

## SOMMAIRE DU DOSSIER

- 27 **L'industrie automobile :  
dinosauré ou phénix ?**  
par Christophe Midler [74]
- 28 **Géopolitique de l'industrie  
automobile : comprendre  
la variété des modèles**  
par Bernard Jullien
- 32 **L'automobile vers le zéro-émission en 2050,  
quelles conséquences pour l'industrie ?**  
par Marc Alochét et Christophe Midler [74]
- 36 **La batterie, composant clé  
de l'électromobilité**  
par Wann Laot [2002]
- 39 **L'industrie automobile  
au défi des nouvelles mobilités**  
par Brigitte Courtehoux
- 42 **Véhicule autonome :  
le grand remplacement ?**  
par Patrick Pélata [74]
- 45 **Connectivité, robotisation,  
intelligence artificielle,  
la production automobile 4.0**  
par Arnaud Debœuf [87]  
et Jean-Christophe Marchal [93]
- 48 **L'industrie automobile,  
du hardware au software**  
par Jean-Marc Holl [86]
- 52 **La route du futur face au  
réchauffement climatique**  
par Bernard Jacob [74]
- 56 **Adventure Lab, l'innovation frugale  
automobile en Afrique subsaharienne**  
par Paul de Chatelperron, Dominique Levent,  
François Rouvier et Christophe Midler [74]
- 60 **L'automobile et la ville,  
une politique publique à repenser**  
par Jean-Marc Offner
- 64 **Étymologie : XXXXXXXXXXXXXXXX**  
par Pierre Avenas [65]

# AUTOMOBILE

## L'INDUSTRIE AUTOMOBILE : DINOSAURE OU PHŒNIX ?



**CHRISTOPHE  
MIDLER (74)**

directeur de recherche  
émérite et membre de  
l'Académie des technolo-  
gies, CRG I<sup>2</sup> (Centre de  
recherche en gestion,  
institut interdisciplinaire de  
l'innovation) CNRS-École  
polytechnique

**L**e terme de mutation revient périodiquement pour décrire la situation du secteur automobile. On le retrouve évidemment dans les années d'avant-guerre, où s'est construit le paysage industriel que l'on connaît ; dans les années 70 avec les crises du pétrole ; dans les années 80 avec la révolution des nouvelles normes d'efficacité venant du Japon et le déploiement spectaculaire de la robotisation des usines. Mais probablement jamais n'a-t-on assisté à la conjonction de facteurs que l'on constate dans la situation actuelle, qui crée pour le secteur un *momentum* inédit.

On n'en veut pour preuve que les impératifs de lutte contre la crise climatique, qui voit une intrusion forte des politiques publiques dans les décisions technologiques et produits des constructeurs ; que les évolutions des comportements de mobilité où les clients potentiels privilégient de plus en plus l'accès à des services de mobilité efficaces, par rapport à la possession de véhicules perçus de plus en plus comme des objets polluants, coûteux et finalement peu pratiques ; la dynamique de la compétition, avec le déplacement d'un jeu concurrentiel dur mais policé entre les constructeurs de la triade (Europe, Japon, USA) vers une domination de plus en plus évidente d'acteurs de zones géographiques nouvelles (Corée, Chine) d'un côté et l'intrusion brutale

de nouveaux prédateurs de valeur issus du monde numérique de l'autre ; les évolutions des dynamiques industrielles, où l'image de fleuron d'industrie nationale cède le pas à celle d'emblème des délocalisations et de suppressions d'emploi à un moment où la reconquête de l'autonomie nationale devient un enjeu fort ; et enfin une image d'organisation du travail typique de « l'ancien monde », où les jeunes n'ont plus guère envie de se projeter.

Le tableau est certes sombre et les défis multiples, mais l'histoire montre que l'industrie automobile a su par le passé, tel un phénix, trouver face à de telles crises les ressources pour assurer sa résilience, pour rebondir en se réinventant. Quel est aujourd'hui plus précisément l'état de ces contraintes et des acteurs qui les portent ? Quelles sont aujourd'hui les perspectives de réponse et de dépassement ? Tel est l'objet de ce dossier. Des perspectives où, comme on le verra, l'imagination et l'intelligence des ingénieurs tiendra certainement un rôle central. Car c'est dans les moments de rupture, plus que dans le maintien des régimes permanents, que l'exigence d'une association de compétences scientifiques et techniques, d'une intelligence et d'une motivation conceptrice innovante, et d'une capacité organisatrice devient centrale dans la réussite des projets. X

# GÉOPOLITIQUE DE L'INDUSTRIE AUTOMOBILE : COMPRENDRE LA VARIÉTÉ DES MODÈLES



**BERNARD JULLIEN**  
maître de conférence en économie  
à l'Université de Bordeaux,  
GREThA (UMR CNRS 5113)

En vingt ans, une mutation spectaculaire des logiques d'internationalisation a bouleversé le marché automobile. Cela ne doit pas masquer la variété des politiques des nouveaux pays automobiles et la variété de stratégie d'internationalisation des entreprises. Quelle est la martingale ?

**L**a géopolitique mondiale de l'automobile a, en 20 ans, subi une mutation d'une ampleur inégalée. Au-delà du basculement de la production vers l'Asie et plus généralement vers les pays émergents, comprendre les formes contemporaines d'internationalisation et les défis associés implique d'analyser plus finement les politiques industrielles des nouveaux pays automobiles. En effet, si dans l'automobile l'accès à un marché implique, pour des raisons logistiques et politiques, une implantation industrielle locale, le sens et le périmètre de ces implantations peuvent être très différents.

## Trois configurations stratégiques chez les pays émergents

Trois grandes configurations peuvent être caractérisées. D'abord celle des nouveaux pays automobiles qui ont des stratégies exportatrices et qui visent un développement de la production indépendant du marché. Ils se présentent aux constructeurs et équipementiers comme des espaces de relocalisation. Mexique, Maroc et pays d'Europe orientale en relèvent. Ensuite celle des « grands émergents » dont le marché recèle d'importantes ressources. Ceux-là conditionnent l'accès à leurs marchés à des investissements industriels des constructeurs et équipementiers. Dans ce cas, l'ambition des responsables politiques se limite au volet industriel et aux questions de balance commerciale. Russie, Iran et Brésil avant INOVAR se sont inscrits dans ces logiques. Enfin, celle développée par les pays qui ont des objectifs de politique industrielle plus ambitieux et visent la montée en compétences des acteurs nationaux. Cela passe par une implication dans les activités de conception des technologies et produits, pour devenir localement puis mondialement des acteurs compétitifs. Le Brésil a ici été très volontariste avec Inovar, qui modulait la fiscalité sur les produits en fonction de contenus locaux en ingénierie et a peiné malgré cela à obtenir les effets souhaités. La Chine a tenté depuis 20 ans de faire émerger des constructeurs et marques chinois, dans le cadre des JV entre les grands constructeurs mondiaux et les *State-Owned-Companies*. Longtemps considérées comme peu concluantes, ces politiques ont commencé après 2014 à porter leurs fruits : les parts de marché des marques chinoises ont crû ; les constructeurs chinois se sont

affirmés en Chine et ailleurs. Depuis 2015, l'automobile fait partie des priorités du plan *Made In China 2025* de Xi Jinping et l'obligation faite à l'ensemble des acteurs d'électrifier leurs immatriculations s'inscrit dans une double perspective : obliger les grands mondiaux à siniser leur conception et faire émerger des champions nationaux. En Inde ou en Russie les politiques sont moins volontaristes, mais tout constructeur qui fait mouvement dans cette direction acquiert une capacité à être écouté et bien traité par la puissance publique supérieure à celle de ses concurrents.

### La réponse des constructeurs

Selon leurs ambitions stratégiques en matière de conquête internationale et les arguments des pays d'accueil auxquels ils sont le plus attentifs, l'internationalisation des constructeurs n'est pas du même ordre. Dans le premier cas, l'internationalisation est tirée par une logique de délocalisations centrée sur la réduction des coûts et s'opère au détriment de l'espace domestique. Dans le second cas, on a affaire à des stratégies de conquête de marchés jusqu'ici délaissés, avec de nouvelles implantations de production et les ventes sans que leurs sites historiques n'en pâtissent. Dans le troisième cas, l'internationalisation porte en germe une réorganisation mondiale de l'activité de conception. Bien évidemment, rien n'interdit aux industriels de combiner différents types d'internationalisation. Quelques exemples contrastés (GM vs VW, PSA vs Renault) illustrent cette variété de stratégies.

### GM face à VW

Vis-à-vis des internationalisations du premier type, la propension de GM à délocaliser ses fabrications pour satisfaire la demande des pays mûrs est notoirement plus forte que celle de VW. Ainsi, en Europe, VW fait croître sa production tchèque pour alimenter les marchés en véhicules de la marque Skoda, mais ne délocalise pas réellement comme GM le fait au Mexique. Ainsi, si la production allemande de VW se maintient alors que celle de GM aux États-Unis décline fortement, c'est d'abord parce que les volumes produits et vendus par VW en Europe sont en progression en raison des gains de parts de marché des marques du groupe, alors que GM et ses marques cèdent du terrain aux Japonais et Coréens en Amérique du Nord. C'est aussi parce que GM fait le choix de réduire sa production étatsunienne et de faire croître très significativement sa production mexicaine : entre 2002 et 2017, dans un contexte où GM doit baisser sa production nord-américaine de 2,4 millions d'unités en raison de l'effondrement de ses parts de marché, sa production aux États-Unis passe de 4 à 2 millions de

**“L'automobile fait partie des priorités du plan Made In China 2025.”**

véhicules et sa production mexicaine de 0,5 à 0,8 million ; dans le même temps la production de VW en Europe progresse de 1 million et la moitié des volumes produits en sus le sont en Allemagne.

Malgré cela, VW et GM voient la part de leurs productions domestiques dans leur production totale baisser significativement : pour VW, le ratio passe de 37,7 % en 2002 à 23,6 % en 2017 et pour GM de 50,1 % à 30,2 %. Au-delà des délocalisations, ce sont les réponses apportées par ces constructeurs aux politiques publiques du deuxième type qui sont ici en cause. En effet, GM et VW sont les deux constructeurs qui ont été les plus engagés sur longue période auprès des autorités chinoises et ce sont ainsi plus de 4 millions de véhicules qui sont produits et vendus par l'un et l'autre de ces constructeurs à la fin des années 2010. Toutefois, la production chinoise vient compenser le déclin de celle des pays de la Triade pour GM, alors qu'elle nourrit la croissance des volumes produits par le groupe pour VW. GM finit ainsi la période avec des ventes annuelles équivalentes à celles de 2002 et sa production chinoise se substitue à la fois à une baisse très forte de la production nord-américaine (- 2,4 millions de véhicules) et à la cessation des activités européennes associée à la vente de Opel à PSA en 2017 (- 1,6). Pour VW, les 3,6 millions de véhicules produits en sus en Chine viennent s'ajouter au million →

### REPÈRES

Si l'on s'intéressait aux marchés émergents dès les années 80, ceux-ci peinaient à tenir leurs promesses et étaient maintenus en périphérie d'un système automobile dominé par la triade Japon, Europe, USA. Ainsi en 1999, sur une production mondiale de véhicules de 56 millions, UE à 15, Canada, USA, Japon et Corée en représentaient 80 %. Vingt ans plus tard, le paysage mondial a radicalement changé (Jullien, Lung, 2011). L'industrie automobile a crû de manière inédite avec plus de 35 millions de véhicules supplémentaires produits annuellement, dont 32,5 millions en Asie. Les productions européennes et américaines représentaient les deux tiers de la production mondiale et n'en représentent plus que 40 %, tandis que les productions asiatiques qui pesaient pour 30 % comptent en 2019 pour 53,7 %. Parallèlement, au sein des espaces régionaux, la mise en concurrence des pays est devenue systématique : en Europe, la part des anciens pays de l'UE dans la production passe ainsi de 91,2 % à 68,2 % au profit des nouveaux États membres, du Maroc et de la Turquie ; en Amérique du Nord, le Mexique voit sa part dans la production gagner 15 points pour atteindre en 2019 un quart de la production nord-américaine ; dans le même temps, la production étatsunienne régresse de plus de 2 millions et de fait, lors de la crise de 2008, les constructeurs américains ont fermé 11 sites d'assemblage. Cela leur permettra après 2011 de retrouver des niveaux de rentabilité satisfaisants, mais ça ne permettra pas à la production automobile américaine de retrouver ses niveaux des années 90. De même, en France, la production automobile baissa très sensiblement entre 2004 et 2014 - en raison des délocalisations autant qu'en raison de la crise - et le regain d'activité constaté entre 2014 et 2019 ne permit pas, loin s'en faut, de revenir aux productions du début des années 2000, qui étaient 50 % plus élevées que celles de 2018.

→ de véhicules supplémentaires produit en Europe et aux 400 000 véhicules américains de plus pour permettre à la production de doubler.

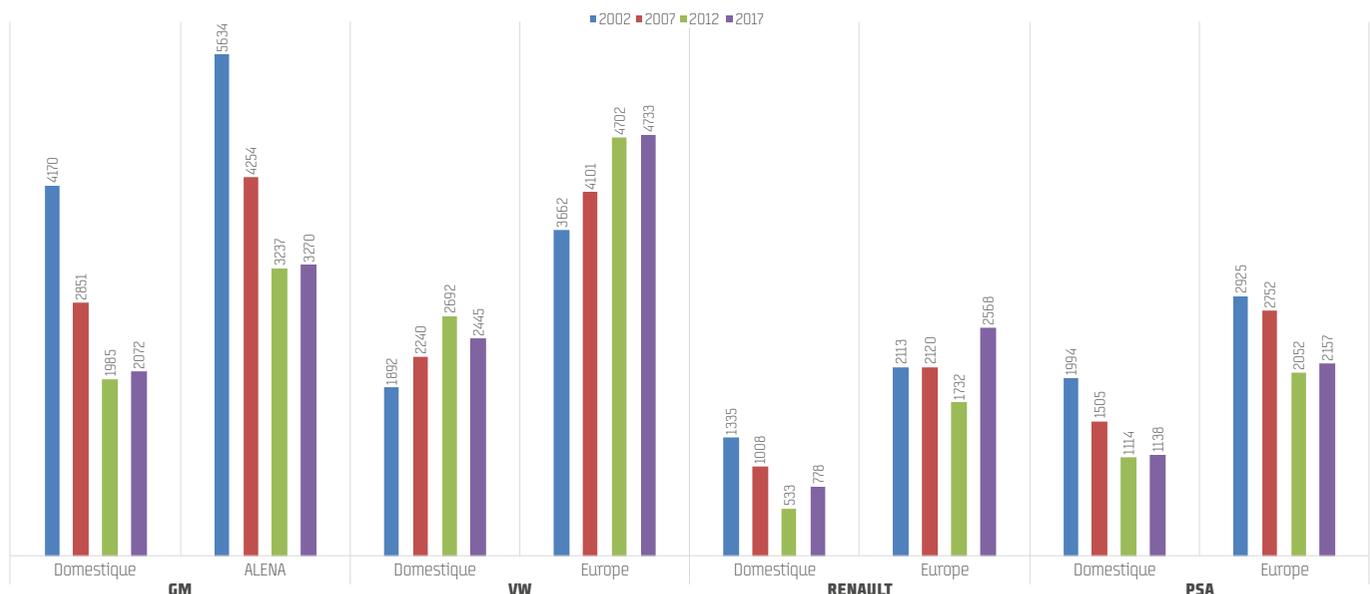
Enfin, en ce qui concerne la conception des produits, le groupe VW aborde le marché chinois avec ses marques et produits usuels, selon des processus de conception *home centric* (Ben Mahmoud-Jouini et al., 2015). Typiquement, en 2020 les ventes du groupe ont été assurées pour 2,6 millions par la marque VW, pour 656 000 par Audi et pour 150 000 par Skoda. Sous ces marques, les produits vendus ne sont pas spécifiquement chinois, mis à part quelques équipements ou aménagements destinés à coller aux spécificités de la demande. Jetta, la seule marque locale, lancée en 2019 pour couvrir l'entrée de gamme, a pesé pour 160 000. Les trois modèles vendus sous cette marque sont des Jetta et Seat rebadgées sans contribution significative des ingénieries chinoises. À l'inverse, pour GM en Chine, en 2020, Buick, Cadillac et Chevrolet ont assuré respectivement 926 000, 230 000 et 310 000 ventes. Baojun et Wuling, les deux marques chinoises développées avec SAIC, en ont assuré 428 000 et 407 000. Ces modèles et, par exemple, la Hong Guang Mini EV proposée par Wuling pour 3 700 euros sont conçues loin de Detroit (processus de conception *polycentric*). Ils sont à la fois susceptibles d'épouser les exigences particulières du marché local et d'exploiter les occasions institutionnelles et industrielles propres à la Chine.

## PSA face à Renault

Les deux français apparaissent également très différents dans leurs trajectoires d'internationalisation. L'un et l'autre voient la part de leur production domestique décroître très significativement : celles-ci étaient pour Renault et PSA de respectivement 57 et 61 % en 2002 et sont en 2017 de 19 et de 36 % (ce chiffre n'inclut pas « l'effet Opel » associé au rachat par PSA des activités européennes de GM en 2017). Ce déclin renvoie à des baisses très importantes de leur assemblage en France (- 557 000 véhicules soit - 41,7 % pour Renault et - 856 000 soit - 42,9 % pour PSA). Toutefois, les stratégies derrière ces baisses sont différentes. Renault combine à la fois une forte propension à marginaliser son assemblage français dans son organisation productive régionale et une recherche active d'expansion dans les BRIC : entre 2002 et 2017, la part non européenne de la production de Renault destinée à satisfaire les exigences des pays développant le second type de politique est passée de 10 % à 38 %. PSA maintient en France une part plus importante de sa production européenne et limite son expansion hors d'Europe à ses opérations chinoises (qui étaient déjà en déshérence en 2017) et iraniennes (annihilées dans les années suivantes). Ainsi, même en 2017 où PSA produisait encore en Chine et en Iran des volumes significatifs, sa production européenne représentait 72 % de la production totale. En 2019, la part de l'Europe était de 92 % (contre 64 % pour Renault).

