour la mise à niveau logicielle des véhicules),
- le comportement post-accident,
- la conformité aux lois fédérales, des États et locales,
- les considérations éthiques (transparence des choix des algorithmes),
- le domaine de fonctionnement opérationnel,
- la détection et la réaction aux événements et aux objets,
- les stratégies de reprise en main par un humain (condition du risque minimal),
- les méthodes de validation.

Le deuxième volet du guide procure aux États un modèle de politique vis-à-vis de la voiture autonome. La NHTSA constate que certains États ont commencé à légiférer dans le domaine de la voiture autonome (Nevada, Californie, Michigan...) et craint qu'il n'y ait un « patchwork » de législations. Aussi elle propose que celles-ci se réfèrent à son modèle pour que la politique sur ce sujet soit cohérente sur le territoire des États-Unis.

Le troisième volet du guide explique les moyens (« outils ») que l'agence a à sa disposition pour gérer l'introduction de nouvelles technologies. Le quatrième et dernier volet est un appel à commentaires sur des idées de nouveaux moyens (« outils ») et nouvelles entités pour gérer l'arrivée des véhicules autonomes.

Deux États américains ont établi une législation sur la base de ce modèle :

2 - La Californie :

La Californie est le premier État du monde à avoir préparé un règlement portant à la fois sur **l'expérimentation** et **la circulation régulière** des véhicules autonomes (niveaux 3, 4 ou 5 de l'échelle de la SAE International), **que ces véhicules aient ou non un conducteur à bord**.

Tout d'abord, le 30 septembre 2016, le ministère des transports de l'État de Californie (le *Department of Motor Vehicles*) a publié un **projet** qui modifierait le code du véhicule (*Vehicle Code*) en vigueur. Dans un premier temps, la loi définit certains termes :

- définition du **véhicule autonome** : un véhicule autonome est celui qui est du niveau 3, 4 ou 5 selon la définition SAE (Society of Automotive Engineers),
- définition du **déploiement de véhicules autonomes** : il s'agit de la mise sur routes de VA par des personnes qui ne sont pas employées du fabricant ou contractantes avec lui,
- définition du **conducteur de véhicule autonome** : le conducteur est l'opérateur humain lorsque le véhicule n'est pas en mode autonome,
- définition du **domaine d'emploi** : il s'agit de l'ensemble de la description du périmètre de fonctionnement du véhicule en mode autonome comprenant au minimum le type de route, la plage de vitesse, les conditions météorologiques et de jour et de nuit, et toute autre contrainte,
- définition de **l'opérateur à distance d'un véhicule autonome**.

Ensuite, le texte définit également certaines dispositions dont les plus importantes sont les suivantes :

- Les conditions pour permettre **les expérimentations de véhicules autonomes sans conducteur à bord** : pour être autorisé à mener des expérimentations sans présence de conducteur à bord un fabricant doit demander une autorisation pour ces tests. Tout d'abord il doit y avoir un moyen de communication entre le véhicule et l'opérateur à distance qui permette à celui-ci de dialoguer avec les passagers et qui lui donne à tout moment la localisation et l'état du véhicule. Le fabricant doit former les opérateurs à distance. Il doit conserver en mémoire la liste des périodes de sorties du mode autonome et faire un rapport à l'autorité si un accident survient.

- Les conditions pour permettre **la circulation régulière (hors expérimentation) des véhicules autonomes avec conducteur à bord**. Un véhicule autonome ne peut circuler librement que s'il a obtenu préalablement des autorités de Californie un permis de déploiement de véhicule autonome sur les voies publiques. Pour cela son fabricant doit soumettre un dossier dans lequel il indique ou certifie entre autres :
 - quel est le domaine d'emploi du véhicule,
 - que le véhicule est empêché de rouler en mode autonome en dehors des routes désignées de son domaine d'emploi,
 - la liste des conditions limitantes (neige, brouillard, chantiers,...) et comment il s'assure que le véhicule ne roulera pas en dehors de ces conditions,
 - que le véhicule est bien équipé d'un enregistreur de données qui permet de conserver ce qui s'est passé 30 secondes avant un choc et 5 secondes après et que ces données pourront être fournies à des enquêteurs qui en font la demande sous 24h,
 - que le véhicule respecte le code de la route et les limitations de voirie et que son système est mis à jour pour prendre en compte tout changement dans le code de la route à sa date d'effet,
 - que le système cartographique est en permanence remis à jour,
 - comment il gère les pannes et met en sécurité les usagers du véhicule jusqu'à l'arrivée de la maintenance.

Le demandeur remet également un « *law enforcement interaction plan* » qui comprend toutes les informations pour les autorités de police et de justice et les agences de l'État concernées sur la façon dont le véhicule se comporte dans les situations d'urgence et de contrôle de police, soit :

- les conditions pour permettre **la circulation régulière (hors expérimentation) des véhicules autonomes sans conducteur à bord**, en plus des dispositions précédentes,
- les démarches administratives que doit remplir un constructeur de véhicules autonomes en cas de **modification substantielle apportée sur le matériel ou le logiciel**,
- la **durée du déploiement de véhicules autonomes**,
- la **protection des données collectées dans les véhicules autonomes** : le fabricant doit soit décrire dans un document pour l'utilisateur du véhicule la liste des données qu'il collectera à des fins de maintenance et de sécurité soit garantir qu'il anonymisera toutes les données qui ne seront pas nécessaires d'identifier à des fins de sécurité. Pour les informations non anonymes, le fabricant devra obtenir l'accord écrit de l'utilisateur du véhicule. En cas de refus de sa part, il ne pourra pas se prévaloir de ce fait pour l'empêcher d'utiliser le véhicule,
- la condition pour permettre la circulation de **véhicules devenus autonomes ultérieurement à leur première mise sur le marché**, il faudra remplir un formulaire spécifique signalant qu'un véhicule préalablement non autonome est devenu autonome,
- **l'identification des véhicules autonomes à l'extérieur** : un fabricant devra poser sur chaque véhicule autonome mis sur le marché un label spécifique comprenant (1) le nom du fabricant, (2) la date de fabrication, (3) l'identification du véhicule et (4) la phrase suivante : « le fabricant de ce véhicule

autonome a certifié qu'il est conforme à la loi de Californie concernant les exigences relatives aux véhicules autonomes à la date de production indiquée ci-dessus.

Des exigences semblables sont demandées pour les fabricants de véhicules rendus autonomes :

- **le permis de conduire des conducteurs de véhicules autonomes** : le conducteur d'un véhicule autonome qui peut rendre la fonction de conduite à son occupant doit avoir le permis de conduire ;
- **la responsabilité du conducteur et du système d'autonomie** : dans le cas où le système demande au conducteur de reprendre le contrôle du véhicule ou lorsque le véhicule fonctionne hors de son domaine d'emploi alors c'est le conducteur qui a la responsabilité de la conduite. Dans les autres cas c'est le fabricant qui en a la responsabilité ;
- **la maintenance des véhicules autonomes** : tous les véhicules autonomes doivent être maintenus selon les standards du *Federal Motor Vehicle Safety* ;
- **l'interdiction faite d'appeler *véhicule autonome* des véhicules sous le niveau 3** selon l'échelle de la SAE International.

3 - Le Michigan :

L'État du Michigan a préparé quatre lois (*Senate Bill* ou SB) sur le véhicule autonome (appelés *Automated Motor Vehicle* ou AMV). Ces projets (SB 995 à 998) autoriseront **la circulation régulière, et non pas seulement expérimentale, des véhicules autonomes**. Ils ont été formellement approuvés par le Sénat du Michigan le 7 septembre 2016. Ils ont été définitivement approuvés (après délibération de la Chambre des représentants du Michigan) en décembre 2016. Voici leurs principales dispositions :

- le SB 995 autorise la circulation sur toutes les routes du Michigan de véhicules autonomes individuels, de peloton de véhicules connectés et les applications informatiques de mise à disposition de véhicules automatiques à la demande permettant à des usagers de se connecter pour obtenir un service de transport par véhicule autonome ;
- le SB 995 exonérera les constructeurs de toute responsabilité civile au cas où des changements auraient été apportés sur les systèmes embarqués sans leur consentement ;
- le SB 995 précisera qu'un système de conduite autonome sera considéré comme le conducteur ou l'opérateur d'un véhicule autonome pour l'application des règlements sur les véhicules routiers et la circulation routière ;
- le SB 996 autorisera les constructeurs à déployer un projet SAVE, défini par le SB 995 comme une mesure qui permet à des fabricants autorisés de VA de créer des services internet de VA à la demande dans certaines zones géographiques (campus universitaires, etc.) ;
- le SB 997 affranchira les routes dans les centres de recherches sur la mobilité (comme l'American Center for Mobility envisagé à Ypsilanti dans le Michigan) des dispositions du Michigan Vehicle Code applicables aux routes ouvertes au public ;
- Le SB 998 limitera aussi la responsabilité civile des réparateurs d'AMV.

4 - Allemagne :

Le gouvernement allemand a présenté sa stratégie pour la voiture autonome et connectée dans un document daté de septembre 2015. Il rappelle le rôle essentiel que l'Allemagne a joué dans le développement de l'automobile depuis son origine. Il affirme que l'automobile est l'élément fondateur pour sa croissance et sa prospérité.

Le document indique que le véhicule autonome et connecté présente un potentiel de progrès pour :

- améliorer l'efficacité des automobiles face à la croissance en mobilité,
- améliorer la sécurité routière,
- réduire les émissions polluantes
- rendre l'Allemagne plus compétitive en matière économique et plus attractive pour l'innovation.

Le document fixe trois objectifs :

- rester au premier rang des constructeurs automobiles mondiaux,
- devenir un marché leader pour le véhicule connecté et autonome, c'est-à-dire avec le plus haut pourcentage de véhicules autonomes et connectés
- mettre effectivement des véhicules autonomes et connectés sur les routes : pour cela commencer par le déploiement sur les autoroutes et routes express ainsi que dans les parkings.

Un plan d'actions est défini dans les thématiques suivantes :

- Infrastructure :
 - déployer une couverture universelle d'un réseau à grand débit permettant l'échange de données avec l'infrastructure ;
 - créer des standards pour la route intelligente.
- Législation :
 - faire du lobbying pour modifier la convention de Vienne et les textes des Nations Unies en faveur de la voiture autonome ;
 - modifier la législation nationale ;
 - adapter la formation des conducteurs pour la supervision et la reprise en main ;
 - revoir les procédures d'approbation et de tests ;
 - faire du lobbying pour que les PTI définies avec les constructeurs allemands soient incorporés dans les directives européennes et dans les textes des Nations-Unies.

- Innovation :
 - créer une zone innovante sur l'A9 en Bavière sur laquelle des tests pourraient être conduits par l'industrie et par les instituts de recherche, sur les véhicules autonomes et sur la route connectée (V2V et I2V ;
 - lancer des programmes de recherche traitant en particulier des aspects mobilités, interfaces hommes -machines, validation fonctionnelle, dimension sociale et infrastructure ;
 - subventionner et coordonner la recherche.
- Interconnectivité :
 - mettre dans l'open-source les datas relative à la mobilité et au spatial et faire en sorte que les véhicules aient une information routière en temps réel ;
 - coordonner et interconnecter les signaux routiers ;
 - développer la cartographie de très haute précision.
- La cybersécurité et la protection des données :
 - la standardisation de la cybersécurité au niveau mondial ets a prise en compte dans les lois allemandes ;
 - la protection des données personnelles.

