

La voiture électrique, nouvel axe des politiques industrielles

Entre 1895 et 1914, une effervescence inventive agite l'industrie naissante de l'automobile. A plusieurs égards, elle ressemble à celle qui agite aujourd'hui un monde de l'automobile, en pleine crise. Mais, dans une vingtaine d'années, les vainqueurs de la compétition en cours pourraient être tout autres que ceux sortis victorieux de la précédente...

par Grégoire POSTEL-VINAY*

Transportons-nous au 19^e siècle. D'un côté, nous avons les véhicules électriques : partis longtemps avant les moteurs thermiques (dès 1840), ils connaissent, à la fin du 19^e siècle, des progrès fulgurants. Chasseloup Laubat atteint les 63 km/h le 18 décembre 1898, aussitôt dépassé, le 17 janvier, par Jenatzy, avec 66,66 km/h. Le jour même, il reprend la main, en atteignant les 70,3 km/h. Le 27 janvier, Jenatzy en est à 80 km/h. Le 4 mars, Chasseloup Laubat reprend l'avantage, avec 92,78 km/h, sur une Jeantaud profilée. Le 1^{er} mai, Jenatzy pulvérise le précédent record : il est le premier au monde à franchir la barre des 100 km/h avec un véhicule automobile, atteignant 105,88 km/h, sur un km lancé, couvert en 34 secondes, soit à environ 120 km/h en vitesse de pointe, (près du double du record battu cinq mois plus tôt) et avec un temps de 47 secondes et quatre cinquièmes sur un km, départ arrêté. En 1904, on dépasse aux Etats-Unis les 100 miles/h. Simultanément, les métros et les tramways, ainsi que des taxis électriques, se développent (réduisant du même coup la pollution urbaine). En 1914, un tiers des voitures produites en Amérique sont des véhicules électriques.

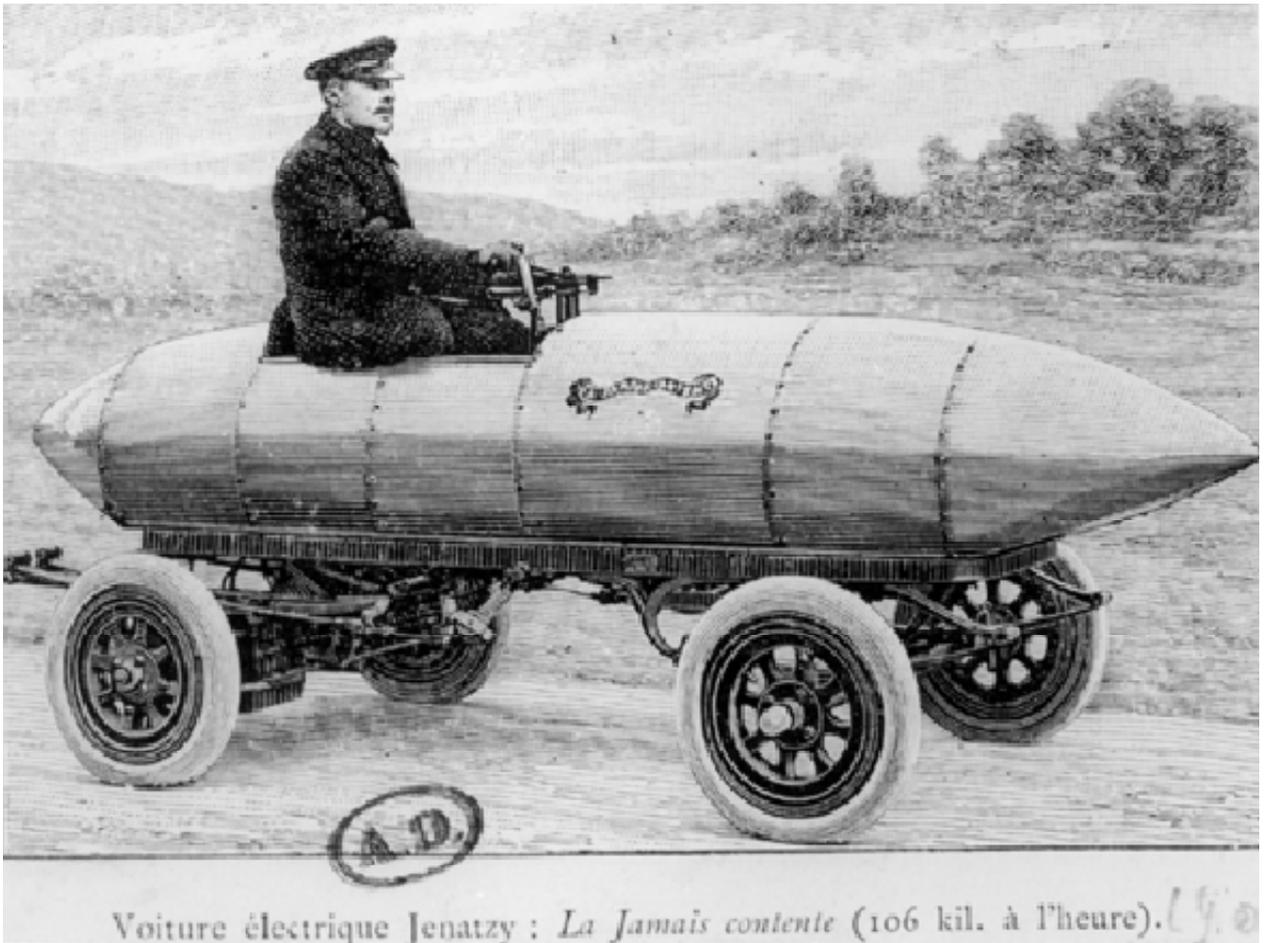
Face aux véhicules électriques, les voitures à moteurs thermiques ne sont pas en reste : dès 1895, Panhard, Benz, Peugeot trouvent dans l'aristocratie des adeptes de ce mode de transport. Et, en Europe, tout d'abord, puis aux Etats-Unis, le moteur à explosion supplante le