### Des propensions dissemblables à delocaliser

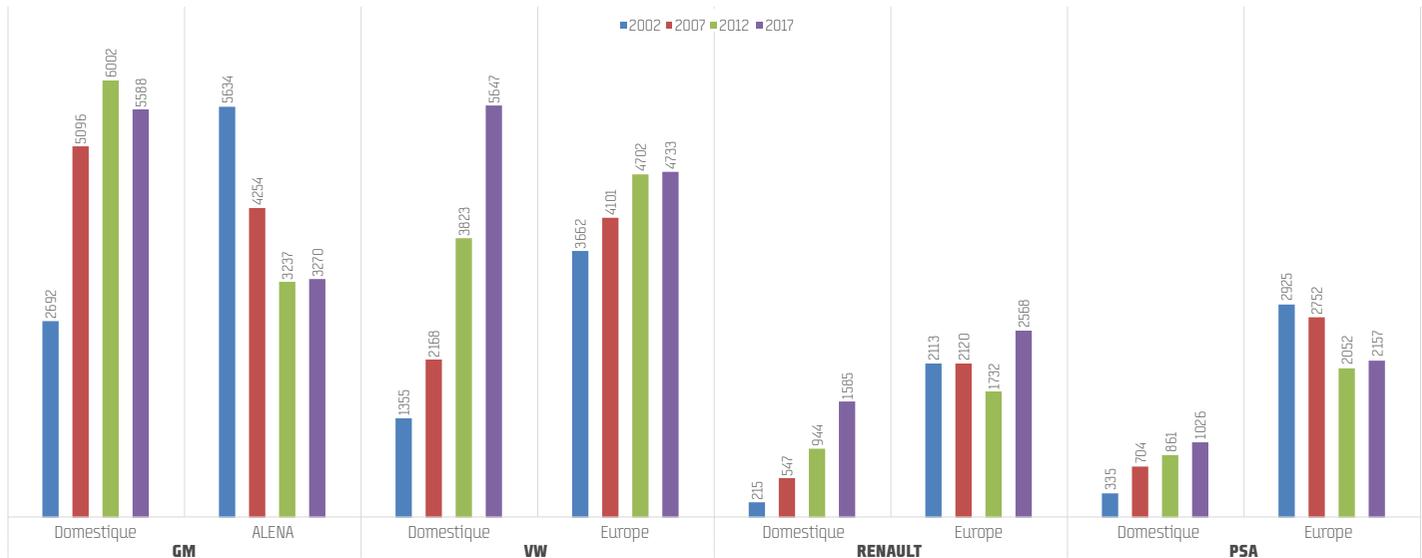
Evolution de la production domestique vs  
Evolution de la production dans la région d'origine des quatre constructeurs  
Données OICA - traitement auteur



**Des propensions dissemblables à intercontinentaliser**

Evolution de la production dans la région d'origine des quatre constructeurs vs évolution de leurs production dans les autres regions du monde

Données OICA - traitement auteur



Concernant l'internationalisation de la conception, PSA aborde les marchés émergents, Chine incluse, avec ses marques et produits usuels. Ainsi, lorsque, inspirés par la réussite de Logan, les responsables produits de PSA ont tenté d'occuper le segment concerné, ils l'ont fait en concevant au siège, selon le modèle traditionnel, une version trois volumes « decontentée » de la 208. Lancée en 2012 et produite à Wuhan et Vigo, le modèle était mal positionné en prix et peu convaincant, et n'a pu ni dans les émergents ni sur les marchés mûrs tenir son rôle. À l'inverse, la réussite intercontinentale de Renault dans les années 2000 a correspondu à la conception de produits spécifiques commercialement et industriellement, dont le développement a été de plus en plus largement délégué à des ingénieries non centrales (modèle *polycentric*). La lignée Logan a été développée en lançant cette trajectoire organisationnelle (Jullien et al., 2012). La Kwid a capitalisé sur ces acquis en amenant l'Alliance à développer en Inde plateforme, moteur, boîte de vitesses et véhicule (Midler et al., 2017). La version électrique de la même Kwid a poursuivi cette logique en allant chercher fournisseurs et ingénieries en Chine.

**“Les perspectives futures sont plus que jamais ouvertes.”**

**Vers une nouvelle étape de l'internationalisation de la conception ?**

Ainsi, parmi les quatre entreprises examinées ici, deux relèvent plutôt de la logique traditionnelle de conception centralisée dans le pays d'origine (VW et PSA) et deux sont plus promptes à casser le monopole central de la conception et de la gestion des plateformes et des technologies (GM et Renault). Les constructeurs japonais, Toyota en tête, s'inscrivent plutôt dans le premier type

de stratégie et on ne saurait dès lors dire si un type de stratégie est supérieur à l'autre, tant il est vrai que le conservatisme est, pour l'instant, apparu comme porteur de bons résultats économiques. Les années qui viennent nous révéleront si ces bonnes performances des modèles du passé renvoient à la lenteur des ajustements à opérer et/ou si elles ressemblent au baroud d'honneur de formes d'organisation en passe de devenir fonctionnellement problématiques et politiquement insoutenables. À ces questions qui s'inscrivent dans une perspective où les firmes de la triade dessinent le paysage mondial, il faut désormais ajouter celles, plus nouvelles, posées par l'émergence de nouveaux constructeurs issus des nouveaux pays de l'automobile : à l'heure où les entreprises chinoises BYD et Nio sont classées 5e et 6e dans les capitalisations boursières américaines, où des marques de prestige européennes comme Jaguar et Volvo ont été rachetées par des constructeurs indiens ou chinois, où les ruptures technologiques et d'usage de mobilité rebattent les cartes, les perspectives futures sont plus que jamais ouvertes. ✕

**Références**

Ben Mahmoud-Jouini S., Burger-Helmchen T., Charue-Duboc F. and Doz Y. (2015), *Global organization of innovation processes*, Management international, vol. 19, numéro 4, pp. 112-120.  
 Jullien, Lung, *Automobile : la croisée des chemins*, La Documentation française, 2011.  
 Jullien, Lung, Midler, *L'épopée Logan*, Dunod, 2012.  
 Midler, Jullien, Lung, *Innover à l'envers*, Dunod, 2017.

# L'AUTOMOBILE VERS LE ZÉRO-ÉMISSION EN 2050, QUELLES CONSÉQUENCES POUR L'INDUSTRIE ?



**MARC ALOCHÉT**

docteur de l'École polytechnique (2020), chercheur associé CRG I<sup>3</sup> (Centre de recherche en gestion, institut interdisciplinaire de l'innovation) CNRS-Ecole polytechnique



**CHRISTOPHE MIDLER (74)**

directeur de recherche émérite et membre de l'Académie des technologies, CRG I3

Le développement des véhicules électriques sur le marché mondial est actuellement le facteur majeur de transformation du secteur industriel de l'automobile. La France, qui possède une des grandes industries mondiales du secteur, dans laquelle d'ailleurs les polytechniciens ont joué un grand rôle, est à ce titre très concernée par ces évolutions. Que peut-on prévoir dans ce domaine ?

**A**près des décennies de tentatives jusqu'alors infructueuses, le véhicule électrique vit aujourd'hui son passage à l'échelle. Tous les constructeurs s'y mettent. Le défi est majeur puisqu'il s'agit de passer au tout électrique alors que les ventes de véhicules à combustion interne représentent aujourd'hui 98 % des ventes mondiales ! D'où vient cette accélération pour une technologie longtemps restée éternellement émergente ? Cet article se centrera sur deux questions : quelles sont les forces à l'œuvre dans cette accélération brutale de la transition ?

## REPÈRES

General Motors, emblème des grosses cylindrées, a annoncé fin janvier 2021 son intention d'arrêter la fabrication de voitures à moteur thermique à partir de 2035. Renault et son partenaire Nissan, mais aussi Ford, Honda, Toyota et Volkswagen (qui ne développera plus de moteurs 100 % thermiques après 2026), affichent un objectif de neutralité carbone en 2050. Et même en 2040, pour Volvo et Daimler. Quant au *first mover* et *pure player* électrique, Tesla, sa valorisation boursière est supérieure à celle de Toyota, VW et GM réunis, et il a en 2020 vendu 500 000 voitures lorsque les experts automobiles le cantonnaient au marché niche de la voiture de luxe *hype*.

Quel est son impact sur l'architecture et les processus d'une industrie façonnés par un siècle de design dominant fondé sur le moteur à combustion interne ?

## La pression par les pouvoirs publics

En 1991, le best-seller *The Machine that Changed the World* expliquait comment l'automobile avait façonné la société et l'entreprise du xx<sup>e</sup> siècle... C'est le succès de l'automobile auprès des clients qui a transformé l'industrie mais aussi nos modes de vie et nos villes. Aujourd'hui, les forces à l'œuvre sont différentes. Le passage à l'échelle ne vient pas d'un engouement subit et général des clients pour les vertus de la voiture électrique. Ce n'est pas le marché qui s'est emballé comme il a plébiscité l'iPhone. C'est au contraire la pression des pouvoirs publics mondiaux qui force aujourd'hui ce passage à l'échelle, pour répondre à l'urgence climatique et aux objectifs du zéro émission de CO<sub>2</sub> en 2050. Si les premières réglementations concernant la qualité de l'air

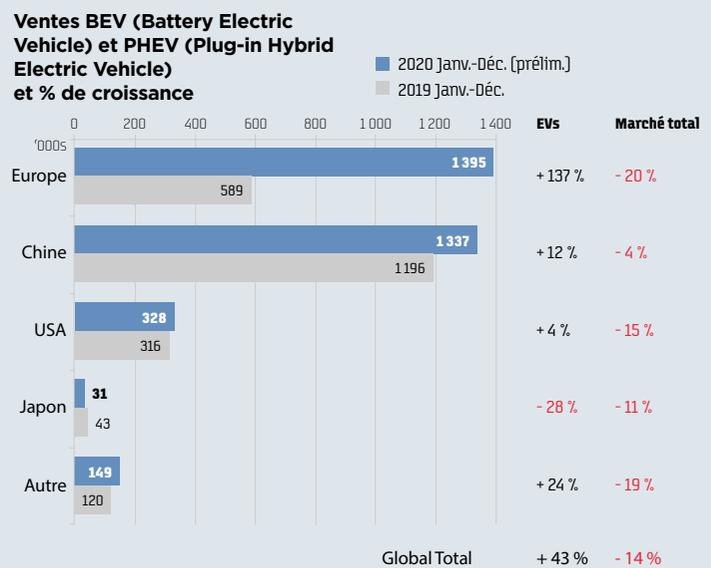
ont été émises en Californie à la fin des années 60, il y a maintenant une forte convergence mondiale de réglementations imposant une rupture nette et rapide des émissions de polluants et de CO<sub>2</sub> des automobiles. Celles-ci peuvent soit limiter des niveaux d'émission (par exemple 95 g CO<sub>2</sub>/km en moyenne en Europe à partir de 2021 pour les véhicules particuliers), soit imposer des quotas de vente (par exemple, *New Energy Vehicle* mandate en Chine avec un seuil de 12 % en 2020), et s'accompagnent de taxes pénalisant les constructeurs qui n'atteignent pas les objectifs fixés.

La régulation s'est aussi portée du côté de la demande, par des achats publics massifs ou des incitations fiscales ou financières significatives pour rendre l'achat de véhicules électriques (VE) attractif. La compétitivité de l'offre électrique s'améliorant rapidement avec le passage à l'échelle et les incitations à l'achat devenant financièrement insupportables avec l'augmentation des volumes de vente, l'équilibre se déplace clairement vers la pénalisation de l'offre thermique. Au niveau local, de nombreuses villes ou communautés urbaines restreignent, voire même interdisent, l'accès de véhicules polluants en leur centre. De même, certains pays ont déjà indiqué qu'ils n'autoriseraient plus la vente de véhicules thermiques au cours de la décennie 2030-2040. Enfin, les accords de Paris en 2015, qui imposent aux pays signataires une neutralité carbone en 2050 (compte tenu du taux de renouvellement du parc, il faudrait arrêter la vente de véhicules carbonés neufs dès la deuxième moitié des années 2030), ou la future législation européenne sur les polluants (Euro7 aux alentours de 2025 avec des objectifs très sévères – seuils réglementaires divisés par au moins 3 pour CO et 2 pour Nox) contribuent à accélérer cette transition.

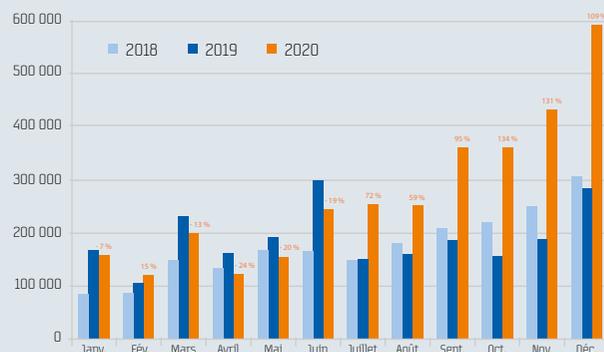
### Les stratégies de l'Europe et de la Chine

L'ensemble de ces mesures rend quasiment impossible, à 5-10 ans, la vente de véhicules thermiques aux conditions de performance et de prix auxquelles le marché est habitué. Dans ce contexte, comme le montrent S. Delcourt et E. Perrot (voir références ci-dessous), →

### Le passage à l'échelle du véhicule électrique : les données récentes...



### Ventes mensuelles mondiales de véhicules électriques et croissance en glissement annuel



→ l'utilisation massive de la voiture électrique à batterie (VEB), tirée, comme on le verra dans l'article consacré au sujet, par les spectaculaires progrès sur la densité énergétique embarquée comme la réduction des coûts, est certainement la meilleure (ou plutôt la seule ?) solution pour le transport particulier compatible avec les échéances des objectifs de développement durable. La conséquence de cette institutionnalisation de la trajectoire de l'innovation, c'est que l'efficacité de la régulation publique devient un facteur clé de la dynamique de compétitivité des entreprises qui lui sont soumises. La comparaison entre l'Europe et la Chine est, de ce point de vue, intéressante. Si elles sont toutes deux volontaristes dans leurs objectifs de réduction des émissions, elles procèdent de philosophies et de démarches très différentes.

En simplifiant on a, d'un côté, une philosophie de régulation des marchés automobiles cherchant le compromis entre la réintégration des externalités environnementales négatives, le maintien de la compétitivité de l'industrie et une concurrence équitable. Cela conduit à négocier la réglementation avec les industriels, sans imposer de choix technologiques, et à créer un cadre stable et prévisible qui donne de la visibilité pour piloter les transformations. Mais cela crée une forte inertie face aux dynamiques technologiques rapides et aux réactions du marché, et ne permet pas de structurer les choix technologiques d'une filière véhicule électrique. De l'autre, une régulation discrétionnaire qui vise à développer des champions nationaux devant dépasser leurs rivaux étrangers. Il s'agit donc d'une logique de politique industrielle sur une filière complète, depuis l'accès aux matières premières jusqu'à la régulation du

marché final de véhicule, capable de favoriser les meilleurs comme d'éliminer ceux qui faillissent. Rien de bien nouveau dans la tradition socialiste. Mais ce qui l'est plus, c'est que cette planification se fait agile, capable de changer d'un trimestre à l'autre, pour intégrer les évolutions rapides et peu prévisibles des avancées technologiques ainsi que l'accueil des nouveaux produits sur les marchés. Une régulation qui, paradoxalement, adopte les principes de pragmatisme chers à la Silicon Valley : stimuler les apprentissages rapides, favoriser les expériences en vraie grandeur, accepter les pivots fréquents et brutaux, favoriser le *fail fast*... Les deux systèmes ont chacun ses avantages et ses inconvénients. Qui va gagner, entre ces deux systèmes régionaux qui se tiennent au coude à coude en termes de croissance du marché de véhicules électriques ? Cela dépendra certainement de la capacité des organismes publics à intégrer plus efficacement les logiques industrielles de l'innovation. Une mission passionnante pour les ingénieurs qui choisiront des carrières publiques.

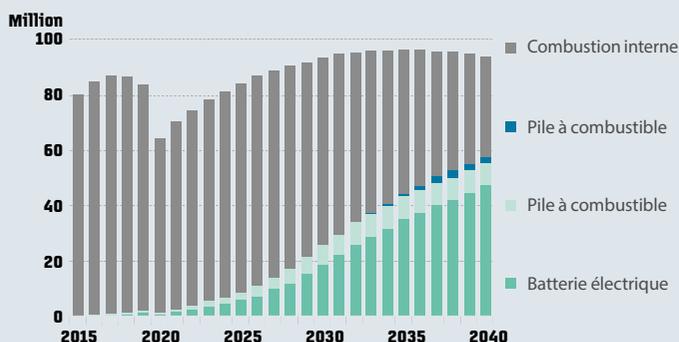
**“La batterie à elle seule représente 30 % du coût de la voiture.”**

### Un bouleversement du paradigme industriel ?

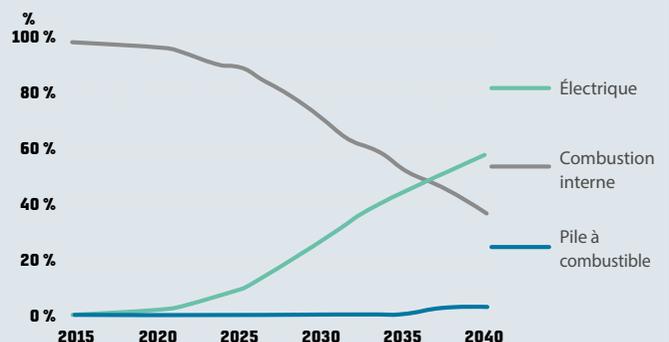
Faut-il dès lors à s'attendre à une déflagration industrielle brutale remettant en cause en profondeur les processus de production et l'organisation industrielle du secteur ? L'électrification entraîne des efforts considérables de R&D et des investissements industriels massifs, estimés en 2019 par Reuters à plus de 300 milliards de dollars (en cumul sur 29 constructeurs). Sur le plan de l'organisation industrielle, les constructeurs vont-ils garder leur position dominante d'intégrateur, alors qu'ils ne sont pas spécialistes des composants clés que sont

## ... Et les projections dans les deux décennies à venir

**Figure 1 : Ventés annuelles mondiales de véhicules particuliers par type de moteur**



**Figure 2 : Part mondiale des ventes annuelles de véhicules de tourisme par type de moteur**



le moteur électrique et la batterie, qui à elle seule représente généralement 30 % du coût de la voiture ? Vont-ils pouvoir préserver les processus de production existant dans leurs usines véhicules, conçues pour des véhicules à combustion interne ? Une étude empirique récente (voir Alochet dans les références), concernant douze constructeurs mondiaux qui cumulent environ 70 % des ventes et deux nouveaux entrants, Tesla et BYD, montre que les constructeurs sont à ce jour parvenus à intégrer les VEB dans système industriel existants : 80 % d'entre eux conçoivent et assemblent le pack batterie en achetant aux spécialistes de l'électrochimie des cellules (élément de base d'un pack batterie) ou des modules (ensemble de plusieurs cellules) ; 90 % d'entre eux conçoivent et assemblent le moteur électrique ainsi que le système de propulsion ; sur 44 VEB dont le processus de fabrication a été étudié, 42 sont fabriqués dans des processus adaptés à partir de ceux des modèles thermiques.

