

# La conduite automatisée, intelligences artificielles et humaines, quelles interactions ?

Par **Antoine LAFAY**

Directeur de la Recherche et de l'Innovation sur le véhicule autonome pour Valeo

et **Guillaume DEVAUCHELLE**

Vice-président Innovation et Développement scientifique du groupe Valeo

## Introduction

Avouons-le, se laisser conduire par quelqu'un d'autre n'est déjà pas si facile, alors par une machine... La « voiture autonome » soulève beaucoup d'enthousiasme et autant de contradictions. Le débat est vif et porte sur des plans aussi variés que la faisabilité technologique, l'acceptabilité des usages, l'éthique, le droit, l'impact sur la ville et les infrastructures, les conséquences énergétiques et nous en oublions peut-être.

Cela tient à la place centrale de la mobilité dans nos vies toujours en mouvement. Nous avons tous vécu, chacun à sa façon mais tous intensément, la perte de cette faculté à l'occasion de la Covid-19. Mais en matière de déplacement automobile, la finalité, le déplacement, ne va pas sans le comment, la conduite.

Ne revenons pas sur l'importance de la mobilité et ses multiples dimensions systémiques pour nous concentrer sur la conduite elle-même.

En tant qu'ingénieurs, rationnellement, l'idée même d'un véhicule capable de prendre des décisions extrêmement complexes, en temps réel et aux conséquences potentiellement vitales, nous interpelle. Mais il est clair que l'imaginaire, le subjectif, le plaisir de la conduite, la fascination pour la vitesse, le style, la relation à l'objet dépassent largement la simple rationalité.

Pourtant, le « véhicule autonome » n'est pas nouveau. Le code de la route précise même que le conducteur doit rester maître de son véhicule. Cela vient de la traction hippomobile. Il ne fallait pas que le cheval rentre seul à l'écurie. Implicitement, c'est reconnaître que le cheval a une capacité de décision réelle jusqu'à exécuter seul le trajet. La conduite était alors partagée entre l'homme et l'animal, en constante interaction à l'issue d'un long processus d'apprentissage.

La mécanisation de la traction a pu donner l'impression au conducteur de maîtriser seul la situation, après s'être approprié les réactions d'une mécanique, conçue comme parfaitement prédictible.

Évidemment, cette maîtrise est loin d'être parfaite, et, au fil du temps, un nombre croissant de dispositifs se sont intercalés entre l'homme et la route. Nous les avons oubliés mais les amateurs de voitures anciennes savent ce que c'est que de conduire sans direction ni freinage assistés, sans boîte à vitesses synchronisées...

L'introduction de l'électronique, il y a une trentaine d'années, a changé la donne et a suscité beaucoup de réactions à l'époque. C'est que l'électronique porte une logique propre, le *software*, qui se substitue au conducteur, notamment pour les cas les plus extrêmes de la conduite.

Souvenez-vous des comparatifs entre distances de freinage avec ABS<sup>(1)</sup> et sans ABS. Avec un champion au volant, le pilote faisait mieux que les premières générations d'ABS, mais tout le monde n'est pas, à chaque instant, un pilote au mieux de sa forme. Les bénéfices sont largement acceptés aujourd'hui et les performances actuelles sont telles qu'il a fallu limiter ou interdire l'utilisation de l'électronique dans la compétition automobile. Bref, chacun confie aujourd'hui à une électronique la « conduite » de son véhicule là où le risque est maximum. Les fonctionnalités sont nombreuses (avec autant d'acronymes : ESP<sup>(2)</sup>, AFU<sup>(3)</sup>...), et beaucoup sont réglementaires.

L'industrie automobile présente ces applications comme des « aides à la conduite » ou ADAS<sup>(4)</sup>, formule assez pudique, mais la réalité est là : l'électronique gère la direction et le freinage du véhicule dans les cas critiques, en lieu et place du conducteur.

Les régulateurs de vitesse adaptatifs, qui règlent la vitesse du véhicule par rapport au contexte, ont plus récemment soulevé les mêmes inquiétudes mais sont maintenant entrés dans les mœurs. Il ne viendrait plus à l'esprit de personne de qualifier son véhicule d'« autonome » parce qu'il est doté d'un régulateur de vitesse adaptatif et d'un dispositif de maintien dans la file. Nul doute qu'un tel véhicule, s'il avait été disponible il y a 20 ans, aurait été qualifié d'« autonome ».

