



Académie des technologies

Commission mobilité et transport

---

# Le véhicule du futur

---

Rapport  
Septembre 2012

Imprimé en France  
ISBN : 978-2-7598-1008-6

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1<sup>er</sup> de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences 2013

## PUBLICATIONS DE L'ACADÉMIE

Les travaux de l'Académie des technologies sont l'objet de publications réparties en quatre collections<sup>1</sup> :

- ▶ Les rapports de l'Académie : ce sont des textes rédigés par un groupe de l'Académie dans le cadre du programme décidé par l'Académie et suivi par le Comité des travaux. Ces textes sont soumis au Comité de la qualité, votés par l'Assemblée, puis rendus publics. On trouve dans la même collection les avis de l'Académie, également votés en Assemblée, et dont le conseil académique a décidé de la publication sous forme d'ouvrage papier. Cette collection est sous couverture bleue.

<sup>1</sup> - Les ouvrages de l'Académie des technologies publiés entre 2008 et 2012 peuvent être commandés aux Éditions Le Manuscrit (<http://www.manuscrit.com>). La plupart existent tant sous forme matérielle que sous forme électronique.  
- Les titres publiés à partir de janvier 2013 sont disponibles en librairie et sous forme de ebook payant sur le site de EDP sciences (<http://www.edition-sciences.com>). À échéance de six mois ils sont téléchargeables directement et gratuitement sur le site de l'Académie.  
- Les publications plus anciennes n'ont pas fait l'objet d'une diffusion commerciale, elles sont consultables et téléchargeables sur le site public de l'Académie [www.academie-technologies.fr](http://www.academie-technologies.fr), dans la rubrique « Publications ». De plus, l'Académie dispose encore pour certaines d'entre elles d'exemplaires imprimés.

- ▶ Les communications à l'Académie, rédigées par un ou plusieurs Académiciens. Elles sont soumises au Comité de la qualité et débattues en Assemblée. Non soumises à son vote elles n'engagent pas l'Académie. Elles sont rendues publiques comme telles, sur décision du Conseil académique. Cette collection est publiée sous couverture rouge.
- ▶ Les « Dix questions à ... et dix questions sur ... » : un auteur spécialiste d'un sujet est sélectionné par le Comité des travaux et propose dix à quinze pages au maximum, sous forme de réponses à dix questions qu'il a élaborées lui-même ou après discussion avec un journaliste de ses connaissances ou des collègues (Dix questions à ...). Ce type de document peut aussi être rédigé sur un thème défini par l'Académie par un académicien ou un groupe d'académiciens (Dix questions sur ...). Dans les deux cas ces textes sont écrits de manière à être accessibles à un public non-spécialisé. Cette collection est publiée sous une couverture verte.
- ▶ Les grandes aventures technologiques françaises : témoignages d'un membre de l'Académie ayant contribué à l'histoire industrielle. Cette collection est publiée sous couverture jaune.
- ▶ Par ailleurs, concernant les Avis, l'Académie des technologies est amenée, comme cela est spécifié dans ses missions, à remettre des Avis suite à la saisine d'une collectivité publique ou par auto saisine en réaction à l'actualité. Lorsqu'un avis ne fait pas l'objet d'une publication matérielle, il est, après accord de l'organisme demandeur, mis en ligne sur le site public de l'Académie.
- ▶ Enfin, l'Académie participe aussi à des co-études avec ses partenaires, notamment les Académies des sciences, de médecine, d'agriculture, de pharmacie ...

Tous les documents émis par l'Académie des technologies depuis sa création sont répertoriés sur le site [www.academie-technologies.fr](http://www.academie-technologies.fr). La plupart sont peuvent être consultés sur ce site et ils sont pour beaucoup téléchargeables.

Dans la liste ci-dessous, les documents édités sous forme d'ouvrage imprimé commercialisé sont signalés par une astérisque. Les publications les plus récentes sont signalées sur le site des éditions. Toutes les publications existent aussi sous forme électronique au format pdf et pour les plus récentes au format ebook.