### Une remarquable résilience

Plusieurs facteurs permettent d'expliquer cette résilience remarquable face à une telle rupture technologique. Tout d'abord, les constructeurs se sont appropriés les deux systèmes de la chaîne cinématique en assurant la conception d'ensemble et l'assemblage final. La réutilisation des installations et des processus et méthodes de fabrication existants a été intégrée comme une spécification dans la conception des VEB, permettant d'amortir les investissements industriels colossaux et de capitaliser sur les savoir-faire des sites de production, tout en donnant plus de flexibilité pour gérer le remplacement progressif des véhicules thermiques par les VEB. L'intégration de la production des moteurs électriques et des systèmes de batterie a permis de compenser les pertes d'emploi liées à l'arrêt de la production de la chaîne thermique et la réduction des temps de montage de VEB, moins complexe. Quant à la batterie, composant clé sur le plan du coût comme de la performance, il donne lieu à depuis le début de renouveau du VE à des alliances stratégiques majeures, visant à préserver l'accès aux solutions les plus performantes dans un contexte d'évolutions encore importante et incertaines des technologies.

### Quel avenir ?

Cette situation va-t-elle évoluer ? Va-t-on voir apparaître de nouvelles architectures industrielles, profitant du caractère plus modulaire et finalement plus simple de la technologie du véhicule électrique ? À la manière d'un Decathlon, devenu n° 1 du vélo en France, ou d'un Dell pour les PC, en s'appuyant sur son pouvoir de distributeur d'un côté, la stabilisation de l'architecture modulaire

## LE CRG I<sup>3</sup>

Fondé par l'X en 1972, le Centre de recherche en gestion est la première équipe de gestion reconnue par le CNRS en 1980. Il est aujourd'hui associé à l'Institut interdisciplinaire de l'innovation (CNRS, X, Mines Paristech, Telecom Paris). Ses recherches sont développées à partir de problèmes concrets en vue d'élaborer théories pertinentes pour les acteurs des contextes étudiés (entreprises, organisations publiques...). Les processus d'innovation, la numérisation, les nouvelles formes de mobilité, la gestion du risque, le développement durable, la finance responsable, sont quelques-uns des sujets de recherche actuels.

des produits de l'autre ? Certaines prémisses d'une telle rupture de l'architecture actuelle existent dès aujourd'hui : d'un côté, Tesla se passe de réseau de distribution, en s'appuyant sur une conception adaptée du système informatique de sa voiture. De l'autre l'entreprise Foxconn propose de commercialiser en Business to Business des plateformes électrifiées, à habiller par un design produit spécifique. On pourrait imaginer ce qu'un géant comme Amazon pourrait faire du métissage de ces innovations... Cela pourrait ouvrir la voie à des architectures d'industrie différentes, si elles sont associées à des transformations du business model de la vente B2C vers des offres de services de mobilité. La position des constructeurs évoluerait alors vers trois configurations possibles : fournisseur de véhicules (de commodités ?) pour les opérateurs de mobilité ; fournisseurs de plateformes (véhicules et services) de mobilité ; opérateur de services de mobilité. Quoi qu'il en soit, l'inertie propre au cycle du produit automobile fait qu'on ne voit pas ce genre de transition advenir dans la décennie qui vient. Mais à plus long terme des basculements sont tout à fait possibles, d'autant que la transition vers l'électrification s'opère simultanément avec d'autres ruptures qui font l'objet des chapitres suivants de ce dossier : le passage d'une industrie de produit à une industrie de service de mobilité, le déploiement du véhicule autonome et l'intrusion du monde du numérique dans l'univers autrefois bien fermé du secteur automobile, avec des prédateurs de valeur comme Waymo, Uber, Didi, Amazon... Si chaque rupture n'est, à elle seule, pas capable de transformer un secteur aussi résilient, c'est peut-être leur conjonction qui le permettra. X

## Références

S. Delcourt et E. Perrot (2019) « Comment décarboner le transport routier en France ? » Doc de La Fabrique, 12, Paris : Presses des Mines.

Marc Alochet (2019) « Rupture technologique et dynamique d'une industrie, la transition vers l'électromobilité » thèse de doctorat de l'Institut polytechnique de Paris.

# LA BATTERIE, COMPOSANT CLÉ DE L'ÉLECTROMOBILITÉ



**YANN LAOT (2002)**  
directeur technique Solid-State Battery, SAFT

Quels sont les progrès réalisés et envisageables pour les batteries équipant les véhicules électriques ? L'Europe n'a-t-elle pas une carte à jouer au moment où la technologie va connaître une rupture générationnelle ?

**L**es batteries lithium-ion sont devenues l'un des composants essentiels de l'électromobilité : stratégiques aussi bien pour l'industrie de par les barrières à l'entrée en termes de technologie (sécurité, performances) et de fabrication (qualité, coûts et effets d'échelle) que pour les États de par les enjeux d'indépendance technologique, d'emploi et d'impacts sur l'environnement. Le leadership est aujourd'hui en Asie : LG Chem, Samsung et SK Innovation (Corée), Panasonic (Japon) et CATL, BYD... (Chine). Le monde occidental compte quelques exceptions : Tesla aux États-Unis, et en Europe Saft (propriété du Groupe Total), ACC Automotive Cells Company (la coentreprise Stellantis-Total) et quelques nouveaux acteurs comme Northvolt.

## L'enjeu technologique

Loin d'être une commodité, une batterie lithium-ion est un concentré de technologie s'appuyant sur la chimie du solide, la chimie organique, l'électro-technique, la thermique et la mécanique, et elle incorpore de plus en

plus de logiciel, d'algorithme et de big data. La performance principalement attendue pour la mobilité électrique est l'autonomie et se décline au niveau de la batterie en objectifs de densité massique (Wh/kg) et de densité volumique (Wh/L). La densité massique affecte la consommation du véhicule (Wh/km) et est typiquement comprise entre 120 et 200 Wh/km (fonction du poids total du véhicule incluant la batterie et du profil d'usage routier). La densité volumique affecte la capacité maximale d'énergie embarquée par le véhicule, typiquement entre 20 kWh et 100 kWh. Grâce à une amélioration de 5 % à 10 % par an en moyenne depuis 30 ans, l'énergie embarquée à volume constant a été doublée ces dix dernières années, portant l'autonomie pratique d'une citadine de 120 à 300 km et pour les grandes berlines haut de gamme de 250 à 500 km. Si la densité est le paramètre le plus visible, les défis technologiques portent tout autant sur la sécurité (norme type UL ou ISO), la durée de vie (cyclique et calendaire) et la recharge rapide.

## REPÈRES

Les importantes réductions de coût des batteries sur la période 2010-2018, environ -85 %, ont permis un essor des ventes mondiales de véhicules électriques, soit 2,6 % du marché en 2020. Pour autant la batterie représente encore 30 % à 45 % de la structure de coût d'un véhicule électrique pur. De nouvelles réductions de coût seront donc nécessaires pour permettre une croissance significative des parts de marché de l'électrique, attendues entre 30 et 50 % en 2030.

## LE LITHIUM-ION

La technologie lithium-ion repose sur la migration des ions lithium entre l'anode (la borne négative, en graphite) et la cathode (la borne positive, constituée d'un composé lithié, oxyde ou phosphate, à base de nickel, de manganèse, de cobalt et/ou de fer). Les trois premières générations utilisent un électrolyte liquide organique, mélangé avec des sels de lithium, qui imprègne les matériaux actifs de la cellule et permet la migration des ions lithium. Ce couple électrolyte/sels présente un double défi. De vieillissement : il se dégrade avec le temps et l'usage de la batterie, diminuant à la fois l'efficacité et l'énergie utile disponible. De sécurité : en cas de court-circuit interne ou d'incident, il est instable thermiquement et peut, s'il se décompose, produire des gaz toxiques comme le monoxyde de carbone.

### Vers le lithium-ion solid state GEN4

Le Japon et l'Europe ont été les leaders sur les deux premières générations de 1991 à 2008 : le graphite/LCO (lithium cobalt oxide), puis le graphite/NCA (lithium nickel cobalt aluminium). À la faveur d'une ambitieuse politique de recherche et d'industrialisation construite dès le début des années 2000, portée par l'essor de l'électronique grand public (ordinateurs portables, smartphones) mais pensée pour l'avènement de la mobilité électrique, les Coréens et Chinois ont pris le leadership mondial sur la troisième génération, dite « Gen3 ». Elle est constituée de deux familles chimiques : le graphite/NMC (lithium nickel manganèse cobalt) et le graphite/LFP (lithium fer phosphate). L'essor de la GEN3 depuis 2010 a été permis par deux facteurs : d'une part l'amélioration continue des performances de densité d'énergie et de durée de vie et, d'autre part, la réduction des coûts via la massification des moyens de production des matériaux et des cellules lithium-ion. Cette génération technologique arrive dans une fin de cycle à horizon 2025-2030, nécessitant une rupture pour aller vers de plus hautes performances en densité, tout en offrant une sécurité plus facile à maîtriser.

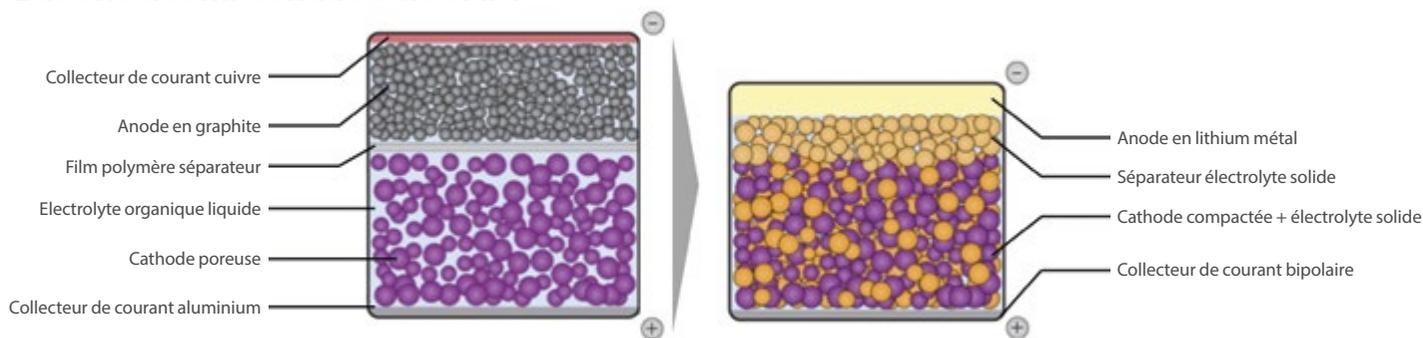
*“Le leadership est aujourd'hui en Asie.”*

La technologie lithium-ion SSB *Solid-State Batteries*, actuellement en développement, offre ce double avantage. En remplaçant l'électrolyte liquide par un électrolyte solide apportant une résistance thermique accrue, elle permet une sécurité intrinsèque améliorée. Surtout elle autorise des densités d'énergie jusqu'à 75 % plus élevées (de 300 Wh/kg aujourd'hui à 400-420 Wh/kg en 2025-2030, voire 500 Wh/kg à long terme), via l'utilisation d'une anode en lithium-métal pur et de nouvelles chimies de cathode, auparavant inaccessibles car inadaptées aux électrolytes organiques. Différentes possibilités d'électrolyte solide existent, comme les polymères, les sulfures et les céramiques oxydes. Tous sont encore à des niveaux de maturité technologique bas et la technologie *solid-state* n'arrivera que progressivement sur le marché, d'abord dans des applications d'électronique grand public ou des niches industrielles à haute valeur ajoutée (espace, défense) entre 2023 et 2028, avant de s'introduire progressivement dans la mobilité entre 2026 et 2030. La part de marché globale pourrait être de 15 % à 30 % à horizon 2030.

### Un enjeu industriel et économique

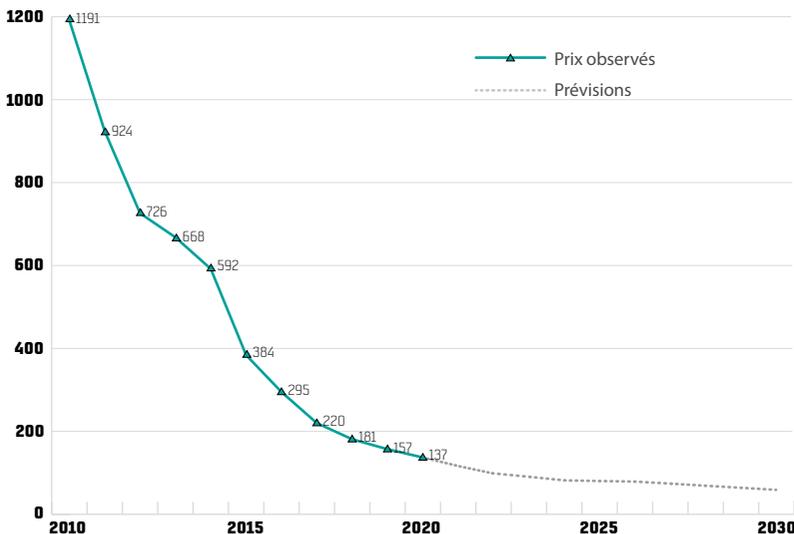
La capacité de production mondiale de lithium-ion a massivement crû dans les dix dernières années, tirée par le marché automobile et par le stockage stationnaire. En ordre de grandeur, une batterie de smartphone représente environ 10 Wh, soit pour 350 millions d'unités vendues annuellement un total de 3,5 GWh. Pour égaler le marché mondial des batteries de smartphones, seul 70 000 véhicules électriques dotés d'une batterie de 50 kWh suffisent (0,001 % du marché automobile). Ainsi, de 30 GWh/an en 2010, la capacité est passée à 100 GWh/an en 2015 (+ 27 %/an), puis 540 GWh/an en 2020 (+ 40 %/an). Elle pourrait atteindre plus de 2 000 GWh/an dès 2025. Cette croissance, mobilisant de lourds investissements, environ un milliard d'euros pour une *gigafactory* de 10 GWh/an, a permis une décroissance →

### Batterie à semi-conducteurs SAFT



## Une décroissance continue des coûts depuis 2010 (source BNEF 2021)

Prix de la batterie au lithium-ion (réel 2020 \$ / kWh)



→ des coûts supérieure à 10 % par an et une croissance des volumes supérieure à 20 %/an. Cette évolution pose de nombreux défis aux industriels : augmentation constante de la taille critique minimum, amortissement des investissements passés, croissance continue et pression sur les coûts fixes pour maintenir une rentabilité minimale. Un schéma similaire à celui dans l'industrie des semi-conducteurs ou des panneaux solaires, avec la disparition dans les années 2013-2018 de nombreux acteurs de deuxième et troisième rang.

La concentration de l'industrie des batteries lithium-ion en Asie pose des enjeux de souveraineté et d'emploi, en particulier pour les constructeurs automobiles occidentaux qui se convertissent progressivement à l'électrique sous l'impulsion des politiques environnementales et l'intérêt croissant des consommateurs. Volkswagen consacre ainsi, sur un total de 44 milliards d'investissements sur 2019-2023, 30 milliards d'euros à la mobilité électrique, aussi bien dans la recherche que dans la transformation de son outil industriel. Les chaînes de fabrication de batteries automobiles et de conversion/transmission électrique sont différentes et beaucoup moins intenses en main d'œuvre que leurs équivalentes thermiques. La combinaison d'une disparition de ces usines et le manque de compétences dans l'électrique fait peser une menace importante sur les 13 millions de personnes employées dans l'industrie automobile européenne, particulièrement

**“L'émergence à l'horizon 2025-2030 de la 4<sup>e</sup> génération de batteries lithium-ion.”**

en Allemagne et en France. Des objectifs de localisation dans la fabrication et l'assemblage permettraient de répondre aux besoins de maintien du savoir-faire, de synergies entre le développement produit et la production, et de sauvegarde des emplois.

### Un objectif environnemental et éthique

L'automobile a besoin de chaînes d'approvisionnement résistantes et frugales (énergie, CO<sub>2</sub>, coûts), en particulier pour les batteries dont le poids (coût logistique) et les enjeux éthiques (origine et extraction des métaux, en particulier le cobalt) poussent à une localisation la plus poussée possible. Une feuille de route marché incitative et contraignante, au regard de l'origine des matières premières, de l'empreinte CO<sub>2</sub> *cradle-to-grave*, du taux de recyclage minimum (en boucle ouverte et en boucle fermée), du contenu maximum sur certains métaux, pourrait être requise pour permettre une durabilité de la filière ou au minimum favoriser les acteurs européens mobilisés sur ces sujets environnementaux.

### Un avenir riche de possibilités

L'innovation dans les batteries lithium-ion pour la mobilité électrique ouvre par ailleurs de nouveaux sujets de réflexion, comme l'émergence d'utilisations complémentaires de la batterie (le véhicule électrique assure par exemple une fonction de stockage au profit du réseau, *vehicle-to-grid*, ou de l'habitation, *vehicle-to-home*), la possibilité d'application en seconde de vie, mais aussi comme les synergies avec de larges marchés connexes en croissance forte comme le stockage stationnaire des énergies renouvelables et la mobilité industrielle (ferroviaire, aviation, véhicules industriels), dont l'électrification est tout aussi importante pour la décarbonation de l'économie.

Une fenêtre d'opportunité existe donc avec l'émergence à l'horizon 2025-2030 de la 4<sup>e</sup> génération de batteries lithium-ion, dite SSB *Solid-State Batteries*. Si la course technologique est déjà lancée, les jeux ne sont pas faits, laissant à l'Europe une occasion unique de se repositionner, à condition d'actionner simultanément trois leviers : une feuille de route technologique ambitieuse ; une politique industrielle volontaire ; et enfin des normes marché contraignantes, à même de répondre aux défis environnementaux et éthiques. L'Europe a déjà su dérouler avec succès une telle stratégie sur d'autres sujets clés, comme la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> des moteurs thermiques ou les lanceurs spatiaux Ariane. X

# L'INDUSTRIE AUTOMOBILE AU DÉFI DES NOUVELLES MOBILITÉS



**BRIGITTE COURTEHOUX**  
CEO de Free2Move, groupe PSA

Les usages contemporains et les services proposés en matière de mobilité remettent en question la possession individuelle d'une voiture, donc aussi le modèle économique de l'industrie qui fournit ce produit. Comment passer de la propriété d'une voiture individuelle à la consommation d'expérience de mobilité ? Comment lui adapter l'outil industriel ?