moteur électrique pour la propulsion automobile : c'est à des Nikolaus Otto, Etienne Lenoir, Rudolf Diesel et autre Conrad Schlumberger que l'on devra l'essentiel de cette expansion. Le motif en est simple : le pétrole devient abondant et peu cher, alors que les batteries ne progressent guère, limitant tant l'autonomie que la puissance des véhicules électriques par rapport à celles des véhicules à essence, dont la densité énergétique est plus élevée de deux ordres de grandeur. Cela se traduit dans les courbes de production de ces véhicules.

Le rêve du véhicule électrique se poursuit, cependant, avec quelques soubresauts : au début de la Seconde guerre mondiale, la pénurie de carburants suscite, un bref instant, un regain d'intérêt pour les véhicules électriques, mais ceux-ci seront vite supplantés par des voitures à gazogène. En 1968, on songe à un véhicule électrique, pour une personne, avec une autonomie de 200 kms.

A la fin des années 80, mais surtout après la première guerre d'Irak (1991), le véhicule électrique recommence à faire l'objet en France d'un certain intérêt (bien que distant) de la part de la puissance publique. Quelques bornes électriques de recharge sont installées dans les parkings publics, ce qui est une condition nécessaire mais non suffisante à leur développement. Celui-ci

* Direction Générale de la Compétitivité, de l'Industrie et des Services – Ministère de l'Economie, de l'Industrie et de l'Emploi (DGCIIS-MinEIE).



© Archives Charmet/THE BRIDGEMAN ART LIBRARY

« La Jamais Contente » : 106 km/h en 1899 ! Gravure, vers 1900.

commencera à partir de 1995. En Europe, fin 2006, 11 000 véhicules électriques circulent, dont 8 000 en France (5 000 d'entre eux étant des voitures électriques appartenant principalement aux flottes automobiles d'EDF et de La Poste, mais l'on relève également un début d'utilisation par des particuliers).

Quatre déclencheurs, quasi simultanés, vont conduire à un changement d'ampleur dans les ambitions, au cours de la seconde moitié de la décennie 2000 :

- La seconde guerre d'Irak (2003) et le choc pétrolier qui s'ensuit : ces deux événements mettent en évidence

le risque résultant d'une insuffisante sécurité des approvisionnements, qui obère le pouvoir d'achat des ménages et fait plonger le déficit commercial (pour la France, la facture pétrolière de 2008 atteint 59,4 G€ (1) ; 45 % de cette facture sont liés à la consommation des transports routiers ; si 2008, avec une croissance d'un tiers de cette facture, apparaît atypique, la tendance sur la longue période est, en revanche, à une croissance forte

(1) http://lekiosque.finances.gouv.fr/APPCHIFFRE/Etudes/thematiques/A2008_energie.pdf

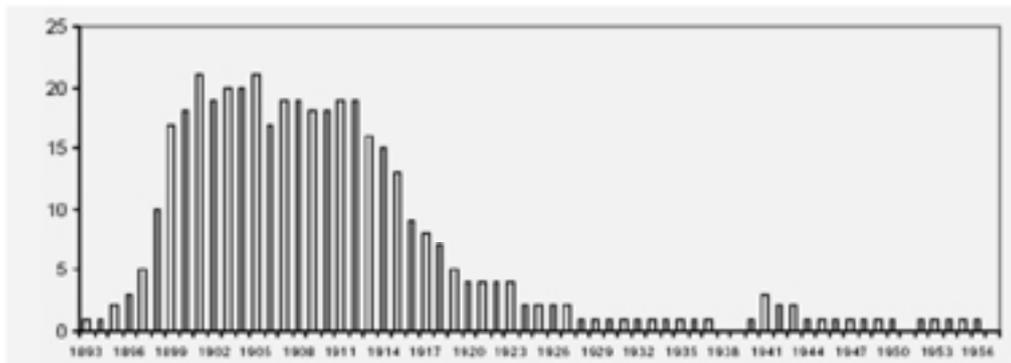


Figure 1 : Evolution du nombre de constructeurs de véhicules électriques (1893-1956) (in Midler et Beaume, actes du Gerpisa, *op. cit.*).

(2)). *Mutatis mutandis*, des problèmes comparables se posent à un grand nombre de pays de l'OCDE.