Il faut donc préciser ce que l'on entend aujourd'hui par « voiture autonome ».

## **Déploiement des véhicules autonomes**

Nous assistons aujourd'hui au déploiement rapide et massif des aides à la conduite pour la voiture de Monsieur Toulemonde, et au développement de quelques véhicules « autonomes ». Le référentiel JSAE<sup>(5)</sup> définit 5 niveaux d'automatisation de la conduite.

Du niveau 1 au niveau 2, nous parlons d'aide à la conduite : pour le niveau 1, le système assiste le conducteur dans une dimension (contrôle longitudinal) ; pour le niveau 2, le système assiste dans les deux dimensions (contrôle longitudinal et latéral). Pour ces deux niveaux, le conducteur reste toujours responsable, et doit rester vigilant en permanence.

Tout l'enjeu est de garder le conducteur attentif car il doit pouvoir prendre la main en quelques secondes, et de ne pas créer une surévaluation de la performance du système. Les systèmes de niveau 2 ne sont en effet pas assez robustes pour assurer pleinement la sécurité de fonctionnement dans toutes les situations de conduite.

À partir du niveau 3, nous pouvons commencer à parler de véhicule autonome, car le système peut prendre la responsabilité de la conduite et se substituer au conducteur. Dans le niveau 3, le conducteur peut ainsi relâcher sa vigilance temporairement, dans le niveau 4 en permanence, et un véhicule de niveau 5 n'a ni pédale ni volant.

De plus, à partir du niveau 4, les véhicules autonomes feront partie d'une flotte opérée, avec un support de l'infrastructure et d'un opérateur déporté dans un centre de contrôle. L'appellation « véhicule autonome » est donc abusive puisque le véhicule dépend d'un tiers ; « véhicule sans conducteur à bord » serait plus juste.

(1) ABS : Système d'antiblocage des roues. L'acronyme ABS provient de l'allemand *Antiblockiersystem*. Il désigne le système d'anti-blocage des roues permettant d'empêcher, lors d'un freinage pied au plancher, que les roues ne se bloquent.

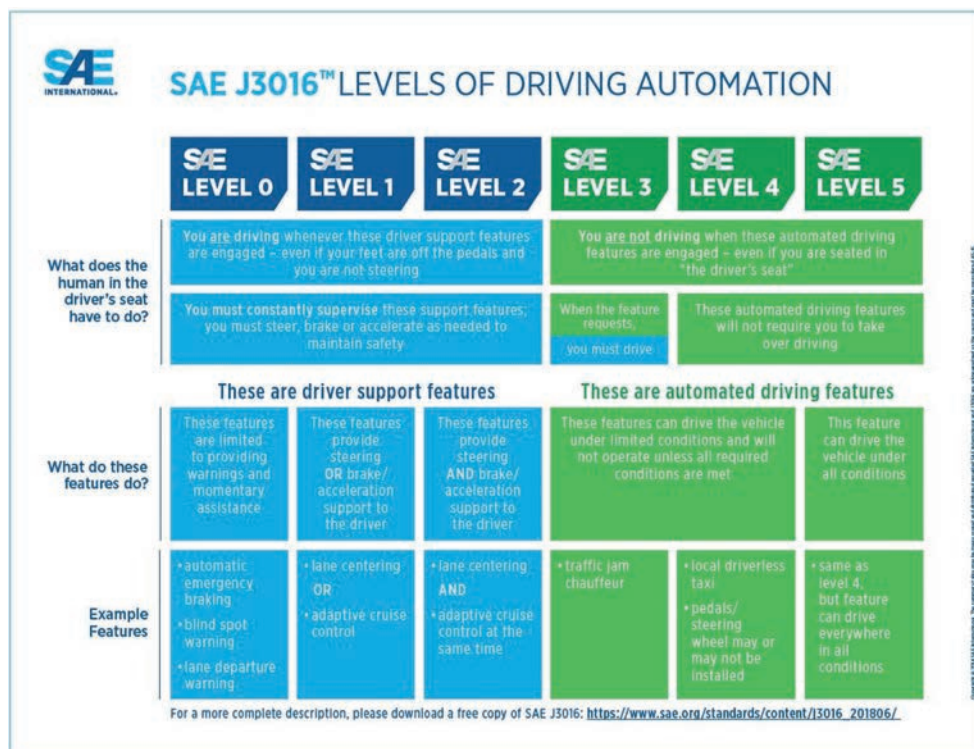
(2) ESP : *Electronic Stability Program*. En français, il est également appelé « correcteur électronique de trajectoire ».

