Les Echos SPÉCIAL

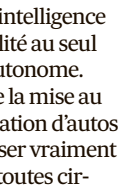
Transports Comment l'intelligence artificielle réinvente la mobilité // P. 2 | **Interview** Fawzi Nashashibi : « Il y a encore bien des obstacles pour le véhicule autonome » // P. 3 | **Infographie** Voiture, train, taxi volant… Les secrets des véhicules autonomes // PP. 4-5 | **Automobile** A quand la voiture sans conducteur ? // P. 6 | **Ferroviaire** Le train autonome bientôt sur les rails // P. 7 |

Intelligence artificielle et mobilité : vers le tout autonome

Shutterstock

Aller au-delà de l'automobile

L'ÉDITORIAL de **Benoît Georges**



Dans le rapport sur l'intelligence artificielle remis fin mars au gouvernement par Cédric Villani, la mobilité était l'un des cinq secteurs bénéficiant d'un coup de projecteur spécifique. C'est même celui où les décisions sont allées le plus vite : dès la mi-mai, un document proposait au gouvernement d'autoriser des voitures partiellement autonomes sur nos routes dès 2020-2022.

Il est vrai qu'il y a urgence. Avec deux groupes industriels figurant dans le Top 12 mondial des constructeurs, la France ne peut se permettre d'être distancée dans la course à la voiture autonome, où les géants du numérique sont partis les premiers. Habitués à collecter et traiter les quantités énormes de données nécessaires pour entraîner les algorithmes des capteurs et des systèmes de conduite, Google, Uber, Apple et leurs concurrents chinois se voient déjà en acteurs incontournables de la mobilité. Pour autant, on aurait tort de réduire les rapports entre intelligence artificielle et mobilité au seul cas de la voiture autonome.

D'abord, parce que la mise au point et l'homologation d'autos capables de se passer vraiment de conducteur en toutes circonstances prendront du temps, sans doute plus d'une décennie. Ensuite, parce que, dans l'intervalle, l'autonomie gagnera d'autres moyens de transport. Les navettes, par exemple, sont déjà une réalité. Demain, les trains seront autonomes eux aussi – sans parler des futurs taxis volants. Enfin, et surtout, parce que l'IA promet à terme de fluidifier l'ensemble du système de transport, et donc de donner à tout moment aux usagers une vision claire sur le meilleur moyen d'aller d'un point A à un point B. Les services de voitures ou de vélos partagés, les outils de planification des opérateurs de transport, les applications d'aide au déplacement type Waze utilisent déjà largement des algorithmes pour être plus efficaces. Demain, l'interconnexion de tous ces outils, indispensable pour que nous arrivions à nous passer de nos voitures personnelles, augmentera de façon exponentielle les besoins en intelligence artificielle. C'est un peu moins spectaculaire qu'une Google Car, mais cela peut changer le quotidien des 6 milliards d'êtres humains qui vivront en ville en 2050.

TRANSPORTS // L'intelligence artificielle est en passe de jouer un rôle majeur dans l'évolution des transports. Les véhicules autonomes annoncent une révolution de la mobilité.

Comment l'intelligence artificielle réinvente la mobilité

Frank Niedercorn
@FNiedercorn

L'intelligence artificielle promet l'autonomie aux véhicules, mais aussi une meilleure efficacité énergétique ainsi que leur maintenance prédictive, qui les rendra moins sujets aux pannes. *Photo Shutterstock*

Métro, taxis, trains, autobus, navettes et même avions-cargos, navire ou drones de livraison… Au-delà de la voiture, quelque 20 % de nos objets motorisés vont devenir autonomes à l'horizon 2030, selon une étude du cabinet Oliver Wyman. Un marché énorme de 640 milliards d'euros en perspective, dont 70 % pour les véhicules terrestres, en particulier civils. « *On va voir plus de changement dans les dix ans à venir que durant les soixante dernières années* », analyse le rapport.

Dès lors, on ne parle plus de transports, mais de mobilité du futur. Un trio est à la manœuvre pour permettre son avènement : les objets connectés, les nouvelles formes d'énergie mais, surtout, l'intelligence artificielle. Cette technologie, transverse par excellence, est au cœur de cette révolution en étant présente partout. Elle promet l'autonomie aux véhicules, mais aussi une meilleure efficacité énergétique ainsi que leur maintenance prédictive, qui les rendra moins sujets aux pannes. Il reste pourtant bien des verrous technologiques à débloquer avant de donner raison aux estimations de marché. Pour s'imposer, le véhicule autonome devra par exemple comprendre son environnement. « *Un véhicule devra savoir s'il est dans un environnement urbain ou rural pour anticiper le type de danger auquel s'attendre, et éventuellement redonner la main au conducteur s'il s'estime incapable d'y faire face* », explique Paul Labrogère, directeur du programme transport autonome au sein de l'institut de recherche technologique (IRT) SystemX.

Cyberattaques

Sans parler d'un problème de fond soulevé par l'intelligence artificielle : l'effet boîte noire des algorithmes entraînés grâce au « deep learning ». « *Ces systèmes fonctionnant à base d'apprentissage avec de grands volumes de données produisent des résultats qui ne sont pas explicables. C'est un problème, car, en cas de litige ou d'incident, on veut pouvoir reprendre la scène et comprendre ce qui s'est passé* », reconnaît Paul Labrogère. Un autre écueil rarement évoqué reste la vulnérabilité aux cyberattaques, qui risque bien d'effrayer les autorités de certification.

Un autre débat fondamental n'a pas été tranché : celui de l'interaction du futur véhicule autonome avec ses congénères et l'infrastructure routière. « *Le véhicule autonome ne s'en sortira pas seul. Il aura besoin de services, notamment pour le guidage. Un seul exemple : en cas de météo difficile, avec du brouillard, qui décide qu'il n'est pas prudent de rouler ? Le gestionnaire ? Météo-France ? La voiture autonome elle-même ?* », détaille Nicolas Hautière, directeur de projet à l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (Ifsttar). Si bien que certains chercheurs, à l'image de Denis Gingras, directeur du laboratoire en intelligence véhiculaire à l'université de Sherbrooke, au Canada, estiment les prévisions trop optimistes : « *La technologie peut permettre de grandes améliorations en matière de sécurité routière. En revanche, faire croire, comme on le voit dans les publicités américaines, qu'une voiture peut être autonome c'est aujourd'hui dangereux.* » Tesla, en particulier, fait l'objet de critiques de la part des spécialistes. Notamment pour son marketing autour du système Autopilot, laissant croire qu'il rend la voiture autonome, « *alors qu'il s'agit seulement d'une aide à la conduite* », insiste ce spécialiste. L'une des pistes pour rendre les voitures autonomes plus sûres est d'entraîner leurs algorithmes dans des environnements simulés. « *Nous travaillons beaucoup sur l'efficacité de cette simulation, qui est liée à la qualité des données. L'enjeu des recherches est de constituer les bases de tests les plus réalistes possible* », précise Paul Labrogère.

Du véhicule au système

Comment ensuite passer du véhicule intelligent au système de transport intelligent ? L'enjeu est crucial, avec le doublement de la demande de mobilité d'ici à 2050, et une population urbaine qui aura progressé de 70 %, pour arriver à 6,6 milliards d'individus (sur 9,8 milliards d'humains au total). Avec une congestion automobile déjà critique dans bien des villes et un temps passé dans les embouteillages qui croît de 2,6 % par an dans le monde.

La solution pourrait passer par le concept de « mobility as a service » (MaaS). « *Il a pour objectif de garantir à l'usager d'accéder à la mobilité la plus efficace, à un instant donné, pour aller d'un point A à un point B avec une offre multimodale pouvant associer les transports publics, le vélo, le VTC ou tout simplement la marche* », résume François-Joseph Van Audenhove, « partner » au cabinet Arthur D. Little et coordonnateur de l'étude « The Future of Mobility 3.0 ». Avec ce concept, la mobilité devient multimodale et s'appuie d'abord sur les transports en commun. « *On enregistre environ 10 millions de validations de ticket par jour en Ile-de-France, et ce transport de masse va subsister, mais les modes d'exploitation devront évoluer pour gagner en efficacité* », insiste Patrice Aknin, directeur scientifique de l'IRT SystemX. La multimodalité, qui doit associer différents prestataires pour un service sans couture, constitue aussi un défi en termes de traitement de l'information. « *Il s'agit d'un système complexe et même d'un système de systèmes à l'échelle de tout un territoire* », résume Paul Labrogère.

L'intelligence artificielle, alliée aux données massives, devrait, là encore, donner sa pleine mesure. L'objectif est de comprendre en temps réel comment les gens se déplacent, puis, en se basant sur des modèles issus du passé, de prédire l'évolution du trafic à très court terme. L'enjeu est double. D'abord, aider les opérateurs à mieux gérer les flux. Ensuite, donner la bonne information à l'usager. SystemX mène plusieurs projets de recherche sur ce thème en partenariat avec des acteurs de l'industrie ou des transports publics. L'intérêt est de combiner de multiples sources de données hétérogènes (téléphonie mobile, objets connectés, réseaux sociaux, météo, événements urbains…) et celles venant des transports (billétique, feux tricolores, capteurs d'air…).