Dans le cadre de son plan d'actions le gouvernement fédéral allemand a présenté un projet de loi le 13 juin 2016 pour modifier la loi sur la circulation routière en vue de favoriser. Cette loi est actuellement en cours d'arbitrage au sein des ministères. Elle a pour objectif de créer une sécurité juridique pour l'usage des systèmes automatisés. Concrètement un automobiliste ne commettrait pas d'infraction s'il se détourne de ses tâches de conduite pourvu qu'il soit vigilant de manière à pouvoir reprendre la conduite, soit après appel par le système automatisé du véhicule, soit en réagissant à des erreurs techniques identifiables du système. Ainsi, la responsabilité pénale du propriétaire du véhicule ne pourrait être recherchée. Par contre sa responsabilité civile en tant que propriétaire du véhicule pourrait toujours l'être comme d'ailleurs celle du constructeur si le produit est défaillant. De plus cette loi rendrait obligatoire l'installation d'enregistreur de données dans le but de pouvoir déterminer si le système automatisé était actif au moment d'un accident.

5 - Australie :

En Australie, la *National Transport Commission* a publié en novembre 2016 un rapport sous le titre « *Regulatory reforms for automated road vehicles – Policy Paper* ». La DGITM en France en a fait, le 13 décembre 2016, le résumé suivant :

« *Le rapport de la Commission des transports australienne a identifié les principales barrières suivantes au développement du véhicule automatisé :*

- *absence de lignes directrices ou de conditions de tests sur routes cohérentes au niveau national,*
- *difficulté à définir qui est en contrôle du véhicule lorsque le conducteur doit superviser le système et reprendre la main sur requête du véhicule,*

- *interprétation caduque du critère de maîtrise appropriée du véhicule par la présence d'une main sur le volant,*
- *absence de cadre réglementaire pour les véhicules sans conducteur à bord,*
- *risque d'inapplicabilité du cadre de responsabilité et du régime d'assurance aux cas de véhicules sans conducteur à bord,*
- *incertitude sur les conditions d'accès aux données du véhicule,*
- *absence de règles de conception, de réception et de contrôle technique applicables aux véhicules automatisés, et notamment à leurs comportements sur route en termes de sécurité.*

Elle recommande des réformes séquencées en trois phases :

Court terme :

- *lignes directrices nationales pour les tests, applicables à tous les niveaux d'automatisation, portant en premier lieu sur les critères d'évaluation des niveaux d'automatisation les plus élevés,*
- *mécanismes de reconnaissance mutuelle entre juridictions territoriales,*
- *revue des cadres réglementaires territoriaux pour s'assurer qu'ils permettent :*
 - *de fixer des exigences appropriées aux tests,*
 - *de s'appliquer aux cas d'usage sans conducteur,*
 - *clarification, dans les règles propres à chaque état, de « qui est maître du véhicule »,*
 - *définition des modalités de contrôle par les forces de l'ordre de la bonne maîtrise du véhicule, adaptées à tous les niveaux d'automatisation,*
 - *maintien du principe que, tant que des règles différentes n'ont pas été produites, le conducteur reste pleinement responsable de la maîtrise du véhicule.*

Moyen terme :

- *élaboration d'un système de contrôle des performances de sécurité des véhicules et de leur gestion des données :*
 - *principes de sécurité, critères,*
 - *modèles et processus opérationnels,*
 - *évaluation des coûts et de la charge administrative,*
 - *gouvernance et financement,*
 - *élargissement de la définition du conducteur vers le concept de « conduite », afin, en priorité, de s'assurer que les véhicules autonomes restent couverts par l'obligation d'assurance pour les dommages aux tiers.*

Long terme :

- *promouvoir le développement de réglementations techniques adaptées à tous les niveaux d'automatisation au sein du WP29.*

La Commission identifie également des points de vigilance ou à creuser :

- *prise en compte des modifications de véhicules et mises à jour logicielles dans le système de contrôle,*
- *définition des responsabilités : a priori, la clarification de la notion de « maîtrise du véhicule » devrait suffire ; veille particulière sur d'éventuelles mises en cause de la responsabilité des gestionnaires routiers,*
- *règles d'utilisation des données du véhicule pour déterminer qui est en situation de contrôle du véhicule,*
- *règles d'utilisation des données du véhicule pour la définition des responsabilités ou fautes,*
- *règles appropriées d'accès et de réutilisation des données du véhicule, pour des usages approuvés, en tenant compte des objectifs de sécurité routière et d'exploitation efficace des réseaux, et des objectifs d'intégrité des systèmes,*
- *protection de la vie privée : a priori, les règles actuelles s'appliquent aux véhicules autonomes ; veille sur le besoin d'éventuellement adapter les règles d'accès par les forces de l'ordre. ».*

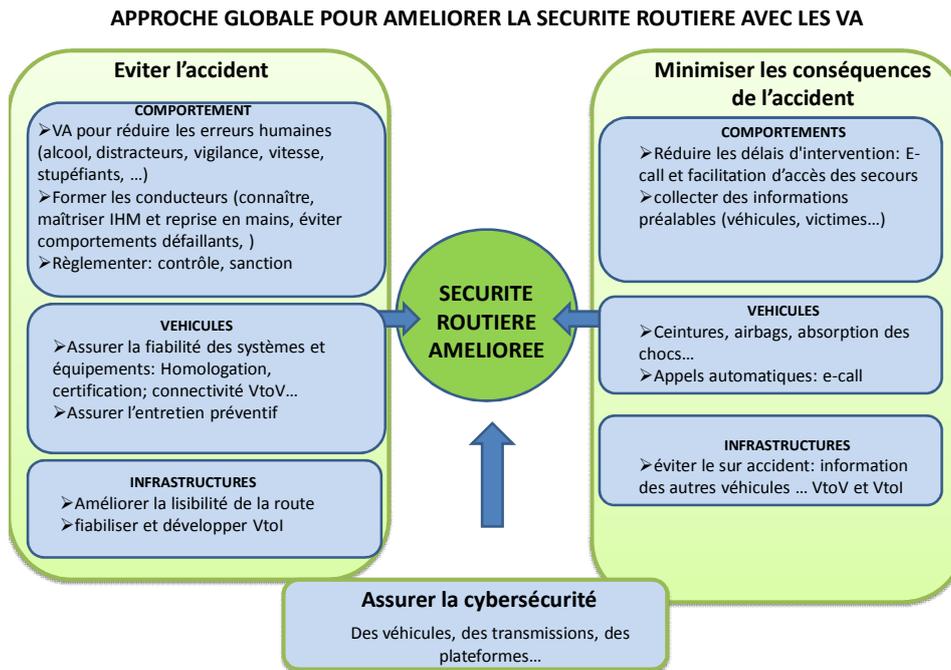
Annexe 8 : Véhicules automatisés et sécurité routière

1 - Durant la longue phase de déploiement des véhicules autonomes, la sécurité routière doit demeurer au cœur de toutes les attentions

1.1 - Un enjeu important qui nécessite une approche globale

Pour les pouvoirs publics, la sécurité routière est le premier enjeu des véhicules autonomes. S'il est démontré ou perçu que ces véhicules améliorent la sécurité routière, leur développement sera encouragé, et il sera rapide. En cas de doute, alors le progrès sera ralenti ou impossible.

Un accident est la conséquence d'un dysfonctionnement du système homme - véhicule - environnement. En France, les analyses démontrent qu'aujourd'hui, l'accidentologie est avant tout liée aux comportements : ils sont en cause dans 90 % des accidents mortels. Pour réduire la mortalité et la morbidité routières, il faut d'abord éviter l'accident et ensuite minimiser ses conséquences lorsqu'il se produit. Il faut donc aujourd'hui agir en trois domaines : la sécurité des véhicules, la qualité des infrastructures et l'adaptation des comportements. Avec le déploiement progressif des véhicules autonomes, il faudra peu à peu adapter la politique de sécurité routière et ses règles. Une approche globale est nécessaire.



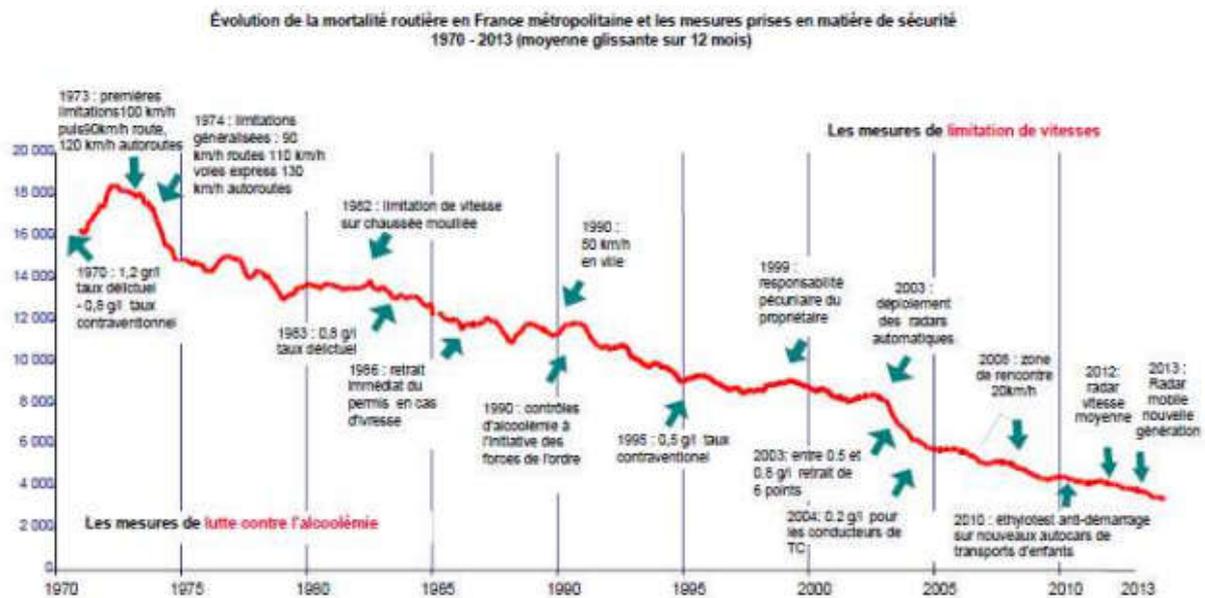
Source : mission IGA-CGEDD

Pour obtenir une amélioration de la sécurité routière il est donc nécessaire d'agir sur plusieurs domaines : Agir sur la fiabilité et la sécurité des équipements des véhicules matériels et logiciels (voir annexe 5) et sur la certification et l'homologation. Il faut agir sur la qualité et la fiabilité des infrastructures. Il faut agir sur la réglementation et il faut agir sur la Cyber sécurité (voir annexe 8).

Les comportements et la formation sont les deux derniers champs d'action. Ils sont traités dans cette annexe.

