Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

AMBASSADE DE FRANCE
EN ALLEMAGNE

Rédaction : février 2015

Rédacteurs : Aurélien Filiali, chargé de mission STIC
Grégory Arzatian, chargé de mission Transports

TIC dans les transports
Etat de la recherche en Allemagne

Contenu

Introduction 2
I- Automobile intelligente : vers l'autonomie à tout prix ? 3
A- Les constructeurs : une course à la mise sur le marché 4
B- Les opérateurs mobiles 5
C- Les instituts de recherche, partenaires des constructeurs 6
D- Projets fédéraux et européens 12
E- Conférences 15
II- Quelles technologies sont mises en œuvre ? 16
A- Capteurs 16
B- Des systèmes d'assistance… au véhicule autonome 17
III- Quels enjeux actuels ? 19
A- Défis techniques 19
B- Défis humains 20
C- Défis sociaux 20
D- Barrières légales 20
E- Soucis de l'infrastructure 20
F- Portabilité des technologies 21
G- Autonomie pour l'industrie 21
IV- Comparaison avec la France et avec le reste du monde 21
A- La stratégie mobilité 2.0 en France 21
B- Les acteurs 22
Conclusion 22

Introduction

Au cours des dernières années, les industries de l'automobile et des technologies de l'information ont permis des avancées significatives dans l'informatisation de ce qui a été, depuis plus d'un siècle, exclusivement une fonction humaine : la conduite. Les nouveaux modèles de voitures intègrent des systèmes, par exemple un régulateur de vitesse ou un système d'aide au stationnement, qui prennent progressivement le relais sur l'intervention humaine dans certaines situations bien définies.

Dès 1987, un programme européen a été lancé dans le but d'améliorer la circulation routière et l'infrastructure, en supposant qu'il y aurait dans le futur une coopération entre les différents éléments du système. Ce programme, *Prometheus* (PROgraMme for a European Traffic of Highest Efficiency and Unprecedented Safety), lancé à la demande de l'industrie automobile, s'est achevé en 1995. Les objectifs fixés étaient le «développement de concepts et de solutions aptes à rendre le trafic routier plus sûr, plus efficace, plus économique et moins polluant». Ces objectifs restent tout à fait d'actualité.

Prometheus a été essentiellement prospectif et futuriste, mais a néanmoins permis de définir de multiples applications télématiques portées par la notion de véhicule intelligent, bien qu'à l'époque la technologie n'ait été que très partiellement disponible.

Aujourd'hui, les enjeux restent les mêmes, mais les technologies ont progressé. Les technologies de l'information et de la communication (TIC) s'intègrent dans tous les domaines des transports. Le trafic aérien est dépendant des capteurs qui transmettent et analysent l'information. Dans le trafic maritime, la géolocalisation des bateaux et de leurs containers permet d'avoir une vision en temps réel des différents déplacements. De même, dans les transports ferroviaires, le suivi en temps réel des trains permet à des calculateurs de gérer le trafic plus efficacement.

L'automobile est le domaine où le plus grand spectre de ces technologies est appliqué, impliquant d'intenses recherches sur le sujet. Le numérique représente désormais 40% de la valeur financière d'une automobile moderne. Prenant en considération le matériel et les logiciels, ce chiffre indique que les systèmes embarqués sont devenus des éléments stratégiques pour contrôler moteur, freins, roues... Cette proportion est encore amenée à augmenter, en incluant plus d'automatisation et de divertissement. Le secteur de l'automobile constituera le point central de ce rapport.

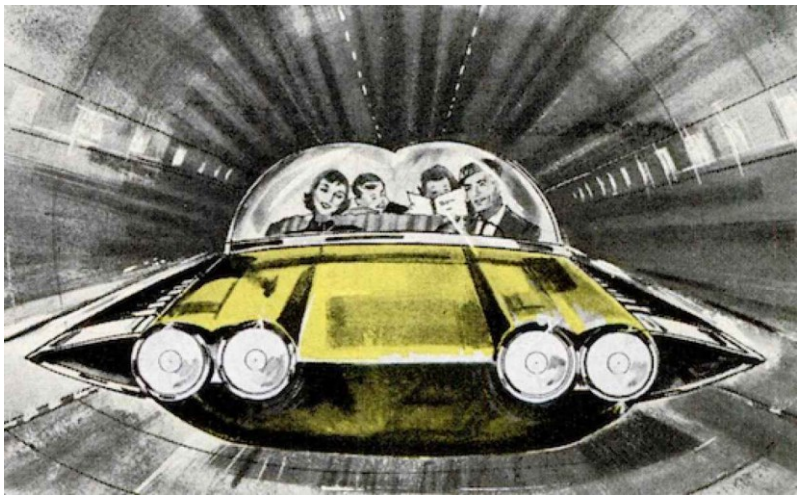

Figure 1 – L'automobile autonome ne sera pas celle imaginée dans les années 60… (crédits : Popsci.com)

I- Automobile intelligente : vers l'autonomie à tout prix ?

Les chercheurs et les constructeurs avancent des arguments quant aux avantages du véhicule connecté, voire autonome[1] :

- **Augmenter la sécurité** : les voitures autonomes devraient permettre de diminuer le nombre d'accidents de la circulation en réduisant le facteur humain dans la gestion d'une flotte de véhicules ;
- **Fluidifier le trafic** : le nombre de véhicules en circulation est en hausse constante. Entre 2005 et 2050, la Commission européenne prévoit 51% de véhicules supplémentaire dans l'UE. Dans ce contexte, le nombre de bouchons pourrait être réduit grâce à des algorithmes optimisant la circulation, avec comme autre effet positif une baisse de la consommation de carburant ;
- **Repenser les comportements de mobilité** : des systèmes venant appuyer le conducteur, voire le remplacer, permettraient d'ouvrir la mobilité à des personnes trop jeunes pour obtenir le permis, aux personnes âgées ou handicapées. Des programmes d'auto-partage pourraient fortement se développer, liés à la généralisation de l'usage des smartphones, des systèmes de paiement associés, de la simplification des procédures d'inscription en ligne. Ces hypothèses mènent à l'abandon progressif du véhicule personnel en milieu urbain au profit d'un parc automobile probablement réduit en nombre, mais utilisé de manière plus intensive.
- **Améliorer le transport de marchandises** : les mêmes technologies pourraient être appliquées aux camions, en apportant les mêmes avantages.

Dans le développement des TIC pour les transports, deux types d'acteurs sont à distinguer en Allemagne : les constructeurs et les instituts de recherche, tant universitaires qu'extra-universitaires. La tendance est au rapprochement des travaux entre les différents acteurs. Bien que ce rapport se concentre sur l'Allemagne, il est nécessaire de noter que le développement des TIC dans les transports intéresse aussi de très près les grands groupes multinationaux du numérique.

Google en est l'exemple le plus significatif. Dès 2010, le groupe a progressivement équipé une douzaine de véhicules d'un système de pilotage automatique, où un conducteur effectue préalablement un trajet de manière ordinaire, que la voiture emprunte ensuite de manière autonome. En avril 2014, ces véhicules ont effectué plus d'un million de kilomètres, sans engendrer d'accident en mode automatique, d'après Google. Une seconde étape a été franchie fin décembre 2014, lorsque le géant a annoncé disposer d'un premier prototype fonctionnel de véhicule autonome. Il ne s'agit plus ici d'intégrer le système dans un véhicule existant, Google semblant se passer des constructeurs pour développer son propre véhicule. Il fait toutefois appel à des fournisseurs allemands, dont Bosch pour le moteur électrique, l'électronique de puissance et le radar à longue portée[2]. Ce véhicule de deux places devrait être testé sur les routes californiennes en 2015, puis être lancé dans la cadre d'un projet pilote durant deux ans. Conçue pour de courts trajets, la voiture se présentera à l'utilisateur qui l'aura réservée par smartphone.[3]

[1] https://enotrans.r.worldssl.net/wp-content/uploads/wpsc/downloadables/AV-paper.pdf

[2] "Außen Google, innen Bosch" article du *Handelsblatt* - 16.17.18/01/2015

[3] http://www.clubic.com/mag/transports/actualite-746655-voiture-autonome-google-prototype-fonctionnel.html

Figure 2 - Google self-driving car – version 2012 (crédits : Google)

Figure 3 - Google Car dévoilée en décembre 2014 (crédits : Google)

Non seulement le concept technique de voiture autonome est étudié, mais aussi le changement de mentalité vis-à-vis des nouvelles formes de mobilité. La problématique de l'acceptation sociale du changement de paradigme qu'implique une voiture autonome est une question qui intéresse nombres instituts en Allemagne. De nombreuses questions sont posées par le simple concept de voiture connectée. Que deviennent les données GPS ? Comment les véhicules communiquent-ils entre eux ? Qui gérera les données accumulées ?