Pour partager les données, un sujet généralement sensible, le projet a retenu une approche originale. « *Plutôt que de recourir à un tiers de confiance, nous utilisons la technologie blockchain, une façon décentralisée de gérer les données* », analyse Charles Kremer, directeur du programme territoires intelligents, au sein de l'IRT SystemX. Toutefois la technologie ne suffira pas pour convaincre les usagers d'abandonner leur voiture personnelle et de la remplacer par un mélange de transports de masse et de véhicules à la demande, insiste François-Joseph Van Audenhove : « *Il faudra d'abord proposer une vision à long terme de mobilité partagée entre les différents acteurs publics et privés.* » ■

Trois grands défis pour les forces en présence

1 LES CONSTRUCTEURS ET LE RISQUE DE PERTE DE VALEUR

Après un XXe siècle qui a vu la consécration de l'automobile, la déferlante annoncée du véhicule autonome va-t-elle fragiliser les constructeurs ? « *Dans la voiture autonome, la part du logiciel devient tellement prépondérante que le risque pour les constructeurs est de devenir des fournisseurs de hardware en marque blanche* », analyse Rémi Cornubert, associé senior du cabinet Advancy chargé de la mobilité du futur. La plupart des constructeurs ont bien senti le danger, notamment les Américains. En 2016, General Motors a acheté Cruise Automation pour 1 milliard de dollars, rejoint début juin par le japonais Softbank, qui a annoncé y investir 2,25 milliards de dollars. L'an dernier, c'est Ford qui a mis la main sur Argo AI. Les constructeurs allemands ont, quant à eux, acheté pour 3 milliards de dollars le fournisseur de cartes géographiques Here. En France, c'est probablement Valeo qui s'est le plus avancé sur le sujet. L'équipementier a fait du véhicule autonome, mais également du véhicule connecté et de l'électrification, le cœur de sa stratégie d'innovation, devenant le premier déposant de brevets en France. L'entreprise a même ouvert un centre de recherche, Valeo.ai. « *Nous faisons de la recherche académique avec la vocation de publier dans les revues scientifiques, au besoin en abandonnant la propriété industrielle. Car, pour attirer les talents, il faut être ouvert* », assure Guillaume Devauchelle, vice-président innovation et développement scientifique du groupe Valeo. Prudent sur le sujet, Toyota a, en revanche, frappé très fort en investissant 1 milliard de dollars dans Grab, le géant des VTC en Asie du Sud-Est. Une façon de répondre à Daimler, qui avait acquis Chauffeur Privé, ou surtout à General Motors, qui avait acquis Lyft, le concurrent d'Uber, il y a deux ans. — ***F. N.***

2 LES GÉANTS CALIFORNIENS FACE À LA CONCURRENCE CHINOISE

Le mois dernier, le patron d'Uber annonçait avoir engagé des pourparlers avec Waymo pour utiliser ses voitures autonomes. Ce dernier, filiale de Google, avait déjà fait un accord identique avec Lyft, concurrent d'Uber. Quant à Apple, parti tard sur ce marché, il détient désormais la deuxième flotte de véhicules autonomes en test en Californie, avec 55 véhicules, derrière General Motors (104 voitures). C'est dire la puissance des nouveaux acteurs de la mobilité. Ces dernières années, ils ont multiplié les deals avec les constructeurs automobiles : Waymo avec Fiat Chrysler, Apple avec Volkswagen, Uber avec Volvo… La bataille industrielle est pourtant incertaine sur un marché du véhicule autonome terrestre qui pèse 5 milliards d'euros, selon le cabinet Oliver Wyman, mais qui pourrait grimper à 460 milliards d'euros en 2030. « *Les nouveaux acteurs ont réalisé que construire en grands volumes s'avère compliqué. Tesla, qui se positionne comme un acteur en rupture, peine à sortir son nouveau véhicule. L'un des atouts des constructeurs automobiles, c'est la prudence du régulateur, qui exigera du temps et voudra des garanties avant d'homologuer des véhicules autonomes* », analyse Rémi Cornubert, associé senior au cabinet Advancy. D'autant que les géants américains (Gafa) sont concurrencés par leurs équivalents chinois, les BATX (Baidu, Alibaba, Tencent et Xiaomi). Baidu a créé un fonds consacré à la voiture autonome doté d'environ 1,3 milliard d'euros. Le géant chinois a surtout pris une initiative originale avec la création de l'alliance Apollo, une plate-forme ouverte autour des technologies de la voiture autonome, rejointe depuis par Microsoft. « *L'objectif de Baidu est d'aller vite. D'autant qu'il bénéficie d'une grande bienveillance du gouvernement chinois pour mener des essais et pourra s'appuyer sur un marché énorme* », note Guillaume Thibault, associé au sein du cabinet Oliver Wyman. — ***F. N.***

3 LE TRANSPORT PUBLIC ET LE PREMIER KILOMÈTRE

Il y a presque deux ans, Deutsche Bahn a démarré l'expérimentation de navettes autonomes dans les centres-villes de Leipzig, puis de Berlin. Les navettes sont celles du français EasyMile, dans lequel Alstom a investi 14 millions d'euros. Ce n'est pas un hasard si les géants du transport public s'intéressent de si près aux véhicules autonomes. Certes, le principal problème est d'améliorer l'efficacité du transport de masse, « *incontournable pour la mobilité du futur* », insiste Guillaume Thibault, associé au sein du cabinet Oliver Wyman. Les transporteurs comptent sur l'intelligence artificielle pour améliorer l'exploitation en anticipant les pannes de matériel et en transportant davantage de voyageurs sur les infrastructures existantes. Le véhicule autonome a un autre intérêt tout aussi stratégique : améliorer l'accès à leurs gares. « *Pour Deutsche Bahn comme pour les autres opérateurs, l'objectif est de fluidifier le premier et le dernier kilomètre. En facilitant l'accès à la gare, on dope aussi le trafic ferroviaire* », analyse Guillaume Thibault. Les expérimentations se multiplient. « *Le transport public élargit sa gamme de services, et vous allez voir les partenariats se multiplier entre opérateurs de transports publics et prestataires, notamment pour offrir du service à la demande* », affirme Sylvain Haon, directeur à l'Union internationale des transports publics (UITP), qui représente quelque 1.300 entreprises dans le monde. « *Nous voulons absolument être dans la technologie pour comprendre comment elle fonctionne. Dans un bus, le chauffeur est garant de la sécurité mais aussi de la qualité de service. Comment offrir la même qualité de service avec un robot ?* », insiste Yann Leriche, président de Transdev pour l'Amérique du Nord et chargé du développement véhicule autonome du groupe.— ***F. N.***

INTERVIEW // FAWZI NASHASHIBI Chercheur à L'inria

« Il y a encore bien des obstacles pour le véhicule autonome »

● Coordonnateur du Livre blanc de l'Inria sur les véhicules autonomes et connectés, Fawzi Nashashibi juge que l'amélioration de la sécurité est prioritaire.

Propos recueillis par ***Frank Niedercorn***

Votre Livre blanc passe en revue les défis à relever pour le véhicule autonome et connecté. Quels sont-ils ?
Il y a beaucoup d'obstacles à surmonter pour arriver un jour à déployer des véhicules véritablement autonomes. Les aspects légaux ou éthiques sont importants, mais, en tant que chercheurs à l'Inria, nous nous sommes concentrés sur la science et la technologie. Le premier défi, c'est l'interprétation du réel. Il faut être capable de comprendre ce qui se joue sur une scène routière. En voyant un tramway arrêté en station sur la gauche et une personne courir sur sa droite, on sait que cette dernière risque de traverser brusquement. Cette analyse sémantique, banale pour un conducteur expérimenté, est très compliquée pour une intelligence artificielle.

Le deuxième défi, c'est de certifier ces systèmes pour être certain qu'ils soient fiables dans n'importe quelle condition. Il faudrait que chacun d'eux fasse des millions de kilomètres pour diversifier les conditions et les scénarios. La simulation constitue une excellente piste. Toutefois, le simulateur idéal, capable de simuler chaque capteur, la dynamique du véhicule ainsi que l'environnement dans lequel il va évoluer avec son infinité de scénarios possibles, n'existe pas.

Le troisième défi est la sûreté de fonctionnement. Les voitures autonomes actuelles ne savent pas réagir en cas de défaillance d'un capteur ou d'un calculateur. De même qu'elles auraient des difficultés face à des tentatives de hacking. La solution n'est pas de doubler des capteurs, qui failliraient dans des conditions identiques, mais de les diversifier et d'élargir leur domaine de fonctionnement.

La communication, notamment celle des constructeurs, évoque rarement la dimension « connectée » du véhicule autonome. Pourquoi est-ce si important ?
La connectivité, c'est être en contact non filaire avec l'infrastructure, les autres usagers et le cloud. Ce qui permet d'étendre la perception d'une voiture et de communiquer. Le simple fait de communiquer avec les autres véhicules permet d'éviter nombre d'accidents, notamment aux intersections ou lors de dépassements. La communication sera primordiale pour gérer des flottes de véhicules autonomes ou même semi-autonomes. Enfin, pour trouver le meilleur itinéraire à un moment donné, la voiture autonome devra être connectée pour avoir l'état de la circulation en temps réel.

> « Les voitures autonomes actuelles ne savent pas réagir en cas de défaillance d'un capteur ou d'un calculateur. »

Au regard des réserves que vous formulez, l'avènement des véhicules autonomes ne semble pas pour demain…
Il y a beaucoup de communication avec la promesse de voir les premiers véhicules autonomes arriver à partir de 2020. C'est demain, alors qu'en effet il reste tellement de choses à faire. Si la Tesla a eu des accidents, ce n'est pas par hasard mais probablement lié à des problèmes de conception.