- La sensibilité accrue des populations aux risques liés à l'effet de serre : 13 % des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans le monde sont liées aux transports (doublement en une génération). Le pourcentage est de 22 % dans l'Union européenne et atteint 33 % en France (du fait du parc de centrales nucléaires, qui permet de réduire davantage les émissions liées aux consommations d'énergie dans des secteurs autres que le transport). Avec environ 130 millions de tonnes de CO₂, le secteur routier est ainsi, en France, le secteur qui émet le plus de gaz à effet de serre. Les engagements pris par le Conseil européen, le 12 décembre 2008, de réduire de 20 % les émissions de l'Union d'ici 2020 seront hors d'atteinte si l'on n'agit pas sur cette composante. Cela passe à la fois par l'amélioration des performances des véhicules thermiques et par le développement des usages électriques (pur ou hybride), tout en développant les sources d'électricité peu génératrices d'effet de serre, tant en France qu'au sein de l'Union européenne. Il faudrait réduire de 40 % les émissions de GES des véhicules neufs, en moyenne, d'ici 2020, pour tenir les objectifs fixés par le Conseil européen, compte tenu de l'inertie du parc existant. S'il est trop tôt (à l'heure où est écrit cet article) pour prévoir les résultats du sommet de Copenhague, l'on peut s'attendre à ce que, tant en Chine qu'aux Etats-Unis, ce sommet débouche sur des actions volontaristes visant à réduire les émissions de GES causées par l'automobile : une « croissance zéro » des émissions en Chine, dans un contexte de croissance économique historique de l'ordre de 6 % chaque année et, cela, sur 20 ans (sans revenir, toutefois, à la croissance « à deux chiffres » que la Chine a connue ces dernières années), implique que des moyens considérables soient mis en œuvre, d'ici à 2020. Et l'annonce faite par les Etats-Unis, lors du sommet des 17 économies majeures sur l'énergie et le climat de mai 2009, d'une réduction de l'ordre de 5 % des émissions par rapport à leur niveau de 1990 ou de 17 % par rapport à 2005, correspond à une inflexion très réelle de la politique suivie jusqu'à ce jour par ce pays (même si cette annonce est jugée insuffisante par les Européens et si, au moment où cet article est écrit, sa confirmation par le Sénat des Etats-Unis reste pendante).

- La crise de l'automobile, faisant suite à la crise financière mondiale : celle-ci conduit les constructeurs à rechercher des soutiens auprès des pouvoirs publics, lesquels vont, aux Etats-Unis, en Allemagne et en France, réagir positivement, tout particulièrement en ce qui concerne les investissements jugés porteurs d'avenir, c'est-à-dire répondant aux deux enjeux rappelés plus haut ; concomitamment, l'affaiblissement du pouvoir d'achat des populations les plus directement frappées par la crise (en particulier dans les banlieues lointaines non desservies par des transports en commun) conduit à rendre plus attractifs des véhicules, dont les

coûts d'utilisation sont jugés relativement peu dépendants de ceux du pétrole.

- Le développement économique des pays émergents (d'Asie, notamment) : il a pour conséquence que la croissance de la demande automobile au niveau mondial est désormais, pour l'essentiel, le fait de ces pays. Or, le Gouvernement chinois, par exemple, affiche une volonté claire de faire à moyen-long terme du véhicule électrique une composante importante de son parc automobile. Pour les grands constructeurs, ne pas prendre en compte cet enjeu reviendrait à se condamner au déclin. Ainsi, Dassault, Heuliez et le Ministère des Sciences et de la Technologie chinois (MoST) ont signé, dès janvier 2004, un premier accord de coopération dans le domaine du développement du véhicule électrique. Bolloré se lance dans un projet analogue. Aux Etats-Unis, l'EV1, de General Motors, a connu des déboires (relatés par le film « *Who Killed the Electric Car ?* », sorti en fin 2006). Au Japon, en revanche, Toyota réussit sa percée, en lançant sur le marché un véhicule hybride. A partir de 2007, et surtout en 2008 et 2009, se multiplient les rapports et les propositions (3) engageant les principaux constructeurs et les gouvernements (cf. tableau 1).

Ces rapports s'accompagnent de réalisations concrètes, tout en ayant à résoudre des problèmes identifiés de longue date et à y apporter des réponses innovantes. Ces problèmes concernent principalement :

A) Les batteries : capacité, rareté des matières premières nécessaires à leur fabrication (pour certaines d'entre elles), puissance de pointe encore insuffisante, nombre de cycles avant leur obsolescence trop faible, coût, rapidité des recharges ou des échanges, températures de fonctionnement. Des solutions innovantes doivent être trouvées pour remédier à ces problèmes.

B) Les équipements (publics et privés) permettant la recharge des batteries dans des conditions sûres. Il s'agit de passer à un niveau sensiblement supérieur aux quelques prises disponibles dans des parkings, qui étaient jusqu'à ce jour réservées à des marchés de niche. L'investissement, qui peut être considérable, requiert un modèle économique dépendant du coût du CO₂ et des externalités positives à attendre de ce type de développement (réduction des cancers liés aux particules

(2) Les bilans et factures énergétiques de la France depuis 1996 *DGEC - SoeS* <http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/bilans-factures.htm>

(3) Sans prétendre à l'exhaustivité :

From technology competition to reinventing individual mobility for a sustainable future : challenges for new design strategies for electric vehicle, Christophe Midler et Romain Beaume, Ecole Polytechnique, actes du Gerpisa ; *Le véhicule grand public d'ici 2030*, Jean Syrota, Romain Beaume, Jean Loup Loyer, Hervé Pouliquent, Denise Ravet, Philippe Rossinot, Centre d'analyse stratégique (septembre 2008) ; « De la voiture à la mobilité dans le futur », Gabriel Plassat, ADEME 2009 ;