**L**a voiture a longtemps été un marqueur social très fort, symbole de liberté et de pouvoir pour son propriétaire, jusqu'à ces dernières années où elle cristallise beaucoup de critiques. Pourtant même, si de nombreux moyens de transports alternatifs se sont développés (partage, mobilité douce...), le besoin de mobilité individuel est toujours là et la voiture reste incontournable dans de nombreux cas (manque de transport en commun, horaires décalés...). La voiture ne va donc pas disparaître demain, c'est son usage qui va changer.

## Des évolutions sociétales

Tout d'abord, les évolutions démographiques à venir sont significatives et doivent nous interroger sur notre gestion de l'automobile. En 2030, la population mondiale devrait avoisiner huit milliards d'individus, la population urbaine devrait en représenter 60 % contre 50 % aujourd'hui et les coûts estimés de la congestion

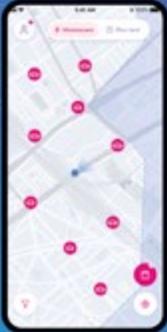
(carburant, dépréciation, productivité) pourraient augmenter de 50 %. Dans ce contexte, les acteurs publics s'efforcent de réguler l'utilisation de la voiture pour limiter son empreinte écologique ; de même que certaines villes cherchent à maîtriser leur trafic automobile pour gérer les problèmes de congestion, de pollution, de places de parking ou d'accidentologie, en interdisant l'accès aux véhicules propriétaires. Dans le même temps, elles réorganisent et développent leurs transports urbains et améliorent leurs infrastructures pour continuer à attirer les jeunes générations, qui voient de plus en plus les contraintes de trafic et de pollution comme des éléments discriminants dans leur choix d'installation. Par ailleurs, les jeunes commencent à se désintéresser de la voiture, notamment dans certains pays développés comme les USA où le nombre de jeunes de 16 à 24 ans ayant le permis est passé de 76 à →

## REPÈRES

Depuis septembre 2016, Free2Move, une marque de Stellantis, réunit un ensemble de services de nouvelles mobilités pour satisfaire les différents besoins de déplacement de ses clients particuliers et professionnels, que ce soit pour une heure, un jour, un mois ou plus. Les utilisateurs ont accès sur une seule et même plateforme à un service d'autopartage, de location courte et moyenne ou longue durée, ainsi qu'à des solutions d'accompagnement vers la transition énergétique et la gestion de flotte pour les professionnels. Ils peuvent également accéder à des bornes de recharges ou à des chauffeurs VTC et réserver des places de parking. Free2Move aujourd'hui, c'est une présence dans 170 pays et 1,2 millions de clients actifs convaincus.

## Une App pour tous vos besoins

**CARSHARING**  
2000 voitures



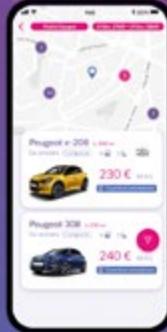
**RIDE**  
10 000 chauffeurs



**CAR ON DEMAND**  
3000 voitures



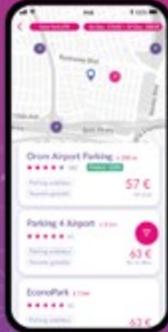
**RENT**  
400 000 voitures



**CHARGE MY CAR**  
220 000 points



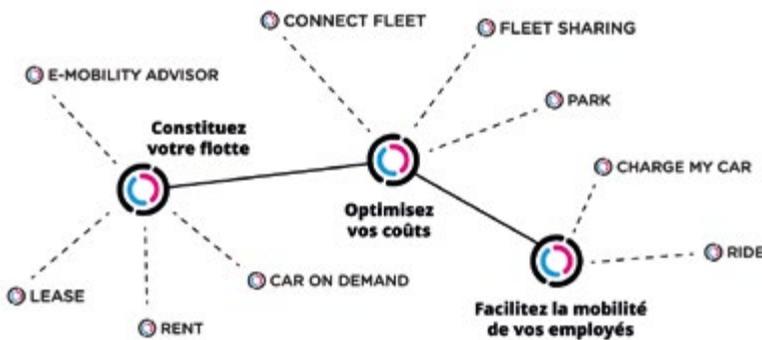
**PARK**  
500 00 places



De quelques heures à...

...quelques jour ou quelques mois

...et plus de services



→ 69 % en 15 ans. Mais l'automobile reste encore aujourd'hui un objet de liberté. L'actuelle crise de la Covid nous montre à quel point la liberté de mouvement est un gain précieux, que nous avons reçu il y a plusieurs centaines d'années, notamment avec l'arrivée de l'automobile. Aujourd'hui, les citoyens se posent en revanche plus clairement la question d'en optimiser l'utilisation, en adaptant leur usage à leur réel besoin.

### Des modèles économiques nouveaux

Les économies d'aujourd'hui connaissent des changements profonds liés à la fois au développement des marchés émergents, à l'apparition de nouvelles technologies digitales, aux problématiques environnementales et aux évolutions de consommation. Le numérique et la rapidité de communication sont venus transformer de nombreuses industries. Les nouveaux entrants ont « disrupté le marché » en créant des plateformes qui mettent en relation directe les clients et les fournisseurs, comme Airbnb qui est venu chambouler le modèle de l'hôtellerie. Dans le domaine de la mobilité, Uber a transformé celui des taxis, Drivy celui de la location courte durée, BlablaCar celui du transport longue distance et notamment du train. En un clic, sur un smartphone, le client peut maintenant trouver une voiture en moins de 3 minutes (ex. : VTC Uber) ou à moins de 500 mètres (ex. : Autolib). Les évolutions profondes de nos sociétés et la croissance accélérée de nouveaux acteurs comme Uber ou BlablaCar vont sans doute impacter durablement à la baisse le marché de la possession automobile en milieu urbain



et ainsi laisser place à un marché important de l'usage. Ces entreprises *user centric* ont su apporter une expérience client simplifiée et contourner les freins de l'économie de partage, en créant des communautés de confiance *via* des systèmes de notation clients-fournisseurs. Grâce à de faibles actifs immobilisés, elles ont su optimiser l'offre et la demande, et surtout créer et cultiver une relation clients inédite : directe et permanente. Enfin, grâce à des levées de fonds importantes, elles ont pu croître rapidement. Bref, elles ont fait exploser les modèles économiques de la mobilité !

### La variété des services de mobilité

Les études montrent que les nouvelles solutions de mobilité vont prendre de plus en plus d'ampleur et que les populations sont prêtes à les utiliser dans les grandes villes. L'utilisation de l'automobile *via* le *carsharing* s'intègre désormais dans le parcours du citadin, souvent plus jeune, qui va alterner entre la marche, les transports collectifs et le transport individuel en *free floating* (« je prends la voiture la plus proche de moi quand j'en ai besoin et je la rends où cela m'arrange, dans la zone de service »). En réalité, le grand public n'a pas forcément conscience qu'il fait de l'auto-partage depuis très longtemps *via* la location courte durée, comme Avis ou Hertz qui sont les solutions de mobilité les plus répandues, avec les taxis. Puis, grâce à la numérisation, des start-up ont lancé le modèle de partage en ville à la minute, comme Communauto, les pionniers, suivi par Free2Move, ShareNow et bien d'autres. Et aujourd'hui le client peut désormais ouvrir et fermer son véhicule avec son smartphone, plus besoin de clé. Sachant que le paiement se fait en ligne, plus besoin d'agence ! C'est l'autopartage moderne.

Il n'y a pas que l'autopartage qui a été transformé. Tous les acteurs ont été novateurs ces dix ou quinze dernières années. La location entre particuliers a également pris son essor avec Getaround qui a démarré aux États-Unis en 2009 et a racheté l'acteur français Drivy dix ans plus tard. N'oublions pas le covoiturage qui s'est fortement développé partout dans le monde dans les secteurs ruraux et périurbains, où la densité est souvent trop faible pour mettre en place une offre de transports collectifs performante. En France, c'est le modèle BlaBlaCar qui prédomine toujours. En parallèle, Uber a transformé le modèle du taxi. Les vélos en partage, les scooters et les trottinettes électriques ont envahi les villes de manière un peu désordonnée certes, mais un mouvement est lancé. Tous les besoins de mobilité ont aujourd'hui une solution, même si les modèles économiques se cherchent encore.

**“L’industrie automobile a toutes les cartes en main pour réussir sa mutation.”**

### D'une entreprise centrée produit à une entreprise de services de mobilité

L'industrie automobile a longtemps surfé sur l'image de l'automobile comme objet de valorisation, de passion, sans remettre en question son modèle, ne regardant pas le réel besoin d'usage du client. Cependant, elle a entamé sa transition vers le service *via* le financement, des offres d'assurance ou de maintenance, mais aussi avec les services autonomes de télématique embarquée. L'industrie automobile a toutes les cartes en main pour réussir sa mutation. Elle a résisté à plusieurs crises qui l'ont forcée à se réinventer, elle réussit aujourd'hui à surmonter la situation sanitaire actuelle qui aura été un accélérateur de transformation. Elle a résisté aux nouveaux acteurs en étant elle-même novatrice et a intégré les changements d'usage, notamment dans le domaine de l'électrique où elle doit maintenant saisir les prochaines opportunités.

L'industrie automobile doit se décomplexer et se débarrasser de cette image de dinosaure, afin de tirer le meilleur d'elle-même et surtout se recentrer sur l'obsession de servir les clients. Elle a depuis des décennies été cet acteur de mobilité, ce *service provider*. Elle doit maintenant nourrir l'ensemble de son système industriel avec le numérique pour basculer pleinement dans une entreprise de service. Comme l'a fait le groupe Stellantis, elle doit numériser les bases de données clients : être capable de reconnaître son client où qu'il se trouve dans le monde, identifier ses besoins, et donc numériser ses points de vente pour un service sans rupture dans le parcours client. Elle doit, comme c'est le cas avec Free2Move, numériser ses véhicules et ses services, pour permettre à ses clients de consommer à la demande. Ces consommations à la demande permettent notamment à chacun non seulement de trouver la bonne offre en fonction de ses besoins, d'avoir une réelle flexibilité, mais aussi de ce fait d'optimiser son budget de mobilité.

Être totalement à l'écoute du client, gommer les points de friction entre les usages successifs, garantir la mobilité de ses clients, sont les clés de cette transition d'une entreprise centrée sur le produit à une entreprise centrée sur le service. L'automobile est aujourd'hui le moyen de transport sûr, abordable et propre qui permet cette liberté de mouvement. L'industrie automobile, elle, est résiliente, persistante, elle regorge de talents techniques, de talents créatifs, de travailleurs passionnés par le produit, par leur métier, passionnés par leurs clients. Sa transition vers le service est déjà en route. Magnifiques produits automobiles qui permettent la liberté de mouvement ! X



# VÉHICULE AUTONOME : LE GRAND REMPLACEMENT ?



**PATRICK PÉLATA (74)**  
Meta Strategy Consulting

On parlait beaucoup des véhicules autonomes (VAs), des robotaxis, on commençait à imaginer à quel point ils pourraient changer la mobilité voire les villes. Puis est venue la désillusion, alimentée par quelques industriels et médias. Alors qu'en est-il exactement ?

**L**es véhicules autonomes roulent. Waymo (filiale de Google) opère plusieurs centaines de minivans en mode autonome dans la banlieue de Phoenix en Arizona : certains roulent sans chauffeur de sécurité donc au niveau 4 strict. Leur ODD : une zone de

16 x 16 km environ où habitent quelques centaines de milliers d'habitants, une vitesse maximum de 72 km/h, la limite réglementaire, et cela par tous temps sauf pluie diluvienne ou tempête de sable. Ils ont parcouru, au total, plus de 100 000 km en 2019-2020, ce qui est limité, comparé aux 6 millions de kilomètres parcourus par les autres voitures de Waymo qui continuent d'« apprendre » la conduite dans Phoenix tout en transportant des clients, mais avec des chauffeurs de sécurité. En Californie, Waymo et cinq autres entreprises ont obtenu l'autorisation de rouler et roulent sans chauffeur de sécurité, depuis l'été 2019 pour Waymo, sur un terrain plus complexe que la banlieue de Phoenix.

## Les technologies mobilisées

Tout cela n'est possible que parce que les capteurs, caméras, radars et lidars, ont fait et continuent de faire d'immenses progrès en performance, compacité et coût. Car, pour l'instant, il en faut beaucoup pour remplacer les deux yeux des humains : ainsi la 5<sup>e</sup> génération de Waymo – sans doute sur-spécifiée car Waymo approche manifestement la solution par le haut – comporte

## REPÈRES

La Société internationale des ingénieurs de l'automobile a donné une définition claire des différents niveaux d'automatisation. Les VAs d'aujourd'hui, et pour longtemps encore, sont de niveau 4 : sur une zone et des conditions données, donc pour un domaine opérationnel limité (*Operational Design Domain*, ODD) le véhicule peut rouler sans chauffeur, ce qui suppose bien sûr un très haut niveau de certitude qu'il conduira bien, et même beaucoup mieux qu'un conducteur humain, et ce quelle que soit la situation de conduite dans laquelle il se trouve. Le niveau 5 est une utopie à ce jour.

27 caméras, 5 lidars et 6 radars. Ces capteurs intègrent peu à peu une capacité à identifier les différents acteurs de la rue ainsi que feux, bandes et panneaux de signalisation, mais aussi obstacles divers, ballons, papiers emportés par le vent, travaux imprévisibles, etc. La géolocalisation, complétée par des capteurs inertiels, des capteurs de roue, des triangulations en continu avec des amers pré-identifiés et, bien sûr, des cartes haute définition, permet un positionnement à quelques centimètres près. Mais le plus difficile vient ensuite : il faut fusionner les données multiples et dynamiques de ces capteurs qui ne voient pas tous la même chose et faire des prédictions probabilisées du mouvement de ces acteurs ou objets mobiles de la rue. Dans cette prévision, il faut naturellement intégrer des comportements humains, eux aussi probabilisés : comment pourraient réagir ces piétons, joggers, (moto) cyclistes, policiers, pompiers et, surtout, ces conducteurs des autres voitures détectées en cet instant. Enfin, le système va construire ainsi une scène de conduite. Waymo déclarait en avoir plus de 20 000 il y a quelques années.

### L'apprentissage

C'est en se référant à cette scène de conduite et à ses variantes, que le système a apprises, que la décision d'action du véhicule va être prise, en bonne connaissance des trajectoires qu'il est dynamiquement capable d'assumer. L'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique sont omniprésents dans ces processus, par des roulages d'abord, plus de 32 millions de km aux USA pour Waymo depuis 2009 par exemple. Cela leur permet de tester les dernières versions de leur système et donc de détecter de nouvelles situations dans lesquelles le système n'a pas encore la bonne réaction. Mais la fréquence de ces trouvailles baisse. Ainsi, sur les 2,3 millions de km parcourus en Californie en 2019, les chauffeurs de sécurité de Waymo ne sont intervenus que tous les 21 000 km en moyenne ! Mais, lorsque l'on sait que l'occurrence moyenne d'un accident avec dégâts matériels n'est que de 1 par 1,1 million de km aux USA, et celle d'un accident mortel impliquant deux véhicules, un piéton ou un cycliste de 1 par 260 millions de km, on comprend bien que les roulages ne suffiront jamais à valider un tel système.

Et c'est pourquoi cet apprentissage se fait aussi par des simulations. Celles-ci vont reproduire des situations de conduites enregistrées, y compris bien sûr celles où le chauffeur de sécurité a jugé bon de reprendre la main, et les rendre plus complexes, sur des trajets et des configurations différentes, avec des réactions différentes des acteurs humains, l'apparition d'autres acteurs de la rue, d'autres objets mobiles, un soleil aveuglant, de la pluie, de la boue sur les bandes blanches, etc. En janvier 2020, Waymo annonçait en avoir fait l'équivalent de 24 milliards de km et en faire pour 32 millions de km chaque jour, mobilisant ainsi des ressources informatiques auxquelles peu d'entreprises ont accès. Chaque défaillance est alors analysée et le système corrigé puis réinjecté dans les voitures. Jusqu'à ce que la confiance soit suffisante pour laisser partir quelques véhicules ainsi équipés sans chauffeur. C'est leur démarche et donc leur responsabilité qui est engagée. Mais *quid* des autorités qui devront les autoriser en beaucoup plus grand nombre qu'aujourd'hui et sur de nouveaux terrains ?

### Comment homologuer ou certifier un VA sur une zone donnée ?

Les voitures classiques aujourd'hui sont homologuées, c'est-à-dire que des voitures identiques à quelques détails près ont été testées avec succès dans une batterie d'essais réglementés. Le constructeur s'engage à ce que toutes les autres leur soient identiques. L'homologation délègue la responsabilité aux pouvoirs publics et, ainsi, la responsabilité du constructeur se limite à n'avoir rien dissimulé et à produire des voitures identiques en tout point. Mais, si cette voiture est autonome, comment tester sur des distances et situations aussi vastes et donc comment homologuer ? Comment accepter une validation qui ne concerne qu'un territoire donné et des conditions d'usage bien définies pour une voiture dont le système pourrait avoir un comportement inapproprié dans un autre territoire avec des conditions différentes ? L'European Union Aviation Safety Agency (EASA) certifie un avion et elle certifie aussi sa capacité à atterrir en automatique sur un aéroport donné en garantissant un risque d'accident inférieur à un plafond. Faudra-t-il en arriver là ? Mais autant un avion ou un métro automatique sont validés avec des algorithmes entièrement déterministes, autant les véhicules autonomes actuels sont développés avec de l'intelligence artificielle qui est – au moins partiellement – une boîte noire. De nombreux développements s'attaquent à cette question. Par exemple le programme *Explainable Artificial Intelligence* de la DARPA (*Defense Advanced Research Programs Agency* de l'US Army), mais aussi le Grand Défi français « Sécuriser, certifier et fiabiliser les systèmes fondés sur l'intelligence artificielle » qui est rattaché au Premier ministre. →

“L'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique sont omniprésents.”