Les chercheurs et constructeurs sont, par ailleurs, particulièrement soucieux de connaître le sentiment de la population vis à vis de ces nouvelles techniques, d'où la place essentielle de ces questions dans l'initiative fédérale « TIC pour l'électromobilité II » ou dans les conférences traitant l'avenir de la mobilité.

A- Les constructeurs : une course à la mise sur le marché

Les constructeurs automobiles intègrent les technologies de communication comme une voie d'innovation essentielle de leur stratégie. De nombreuses équipes de recherche y travaillent dans un contexte concurrentiel, où se croisent deux industries, au fonctionnement très différencié et désormais concurrentes, mais aussi parfois partenaires :

- Celle de **l'automobile**, où la durée de vie d'un véhicule se situe autour d'une quinzaine d'années ;
- Celle de **l'économie numérique**, où un produit, même si toujours fonctionnel, devient obsolète en 3 ou 4 ans.

Si, jusqu'à récemment, les constructeurs automobiles misaient sur des technologies maison ou proposées par les équipementiers, ils sont maintenant obligés d'aller chercher les compétences de plus en plus pointues chez les géants de l'électronique.

Du côté des constructeurs allemands, Daimler compte être le premier fabricant à proposer ce type de technologie[4], en proposant des véhicules autonomes d'ici 2020. L'annonce de ces intentions en septembre 2013 est antérieure à celle faite par Toyota un mois plus tard.

Daimler finance, par le biais de sa fondation « Daimler und Benz Stiftung », le projet « Villa Ladenburg » dédié au développement d'un véhicule autonome. Dans ce cadre, en 2013, un véhicule autonome a parcouru un trajet de 104 km, considéré comme le premier trajet de tourisme réalisé en automobile autonome. Afin de renforcer ses compétences en matière d'interaction homme-robot sur le véhicule autonome, le groupe a développé un prototype de drone interactif en partenariat avec Ars Electronica de Vienne.[5] Par la commande gestuelle, Daimler souhaite poser les bases de ce que sera la communication entre l'homme et les véhicules autonomes. Les nouveaux comportements et choix de mobilité constituent également un sujet de recherche pour la fondation Daimler et Benz.

[4] "Daimler aussi envisage la conduite autonome d'ici 2020", article de l'Usine Nouvelle – 09/09/2013

[5] http://www.industrie-techno.com/des-drones-pour-developper-la-voiture-autonome-de-mercedes.31063#xtor=EPR-25

Le groupe **BMW** s'est associé à l'équipementier **Continental** pour proposer des véhicules sans conducteur en 2025[6]. Plusieurs étapes seraient envisagées : offrir une conduite partiellement automatisée en 2016 et une automobile complètement autonome en 2025. Le groupe a également noué des liens avec le Groupement d'Intérêt Economique EURECOM, basé sur le campus Sophia-Antipolis à Nice, pour mener des recherches sur les technologies de réseaux, les réseaux sans fil à large bande, la mobilité et la sécurité. Dans le cadre de conférences annuelles, EURECOM et BMW R&D ont organisé, avec l'Université technique de Munich et le soutien du Centre de Coopération Universitaire Franco-Bavarois, une école d'été pour doctorants et jeune chercheurs, sur le thème "La conduite autonome et l'internet des objets". Celle-ci s'est déroulée en juillet 2014 à Tegernsee.

Audi pense pouvoir lancer des véhicules autonomes de série d'ici 2016[7]. Il est à noter que ce constructeur bénéficie depuis début 2013 d'une licence lui permettant de tester des véhicules autonomes aux Etats-Unis, aux côtés de Google et de Continental.

Volkswagen est entré dans la compétition au même titre que les autres groupes, mais n'a pas encore rendu public une date à laquelle ses véhicules autonomes seraient disponibles.

Ces échéances sont à placer dans un contexte mondial. Ainsi, le premier constructeur mondial **Toyota** a annoncé, en octobre 2013, qu'il commercialisera d'ici 2015 des véhicules capables de passer en « mode automatique »[8], respectant les distances de sécurité et maintenant une bonne trajectoire.

Du côté de l'économie numérique, des géants du web ont également réussi à trouver leur place en innovant. **Google**, à la pointe des recherches comme évoqué précédemment, souhaite rendre sa technologie des véhicules autonomes accessible au grand public en 2018[9]. Apple, Microsoft et Google ont par ailleurs chacun développé leur système d'exploitation embarqué.[10]

Figure 4 - Apple CarPlay (Wayne Cunningham/CNET)

Au-delà de l'attention que créera le premier véhicule autonome sur le marché, son constructeur bénéficiera également d'une longueur d'avance pour imposer ses **standards**.

B- Les opérateurs mobiles

Deutsche Telekom (DT) considère que le champ des services directement liés aux utilisateurs est déjà conquis par les géants du secteur des smartphones. Cependant, **T-Systems** entrevoit des opportunités pour les services liés aux véhicules. La communication véhicule-environnement, l'optimisation en temps réel des itinéraires, le diagnostic à distance, etc. sont des champs sur lesquels l'industrie automobile peut défendre son avance et son savoir-faire. DT estime que l'industrie automobile aura besoin d'une interface pour pouvoir développer de nouveaux « business models » avec des entreprises tierces. « Business-2-Car » se pose en plateforme indépendante, transverse à la plupart des constructeurs et standardisée, permettant aux fournisseurs de service de communiquer facilement avec la majorité des voitures sur le marché sans devoir

[6] "BMW et Continental prévoient des voitures sans conducteur en 2025", article de l'Usine Nouvelle – 22/03/2013
[7] "Selbstfahrender Audi könnte 2016 in Serie gehen", article de *Auto, Motor und Sport* – 23/01/2013
[8] "Un mode "pilotage automatique" sur les Toyota en 2015", article de *l'Usine Nouvelle* – 11/10/2013
[9] "Automobile : la voiture sans chauffeur arrivera avant 2020", article de *Challenges* – 12/09/2013
[10] http://www.usine-digitale.fr/article/les-geants-du-numerique-a-l-assaut-du-vehicule-connecte.N254322

s'adresser en amont à chacun des constructeurs. Cette plateforme proposée par T-Systems est basée sur une solution d'architecture orientée services open source (WSO2)[11].

C- Les instituts de recherche, partenaires des constructeurs

Les recherches menées autour de l'automobile connectée, voire autonome, peuvent être séparées en quatre thématiques :

- La communication entre véhicules ou véhicules/environnement : « Car2X »;
- Les systèmes d'aide à la conduite ;
- L'interaction homme/machine ;
- Les problématiques techniques annexes, sociétales et juridiques.

a) La communication Car2X

L'Institut Fraunhofer pour les systèmes des technologies de communication (ESK, Munich, Bavière) travaille sur une famille de plateformes de prototypage ARTiS (Automotive. Realtime Prototyping System), en prenant compte des exigences spécifiques aux systèmes embarqués.[12] L'institut a ainsi développé des plateformes pour les applications en temps réel, pour « l'infotainment », ainsi que pour la communication dite « Car2X ».

Le **Centre sur les systèmes de mobilité** (Zentrum Mobilitätssysteme) du **KIT** regroupe les activités de recherche autour de l'automobile, impliquant 800 employés dans 40 instituts. Les recherches portent sur les bases méthodologiques et technologiques de la voiture du futur, en prenant en compte la complexité des interactions entre le véhicule, son conducteur, le trafic, l'infrastructure et la société. L'accent est toutefois mis sur la communication entre véhicules ou avec l'infrastructure (systèmes de communication Car2X)[13].

Le **Centre Leibniz pour l'informatique**[14,15](Sarre) a pour mission de favoriser la recherche informatique, par le financement de projets de recherche fondamentale ou appliquée, ou par l'attribution de bourses à de jeunes chercheurs. Il essaie aussi de réunir les scientifiques par le biais d'événements tels qu'un séminaire sur les communications entre véhicules, organisé en 2014, réunissant des experts de l'industrie et du monde académique.

Les universités d'Ulm (Bade-Wurtemberg) et **de Passau** (Bavière) ont participé au projet Ko-Fas[16,17] financé par le Ministère fédéral de l'économie et de l'énergie (BMWi). L'objectif de ce projet, qui s'est achevé fin 2013, a été d'augmenter la sécurité de la conduite par des systèmes coopératifs. Le travail a consisté en l'identification de situations critiques de la circulation, en recoupant les informations obtenues par des capteurs fixes dans l'environnement et ceux embarqués sur les véhicules. Le projet a été mené en collaboration avec des acteurs industriels tels que Daimler, BMW et Continental. Des recherches sont également entreprises dans le domaine de la protection des données personnelles[18].