Je pense pourtant que l'on verra arriver les véhicules autonomes d'abord sur autoroute et peut-être en ville si l'on décide de leur dédier certaines voies. Les navettes autonomes sont aussi prometteuses. La véritable question à se poser, c'est : pourquoi le véhicule autonome ? Quelles sont les applications ? Est-ce que ce sera rentable ? Quelle sera l'acceptation sociétale ? Si l'ambition est d'améliorer la sécurité, la meilleure approche consisterait à généraliser les aides à la conduite : système anticollision, assistance au maintien de voie, détection de piétons, surveillance du conducteur, vision de nuit. On parle donc d'autonomie de niveau 2 ou 3, ce qui peut être très suffisant.

Fawzi Nashashibi, responsable de l'équipe RITS (Robotics and Intelligent Transportation Systems) de l'Inria. *Photo H. Raguet/Inria*

Pour l'avenir, le défi posé aux systèmes à base d'intelligence artificielle n'est-il pas de passer à l'échelon supérieur, c'est-à-dire la ville intelligente ?
Un système de transport intelligent devra obéir aux besoins de chaque ville, et chacune est spécifique. Il faudra de toute façon qu'il réponde à trois impératifs. Il reposera sur le transport de masse, car le véhicule autonome ne constituera pas la solution unique. Il sera multimodal et fera enfin appel à tous les moyens de transport partagés. L'enjeu est de diminuer l'empreinte au sol du véhicule individuel ainsi que son impact environnemental. Le schéma de transport sera complètement différent à la fois pour les personnes, mais aussi pour les biens. Avec le véhicule autonome, on commencerait par régler le problème du dernier kilomètre, et on pourrait aussi par exemple automatiser la redistribution avec des véhicules autonomes qui reviendraient à leurs stations en pelotons.

Cette mobilité intelligente est un facteur majeur pour rendre la ville intelligente et durable, mais pas le seul. On doit aussi évoquer la gouvernance intégrant une planification spatiale et énergétique efficace, un environnement adoptant des technologies de rupture, la numérisation et une haute connectivité, et, enfin, un mode de vie intelligent et durable. ■

Le Waze du transport urbain devra jouer collectif

La mobilité du futur s'appuiera sur des applications qui aideront l'utilisateur à concevoir son déplacement à la demande.

A quoi ressemblera l'application de mobilité urbaine du futur ? Sans doute pas à Waze, qui s'appuie sur la foule de ses utilisateurs pour les guider au mieux mais qui, dans certaines villes américaines, est, paradoxalement, accusé de créer des embouteillages. L'institut de recherche technologique SystemX travaille sur le sujet à travers le projet IVA (Information voyageurs augmentée), qui a démarré fin 2017. *« Notre approche est bien différente de celle de Waze, qui est fondamentalement individualiste et génère des états critiques avec un usage de masse. Notre approche est de gérer globalement le réseau de transport en accompagnant l'utilisateur de façon optimale »*, explique Yann Briand, chef de projet IVA.

Calculateur d'itinéraires

Le projet, qui associe les start-up SpirOps (intelligence artificielle) et Kisio Digital (applications pour la mobilité), se contente pour l'instant de travailler à l'échelle du réseau francilien de la SNCF en ciblant une population particulière, principalement les voyageurs, moins pressés mais soucieux de rendre leur trajet plus commode : personnes âgées ou à mobilité réduite, parents avec enfants, voyageurs avec bagages… L'objectif est de leur fournir un itinéraire personnalisé, agrémenté d'ascenseurs ou d'Escalator en fonctionnement. Le calculateur d'itinéraire fait appel à des modèles prédictifs qui estiment la charge du réseau à partir de données hétérogènes : position des trains, affluence en gare, origine et destination des voyageurs, mais aussi signaux wi-fi et Bluetooth, caméras, billettique…

Apprendre de l'utilisateur

L'enjeu est d'affiner la compréhension des comportements collectifs mais aussi d'apporter au voyageur une information en temps réel. *« Nous pourrions, par exemple, lui conseiller d'attendre le train suivant, dans lequel il a une bonne chance de trouver une place assise car il est moins plein »*, explique Yann Briand.

Grâce à l'intelligence artificielle, l'application apprendra progressivement de l'utilisateur pour s'adapter à ses besoins. *« L'objectif est d'améliorer le module de dialogue pour pousser au bon moment vers l'usager des informations personnalisées et qualitatives, et ainsi contribuer à améliorer son déplacement »*, insiste Yann Briand.

A terme, à l'image de ce qu'a déjà fait la Métropole de Lyon avec son projet de recherche Optimod'Lyon, l'enjeu sera de faire d'IVA un système multimodal en combinant différentes offres de mobilité publique et partagée. — ***F. N.***

Shutterstock
Les applications devront analyser les comportements collectifs, mais aussi apporter une information personnalisée.

Mobileye veut passer de l'assistance à l'autonomie

Racheté 15,3 milliards de dollars par Intel, le spécialiste israélien de l'assistance à la conduite mise sur la vision artificielle pour développer des véhicules sans chauffeur.

Benoît Georges
—Envoyé spécial à Jérusalem

Avec un brin d'imagination, on pourrait se croire dans l'atelier de Q, le maître des gadgets de James Bond. Dans ce garage caché au sous-sol d'un immeuble de la banlieue de Jérusalem, une demi-douzaine de berlines subissent une préparation très spéciale. Dans les coffres, des forêts de câbles et des boîtiers informatiques. Sur les carrosseries, des excroissances discrètes révèlent des caméras. Chaque voiture est une pièce unique, et au-dessus de sa place de parking s'affiche son petit nom – Clara, Irma ou Alfred…

Bienvenue dans le laboratoire de Mobileye, leader mondial des systèmes de vision pour l'assistance à la conduite. Jusqu'ici, les caméras et les puces de l'entreprise – qui équipent plus de 27 millions de voitures, bus et camions à travers le monde – alertaient les conducteurs en cas de distance insuffisante avec le véhicule précédent, de franchissement de ligne blanche ou de danger potentiel dans l'angle mort. Demain, elles assureront l'ensemble de la conduite.

Fournisseur de la plupart des grands constructeurs, Mobileye a déjà signé un contrat avec BMW pour produire des véhicules autonomes de niveau 4 (lire page 6) à partir de 2021. Avec une approche qui le différencie des nombreux acteurs lancés dans la course à l'autonomie : utiliser la vision avant tout.

Des caméras associées à des algorithmes

Plutôt que des radars ou de coûteux lidars (systèmes de détection par laser), Mobileye fait le pari que de simples caméras – moins coûteuses – associées à des algorithmes suffisent à comprendre l'environnement aussi bien qu'un conducteur de chair et d'os. *« La vision est le capteur principal des humains lorsqu'ils conduisent »*, explique Elad Serfaty, vice-président de Mobileye. L'entreprise n'exclut pas d'utiliser d'autres capteurs, mais uniquement en complément de la vision.

Donner la vision aux voitures, c'est justement ce que fait Mobileye depuis sa création, en 1999. Son fondateur, Amnon Shashua, professeur à l'université de Jérusalem, est un spécialiste de la reconnaissance d'images qui a voulu appliquer ses recherches à l'automobile. Le résultat est un boîtier anticollision associant une caméra et un processeur, faisant tourner ses propres algorithmes de machine learning. L'entreprise emploie 1.100 personnes, dont 800 s'occupent de la R&D.

Fournisseur de la plupart des grands constructeurs, Mobileye a déjà signé un contrat avec BMW pour produire des véhicules autonomes de niveau 4. *Photo DR*

Passer de la vision à la conduite ne sera pas une mince affaire. Le premier défi est technique : cela nécessite de comprendre non seulement la route, mais surtout le comportement des autres véhicules, donc des humains qui les conduisent. Si les essais de Mobileye débutent à peine, sept ans après ceux de la Google Car, Elad Serfaty est persuadé que son entreprise dispose d'une longueur d'avance : *« Nous bénéficions de vingt ans d'expérience. Nous possédons plus de 40 millions de kilomètres d'images de routes enregistrées à travers le monde, sur lesquelles nous pouvons tester nos algorithmes. »*

Mais les algorithmes ne suffisent pas – il faut aussi tester le système dans des conditions réelles. C'est pourquoi Clara, Alfred et leurs voisines de parking ont commencé à sillonner au mois de mai les rues de Jérusalem. *« Conduire dans la Silicon Valley n'a rien à voir avec conduire à Jérusalem ou à Paris. La conduite est différente selon les régions, parfois même selon les villes : ce n'est pas la même chose à San Francisco et à Los Angeles. »*

Multiplier les expériences

Il faudra multiplier les expérimentations partout dans le monde dans les mois qui viennent. Les financer ne devrait pas poser problème : Mobileye a été acquis l'an dernier par le géant des microprocesseurs Intel pour 15,3 milliards de dollars, soit la plus grosse acquisition de l'histoire de la high-tech israélienne. Spécialiste des systèmes de sécurité, Mobileye veut en faire un argument pour rassurer utilisateurs et régulateurs.

Récemment, Amnon Shashua a publié un article académique pour proposer un modèle mathématique, appelé « RSS » (Responsibility-Sensitive Safety), assurant que le véhicule n'agira jamais d'une façon qui puisse causer un accident. *« Les statistiques actuelles disent que les humains ont en moyenne un accident fatal par million d'heures de conduite. Nous estimons que, si un véhicule autonome atteint un accident pour un milliard d'heures, le public l'acceptera »*, détaille Elad Serfaty.