NIVEAUX		TÂCHES DE CONDUITE		Rattrapage en cas de situation de conduite difficile	Operational Design Domains (ODD)
		Contrôle latéral et longitudinal continu du véhicule	Détection d'objet ou d'évènement et réaction		
1	ASSISTANCE CONDUCTEUR	Conducteur et Système	Conducteur	Conducteur	Limités
2	AUTOMATION PARTIELLE	<b>Système</b>	Conducteur	Conducteur	Limités
3	AUTOMATION SOUS CONDITIONS	Système	<b>Système</b>	Le conducteur doit reprendre la main	Limités
4	AUTOMATION DE HAUT NIVEAU	Système	Système	<b>Système</b>	Limités
5	AUTOMATION COMPLÈTE	Système	Système	Système	<b>Sans limites</b>

Définition des niveaux de conduite autonome selon la Société Internationale des Ingénieurs de l'Automobile

## → Les acteurs majeurs

Pour l'instant, les acteurs prennent donc le risque aux États-Unis et en Chine. Mais ce sont des joueurs aux poches profondes et ils se sont encore concentrés ces derniers mois. Waymo, clairement le leader de cette course technologique, est bien sûr totalement soutenue par Google, mais il vient aussi de lever 2,25 Md \$ en ouvrant son capital. General Motors Cruise est son premier challenger. En effet, GM a acquis et contrôle Cruise, vite rejoint par Honda, Softbank et, récemment, Microsoft, qui ont apporté plus de 8 Md \$ de fonds. Ford et VW se sont mis ensemble pour financer et accélérer les développements d'Argo.ai. Amazon a acquis l'excellent Zoox. Hyundai et Aptiv ont créé une *joint venture* qui opère sans chauffeur à Las Vegas. Enfin Uber et Aurora – sans doute la start-up la plus capée – ont fusionné leurs équipes de développement du VA, Uber transférant ses 1 500 ingénieurs à Aurora et entrant en force au capital et au conseil d'administration. Toyota les rejoignait peu après. Quant à Apple, on sait simplement qu'ils y travaillent... Enfin en Chine, parmi beaucoup d'autres, Baidu, le Google chinois, et AutoX soutenu par Alibaba font partie des six entreprises autorisées à rouler sans chauffeur en... Californie (avec Waymo, Cruise, Zoox et Nuro), mais aussi à Pékin et Shenzhen. Les acteurs Chinois sont partis plus tard, mais ils mettent manifestement les bouchées doubles avec le plein soutien de leur État.

## Et les Européens, les Français ?

Les administrations européennes et japonaise, dans l'UNECE (*United Nations Economic Commission for Europe*), viennent à peine de terminer la réglementation pour le

niveau 3. Et, pour les raisons déjà évoquées, il va être difficile de faire la même chose pour le niveau 4. Or sans ces homologations il n'y a pas les mêmes facilités juridiques et financières qu'aux États-Unis ou en Chine et, de fait, il n'y a pas d'équivalent aux expérimentations sans chauffeur de sécurité de ces deux pays en Europe. On est aussi très loin des millions de kilomètres parcourus en VA avec chauffeur de sécurité aux E-U. Daimler va démarrer un essai dans un parking public d'aéroport à Stuttgart, mais leur essai sur route ouverte le plus important est à San Jose en Californie. Quant aux deux Français, ils sont loin derrière, concentrés qu'ils sont sur le passage aux véhicules électriques, comme les autres Européens, mais sans les moyens financiers des trois Allemands. Il y a bien aussi Navya et EasyMile qui fabriquent des navettes autonomes qui devraient rouler sans chauffeur, peut-être en 2022 mais sur des trajectoires parfaitement détaillées à l'avance et peu capables du moindre écart si un obstacle s'est intercalé sur leur chemin, et à faible vitesse. C'est d'autant plus dommage que, avec Airbus, Thalès, Safran et Alstom, avec l'Inria, Aniti à Toulouse, SystemX, le CEA-LIST, Vedecom etc. etc., il y a de grandes réalisations et compétences françaises sur ces sujets. Il y a aussi, parmi les start-ups, de belles pousses, en localisation, en vision, en logiciel, en microprocesseurs multi-multi-cores, etc., sans compter les atouts solides de Valeo sur les capteurs. Mais il manque pour l'instant l'assembleur, le constructeur automobile ou bien le géant du numérique pour fédérer, entraîner et, en partie, financer l'ensemble de ces ressources éparpillées autour d'un projet concret à l'échelle de ce qui advient aux États-Unis et en Chine. ✕



# CONNECTIVITÉ, ROBOTISATION, INTELLIGENCE ARTIFICIELLE, LA PRODUCTION AUTOMOBILE 4.0



**ARNAUD  
DEBŒUF (87)**  
directeur industriel, Stellantis



**JEAN-CHRISTOPHE  
MARCHAL (93)**  
directeur de l'ingénierie  
process, Stellantis

Qu'est-ce que la quatrième révolution industrielle ?  
Voici une illustration concrète des apports des technologies dans le monde de la production industrielle automobile.

La quatrième révolution industrielle est désormais une réalité pour l'industrie automobile qui cherche en permanence à améliorer sa performance (économique, qualité), car la compétitivité qui l'entoure est extrême. Cette quatrième révolution industrielle est tirée par le numérique et l'interaction homme-machine qui se déploient progressivement et rapidement sur toute la chaîne de valeur : conception, programmation, production, logistique, etc. Dans le domaine du *manufacturing*, la connectivité entre les machines, la génération massive de données, l'utilisation d'algorithmes d'intelligence artificielle pour les traiter ou encore la visualisation numérique des données permettent une utilisation optimisée des moyens de production. Mais, en prérequis, les usines doivent opérer une transformation numérique permettant une mise à disposition instantanée d'informations exploitables au management de proximité et aux équipes de maintenance, à partir d'équipements souvent installés depuis de nombreuses années. Au sein de Stellantis, cette révolution s'est engagée à la fois par des projets *corporate* et surtout par des initiatives locales qui répondent mieux au contexte et aux besoins spécifiques. Ce modèle, riche d'interactions entre les équipes locales et les équipes centrales, a permis de multiplier les initiatives.

**“Le nombre d’objets connectés a été multiplié par dix depuis 2019.”**

## La connectivité

La connectivité des équipements et des objets est le point de départ de la mise en œuvre de plusieurs technologies de l'usine 4.0. Elle s'opère non seulement *via* l'interopérabilité entre l'infrastructure réseau des automatismes et celle des systèmes d'information (interconnexion OT/IT), mais également *via* la connectivité sans fil des équipements. Ainsi, depuis 2015, Stellantis a déployé un réseau wifi industriel dans l'ensemble de ses usines. De plus en plus d'équipements industriels sont ainsi connectés en toute sécurité en wifi, tels que les clients légers (terminaux informatiques

## REPÈRES

Stellantis est l'un des leaders mondiaux de l'automobile et un fournisseur de mobilité, né le 19 janvier 2021 et résultant de la fusion des constructeurs groupe PSA et Fiat Chrysler Automobiles. Stellantis exploite et commercialise quatorze marques automobiles dont cinq issues du groupe PSA (Citroën, DS Automobiles, Opel, Peugeot et Vauxhall) et neuf issues de FCA (Abarth, Alfa Romeo, Chrysler, Dodge, Fiat/Fiat Professional, Jeep, Lancia, Maserati et RAM). Il emploie 400 000 salariés, de 150 nationalités, et a réalisé un chiffre d'affaires de 167 milliards d'euros en 2020.

industriels), les imprimantes, les IoT (voir le lexique en encadré), les AGV, certains robots ou équipements OT, mais également les équipements mobiles (terminaux embarqués, tablettes, ordinateurs portables, smartphones...). En complément, une couverture 4G (bientôt 5G) est déployée dans les zones moins denses en équipements ou à l'extérieur, ainsi que la technologie LORAWan sur les meubles *pick to light* ou encore SigFox pour la *Supply Chain*. Le recours aux objets connectés (IoT) pour générer ou récupérer des données inhérentes à la production et à la logistique ou encore pour mesurer la consommation instantanée d'énergie est désormais systématique. Ces objets peuvent être installés sur des installations (robots, centres d'usinage...) de marques et de générations différentes. Par ailleurs, depuis 2019, le nombre d'IoT intelligents (dotés d'O.S.), permettant notamment de réaliser de l'*edge computing*, pour un traitement des données immédiat à proximité des moyens de production, a été multiplié par dix. Cette tendance va bien évidemment se poursuivre, notamment sur le périmètre de la qualité et à travers des cas d'utilisation mettant en œuvre des algorithmes d'intelligence artificielle, pour aider par exemple à la détection d'anomalies ou fournir une assistance à la réalisation d'opérations.

## Les applications

Tous ces travaux sur la connectivité ont permis d'augmenter sensiblement au cours des trois dernières années la collecte des données, qui sont déversées dans un *DataLake* industriel, afin d'être traitées et de permettre, entre autres : une *DATA Visualization* à grande échelle (logiciel PowerBI), pour une mise à disposition simple et en temps réel de tableaux de bord ; un affichage de l'état des installations dans les ateliers ou sur les smartphones des managers de l'usine ; une détection plus rapide des points goulots d'une ligne de production afin d'améliorer sa productivité ; une anticipation des pannes ou une assistance à la maintenance afin de minimiser les pertes de production ; une mise en œuvre de contrôles qualité automatisés par caméra, avec une performance bien supérieure pour bloquer des non-conformités ; un suivi en temps réel des flux de pièces ou de véhicules après leur sortie d'usine, etc. Par exemple, afin d'améliorer la réactivité en usine, mais aussi afin de réduire l'usage du papier, la numérisation du système de management de la production (*Stellantis Production Way*) à travers des smartphones, des tablettes

ou des écrans tactiles a été engagée. Ainsi, lors de leurs tours de terrain, le directeur d'usine et les responsables d'unité vont saisir tous les dysfonctionnements qu'ils repèrent. Ces dysfonctionnements seront suivis, traités et archivés en temps réel.

Autres applications de la numérisation : la formation des nouveaux opérateurs qui, munis de casques 3D d'immersion, peuvent parfaire leur gestuelle et s'entraîner en dehors de la ligne de fabrication, sans perturber la production. De même, les lunettes connectées permettent aux maintenanciers confrontés à une panne complexe de faire appel en temps réel aux compétences et à l'expérience de leurs collègues, parfois éloignés de plusieurs milliers de kilomètres. Plusieurs apps (applications mobiles) par domaine d'activité industrielle, telles que maintenance, logistique ou qualité, utilisables sur smartphones et tablettes, en complément d'applications mobiles du marché, ont également été développées et déployées. Plusieurs milliers de smartphones ont été distribués aux acteurs de la production, en complément de ceux déjà distribués à la ligne managériale. Ces nouvelles technologies numériques permettent à Stellantis de progresser sensiblement sur plusieurs indicateurs clés de la performance industrielle, tels que le rendement opérationnel des ateliers, le coût de fabrication, le taux de pannes, le temps moyen de réparation des moyens industriels (MTTR *Main Time To Repair*), l'optimisation des stocks ou encore la qualité. Tout projet doit présenter individuellement un retour sur investissement inférieur à douze mois pour être engagé. Ce critère incite naturellement les équipes à chercher les solutions les moins coûteuses et permet bien évidemment une sélection objective des projets qui seront déployés dans les usines.

### Les cobots - robots collaboratifs

Jusqu'à présent les machines étaient isolées, entourées de carters, consommatrices de surfaces. Par ailleurs elles imposaient des rigidités sur les architectures de ligne (lignes transfert en usinage, îlots robotisés) ou de flux (chariots filoguidés), qui n'étaient plus acceptables après la révolution qu'avaient connue les ateliers pour devenir toujours plus flexibles aux variations de volumes ou aux changements de produits. Les cobots, ou robots collaboratifs, ont fait peu à peu leur apparition dans l'industrie automobile, avec la promesse de permettre la co-activité homme-robot en toute sécurité. Ils permettent d'améliorer la productivité en assurant des opérations techniques comme des

### Quelques anglicismes...

**Internet Of Things** : internet des objets connectés.

**Automatic Guided Vehicle** : véhicule filoguidé.

**Pick to light** : voyant lumineux pour orienter un opérateur vers une référence qu'il doit prélever.

**Operating System** : système d'exploitation.

**Edge computing** : méthode d'optimisation employée dans le cloud.

vissages, d'améliorer la qualité avec des caméras ou des capteurs embarqués ou de régler des problèmes de conditions de travail en apportant des charges lourdes à hauteur d'homme. Leur déploiement s'accélère car leur logique d'intégration, simplifiée, rend accessible à des non-experts l'exploitation de ce type de robots. Par ailleurs, et c'est certainement le point le plus important pour l'industrie automobile, leur mise en place sans protection spécifique permet d'alléger l'impact de l'automatisation des opérations sur les lignes d'assemblage : sans barrière physique structurante, les architectures de lignes sont plus simples et flexibles pour une exploitation optimisée. Ils peuvent être insérés rapidement et facilement dans des lignes existantes. Enfin, leur coût diminue sensiblement, ce qui rend leur rentabilité plus grande. Ainsi, en seulement quatre ans, ce sont des centaines de robots collaboratifs qui ont été installés sur les lignes de production.

### L'automatisation de la logistique

La logistique interne (transport des pièces du quai de déchargement des camions au bord de la ligne d'assemblage) a fait l'objet d'importants plans d'automatisation qui font coexister robots et hommes : s'inspirant des constructeurs japonais, les premiers robots AGV, porteurs ou tirant des chariots, ont été introduits il y a une dizaine d'années. Plus autonomes et plus flexibles que les chariots filoguidés, ils permettent d'apporter les pièces en bord de ligne, de remplacer des lignes de préparation, d'organiser des zones de *kitting* (préparation de collections de pièces pour gérer la diversité). Là encore, la simplicité de leur intégration ou de l'évolution de leurs parcours a contribué à leur déploiement accéléré. Aujourd'hui, la cible est d'automatiser l'ensemble des flux de logistique interne, du camion au bord de ligne, tout en restant synchronisé avec la ligne de montage principale. Depuis plus de 150 ans, l'industrie automobile innove et adapte de nouvelles technologies pour continuer à progresser dans toutes les dimensions de sa performance : économique, qualité, sécurité, ergonomie, environnement... Avec cette quatrième révolution industrielle, elle a trouvé de nouveaux outils pour améliorer son efficacité, alors qu'elle doit faire face, par ailleurs, à la révolution du véhicule électrique. C'est la bonne intégration, rapide, de l'industrie 4.0 qui peut permettre à l'industrie automobile d'être plus flexible, plus frugale et plus efficiente, afin de continuer à offrir une mobilité individuelle propre et sûre, mais également abordable. X

# L'INDUSTRIE AUTOMOBILE, DU HARDWARE AU SOFTWARE



**JEAN-MARC HOLL (86)**  
Chief Product Owner, Car Data  
Platform chez Renault Digital

Les constructeurs automobiles doivent-ils pour survivre devenir des géants de la Tech ? Ils sont en tout cas violemment concurrencés par les géants de la Tech qui investissent dans l'automobile. Un nouveau monde se révèle et il y aura des morts !

**P**ourquoi le software va dévorer le monde ? C'est le titre prophétique d'un essai sorti en août 2011 dans le *Wall Street Journal*. L'auteur, Marc Andressen, est un des plus influents investisseurs de la Silicon Valley. Selon lui, nous allons vivre une révolution technologique et économique massive au cours de laquelle les entreprises de software étaient destinées à s'emparer de larges pans de l'économie. Dix ans plus tard, sa prédiction est en train de se réaliser sous nos yeux. Apple vend plus de montres que toute l'industrie horlogère suisse, après avoir détruit, pratiquement à lui seul, les acteurs historiques de la photographie et du téléphone. Le marché publicitaire est dominé par Google, Facebook et Alibaba. L'industrie musicale, l'édition, la presse, ont également été totalement bouleversées.

## Un défi pour l'industrie automobile

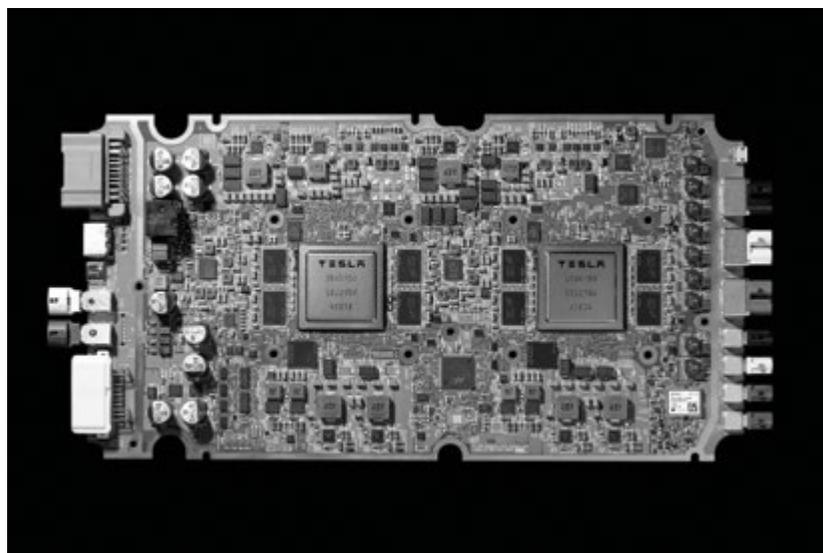
L'industrie automobile s'est longtemps cru à l'abri de cette vague de *destruction créatrice*. Certes, depuis plus



de cinquante ans, le logiciel a progressivement grignoté toutes les fonctions du véhicule. Mais les constructeurs avaient jusqu'ici sous-traité cette complexité à leurs fournisseurs. Ceux-ci ont su tirer profit de leur avance technologique en produisant des composants intégrant hardware et software. La maîtrise technologique des moteurs thermiques a toujours constitué une barrière à l'entrée du secteur automobile, *quasi* infranchissable pour de nouveaux acteurs. L'irruption de Tesla montre que cette barrière tombe avec l'électrification. Dans le même temps, le développement de systèmes de conduite autonome va requérir une maîtrise du développement logiciel qui est peut-être devenue hors de portée des industriels historiques du secteur. Les géants de la Tech

## REPÈRES

C'est très discrètement que le logiciel a fait son entrée dans la voiture, apporté par des fournisseurs par la petite porte ou, plus exactement, sous le capot. Dès 1969, la Volkswagen 1600 est le premier véhicule de série équipé du système D-Jetronic, une injection électronique développée par la firme Bosch. La technologie est, dans un premier temps, réservée à des modèles sportifs ou haut de gamme. En 1973, la Citroën SM est l'un des premiers modèles français équipés d'injection électronique. Les calculateurs moteurs mettront dix ans à s'imposer, sous la pression des réglementations d'émissions européennes sans cesse plus sévères, qui finiront par signer l'arrêt de mort du bon vieux carburateur.



ont aujourd'hui un pied dans le monde de l'automobile et tout un écosystème de start-up débarque en force, soutenu par la puissance financière des fonds de capital-risque. Pour ne pas se faire avaler tout cru, les constructeurs automobiles vont devoir apprendre de nouveaux métiers, ceux du logiciel et de la data. Ils devront aussi faire preuve d'humilité et développer leur agilité. Les constructeurs automobiles peuvent-ils devenir des géants de la Tech ? Et les géants de la Tech, veulent-ils devenir à leur tour des constructeurs automobiles ? Il semblerait que cette révolution soit possible, mais le succès est loin d'être garanti. Les dix années à venir seront décisives... et passionnantes !