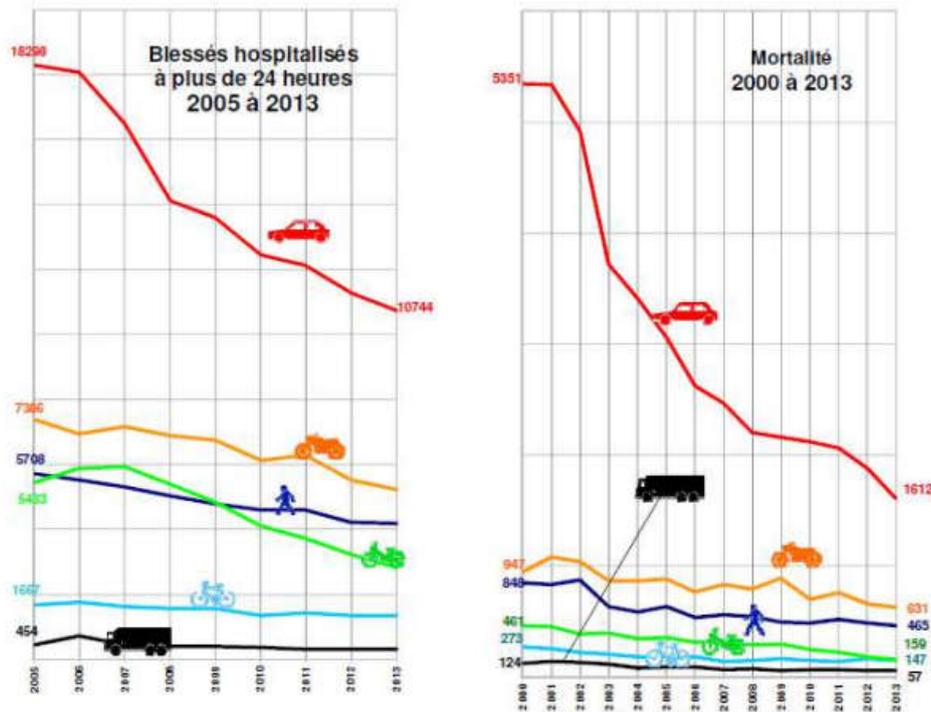
1.2 - Les statistiques de la sécurité routière en France montrent que l'accidentalité est avant tout liée aux comportements

La politique de sécurité routière vise à réduire l'accidentalité routière, le nombre de morts et de blessés sur la route. Elle concerne de nombreux acteurs au sein de l'Etat, les collectivités territoriales, essentiellement départements, communes et agglomérations, ainsi que des acteurs privés comme les assureurs, les constructeurs automobiles et les associations de prévention routière ou de défense des usagers de la route. Cette politique a permis de réduire substantiellement le nombre de morts sur la route. Ce dernier est ainsi passé de 18 000 morts au début des années 70, à 8 000 morts en 2000 et 3 268 morts en 2013. Si l'on prend en compte l'augmentation du trafic durant les dernières décennies, la performance est encore plus remarquable. Ce nombre est reparti à la hausse en 2014 (3 384 morts) et en 2015 (3 461 morts), ces deux années générant le même nombre annuel de blessés graves environ 35 000.



Source ONISR bilan 2013

La réduction du nombre de morts et de blessés ne suit pas la même pente selon que l'on est automobiliste, pilote de deux-roues, piéton ou conducteur de poids lourds.



Source ONISR bilan 2013

Un accident est la conséquence d'un dysfonctionnement du système homme-véhicule-environnement. C'est dans les interactions de ces trois composantes qu'il faut chercher les relations causales menant à l'accident. Cette approche permet de mieux comprendre l'accident et de trouver des actions pour y remédier. Les exploitations des enquêtes RÉAGIR avaient permis d'évaluer dans les années 1990-2000 la part de chacune des composantes dans les accidents graves et mortels et d'en décliner les facteurs principaux. Dans 90 % des accidents, la composante « comportement » était présente. Des mesures d'éducation, de prévention et de répression ont été prises visant à agir sur les comportements susceptibles de générer des accidents.

Quelques éléments statistiques⁶¹ récents montrent qu'il est déterminant d'agir sur les comportements :

- Sur 2013–2015 le poids des facteurs comportementaux (en causes multiples) dans les accidents mortels est de 30,5 % pour l'alcool, 23 % en présence de stupéfiants, 21 % pour non port de la ceinture (pour les automobilistes, 38 % pour les véhicules utilitaires et 36 % pour les poids lourds), 9 % en raison d'un malaise ou de la fatigue ;
- S'agissant des auteurs présumés d'accidents mortels. Les causes relevées (en multifactoriel) sur 18 mois pour (2014–2015) sont : vitesse (32 % des cas), alcool (21 %), non-respect des priorités (13 %), stupéfiants (9 %) dépassement dangereux (4 %), malaise (3 %), somnolence (2 %) contresens (2 %), changement de file (2 %), obstacle sur voie circulée (2 %), non-respect des distances (0 %), inattention (8 %), téléphone (1 %), facteurs véhicule (1 %), autres causes (13 %), cause indéterminée (9 %) ;
- La part de mortalité des 65 ans et plus est passée de 19 % en 2010 à 25 % en 2015 (ils représentent 19 % de la population) ;
- 62,8 % de la mortalité se situent sur les routes hors agglomération, 8,6 % sur les autoroutes et 28,5 % en agglomération ;

⁶¹ Source ONISR et bilan annuel de la DSCR.

- Depuis deux ans les vitesses moyennes pratiquées ont augmenté de 4 km/h sur autoroute, 2 km/h sur les routes à 2 x 2 voies, la tendance semble remonter en ville. 30,5 % des personnes tuées le sont dans un accident dans lequel au moins un conducteur/piétons avait un taux d'alcool supérieur à 0,5 g par litre. 18 % des conducteurs ou piétons impliqués dans un accident mortel ont un taux d'alcool supérieur à 0,5 g par litre.

Cependant on peut penser que l'action des véhicules automatisés ne réduirait pas de 90 % le nombre d'accidents de la route, y compris dans le cas où tous les véhicules légers et les poids lourds seraient automatisés. En effet :

- De ce taux de 90 % il faudrait en effet retirer les véhicules non automatisés qui ont eu des accidents en solo, par exemple pour 2015 (24 morts en vélo, 57 à cyclomoteur, 220 à moto soit 8,7 % des tués).
- Les véhicules automatisés pourraient dans un premier temps équiper des conducteurs plus aisés et plus âgés, or on recense un tué sur cinq dans un accident impliquant un conducteur novice. S'agissant des causes, les causes comportementales (vitesse, alcool, stupéfiants, priorités) sont plus l'apanage des jeunes (93,5 % pour les 18-24 ans) que des tranches d'âge supérieures (58 % pour les 45-64 ans et 42,5 % pour les 65 et plus).
- Les deux-roues motorisés représentent 43 % des blessés graves, 22 % des personnes tuées, 31 % des blessés hospitalisés et moins de 2 % du trafic motorisé. Les 15-29 ans représentent 35 % des blessés graves, 31 % des personnes tuées. 70 % des blessés graves sont des usagers vulnérables (motocyclistes cyclomotoristes cyclistes et piétons).
- Impact de l'état du véhicule : en 2015, 128 personnes tuées (3,7 %) et 650 blessés hospitalisés l'ont été dans un accident dans lequel un véhicule présentait une défaillance technique visible (pneumatiques, éclairage, défektivité mécanique). En 2015, 24,5 millions de contrôles techniques ont été réalisés dont 19,8 millions concernaient les véhicules particuliers et véhicules utilitaires légers, avec 3,6 millions de situations non-conformes, soit 18 %, générant obligation de contre-visite. Les défauts constatés portent sur les pneumatiques pour 39 % et les disques de freins pour 22 %.
- Impact de l'infrastructure : environ 30 % des accidents mortels des usagers de 2RM ont lieu lors de heurts contre des obstacles fixes notamment les glissières métalliques et les arbres. 54 motocyclistes ont été tués alors que leur véhicule a heurté un arbre ou un poteau et 31 une glissière métallique. (13,6 % des tués).

2 - Le lien entre l'automatisation croissante des véhicules et l'amélioration de la sécurité routière reste à démontrer

Plusieurs études étrangères, notamment en Europe et aux États-Unis, ont conclu que l'automatisation automobile améliorerait la sécurité routière. Mais la force et les conditions de cette amélioration n'ont jamais été mesurées. Certes, les *aides à la conduite* réduisent des comportements défaillants : excès de vitesse, état d'ébriété, violation des priorités, usage de smartphone, consommation de stupéfiants, situation de malaise, somnolence, défaut d'entretien... Mais un véhicule autonome introduit une nouvelle complexité: sa sûreté n'est pas la simple somme des sûretés de fonctionnement de chaque composant. La Mission note qu'aucune étude française, adaptée au cas de notre pays, formant une analyse complète, n'a jamais été entreprise ni commandée.

2.1. - Plusieurs études étrangères confortent l'idée d'un lien fort entre les véhicules automatisés et l'accroissement de sécurité

Il est sûr que les aides à la conduite (ADAS) améliorent la sécurité routière. Mais la démonstration de sécurité des véhicules automatisés reste une question difficile.

- Une étude américaine de la NHTSA (juillet 2014)⁶² analyse et résume 79 rapports (dont 65 seraient en relation avec la Commission européenne) ; un seul de ces rapports semble français. Dans la bibliographie de leur présentation, les auteurs ont cité 240 ouvrages ; deux seulement semblent écrits par un Français, une équipe française ou un organisme français.
- Le rapport de novembre 2015 de la Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM) au ministère chargé de l'environnement et des transports⁶³, a donné la liste des 48 rapports analysés par les fonctionnaires de la DGITM : Dans ces 48 rapports, seuls 4 apparaissent avoir été faits par des équipes françaises.
- Les aides à la conduite sont de plus en plus nombreuses et puissantes. Avant même de mesurer l'amélioration de la sécurité apportée par l'autonomie ou la semi-autonomie de conduite, il faut mesurer les améliorations de sécurité permises par ces aides aujourd'hui et demain. Selon l'Institut Vedecom, ces aides préparent rapidement l'avènement du véhicule autonome. Vedecom a conclu de ses études que le véhicule autonome apporterait sans aucun doute de gros avantages au regard de la sécurité.
- Le projet européen PreVAL⁶⁴ était un important projet de recherches sur la sécurité des véhicules routiers. Une synthèse des avantages des systèmes protégeant les véhicules a été présentée en 2006.