(3) AFU : Assistance au Freinage d'Urgence

(4) ADAS : *Advanced Driving Assist System* est l'expression anglaise pour désigner les systèmes avancés d'assistance et d'aide à la conduite.

(5) JSAE : *Journal of Society of Automobile Engineers*

L'intelligence artificielle (IA) sera à la fois embarquée dans le véhicule pour toutes les décisions locales, mais également dans l'infrastructure.



<https://www.sae.org/>

Si les niveaux 1 et 2 sont désormais une réalité, y compris sur des voitures d'entrée de gamme, le niveau 3 vient tout juste de franchir une étape majeure avec l'adoption par les Nations Unies d'une réglementation autorisant les véhicules automatisés de niveau 3, équipés de système dit ALKS (*Automated Lane Keeping Systems*). Cela va permettre le déploiement dès 2021 de ces systèmes par tous les grands constructeurs, les premiers en premier lieu.

Des systèmes de niveau 4 sont actuellement en phase de tests, comme des robots-taxis, des navettes autonomes ou des systèmes de parking public avec voituriers automatiques. Ces tests ont lieu soit dans le cadre d'initiatives privées, soit dans le cadre d'expérimentations publiques comme les projets EVRA en France.

Derrière ce concept générique de véhicule autonome, nous pouvons distinguer trois marchés avec des approches différentes :

- Tout d'abord, le véhicule particulier, avec l'approche incrémentale que nous avons vue précédemment, les fonctionnalités sont nombreuses : reconnaissance des panneaux, régulateur de vitesse adaptatif, freinage d'urgence, surveillance d'angle mort, maintien dans la voie, parking automatisé, conduite en embouteillage. Il s'agit ici d'aider, voire de suppléer le conducteur dans certaines des tâches de conduite les plus techniques ou les plus ennuyeuses, et de renforcer la sécurité.
- Ensuite, le transport public, avec une approche beaucoup plus directe. Il s'agit des robots-taxis et des navettes autonomes, fortement automatisés, sans conducteur. Ces véhicules sont acquis

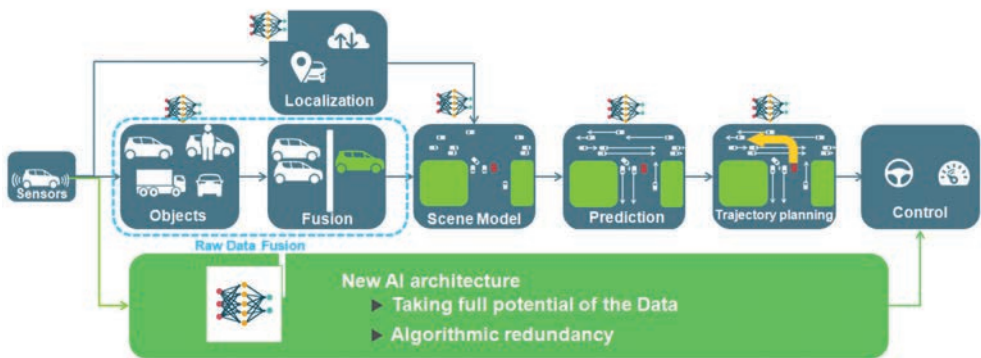
et opérés par des gestionnaires de flotte ou des opérateurs de transport. Sur ces véhicules, les contraintes de coûts et d'intégration sont moins fortes, mais la disponibilité doit être maximale afin de garantir le service et d'assurer la rentabilité du système.