**AVIS DE L'ACADÉMIE**

1. Brevetabilité des inventions mises en œuvre par ordinateurs : avis au Premier ministre – juin 2001
2. Note complémentaire au premier avis transmis au Premier ministre – juin 2003
3. Quelles méthodologies doit-on mettre en œuvre pour définir les grandes orientations de la recherche française et comment, à partir de cette approche, donner plus de lisibilité à la politique engagée ? – décembre 2003
4. Les indicateurs pertinents permettant le suivi des flux de jeunes scientifiques et ingénieurs français vers d'autres pays, notamment les États-Unis – décembre 2003
5. Recenser les paramètres susceptibles de constituer une grille d'analyse commune à toutes les questions concernant l'énergie – décembre 2003
6. Commentaires sur le Livre Blanc sur les énergies – janvier 2004
7. Premières remarques à propos de la réflexion et de la concertation sur l'avenir de la recherche lancée par le ministère de la Recherche – mars 2004
8. Le système français de recherche et d'innovation (SFRI). Vue d'ensemble du système français de recherche et d'innovation – juin 2004
  - Annexe 1 – La gouvernance du système de recherche
  - Annexe 2 – Causes structurelles du déficit d'innovation technologique. Constat, analyse et proposition.
9. L'enseignement des technologies de l'école primaire aux lycées – septembre 2004
10. L'évaluation de la recherche – mars 2007
11. L'enseignement supérieur – juillet 2007
12. La structuration du CNRS – novembre 2008
13. La réforme du recrutement et de la formation des enseignants des lycées professionnels – Recommandation de l'Académie des technologies – avril 2009
14. La stratégie nationale de recherche et l'innovation (SNRI) – octobre 2009
15. Les crédits carbone – novembre 2009
16. Réduire l'exposition aux ondes des antennes-relais n'est pas justifié scientifiquement : mise au point de l'Académie nationale de médecine, de l'Académie des sciences et de l'Académie des technologies – décembre 2009
17. Les biotechnologies demain – juillet 2010
18. Les bons usages du Principe de précaution – octobre 2010
19. La validation de l'Acquis de l'expérience (VAE) – janvier 2012
20. Mise en œuvre de la directive des quotas pour la période 2013–2020 – mars 2011

21. Le devenir des IUT – mai 2011
22. Le financement des start-up de biotechnologies pharmaceutiques – septembre 2011
23. Recherche et innovation : Quelles politiques pour les régions ? – juillet 2012
24. La biologie de synthèse et les biotechnologies industrielles (blanches) – octobre 2012
25. Les produits chimiques dans notre environnement quotidien – octobre 2012
26. L'introduction de la technologie au lycée dans les filières d'enseignement général – décembre 2012
27. Évaluation de la recherche technologique publique – février 2013
28. L'usage de la langue anglaise dans l'enseignement supérieur – mai 2013

#### **RAPPORTS DE L'ACADÉMIE**

1. Analyse des cycles de vie – octobre 2002
2. Le gaz naturel – octobre 2002
3. Les nanotechnologies : enjeux et conditions de réussite d'un projet national de recherche – décembre 2002
4. Les progrès technologiques au sein des industries alimentaires – Impact sur la qualité des aliments / La filière lait – mai 2003
5. \*Métrologie du futur – mai 2004
6. \*Interaction Homme-Machine – octobre 2004
7. \*Enquête sur les frontières de la simulation numérique – juin 2005
8. Progrès technologiques au sein des industries alimentaires – la filière laitière, rapport en commun avec l'Académie d'agriculture de France – 2006
9. \*Le patient, les technologies et la médecine ambulatoire – avril 2008
10. \*Le transport de marchandises – janvier 2009 (version anglaise au numéro 15)
11. \*Efficacité énergétique dans l'habitat et les bâtiments – avril 2009 (version anglaise au numéro 17)
12. \*L'enseignement professionnel – décembre 2010
13. \*Vecteurs d'énergie – décembre 2011 (version anglaise au numéro 16)
14. \*Le véhicule du futur – septembre 2012 (publication juin 2013)
15. \*Freight systems (version anglaise du rapport 10 le transport de marchandises) – novembre 2012
16. \*Energy vectors – novembre 2012 (version anglaise du numéro 13)