Mais ce pari est loin d'être gagné. En mai dernier, alors qu'une chaîne de télé israélienne tournait un reportage sur les véhicules autonomes de Mobileye, l'un d'eux ne s'est pas arrêté à un feu rouge. Selon l'entreprise, l'erreur aurait été causée par des interférences entre la caméra télé et le système du véhicule. Cela n'a pas entraîné d'accident, et ce défaut a depuis été réparé. L'anecdote montre que les préparateurs du garage de Jérusalem ont encore de longues heures de travail pour améliorer Clara, Irma, Alfred et les autres… ■

Voiture, train, taxi volant Les secrets des véhicules autonomes

VOITURE

Au-delà des outils d'intelligence artificielle qui permettent de reconnaître objets ou obstacles, la voiture autonome ne serait rien sans une batterie de capteurs et sans connexion à Internet. Tour d'horizon de technologies qui, selon les modèles, se complètent ou se concurrencent.

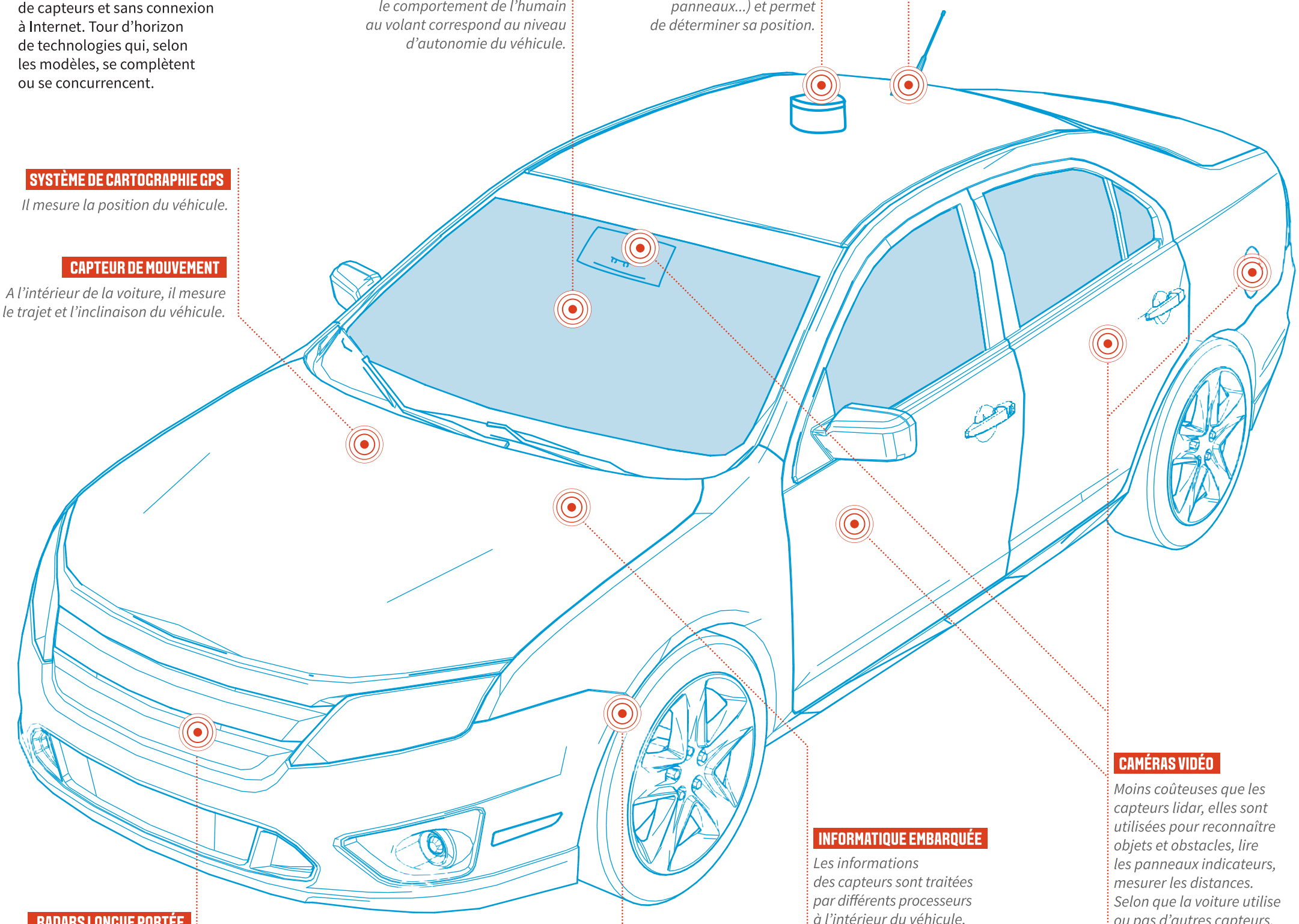
INTERFACE HOMME-MACHINE
Elle gère les alertes,les informations sur la conduite et les échanges avec les passagers, par exemple par reconnaissance vocale. En attendant l'autonomie complète, elle surveille également que le comportement de l'humain au volant correspond au niveau d'autonomie du véhicule.

CAPTEUR LIDAR
Ce « radar laser » envoie un signal lumineux et mesure son écho. En tournant sur lui-même, il fournit une image à 360° des objets situés autour de la voiture (véhicules, piétons, panneaux...) et permet de déterminer sa position.

CONNEXION SANS FIL
La voiture autonome sera aussi une voiture connectée. Elle utilise une connexion Internet pour obtenir en permanence une information sur le trafic (travaux, bouchons…) et, dans certains cas, pour communiquer avec les infrastructures (feux, péages…) ou avec les autres véhicules.

SYSTÈME DE CARTOGRAPHIE GPS
Il mesure la position du véhicule.

CAPTEUR DE MOUVEMENT
A l'intérieur de la voiture, il mesure le trajet et l'inclinaison du véhicule.



RADARS LONGUE PORTÉE
Selon le cas, la voiture peut embarquer un seul radar (pour mesurer la distance la séparant des autres véhicules) ou plusieurs, de chaque côté, pour fournir une image à 360°.

CAPTEURS DE POSITION
Situés au niveau des roues, ils analysent leur position pour aider à déterminer la trajectoire du véhicule.

INFORMATIQUE EMBARQUÉE
Les informations des capteurs sont traitées par différents processeurs à l'intérieur du véhicule, pour permettre la prise de décision même lorsqu'il n'y a pas de connexion Internet.

CAMÉRAS VIDÉO
Moins coûteuses que les capteurs lidar, elles sont utilisées pour reconnaître objets et obstacles, lire les panneaux indicateurs, mesurer les distances. Selon que la voiture utilise ou pas d'autres capteurs, le nombre de caméras, placées tout autour de l'habitacle, peut aller de 5 à 12.

LES CINQ NIVEAUX D'AUTOMATISATION DES VÉHICULES

NIVEAU 0 — AUCUNE AUTOMATISATION
Le conducteur effectue entièrement toutes les tâches de conduite.

NIVEAU 1 — ASSISTANCE À LA CONDUITE
Le véhicule assiste le conducteur (par exemple pour adapter la vitesse au véhicule le précédant ou respecter les lignes blanches).

NIVEAU 2 — AUTOMATISATION PARTIELLE
Le véhicule peut assurer certaines fonctions (suivre un véhicule, se garer…), mais le conducteur reste entièrement responsable de la conduite.

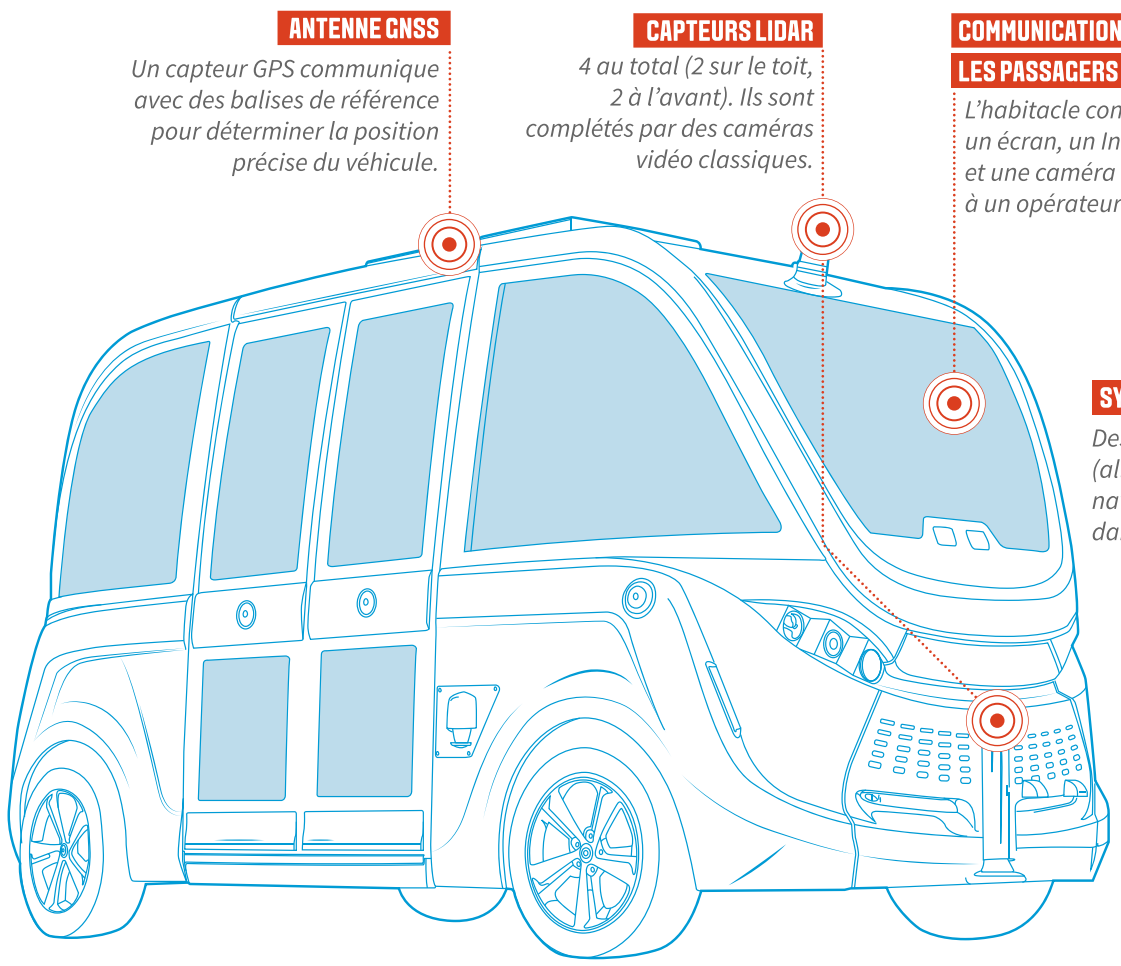
NIVEAU 3 — AUTONOMIE CONDITIONNELLE
Le véhicule surveille l'environnement. Il est capable d'accélérer, de freiner ou de changer de file à partir des informations reçues par les capteurs, mais le conducteur doit rester attentif, et il est susceptible de reprendre le contrôle à tout moment, en toute circonstance.