### Comment la voiture est devenue un ordinateur sur roues

À côté de l'injection électronique, la sécurité a été un levier du développement de l'électronique et du software embarqués. L'airbag et l'ABS – le système antiblocage de roues – se sont généralisés dans les années 1990 sous l'impulsion notamment de Volvo, suivis par les régulateurs de vitesse. Le conducteur bénéficie aujourd'hui d'aides électroniques sans cesse plus sophistiquées. Freinage d'urgence, aide au parking, au dépassement, alerte d'endormissement, les systèmes d'assistance à la conduite

se multiplient. Ces ADAS – *Advanced Driving Assistance Systems* – nécessitent toujours plus de capteurs, de caméras, de radars, de calculateurs et encore plus de logiciels. La conduite autonome est la prochaine cible et requiert une maîtrise technologique telle que même le géant Google peine à y arriver. « Mettre au point un véhicule autonome demande un boulot incroyable », déclare aujourd'hui le patron de sa filiale Waymo.

Avec l'avènement de la navigation et du multimédia, les écrans tactiles garnissent les planches de bord, accompagnés de processeurs graphiques de plus en plus puissants. La plupart des fonctions sont à présent gérées par des calculateurs électroniques, dont on compte plusieurs dizaines sur les véhicules actuels. « Nous avons vraiment conçu le Model S comme un ordinateur roulant très sophistiqué », proclame Elon Musk en mars 2015, « Tesla est, en grande partie, une entreprise de software de la Silicon Valley ». Le véhicule bénéficie de mise à jour à distance du logiciel, avec de nouvelles fonctionnalités, à l'instar de ce qu'Apple pratique sur ses iPhones. Ainsi, en octobre 2015, les clients de Tesla se voient-il proposer de télécharger la nouvelle version de l'OS – *Operating System* – de leur véhicule et une nouvelle fonctionnalité est au menu : « Votre *Autopilot* est arrivé », annonce le blog de la marque. →

## → Vous ne pouvez pas juste appuyer sur un bouton et devenir une entreprise de software

Les malheurs de Volkswagen vers l'électrification sont exemplaires. « Nous avons peut-être sous-estimé l'ampleur de la tâche » reconnaît Karsten Michels, l'ingénieur en chef du projet chez Continental. C'est à ce fournisseur historique que Volkswagen avait demandé de coordonner les 19 partenaires impliqués dans le développement de l'ICAS1, le nouvel ordinateur central de l'ID3. Cette dépendance vis-à-vis des fournisseurs de premier rang est aujourd'hui remise en question. « Nous nous sommes tous plus ou moins endormis, et non seulement l'industrie automobile, mais en particulier les fournisseurs », dira Peter Mertens, l'ancien patron de la R & D chez Audi. « J'ai pris de mauvaises décisions. Nous avons trop fait confiance à nos fournisseurs, en espérant qu'ils allaient nous apporter la solution, d'une manière ou d'une autre. » Arrivé à la tête du groupe Volkswagen en avril 2018, Herbert Diess décide de développer 60 % du logiciel en interne dans sa nouvelle entité Car.Software qui regroupera 5 000 développeurs. De son côté, après le rachat des activités d'Intel en France en 2017, le Groupe Renault vient de créer sa *Software Factory*. Mercedes veut « remplacer les coûts des fournisseurs par des employés, des bâtiments et des coûts informatiques », comme l'annonce son patron, Ola Källenius. Pour sa future plateforme, le constructeur de Stuttgart développera le logiciel en interne, avec un nouveau partenaire, le concepteur de processus graphiques NVIDIA. « La clé est de remplacer un ensemble de calculateurs éparpillés dans le véhicule, ainsi que des douzaines, voire des centaines d'applications, afin de tout centraliser », explique Danny Shapiro, patron de la division automotive de NVIDIA. « Ceci est extrêmement complexe avec une voiture [...] Vous ne pouvez pas juste appuyer sur un bouton et devenir une entreprise de software. »

**“Tesla a pris plus de six ans d'avance sur ses concurrents allemands.”**

## Révolution culturelle

Sur ce terrain, Tesla a pris plus de six ans d'avance sur ses concurrents allemands avec le Model 3, sorti fin 2017. Quatre cartes électroniques centralisent la plupart des calculateurs du véhicule. Ainsi, la plupart des fonctions peuvent être programmées et reconfigurées à distance. Cette architecture, en totale rupture avec celle de ses concurrents, va progressivement être adoptée par l'ensemble des constructeurs. La voiture devient véritablement un ordinateur sur roues et sa conception évolue largement vers du développement logiciel. Cette voiture-ordinateur produit aussi des milliers de données, grâce aux nombreux capteurs, radars et autres caméras embarqués dans le véhicule. C'est ainsi que l'automobile entre dans l'ère de la donnée massive, le fameux big data. L'architecture centralisée et la connectivité, bientôt en 5G, permettent de faire remonter dans le Cloud des volumes massifs de données qui vont alimenter la conception des véhicules. Ainsi Tesla utilise déjà les données des véhicules de ses clients pour mettre au point ses algorithmes de conduite automatique. La voiture pourra ainsi apprendre à partir de ses propres données, améliorer ses prestations et les personnaliser en connaissant mieux son conducteur. Les marques vont pouvoir proposer des services personnalisés de la maintenance, de l'assurance ou du financement, en s'appuyant sur la connaissance de l'usage réel du véhicule. Les villes pourront disposer en temps réel de données de circulation, tandis que les météorologistes sauront où il pleut en détectant l'activation des essuie-glaces.

## Le nouveau pétrole de la voiture

La donnée est-elle un nouveau pétrole, un nouvel eldorado ? Les données constituent bel et bien un actif stratégique pour chaque constructeur qui seul en détient l'accès. Pour raffiner ce pétrole, il lui faut construire en interne des pipelines de traitement de données capables d'absorber en temps réel des millions de gigaoctets par

## LES MALHEURS DE VW

En septembre 2015, le Dieseltgate frappe de plein fouet Volkswagen. Au premier plan de ce scandale, une affaire de logiciel truqué qui finira par coûter au groupe allemand plus de 30 milliards d'euros. Cette affaire met singulièrement en lumière l'importance qu'a pris le logiciel dans l'industrie automobile. Sous pression, l'entreprise décidera d'investir 50 milliards d'euros pour créer sa nouvelle plateforme électrique MEB - *Modular electric drive matrix*. Cinq ans après, les résultats sont mitigés. Certes Volkswagen a bondi au deuxième rang des ventes de véhicules électriques, juste derrière Tesla. Mais le lancement de l'ID3, le nouveau modèle électrique, a été retardé plusieurs fois à cause de retards successifs dans la mise au point du logiciel. Les premiers véhicules sortiront avec un logiciel incomplet, les clients devant effectuer une mise à jour après la livraison. Cette opération ne se fera pas à distance : les clients laisseront leur véhicule dans un atelier de la marque afin qu'il y passe la nuit...



jour. De solides compétences en *data ingénierie* et *data science* sont indispensables. Une révolution est en marche pour ces constructeurs qui doivent se transformer en entreprises de développement logiciel et devenir des *data companies*. Le défi est technologique, il est surtout culturel et humain. Pour attirer, développer, retenir les nouveaux talents, la culture d'entreprise doit s'adapter, se transformer en profondeur. Agilité, méritocratie, autonomie des équipes et des individus, apprentissage permanent, lignes hiérarchiques réduites, sont les caractéristiques déterminantes dans les entreprises de la Tech.

### Une transformation entamée

Les groupes automobiles ont d'abord cherché à créer de petites unités agiles et autonomes, afin de créer un environnement plus accueillant et proche des codes du monde de la Tech. Dans ce registre, Renault a lancé sa filiale Renault Digital, PSA a construit une *Data Factory*. Volkswagen et Mercedes ont créé des hubs de développement à Lisbonne, Berlin ou encore dans la Silicon Valley. L'idée est simple : aller chercher les talents là où ils se trouvent actuellement. Ces initiatives ont permis aux constructeurs d'amorcer leur transformation. Elles resteront pourtant sans impact durable, à moins de passer à l'échelle. Car c'est bien toute la culture de ces entreprises qui doit évoluer. En effet, le logiciel a ceci de particulier que les cycles de développement se raccourcissent drastiquement. Les décisions se prennent rapidement et les produits sont actualisés en permanence, par itérations successives, en s'appuyant sur le *feedback* en temps réel que permet la data. Dès lors, le management et les équipes dirigeantes doivent adapter leur style et

leur mode de fonctionnement et accueillir des profils Tech qui intègrent cette culture et en maîtrisent les codes.

### Un nouveau monde

« Les constructeurs plus conventionnels doivent adapter leur approche, leur appareil productif, créatif, à un nouveau monde », résume le patron de Stellantis Carlos Tavares. « On accepte l'idée que le monde de l'automobile et de la mobilité va changer. Il faut qu'on se prépare à créer une entreprise qui est aujourd'hui un producteur de véhicules qui intègre de la technologie, à devenir une boîte Tech qui intègre des véhicules. Il faut pivoter » constate de son côté le nouveau patron du Groupe Renault, Luca de Meo. En 1999, lors d'une conférence au Comdex de Las Vegas, Bill Gates déclarait que « si General Motors avait continué à progresser comme l'industrie informatique l'a fait, nous conduirions tous des voitures qui coûteraient 25 \$ et consommeraient 1/4 de litre aux 100 km. » Jack Welsh, à l'époque patron de GM, General Motors, lui fit une réponse humoristique, déclarant que dans ce cas « la voiture tomberait en panne deux fois par jour sans raison apparente, l'airbag demanderait « Êtes-vous sûr ? » avant de se déclencher et vous auriez à appuyer sur « Démarrer » pour éteindre le moteur ». Cette anecdote est symptomatique de l'état d'esprit de deux mondes qui se sont longtemps ignorés. Aujourd'hui ces deux mondes apprennent à se connaître et à travailler ensemble pour créer le nouveau monde de la mobilité. Les ingénieurs automobiles, pétris de culture mécanique et adeptes du zéro défaut apprennent le code, le *machine learning* et le *fail fast, learn fast*. Les développeurs, de leur côté, apprivoisent les lourdeurs d'une industrie aux multiples contraintes, où le hardware reste essentiel.

Les cartes sont rebattues et de nouveaux acteurs apparaissent. Tandis que la Chine veut ravir à l'Allemagne le leadership automobile avec de nouvelles marques ambitieuses comme Nio ou Byton, la Silicon Valley finance un essaim de start-up autour de la mobilité. Apple serait en train de relancer son projet Titan pour développer son Apple Car que la rumeur annonce pour 2024. Amazon a investi avec Ford dans la start-up de véhicule électrique Rivian. Quant à Microsoft, il vient d'investir dans Cruise, la start-up de conduite autonome contrôlée par... General Motors. Ce paysage en mouvement offre peut-être une belle occasion pour l'industrie automobile française et la French Tech. Un écosystème très dynamique existe dans le pays autour du digital et de la data. La créativité, l'innovation et le niveau technologique des ingénieurs français sont des atouts indéniables. De nouveaux business sont à inventer, de nouvelles marques peuvent exister. X



# LA ROUTE DU FUTUR FACE AU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE



**BERNARD JACOB (74)**  
ingénieur général honoraire  
des ponts, des eaux et des forêts,  
Université Gustave-Eiffel

L'automobile est en pleine transition énergétique, mais il ne faut pas oublier qu'elle forme un couple avec son support de roulement, la route. La voiture ne pourra réellement évoluer que si la route évolue en cohérence avec elle, dans une transition écologique raisonnée et progressive.

**L**a conférence de Rio (1992) puis les COP successives depuis 2000 ont conduit à la prise de conscience des conséquences du réchauffement climatique, largement dû à l'émission des gaz à effet de serre (GES). La route et les véhicules thermiques qui l'empruntent, représentant environ 30 % des GES, ont été stigmatisés, ainsi que la consommation de matériaux non renouvelables et à forte consommation énergétique utilisés dans la construction et l'entretien des infrastructures routières (par ex. ciment, bitume). Des déclarations politiques et plans divers ont été proposés pour encourager un transfert modal de la route vers les modes dits écologiques, notamment fluvial et ferroviaire. Mais force est de constater que ces initiatives n'ont pas donné de résultat, et au contraire le mode routier a continué d'augmenter ses parts dans presque tous les pays. Par conséquent, les pouvoirs publics et les États ont infléchi leurs politiques depuis 2011-2015 et cherchent maintenant à décarboner la route et les



**“Assurer un trafic plus sûr, plus fluide et moins polluant.”**

véhicules, dans le cadre d’une transition écologique raisonnée et progressive, tout en encourageant la complémentarité des modes, chacun étant utilisé là où il est performant et économiquement viable.

Le concept de route du futur ou de cinquième génération (Hautière et al., 2015), décliné dans ses diverses composantes, prend son sens dans ce contexte et ouvre de nouvelles perspectives pour le **xxi<sup>e</sup>** siècle. Cette route du futur répondra globalement à trois principaux objectifs : résilience, durabilité et sobriété en matériaux ; adaptabilité, connectivité et automatisation ; et intégration énergétique. Ce sont les deux derniers qui sont présentés dans le présent article.

### **Une route connectée et automatisée**

On assiste aujourd’hui à des évolutions rapides, avec l’arrivée des véhicules électriques et autonomes, et de nouveaux services de mobilité. La robotisation de certains chantiers de maintenance, la dématérialisation ou le

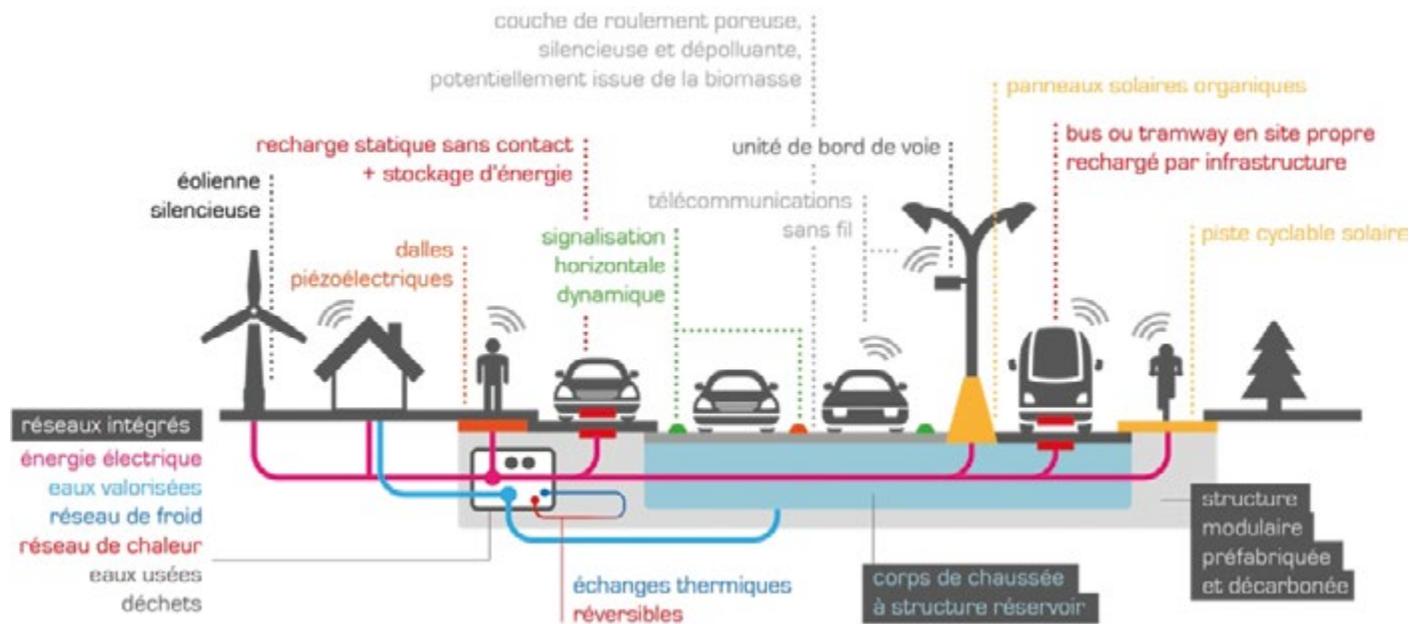
### **REPÈRES**

Avec l’ère industrielle et jusqu’à la première moitié du **xx<sup>e</sup>** siècle, le transport terrestre des personnes et des biens a été largement dominé par le chemin de fer, qui combinait capacité, vitesse, confort et sécurité. À partir des années 1950, et surtout 1960-70, l’automobile a connu un essor fulgurant aux États-Unis, puis en Europe et dans le reste du monde. Parallèlement la route et ses infrastructures se sont développées avec des investissements massifs, publics puis privés avec les concessions, tant pour le transport des personnes que pour celui des marchandises. Dans la plupart des pays, la densité des réseaux routiers est 10 à 100 fois plus forte que celle des réseaux ferroviaires et la flexibilité du mode routier a conduit à ce que 70 à 90 % des transports terrestres actuels se fassent sur la route, hors zones urbaines.

déport à bord des véhicules d’une partie de la signalisation, ou les outils de localisation et de communication électronique, exigent une adaptabilité croissante de la route et de ses équipements, de plus en plus connectés avec les véhicules. De nouvelles stratégies de gestion de trafic émergent et reposent sur la connectivité et l’automatisation des véhicules, pour améliorer la performance du système route-véhicule, sécuriser et fiabiliser les déplacements. L’usage des infrastructures peut ainsi être optimisé en mettant à profit les systèmes de transport intelligents et coopératifs (C-ITS).