- Enfin, le transport de biens, avec une approche combinant la logistique industrielle et la conduite autonome. Les premiers droïdes de « livraison du dernier kilomètre » sont une évolution des AGV (*Automated Guided Vehicle*) existants dans les usines aujourd'hui. En s'appuyant sur les technologies automobiles, ils effectuent des livraisons en milieu urbain, puis périurbain, avec des missions de plus en plus complexes.

## **Analyser, comprendre et interagir avec son environnement : la montée en puissance de l'intelligence artificielle**

Les véhicules sont équipés d'un nombre de plus en plus important de capteurs, qui ont des capacités de détection au-delà de la perception humaine (caméra thermique, radar, ultrason), générant une quantité extrêmement importante d'informations qu'il faut traiter.

Observons la chaîne algorithmique classique :



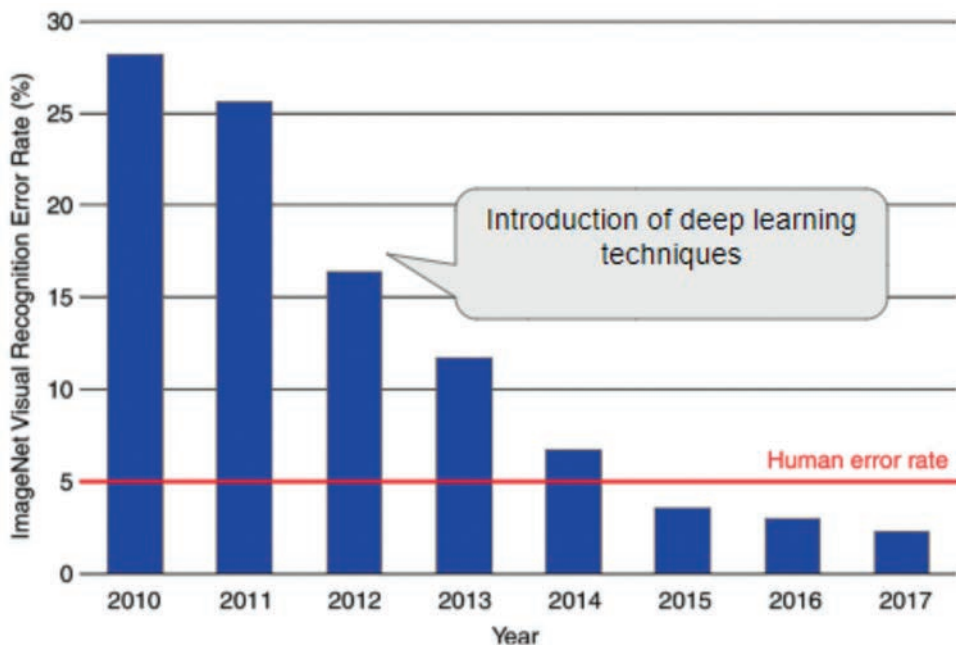
Différentes briques algorithmiques vont être nécessaires :

- Détecter et classifier les objets environnants,
- Localiser,
- Prédire les trajectoires des objets environnants,
- Planifier sa trajectoire,
- Contrôler.

## **L'essor de l'IA**

Pour résoudre ce fabuleux challenge de perception et de prise de décision, l'intelligence artificielle est en train d'être fortement déployée dans l'automatisation des véhicules. Elle devient indispensable pour améliorer la performance et apporter des solutions à des problèmes jusque-là restés sans réponse.

Dans la voiture autonome, elle agit en premier lieu sur la perception. Les performances de détection des algorithmes basés sur du *deep learning* sont grandement améliorées. Sur le graphique ci-dessous, on peut observer l'évolution des performances face au problème de classification d'images de la *dataset* Imagenet. On voit ainsi comment l'introduction des réseaux de neurones profonds a permis d'améliorer très fortement le niveau de classification, jusqu'à des performances surhumaines.



Ce type d'algorithme est aujourd'hui couramment utilisé pour les caméras (frontale et ceinture à 360°) sur les véhicules de série et est en cours de déploiement sur d'autres capteurs de perception comme les Lidars, les radars et les sonars. Le déploiement du *deep learning* dans les autres briques (la fusion, la prédiction, la planification et le contrôle) constitue la deuxième étape.