NIVEAU 4 — AUTOMATISATION ÉLEVÉE
Le conducteur n'a pas besoin de surveiller la route ou de tenir le volant, mais seulement dans des situations bien spécifiées (parking, autoroute, faible vitesse…) et à l'exception de certaines conditions météorologiques, notamment le brouillard et la neige.

NIVEAU 5 — AUTOMATISATION COMPLÈTE
La voiture est capable de conduire dans toutes les situations sans aucune assistance humaine.

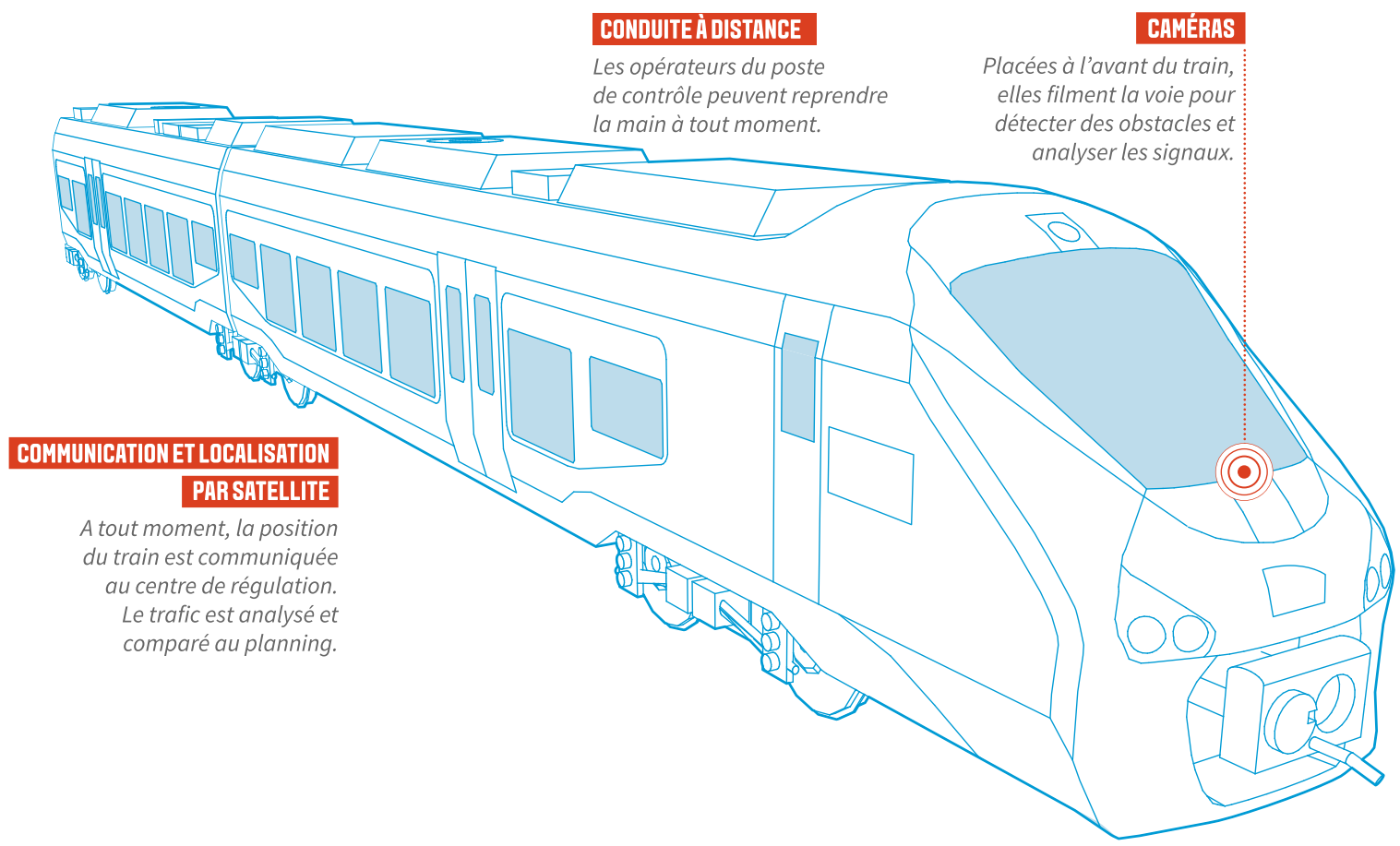
NAVETTE

Les navettes autonomes sont déjà une réalité, et la France est bien placée avec deux entreprises, EasyMile et Navya. Ce dernier revendique une soixantaine de navettes déjà vendues partout dans le monde (Etats-Unis, Suisse, Nouvelle-Zélande) complétées par un robot-taxi dévoilé en novembre dernier. Les véhicules embarquent jusqu'à 15 personnes. Ils n'ont ni volant ni pédales, mais sont reliés à un opérateur qui peut prendre le contrôle à distance. Autre avantage : les navettes évoluent toujours sur le même parcours, à une vitesse inférieure à 45 km/h, ce qui facilite l'homologation.