L'Université technique de Dresde (Saxe), par l'intermédiaire de son Institut de recherche sur les accidents de la circulation (VUFO), s'attache à la collecte et l'analyse de données d'accidents. Il est à même de fournir des statistiques regroupant environ 2.000 cas d'accidents par an. Des reconstitutions numériques de collisions sont également effectuées pour déterminer les données caractéristiques, notamment de vitesse, lors de l'incident.

---

[11] http://wso2.com/blogs/thesource/2014/01/wso2con-insights-how-wso2-middleware-powers-deutsche-telekoms-connected-car-platform/
[12] http://www.esk.fraunhofer.de/de/medien/pressemitteilungen/pm1313.html
[13] http://idw-online.de/pages/en/news580637
[14] http://www.dagstuhl.de/
[15] http://idw-online.de/pages/en/news551735
[16] http://www.ko-fas.de/
[17] http://idw-online.de/pages/en/news552465
[18] http://idw-online.de/pages/en/news585101

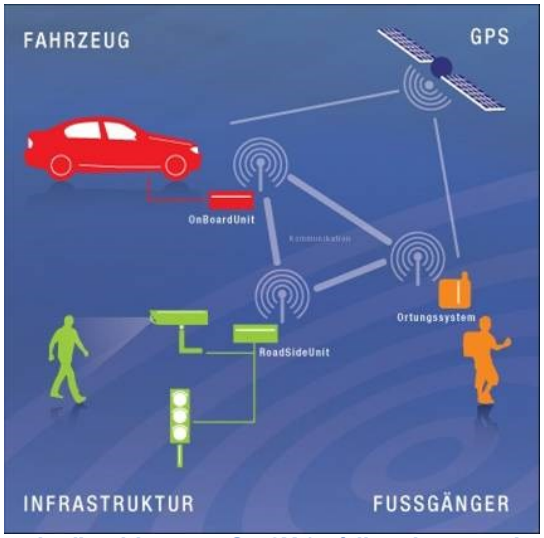

Figure 5 - Exemple d'architecture Car2X (crédits : kooperationsverbund.de)

b) Les systèmes d'aide à la conduite

L'Institut Fraunhofer d'optronique, technologie des systèmes et exploitation de l'imagerie (IOSB) de Karlsruhe (Bade-Wurtemberg), en collaboration avec la chaire de systèmes interactifs en temps réel (IES) de l'**Institut technologique de Karlsruhe** (KIT), est un acteur important sur la thématique des **systèmes d'assistance à la conduite**. L'objectif est de développer différentes technologies (analyse de données, de situation, prédiction, simulation, aide aux manœuvres notamment) et de les intégrer dans un véhicule de démonstration, qui sera présenté en 2015[19]. La vision des deux instituts est de rivaliser avec les initiatives les plus avancées en la matière, en souhaitant explicitement se mesurer à Google.

L'Institut Fraunhofer de flux de matériels et de logistique (IML) de Dortmund a développé, en partenariat avec l'entreprise **Serva Transport Systems**, un système de parcage automatique des véhicules, à partir d'une station de dépose[20] [21]. Le système, sur le marché, a été déployé en juin 2014 sur un des parkings de l'aéroport de Düsseldorf[22]. Outre son intégration dans les parkings, le système peut être adapté à la logistique, aux usines automobiles et à la location de véhicules.

[19] http://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/38819/003-Autonomes%20Fahren.pdf?command=downloadContent&filename=003-Autonomes%20Fahren.pdf
[20] https://www.baufachinformation.de/zeitschrift/2013109018509
[21] http://serva-ts.de
[22] https://www.dus.com/de-de/parken/parkangebote/business-parken/premiumplus

Figure 6 - Système de parcage automatique développé par Serva Transport Systems et l'Institut Fraunhofer IML (crédits : Serva Transport Systems GmbH)

Le Centre allemand de recherche aéronautique (DLR) s'intéresse également aux TIC dans le transport routier via certains de ses instituts ou certains projets. Le programme de recherche du centre dans ce domaine vise à proposer des réponses aux défis posés par l'augmentation constante des besoins en transport[23]. Trois thèmes clés ont été identifiés :

- les véhicules terrestres : le sujet de recherche "Next Generation Car (NGC)" s'attache à développer un concept global de véhicule adapté au marché européen de 2025. L'approche comprend deux types de véhicules, à savoir une voiture urbaine et une voiture interurbaine, toutes deux conçues sans partir d'une quelconque base existante. Comparables sur les questions de carrosseries et de matériaux de structure, elles se différencieront par leur système de propulsion. Le premier modèle, totalement électrique, devra avoir une autonomie de 200km avec une vitesse maximale de 120km/h. Le second devrait associer différents types de propulsion pour une autonomie de 1.000km et pouvant atteindre 180km/h. Le projet se concentre sur la réduction du poids des véhicules, une gestion thermique innovante et un stockage efficace de l'énergie. A terme, le DLR prévoit une production de 50.000 véhicules de ce type par an.
- la gestion du trafic : le DLR travaille sur des applications multimodales, avec un accent sur les transports en commun. D'autres projets concernent le trafic ferroviaire ou maritime.
- le système de trafic : il est ici question de proposer des modèles d'évolution de la mobilité en intégrant les questions d'émissions de gaz polluants, de qualité de l'air et d'exposition au bruit.

Les thématiques de travail sont réparties entre les différents instituts que compte le DLR, parmi lesquels :

- **L'Institut de techniques des systèmes de transport** (Berlin), qui fait partie des plus actifs dans le domaine. Y sont étudiés les modèles régissant la mobilité, tels les besoins des particuliers et des professionnels, ou l'influence des TIC sur les transports. Quelques exemples de projets :
  - La mise au point d'un système d'évitement des accidents[24] ;
  - Le développement d'un outil de positionnement radar très précis (résolution autour de quelques centimètres) pour la voiture autonome[25] ;
  - Le développement d'un système d'aide au dépassement[26].

[23] http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10105/191_read-27/#gallery/1907
[24] http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10122/333_read-8798/year-all/#gallery/13027
[25] http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10122/333_read-8643/year-all/#gallery/12841
[26] http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10122/333_read-9755/?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+DLR_verkehr+%28DLR+Verkehr%29#gallery/14028

- **Le Centre de robotique et de mécatronique**[27], qui porte le projet d'électromobilité ROMO, qui consiste à développer un robot à quatre roues, intégrant la transmission, les freins, la direction et des amortisseurs. Des systèmes d'actionnement dynamiques de véhicules dans le voisinage de la roue permettent d'augmenter sa manœuvrabilité. Ce véhicule, entièrement développé au DLR, permet aux chercheurs d'étudier l'avenir de la mobilité en s'affranchissant des contraintes posées par le simple aménagement d'un véhicule classique en véhicule autonome. Un système vidéo permet l'autonomie du véhicule. Les derniers développements des systèmes intelligents en robotique peuvent ainsi être intégrés, faisant de ce projet un démonstrateur de la fusion de la robotique et de l'électromobilité. Il est à noter que le ROMO peut être conduit avec différents degrés d'autonomie, partielle ou totale.

Figure 7 - Projet RoboMObil, vue de synthèse (crédits : DLR)

L'Institut Max Planck pour l'Informatique à Sarrebruck (Sarre) dispose d'un département de vision informatique et de calcul multimodal. Il travaille en particulier sur la reconnaissance d'objets, sur les systèmes de vision et sur les capteurs multifonctionnels. Un des projets porte sur la **reconnaissance des véhicules et piétons et la prédiction de leur trajectoire**, pour concevoir un système qui s'intégrerait au freinage automatique d'urgence, déjà sur le marché[28].

L'Université technique de Munich (TUM - Bavière) participe au projet Vision-M[29] [30], financé par le Ministère fédéral de l'enseignement et de la recherche (BMBF) et qui a pour objectif de produire une voiture commandée à distance. La TUM travaille aussi sur l'assistance au conducteur[31] au travers d'un projet lancé en janvier 2014 pour améliorer la sécurité des piétons et cyclistes : il s'agit d'un transpondeur porté par ces derniers, qui communiquerait avec les véhicules pour déterminer la distance les séparant et éviter une collision[32].

Figure 8 - Véhicule développé dans le cadre de Vision-M (crédits : TUM)

[27] http://www.dlr.de/rm/desktopdefault.aspx/tabid-8001/
[28] http://www.mpg.de/7229808/W004_Material-Technik_064-069.pdf
[29] http://www.visiom-automobile.de/
[30] http://idw-online.de/pages/en/news545534
[31] http://www.ftm.mw.tum.de/forschungsfelder/fahrerassistenz/
[32] http://idw-online.de/pages/en/news569823

L'Université libre de Berlin (FU)[33] [34], par le biais de son projet AutoNOMOS Lab, a développé deux voitures autonomes entre 2006 et 2011. Le projet a bénéficié d'une autorisation de circulation dans des conditions de trafic réelles.