Enfin, de nouvelles formes d'architecture deviennent possibles grâce aux réseaux de neurones. Par exemple, Valeo a montré lors du CES 2018 que l'on pouvait appliquer une architecture "*end-to-end*", qui consiste à prendre directement l'ensemble des données et d'en sortir des commandes finales. Ainsi, un réseau de neurones prédisait directement le contrôle latéral à partir de l'image en entrée et un autre réseau prédisait le contrôle longitudinal. Le fonctionnement s'apparente aux réflexes humains, issus du cerveau reptilien.

Si l'IA offre de formidables opportunités pour développer de nouvelles fonctions, de nombreux défis restent à résoudre pour exploiter pleinement les bénéfices.

### Défi n°1 de l'IA : les algorithmes de *deep learning*

Le *deep learning* est une science récente, en pleine évolution, avec un transfert extrêmement rapide de la recherche à l'industrie. La liaison recherche-industrie est ici essentielle.

Un point fort du *deep learning* est la capacité à adapter les principes et les architectures d'une application à l'autre. Contrairement aux algorithmes classiques qui nécessitent des développements spécifiques à chaque application, les algorithmes de *deep learning* sont transférables d'une application à l'autre.

Ainsi, même si les cas d'usages ne sont pas exactement les mêmes entre l'automobile et l'aéronautique, une grande partie des principes et algorithmes peuvent être communs.

L'adaptation va venir des jeux de données utilisés pour entraîner ces algorithmes. La chaire Drive4All du Laboratoire de Robotique de l'École des Mines a réuni PSA, Safran et Valeo sur ces bases.

## Défi n°2 de l'IA : les données

Le carburant de ces algorithmes d'apprentissage est la donnée. Pour entraîner et valider ces algorithmes, il est nécessaire d'avoir un volume de données important et représentatif de l'ensemble des cas que l'on veut traiter.

Des millions de kilomètres sont parcourus pour collecter ces données. La collecte de données n'est rien sans l'annotation de données. Outre la création de l'environnement de collecte de données, il est également nécessaire de créer une solution spécifique pour sélectionner et annoter des centaines de milliers d'images contenant des informations pertinentes.

L'industrie automobile dispose d'un avantage fort qui est la capacité à déployer des systèmes à grande échelle et à récupérer ces données régulièrement, comme le font PSA, Renault et Valeo dans le projet Moove. Et pour encore augmenter la quantité de *data*, les données synthétiques sont utilisées.

Des simulateurs d'environnement multi-physiques permettent de générer une grande diversité de scénarii, en particulier aux limites, dans des cas très rares, extrêmes ou dangereux, qu'il serait difficile d'acquérir en situation réelle.

## Défi n°3 de l'IA : la puissance de calcul

L'explosion des volumes de données générées requiert, d'une part, au niveau R&D le développement de solutions de "*data lake*" et de serveurs de calcul pour traiter l'ensemble des données pertinentes, et ainsi d'apprendre les modèles des réseaux de neurones.

D'autre part, pour des systèmes autonomes, il est nécessaire de traiter les données en temps réel. Il faut donc avoir à la fois des solutions algorithmiques d'optimisation et des solutions de calcul *hardware* améliorant la puissance de calcul, la consommation d'énergie et les contraintes d'embarquement.

Plusieurs dizaines de calculateurs se partagent aujourd'hui les différentes fonctions dans un véhicule et proviennent de différents fournisseurs. Les architectures évoluent vers des « contrôleurs de domaine » beaucoup plus puissants, accueillant différentes fonctionnalités.

## Défi n°4 de l'IA : l'explicabilité et la validation

Au-delà des performances de ces algorithmes, il faut pouvoir démontrer leur robustesse et leur sûreté de fonctionnement. L'utilisation seule du *deep learning* ne sera pas suffisante.

De nouvelles architectures sont en cours de développement, par exemple le concept de "*Responsibility-Sensitive Safety*" (RSS) de MobilEye.

Les algorithmes de *deep learning* et les algorithmes déterministes plus classiques sont mis en redondance, avec des points de rencontre et de prédiction, permettant l'explicabilité des décisions prises.