« Développer les éco-industries en France » rapport du BCG pour le MinEIE, sous la direction de G. Postel-Vinay et Ivan Fauchoux, décembre 2008 (voler véhicule décarboné) ; http://www.minefe.gouv.fr/presse/dossiers_de_presse/081202ecotech2012/som_081202ecotech2012.php

Travaux en cours sur la prospective automobile, BIPE pour DGCIS, mai 2009, et sur la mobilité économe, CAS ; <http://wiki.admi.net/cgi-bin/wiki?ElectricCar>

Véhicule	Constructeur	Date de distribution
Electrique	Tesla (Californie, haut de gamme)	2008
	Mitsubishi (et coopération PSA)	2009 à 2011 selon les Etats (4)
	Renault-Nissan	2010 à 2012 selon les Etats (5)
	Bolloré	2010
	Dassault	
	Heuliez	Fin 2010 si reprise
	Subaru	2010
	Mercedes & Smart	2010
Hybride rechargeable (VE à complément thermique)	Toyota	2010
	Volkswagen	2010
Hybride (V Thermique à complément électrique)	BMW	2010
	Mercedes	2010

Tableau 1 : Des engagements concrets des constructeurs, pour les trois années à venir (2010-2012).

finances, balance du commerce extérieur, pouvoir d'achat des ménages, indépendance géopolitique, réduction de la pollution sonore (dans une certaine mesure), résilience du secteur automobile par rapport à d'éventuels chocs énergétiques ou économiques) ;

C) Les problèmes de normalisation (notamment pour les recharges, et ce, alors même que de multiples solutions, extrêmement diversifiées, sont actuellement en concurrence à l'échelle mondiale) ;

D) La compétitivité par rapport aux autres solutions (à commencer par les véhicules thermiques, qui conservent d'importantes marges de progrès) ;

E) La taille critique des marchés permettant de lancer une capacité de production, qui soit d'une dimension compatible avec la contrainte de compétitivité par rapport à d'autres types de véhicules ;

F) L'évolution vers des modes différenciés d'usage des véhicules, avec notamment le développement de véhicules individuels spécifiquement urbains ;

G) La constitution de chaînes de valeur dans lesquelles une part suffisamment significative de la valeur ajoutée et des emplois se trouvent localisés sur le territoire national (ce qui suppose d'être réactifs et innovants), évolution qui soit susceptible de représenter une alternative partielle à celles des véhicules thermiques (lesquels resteront dominants, à l'échéance 2030, en raison de la lenteur du renouvellement du parc automobile) ;

H) L'optimisation de la politique énergétique, en tenant compte de l'évolution de la nature de la demande, si l'émergence du véhicule électrique est effective.

(4) Le Gouvernement français veut favoriser les infrastructures de recharge pour les véhicules électriques et hybrides (Actu-Environnement.com – 18/02/2009)

http://www.actu-environnement.com/ae/news/jouanno_chatel_groupe_travail_recharge_vehicules_decarbones_6754.php4

(5) Enquête globale des transports, 2005, selon BCG.

Pour le point A (les batteries), on se reportera au tableau 3 résumant leurs principales caractéristiques, qui ont fait jusqu'ici privilégier les batteries Lithium-ion (leur performance en termes de nombre de cycles de recharge s'est encore accrue depuis l'élaboration de ce tableau). A noter qu'une équipe du MIT a tout récemment réalisé une percée en matière de réduction de la durée de charge. S'agissant de l'accès au lithium (un métal), les ressources exploitables sont de deux natures différentes :

- d'une part, des pegmatites à minéraux de lithium, qui, à l'exception des pegmatites de Tanco (au Canada) ou SoG (en Australie), se trouvent dans de petits gisements. Ces minéraux servent à l'industrie du verre ou de la céramique, mais pas à la production de l'oxyde de lithium-cobalt (LiCO) destiné aux batteries ;
- et, d'autre part, des salars à saumures, que l'on trouve dans de rares régions arides du monde (au Chili, en Argentine, en Bolivie, aux Etats-Unis et au Tibet). Ils servent à produire le carbonate de lithium. Quatre salars sont exploités dans le monde ; actuellement, de nouveaux projets d'exploitation de ces gisements se font jour au Chili, en Argentine, en Chine. Ce dernier pays annonce une capacité importante de production de LiCO, de l'ordre de 45 000 t/an au Tibet, en 2010. Un opérateur français s'est récemment intéressé à la Bolivie, concurrentement à la Chine et au Japon (cf. tableau 2).

Sur les points B et C (équipements de recharge et normalisation), les Etats généraux de l'automobile, qui se sont tenus le 20 janvier 2009, ont conduit à installer un groupe de travail chargé d'élaborer la stratégie nationale de développement des infrastructures de recharge nécessaires aux véhicules électriques et hybrides, d'ici à 2012, et, donc, de déterminer les conditions de mise en place de bornes de recharge (ou de stations d'échange de batteries) tant dans des espaces publics que dans des espaces privés.