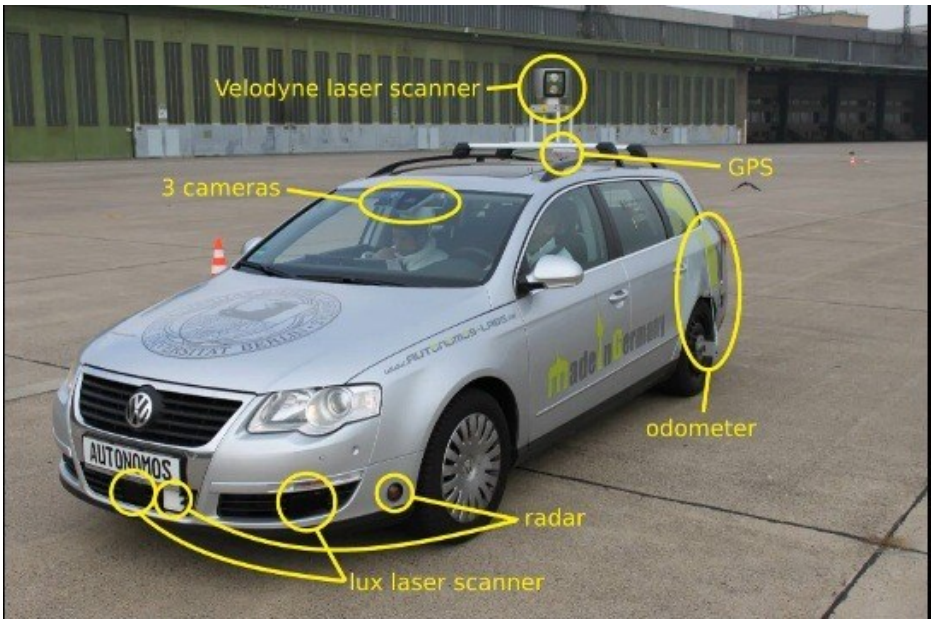

Figure 9 - Véhicule du projet AutoNOMOS Lab - (crédits : Université libre de Berlin)

Le Centre de recherche en informatique de Karlsruhe (FZI - Bade-Wurtemberg) **de l'Institut technologique de Karlsruhe (KIT)** coopère avec différents acteurs, en particulier dans le domaine de la mobilité. Le centre se focalise surtout sur la mobilité autonome et il dispose d'un modèle d'essai, la CoCar[35]. Une Audi Q5 a, à cet effet, été modifiée et équipée de caméras et d'un système de balayage laser. Le projet a inclus le développement d'un logiciel de contrôle adapté. Les applications possibles sont le stationnement automatisé, la surveillance du conducteur et une conduite plus économe.

L'**Institut de production intégrée** d'Hanovre (IPH) travaille sur un projet de localisation autonome des véhicules de transport à l'intérieur de halles de production, en se basant sur des points remarquables. A terme, l'objectif est de faire réagir ces véhicules au moyen de commandes vocales ou de gestes. Ce projet s'inscrit dans le contexte plus général de l'industrie 4.0.

Les Ecoles supérieures se sont adaptées à ces nouveaux besoins techniques et proposent des formations en relation, telle l'**Ecole supérieure de Kempten (Bavière)**, qui propose un master spécialisé[36] dans le domaine des assistances au conducteur. Une chaire a été mise en place dès le semestre d'été 2014 en partenariat avec Continental[37].

c) L'interaction homme/machine

L'Institut Fraunhofer de mathématiques appliquées à la technologie et à l'économie de Kaiserslautern (ITWM) a développé un simulateur de conduite[38], afin de mieux prendre en compte le facteur humain et de l'intégrer dans le développement des systèmes électroniques embarqués. L'équipe a mis en place un système de simulation interactif, par lequel une coopération réaliste entre le conducteur et le véhicule peut être analysée. Le système consiste en un habitacle réel de voiture, où le conducteur peut agir sur les commandes.

[33] http://autonomos.inf.fu-berlin.de/
[34] http://www.fu-berlin.de/campusleben/videos/2010/101015_autonomous_car/
[35] http://www.fzi.de/de/forschung/projekt-details/cocar/
[36] http://idw-online.de/pages/en/event45862
[37] http://idw-online.de/pages/en/news563146
[38] http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/075/75747.htm

L'Institut Fraunhofer d'ingénierie industrielle (IAO) de Stuttgart (Bade-Wurtemberg) participe à l'initiative UR:BAN visant à développer des systèmes de prédiction du comportement du conducteur[39]. 31 partenaires, dont Bosch, BMW, Daimler et Opel collaborent à mettre en place des solutions pour la gestion du trafic et l'aide à la conduite. Les intentions du conducteur seront détectées, par exemple dans les manœuvres de freinage, et les systèmes visent à réduire le temps de réaction. Ces systèmes auront principalement une utilité dans le cas d'applications à des trafics urbains denses. Un point sur le projet à mi-parcours a mis en évidence le rôle des feux tricolores communicants avec les véhicules, dans les deux sens, pour assurer un trafic plus fluide[40]. Le projet court jusqu'à la mi-2016 ; il est co-financé par le BMWi et les industriels impliqués, apportant chacun 40 millions d'euros au projet. L'institut a également développé un indice permettant d'évaluer le marché des brevets dans les technologies Car2X[41], en indiquant aux entreprises les lacunes et opportunités dans les brevets qu'elles possèdent. Cet index a été mis en place suite à la perte de dynamique de l'Allemagne dans le Car2X face aux Etats-Unis. Il vise également à contrer les *patent trolls* (chasseur de brevets), sociétés qui utilisent le litige de brevets comme principale activité économique.

Figure 10 - Simulateur MoSAIC développé dans le cadre du projet UR:BAN (crédits : DLR)

L'Université technique de Brunswick (Basse-Saxe) a ouvert un laboratoire dans le domaine des technologies de l'information et de l'informatique, tubs.city[42]. Ce laboratoire possède des compétences dans les systèmes embarqués, la communication et les systèmes mobiles, les méthodes de simulation et les interactions homme-machine.

L'Université technique de Berlin (TUB), au sein du Centre « Systèmes homme-machine », s'attache à l'ergonomie et à l'acceptation des systèmes intégrés. Ce centre organise également chaque année un congrès à Berlin sur l'interaction homme-machine, notamment appliquée aux transports[43].

L'Université de Kassel (Hesse) et son département des techniques de systèmes homme-machine travaille à améliorer l'architecture de systèmes homme-machine, en optimiser cette coopération. Le département réunit des chercheurs de nombreux domaines allant de l'informatique à la psychologie, afin de créer des applications pour les transports ou la production. Le projet E2V, que l'université de Kassel coordonne, vise à développer un véhicule à deux-roues en partie autonome pour les personnes à mobilité réduite[44].

L'Université de Wurtzbourg (Bavière) et son Institut des sciences du transport (IZVW) se concentre sur l'ergonomie cognitive, dont la finalité est de proposer des applications dans les domaines du transport, du conducteur et du véhicule. De nombreux domaines sont traités par l'institut dont l'information et l'assistance au conducteur[45].

---

[39] http://idw-online.de/pages/en/news585278
[40] http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10122/333_read-10245/?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+DLR_verkehr+%28DLR+Verkehr%29#gallery/7657
[41] http://idw-online.de/pages/en/news585448
[42] https://www.tu-braunschweig.de/forschung/weitere-zentren/tubscity
[43] Voir BE Allemagne 631 - http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/074/74142.htm
[44] http://www.uni-kassel.de/maschinenbau/institute/ifa/mensch-maschine-systemtechnik/mms-forschung0/projekte-nach-anwendungsgebieten/fahrzeugfuehrung.html
[45] http://www.psychologie.uni-wuerzburg.de/izvw/forschung/projekte/fahrerinformation/index.php.de

d) Les problématiques techniques annexes, sociétales et juridiques

L'Institut Fraunhofer de mathématiques appliquées à la technologie et à l'économie à Kaiserslautern (ITWM - Rhénanie-Palatinat) a établi une base de données du paysage routier à l'échelle mondiale : « Virtual Measurement Campaign » (VMC)[46]. Des données telles que l'état des chaussées, les virages, ainsi que des informations sur l'environnement (températures, précipitations) y sont recensées. Ces informations devraient servir aux constructeurs dans les étapes de développement, afin d'adapter les éléments mécaniques et électroniques, selon le type de véhicule, à la réalité du réseau routier.