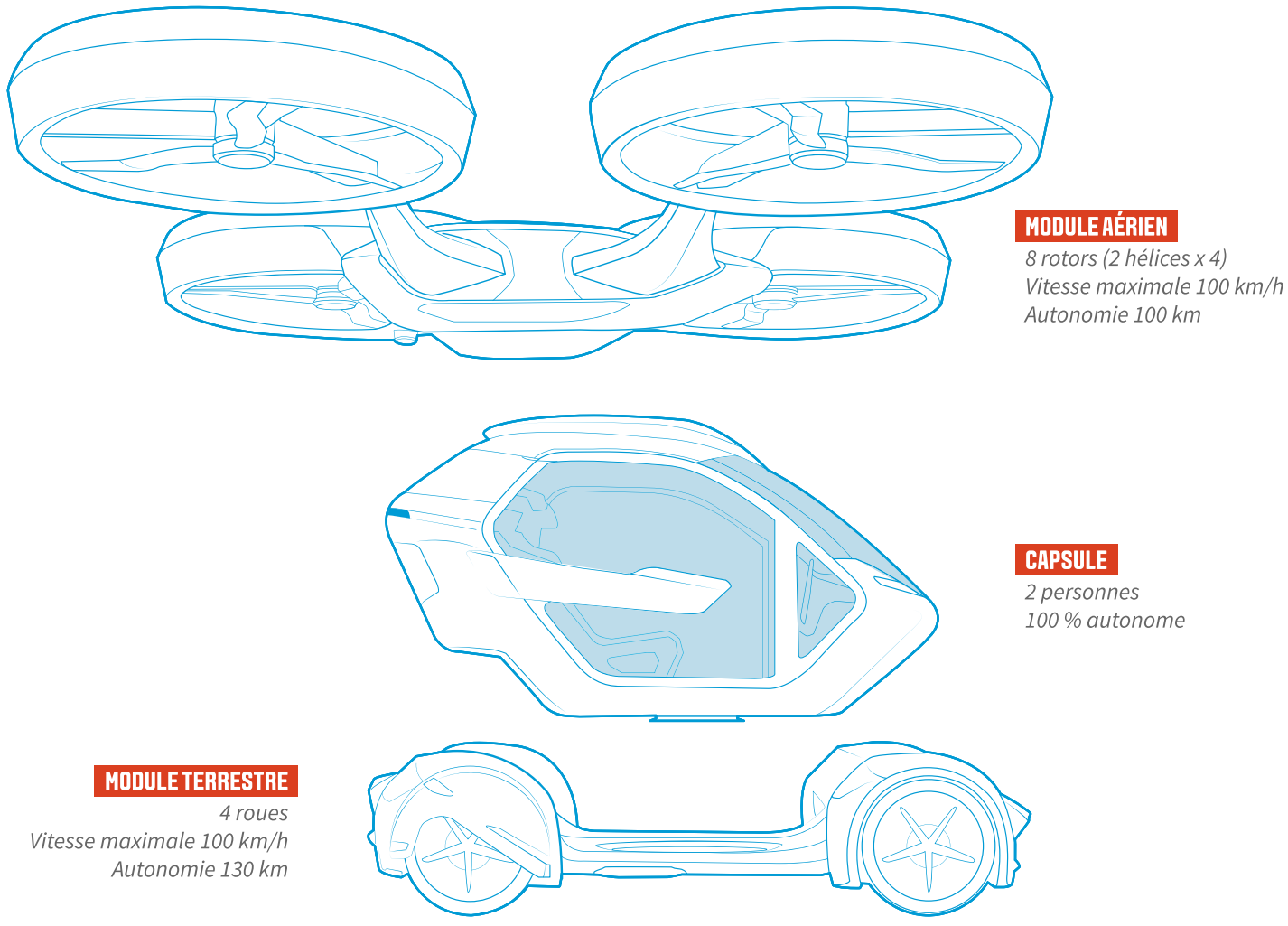
TRAIN

Comme les voitures, les trains vont connaître une évolution progressive jusqu'à l'autonomie complète. Dès 2021, les trains Eole du RER E seront partiellement autonomes (accélération, freinage). Les TGV devraient suivre à partir de 2027. A terme, les trains pourront se passer de conducteur, mais toujours avec un système de prise de contrôle, dans le train ou à distance. Pas question de laisser des milliers de passagers livrés à eux-mêmes en rase campagne.



VOITURE VOLANTE

Les prototypes de voitures volantes se multiplient partout dans le monde. Airbus à lui seul travaille sur 3 modèles, mais son concept Pop. Up Next, présenté fin mai à VivaTech, est le plus spectaculaire. Conçu avec Audi et le cabinet d'études Italdesign, il est totalement autonome (ni volant ni manche à balai dans l'habitacle, mais un grand écran) et modulaire : pour voler, la capsule s'accroche aux hélices ; pour rouler, elle se pose sur le châssis. Le total devrait peser moins de 1 tonne.



RÉALISATION, ILLUSTRATIONS
Jules Grandin et Cyril Lachkareff

TEXTES
Benoît Georges et Rémy Demichelis

SOURCES
Navya ; SNCF ; Airbus ; Inria ; Google ; Mobileye ; IEEE ; « Les Echos »

AUTOMOBILE // Si la voiture sans conducteur relève encore de la science-fiction, la France se prépare à accueillir des véhicules autonomes sur les autoroutes et les deux-voies séparées à partir de 2021.

A quand la voiture sans conducteur ?

Jacques Henno

Tout un symbole : lors du prochain Mondial de l'automobile à Paris, en octobre 2018, de nouvelles installations seront inaugurées à Linas-Montlhéry (Essonne), sur l'autodrome de tests de l'Utac Ceram. Elles permettront aux constructeurs de tester en toute confidentialité des systèmes d'intelligence embarquée destinés aux voitures autonomes. *« Sur ces pistes, on peut dérouler des scénarios extrêmes, jusqu'à l'accident, sur des cibles comme des mannequins renversés et des voitures percutées. De plus, les essais sont mesurables, enregistrables et répétables jusqu'à donner satisfaction »*, détaille Alain Piperno, expert en tests et homologation véhicules autonomes à l'Utac Ceram.

Des milliers de fonctionnaires, de chercheurs du public et de cadres du privé préparent déjà l'arrivée de la voiture autonome en France : tests sur route ou sur piste, élaboration de la réglementation d'homologation, expérimentations, études sur l'acceptation sociale de la voiture autonome, prévisions de marché… Plusieurs organismes, dont SAE International (ex-Society of Automotive Engineers), ont élaboré une grille définissant l'autonomie d'un véhicule depuis le niveau 0 (le conducteur est le seul maître à bord) jusqu'au niveau 5. Les niveaux 1 (assistance à la conduite) et 2 (automatisation partielle) sont en cours de généralisation. Dans le deuxième cas, le véhicule peut se garer lui-même, assurer le contrôle longitudinal et latéral en même temps qu'il sait accélérer ou freiner dans les embouteillages.

Sans volant ni pédale

« A partir de 2021-2022, les premiers véhicules de niveau 3 seront disponibles. Dans un embouteillage ou sur autoroute et sur les voies à chaussées séparées le conducteur pourra laisser le volant, mais devra être en capacité de reprendre très rapidement le contrôle de son véhicule », annonce Vincent Abadie, responsable du projet véhicule autonome pour le groupe PSA, qui poursuit : *« Les voitures de niveau 4, capables de se mettre en sécurité si le conducteur n'est pas immédiatement disponible, arriveront quelques années après. »*

Quant au véhicule de niveau 5, sans volant ni pédale, autonome en toute circonstance et qui pourra même circuler à vide, *« sa généralisation pendra plusieurs décennies »*, prédit Luc Marbach, directeur général de Vedecom, un institut de recherche dédié à la mobilité, regroupant des partenaires issus du privé et du public. Il existe encore bien des progrès à faire pour mettre au point ces véhicules robots, qui doivent être capables de percevoir leur environnement, de l'analyser et de prendre les bonnes décisions. Et les indispensables capteurs (caméra, radar, lidar et ultrasons) constituant les yeux et les oreilles du véhicule doivent être perfectionnés. *« Si un camion est garé devant un feu tricolore, la voiture autonome ne verra pas que le feu est rouge : il faut donc que le feu puisse dialoguer avec la voiture »*, explique Bertrand Leroy, chercheur chez Vedecom.

La voiture autonome devra non seulement être connectée avec l'infrastructure mais également avec les autres véhicules. *Photo Renault*

> « Le niveau de fiabilité de l'IA n'est pas encore suffisant pour la mettre en production seule. »
>
> **BENOÎT PERRIN**
> Directeur général d'EasyMile

Franchir un péage

La voiture autonome devra non seulement être connectée avec l'infrastructure mais aussi avec les autres véhicules. *« Cette communication est difficile à garantir en permanence. La voiture doit donc de toute façon savoir se débrouiller sans. Elle va, en revanche, accroître confort et sécurité en fournissant des informations sur ce qui se passe au-delà de la limite des capteurs embarqués »*, explique Mathieu Lips, directeur du projet Symbioz Demo Car chez Renault. Les situations particulières sont nombreuses. Sur l'autoroute A13, Renault et la société d'autoroutes Sanef font tester à des voitures autonomes le franchissement d'une barrière de péage. La voiture est avertie de la voie la moins encombrée et s'y rend toute seule. On leur fait également traverser en autonomie des zones de travaux en respectant la signalisation et les limitations de vitesse.

Autre souci : l'état de la chaussée. Pour que les capteurs puissent être efficaces, le marquage au sol doit être régulièrement entretenu, les panneaux routiers lisibles… Sans doute faudra-t-il renforcer le cahier des charges liant les concessionnaires d'autoroutes et l'Etat avant que certaines portions ne soient homologuées niveau 4… Enfin, la localisation du véhicule devra être plus précise que les 15 mètres qu'offrent les systèmes GPS actuels. Deux solutions sont étudiées. Les GPS différentiels (antennes terrestres qui émettent un signal GPS) sont extrêmement précis mais chers. L'autre option consiste à intégrer les systèmes de cartographie HD, de TomTom ou de Here (propriété de BMW, Daimler et Audi), qui photographient tous les éléments du bord de route (talus, arbres, ponts, murets…) et offrent une précision de 50 centimètres en longitudinale et 15 centimètres en latérale… Reste le cœur du système : l'intelligence artificielle, sur laquelle va encore porter une bonne partie des efforts. *« La fusion des données apportées par l'ensemble des capteurs permet la compréhension de la situation. Sur la base de ces informations un calculateur spécialisé prend des décisions toutes les 20 millisecondes. En présence d'un piéton, il peut décider de lever le pied, voire de freiner ou de se déporter »*, résume Guillaume Devauchelle, directeur de l'innovation chez Valeo.

Le vrai défi : les piétons

Pourtant, même les meilleurs systèmes actuels ne sont pas infaillibles et les essais menés en Californie ont nécessité une intervention humaine tous les 335 kilomètres en moyenne sur les voitures Nissan, mais tous les 4 kilomètres chez Valeo. *« Même si l'IA a fait des progrès considérables ces dernières années, nous considérons que le niveau de fiabilité n'est pas encore suffisant pour pouvoir la mettre en production seule sur des véhicules autonomes »*, constate Benoît Perrin, directeur général chargé des opérations chez EasyMile, spécialiste des logiciels et systèmes globaux d'automatisation pour véhicules autonomes, notamment les navettes.

Le principal défi ? Le comportement des piétons. Un conducteur expérimenté comprend immédiatement qu'un piéton qui s'approche du bord du trottoir tout en regardant son smartphone a de fortes chances de traverser. Il ralentira et se tiendra même prêt à freiner d'urgence. La machine doit apprendre, elle, à prédire un comportement à partir de l'angle du buste du piéton, de la direction de son regard ou de l'évolution de la taille de ses pas. L'apprentissage va être long… ■

Des expérimentations bientôt plus faciles et plus ciblées en France

Pour favoriser l'arrivée des véhicules autonomes à partir de 2020, l'Etat et les collectivités sont décidés à pousser les essais en conditions réelles.