Effets les plus probables des fonctions de sécurité sur la mortalité et les blessures avec un taux de pénétration des systèmes dans les flottes routières de 100 %

Fonction de sécurité	Effet sur la mortalité	Effet sur les blessures
APALACI/COMPOSE (systèmes pour prévenir les collisions)	-19,6 %	-14,3 %
INTERSAFE (systèmes pour la conduite sûre dans les intersections)	-0,6 %	-1,5 %
MAPS&ADAS (systèmes d'utilisation et de création des cartes nécessaires à la conduite en sécurité et aux aides à la conduite)	-13,1 %	-8,2 %
SAFELANE (systèmes d'aide au maintien du véhicule dans sa voie)	-13,5 %	-9,5 %
SASPENCE (systèmes de maintien des bonnes vitesses et des bonnes distances de sécurité)	-6,5 %	-3,8 %

Source : Mission IGA-CGEDD

- Une étude de l'Insurance Institute for Highway Safety (IIHS) aux États-Unis, dont les résultats ont été publiés en 2010, a démontré que la sécurité des véhicules les plus récents avait augmenté : « Un accident mortel sur trois et un accident sur cinq ayant entraîné des blessures sérieuses modérées (voitures particulières) pourraient être évités par ces systèmes. 1,9 millions d'accidents pourraient être empêchés ou atténués chaque année pour les véhicules équipés avec quatre

⁶² « Human Factors Evaluation of Level 2 And Level 3 Automated Driving Concepts – Past Research, State of Automation Technology, and Emerging System Concepts » (par T. E. Trimble, Bishop R., J. F. Morgan et M. Blanco).

⁶³ « Véhicule à délégation de conduite et politiques des transports – Synthèse bibliographique »,

⁶⁴ Preventive and Active Safety Applications Integrated Project/ délivrable appelé « IP Deliverable IP_D12/D16.4 Project final report and recommendations for future assessments ». 6^e programme-cadre de l'Union européenne.

systèmes déjà sur le marché [lane departure warning/prevention, forward collision warning/mitigation, side view assist (also known as blind spot detection), and adaptive headlights] : » (in « *New estimates of benefits of crash avoidance on passenger vehicles* » publié le 20 mai 2010). Selon l'IIHS, « si chaque véhicule sur la route était équipé avec « forward collision warning, lane departure warning, blind spot detection and adaptive headlights » presque un tiers de tous les accidents pourraient potentiellement être empêchés ou atténués » (cf. « *They're working – Insurance claims data show which new technologies are preventing crashes* » publié le 3 juillet 2012, qui donne des précisions sur les avantages apportés par les quatre systèmes de sécurité).

- Dans un article le mars 2014, Thierry Fraichard (de l'*Institut national de recherche en informatique et en automatique* (Inria)) a montré qu'en raison de l'impossibilité de prévoir l'évolution de l'environnement d'un véhicule autonome, il ne serait jamais possible d'assurer qu'un système de sécurité rendrait impossible tout accident. D'où cette conclusion : « pour compenser cette dure vérité nous avons préconisé des niveaux plus faibles de sécurité comme une réponse possible à notre question initiale ».
- L'étude de Swiss Re Group et Here sur « *The future of motor insurance* »⁶⁵ achevée en 2016 par Andrea Keller (Swiss Re) et Bernd Fastenrath (Here), montre que dans les quatorze plus grands marchés, les primes auraient augmenté de 510 milliards de dollars en 2015 à 616 milliards en 2020 : mais en réalité, le total ne serait plus que de 594 milliards, en baisse de 22 milliards, en raison de l'amélioration de la sécurité. Et cette tendance se poursuivrait.

Le marché des ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*) va rapidement se développer selon les deux auteurs. La demande des acheteurs devient de plus en plus grande. Et ces ADAS contribueraient fortement à diminuer les accidents de la route⁶⁶, compte tenu de la nature même des causes d'accident ainsi que le montre le tableau ci-dessous qui regarde la situation au Royaume-Uni.

- Les données de l'*Insurance Institute for Highway Safety* (IIHS) et de l'*Highway Loss Data Institute* (HLDI) aux États-Unis ont démontré⁶⁷ en mars 2016 que les dommages diminuent quand les voitures sont équipées de systèmes prévenant les collisions, notamment les freinages automatiques (les résultats dépendent des constructeurs) : « résultats en provenance de 22 états dans la période 2010/2014 : les systèmes d'avertissement collision avant réduisent les percussions arrière de 23 %, et de 40 % s'ils sont associés au freinage d'urgence.
- *The Highway Loss Data Institute* (HLDI) a conduit des études similaires (il a étudié 11 systèmes de prévention d'accidents par l'avant, de six fabricants) les taux de réclamation pour ces véhicules sont inférieurs à la moyenne d'environ 10 à 15 %, mais en incluant toutes les configurations d'accident) ».
- S'agissant des voitures connectées les unes aux autres (V2V), l'IIHS a ajouté : une étude pilote en 2013 à Ann Arbor (Michigan) a montré que les technologies de véhicules connectés (2 800 véhicules et 29 infrastructures routières) entre eux réduiraient les dégâts et les blessures. Le programme

⁶⁵ « *The future of motor insurance - How car connectivity and ADAS are impacting the market* ».

⁶⁶ Dans un rapport intitulé « *Position paper regarding parking and manoeuvring accidents* » du 2 juin 2015, le RCAR (*Research Council for Automobile Repairs*), après une analyse des statistiques de compagnies d'assurances en Allemagne, en Australie, en Corée du Sud, aux États-Unis, au Japon, au Royaume-Uni et en Suède, a conclu à l'importance des accidents (entre 10 % et 30 % des dommages) dus aux stationnements et aux manœuvres à faible vitesse, surtout en reculant, surtout aussi en sortant d'une place de parking. Trois études faites par AZT (Allemagne), Folksam (Suède) et HLDI (États-Unis) ont donné des résultats différents quant aux avantages des capteurs pour aider aux manœuvres : il y en a qui diminuent le nombre des accidents, d'autres sont sans effet, d'autres encore apparaissent l'augmenter.

⁶⁷ Cf. résultats de l'étude appelée « *Crash avoidance technologies* », publiés en mars 2016 sur le site Internet des deux instituts américains.

américain de recherches appelé « *Connected Vehicle Safety Pilot*⁶⁸ », a donné lieu à un rapport final publié en septembre 2015.

- Le Parlement européen a publié en 2016 un rapport intitulé « *Research for TRAN Committee - Self-piloted cars : the future of road transport ?* », rédigé par la société *Steer Davies Gleave* pour le Comité du transport et du tourisme dudit Parlement européen. « *Tandis que les effets de sécurité de certains de ces systèmes sont palpables, par exemple des systèmes antiblocages (ABS) dans les voitures, dans d'autres cas il n'y a aucune preuve claire d'amélioration de la sécurité... Au Royaume-Uni à Thatcham le centre de recherches de réparations d'assurance automobile britannique a montré que les ADAS apportent une contribution significative pour réduire le nombre et la gravité des accidents. Exemple le freinage d'urgence (AEB) qui équipe les véhicules courants depuis 2008 a conduit à une réduction d'un tiers des accidents et de 15 % des blessés... L'association des assureurs britanniques s'attend à ce que l'introduction de véhicules connectés autonomes sauve plus de 2 500 vies et empêche plus de 25 000 accidents graves au royaume uni avant 2030. Cependant la sécurité effective, efficace, des systèmes automatisés doit encore être démontrée. C'est le cas notamment par mauvaises conditions météorologiques ou des conditions de visibilité et d'infrastructures complexes. Cela passe par des expérimentations et des tests afin de s'assurer que ces véhicules peuvent sans risque interagir avec d'autres usagers de la route. Un autre défi est de voir comment les véhicules autonomes réagissent dans un environnement d'utilisation mixte. La technologie devrait s'adapter au recours progressif à l'automatisation de véhicules dans la flotte circulante.* ».
- La *National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)* aux États-Unis (cf. *Office of Crash Avoidance Research Technical Publications*), qui dépend de l'*U.S. Department of Transportation*, a publié de nombreuses études apportant des faits et arguments sur l'augmentation de la sécurité des véhicules automatisés ou connectés. Ainsi cinq études ont été publiées en 2016 et 11 en 2015.

Selon la DSCR, « Il n'existe pas d'étude sur la mesure de l'amélioration générale de la sécurité routière qui serait apportée par les véhicules autonomes. ». La mission a constaté ce manque surprenant, sur le terrain et dans la documentation, alors qu'à l'étranger plusieurs études ont déjà été conduites.

Selon Hélène Tategrain (LESCOT IFSTTAR Bron), nous n'avons pas de données assez fines en accidentologie pour affirmer un lien entre le véhicule automatisé ou les ADAS et la baisse proportionnelle de la sécurité. De plus il y aura de nouvelles situations qui ne sont pas critiques aujourd'hui.

Des études sont indispensables pour étayer ce que nous ressentons intuitivement à savoir l'amélioration de la sécurité routière grâce aux véhicules automatisés. Il est tout aussi important que ces études soient adaptées à la typologie de l'accidentologie de notre pays et à sa culture.

En outre aucune commission du conseil national de sécurité routière (CNSR) ne traite aujourd'hui en profondeur de la problématique des véhicules connectés et automatisés. Cette veille de « sécurité routière » est nécessaire, pour anticiper, faire de la prospective et des propositions.

2.2. - Des innovations qui pourraient avoir un effet significatif sur la baisse de l'accidentalité

Il semble de bon sens que les véhicules automatisés auront un effet positif sur la baisse de l'accidentalité telle que nous la connaissons aujourd'hui. En effet ils ne conduiront jamais ivres, ni sous l'emprise de stupéfiants, ils ne sont pas sensibles aux distracteurs. Ils ne se fatiguent pas, ils restent vigilants et leur temps de réaction est plus rapide que celui des humains. Ils voient à 360°, sans angles morts. Ils apportent enfin des informations au conducteur sur son propre état, ainsi que sur celui du véhicule.

⁶⁸ Piloté par le *Volpe National Transportation Systems Center* (U. S. Department of Transportation, Intelligent Transportation Systems Joint Program Office), rapport: « *Safety Pilot Model Deployment – Lessons Learned and Recommendations for Future Connected Vehicle Activities* ».