La plateforme AIM[47] (plateforme d'application pour la mobilité intelligente) de **l'Institut de techniques de transport du DLR** regroupe des projets concernant le véhicule ou les infrastructures. Son activité se concentre sur cinq domaines : les flux de transports, la mobilité multimodale, les concepts futurs de mobilité, l'intégration au tissu économique, la relation de l'usager avec la mobilité.

L'Université de Wurtzbourg étudie également les implications juridiques d'une conduite autonome[48].

Le Centre de recherche en sciences de Berlin (WZB) étudie l'acceptation des nouvelles technologies et leurs influences sur la société.

D- Projets fédéraux et européens

Un programme fédéral soutenu par le BMWi a été lancé en 2009. Le programme « TIC pour l'électromobilité II », courant de 2012 à 2016, prend la suite du premier volet de cette initiative (2009-2011). Dix-huit projets se partagent un budget de 140 millions d'euros. L'objectif est de favoriser le développement de l'électromobilité par l'intégration de TIC, tant pour créer des services que pour modifier l'architecture des véhicules. Les thématiques-clés sont les suivantes[49] :

- De nouveaux services : le véhicule électrique sera relié par une liaison à haut-débit au cloud, ouvrant alors la voie à différents services : réservation de places de parking, publicité géolocalisée, diagnostic technique à distance ;
- Une gestion de l'énergie dite "privée" : le couplage de l'énergie générée dans les ménages doit être géré pertinemment entre le domicile du conducteur et la recharge du véhicule ;
- Une gestion de l'énergie dite "semi-publique" : il s'agit de la gestion de l'énergie du point de vue du fournisseur (prévision des besoins, infrastructure de recharge publique, smart grid) ;
- Une nouvelle architecture TIC dans les véhicules, afin d'exploiter pleinement le potentiel des véhicules électriques. Cela passe par une simplification de la structure du réseau, du matériel et une technologie de réseau homogène ;
- La gestion du trafic ;
- De nouveaux concepts de mobilité : multi-modalité, navigation porte-à-porte, autopartage ;
- La sécurité : prévention des nouveaux dangers liés aux systèmes embarqués (manque de fiabilité, erreurs de traitement des données, attaques) ;
- Des technologies de plateforme : lien et interopérabilité entre les différentes plateformes liées aux véhicules, à l'infrastructure, aux réseaux électriques et à la gestion du trafic.

L'Agence allemande de moyens pour la recherche (DFG) soutient notamment un nouveau programme prioritaire de recherche (Schwerpunktprogramme - SPP) « Automobiles interagissant de manière coopérative[50] ». D'une durée de six ans, le SPP consiste en un appel à projets auquel les instituts de recherche allemands peuvent candidater. Des synergies avec les projets nationaux ou européens suivants sont recherchées :

- **AutoNOMOS Labs** (cf. § sur l'Université libre de Berlin).

---

[46] http://idw-online.de/pages/en/news580466
[47] http://www.dlr.de/ts/desktopdefault.aspx/tabid-6422/10597_read-37397/
[48] http://idw-online.de/pages/en/news572857
[49] http://www.ikt-em.de/
[50] http://www.mrt.kit.edu/spp1835/download/spp1835.pdf

- **Bertha Benz Fahrt** *:* en hommage au premier trajet effectué en voiture 125 ans auparavant, Daimler et le KIT/FZI ont réalisé en août 2013 le trajet d'un véhicule autonome basé sur la captation de données vidéo. Outre les capteurs de série, seules des caméras et un GPS ont équipé le véhicule. Des fonctions de conduite coopératives n'ont pas été intégrées. Le véhicule sera mis à disposition du SPP.

Figure 11 - Type de véhicule utilisé lors de la Bertha Benz Fahrt

- Le projet **Collaborative TEAM**[51] (2012-2016) : il s'agit de mettre en place une conduite en convoi sur autoroute. Le contrôle longitudinal et latéral des trajectoires des véhicules ne fait pas partie du projet, auquel participent du côté allemand les instituts Fraunhofer IAO, FOKUS, la TUB et l'industriel BMW.
- **CityMobil 2** (2012–2016) : porté notamment par l'INRIA et le DLR, le projet européen vise à mettre en place une plateforme pour les systèmes de transports urbains terrestres automatisés, qui seront développés dans sept zones urbaines européennes.

Figure 12 – Véhicule sans conducteur testé à La Rochelle de décembre 2014 à avril 2015 dans le cadre de CityMobil2 (crédits : Ville de la Rochelle)

- **Conduct-By-Wire** (2008-2010) : le projet, porté par l'Université technique de Damstadt et financé par la DFG, a porté sur les manœuvres hautement automatisées. La coopération entre différents véhicules n'a pas été étudiée. Le projet Conduct-By-Wire 2 poursuit les recherches en ce sens.
- Le projet européen **HAVE-IT** (2007-2010), qui a visé à intégrer l'ergonomie et le design dans les véhicules hautement automatisés. Continental, Volkswagen, le DLR, l'Université de Stuttgart,

[51] http://www.collaborative-team.eu

l'INRIA et l'IFSTTAR ont fait partie du consortium. Cependant, ni l'automatisation complète, ni la coopération entre véhicules n'ont été abordées.

- Le projet **H-Mode** de la RWTH d'Aix-la-Chapelle, financé par la DFG de 2004 à 2008, a posé les bases d'une communication homme-machine par l'intermédiaire de dispositifs haptiques (systèmes robotiques qui créent une communication entre l'opérateur humain et un environnement virtuel) pour les véhicules à différents degrés d'autonomie. L'intégration des dispositifs entre différents usagers de la route n'a pas été traitée.

- Le projet **InteractIVe**[52] (*Accidence avoidance by active intervention for Intelligent Vehicles*), actif de 2009 à 2013, s'est attaché au développement d'un système d'assistance à la conduite. Le système intervient sur le freinage, le braquage et avertit le conducteur dans des situations dangereuses. Plusieurs constructeurs allemands (Volkswagen, Daimler, BMW) et instituts de recherche des deux côtés du Rhin (DLR, RWTH Aix-la-Chapelle, Université Joseph Fourier de Grenoble) ont participé au projet. La conduite autonome n'a toutefois pas été considérée dans ce projet.

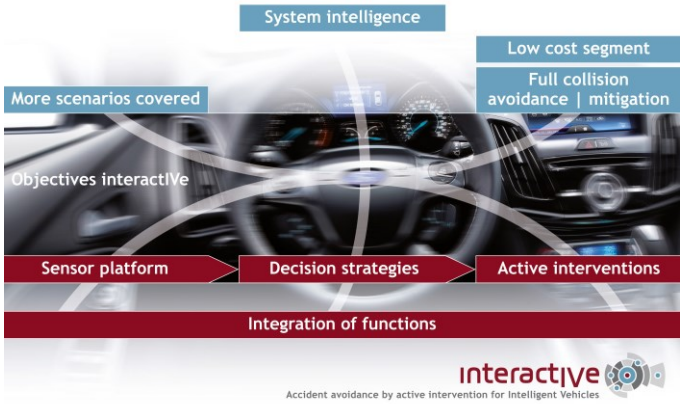

Figure 13 - Objectifs du projet InteracrIVe

- **Intersafe 2** (2008-2011), a visé à développer des systèmes de sécurité coopératifs pour les croisements, grâce à une communication par les véhicules et par l'infrastructure.

- **Ko-FAS** (cf. § sur les universités d'Ulm et de Passau).

- Le projet **KOLINE** du BMWi (2009-2012), dont l'objectif a été d'optimiser les flux de trafic urbains.

- **KONVOI** (2006-2010), financé par le BMBF, qui a traité du sujet des transports en convois de quatre véhicules.

- Le projet **SARTRE**[53] (*Safe Road Trains for the Environment*), de 2009 à 2012, avait pour but de faire circuler des convois de véhicules. La spécificité du projet est que le convoi est piloté par le conducteur du premier véhicule, et que les autres véhicules suivent automatiquement. Le but est de fluidifier les grands axes, où la vitesse est constante, et réduire les risques d'accidents. Volvo était le constructeur partenaire du projet.