	Pb-omb	Ni-Cd	Ni-MH	ZEBRA	Lithium-phosphate	Li-ion	Lithium-polymère
Energie spécifique (Wh/kg)	30-50*	45-80	60-110	120	120-140	150-190	150-190
Densité d'énergie (Wh/litre)	75-120	80-150	220-330	180	190-220	220-330	220-330
Puissance en pointe (W/kg)	Jusqu'à 700		Jusqu'à 900	200	Jusqu'à 800	Jusqu'à 1500	Jusqu'à 250
Nombre de cycles	400-600 ¹ 1200 ²	2000	1500	800	> 2000	500-1000	200-300
Autodécharge par mois	5 %	20 %	30 %	12% par jour	5 %	10 %	10 %
Tension nominale d'un élément	2 V	1,2 V	1,2 V	2,6 V	3,2 V	3,6V	3,7V
Gamme de température de fonctionnement	+ 20°C à 60°C	+ 40°C à 60°C	+ 20°C à 60°C	+ 20°C à 50°C	-0°C à 45°C (charge) -20°C à 60°C (décharge)	+ 20°C à 60°C	0°C à 60°C
Avantages	faible coût	Fiabilité, performance à froid	Très bonne densité énergétique	Très bonne densité énergétique, bonne cyclabilité	Très bonne densité d'énergie, sécurité, coût, cyclabilité	Excellente énergie et puissance	Batteries minces possibles
Inconvénients	faible énergie, mort subite	Relative-ment basse énergie, toxicité	Coût des matériaux de base, danger en cas de température élevée	Puissance limitée, auto-consommation	Charge à température positive	Sécurité des gros éléments, coût	Performance à froid, coût
Coûts indicatifs (€/kWh) ³	200 à 250 ¹ 200 ²	600	1500 à 2000	800 à 900	1000 à 1800	2000	1500 à 2000

Source : « le stockage électrochimique », dossier de l'ADEME, 2003 (Virginie SCHWARZ - Bernard GINDROZ)
Données techniques partiellement actualisées à 2007

* Les chiffres extrêmes des fourchettes correspondent à des tailles différentes d'éléments des gros éléments ayant en général des énergies plus élevées ou à des conceptions pour des applications différentes.

(1) conception standard

(2) conception tubulaire

(3) par kWh de capacité de la batterie et pour les volumes actuels de production

Tableau 2 : Comparaison entre les caractéristiques techniques des différents types d'accumulateurs.

Cette orientation s'inscrit en cohérence avec le plan de développement de véhicules dé-carbonés, doté de 400 M€ de financements publics d'ici à 2012 pour la R&D des véhicules électriques et hybrides rechargeables, et avec les activités des Pôles de compétitivité « Mobilité et transports avancés » et « Véhicule du futur ».

Ce plan prévoit également des mesures visant à mettre en place l'infrastructure nécessaire à la recharge des véhicules : la construction de nouveaux bâtiments pourraient ainsi intégrer d'emblée des prises électriques adéquates. Participent à ce travail les principales parties prenantes : distributeurs d'énergie, constructeurs automobiles, élus locaux, entreprises du BTP, gestionnaires de parkings, représentants des grandes surfaces commerciales.

Le même groupe doit traiter le point relatif aux normes et aux standards (point C) concernant l'ensemble du réseau, ainsi que la question de la mise en place d'un plan de développement économiquement viable. Ses conclusions sont attendues durant l'été 2009, ce qui permettra pour les textes réglementaires requis, une entrée en vigueur dès le 1^{er} janvier 2010 (6).

Les points D et E (compétitivité par rapport aux autres solutions et taille critique des marchés) sont, au premier chef, l'affaire des constructeurs eux-mêmes. Mais

compte tenu de leur interférence avec la gestion de l'espace public, il faut une vision partagée avec l'Etat et nombre de collectivités régionales ou locales.

En pratique, quelques exemples peuvent être cités :

- La Chine compte environ 40 millions de véhicules, chiffre qu'elle envisage de quintupler d'ici à 2020, et compte tenu de la ponction sur les ressources énergétiques mondiales que cela représenterait, elle souhaite que la moitié de son parc fonctionne avec des énergies nouvelles en 2020 : cela fait de la Chine le marché du véhicule électrique potentiellement le plus dynamique au monde. L'investissement dans les batteries remonte au minimum à 1990, surtout dans le cadre des technologies de l'information, mais il est en train d'évoluer vers la satisfaction de la demande automobile, au travers du plan quinquennal 2006-2010. En Chine, l'achat de véhicules électriques est subventionné : ces derniers ont fait l'objet de campagnes de promotion durant l'été 2008, à l'occasion des Jeux Olympiques de Pékin. Parmi les constructeurs de moteurs électriques chinois, on peut citer la *Shanghai Automobile Industry Corporation*, la *Shanghai Fuel Cell Vehicle Powertrain*

(6) http://www.challenges.fr/entreprises/20090302.CHA1598/mitsubishi_et_psa_se_lancent_dans_lélectrique.html

Company, ainsi que l'Université de Tongji (à Shanghai).

- Le Gouvernement allemand a réuni, fin 2008, quelque 400 experts chargés de définir des objectifs : il est parvenu à un chiffre de l'ordre du million de véhicules électriques en circulation en 2020 et de 5 millions en 2030, avec, pour ambition, le leadership mondial en matière d'électro-mobilité. Des projets pilotes sont soutenus dans le cadre d'un programme associant les différents ministères concernés, sous l'égide du ministère de la Recherche et de la Technologie (*Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie – BMWi*).