- D'après une étude CETELEM en 2016 : « Pour agir sur la sécurité routière, la pratique de l'éco-conduite a prouvé son efficacité : ainsi, les données émanant d'entreprises dont les salariés ont fait l'objet de formations spécifiques, traduisent une baisse significative des accidents, de l'ordre de 15 %. Avec la voiture connectée, c'est en permanence que le conducteur peut recevoir des informations sur son comportement de conduite et plus précisément sur le caractère risqué de ses actions. Plus généralement, les modules de contrôle de l'aptitude du conducteur à prendre le volant se développent à bord des véhicules⁶⁹. Abus d'alcool, consommation de stupéfiants, somnolence (26 % des tués sur autoroute par exemple, soit 78 personnes en 2015)... : les nouvelles générations d'équipements embarqués permettront d'alerter le conducteur de son état avant qu'il ne prenne la route, voire même de bloquer son véhicule en cas de comportement inadapté et d'alerter les autres usagers de la route. Par ailleurs, le déclenchement des secours constitue une étape décisive en déterminant une partie du bilan traumatique. Obligatoire à partir d'avril 2018 pour toutes les voitures neuves commercialisées dans l'Union européenne, l'aide d'urgence géolocalisée, connue sous le nom d'e-Call, est conçue pour se déclencher en cas de choc et lancer immédiatement et automatiquement une notification à un centre de secours, quel que soit l'état de choc du ou des passagers. Anticiper les défaillances du véhicule avec la maintenance préventive : Entretien et sécurité vont de pair : un véhicule bien entretenu limite en effet les risques de panne, voire d'accident, car il réagit mieux dans les situations difficiles. Avec le véhicule connecté, la maintenance curative laisse place à la maintenance préventive en garantissant un échange permanent et direct entre le véhicule et le constructeur ou le garage chargé de son entretien. Les données relatives à la sécurité et à l'usure des pièces sont ainsi remontées automatiquement, permettant la réparation du véhicule à distance, ou a minima l'information du conducteur d'un éventuel entretien à effectuer pour éviter toute panne ».
- On pourrait encore ajouter aux avantages l'assistance aux conducteurs qui ne seraient plus guère en état de conduire. Le 26 juillet 2016, Joshua Neally, circulant vers le sud dans sa Tesla Model X en mode autonome sur autoroute entre son bureau et sa demeure, fut soudainement pris, cinq milles avant d'arriver d'intenses douleurs, qui se révélèrent être les effets d'une dangereuse embolie pulmonaire. Malgré la souffrance qui l'empêchait de conduire convenablement il choisit de rouler en mode autonome jusqu'à un hôpital à 20 milles. Après une sortie faite en mode manuel, il put arrêter sa voiture, et se présenter sans délai aux urgences. Les médecins lui dirent plus tard qu'il avait de la chance d'être encore vivant.
- Le LAVIA, (limiteur s'adaptant à la vitesse autorisée) qui empêche de dépasser la vitesse limitée sur la portion sur laquelle le véhicule roule. Ce système existe aujourd'hui sur un modèle de Ford. Certaines associations souhaitent le rendre obligatoire⁷⁰. Une cartographie précise et à jour des vitesses autorisées surtout les tronçons de circulation est indispensable à son fonctionnement, ainsi qu'une harmonisation des vitesses sur les parcours linéaires⁷¹. La DSCR annonce que cette cartographie nationale sera établie sous deux ans. En conséquence, dans le cadre d'une politique de sécurité routière forte, est-il concevable et cohérent, à partir du niveau trois, de ne pas équiper les véhicules qui sortent, d'un LAVIA obligatoire⁷² ? Cet outil pourrait éventuellement être débrayable, sous certaines conditions, pour garder de la réserve de puissance dans une situation dangereuse.
- L'EAD (Éthylotest anti démarrage). Le contrôle de l'alcoolémie par éthylotest au démarrage est envisageable pour les récidivistes comme le mentionnait le rapport sur l'évaluation de la politique publique de sécurité routière (juillet 2014) : « La généralisation de l'immobilisation du véhicule ou

⁶⁹ La Supervision de l'attention du conducteur se discute actuellement au WP29.

⁷⁰ Ligue contre la violence routière.

⁷¹ Lors de la mission sur l'évaluation de la politique publique de sécurité routière en 2014, 35,5 % des préfetures avaient répondu qu'elles constataient un problème de lisibilité des vitesses sur les réseaux.

⁷² Selon Stéphanie Bordel (CEREMA) au début les participants à une étude d'acceptabilité sur le LAVIA étaient réfractaires, puis il est devenu plus acceptable depuis le contrôle sanction automatisé, selon la logique « J'accepte de perdre du contrôle car je suis gagnant ».

l'obligation d'éthylotest anti-démarrage diminuerait le risque de récurrence. Pour les délits les plus graves, l'immobilisation, voire la confiscation du véhicule, ainsi qu'en matière d'alcoolémie en récurrence, l'obligation d'installation d'un EAD serait plus efficace que le retrait de permis de conduire. Ces mesures éviteraient aux forces de l'ordre d'avoir à relever à répétition des infractions concernant les mêmes délinquants, ce qui est assez démobilisateur. En 2011, en Europe, l'alcool est impliqué chaque année dans 25 à 30 % des accidents mortels ; hors accident, 2 % des conducteurs sont contrôlés avec un taux d'alcool supérieur au taux légal.

À l'évidence les véhicules automatisés pourraient à terme, réduire considérablement l'accidentologie routière. Néanmoins l'intégration progressive de véhicules automatisés dans la circulation routière amènera de nouveaux cas d'usage, de nouveaux comportements et vraisemblablement de nouvelles situations accidentogènes.

3 - Le déploiement des véhicules autonomes fera courir de nouveaux risques qu'il faut vite connaître et maîtriser

Plusieurs accidents mettant en cause la responsabilité des véhicules autonomes ont déjà été étudiés (Google Car et Tesla). Les accidents mortels d'une Tesla en janvier 2016 en Chine (province du Hebei) et d'un autre Tesla le 7 mai 2016 aux États-Unis (en Floride) sont les plus inquiétants ; ils montrent à tout le moins les dangers du niveau 3. L'analyse des causes établies et probables fait apparaître une nouvelle accidentologie.

Les nouveaux types de danger se rapportent d'abord à la longue période de cohabitation prévisible entre les véhicules autonomes et les autres. Ils pourraient résulter aussi des défaillances des systèmes techniques : *bugs*, usure, conditions d'utilisation, robustesse, fiabilité, lisibilité de la route, conditions météo...

Les risques pourront aussi découler de l'émergence de comportements accidentogènes nouveaux : excès de confiance du conducteur (et donc, par exemple, dépassement du taux d'alcoolémie), multiplication de situations dégradées, non vigilance au niveau 3 ou 4, mauvaise posture dans le véhicule, etc.

La reprise en main du véhicule par le conducteur, lorsque le système le demande par une alerte (au niveau 3 ou 4), et la mise en sécurité du véhicule si le conducteur ne répond pas à l'injonction, sont actuellement les deux questions les plus difficiles à dénouer par les industriels. La reprise en main se heurte à des problèmes neurologiques et psychologiques. Les temps minimaux de reprise en main sont différents selon les études, mais un consensus pour un temps de 10 secondes semble se dégager⁷³. Gardons bien à l'esprit néanmoins qu'un tel délai peut être très long à vitesse élevée, pour ce qui concerne le niveau 3 ou le niveau 4⁷⁴.

3.1. - Des accidents déjà répertoriés

Le premier accident de la Google Car a eu lieu le 14 février 2016. Circulant sur la voie de droite d'un grand boulevard, la voiture autonome a détecté la présence d'un obstacle sur sa voie (en travaux), ce qui l'a forcée à se rabattre sur la file de gauche. Cependant un bus était, à cet instant, légèrement en retrait sur la file de gauche. La Google Car a bien détecté la présence de ce bus mais s'est engagée sur la voie en pensant (à tort) que ce dernier ralentirait ou s'arrêterait pour la laisser passer. L'aile avant gauche de la voiture est

⁷³ Comme il a été dit précédemment à propos notamment des études de l'IFSTTAR, les temps de réaction vont de 2 à 40 secondes. Le temps de 2 secondes est le délai entre le début de l'alerte et le placement des mains et des pieds sur les leviers de conduite, selon un rapport publié en août 2015 par la NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration aux États-Unis). Le temps de 5 secondes est retenu dans la thèse de William Payre en 2015 (avec IFSTTAR). Le temps de 40 secondes est mentionné dans une étude de l'Université de Leeds publiée en novembre 2014 : elle a démontré qu'il faut ce long délai pour que la conduite redevienne tout à fait normale et stable (sans petits coups de volant à droite ou à gauche, sans regard erratique).

⁷⁴ Pour Julien CESTAC (IFSTTAR) et Stéphanie BORDEL (CEREMA), les niveaux 3 et 4 resteront toujours dangereux.

venue percuter le côté droit du bus. Tout l'intérêt de cet incident réside dans le fait que l'algorithme de Google ait essayé d'anticiper et surtout de prendre en compte un comportement humain. On peut penser que si l'algorithme avait été moins évolué, il se serait simplement contenté d'arrêter la voiture et d'attendre une meilleure opportunité pour s'insérer sur le boulevard. Il ne n'agit pas en effet d'une erreur de détection (les capteurs de la voiture ont bien enregistré la position et la vitesse du bus concerné) mais d'interprétation. Ce comportement s'ancre dans la logique de Google, qui essaye de doter ses prototypes autonomes d'une conduite plus « humaine » (par exemple sur la trajectoire qu'empruntent les Google Car lors des virages).

Le premier accident mortel d'une Tesla Model S avec Autopilot est survenu le 7 mai 2016 sur la grande route à chaussées séparées en Floride (États-Unis). Il a tué son conducteur⁷⁵ sur le coup. La Tesla était alors en mode autonome : le système Autopilot était enclenché. Ni le conducteur ni le système n'avaient détecté la présence d'un camion avec semi-remorque⁷⁶ au flanc de couleur blanche qui traversait la route devant un ciel particulièrement brillant. La visibilité était alors excellente, la luminosité du ciel mise à part ; il ne pleuvait pas ; la route est très droite en ce lieu. Le conducteur de la Tesla roulait avec le soleil dans le dos. Selon le rapport préliminaire du *National Transportation Safety Board* (NTSB), la voiture en mode autonome roulait à 74 milles à l'heure juste avant l'impact, bien au-dessus de la vitesse maximale qui était autorisée sur cette portion de route (65 milles à l'heure). La société Tesla a précisé que c'était le premier accident mortel de ce modèle de voiture avec Autopilot en 130 millions de milles. Dans son communiqué du 30 juin 2016 à propos de ce qu'elle a appelé « *A Tragic Loss* », la société Tesla a rappelé le fonctionnement de son système Autopilot : « *un système en phase beta qui nécessite que le conducteur garde ses mains sur le volant tout le temps et qu'il garde le contrôle et la responsabilité de son véhicule, même si l'auto pilote est engagé le conducteur doit être prêt à prendre la main à n'importe quel moment. Le système vérifie régulièrement que les mains du pilote sont sur le volant et l'alerte si ce n'est pas le cas (visuel et auditif). Il ralentit progressivement jusqu'à ce que les mains soient à nouveau détectées.* ».

Selon les calculs du Dr Alexander Hars, l'auteur, le camion a commencé son dangereux tourne-à-gauche dix secondes avant l'accident, un délai suffisant pour permettre normalement au conducteur de la Tesla (alors à 280 mètres environ) de déceler le début de la manœuvre. Six secondes avec l'accident, il était évident pour tout conducteur attentif, que le camion commençait à traverser la route et qu'il ne s'arrêterait pas avant de l'avoir entièrement traversée ; trois secondes avant l'accident, il était trop tard pour que la Tesla freine et pare au choc. Pour que l'accident fût évité, sachant que l'Autopilot de la Tesla ne fonctionnait pas, il eût fallu que le conducteur réagisse entre la sixième et la troisième seconde avant l'impact. La conclusion de l'analyse faite par le Dr Hars est catégorique : parce qu'il avait sans doute relâché son attention⁷⁷ depuis quelque temps, parce qu'il avait confiance dans l'Autopilot (dont il louait les qualités dans les vidéos qu'il publiait sur YouTube mais dont il avait néanmoins mesuré les limites⁷⁸), le conducteur Joshua Brown n'aurait jamais pu freiner à temps. Le directeur général de Tesla (Elon Musk) a affirmé le 30 juin 2016 « *le radar a pris la remorque (haute sur ses roues) pour un panneau de signalisation routière surplombant la route.* ». En outre le freinage automatique d'urgence ne s'est pas déclenché.