[52] http://www.interactive-ip.eu
[53] http://www.sartre-project.eu/

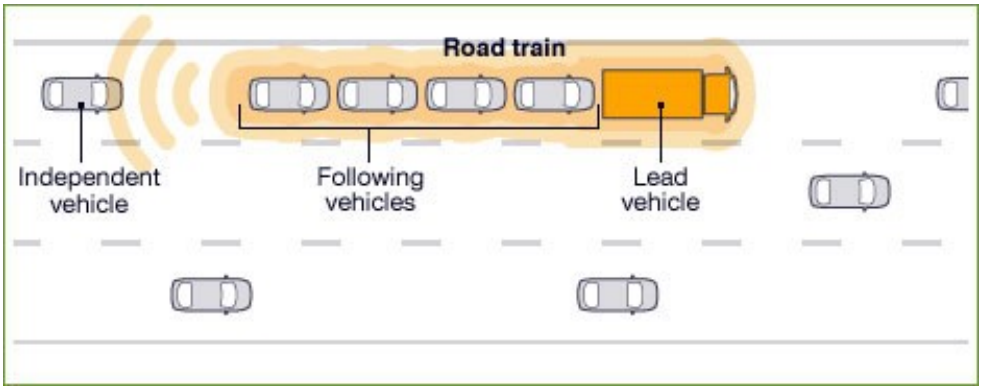

Figure 14 - Vision du projet SARTRE (crédits : faiteslepleindavenir.com)

- Le groupe de travail européen **E-Safety**[54], vise à développer les infrastructures de communications, afin de permettre les échanges de données véhicule-véhicule et véhicule-infrastructure.
- Le projet **UR:BAN** (cf. § sur l'institut Fraunhofer IAO).

E- Conférences

Tous les deux ans, Karlsruhe accueille le congrès "**IT Trans**", rendez-vous des professionnels des solutions TIC pour le transport public[55]. Lors de l'édition 2014, l'évènement était focalisé sur la sécurité dans les transports publics, l'information aux voyageurs, l'interaction avec les médias sociaux, les e-billets, la gestion des tarifs inter-opérateurs et les bonnes pratiques internationales[56]. La prochaine édition se déroulera en mars 2016.

Tous les deux ans à Berlin, le salon technologique **InnoTrans** constitue le plus grand évènement du secteur ferroviaire. Il attire environ 140 000 visiteurs. L'édition 2014 du salon s'est focalisée sur les modes de propulsion hybrides, les transports régionaux et urbains, ainsi que les services associés à la connexion à internet des gares et des trains. Il est à noter que de nombreuses technologies présentées à ce salon sont également adaptées au domaine automobile.

Figure 15 - Vue de la manifestation InnoTrans (crédits : bahnbilder.com)

[54] http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/content/e-safety-vehicle-intrusion-protected-applications
[55] http://www.it-trans.org
[56] http://www.kooperation-international.de/detail/info/it-trans-international-conference-and-exhibition-on-it-solutions-for-public-transport.html

II- Quelles technologies sont mises en œuvre ?

Actuellement, deux types d'applications peuvent être identifiées :

- Des applications concernant le véhicule lui-même ou sa relation avec le conducteur : systèmes d'assistance, de divertissement et de confort, systèmes de sécurité.
- Des systèmes contrôlant la communication de la voiture avec son environnement (route ou autres véhicules). Dans cette catégorie peuvent être rangées des innovations qui conduiront à des véhicules autonomes.

Ces technologies ne sont applicables qu'avec un développement des capteurs.

A- Capteurs

Les technologies qui interagissent avec le conducteur et/ou l'environnement reposent sur un réseau de capteurs, qui fournissent une grande quantité d'informations fiables. Ceux-ci peuvent être classés en différentes catégories :

- **Les capteurs vidéo** : caméra vidéo « classique » : dans ce domaine, les marges d'innovation sont minces, mais il en existe toujours. La miniaturisation et la résolution de l'image sont les principaux points qui différencient les modèles. De nombreuses variations sont toutefois possibles sur le type (nocturne ou non) et sur l'angle couvert par la caméra (jusqu'à la vision panoramique).
- **Les capteurs actifs à ondes**, agissant dans le domaine de l'invisible :
    - Caméra infrarouge : l'intensité du rayonnement infrarouge émis par les corps et variable selon la température enregistrée. La caméra associe ensuite à chaque niveau d'intensité une couleur pour une visualisation des données.
    - Capteur ultrasons : une onde acoustique est envoyée par le capteur, est réfléchie sur l'objet et retourne au capteur. Le temps nécessaire à l'aller-retour détermine la distance.
    - Capteur micro-ondes : le radar est un capteur à micro-ondes. Le principe est identique à celui du capteur à ultrasons, mais le capteur opère dans une autre gamme de fréquences.
    - Capteur Lidar (Light Detection and Ranging) : un balayage laser par un système opto-électronique permet une mesure précise de distance.

Figure 16 - Lidar équipant le toit d'un véhicule (crédits : mcgurrin.com)

- **Les capteurs de géolocalisation** :
    - Global Positioning System (*GPS*), système américain, permet avec un récepteur captant les données d'au moins quatre satellites, de déterminer avec précision la position dans l'espace.

- Le système russe GLONASS, à nouveau opérationnel depuis 2010, fonctionne fondamentalement sur le même principe de triangulation. Il est utilisable par le grand public sur certains produits (smartphones, tablettes, automobiles), généralement en complément du GPS, notamment pour les biens commercialisés en Russie.
- Le système européen GALILEO, qui devrait être disponible dans les prochains mois.

- **Les odomètres, tachymètres** : ils servent à déterminer la position et le cap du véhicule sur un sol plan. Ces capteurs sont cependant largement concurrencés par le système de positionnement qui est aussi en mesure de déterminer la vitesse.
- **La centrale inertielle** : cet instrument est composé de six capteurs (trois gyromètres et trois accéléromètres), permettant de mesurer les composantes des vecteurs vitesse et accélération en trois dimensions. De tels systèmes de précision sont pour le moment réservés à des usages militaires et aéronautiques.
- **Les boucles électromagnétiques** : placées sous la chaussée, elles voient la modification du champ magnétique induit par la présence d'un véhicule, qu'elle détecte alors.

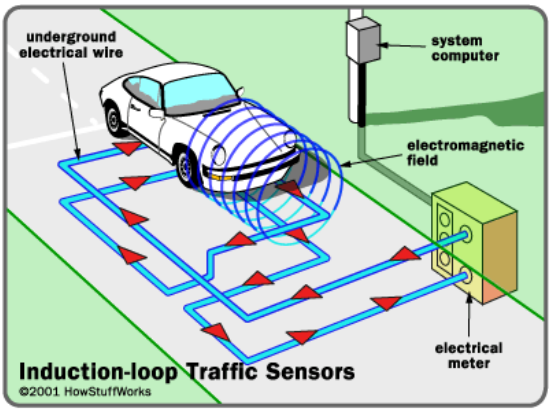

Figure 17 - Schéma de fonctionnement d'une boucle électromagnétique (source : HowStuffsWork)

Les grandes innovations et évolutions dans ce domaine se concentrent dans les capteurs vidéo et les capteurs actifs. Ceux-ci, aidés par le capteur de positionnement du véhicule, paveront la voie du déplacement autonome.

B- Des systèmes d'assistance… au véhicule autonome

Différentes technologies abouties sont utilisées dans les véhicules déjà sur le marché. Les recherches significatives ne portent alors que sur leur optimisation. A titre d'exemples, on citera :

- Anti-Blocage de Sécurité des roues en cas de freinage brusque (ABS) ;
- Stabilisateur Électronique Programmable, contrôle de trajectoire (ESP) ;
- Détecteur des conditions d'adhérence (DST) ;
- Limiteur/régulateur de vitesse.

D'autres technologies sont en voie de mise sur le marché, ou en sont simplement à leurs balbutiements.

a) Systèmes internes, sans interaction avec l'environnement

Il apparait, selon certaines études[57], que la fatigue du conducteur est à l'origine d'environ 20% des accidents au Royaume-Uni. De telles statistiques ne semblent pas exister pour la France ou l'Allemagne. Des systèmes ont été développés afin de décrire l'état du conducteur et de détecter une éventuelle phase d'inattention :

[57] "Driver Fatigue and Road Accidents", Royal Society for the Prevention of Accidents. 06/2011 - http://www.rospa.com/roadsafety/info/driver_fatigue_2011.pdf

Portail pour la Science de l'Ambassade de France en Allemagne
www.science-allemagne.fr

- **Daimler** a lancé en 2009 un système, « Attention Assist »[58], qui détermine le niveau d'attention en se fondant sur des paramètres de conduite. Certains paramètres sont enregistrés au début de chaque trajet donnant ainsi un profil de conduite. Le mouvement du volant est principalement analysé, un conducteur fatigué ayant des difficultés à suivre précisément une courbe. Ces erreurs mineures de trajectoire sont souvent corrigées brusquement par le conducteur. D'autres paramètres sont corrélés, comme les valeurs d'accélérations longitudinales et latérales, l'usage des clignotants et des pédales. Un signal sonore se fait entendre si le comportement dérive du profil enregistré.
- Le système « Fatigue detection system » de **Volkswagen** installé sur certaines voitures s'appuie sur la même méthode.
- Un certain nombre d'instituts allemands effectuent des recherches sur la détection de la somnolence en se basant sur de l' « eye tracking »[59]. Le système est basé sur une caméra qui observe les yeux du conducteur. En cas d'un assoupissement de l'ordre de la seconde, plusieurs solutions sont possibles : avertissement sonore, vibration du siège, etc.