### **Les capteurs**

Les capteurs électromagnétiques ou optiques (boucles, caméras, radars, lasers, etc.) dans l’infrastructure ou en bord de voie permettent de mesurer les caractéristiques du trafic, de le gérer et de délivrer des informations aux usagers. Des systèmes coopératifs plus avancés fournissent des temps de parcours à longue distance en utilisant la technologie des véhicules traceurs, où des véhicules équipés de capteurs embarqués et de système de géolocalisation transmettent des informations régulières à un système intégrant un modèle de trafic. Des outils combinant la détection d’événements et l’identification de véhicules, par reconnaissance de plaques ou transpondeurs, permettent de mettre en œuvre une politique de contrôle-sanction automatisé. Celui des vitesses est en place en France depuis 2002 et ceux des feux rouges et contre-sens, puis des interdistances, ont suivi. Le contrôle automatisé de l’usage des voies réservées (bus, taxis, véhicules à taux d’occupation minimal) et des zones à faibles →



→ émissions est en cours de déploiement. Celui des poids lourds en surcharge fait l'objet d'études en cours et mettra en œuvre des systèmes de pesage en marche certifiés. L'ensemble de ces contrôles visent à assurer un trafic plus sûr, plus fluide et moins polluant, et un usage optimisé des infrastructures.

## Les convois de poids lourds

Un autre exemple d'automatisation concerne les convois de poids lourds à courte interdistance (*platooning*), qui pourraient à terme permettre des gains de performance substantiels, une réduction de la consommation, des émissions de GES et des congestions routières. L'infrastructure aura un rôle à jouer dans la connectivité entre ces convois, les véhicules qui les composeront et les gestionnaires. Elle sera équipée de capteurs et de systèmes de gestion de données pour déterminer les zones et périodes où le platooning est réalisable en sécurité, ou lorsqu'il faudra l'interrompre, par exemple en conditions météorologiques dégradées, de trafic très dense, de franchissement de zone particulière (ponts de grande portée à capacité de charge limitée ou zones d'échange). Des informations seront communiquées aux chauffeurs ou aux automatismes de conduite. Les véhicules impliqués dans le platooning devront aussi transmettre des informations à des centres de gestion pour permettre leur entrée ou sortie de *platoon* en fonction de leur destination ou pour définir leur rang par rapport à leurs capacités de freinage.

L'infrastructure aura également, pour les futurs véhicules automatisés, des fonctions de guidage, de détection d'incidents, d'aide à la mise en sécurité en cas de défaillance, et une contribution dans la prévention des collisions, entre mobiles ou sur obstacles fixes. Pour cela un échange d'informations continu devra être instauré entre véhicules et infrastructure. La durée des cycles

traditionnels de renouvellement des infrastructures (50 à 100 ans au moins pour les ponts, 15 à 30 ans pour les chaussées et routes) se rapproche maintenant de celle des véhicules et des outils de communication (une dizaine d'années). Il ne s'agit donc plus seulement de renouveler ces infrastructures, mais plutôt de les adapter à de nouveaux usages, à coût économique et environnemental minimal. Face aux défis climatiques actuels, la route du futur devra aussi jouer un rôle significatif sur le plan énergétique. Deux pistes complémentaires ont émergé et sont à l'étude ou commencent à être mises en œuvre : utiliser la route comme un outil de production d'énergie renouvelable ou l'équiper d'une infrastructure de distribution d'électricité permettant d'alimenter des véhicules en mouvement, donc d'en faire une route électrique.

## Une route à énergie positive

La route est consommatrice d'énergie, tant pour sa construction, pour sa maintenance et pour son exploitation (éclairage et signalisation) que par les véhicules qui l'empruntent. Dans la recherche de sources potentielles d'énergie renouvelable, il a été identifié que la surface des routes, qui reçoit les rayons solaires, pouvait constituer une source d'énergie. La surface cumulée du réseau routier français est de l'ordre de 6 000 km<sup>2</sup>, soit un peu plus d'1 % de la surface du territoire national. Avec des hypothèses prudentes, 25 % de temps d'ensoleillement (soit 50 % du jour), 0,5 % de la surface routière utilisée, soit environ 5 000 km de linéaire, et 300 W/m<sup>2</sup> d'énergie reçue, la puissance moyenne reçue serait de l'ordre de 2,25 GW, soit 3,5 % de la puissance électrique installée en France ou un peu plus de la moitié de celle consommée par le transport routier. Certes la part réellement récupérable de cette énergie est probablement faible, mais elle pourrait toutefois

contribuer à la décarbonation du secteur routier, voire répondre à des besoins énergétiques limités au voisinage d'une route équipée. Les deux modes de récupération d'énergie solaire dans une route sont : la route solaire thermique, avec récupération de la chaleur emmagasinée dans la route ; et la route solaire photovoltaïque, avec insertion de cellules dans la couche de roulement rendue transparente pour laisser passer la lumière incidente. La première solution est commercialisée en France avec succès par Eurovia pour de la réhabilitation thermique de bâtiments. La seconde solution, proposée par Colas (Wattway), peut servir à alimenter des capteurs ou contribuer à l'éclairage. Les deux solutions peuvent se combiner sur un même site. Néanmoins le rendement de ces technologies reste limité et les investissements assez lourds, surtout pour la solution photovoltaïque.

### Une route électrique (ERS)

La question de l'autonomie des véhicules électriques est critique, en particulier pour les véhicules lourds (camions, autocars). Les batteries atteignent rapidement leurs limites physiques et économiques, et ne peuvent assurer des autonomies de plusieurs centaines de kilomètres à des véhicules de quelques dizaines de tonnes. Une solution consiste à transposer les systèmes d'alimentation électrique sur l'infrastructure, développés dans le domaine ferroviaire (trains, métros, tramways, trolleybus). Siemens propose une alimentation par caténaires et pantographes (double caténaire car il n'y a pas de retour courant par le sol), Alstom développe une alimentation par le sol avec des rails électrifiés par tronçons (transposition du système du tramway de Bordeaux) et Elways propose un rail à profilés creux, tous deux avec des patins de captation installés sous les véhicules. Des systèmes sans contact par induction existent déjà en statique pour les bus et sont en cours de développement ou d'essais, notamment en Suède, en Allemagne et en Corée. Un rapport de l'association mondiale de la route (PIARC, 2018) présente un panorama de ces technologies et le ministère de la Transition écologique a lancé début 2021 une réflexion au sein de trois groupes de travail avec l'ensemble des parties prenantes pour élaborer une politique nationale sur l'ERS, évaluer les technologies et leur domaine d'application et les enjeux économiques et environnementaux.

L'ERS serait pertinent sur des corridors autoroutiers à fort trafic, pour les poids lourds notamment qui représentent près de 30 % des émissions du transport routier. Il permettrait non seulement d'assurer la propulsion des véhicules sur le réseau équipé, mais aussi de recharger leurs batteries pour leur donner une autonomie maximale en dehors de ce réseau. Il est

**“La route n'est plus un simple ruban de bitume.”**

également préférable de transporter l'électricité sur son lieu de consommation via un réseau de distribution électrique, plutôt que de la stocker et la transporter à bord des véhicules, avec les contraintes de masse, volume et coût associées aux batteries. Enfin les espaces et temps nécessaires à la recharge sur des bornes statiques, même à haut débit, sont pénalisants, notamment pour des véhicules commerciaux loin de leur base.

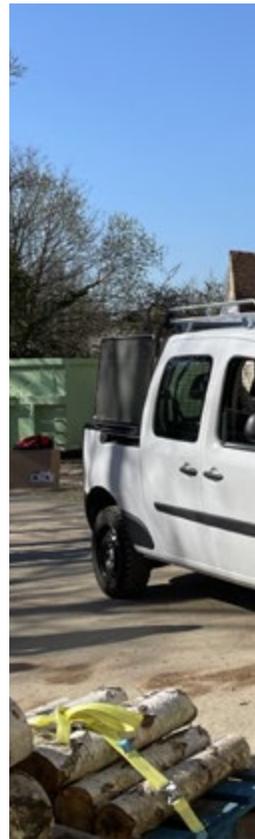
Les coûts d'investissement des solutions ERS se situent entre 2 et 5 M€/km (estimation avant industrialisation) et pour la France il est admis que 3 à 4 000 km d'autoroutes seraient éligibles à l'ERS, soit un investissement de 10 à 15 Mds d'euros (il suffirait d'équiper 50 % du linéaire sur la voie lente compte tenu de la présence de batteries tampon). Avec une durée d'amortissement de 20 à 30 ans et un système de concession, cela ne semble pas hors de portée. Il reste néanmoins à clarifier des questions de sécurité, de résilience du système et de modèle économique (répartition des coûts et bénéfices), mais *a priori* il n'y a pas de verrou majeur identifié. Le déploiement d'une telle solution nécessitera néanmoins une normalisation et harmonisation des solutions, une interopérabilité à l'échelle européenne et entre les catégories de véhicules éligibles ; par exemple, les voitures ou camionnettes seront-elles prises en compte ou resteront-elles uniquement sur batterie ? Naturellement l'origine de l'électricité (décarbonée) sera primordiale pour que l'ERS soit pertinent.

### Une route intelligente

La route du XXI<sup>e</sup> siècle n'est plus un simple ruban de bitume supportant des véhicules et équipée de quelques dispositifs de sécurité et de signalisation. Au-delà de ses fonctions physiques, la route sera de plus en plus équipée de capteurs, de systèmes d'information et de communication, et connectée aux véhicules qui l'empruntent et aux opérateurs qui la gèrent. La route dite intelligente devra s'auto-diagnostiquer, voire s'auto-réparer, et communiquer sur son état et son évolution. Sa fonction sera collaborative, dans la mesure où elle participera à la gestion ou au contrôle du trafic, à l'alimentation énergétique de certains véhicules et au guidage ou à la surveillance de véhicules autonomes. En outre elle s'intégrera dans un véritable système global de services de mobilité. Néanmoins il y a lieu d'étudier chaque solution et le modèle d'affaire associé dans sa globalité et avec toutes les parties prenantes, pour éviter les mythes technologiques. X

### Références

- HAUTIERE N., de LA ROCHE C. & PIAU J.-M. (2015), *Les routes de 5<sup>e</sup> génération, Pour la Science*, n° 450, avril 2015, pp. 26-35.  
PIARC (2018), *Electric Road Systems : a Solution for the Future?*, Report of a Special Project, 2018SPO4EN, 138 pp.



# ADVENTURE LAB, L'INNOVATION FRUGALE AUTOMOBILE EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE



**PAUL DE CHATELPERRON**  
chef de projet innovation,  
pilote du projet  
Adventure Lab, groupe  
Renault



**DOMINIQUE LEVENT**  
directeur de la créativité,  
expert leader Innovation  
Patterns et directeur de  
l'Institut de la mobilité  
durable



**FRANÇOIS ROUVIER**  
expert leader Social  
Business et directeur  
Mobilize Invest



**CHRISTOPHE MIDLER (74)**  
directeur de recherche  
CNRS émérite au CRG I<sup>5</sup>  
Institut polytechnique  
Paris et membre de  
l'Académie des  
technologies

Le projet Adventure Lab est  
doublement innovant.

D'une part il s'intéresse à un marché  
réputé immature pour l'automobile,  
alors que les besoins en Afrique rurale  
sont immenses. D'autre part il relève  
d'une logique de start-up tout en  
restant intégré dans un groupe  
industriel majeur. Deux raisons au  
moins de s'enthousiasmer pour lui !



**“Abandonner  
l’idée d’un  
marché BtoC  
de vente  
de véhicules.”**

**P**our l’industrie automobile, la mobilité dans les pays émergents constitue à la fois une promesse de débouchés futurs potentiels et un challenge difficile. D’un côté, ces pays sont en explosion démographique (plus de la moitié de la population mondiale), les besoins de mobilité y sont immenses, aujourd’hui pas ou mal assurés, et l’automobile a sûrement un rôle à y jouer. De l’autre, la définition d’une réponse pertinente représente un défi majeur par rapport aux offres traditionnelles de l’industrie. D’une part parce que les coûts de la mobilité doivent être compatibles avec le pouvoir d’achat des populations ciblées, d’autre part parce que les réponses doivent intégrer les objectifs de réduction des émissions qui s’imposent aujourd’hui à tous les pays de la planète.

### Créer un marché *ex nihilo*

Renault a marqué par le passé sa capacité à relever les défis d’une implantation dans des marchés atypiques, à faibles revenus, où ses concurrents ne s’aventuraient pas. Forte de ces expériences, l’entreprise se penche maintenant sur l’exploration d’une nouvelle offre pour l’Afrique sub-saharienne ; c’est le projet Adventure Lab. Ici encore, les besoins de mobilité non satisfaits sont immenses. Mais le saut à franchir est, une nouvelle fois, majeur. Tout simplement parce que, contrairement aux projets précédents, il n’y a pas de marché automobile existant. En effet, la moitié de la population étant rurale

et ne disposant pas de l’électricité ni de revenus fixes, il n’est pas possible pour eux d’envisager l’achat d’un véhicule, même d’occasion. Pour implanter un écosystème automobile dans ce tissu socio-économique, Renault doit donc innover radicalement, ce qui implique que l’entreprise se lance dans un projet à haute incertitude et comportant de multiples inconnues. Au départ, les intuitions qui ont impulsé ce projet ressemblent à celles qui ont mobilisé les projets précédents de Renault. D’abord la potentielle émergence d’un marché en Afrique sub-saharienne s’appuyant sur des besoins de mobilité évidents et non servis, délaissés par les gros industriels car perçu comme trop instable et précaire. Ensuite des signaux favorables comme le taux de pénétration de téléphones portables, supérieur à 100 % (117 % au Sénégal), créant ainsi un essor de l’entrepreneuriat et un développement économique →

### REPÈRES

La commercialisation de la Logan par Renault en 2004 est le fruit d’un pari : aborder un marché acheteur de véhicule à moins de 5 000 € tout en étant rentable. Une décennie plus tard, le projet Kwid, conçu initialement pour le marché indien, a franchi une nouvelle étape : un véhicule moderne proposé à 3 500 euros. Ces projets ont trouvé leur place et connu des déploiements variés, bien au-delà de la cible initiale. En termes de marché visé d’une part, là où une offre de véhicules modernes et accessibles pouvait répondre à un besoin incluant de nouveaux clients ; en termes de définition de véhicules d’autre part, pour les adapter aux spécificités des nouvelles cibles. La conception d’une version Kwid entièrement électrique lancée en Chine en 2019 s’inscrit évidemment dans cette perspective.

→ important appuyés par des technologies récentes. Enfin les initiatives de fournisseurs d'électricité qui se multiplient dans tous les pays d'Afrique, soulignant la complémentarité évidente entre accès des populations à l'électricité solaire dans les campagnes et besoins de mobilité.

### Créer un écosystème de mobilité

Néanmoins, l'émergence d'une classe moyenne capable de constituer une base de clients pour l'achat d'un véhicule, comme cela était pressenti en Inde pour la Kwid, est ici plus incertaine et lointaine. Il faut donc abandonner l'idée d'un marché BtoC de vente de véhicules, comme l'aborde traditionnellement l'automobile. Il faut raisonner directement en conception d'une offre de service de mobilité permettant d'assurer une mobilité rurale des personnes et des biens, offre accessible en substitut ou complément de la marche, de la charrette, du taxi-brousse ou du moto-taxi. C'est dire que, au-delà de la définition du vecteur de mobilité lui-même, c'est tout l'écosystème de mobilité, et en l'occurrence d'électromobilité, qu'il s'agit de concevoir : quels seront les opérateurs ? comment seront-ils rémunérés ? combien sont prêts à payer les clients d'un tel service ? pour quoi faire ? par qui et comment sera prise en charge la maintenance, maillon souvent faible des actions de développement en Afrique ? comment s'articulera le modèle de mobilité avec le modèle de fourniture d'énergie ?...

### Une première étape : l'exploration

Sur ces intuitions et avant de se lancer dans un projet de développement d'offre proprement dit, il faut donc mener un projet d'exploration visant à réunir les données sur les conditions de faisabilité d'une offre adaptée, caractériser cette offre et construire l'écosystème qui pourrait la mener à bien. Insistons ici sur le caractère systémique et fortement contextualisé de l'innovation que constitue l'électromobilité : si chaque brique de l'offre n'est pas une innovation radicale en elle-même, l'agencement en une offre intégrée l'est assurément, d'autant qu'elle s'applique à un contexte totalement inédit. L'objectif du projet Adventure Lab pour Renault, comme son nom l'indique, est plus une pédagogie de la rupture radicale que la première phase locale d'un déploiement que l'entreprise mènerait, par continuité, sur un large périmètre africain. Il mobilise plusieurs entités de l'entreprise (le département innovation, la direction de la recherche, *Mobilize Invest*) avec l'appui méthodologique d'une équipe du Centre de recherche

en gestion de l'École polytechnique. Une démarche de start-up interne limitée dans ses ressources car il n'est pas question d'engager des investissements massifs sur une problématique aussi incertaine ; une équipe centrée sur l'apprentissage des multiples inconnues du domaine, disposant d'une autonomie et d'une agilité suffisante pour réagir efficacement face aux surprises multiples que ne manque pas d'apporter un tel contexte, tout en bénéficiant en *back office* d'expertise et de légitimité indispensables de l'entreprise Renault. La démarche va associer trois approches en interaction forte : évidemment une investigation documentaire pour réunir les données existantes, des simulations pour orienter et calibrer, sur ces données, les choix d'ensemble de la démarche, une expérimentation de terrain pour donner corps et tester les concepts selon la démarche de preuve de concept.

L'exploration initiale des données géographiques et socio-économiques a amené à choisir une région rurale du Sénégal comme terrain de jeu pour l'engagement du projet. Un pays stable, avec un taux de croissance significatif, mais présentant 40 % de la population en zone rurale, tournée autour de la tradition de l'agriculture et des coutumes communautaires, et seulement 42 % de ces ménages disposant d'électricité. Ainsi, la lecture de nombreux travaux de thèse dans une université sénégalaise comme plusieurs missions locales permettent d'évaluer les besoins de mobilité des habitants, centrés sur le transport des personnes et des marchandises de la campagne à la ville, de valider l'extrême précarité et faible efficacité des usages de mobilité sur des territoires dépourvus de routes, les lacunes d'accès à l'électricité dans les zones rurales ciblées, entraînant des conséquences assez paradoxales comme le besoin de faire des longs trajets pour aller recharger les téléphones portables qui sont, eux, largement diffusés.