⁷⁵ Fier de sa Tesla Model S (qu'il avait nommée Tessa), féru de nouvelles technologies, Joshua Brown publiait des vidéos de ses conduites au volant sur la chaîne YouTube qu'il avait créée. Âgé de 40 ans, après avoir servi durant plus de onze ans dans la marine (US Navy), il avait créé une entreprise dans les services Internet (Nexu Innovations) à Stow dans l'Ohio.

⁷⁶ C'était « *a 2014 Freightliner Cascadia truck-tractor in combination with a 53-foot semitrailer* » (extrait de l'*Executive Summary* du rapport préliminaire du *National Transportation Safety Board* daté le 26 juillet 2016). La semi-remorque, sous laquelle est passée la Tesla, ne subit que très peu de dommages.

⁷⁷ Le conducteur du camion (Frank Baressi) a déclaré que le conducteur de la Tesla regardait un film de Harry Potter au moment de l'accident. Le film passait encore sur l'écran après l'immobilisation de la voiture, selon F. Baressi. Mais la société Tesla a précisé qu'il était impossible de regarder un film sur l'écran embarqué de la voiture.

⁷⁸ Dans un des commentaires ayant accompagné l'une de ses vidéos publiées sur YouTube, Joshua Brown, le propriétaire de la Tesla Model S, expliquait en effet : « *A bigger danger at this stage of the development is getting someone too comfortable. You really do need to be paying attention at this point. This is early in the development and the human should be ready to intervene if [the Autopilot] can't do something. I talked in one of the other comments about the blind spots of the current hardware. There are some situations it doesn't do well in which is okay. It's not an autonomous car and they are learning HUGE amounts of data about the car doing the driving. I'm happy to help train it. I'm VERY curious what version 2 of the hardware will be like and what [it] will enable.* ».

Un autre accident, sans dommages autres que matériels, a eu lieu sur le périphérique de Pékin le 2 août 2016. Il confirme les dangers de l'Autopilot de Tesla. Dans ce cas une voiture est arrêtée sur la partie gauche d'une route à grande circulation. La Tesla dépassa par la droite. L'Autopilot de la Tesla était alors enclenché. Mais la Tesla ne se déporta pas suffisamment à droite. Avec fracas, le flanc gauche de la Tesla glissa sur le flanc droit de la Santana arrêtée ; le conducteur arrêta manuellement sa Tesla un peu plus loin sur la même file (file de gauche) de l'autoroute. Le conducteur chinois a précisé plus tard que lors de l'accident, il n'avait pas les mains sur le volant, et qu'il était occupé à son smartphone. Le conducteur a fait valoir que sa Tesla lui avait été vendue comme un véhicule capable d'autonomie), et que la société Tesla dupait donc tous ses clients en Chine⁷⁹.



La voiture Tesla Model S juste une fraction de seconde avant l'accident survenu en janvier 2016 dans la province du Hebei en Chine

(source : photographie extraite d'une vidéo prise dans la voiture et publiée par le média CCTV)

À Ratzeburg en Allemagne le 28 septembre 2016, une voiture Tesla Model S, après un dépassement tandis qu'elle revenait dans son couloir, a heurté l'arrière d'un autobus de tourisme du Danemark. Les circonstances précises ne sont pas connues. La voiture circulait en mode autonome avec l'Autopilot. Selon le magazine *Der Spiegel*, le rapport interne du ministère allemand, blâme plusieurs défauts de l'Autopilot de la Tesla, notamment parce que le conducteur n'est pas prévenu par le système de pilotage automatique lorsque le véhicule se trouve dans une situation que le système ne peut résoudre, parce que les capteurs ne détectent pas assez loin lors des dépassements, parce que le freinage automatique d'urgence ne fonctionne pas convenablement.

La réception légale en Europe de la voiture Tesla Model S a été faite par les autorités des Pays-Bas.

Ces accidents montrent que la route est encore longue pour obtenir une sécurité acceptable en toutes circonstances. On y note différentes causes :

- un algorithme trop évolué interprétant une situation (Google) ;
- une sur confiance des conducteurs notamment au niveau 2 et 3 qui lâchent le volant des mains et s'occupent à autre chose que la supervision de la conduite ;

⁷⁹ Cet accident ressemble beaucoup à celui qui était survenu le 19 mai 2016 sur une autoroute de Suisse. Une Tesla Model S sous Autopilot avait percuté l'arrière d'une camionnette garée, comme la Santana ci-dessus, contre le bord gauche de l'autoroute. Cet accident n'avait causé que des dommages matériels à l'avant de la Tesla. Selon les déclarations du conducteur suisse : (1) l'ADAS contrôlant la croisière n'avait pas commandé un freinage, (2) le freinage automatique d'urgence ne s'était pas déclenché, (3) l'alarme prévenant de la collision imminente s'était déclenchée bien trop tard, (4) l'ADAS contrôlant la croisière avait augmenté la vitesse de la Tesla juste avant que son conducteur n'appuie sur la pédale de frein.

- une confusion dans l'esprit des conducteurs entre le niveau 2 et le niveau 3 ;
- un problème de fiabilité des équipements : les capteurs par exemple ;
- la conception logicielle ne prenant pas encore en compte tous les cas d'usage.

3.2. - Un premier retour d'expérience des expérimentations

De nombreuses expérimentations ont été conduites dans le monde. Le retour expérience de ces expérimentations permet une première analyse en matière d'accidentologie (ce point est traité en annexe 6).

3.3. - Cohabitation véhicules automatisés et véhicules non automatisés

Dans un premier temps, il y aura une phase de transition durant laquelle devront coexister véhicules autonomes et véhicules pilotés par l'humain. Une phase de transition qui ne sera pas sans danger car le véhicule 100 % autonome sera bien en peine de prédire tous les comportements parfois aléatoires, soudains et potentiellement dangereux des automobilistes.

Les conducteurs de voitures conventionnelles sont affrontés avec des voitures qui réagissent différemment aux manœuvres. Cela pourrait aboutir à des situations potentiellement dangereuses : par exemple, le contact d'œil pendant une manœuvre n'est pas possible, rendant plus difficile de prévoir la réaction de l'autre voiture.

3.4. - Le véhicule automatisé induira des comportements nouveaux, et des situations nouvelles

D'après Stéphanie Bordel⁸⁰, il y a plusieurs freins au développement des ADAS : l'image que s'en font les gens (le bon conducteur est *celui qui garde la main* / Le conducteur n'accepte de lâcher une partie de son pouvoir de conduire que s'il reçoit une bonne contrepartie). L'optimisme comparatif est aussi un sérieux obstacle. Un autre trait de l'être humain qui fait problème est *l'homéostasie du risque*. Ces points sont développés dans l'annexe 12.

De nouveaux comportements défaillants pourraient apparaître.

Certains ont déjà été constatés. Par exemple des vidéos de conducteur de TESLA, à 180 km/h qui changent de siège ont déjà été vues sur YouTube... lors de l'accident du 7 mai 2016 le conducteur de la Tesla était totalement occupé à autre chose et à une vitesse bien supérieure à la vitesse autorisée. Lors de sa thèse William Payre⁸¹ a été surpris par la première réaction du panel lors de sa première étude: « *chouette on va pouvoir conduire bourrés* » (52 % sont favorables pour l'utilisation de véhicules automatisés et 75 % en cas de condition physique dégradée ; après avoir essayé l'acceptabilité monte à 62 %.). Dans sa deuxième étude sur le temps de réponse pour la reprise en main du véhicule : *ceux qui sont sur confiants et pas entraînés sont plus lents que ceux qui n'ont pas été entraînés*. En outre, selon une récente étude sur le réseau autoroutier, 40 % des 25-35 ans envoient des SMS ou des mails en conduisant. Et plus de la moitié des conducteurs affirment passer des coups de fils au volant.

La position des conducteurs dans la voiture, au niveau 4 par exemple, lorsqu'ils seront occupés à d'autres activités que la conduite peut être très dangereuse. En effet les dispositifs de sécurité, airbag, ceinture de

⁸⁰ Docteur en psychologue au Cerema, Stéphanie Bordel a travaillé depuis vingt ans à ce sujet, en particulier dans le cadre du projet Archos sur les premières automatisations (régulateurs de vitesse, etc.), du projet SARI (*Surveillance automatisée des routes pour l'information des conducteurs et gestionnaires*) et du projet SCOOP@F (liaisons I2V). Elle est présidente du GIS-ITS (*Groupe d'intérêt scientifique sur les systèmes de transport intelligents*, associant notamment l'Université Rennes 1, l'Université Rennes 2 et l'*Institut national des sciences appliquées* de Rennes ou INSA de Rennes).

⁸¹ (2012 2015) trois études dont deux en collaboration avec le LEPSIS. Facteurs clés : acceptabilité/confiance/apprentissage.

sécurité sont adaptées à une position face à la route. En cas de choc dans une position différente les traumatismes pourraient être bien plus importants. Le LBMC laboratoire de biomécanique des chocs de l'IFSTTAR (Bron) travaille sur l'impact des chocs sur le corps humain⁸². Il préconise : « *quel que soit le niveau il faut exiger dans le code de la route, que l'on soit ceinturé et bien positionné (postures).* ».

Enfin dans un système de flottes de véhicules partagés, il est probable qu'il y ait plus de personnes dans chaque véhicule. Ce qui signifie potentiellement une aggravation du risque. De plus il devrait y avoir une augmentation de la circulation donc une augmentation de la fréquence et de l'occurrence du risque.

3.5. - La difficile question de la reprise en main du véhicule par le conducteur

Dans certaines situations le véhicule alerte le conducteur et lui rend la main. Ces situations posent des problèmes inédits. Elles sont traitées à l'annexe 4.

Le déploiement commercial des véhicules autonomes réclame de ne pas relâcher l'attention sur l'effort de prévention et de répression routières engagé depuis plusieurs années. Il faut que l'amélioration de sécurité qu'ils peuvent apporter soit très nettement supérieure en toutes circonstances aux nouveaux risques qu'ils engendreront.

4. - Les conducteurs devront être mieux formés et renseignés sur la conduite déléguée des véhicules autonomes

4.1. - Les conducteurs devront apprendre une nouvelle manière de conduire

Les véhicules autonomes nécessiteront un apprentissage spécifique, car les automatismes réclament des aptitudes nouvelles. D'abord au niveau du maniement du véhicule et du déclenchement des automatismes pour contrôler la vitesse, la direction, la position. Ensuite pour la maîtrise des situations de circulation, en s'adaptant aux exigences concrètes. En troisième lieu au niveau du contexte social et des objectifs de la conduite automobile pour le conducteur. Enfin, au niveau de l'importance de la conduite automobile dans le projet de vie du conducteur⁸³.

La conduite est une tâche que chacun exécute à son rythme. Ce que le conducteur est disposé à faire (attitudes et motivations) est tout aussi important que ce que le conducteur doit faire (facteurs de performance)⁸⁴.

Dans un premier temps, les véhicules autonomes et les véhicules non autonomes cohabiteront. Les véhicules de haut de gamme (*premium*) sont déjà équipés de nombreuses aides à la conduite (ADAS). L'investissement pour acquérir des véhicules autonomes étant lourd, il est probable que peu de jeunes conducteurs soient amenés à en conduire si ce n'est dans le cadre familial.