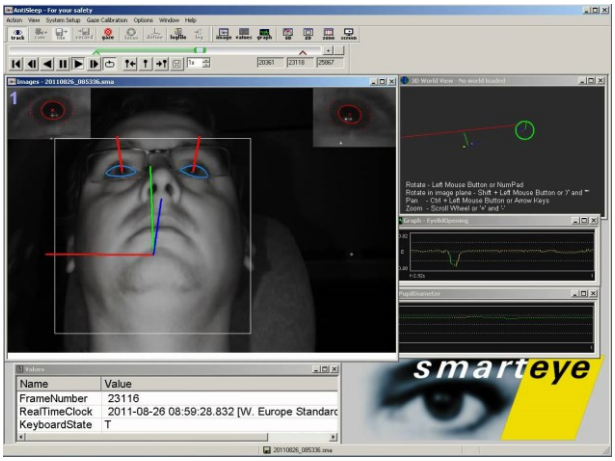

Figure 18 - Suivi de l'attention du conducteur par "eye tracking" (crédits : SmartEye)

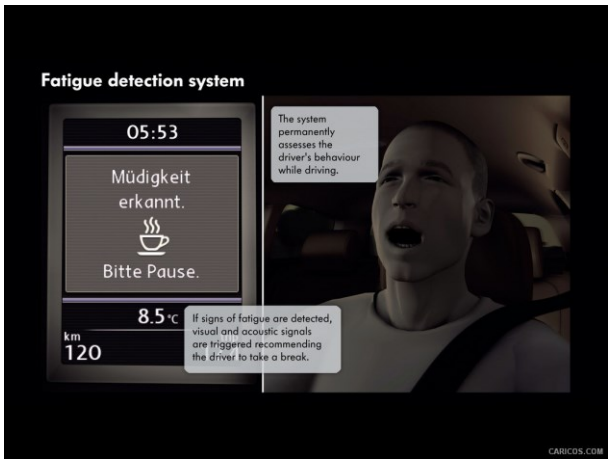

Figure 19 – Système développé par Volkswagen

Par ailleurs, l'affichage tête haute des informations est un système qui permet, via un projecteur, d'afficher l'essentiel des informations de conduite directement sur le pare-brise du véhicule (vitesse, direction à suivre…). Ainsi, le conducteur n'a plus besoin de détourner les yeux de la route pour obtenir ces informations.

b) Systèmes externes, en interaction avec l'environnement

La sophistication croissante des véhicules et la multiplication des aides à la conduite laissent augurer d'une conduite automatisée à moyen terme. Déjà, en 2010 plusieurs démonstrations de véhicules automatiques (Google car, SARTRE Project, DARPA challenge, Vislab challenge, etc.) ont été effectuées sur des routes réelles.

Des véhicules autonomes existent déjà en France (projet Cybercars de l'INRIA) au stade de démonstrateurs technologiques, même si leur mise à disposition pour le grand public nécessite encore quelques années de recherche et de tests.

Dans ces véhicules, plusieurs types de technologies sont à l'œuvre :

- Système anti-collision : ce système est basé sur des caméras stéréo (parfois infrarouges) et sur un système radar. Il permet de repérer un danger (piéton, véhicule arrêté) et prépare le freinage. Si le conducteur ne freine pas suffisamment tôt, le véhicule le fait à sa place.

[58] "Attention Assist: Drowsiness-detection system warns drivers to prevent them falling asleep momentarily", communiqué de presse de Daimler – 11/2008
[59] http://idw-online.de/pages/en/news588055

- Détection de piétons : la détection de piétons est intégrée dans les systèmes anti-collisions. Cependant son application pose de nombreux problèmes. En effet, une personne peut selon sa position, ses vêtements et sa situation dans l'espace être difficile à reconnaître. Les recherches actuelles portent principalement sur l'amélioration des logiciels.
- Aide à la navigation par GPS : comme précisé, elle permet de connaître sa position. Associée à un logiciel de calcul, elle permet de calculer le meilleur itinéraire.
- Alerte de franchissement involontaire de ligne (AFIL) : basé sur des capteurs infrarouges, il est sensible au changement de réflexion du rayonnement provoqué par le passage sur la ligne blanche. Si les clignotants ne sont pas en route, une vibration est appliquée au fauteuil du conducteur.
- Allumage automatique des feux de croisement : Le système de phares est associé à un détecteur de luminosité, ce qui déclenche l'allumage de ceux-ci.
- Essuie-vitre automatique: basé sur un capteur de pluie, ce système automatise la mise en route des essuie-glaces.

En outre, différentes méthodes sont utilisées pour détecter des obstacles autour du véhicule et, dans le cas des aides au stationnement, l'ultrason est majoritairement employé, même si le radar ou des solutions vidéo existent. Associé à une solution logicielle et à un avertisseur sonore, il constitue un radar de recul, permettant de mesurer la place disponible.

L'aide au stationnement consiste à effectuer automatiquement, à l'aide des différents systèmes décrits auparavant, une manœuvre à partir d'une voie de circulation vers une place de parking (que la place soit parallèle, perpendiculaire ou en épi par rapport à la route).

Les nouveaux enjeux reposent sur l'accès à Internet. De plus en plus de solutions logicielles demandent des mises à jour régulières, la voiture doit devenir un point d'accès à Internet. De nombreuses questions se posent, notamment sur la forme que prendrait un accès internet dans le véhicule.

III-Quels enjeux actuels ?

A- Défis techniques

Les barrières techniques à lever sont multiples. En premier lieu, il est crucial de mettre en place un environnement de détection robuste. Le réseau de capteurs doit être interconnecté, les données acquises par les différentes méthodes de mesure sont à comparer, de même que les erreurs, à détecter et à corriger.

Le système dans son ensemble doit également pouvoir prendre des décisions pertinentes, ce qu'il n'est pas à même d'effectuer actuellement. Dans le cas d'une collision inévitable, quel devrait être le choix opéré par le système ? Aurait-il pour priorité de sauver son conducteur, d'établir une hiérarchie (aussi difficile que l'exercice puisse paraître) entre les possibles victimes ? Lorsqu'il est question de véhicule autonome, ce débat sur la prise de décision revient nécessairement, sans qu'une réponse applicable bien définie ne soit apportée.

La problématique du positionnement géographique revient également dans les débats. Le système GPS étant à la fois trop dépendant de son propriétaire et insuffisamment précis pour permettre d'aboutir à l'automobile autonome (un positionnement au mètre près environ serait nécessaire alors que l'imprécision actuelle est comprise en 5 et 15 m), la question n'est pas tranchée.

Une des barrières à l'adoption à grande échelle est enfin le coût du système embarqué. Le dispositif développé par Google coûterait environ 60.000 €[60], et des dépenses supplémentaires seraient à prévoir avec l'intégration de nouveaux capteurs, de la consommation électrique supplémentaire et de la puissance informatique utilisée. Tout comme les véhicules électriques, les avancées technologiques et la production de masse feront baisser ces coûts, entre 22.000 et 43.000 € par système. Toutefois, ce chiffre ne devrait pas tomber sous 8 500 € avant 10 ans. Pour être intégrés aux véhicules, ces instruments devront être encore plus performants et miniaturisés. Les capteurs devront également être fiables quelles que soient les

[60] Taux de conversion du 21/01/2015 : US$ =0.865 €

conditions météorologiques, car le mauvais temps dégrade de manière significative la qualité des informations recueillies.

Autre solution, si les systèmes autonomes s'appuient sur des cartes très précises, l'enjeu est de constamment mettre à jour ces cartes (avec tous aléas liés aux déplacements des zones de chantier par exemple).

B- Défis humains

La principale difficulté concerne les modalités de passage de relai entre le pilotage automatique et le pilotage manuel. La reprise de contrôle par le conducteur de son véhicule en cours de trajet, nécessite environ six secondes, lorsque le conducteur est distrait[61]. Or, les systèmes embarqués dans les véhicules ne sont pas encore capables de prévoir avec une telle avance le moment où le pilotage automatique échouera et où le conducteur devra reprendre les commandes.

L'utilisation de véhicules autonomes érode par ailleurs les compétences du conducteur. Tandis que les ordinateurs effectuent des calculs et prennent des décisions de plus en plus complexes, le conducteur devient spectateur. Ses compétences sont moins développées et utilisées.

C- Défis sociaux

La principale question sociale est celle de l'acceptation. Les conducteurs sont-ils disposés à se laisser conduire en toute confiance par un système complètement automatique ?