- Renault a pour la France des objectifs voisins de ceux retenus en Allemagne (les groupes de travail évoqués précédemment seront sans doute en mesure d'affiner les chiffres). PSA a relancé, en 2007, son activité dans les véhicules électriques, où il était leader en Europe, et il prévoit, par ailleurs, d'atteindre en 2020 le million de véhicules à hybridation légère.

- Une mission, confiée à Jean-Paul Bailly, président de La Poste, conduit à donner de la visibilité à la filière. Cela passe par les commandes, d'ici à la fin de l'année, de grandes entreprises (dont la Poste, EDF, France Télécom et GDF Suez), en vue de la constitution d'une flotte de 100 000 véhicules tout électrique, au cours des cinq années à venir.

- La ville de Paris développe, quant à elle, « l'Autolib », qui doit mettre à la disposition des usagers, d'ici à 2010, 4 000 véhicules (dont la moitié dans Paris intra-muros), avec 1 400 stations de recharge, pour un abonnement compris entre 15 et 20 €/mois et un coût de 4 à 5 € par demi-heure d'utilisation.

- A côté de ces grands opérateurs, d'autres entreprises se lancent : Heuliez, avec l'Heuliez Friendly, dont la mise sur le marché est prévue pour 2010 (si la solidité financière de l'entreprise est assurée) ou la WILL, en partenariat avec Michelin et son concept de moteturroue, ou encore Bolloré, avec la Bluecar. Matra Sport commercialise les véhicules électriques de Chrysler en France (GEM), ainsi que des vélos à assistance électrique. Venturi et PSA développent une version électrique de la Berlingo. Venturi développe aussi l'Eclectic, un quadricycle lourd urbain, et la Fetish, une voiture de sport (dans le même esprit que la Tesla). Les constructeurs Fam Automobiles, Ligier et Microcar ont eux aussi des projets (cette liste déjà conséquente n'est pas exhaustive : elle ne donne qu'une simple idée du foisonnement des projets).

- S'agissant des batteries, Saft et Johnson Controls ont créé une *joint-venture*, dont l'usine de Nersac (Charente) comporte la première ligne de production de batteries Lithium-ion au monde (cette *joint-venture* a noué un partenariat avec le constructeur automobile BMW).

- le Gouvernement français, quant à lui, s'est fondé, pour arrêter sa stratégie, sur une mission d'analyse, dont le rapport, remis en décembre 2008, présentait l'impact du véhicule électrique sur l'emploi en France, en envisageant différents scénarios de développement.

- Au Japon, Toyota, leader mondial, développe principalement des hybrides. Nissan envisage d'en commercialiser, en 2010. Fuji Heavy Industries, Takeoka et Matsushita sont très actifs, ce dernier ayant conclu un partenariat avec PSA (sur l'i-Miev). Le Gouvernement japonais subventionnera le développement des batteries à hauteur de 42 M€ par an dans le cadre d'un programme devant se poursuivre jusqu'en 2020. Le METI (*Ministry of Economy, Trade and Industry*) a regroupé également un consortium de 13 entreprises et de 11 laboratoires de recherche pour travailler sur le sujet, de façon comparable, *mutatis mutandis*, à ce que font les pôles de compétitivité français.

- Aux Etats-Unis, la loi « *Corporate Average Fuel Economy* », adoptée fin 2007, prévoit, à compter de 2020, des sanctions financières à l'encontre des industriels de l'automobile produisant des véhicules gros consommateurs de carburant. Des subventions d'un montant de 90 M\$ sont accordées, sur la période 2008 – 2012, par le Département de l'Energie, dans le cadre de la recherche sur les hybrides rechargeables et sur les véhicules électriques. Des garanties de prêts sont accordées pour financer la réalisation d'infrastructures servant aux véhicules électriques ou la fabrication de batteries Lithium-ion. La Californie fait un effort réglementaire particulier, *via* le *California Air Resource Board* (organisme californien de surveillance de la qualité de l'air). Le salon automobile de Detroit, début 2009, était principalement axé sur le développement de voitures hybrides et électriques par les grandes marques américaines. La restructuration de Chrysler (avec Fiat) correspond à un choix stratégique en faveur de la fabrication de voitures plus petites. Elle ne préjuge pas *a priori* du choix d'un type de motorisation, mais elle pourrait conduire à une certaine proportion de véhicules électriques dans la production. Enfin, trois sociétés nouvelles sont dédiées à ces véhicules : *Fisker Automotive*, *Phoenix Motors* et *Venture Vehicles*. Notons que les fabricants de batteries ont tendance à se regrouper.

Plus généralement, une frénésie d'annonces s'est emparée des constructeurs et des gouvernements, qui veulent tous prendre date sur un marché potentiellement porteur. Simultanément, certains Etats, par-delà les politiques d'incitation par les normes relatives aux émissions ou le coût du CO₂, agissent au moyen de politiques spécifiques visant à faciliter des innovations de rupture, permettant le passage aux véhicules électriques :

- En Californie, la politique ZEV (*Zero Emitting Vehicle*) (1994-2017) : il s'agit de la mise en place de quotas de production de véhicules « zéro émission » (ou à émissions réduites) imposés aux constructeurs et assortis de pénalités en cas de non-réalisation, ainsi que l'incitation au développement d'infrastructures (cf. *hydrogen highway*). Les résultats sont mitigés : certains objectifs ont été fortement revus à la baisse pour 2008-2012.