Les véhicules autonomes introduisent un double paradoxe. D'abord celui de l'aptitude : les conducteurs conduiront de moins en moins, et donc auront de moins en moins d'expérience et de compétences de conduite. Mais le véhicule demandera au conducteur de reprendre la main à des moments difficiles, voire dans l'urgence. Ensuite celui du confort relatif : les véhicules ne permettront pas de faire tout ce qu'on veut à tout stade de leur automatisation. Il faut rester à sa place, vigilant, et posséder sa pleine intégrité physique et psychologique jusqu'au niveau 4.

⁸² David Mitton laboratoire de biomécanique des chocs. Deux thématiques : le mouvement et le choc. Projet mondial sur les chocs sur corps humain. Dissiper l'énergie pour améliorer la protection.

⁸³ Ces quatre aspects sont les piliers de la matrice GDE (*Goals for Driver Education*) qui a été conçue dans le cadre du projet GADGET (2002) de l'Union européenne et qui est utilisée pour l'apprentissage de la conduite dans de nombreux pays européens. (voir les détails en annexe X).

⁸⁴ Recherches en psychologie de la circulation de Rothengatter (1997).

4.2. - La formation et l'information sur la délégation de conduite devront être obligatoires

Ce contexte et ses contraintes imposent une approche globale d'éducation à la sécurité routière. L'éducation à la sécurité routière (SR), au sens large, peut être définie par ses finalités⁸⁵ :

- promouvoir la connaissance et la compréhension des règles et des conditions de la circulation ;
- améliorer les aptitudes par la formation et l'expérience ;
- stimuler ou modifier les attitudes par la prise de conscience des risques ;
- modifier les comportements tels que, par exemple, la conduite sous l'influence de l'alcool ou la pratique de vitesses trop élevées ;
- former les conducteurs, les diagnostiquer (détecter les personnes susceptibles de faire preuve d'un comportement dangereux) et accompagner la restauration de l'aptitude à conduire.

Elle s'adresse évidemment aux plus jeunes, mais l'éducation c'est aussi la capacité à comprendre, à faire et à se comporter ; elle est donc présente à toutes les étapes de changement dans la vie de l'utilisateur.

L'éducation routière permet d'adopter la conduite adaptée en tant qu'utilisateur de la route, mais elle modifie aussi le rapport à la règle : elle permet d'appliquer la règle parce qu'elle est comprise, plus que parce qu'elle est crainte. En cela elle est aussi centrale pour l'acceptabilité et pour rendre chacun porteur du message de sécurité routière.

Elle s'inscrit dans le temps long, ce qui la rend difficile à mettre en place, les objectifs de sécurité routière s'inscrivant souvent dans un terme proche.

Mais elle permet d'ancrer les étapes de progrès dans la durée et d'éviter les retours en arrière par une évolution progressive des mentalités et de la compréhension des enjeux de la sécurité routière.

Elle peut être présentée en quatre volets :

- le continuum éducatif au sein des établissements scolaires ;
- l'apprentissage de la conduite et la réhabilitation ;
- la prévention et la formation en milieu professionnel ;
- les actions de « prévention », et de communication.

a) Il faut transmettre dès aujourd'hui les connaissances utiles sur les véhicules autonomes dans le continuum éducatif, de l'école primaire au lycée.

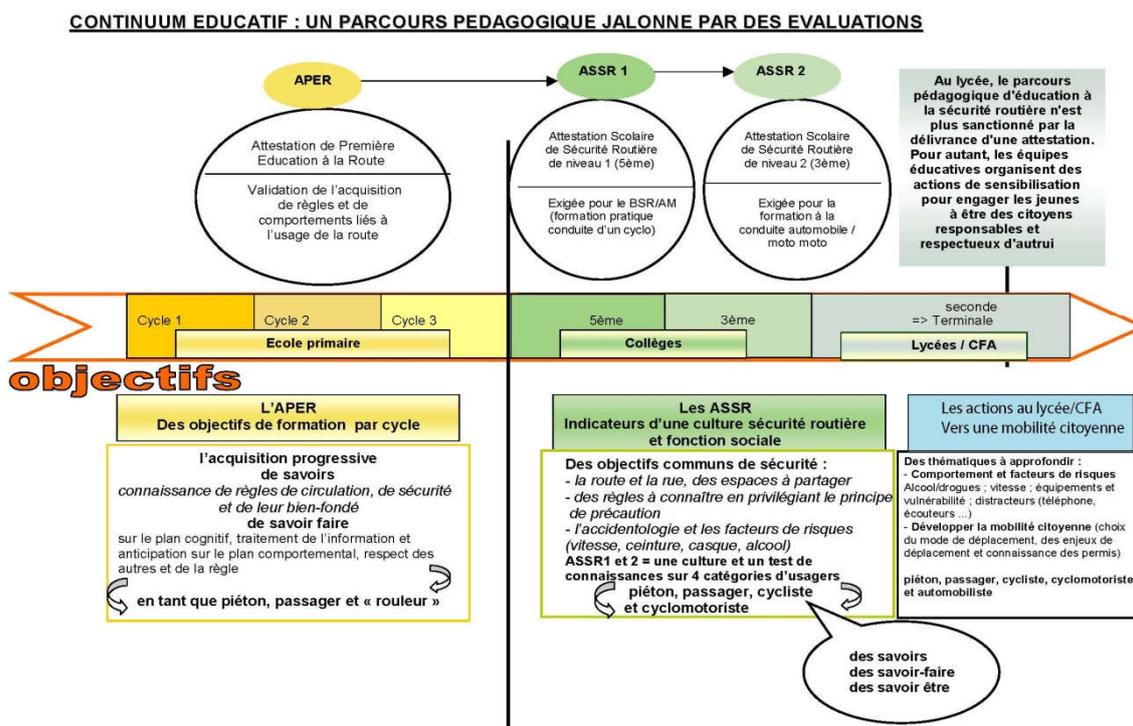
Le continuum éducatif concerne 12 millions d'élèves et débute à l'école primaire puis s'achève, en principe, à la fin du lycée. Il débouche sur les catégories des 18/24 ans et des conducteurs novices dont les statistiques montrent l'importance en termes de sécurité routière. Il concerne les 50 000 écoles, de 5 000 collèges, et des 2 800 lycées.

L'ensemble du continuum est mis en œuvre au travers de plusieurs moyens et outils, à disposition des enseignants⁸⁶, notamment des réseaux de relais dans chaque département et établissements, un portail

⁸⁵ Guide « suprême » de la Commission européenne (meilleures pratiques en matière de sécurité routière).

Internet spécialisé, des partenariats avec la prévention routière, des simulateurs, des pistes routières animées par les forces de l'ordre.

Enfin, l'enseignement supérieur regroupe 2 100 000 étudiants dans un millier d'établissements. Les établissements sont autonomes et fixent les programmes dans un cadrage national général des formations, notamment via leurs services de médecine préventive⁸⁷. L'objectif général est de prévenir toutes les conduites addictives, dans le cadre de protection de la santé des étudiants. A ce stade, les jeunes ne sont plus des apprentis de la route mais majoritairement des usagers de la route. Le tableau suivant, issu du ministère français de l'éducation nationale, illustre ce point :



Source : Ministère de l'Éducation nationale

Intégrer une information relative aux véhicules automatisés au niveau du « continuum éducatif » du permis de conduire, des actions de prévention routière et de communication sur la sécurité routière est nécessaire dès aujourd'hui.

b) L'apprentissage de la conduite

Il est important que les apprentis-conducteurs apprennent non seulement à maîtriser leur véhicule et se familiarisent avec le code de la route, mais apprennent aussi à évaluer les risques et les facteurs d'augmentation du risque dans la circulation et à bien juger leurs propres aptitudes et limites. Ces aspects

⁸⁶ L'arrêté du 1^{er} juillet 2013 (compétences professionnelles des métiers du professorat et de l'éducation), prévoit dans leurs compétences communes, qu'ils doivent apporter leur contribution à la mise en œuvre des éducations transversales (Agir en éducateur responsable et selon des principes éthiques).

⁸⁷ Services universitaires de médecine préventive et de promotion de la santé dans chaque université, les écoles ont une obligation de suivi sanitaire. Ceux qui n'ont pas de service conventionnent avec une autre école. Les établissements privés n'ont aucune obligation.

sont reflétés dans la matrice GDE (Goals for Driver Education, objectifs pour la formation des conducteurs) qui a été conçue dans le cadre du projet GADGET de l'UE⁸⁸.

Une analyse de la tâche du conducteur et des accidents montre que des facultés psychomotrices et des fonctions physiologiques adéquates ne sont pas suffisantes pour rendre les performances du conducteur satisfaisantes et sûres. Cette affirmation fondamentale découle du fait avéré que la conduite est une tâche que chacun exécute à son rythme. Les recherches en psychologie de la circulation de Rothengatter (1997) ont mis en évidence l'importance non seulement des facteurs de performance (c'est-à-dire ce que le conducteur doit faire), mais aussi celle des attitudes et motivations (c'est-à-dire ce que le conducteur est disposé à faire).

Matrice GDE : Une approche hiérarchique de comportement du conducteur conçue en quatre niveaux décroissants.

Niveau IV- Projets de vie et aptitudes à la vie

- Importance de la voiture et de la conduite automobile sur le développement personnel ;
- Capacités de maîtrise de soi.

Niveau III- Objectifs de la conduite automobile et contexte social

- Intention, environnement, contexte social, compagnie.

Niveau II- Maîtrise des situations de circulation

- Adaptation aux exigences de la situation concrète.

Niveau I- Maniement du véhicule

- Contrôle de la vitesse, direction et position.

L'échec, de même que la réussite, aux niveaux les plus élevés (IV et III) affectent les exigences de compétences aux niveaux les plus bas (II et I).

Nota : A la fin des années 2000 est apparu un 5^{ème} niveau « pressions sociétales économiques et politiques », qui va au-delà de l'individu.

Source : Commission européenne, projet GADGET

- Le *Laboratoire de psychologie des comportements et des mobilités* (LPC) de l'IFSTTAR a publié trois rapports⁸⁹ sur les résultats de ses études sur le comportement des véhicules automatisés et de leurs conducteurs, qui éclairent les critères de l'apprentissage. Voici le résumé fait par William Payre :

« Nous avons examiné la manière dont cette la manœuvre de « reprise en mains » pourrait être apprise par des conducteurs, en testant l'effet de différentes formes d'entraînement sur la performance et la sécurité (temps de réponse et qualité de la reprise de contrôle). Nous avons mesuré l'acceptabilité et la confiance, les attitudes des conducteurs, les intentions d'utilisation du système de conduite complètement automatisée et l'impact de ces variables sur les comportements dans le véhicule. Trois études empiriques ont été réalisées. ».

La deuxième étude montre que la reprise en main sans entraînement en cas d'urgence pouvait durer en moyenne (pour les 60 conducteurs de l'expérience) de 2 à 8 secondes. En cas d'anticipation (le système

⁸⁸ Guiding automobile drivers through guidance education and technology: Hatakka, Keskinen, Glad, Gregersen & Hernetkoski, 2002.

