

Satisfaire à de telles exigences sera extrêmement difficile. Des avancées fondamentales en ingénierie logicielle et en traitement du signal seront nécessaires. En outre, il faudra définir de nouvelles procédures de certification des performances du véhicule. Pour le moment, il n'y en a pas. Certes, il existe déjà des méthodes formelles afin d'analyser systématiquement tous les dysfonctionnements possibles d'un élément de programme, avant même que celui-ci n'ait été écrit. Ces procédures mathématiques de contrôle sont toutefois inapplicables aux logiciels complexes. Les chercheurs n'en sont qu'aux débuts de leurs travaux sur les possibilités de généraliser les vérifications formelles aux programmes complexes de pilotage automatique de véhicules.

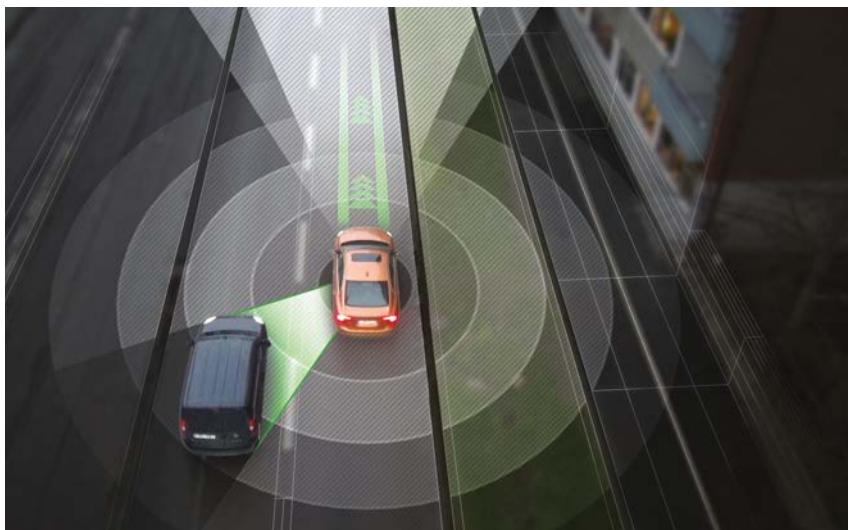
Concevoir les logiciels, les tester, les valider...

Une fois de tels programmes écrits, il faudra aussi des méthodes assez puissantes pour les déboguer et les valider. Les méthodes existantes sont trop lourdes et leur mise en œuvre trop coûteuse.

À titre de comparaison, rappelons que la moitié du coût d'un nouvel avion commercial ou militaire est due à la vérification et à la validation des programmes de commande. Or les logiciels avioniques sont beaucoup moins complexes que ceux dont auront besoin des véhicules routiers automatisés. Quand ils conçoivent des pilotes automatiques, les ingénieurs aéronautiques savent qu'il n'y aura jamais plus d'un ou deux avions à proximité, dont ils n'ont pas besoin de connaître les positions et les vitesses avec une grande précision, car leur éloignement au moment de leur première détection donne plusieurs dizaines de secondes pour réagir.

Sur la route, il en va tout autrement. Le conducteur doit souvent prendre en une fraction de seconde des décisions sûres, qui impliquent, pour adapter correctement la trajectoire, d'estimer la vitesse de dizaines de véhicules et obstacles. La complexité d'un code informatique ayant de telles performances sera considérablement supérieure à celle d'un code avionique.

À supposer que l'on ait déjà développé et validé un tel logiciel de pilotage, les constructeurs automobiles auront encore à «prouver» la fiabilité d'un véhicule conduit à l'aide de ce programme, d'après les critères de



Groupe automobile Volvo

VOLVO TESTERA EN 2017 plus de 100 véhicules capables de surveiller leur propre environnement et de se piloter eux-mêmes. Des véhicules de ce constructeur ont également fait l'objet de tests de conduite automatique en convoi.

la gestion des risques en entreprise, des compagnies d'assurances, des associations de conducteurs, des autorités et, bien sûr, des éventuels clients. Les tests actuels de validation sont complètement inutilisables pour des véhicules autonomes. Il faudrait que le véhicule automatique parcoure des centaines de millions de kilomètres avant que l'on puisse être statistiquement sûr qu'il triomphera des situations dangereuses auxquelles il sera confronté une fois produit en série et utilisé par des milliers de clients. Des experts réfléchissent déjà à ce problème : en Allemagne, par exemple, le gouvernement et l'industrie viennent de mettre en place un projet de recherche dédié.

Il faudra aussi soumettre à une validation rigoureuse les capteurs qui alimentent le pilote automatique en informations critiques pour les décisions de conduite. Cela suppose le développement d'algorithmes de traitement du signal et de fusion des données prélevées assez efficaces pour distinguer tout au long du trajet les objets bénins des objets dangereux. Ils ne devront produire pratiquement aucun faux négatif (la non-identification d'objets dangereux), et très peu de faux positifs (l'identification comme dangereux d'objets en réalité inoffensifs, qui entraînerait un risque d'inutiles embardées et autres freinages brutaux).

Pour parvenir à ce niveau de performance du pilote automatique, les ingénieurs automobiles ne peuvent employer la force brute de la redondance (qui consiste à multiplier les capteurs susceptibles de donner l'alarme) qui caractérise les systèmes avioniques. En

effet, à force de capteurs onéreux, ils risqueraient de rendre inabordable les pilotes automatiques pour véhicules routiers.