- En Israël, le programme de « cause nationale » *Better Place* (2012-2015) : il prévoit des investissements massifs sur le réseau d'infrastructures et l'adoption d'une politi-

que fiscale significative. Cette politique a fait des émules (Danemark, Portugal, Japon, Californie, Australie...).

- En Angleterre, les programmes *Low Carbon Vehicle Innovation Platform* et *Low Carbon Vehicle public procurement*, (2007-2014). Il s'agit d'un ensemble de partenariats privés/publics : R&D, véhicules démonstrateurs et commandes publiques.

Au-delà de ces éléments, l'équation à résoudre est relativement simple : le coût d'un véhicule thermique pour son usager inclut le prix d'achat, la maintenance, l'essence (y compris la taxe intérieure sur les produits pétroliers – TIPP) et, dans le futur, une taxe sur le CO₂. Le coût d'un véhicule électrique, quant à lui, intègre le prix d'achat (en général plus élevé que celui du véhicule thermique, mais pouvant au besoin être réduit par une aide publique tenant compte des externalités positives pour la collectivité), le coût de la maintenance, et celui de l'électricité et de la location des batteries. Les principales questions à résoudre sont donc la réduction du coût des batteries, l'allongement de leur longévité, et la lutte contre l'alourdissement des voitures, constaté depuis le contre-choc pétrolier des années 80, ainsi que contre la multiplication des appareils électriques à bord (tout au moins pour les véhicules d'entrée de gamme). Par ailleurs, il sera nécessaire de fixer une taxation CO₂ à un niveau suffisant, à partir du moment où le marché aura décollé, et de s'assurer que la perte de TIPP ne soit pas compensée par une taxation de l'énergie électrique, tout au moins quand sa production ne génère pas de gaz à effet de serre : une des premières justifications de la TIPP étant précisément de donner un signal sur la rareté d'une ressource non renouvelable et génératrice de gaz à effet de serre, il n'y aurait pas grand sens à taxer surabondamment des ressources énergétiques davantage pérennes et propres, nonobstant la réduction du déficit des finances publiques.

Dans ces conditions, le développement de la filière peut s'effectuer *grosso modo* de la sorte :

- la période 2010-2015 : la croissance sera due principalement à l'auto-partage, à la constitution de flottes d'entreprises, aux livraisons en ville, et à la montée en puissance de la production de véhicules particuliers achetés par des précurseurs (Flins par exemple en produira dès 2012) ;

- la période 2015-2020 : les véhicules particuliers (2^e voitures urbaines et péri-urbaines, hors vacances) se développeront à une plus grande échelle ;

- au-delà, une croissance de véhicules purement urbains et péri-urbains de type *city cars* est envisageable.

Le point F (différenciation des véhicules et notamment développement de véhicules spécifiquement urbains) a été longtemps considéré comme une option non-viable par les constructeurs : les usagers préféreraient un véhicule à tout faire, du type « couteau suisse ». Cependant, des solutions mixtes sont en cours d'expérimentation : location d'un véhicule de plus grande capacité pendant les quelques jours dans l'année où il est requis et, pour les voyages ferroviaires de longue distance, amélioration des services de location à l'arrivée et de logistique, développement de formes d'écotourisme (sans voiture sur les lieux résidentiels)... D'autre part, l'expansion géographique des grandes métropoles accroît, de toutes les façons, l'utilité de véhicules servant à des usages quotidiens sur des trajets relativement courts, qui se situent dans une large mesure dans les limites d'autonomie d'un véhicule électrique, et correspondent à la très grande majorité des kilométrages effectivement parcourus aujourd'hui (voir le tableau 3). A l'horizon 2030, s'agissant de l'Île-de-France, où l'on comptera environ 21 millions de trajets quotidiens, la part de la voiture pourrait être de 68 % (contre 32 % pour les transports en commun). Si la proportion est inverse, en ce qui concerne les trajets internes à Paris, où la couverture des transports en communs est très dense, la part prise par la voiture individuelle dans les transports croît au fur et à mesure que l'on va vers la grande banlieue. En Île-de-France, 98 % des trajets font moins de 30 kms (7). L'alternative, simultanément développée (dans des gammes plus sophistiquées), consiste à produire des véhicules hybrides, pour lesquels il y aura également un marché. A noter, toutefois, que leur contribution à la réduction de l'effet de serre est moindre que celle des véhicules tout électrique, bien qu'elle reste positive.

(7) <http://www.leparisien.fr/automobile/l-irlande-roulera-electrique-avec-renault-nissan-03-04-2009-465937.php>
<http://www.leparisien.fr/economie/des-2011-on-pourra-rouler-en-renault-electrique-21-05-2009-520280.php>

distance au travail – source INSEE Première N° 767 – avril 2001			
catégorie	Nombre d'actifs	Distance moyenne au travail	kilométrage quotidien total
ne changent pas de commune pour aller travailler	9.012.614	7	63.088.298
changent de commune	14.042.588	15,1	212.043.079
changent de département	2.550.650	26,7	68.102.355
changent de région	719.847	56,9	40.959.294
changent de pays	280.896	40	11.235.840
Ensemble	26.606.595	14,9	395428866

Tableau 3 : Les différents trajets domicile-travail effectués par les actifs français en 2001 (source : Insee Première).