Ce thème est repris en France par « le grand défi IA de confiance », dirigé par Julien Chiaroni.

La cybersécurité fait évidemment partie du sujet.

## Perspectives

Le champ d'application de l'IA est extrêmement vaste, de la perception à l'intelligence collective, et fait interagir l'intelligence humaine avec l'intelligence artificielle à tous les niveaux.

Pour la perception, comme pour les cinq sens humains, la fusion de données est mieux à même de fournir des informations pertinentes. Les performances de capteurs, comme les caméras, permettent de voir plus loin, plus précisément et de manière beaucoup plus stable que l'œil

humain. D'autres physiques comme l'infrarouge permettent également de beaucoup mieux percevoir l'environnement dans les cas difficiles de brouillard ou de nuit. Est-ce à dire que l'on pourrait conduire « aux instruments » comme le fait l'aéronautique ? Certainement pas souhaitable aujourd'hui !

Il manquerait des éléments essentiels pour la compréhension du contexte, l'analyse des situations, la prévision des trajectoires. L'IA permet maintenant de prédire les intentions d'un piéton par exemple, mais est bien incapable de traiter une foule amassée le long d'un trottoir. Pas facile non plus pour l'IA de détecter tel véhicule avec un comportement agressif, qu'il vaut mieux laisser passer même en ayant la priorité. Le contact visuel reste primordial pour prendre les décisions difficiles.

Au-delà de l'environnement immédiat, pour mieux comprendre le contexte plus global, nous nous sommes déjà habitués depuis longtemps à tenir compte des informations données à la radio, puis du GPS et des applications de navigation. Il ne fait aucun doute que l'IA fournira des informations de plus en plus pertinentes, dont nous ne pourrions plus nous passer. La 5G permettra une forme de téléopération des véhicules.

Au niveau des réflexes, du cerveau reptilien, l'IA *end-to-end* pourrait être beaucoup plus réactive et avec une capacité d'analyse « froide » et non émotive. Qui n'a pas fermé les yeux instinctivement à l'approche d'un danger, se privant ainsi d'informations précieuses ?

L'IA permet maintenant d'analyser la capacité réelle du conducteur à effectuer les tâches de conduite correctement. Les capteurs de vigilance, de stress, entre autres, sont en passe de devenir obligatoires. Nous ne sommes pas toujours les meilleurs juges sur notre propre capacité à tenir un volant. Cela pose évidemment des problèmes d'éthique.

Les possibilités offertes par le *cloud* pour optimiser globalement le transport des personnes et des biens, et offrir les différents services, ne sont limitées que par l'imagination.

Si l'on se place maintenant à un niveau plus philosophique, on ne peut pas réduire la question à la conduite seule. Il ne suffit pas de créer un « cocon » dans un flux de mobilité autour du véhicule et de ses occupants, mais de faire prendre en charge un certain nombre de tâches de conduite par la machine sans que l'homme s'en sente prisonnier ou trop dépendant, et qu'il se sente non seulement en parfaite sécurité, mais aussi à l'aise.

La mobilité a pris une importance telle dans la société moderne que le temps consacré à cette mobilité ne peut pas être un simple intermède entre deux temps « à valeur ajoutée », mais qu'il devienne lui-même un temps à valeur ajoutée.

Le plus simple serait de retrouver dans la voiture automatisée les conditions de tranquillité de la sédentarité « comme à la maison », mais ce serait se priver du plaisir du voyage, du besoin d'évasion, de l'expérience. En quelque sorte, il faut créer un partage des tâches, un hybride où l'homme ne conserverait que le positif du voyage sans les contraintes de la conduite exacerbées par le monde moderne. C'est un beau défi pour l'IA.

La forte progression des marchés ADAS permet à la fois une appropriation progressive des technologies et un financement massif de la recherche dans le domaine de la conduite automatisée et de l'IA. Une révolution silencieuse en quelque sorte.

Mais rappelons-nous qu'émotion vient du vieux français « motion », mouvement, et qu'il n'y a pas de mobilité sans émotion, et pas seulement sur le plan étymologique !

L'intelligence, qu'elle soit humaine ou artificielle, ne fera pas tout.