### Ensuite simuler pour calibrer les variables

L'approche simulation a pris le relais pour calibrer les différentes variables en jeu dans la définition de l'offre. Sur les variables physiques comme la nature du véhicule compte tenu des charges utiles comme des routes parcourues, comme le dimensionnement de la batterie en fonction des trajets prévus, la localisation et la capacité de la station solaire pour assurer l'alimentation requise... Sur les variables socioéconomiques comme les proportions d'usage de mobilité par nature, les potentiels de seuils de prix d'une offre de mobilité

nouvelle, l'articulation entre le modèle économique de la mobilité proprement dite et celui des stations d'énergie solaire de l'autre... Cette étape de simulation permet à la fois de préciser certains choix clés réduisant l'incertitude sur l'espace d'exploration, au départ gigantesque, mais aussi de révéler la nécessité d'acquérir de nouvelles connaissances, apparue comme des trous de connaissance face aux besoins des modélisations. D'où une dialectique avec des retours sur le terrain d'une part et, de l'autre, la spécification d'un outillage pour l'expérimentation réelle à venir sur le terrain en 2021, afin de mesurer précisément les variables clés. Ainsi par exemple l'équipement des protos d'un GPS adapté et d'une mesure fine de la consommation d'énergie dans des conditions de roulage si différentes de la route classique.

### Enfin monter une expérience pilote de terrain

Le troisième volet, c'est le montage d'une expérience pilote sur le terrain. Un montage qui s'appuie sur le cadrage réalisé par les approches ci-dessus et qui se déploie de manière parallèle. Nous soulignerons ici deux volets clés de cette expérience. D'une part, le choix du véhicule pour le test. Plutôt que de s'engager dans la conception d'un prototype entièrement nouveau, ce qui aurait été coûteux et long, le choix a été fait d'adapter au contexte local des véhicules existants en les équipant pour les besoins spécifiques de l'expérimentation. On retrouve ici le précepte du *minimum viable product*, apporter rapidement sur le terrain une offre provisoire qui est certes imparfaite, mais qui va générer un retour d'expérience riche en contexte réaliste. D'autre part, le montage d'un partenariat avec un énergéticien apporteur d'une solution de station d'énergie solaire. Il est clair que le montage d'une offre de service d'électromobilité frugale implique de co-concevoir mobilité et source d'énergie. L'expérimentation est alors non seulement une étape incontournable pour tester des solutions techniques, mais c'est aussi la création d'un espace de coopération entre deux mondes qui ne se connaissent pas et doivent apprendre à travailler ensemble : l'automobile et l'énergéticien.

**“Travailler ensemble :  
l'automobile  
et l'énergéticien.”**

### Une expérience entrepreneuriale originale

Évidemment, on se doute que la crise de la Covid a profondément affecté l'avancement du projet. Plusieurs missions sur le terrain ont dû être reportées. Le projet a certes pris du retard, mais sa pérennité n'est aujourd'hui pas remise en cause et il trouve, à mesure qu'il avance, de plus en plus de crédibilité auprès des différentes parties prenantes. Ce projet illustre la possibilité de mener, au sein d'une grande entreprise, des projets d'exploration généralement réputés pour n'être praticables que dans un contexte de start-up.

Des projets assurément très différents des projets de développement traditionnels que connaissent bien les grandes entreprises, qui doivent adopter des méthodologies spécifiques. Le projet Adventure Lab permet ici de mettre en relief la nécessité d'intégrer dans le management deux impératifs inhérents à ce contexte très incertain.

D'un côté, une méthodologie centrée sur l'apprentissage réaliste d'un domaine inconnu et d'une offre à définir complètement, de l'autre une communication permettant de mobiliser les acteurs pour qu'ils rejoignent et contribuent à un projet aussi improbable au départ. Les deux versants du travail quotidien de l'innovateur, qui font non seulement sa complexité mais aussi son caractère passionnant. X

### L'Institut de la mobilité durable

En 2009 Renault, la Fondation Renault et sept écoles de ParisTech, dont l'X, décidaient de s'associer pour mener des recherches sur l'avenir des transports et des solutions de mobilité, en créant l'Institut de la mobilité durable (IMD). Dix ans plus tard, alors que le produit automobile connaît une transformation accélérée et que la mobilité se réinvente, la pertinence de ce partenariat entre entreprise et communauté académique est plus que jamais d'actualité. Quatre axes ont été développés : les systèmes de mobilité électrique, connectée, partagée et autonome ; les nouveaux business modèles de la mobilité ; la vision mondiale des impacts de la mobilité et des filières industrielles concernées ; les nouveaux écosystèmes technologiques pour la mobilité durable.

Cet article s'appuie sur les travaux de Ludivine Dupont et Santiago Farriols, étudiants du master *Projet Innovation Conception*, qui ont mené leur projet dans l'équipe Adventure Lab : « *Méthodologie d'exploration de projet à haute incertitudes : le cas de Renault en Afrique subsaharienne* », mémoire PIC confidentiel. Le partenariat de recherche avec le CRG se poursuit actuellement par la thèse de Lorenzo Fioni, dans le cadre de l'Institut de la mobilité durable associant Renault et plusieurs écoles d'ingénieurs, dont l'École polytechnique.

# L'AUTOMOBILE ET LA VILLE, UNE POLITIQUE PUBLIQUE À REPENSER



**JEAN-MARC OFFNER**  
directeur général de l'a-urba  
(agence d'urbanisme Bordeaux  
Aquitaine), président de l'École  
urbaine de Sciences

La vision d'un urbaniste sur le traitement de l'automobile dans la ville et sur les solutions à trouver pour enfin régler ce problème identifié mais jamais traité au fond.

**U**n demi-siècle après l'*Essai sur l'automobile* d'Alfred Sauvy, la voiture particulière est devenue omniprésente, toujours plus utilisée mais toujours d'avantage vilipendée... L'économiste-démographe dénonçait l'insécurité routière, la congestion urbaine, la pollution atmosphérique. À ces externalités négatives, le premier choc pétrolier de 1974 ajoutera l'enjeu énergétique. Et les préoccupations environnementales inédites du septennat (1974-1981) de Valéry Giscard d'Estaing sonneront un premier coup d'arrêt aux projets d'infrastructures routières en ville. Il n'y a cependant jamais eu autant de voitures en France. La saturation du marché n'est pas encore au rendez-vous : les seniors ne délaissent plus leur auto en partant à la retraite ; les jeunes ne font que différer leur accès à l'automobile ; et le succès de l'habitat périurbain combiné à l'individuation des modes de vie encourage la multimotorisation. La

schizophrénie perdue ! Jamais l'ambition de réduire le trafic automobile n'a été si présente dans les discours politiques et médiatiques. Aux méfaits réévalués des pollutions locales de la voiture s'ajoute désormais l'impératif moral et légal de diminution des émissions de gaz à effet de serre. Ce « je t'aime moi non plus » brouille la lisibilité des stratégies collectives. S'agit-il d'une politique industrielle hégémonique, dictant sa loi à des politiques d'aménagement ? N'y a-t-il pas plutôt à regarder du côté des failles de politiques de mobilité en mal de gouvernance ?

## La ville et la voiture, *urbi et orbi*

Du souci d'adaptation de la ville à l'automobile attribué à Georges Pompidou jusqu'aux quêtes contemporaines de modération du trafic automobile, un regard trop rapide sur 50 ans d'action publique urbaine pourrait laisser croire que les villes françaises ont failli devenir Los Angeles et vont bientôt ressembler à des cités médiévales italiennes. La préoccupation de la gestion des flux (continuité, séparation) a une histoire, celle de la traction hippomobile avant celle de l'automobile, celles des voiries

## REPÈRES

C'est durant les années 1960-1970 que la voiture se démocratise en France, à l'instar des États-Unis de l'entre-deux-guerres. En 1953, 20 % des ménages français possèdent une voiture, ils sont 30 % en 1960, 60 % en 1973 et plus de 80 % à partir des années 2000. La dépendance automobile s'installe, entre investissements routiers étatiques ou départementaux, promotion du lotissement pavillonnaire et de l'hypermarché, et rôle moteur historique de l'industrie automobile dans l'économie nationale : la part de la valeur ajoutée de l'automobile dans la VA de l'industrie manufacturière atteint 10 % en 1972 (coïncidant avec les 18 000 morts de l'année de pic de la mortalité routière en France) et se trouve encore à 9 % en 2000. Le taux d'équipement dépasse aujourd'hui les 85 %.

de Cerdà à Barcelone en 1860 ou des carrefours à giration d'Eugène Hénard (rond-point de la place de l'Étoile en 1906). La procédure des plans de circulation, au début des années 1970, poursuivra ces démarches d'ingénierie du trafic à coups de sens uniques et de feux tricolores. Certes quelques élargissements de rues et d'avenues au profit de la circulation automobile, plus souvent des grignotages de trottoirs et surtout une forte augmentation des surfaces viaires consacrées au stationnement (en linéaire ou en confiscation d'espaces publics), se sont accumulés au fil des décennies, créant cette perception d'envahissement. Mais Haussmann et les bombardements des deux guerres mondiales ont plus fait pour l'extension des surfaces de voiries que les inconsiderés mais inaboutis (à quelques exceptions près) projets d'autoroute urbaine. De fait, les transformations subies au nom de l'essor automobile par les villes françaises, dans leur tissu urbain constitué, concernent plus leur fonctionnement que leur morphologie ; une ambiance circulatoire réversible pour l'essentiel, même si le processus de reconquête prend quelques décennies : piétonisation des rues commerçantes de centre-ville dès les années 1970 ; tramways, et métros dans une moindre mesure, facilitant un nouveau partage de la voirie un peu moins favorable à la voiture, depuis les années 1980. Et c'est en 1996 que la Loi sur l'air et

l'utilisation rationnelle de l'énergie fixe un objectif de diminution du trafic automobile au profit des autres modes de transport. Presque toutes les municipalités des grandes agglomérations souhaitent aujourd'hui poursuivre ce mouvement d'apaisement du trafic.

Mais l'histoire officielle ainsi narrée des rapports entre la ville et l'automobile pêche, gravement, par omission. Car ce mouvement de croissance puis de réduction de la place de la voiture ne concerne que les villes-centres ou les centres d'agglomération. Et c'est ailleurs que les choses se passent, surtout ailleurs, non pas dans les espaces urbains historiques mais dans les territoires créés par l'automobile : banlieues désorganisées et réorganisées par la structure viaire des voies express et la métrique des vitesses à moteur, espaces périurbains des vies auto-mobiles. La « bagnole » n'a finalement que peu transformé la ville existante, elle a en revanche développé les espaces dilatés de l'automobile du quotidien, là où se parcourent l'essentiel des kilomètres, qui font aussi l'essentiel des émissions de gaz à effet de serre de la motorisation individuelle. Or, à l'instar de l'ivrogne qui cherche ses clés sous le lampadaire parce que c'est là que c'est éclairé, nos politiques de déplacement s'intéressent aux villes et au transport collectif, pas au périurbain et à la voiture. →





## → **L'automobile, impensé des politiques de déplacement**

Les mauvaises lunettes de l'action publique en matière de déplacements ont une explication. À la fin des années soixante, les transports collectifs urbains vont mal : les bus sont englués dans les embouteillages, il n'y a pas d'argent pour moderniser les réseaux, qui perdent peu à peu leur clientèle. L'invention du versement transport va fournir la manne nécessaire au développement des transports collectifs en site propre. Et l'idée de transfert modal (de la voiture vers le transport collectif – TC) va durablement structurer les politiques de déplacement. La logique est vertueuse : les transports collectifs se modernisent, ils deviennent donc compétitifs par rapport à la voiture, les automobilistes vont donc quitter leur véhicule pour prendre les TC, nouveaux clients participant au rééquilibrage des budgets consacrés aux transports collectifs urbains – TCU.

Formalisés en 1982, rendus obligatoires en 1996, les plans de déplacements urbains (PDU) entérinent cette vision en désignant les Autorités organisatrices de transport (AOT) comme maîtres d'ouvrage des PDU. En faisant du transfert modal l'alpha et l'oméga des politiques de déplacement, les responsables politiques et techniques ont oublié que le modèle de la ville compacte bien maillée par un réseau de transports collectifs efficace se trouvait en contradiction croissante avec la réalité de l'urbanisation, principalement déployée sur les territoires à faible densité des périphéries. Mais le dogme s'est installé, malgré les échecs de ce principe du transfert modal. Il perdure, fort du hold-up sémantique opéré par le petit monde des transports collectifs parlant désormais de mobilité... pour continuer à ne s'occuper que de TCU. L'automobile se trouve ainsi hors des radars des politiques dites de mobilité. On s'essaye, plus ou moins efficacement et de manière plus ou moins juste socialement, à en réduire la place en ville, et on ne s'intéresse pas à son usage hors la ville. Quelles bonnes questions s'avèrent ainsi ignorées des agendas politiques ?

## **En finir avec la voiture individuelle ?**

Nos voitures prennent de la place, en circulation comme à l'arrêt (90 % du temps !), et elles pèsent lourds. Dans les villes, où l'espace viaire est rare, le duo gagnant de la sobriété surfacique, c'est la marche de l'homme debout et le transport collectif massifiant les flux. Pas la voiture traditionnelle, surtout si son taux de remplissage est faible (ce qui est en particulier le cas pour les trajets domicile-travail). Pour contourner ces inconvénients de la voiture, de nombreuses villes asiatiques ont

plébiscité le deux-roues motorisé (de plus en plus souvent électrique). La traduction européenne de ce marché pourrait être la petite voiture urbaine, jamais vraiment promue par les stratégies industrielles, portées à la défense de l'automobile polyvalente. Indispensables à la vie quotidienne là où habitent la majorité des Français (hors des centres des grandes agglomérations), la voiture fragilise la résilience de ces territoires face aux crises socio-économiques et écologiques. L'industrie automobile focalise son attention, aidée par les pouvoirs publics, sur l'évolution des motorisations, ce qui ne répond en rien à ces problèmes de l'omniprésence automobile. C'est à la transformation du système automobile lui-même qu'il faut s'atteler. Il s'agit de proposer une transformation radicale des usages de l'automobile, la voiture autrement, non plus voiture individuelle mais une automobile collective et publique ; collective car partagée, publique car régulée. Partagée selon des dispositifs variés, adaptés aux contextes territoriaux, socio-économiques et institutionnels. Régulée dans ses emplois, selon les moments, les lieux, les motifs, les taux de remplissages.

### Coalitions d'acteurs

Les mutations à opérer ne jouent pas à la marge : un peu de covoiturage de courte distance, un peu d'automobiles en libre-service, un peu de taxi collectif... Non, c'est bien une transmutation de système qu'il faut opérer pour peser quantitativement dans l'évolution des chiffres de la mobilité. Les traditionnelles AOT, même récemment transformées par la loi en autorités organisatrices de mobilité, n'ont ni la légitimité politique ni la culture technique et organisationnelle pour porter les projets *ad hoc*. La mobilisation concerne l'ensemble des pouvoirs publics, départements, régions et État compris, par exemple pour assurer des voies réservées au covoiturage ; les entreprises et leurs salariés pour rationaliser les déplacements domicile-travail ; et tout ce qui participe d'une mise en réseau des offres et des demandes de déplacements, entre associations d'usagers et applications mobiles. Les innovations portées par le numérique constituent une autre aide précieuse dans le développement de services de mobilité sans couture. Intégrateur de mobilité peut constituer un nouveau métier pour logisticien malin, un business lucratif pour entreprise en quête de relai de croissance. Des fabricants de pneus aux entreprises du ferroviaire, des géants de l'informatique aux start-up du numérique, les candidats ne manquent pas. Après tout, ne sont-ce pas les frères Michelin qui, voulant élargir le marché des pneumatiques via le développement du réseau routier, ont offert à la France bornes de jalonnement, cartes et guides ? Quid

## “L'automobile est hors des radars des politiques de mobilité.”

des constructeurs automobiles aujourd'hui ? Ne pourraient-ils pas, au moins, considérer que l'innovation technique ne vaut que pensée comme facilitatrice de l'innovation organisationnelle ?

### Entre gouvernance de la mobilité et responsabilité sociale des constructeurs automobiles

L'industrie automobile ne peut pas ne pas se soucier des politiques territoriales, de ce qui fabrique les conditions de ses marchés et de leurs évolutions. Les constructeurs devraient intégrer les acteurs locaux comme des composantes clés de leur système client, alors que leur marketing ne s'adresse historiquement qu'à l'acheteur individuel de voiture. Les acteurs locaux, c'est-à-dire les responsables politiques dans leurs exercices de prospective ; les employeurs, à la fois usagers et opérateurs du système de déplacement, à l'occasion de l'élaboration de leurs plans de mobilité entreprise-administration ; les habitants et les passants réunis pour des démarches de concertation. Symétriquement, il convient de concevoir une gouvernance politique apte à favoriser sinon piloter la transition vers ce nouveau système automobile. Apte également, au-delà de la prise en compte de l'ensemble des modes de transport, à appréhender la mobilité comme fait social global, intégrant les questions de localisation, de distance et de temporalité. Cela peut se faire sans un énième grand soir institutionnel, si les pouvoirs en place apprennent à coopérer. L'avenir de l'automobile est bien l'affaire de la vie de la cité. X

### Références

- ALFRED SAUVY, *Les quatre roues de la fortune, essai sur l'automobile*, éd. Flammarion, 1968.
- GABRIEL DUPUY, *La dépendance automobile : symptômes, analyse, diagnostic, traitements*, éd. Anthropos, collection Villes, 1999.
- THIERRY MÉOT, *L'industrie automobile en France depuis 1950 : des mutations à la chaîne*, Insee Références 2009.
- MATHIEU FLONNEAU, *Georges Pompidou, président conducteur, et la première crise urbaine de l'automobile, Vingtième siècle*, n° 61, 1999, pp. 30-43.
- JEAN-MARC OFFNER, *Anachronismes urbains*, Presses de Sciences Po, 2020.
- Pourquoi faut-il des petits véhicules urbains à forte urbanité ? Comment les développer ?*
- J.-P. ORFEUIL in rapport Keller-Baupin, *Les nouvelles mobilités sereines et durables. Concevoir et utiliser des véhicules écologiques*, rapport n° 1713 Opecst, Assemblée nationale et Sénat, janvier 2014.