La gestion de la vie privée et des données générées est également au cœur du débat. Comme dans les infrastructures des TIC, des problèmes de sécurité peuvent se poser. Des tentatives de manipulation ou de prise de contrôle sont à envisager. Le problème de l'espionnage (recueil d'une masse d'informations sur l'ensemble du parc automobile) semble toutefois à prendre plus au sérieux que la prise de contrôle. La protection de la vie privée et le stockage/partage des données personnelles recueillies (par exemple liées aux parcours effectués) constituent des problématiques qui sont loin d'être résolues[62].

D- Barrières légales

L'utilisation de véhicules autonomes implique de revoir les questions de responsabilité en cas d'accident et par conséquent d'assurance. Une partie de la responsabilité serait nécessairement portée par les constructeurs et les concepteurs de systèmes. Toutefois, les responsabilités entre véhicules seraient plus faciles à identifier, grâce à la présence d'images et d'informations captées.

L'homologation et la certification des véhicules, garantissant un standard minimum de sécurité, sont également à traiter. Dans quelques années, les véhicules autonomes seront sur les routes. Le législateur doit donc se préparer à cette nouvelle forme de mobilité. Alors que certains états des Etats-Unis ont commencé à légiférer, les constructeurs restent néanmoins confrontés à une incertitude réglementaire[63].

La question de la mise en place de normes et standards autour des différentes technologies est également posée. L'organisme officiel de normalisation est l'Association allemande de normalisation (DIN), équivalent de l'AFNOR en France. Cet institut travaille avec les industriels pour mettre en place des normes sur le sujet de la voiture autonome.

L'Union européenne, contrairement aux Etats-Unis, n'a pas de disposition permettant la mise sur le marché du véhicule sans chauffeur. Aucun projet en ce sens n'est par ailleurs recensé[64].

E- Soucis de l'infrastructure

[61] http://internetactu.blog.lemonde.fr/2013/11/15/voiture-autonome-le-probleme-cest-lhomme/
[62] http://www.uni-wuerzburg.de/sonstiges/meldungen/single/artikel/wer-haftet/
[63] http://www.uni-wuerzburg.de/sonstiges/meldungen/single/artikel/wer-haftet/
[64] http://www.swissinfo.ch/fre/freins-l%C3%A9gaux-aux-voitures-sans-conducteur/35158816

La tendance dans le domaine de la mobilité et du transport est à une demande croissante ininterrompue. Cependant la volonté de construction de nouvelles infrastructures n'est pas forcément présente. L'évolution doit être dans la gestion des transports et dans de nouvelles stratégies commerciales.

La recherche va dans le sens d'une meilleure communication entre véhicules, d'un meilleur traitement et d'une meilleure utilisation des données GPS. Mais les difficultés se cristallisent sur ce dernier point.

F- Portabilité des technologies

L'architecture des TIC dans l'automobile est extrêmement complexe. Chaque nouvelle innovation inclut ses nouveaux capteurs, ses nouveaux centres de traitements, ses nouveaux systèmes de communication. Dans certains cas, jusqu'à une centaine de centres de traitement de données peuvent être présents simultanément.

L'avenir tend à une simplification accrue, à un concept unifié autour de l'architecture TIC. Différents projets de recherche visant à normaliser l'architecture sont en cours aux Etats-Unis et en Europe, notamment les projets cités précédemment (cf. § II. D. Projets fédéraux et européens) complétés par d'autres travaux[65]. Etant donnée la complexité de l'architecture à mettre en place, les études sont généralement spécialisées dans un aspect de la plateforme. Il apparait ainsi difficile, à l'heure actuelle et sans véhicule autonome sur le marché, de définir une quelconque tendance vers une plateforme ou une autre qui s'imposerait.

Cependant de nombreuses questions sont en suspens : Quels seront les choix technologiques ? Y aura-t-il des évolutions divergentes entre les différents types de propulsion? Entre les constructeurs ?

G- Autonomie pour l'industrie

L'enjeu de l'autonomie ne concerne pas uniquement l'automobile ou le transport de marchandises sur route, mais également l'industrie. En production, les véhicules autonomes font partie intégrante de l'usine du futur, l'industrie 4.0.

Le concept d'industrie 4.0 renvoie à un nouveau mode d'organisation des moyens de production. L'idée est de mettre en place des usines dites "intelligentes", en ce sens qu'elles seraient capables de mieux adapter leur production aux besoins, et d'être plus économes en ressources et matières premières. Pour cela, l'industrie 4.0 se base sur les progrès de la logistique et des TIC. Cette appellation a été donnée en référence aux trois premières révolutions industrielles (l'électricité, la mécanisation et l'informatique).

L'Institut Fraunhofer IML de Dortmund (cité précédemment) travaille par exemple à l'application de résultats de recherche sur la voiture autonome à la production industrielle et la logistique.

IV- Comparaison avec la France

A- La stratégie mobilité 2.0 en France[66] [67]

Le ministre des transports Frédéric Cuvilier a lancé, en début d'année 2014, des initiatives pour favoriser le développement de la filière impliquée dans les transports intelligents. Selon les chiffres du Ministère du Développement durable, la filière représenterait un marché de 4,5 milliards d'euros par an et concernerait entre 500 et 1.000 entreprises.

Quatre mesures concrètes ont été prises par le gouvernement :

- Dans le cadre de l'appel à projets européen SCOOP@F, la France va développer sur cinq ou six sites pilotes une flotte de 3.000 véhicules communicants sur 2.000 km de routes connectées.
- Le lancement d'un débat national sur l'open data dans les transports.

[65] https://www.see.asso.fr/en/file/11510/download/18601
[66] http://www.developpement-durable.gouv.fr/Vers-la-mobilite-2-0-Frederic.html
[67] http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Programme_Mobilite_2-0_-_11-02-2014.pdf

- Le lancement d'un calculateur d'itinéraire multimodal.
- La mise en place d'une « fabrique de la mobilité 2.0 » qui servira de regroupement aux acteurs du domaine pour regrouper les énergies.

Figure 20 - Affiche de la journée de présentation de la stratégie Mobilité 2.0

B- Les acteurs

Des véhicules autonomes existent déjà en France (projet Cybercars de l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (Inria) au stade de démonstrateurs technologiques, même si leur mise à disposition au niveau du grand public nécessite encore quelques années de recherche et de tests.

L'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (**IFSTTAR**) est né de la fusion de deux instituts, l'**Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité** (**INRETS**) et le **Laboratoire central des ponts et chaussées** (**LCPC**). Il est devenu l'un des plus grands instituts nationaux dans le domaine.

Outre ces instituts, les acteurs français du véhicule autonome sont nombreux et répartis sur tout le territoire. Une cartographie précise de ces organismes est proposée par le blog "L'atelier cartographique"[68].

Conclusion

L'Allemagne fait preuve de pragmatisme dans le développement de véhicules autonomes. Le monde de la recherche et de l'industrie se sont, tous deux, emparés de la thématique. Beaucoup de projets existent, qui portent soit sur des systèmes très spécialisés, soit sur l'ensemble du véhicule.

Des efforts sont également menés pour assurer la continuité des projets et valoriser les résultats des initiatives de recherche. L'aspect lié à la formation n'est pas oublié : des cursus de différents niveaux sont proposés dans les instituts de recherche de pointe. Ces formations semblent couvrir l'ensemble des compétences nécessaires à la mise en place du véhicule autonome.

Dans le domaine industriel, le pays profite du bon ancrage des entreprises automobiles nationales. Les constructeurs sont à la pointe dans la recherche et testent des solutions pour être parmi les premiers à faire leur entrée sur le marché du véhicule autonome. Parallèlement, l'Allemagne bénéficie d'une bonne connexion des réseaux de recherche, à travers des alliances, des programmes de recherche dédiés et une

[68] https://ateliercartographie.files.wordpress.com/2013/10/postervehiculeautonome.pdf

forte participation allemande aux projets de recherche européens. Les politiques se montrent par ailleurs proactifs sur la mise en place de normes, pour le moment, inexistantes.

Les coopérations entre la France et l'Allemagne concernent principalement des projets européens (CityMobil 2, HAVE-IT, etc.) où les instituts de recherche français et allemands sont fortement représentés.

Face à la montée en puissance du véhicule connecté, les constructeurs se font toutefois bousculer par les grandes entreprises du numérique. Ces partenaires indispensables des constructeurs se révèlent être également de nouveaux concurrents, qui tentent de proposer des véhicules sans faire intervenir les constructeurs. L'enjeu pour ces derniers est donc de réussir à embarquer ces nouvelles technologies dans l'habitacle sans perdre le contrôle de leur métier de base.