« De fin 2014 à fin 2017, 51 autorisations d'expérimentation de véhicules autonomes ont été délivrées en France », rappelle Jean-Marc Zulesi, député des Bouches-du-Rhône (LRM), qui a présidé les ateliers de l'innovation dans le cadre des Assises de la mobilité. *« Chaque expérimentation fait l'objet d'un rapport – non public – à l'administration »*, détaille Vincent Abadie, responsable du projet véhicule autonome pour le groupe PSA. Le constructeur dispose de douze véhicules autorisés à emprunter des routes publiques, à condition, pour l'instant, qu'un conducteur soit présent à bord. Pour quels résultats ? *« A ce jour, aucun accident matériel ou corporel n'a eu lieu lors des roulages (près de 100.000 kilomètres au total) »*, peut-on juste lire à la page 48 du rapport remis il y a quelques semaines par Anne-Marie Idrac, nommée haute responsable pour la stratégie de développement du véhicule autonome.

Tests en Australie

Ces expérimentations vont se multiplier en France. *« A travers le plan pour la voiture autonome, les autorités favorisent le déroulement des expérimentations en conditions réelles sur le territoire »*, s'enthousiasme Mathieu Lips, directeur du projet Symbioz Demo Car chez Renault. Les demandes semblent d'ores et déjà plus nombreuses et, du coup, un goulet d'étranglement administratif pourrait apparaître. *« Les premières expérimentations de l'Autonom Cab, notre robot taxi, auront lieu à Perth, en Australie, avant les essais en France, sans doute dans le quartier de la Confluence, à Lyon,* explique Christophe Sapet, président de Navya (navettes et taxis autonomes). *Même si le processus d'autorisation a été simplifié dans l'Hexagone, il n'est pas encore dématérialisé et l'on perd deux-trois mois par rapport à d'autres pays. »* L'intérêt grandissant des collectivités locales pour les solutions de mobilité autonomes devrait également jouer en faveur de ces tests, prédit Stéphane Beaudet, vice-président de la région Ile-de-France, chargé des transports : *« Les véhicules autonomes vont faire tomber les barrières entre transports en commun et véhicules privés. Nous accompagnons beaucoup d'expérimentations, pour emmagasiner des kilomètres d'expérience et habituer les usagers. »*

L'intérêt sociétal

Seul bémol : il n'est pas certain que ces essais, tout à fait justifiés sur le plan technique, possèdent, pour l'instant, un quelconque intérêt sociétal. *« Emprunter une navette autonome sur un pont en ligne droite n'apporte pas grand-chose à des usagers qui vont plus vite à pied »*, souligne Judith Ferrando y Puig, codirectrice de Missions Publiques. Ce cabinet de conseil a récemment organisé des débats sur le thème des véhicules sans conducteur dans cinq villes, entre 350 citoyens et des acteurs de la mobilité (Airbus, Keolis, Allianz…). Avec une conclusion : les futurs modes d'expérimentation devraient être plus proches de la vie réelle des usagers. Par exemple, pour tester les liaisons dites du « dernier kilomètre », autour d'une gare dépourvue de transports en commun. — ***J. H.***

> Les essais sur route de véhicules autonomes vont se multiplier.
>
> Les demandes sont nombreuses et un goulet d'étranglement administratif pourrait apparaître.

Les travaux d'Hercule de la certification

La concurrence entre pays et constructeurs pousse à accélérer la définition des procédures d'homologation, même si des questions techniques restent posées.

« C'est un travail de fou ! » s'exclame Alain Piperno, expert pour les tests et l'homologation véhicules autonomes à l'Union Technique de l'Automobile, du Motocycle et du Cycle – Centre d'Essais et de Recherche Appliqué à la Mobilité (Utac Ceram).

Alain Piperno fait partie de ces fonctionnaires et ingénieurs français qui planchent depuis des mois sur les réglementations pour homologuer les voitures autonomes de niveaux 3 et 4. *« Ces technologies de conduite seront disponibles l'an prochain*, explique-t-il. *Les réglementations d'homologation seront également prêtes. C'est un impératif, tant la concurrence est grande entre les pays et les constructeurs sur ce marché naissant de la voiture autonome. »*

Aujourd'hui, tout nouveau véhicule, pour être homologué dans un pays européen, doit respecter une cinquantaine de règlements, définis par la Commission économique des Nations unies pour l'Europe (CEE-ONU). Cet organisme a été créé en 1947 pour encourager la coopération économique entre les Etats membres. Pour les voitures autonomes de niveau 3 et 4, une dizaine d'essais supplémentaires sont envisagés. Le système de conduite autonome devra, par exemple, être capable d'évaluer lui-même le conducteur : est-il bien assis sur le siège conducteur ? A-t-il les mains sur le volant ? Regarde-t-il la route ?

En amont, ce sont des milliers d'essais et de simulations auxquels les constructeurs devront procéder pour s'assurer que leurs véhicules réagiront correctement à des centaines de situations dangereuses : freinage d'urgence sur un piéton, en roulant tout droit, dans un tournant, de jour, de nuit, par brouillard… *« L'Utac Ceram et les constructeurs travaillent à une liste standard de scénarios les plus accidentogènes ; nous pourrions même déboucher sur un projet de norme ISO dans ce domaine »*, poursuit Alain Piperno.

Homologuer les logiciels

Reste à relever les nouveaux défis propres aux systèmes d'intelligence artificielle qui vont piloter les voitures autonomes. *« Vous aurez dans votre véhicule des algorithmes qui lui permettront d'apprendre tout seul et de devenir chaque jour un peu meilleur »*, rappelle Alain Piperno. Tandis que les constructeurs, comme c'est déjà le cas pour Tesla, pourront automatiquement et à distance installer sur votre voiture des mises à jour logicielles qui en modifieront les fonctionnalités.

Cela pose toute une série de questions. Comment homologuer un programme informatique qui évoluera en permanence ? Quels sont les protocoles qui protégeront ces logiciels d'une éventuelle cyberattaque ? La National Highway Traffic Safety Administration, l'agence fédérale américaine des Etats-Unis chargée de la sécurité routière et de l'homologation des véhicules, insiste particulièrement sur ce point dans sa dernière note d'orientation sur la sécurité des systèmes de conduite automatique, publiée en septembre 2017.

L'une des préoccupations de l'administration américaine consiste à s'assurer que le propriétaire d'un véhicule autonome n'installe pas lui-même un patch informatique ou un appareil qui pourrait nuire à sa sécurité. La NHTSA vient ainsi d'interdire un dispositif magnétique qui trompait l'« Autopilot » des Tesla en faisant croire que le conducteur gardait ses mains sur le volant… — ***J. H.***

PSA dispose déjà de douze véhicules autorisés à emprunter des routes publiques (ici, un C4 Picasso), à condition qu'un conducteur soit présent à bord. *Photo Lydie Lecarpentier/RÉA*

FERROVIAIRE // Pour augmenter le trafic sur les infrastructures existantes, le train du futur se passera de conducteur. La difficulté consistera à préserver un niveau de sécurité encore plus élevé que dans l'automobile.

Le train autonome bientôt sur les rails

Frank Niedercorn
@FNiedercorn

La voiture n'est pas seule à rêver d'autonomie. Le train s'est également lancé dans la course. Il y a toutefois une grande différence entre un train automatique, comme le métro de la ligne parisienne 14, et son descendant autonome. Dans le premier cas, le réseau est souvent enterré, entièrement fermé et beaucoup plus court. « *Dans un métro, le train parcourt toujours le même trajet d'un bout de la ligne à l'autre dans un environnement fermé. On est dans un univers fini dans lequel tous les cas possibles sont connus* », résume Eric Tregoat, directeur général de l'IRT Railenium. Nul besoin d'intelligence artificielle, c'est le monde des automatismes développés par des industriels comme Siemens (sur la ligne 14) ou Alstom.

Faire circuler un train autonome sur un réseau grandes lignes présente une complexité décuplée. Il a l'avantage de circuler sur des rails, mais devra savoir lire la signalisation, détecter les obstacles sur la voie, surveiller son propre fonctionnement, connaître sa position, être capable de gérer les aléas, donner des informations à ses passagers… Et, surtout, anticiper : lancée à 300 kilomètre/heure, une rame a besoin de 1 kilomètre pour s'arrêter.

Eviter la saturation

Pourtant, l'autonomie arrive. A partir de 2021, en Ile-de-France, les trains Eole du RER E, puis, en 2027 les TGV Paris-Lyon seront partiellement autonomes, en prenant en charge l'accélération et le freinage. Une évolution cruciale sur des zones ferroviaires qui frisent souvent la saturation. « *Avec une accélération un peu lente, un train perd facilement dix secondes par gare, soit une minute sur la traversée de Paris. Avec un train toutes les deux minutes, c'est considérable* », explique Luc Laroche, directeur du projet Train autonome à la SNCF. Au bout du compte, il s'agit d'augmenter le débit sur des infrastructures, qui, elles, évolueront peu. « *Augmenter le nombre de trains représente un coût marginal, mais cela a un impact majeur sur l'économie générale du système* », résume Luc Laroche.

Avec la génération suivante, le conducteur aura disparu de la cabine, même si, à bord du train, un opérateur devra être capable de reprendre la main en cas d'incident. Enfin, au stade ultime, le train tout autonome se passera entièrement de l'opérateur humain à bord. « *Pendant vingt ou trente ans, on verra plusieurs générations de trains circuler sur les mêmes voies. Un train semi-autonome suivra un train avec conducteur, lui-même précédé par un train complètement autonome* », prédit Luc Laroche.