⁸⁹ A) « *Intention to use a fully automated car: Attitudes and a priori acceptability* » (publié le 9 mai 2014) de William Payre (Institut Vedecom), Julien Cestac et Patricia Delhomme (Ifsttar). B) « *Fully Automated Driving: Impact of Trust and Practice on Manual Control Recovery* » (2005) de William Payre (Institut Vedecom), Julien Cestac et Patricia Delhomme (Ifsttar). C) « *Conduite complètement automatisée : acceptabilité, confiance et apprentissage de la reprise de contrôle manuel* », thèse de doctorat de William Payre pour l'obtention du grade de docteur en psychologie, présentée à Paris le 3 décembre 2015 (thèse préparée au LPC de l'Ifsttar).

prévenant à l'avance de la nécessité de reprendre le contrôle de la voiture), le temps de reprise en main varie en moyenne entre 3,6 et 15,2 secondes pour la première reprise de contrôle, et en moyenne de 2,7 à 13,9 secondes pour la seconde reprise de contrôle. La reprise en main peut donc être très lente, la durée pouvant être nettement au-dessus du temps généralement considéré comme convenable (10 secondes). Elle se conclut par trois points clefs de leurs expériences sur le simulateur de conduite à Satory :

- il faut apprendre aux conducteurs à se servir convenablement d'un véhicule pleinement autonome (afin de réagir convenablement lors des reprises en main),
- un haut niveau de confiance peut augmenter le temps de reprise en main en cas d'urgence,
- un entraînement approprié peut atténuer les conséquences fâcheuses de l'excès de confiance sur les temps de reprise en main.

« Les objectifs de la troisième étude étaient d'approfondir les connaissances sur la manière d'apprendre à utiliser la conduite complètement automatisée, notamment pour reprendre le contrôle manuel, et d'examiner l'impact de la réalisation d'une tâche non reliée à la conduite sur cette manœuvre en situation d'urgence. Les participants (N= 113, 49 % d'hommes) ont été répartis selon deux conditions d'entraînement (simple vs. élaboré), et selon qu'il y ait eu ou non réalisation de tâches non reliées à la conduite pendant le trajet. La condition entraînement simple consistait en une pratique succincte de la conduite complètement automatisée. La condition entraînement élaboré comprenait une partie théorique, une vidéo de démonstration, ainsi qu'une pratique comprenant davantage d'interactions avec le système de conduite complètement automatisée. Après avoir parcouru un trajet pendant une vingtaine de minutes, la confiance, l'acceptabilité, les attitudes et les intentions d'utilisation ont été mesurées. L'entraînement élaboré a amélioré la performance de reprise de contrôle manuel en situation d'urgence (temps de réponse plus courts et plus grande précision de l'utilisation des pédales). La réalisation d'une tâche non reliée à la conduite a allongé les temps de réponse, mais n'a pas eu d'effet sur la précision de l'utilisation des pédales. Enfin, l'entraînement élaboré a contribué à atténuer le phénomène de sur confiance dans le système⁹⁰ ».

Pour obtenir le permis de conduire, il ne semble pas nécessaire de former dès aujourd'hui tous les conducteurs à la conduite de véhicules autonomes. Mais l'utilisation des automatismes et le comportement des véhicules autonomes doivent faire l'objet de séances d'information.

Un permis de conduire spécial ne semble pas nécessaire. Mais pour qui doit conduire un véhicule automatisé, des pré-requis sont indispensables. Ils pourraient prendre la forme d'une *unité de valeur*, faisant l'objet d'une évaluation certificative. Cette attestation serait obligatoire pour conduire un véhicule autonome de niveau 3 et plus. Elle serait basée sur l'acquisition par tout conducteur de quatre compétences minimales :

- connaître ce qu'il peut attendre d'un véhicule en mode autonome ou non ;
- maîtriser la manipulation des aides à la conduite (ADAS) et l'interface homme-machine ;
- connaître sa responsabilité qui découle de sa décision d'activer les automatismes, et connaître les risques associés ; Connaître le système de surveillance du comportement du conducteur ;
- Etre capable de reprendre en main le véhicule quand le cerveau informatique le demande, et être informé des procédures relatives aux trajectoires de sécurité.

⁹⁰ Les résultats de ces trois études sont discutés. Les méthodes d'entraînement que nous avons développées pourraient servir à former les nouveaux utilisateurs de cette technologie. Le rôle du conducteur dans ce type de véhicule et la nature de la tâche de conduite sont questionnés. Le degré de supervision exercé sur le système deviendrait secondaire par rapport à la réalisation d'une autre tâche non reliée à la conduite. Enfin, les limites de nos études et les perspectives pour les recherches à venir dans le domaine sont examinées.

Une durée de trois à quatre heures semble suffisante pour atteindre ces objectifs, avec un passage obligé par un outil de simulation pour la reprise en main. Une application de smartphone pourrait être développée pour assurer le suivi et l'actualisation des connaissances. Cette unité de valeur pourrait être délivrée par les écoles de conduite et les organismes de récupération de points. Les loueurs et les gestionnaires de flottes partagées devraient l'exiger au moment de la location⁹¹.

Il faut en outre imposer aux concessionnaires, au moment du retrait de tout véhicule autonome après achat (voiture neuve ou d'occasion), d'assurer une formation à la prise en main reprenant au minimum les deux premières compétences de *l'unité de valeur*.

En plus de la formation, les activités de prévention routière et de communication doivent comprendre dès aujourd'hui des informations et formations relatives aux automatismes.

c) Prévention et formation en milieu professionnel

Le poids des accidents liés au travail est considérable dans les statistiques de sécurité routière : en 2015, 483 personnes ont été tuées lors d'un déplacement lié au travail (18 % de la mortalité) : 359 personnes (10 %) lors d'un trajet domicile travail, 124 personnes (4 %) lors d'un trajet professionnel. Dans 38 % des accidents au moins un des usagers effectuait un trajet domicile travail ou un trajet professionnel. Les accidents de la route sont la première cause de mortalité professionnelle (environ 50 %). En conséquence agir sur des flottes de véhicules automatisés en milieu professionnel, pourrait avoir des conséquences positives sur la sécurité routière.

Selon la Caisse Nationale d'Assurance Maladie des Travailleurs salariés (CNAMTS⁹²), Le risque routier professionnel représente : environ 10 % des accidents du travail ; environ 50 % des accidents mortels (c'est le premier risque d'accident mortel du travail) ; environ 30 % des accidents corporels.

Les études de l'INSEE montrent que la distance entre le lieu d'habitation et le lieu de travail s'accroît régulièrement (phénomène de rurbanisation). Lié à l'allongement des trajets, l'usage de la voiture (et du deux-roues motorisé) pour les déplacements domicile-travail n'a cessé d'augmenter ces dernières années. Cette évolution induit pour les salariés une augmentation mécanique de l'exposition au risque.

L'insécurité routière pour le régime général en 2012, c'est plus de cinq millions de journées perdues, 76 jours d'incapacité temporaire moyenne (accidents en mission) et 68 jours (accidents en trajet), contre 59 jours en moyenne pour l'ensemble des accidents de travail hors route. Les coûts sont élevés : coûts directs estimés par la CNAM à 700 millions € (prestation en nature, soins médicaux, indemnisation des victimes) et indirects (absence, remplacement, productivité...) à 2,1 milliards €.

La prévention des risques professionnels a un important effet levier.

D'abord, l'accidentalité de travail est à l'origine d'un nombre important de victimes impliquées.

La route est très occupée par l'entreprise et les accidents de travail occasionnent un nombre de morts importants au-delà des seuls accidentés du travail. Ainsi, en 2010 sur les 3 992 morts recensés par l'ONISR, 1 571 (39 %) ont été tués dans un accident impliquant au moins un véhicule en mission ou trajet professionnels. Cette même année, on déplore 160 morts en mission dans des accidents de travail qui ont tué 800 personnes. Le levier de la baisse de l'accidentalité de travail et de trajet est fort : pour un décédé en accident routier de travail au sens strict (hors trajet), il y en a cinq au total. Pour les trajets domicile-

⁹¹ Les loueurs préfèrent une *unité de valeur* à une obligation de prise en main par leurs soins, qui irait à l'encontre d'un modèle économique de plus en plus dématérialisé.

⁹² La CNAM TS assure les accidents de travail et de trajet ainsi que les maladies professionnelles pour 18,3 millions de salariés du régime général. Sont pris en compte missions et trajets domicile, tous véhicules confondus.

travail, le levier est moindre (facteur 1,5 : pour 476 décédés en accident de trajet, il y en a 762 au total). Toute action sur le milieu du travail est donc démultipliée.

Ensuite les actions relatives au risque trajet ont des retombées en conduite de loisir. Le risque « trajet » fait en outre le lien entre la conduite en situation professionnelle et la conduite privée. C'est enfin un enjeu de mobilité durable qui associe les plans de déplacements urbains et les plans de déplacement en entreprise.

Si les entreprises importantes ont mis en place des plans de prévention des risques routiers avec un certain succès, cette pratique vertueuse touche beaucoup moins la fonction publique et les petites entreprises. Il est regrettable que la fonction publique ne soit pas exemplaire en la matière, alors que le risque accident de trajet s'accroît avec la rurbanisation. Aucun ministère ne se sent véritablement en charge de cet aspect de la sécurité routière alors que le nombre d'accidents de trajet explose.

L'arrivée des véhicules automatisés dans le milieu du travail et l'utilisation du milieu professionnel pour communiquer et former au sujet des véhicules autonomes, pourraient être des facteurs forts d'amélioration de la sécurité routière.

d) Actions de prévention et communication

Au-delà du continuum éducatif au sein des établissements scolaires, de l'apprentissage de la conduite, de la prévention des risques routiers professionnels on trouve les différentes actions de prévention et la communication.

Une réunion commune a eu lieu le 20 septembre 2016 entre WP 29 et WP 1 (ONU). Il est apparu que différents niveaux d'automatisation seront commercialisés à court terme, tous prévoyant une intervention humaine, donc une interface homme-machine. Pour les membres du WP 1, cela signifie nécessairement, qu'une information très détaillée du conducteur doit être envisagée, expliquant bien les rôles respectifs de l'humain et du système et aussi ce que l'humain doit être capable de faire rapidement et parfaitement bien, dès lors que le système lui demandera de reprendre la main totalement car il ne pourra plus assurer la sécurité (mauvaise visibilité, conditions météo très dégradées, mauvaise lisibilité de la route, etc...). Plusieurs membres du WP 1 ont exprimé leurs préoccupations quant à cette information du conducteur, voire à la formation complémentaire qu'il devrait suivre pour être habilité à conduire un véhicule équipé de ce système.

Trois axes doivent être explorés et mis en œuvre rapidement :

- Intégrer dès aujourd'hui dans les actions de prévention routière et de communication à la sécurité routière une information relative aux véhicules automatisés.
- Les manuels des véhicules doivent être améliorés et comporter ces nouvelles approches.
- La publicité pour les véhicules automatisés devrait être régulée, afin d'en donner une image conforme à la réalité, ne masquant pas les problèmes de sécurité.