Se tourner vers l'intelligence artificielle n'est pas non plus une solution évidente. Certains ont proposé que des machines étudient par des techniques d'autoapprentissage des millions d'heures de conduite enregistrées. Une fois suffisamment formés pour diriger un véhicule, les pilotes automatiques obtenus par cette méthode continueraient à apprendre tout au long de leur cycle de vie. Toutefois, ce type d'apprentissage automatique crée des problèmes spécifiques. Même entraînés à l'identique, deux systèmes de conduite équipant le même modèle de véhicule accumuleraient, une fois sur la route, des expériences différentes, de sorte qu'ils finiraient par réagir différemment dans les mêmes conditions de circulation. Ils seraient imprévisibles.

Automatisation complète pas avant... 2075

J'ai longtemps affirmé que les systèmes de conduite de niveau 5 ne seraient pas réalisables avant 2040. Certains ont déformé mes propos en disant que c'était *pour* 2040. Aujourd'hui, j'ai changé de discours et les annonce désormais plutôt pour... pas avant 2075.

En fait, nous ne sommes même pas près d'avoir des automatisations de la conduite de niveau 3. Comment, en effet, recapter efficacement l'attention d'un conducteur en cas d'urgence ? Est-ce même pensable s'il



LA GOOGLE CAR est un prototype de voiture partiellement automatisée, à propulsion électrique, sans volant ni commandes pour un conducteur humain. L'ordinateur qui la pilote exploite les données d'un lidar, d'une caméra, de radars, d'un récepteur GPS et de capteurs sur les roues.

s'est endormi ? J'ai entendu les représentants de certains constructeurs automobiles dire que ce problème est si grave que cela les amène à renoncer à des automatisations de niveau 3. En fait, il est tout à fait possible que, en dehors des dispositifs d'assistance en situation d'embouteillage, l'automatisation de niveau 3 ne voie jamais le jour.

Bientôt des voitures hautement automatisées

Et pourtant, nous verrons quand même des voitures hautement automatisées bientôt. Presque tous les grands constructeurs et bureaux d'étude consacrent en effet des budgets importants au niveau 4, c'est-à-dire à la mise au point de systèmes de conduite automatique restreinte à des environnements particuliers et stables, du moins assez pour ne pas devoir dépendre des actions d'un humain faillible en cas d'urgence.

Plus le nombre de situations dans lesquelles peut se trouver effectivement un véhicule est réduit, plus sa conduite est automatisable. La ligne 14 du métro parisien est là pour nous le prouver. Si l'on dispose de voies séparées et sécurisées afin d'y rendre les conditions de déplacement stables, il est possible de faire fonctionner des systèmes de conduite automatique de façon presque parfaitement sûre.

C'est ainsi que, probablement, nous verrons apparaître au cours des dix prochaines années des systèmes de stationnement automatisés, auxquels nous abandonnerons notre voiture à l'entrée de parkings

convenablement équipés, où ni véhicules non automatisés, ni piétons ne pourront circuler. Un système embarqué communiquera avec des capteurs répartis dans le parking afin de localiser une place disponible et d'y garer le véhicule.

Dans les zones piétonnes et commerciales, les campus et tous les lieux où les véhicules rapides peuvent être exclus, des navettes sans chauffeur pourront circuler lentement. Dans de tels environnements, des capteurs de capacité limitée suffiront à détecter les piétons et les cyclistes, tandis que les fausses détections seront de peu d'inconvénient. Le projet *CityMobil2* de taxi sans conducteur de la Commission européenne, qui vient d'être testé à La Rochelle, illustre à quoi pourra servir ce type de solution.

La mise en place de couloirs de bus séparés et de voies réservées aux camions permettra bientôt la circulation de véhicules très automatisés. La séparation entre ces véhicules et les autres simplifiera le problème de la détection des menaces, et donc les réactions automatiques. Afin d'économiser l'énergie, on envisage aussi de former des convois de camions et de bus dotés de la capacité de suivre automatiquement un premier véhicule classique. Des prototypes dotés de ce genre de capacité ont déjà été testés, notamment dans le cadre du projet californien PATH (*Partners for Advanced Transportation Technology*), du projet japonais Energy ITS (*Energy Saving Intelligent Transport Systems*) et du projet européen SARTRE (*Safe Road Trains for the Environment*).

Cependant, dans la décennie qui vient, l'automatisation de la conduite au niveau 4 prendra sans doute la forme d'autoroutes automatisées, où des véhicules seront automatiquement conduits sur les portions d'autoroute prévues à cet effet. Ils ne seront probablement utilisés que par beau temps, sur des tronçons d'autoroutes cartographiés dans le moindre détail. Ces portions de route pourraient même comporter des refuges où les véhicules se gareront automatiquement en cas de problème. La plupart des constructeurs automobiles travaillent d'arrache-pied à développer de tels systèmes. Volvo prévoit par exemple de tester en public 100 prototypes de véhicules ainsi équipés à Göteborg, en Suède. Cette automatisation est sans doute moins séduisante que la perspective d'avoir son propre chauffeur électronique, mais elle a l'avantage d'être possible – et même inévitable – dans un proche avenir. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

Towards road transport automation : Opportunities in public-private collaboration, Résumé du III^e symposium Europe-États-Unis sur la recherche sur le transport, Washington, 14 et 15 avril, 2015.

S. Shladover, **Technical challenges for fully automated driving Systems**, communication au 21^e congrès mondial sur les systèmes de transport intelligents, Detroit, 7-11 septembre 2014.

S. Ashley, **Driving toward crashless cars**, *Scientific American*, n° 299, pp. 86-94, décembre 2008.