La SNCF, associée à l'IRT Railenium, va créer un consortium associant des industriels afin de développer deux prototypes de trains totalement autonomes, l'un en version fret et l'autre avec passagers. « *L'intelligence artificielle, avec ses opportunités, ses limites et son périmètre à bien définir, est au cœur du sujet* », explique Luc Laroche.

Préserver une sûreté de fonctionnement

Les ingénieurs de la SNCF sont très prudents, notamment sur l'utilisation de l'apprentissage automatique profond (« deep learning »). « *Ainsi, le choix est fait de ne pas faire reposer les réactions d'urgence du train sur des algorithmes utilisant les techniques d'intelligence artificielle telles que le "deep learning", dont la compatibilité avec une démonstration de sécurité n'est pas assurée dans l'état actuel de la technologie* », assure Luc Laroche. Tout l'enjeu est de préserver une sûreté de fonctionnement bien supérieure à l'automobile avec un « événement redouté » (c'est-à-dire un incident) par milliard d'heures de fonctionnement. Le sujet fait débat. Railenium a ainsi mené une étude de faisabilité sur l'intérêt de l'intelligence artificielle dans le cadre de ce projet. « *Nous avons regardé tout ce qui existe et il est probable que la solution viendra de la combinaison de plusieurs types d'intelligence artificielle, en complément d'automatismes de conduite* », prédit Eric Tregoat.

Les premiers prototypes de train autonome sont attendus pour 2023, pour une mise en exploitation qui pourrait intervenir avant la fin des années 2020. L'un des problèmes envisagés est d'ores et déjà la panne totale du système de conduite autonome. D'où l'intérêt de développer en amont un mode de reprise en main du train à distance. C'est l'ambition du projet TC-Rail, qui vise à développer un système de téléconduite avec un premier démonstrateur prévu pour l'année prochaine. ■

A partir de 2021, en Ile-de-France, les trains Eole du RER E, puis, en 2027, les TGV Paris-Lyon seront partiellement autonomes, en prenant en charge l'accélération et le freinage.
Photo Alstom/Design&Stiling

3 QUESTIONS À // PIERRE MESSULAM
Directeur général adjoint de SNCF Mobilités

« Avec l'IA, on veut passer de l'âge de la planification à celui de l'adaptation »

Propos recueillis par ***Frank Niedercorn***

En Ile-de-France, la SNCF est engagée dans plusieurs projets de recherche impliquant l'intelligence artificielle. Dans quel but ?
L'objectif est d'optimiser la maintenance des trains en mesurant toute une série de paramètres (vibrations, intensité électrique, températures, accélérations) déversant des quantités phénoménales de données. L'apport de l'intelligence artificielle, c'est de corréler ces données pour anticiper l'usure des moteurs, des roulements, des pantographes et ainsi anticiper les pannes.

Peut-on faciliter l'exploitation ?
Oui, et c'est même le plus novateur. Songez que SNCF Transilien fait circuler quotidiennement 6.500 trains et 3,5 millions de passagers. Soit 70 % du trafic ferroviaire. Si l'on veut augmenter le nombre de passagers sur les infrastructures existantes, la gestion des flux de personnes va s'avérer déterminante. L'intelligence artificielle permet de compter les passagers, dans la gare, voire aux abords de la gare, sur les quais et à bord des trains. Si l'on sait, avant que le train arrive, qu'il y a trop de monde à bord ou sur le quai, on peut en déduire qu'il partira en retard et empêcher l'effet domino en prenant des mesures. L'objectif est d'adapter l'offre de transport en fonction des flux et des incidents tout en donnant davantage d'informations aux clients. Avec l'intelligence artificielle et l'apport des sciences humaines, on veut changer de paradigme et faire passer le monde ferroviaire de l'âge de la planification à celui de l'adaptation.

Quels sont les défis qui restent à surmonter ?
Ils sont considérables. Une bonne partie du travail consiste, en se basant sur l'observation, à définir les données pertinentes. Sur quels critères, par exemple, décider qu'il y a trop de monde dans une gare ? Il faut aussi beaucoup de capteurs, mais de différentes natures, par exemple pour compter les gens lorsqu'ils montent et descendent des trains. Cela impliquera aussi une refonte de la chaîne du traitement de l'information, car nous avons besoin de données précises et actualisées à la minute pour prendre les bonnes décisions. Concrètement, nous travaillons par exemple sur un futur « tableau de contrôle optique voyageur » – l'équivalent du tableau dont les exploitants disposent pour visualiser les trains sur le réseau. On peut rêver dans l'avenir d'avoir un système global des flux de voyageurs à l'échelle de l'Ile-de-France. Il faudra faire beaucoup de progrès. ■

« Une bonne partie du travail consiste à définir les données pertinentes… »

«… Car nous en avons besoin pour prendre les bonnes décisions. »

Cinq ouvrages à lire pour aller plus loin

The Future of Mobility 3.0

Etude réalisée par Arthur D. Little
www.adlittle.com

● Et le gagnant est… Singapour. L'étude « Future of mobility 3.0 » réalisée par Arthur D. Little attribue la première place de son classement mondial à la ville-Etat. Classée seulement 6e dans la précédente étude, datant de 2014, assez loin derrière Hong Kong, Singapour l'a notamment emporté grâce à ses spectaculaires progrès pour la diffusion des vélos partagés (29.000 désormais contre à peine 100 en 2013), mais surtout pour sa politique très volontariste dans la diffusion des véhicules autonomes. « *La cité a fait des progrès considérables et constitue même un cas d'école pour l'évolution vers le futur de la mobilité urbaine* », note l'étude. Paris occupe une honorable 8e place grâce à sa politique en faveur du vélo partagé (la troisième position en Europe), au bannissement des diesels et à une politique jugée plutôt active en faveur de l'innovation. —***F. N.***

Autonomie : une révolution en marche

Etude réalisée par Oliver Wyman
www.oliverwyman.fr

● L'originalité de l'étude menée par le cabinet Oliver Wyman est d'aborder l'autonomie des véhicules à moteur au sens large, depuis la voiture sans chauffeur jusqu'aux drones et aux avions en passant par les navires et les sous-marins. Les experts du cabinet tirent des conclusions concrètes et dessinent un marché de l'autonomie qui devrait peser 3.000 milliards d'euros à l'horizon de 2030. Si la vente des véhicules autonomes, toutes catégories confondues, devrait générer quelque 640 milliards, ce sont les activités périphériques et notamment les services qui concentreront 80 % du marché : maintenance, gestion des infrastructures, des flottes, du trafic ainsi que vente de logiciels, de systèmes et de services informatiques.—***F. N.***

Faster, Smarter, Greener

De Venkat Sumantran, Charles H. Fine et David Gonsalvez. MIT Press, 352 pages.

● Le XXe siècle fut celui de l'automobile, qui a transformé les villes et développé leur économie, mais aussi généré pollution et embouteillages. Pour les auteurs de ce livre, publié l'an dernier par la maison d'édition du Massachussets Institute of Technology, la mobilité du XXIe siècle sera radicalement différente : plus rapide, plus intelligente et plus verte. L'ouvrage détaille, images à l'appui, des exemples qui préfigurent ces changements dans plusieurs grandes métropoles. Il explore les différents types d'innovations en cours ou à venir, classées par grandes catégories (développement durable, personnalisation, services connectés, plates-formes de mobilité, autonomie…). La dernière partie du livre propose un cadre de développement pour la mobilité du futur, inspiré des télécoms, que les auteurs désignent par l'acronyme CHIP (pour « connecté, hétérogène, intelligent et personnalisé »). —***B. G.***

Mobility Nation

Livre blanc, Boston Consulting Group
www.bcg.com

● Publié en fin d'année dernière dans le cadre des Assises de la mobilité, ce Livre blanc piloté par le Boston Consulting Group s'attaque à un cas concret, l'Ile-de-France, avec un horizon de temps réduit : 2030. D'ici là, les révolutions technologiques et d'usage, d'une part, les Jeux Olympiques de 2024, d'autre part, auront profondément transformé la façon dont les Parisiens et les Franciliens se déplacent pour leur travail ou leurs loisirs. Une vingtaine d'acteurs du secteur, d'Uber à Ile-de-France Mobilités (ex-STIF) en passant par BlaBlaCar, EasyMile ou SystemX ont contribué à cette étude, qui détaille six ruptures à l'œuvre (connectivité, zéro émission, voiture autonome, mobilité à la demande, partage de véhicule et multimodalité). L'ouvrage se termine par 24 propositions concrètes pour créer un modèle d'organisation des transports « à la française » et structurer l'écosystème. —***B. G.***

Véhicules autonomes et connectés

Livre blanc N°2, Inria
www.inria.fr

● Le Livre blanc consacré à la voiture autonome, produit sous la houlette de la cellule veille et prospective de l'Inria, Institut national de recherche dédié au numérique, constitue probablement la meilleure introduction à quiconque veut à la fois en comprendre les enjeux, avoir un point de vue synthétique et pédagogique sur l'état de la recherche dans le monde, mais aussi bien comprendre les progrès qui restent à faire. A tel point que les conclusions des chercheurs de l'Inria, dont plusieurs équipes sont impliquées dans les projets liés au véhicule autonome, se révèlent plus prudentes que celles généralement avancées par les constructeurs. Les premiers systèmes de transport automatisés et les premiers véhicules autonomes sur autoroute devraient partir de 2025. En revanche, les auteurs n'envisagent les premières voitures complètement autonomes qu'à partir de 2040.—***F. N.***