Scénarios 2020	Impact valeur ajoutée (M€, en 2020)	Impact emplois directs VE (en 2020)	Impact balance commerciale / an
20 % de VE produits en France, et 20 % des groupes motopropulseurs électriques	678	1000	-420
50 % au lieu de 20 %	3 871	5 300	+ 2 800

Tableau 4.

Le point G (impacts sur le territoire français), le plus complexe dans un contexte particulièrement mouvant, dépend fondamentalement de la réactivité des opérateurs, comme à la fin du XIX^e siècle. L'étude rendue publique en décembre 2008 sur les éco-industries esquisse cependant des estimations pour la France, selon deux scénarios contrastés (voir tableau 4).

S'agissant des coûts et bénéfices des politiques publiques requises, leur chiffrage n'est encore que partiel et présente une forte variabilité selon les nombreuses hypothèses sur l'évolution réelle des prix de l'énergie. Certains ordres de grandeur sont disponibles : des contributions aux infrastructures pour 1,5 G€ cumulées d'ici 2020, un bonus/malus véhicule électrique (VE) de l'ordre de 3,8 G€ (5 000 € pour les 100 000 premiers VE, et - 5 % par an après). D'autres ordres de grandeur (impact sur la TIPP, gains fiscaux et sociaux sur les emplois créés tant pour les VE que pour les infrastructures, gains sur les dépenses de santé, sur l'entretien des bâtiments publics et privés, sur la moindre dépendance géopolitique aux hydrocarbures, gains macroéconomiques liés à la réduction du déficit commercial) dépendent dans de vastes proportions des scénarios envisagés, en particulier en ce qui concerne l'accès aux hydrocarbures à moyen et long terme.

Le point H est souvent oublié, bien qu'il soit important : il s'agit de l'inflexion de la politique énergétique, qui pourrait être liée au développement du véhicule électrique. Si, à l'horizon 2020, le parc installé devait être de 3,33 % en tout électrique et de 15 % en 2030 (scénario correspondant à 1 million de véhicules électriques en 2020, option volontariste mais modeste au regard de certains concurrents, puis, ensuite, poursuite d'une croissance lente par rapport à la part de marché de 2020, compatible avec les caractéristiques de la demande alors constatée), ce seraient environ $30 \text{ M} \times 15 \% \times 25 \text{ kWh}/100 \text{ kms} \times 10\,000 \text{ kms/an}$, soit 11,25 TWh de combustibles autres qui seraient économisés. En supposant que ces véhicules soient majoritairement rechargés durant la nuit (soit par les loueurs de batteries, soit par les particuliers eux-mêmes, chez eux), cela justifierait la construction d'un équipement supplémentaire en « base » d'électricité non productrice d'effet de serre. Cette situation permettrait, à son tour, d'éviter des consommations d'hydrocarbures ou de charbon liées à la production d'électricité en heures de pointe, ce qui réduirait d'autant la dépendance énergétique de la France et son déficit commercial. Il y a mieux : si le conducteur utilise la batterie de sa voiture, une fois ren-

tré chez lui, le soir, pour des usages électroménagers (elle n'est en général pas totalement vidée, à ce moment-là), évitant ainsi aux producteurs d'avoir à mettre en œuvre des moyens de production coûteux lors de la pointe de consommation, quitte à recharger la batterie la nuit, lorsque seuls les moyens « en base » fonctionnent, à un coût du kWh beaucoup plus réduit, il est imaginable alors d'avoir une tarification qui permette à l'utilisateur d'un véhicule électrique de réaliser des économies sur sa facture d'électricité domestique, tout en diminuant les appels de puissance de pointe sur le réseau (à condition d'avoir mis en œuvre les liaisons informatisées nécessaires avec le réseau, permettant de recharger les batteries en période idoine). Cela vaut pour la France, en raison de son parc de production électrique nucléaire et hydroélectrique, auquel s'ajouteront, à terme, de nouvelles ressources non génératrices d'effet de serre. Mais c'est vrai aussi, dans une moindre mesure, pour l'Europe, où dix-sept pays disposent déjà d'un parc nucléaire, et où ceux qui ont mis en œuvre des programmes de développement d'énergies renouvelables et non génératrices d'effet de serre, sont nombreux. Cela rendrait ainsi le système européen, dans son ensemble, plus résilient aux crises énergétiques (de la nature de celle que nous avons connue en 2008).

De ce qui précède, ressortent au moins trois points : le premier est que le véhicule électrique n'a pas dit son dernier mot et que le temps travaille pour lui ; le second est le fait que l'activisme développé par les principaux pays disposant d'une industrie automobile doit conduire à une grande vigilance et à une importante réactivité, tant des constructeurs que des puissances publiques ; le troisième est que le système automobile se caractérise néanmoins par une grande inertie, et que la crise actuelle ne sera pas résolue, en termes d'emplois à court terme, au moyen du seul développement du véhicule électrique, même si celui-ci peut y contribuer de manière significative, notamment via les emplois induits dans les infrastructures nouvelles et une intensification de l'innovation. En revanche, apporter une attention à ce type de véhicules est crucial pour l'avenir, si nous désirons jouer quelque rôle, positif autant qu'il se pourra, dans un des grands déterminants de l'avenir du monde : maintenir la liberté de déplacement, incomparable, qu'a apportée la voiture individuelle, tout en réduisant, drastiquement désormais, les nuisances.

NB : Les propos rapportés dans cet article n'engagent que son auteur, et non pas son institution.