17. \*Energy Efficiency in Buildings and Housing – novembre 2012 (version anglaise du numéro 11)
18. \* Première contribution de l'Académie des technologies au débat national sur l'énergie / First contribution of the national academy of technologies of France to the national debate on the future of energies supply – ouvrage bilingue, juillet 2013
19. \*Les grands systèmes socio-techniques / Large Socio-Technical Systems – ouvrage bilingue, juillet 2013

### **COMUNICATIONS DE L'ACADÉMIE**

1. \*Prospective sur l'énergie au XXI<sup>e</sup> siècle, synthèse de la Commission énergie et environnement – avril 2004, MàJ décembre 2004
2. Rapports sectoriels dans le cadre de la Commission énergie et environnement et changement climatique :
3. Les émissions humaines – août 2003
  - Économies d'énergie dans l'habitat – août 2003
  - Le changement climatique et la lutte contre l'effet de serre – août 2003
  - Le cycle du carbone – août 2003
  - Charbon, quel avenir ? – décembre 2003
  - Gaz naturel – décembre 2003
  - Facteur 4 sur les émissions de CO<sub>2</sub> – mars 2005
  - Les filières nucléaires aujourd'hui et demain – mars 2005
  - Énergie hydraulique et énergie éolienne – novembre 2005
  - La séquestration du CO<sub>2</sub> – décembre 2005
  - Que penser de l'épuisement des réserves pétrolières et de l'évolution du prix du brut ? – mars 2007
4. Pour une politique audacieuse de recherche, développement et d'innovation de la France – juillet 2004
5. \*Les TIC : un enjeu économique et sociétal pour la France – juillet 2005
6. \*Perspectives de l'énergie solaire en France – juillet 2008
7. \*Des relations entre entreprise et recherche extérieure – octobre 2008
8. \*Prospective sur l'énergie au XXI<sup>e</sup> siècle, synthèse de la Commission énergie et environnement, version française et anglaise, réactualisation – octobre 2008
9. \*L'énergie hydro-électrique et l'énergie éolienne – janvier 2009
10. \*Les Biocarburants – février 2010
11. \*PME, technologies et développement – mars 2010.

12. \*Biotechnologies et environnement – avril 2010
13. \*Des bons usages du Principe de précaution – février 2011
14. L'exploration des réserves françaises d'hydrocarbures de roche mère (gaz et huile de schiste) – mai 2011
15. \*Les ruptures technologiques et l'innovation – février 2012
16. \*Risques liés aux nanoparticules manufacturées – février 2012
17. \*Alimentation, innovation et consommateurs – juin 2012
18. Vers une technologie de la conscience – juin 2012 (à paraître)
19. Profiter des ruptures technologiques pour gagner en compétitivité et en capacité d'innovation – juin 2012 (à paraître)
20. Les produits chimiques au quotidien – novembre 2012 (à paraître)
21. Profiter des ruptures technologiques pour gagner en compétitivité et en capacité d'innovation – novembre 2012 (à paraître)
22. Dynamiser l'innovation par la recherche et la technologie – novembre 2012
23. La technologie, école d'intelligence innovante. Pour une introduction au lycée dans les filières de l'enseignement général – octobre 2012 (à paraître)

#### **DIX QUESTIONS POSÉES À...**

1. \*Les déchets nucléaires – 10 questions posées à Robert Guillaumont – décembre 2004
2. \*L'avenir du charbon – 10 questions posées à Gilbert Ruelle – janvier 2005
3. \*L'hydrogène – 10 questions posées à Jean Dhers – janvier 2005
4. \*Relations entre la technologie, la croissance et l'emploi – 10 questions à Jacques Lesourne – mars 2007
5. \*Stockage de l'énergie électrique – 10 questions posées à Jean Dhers – décembre 2007
6. \*L'éolien, une énergie du XXI<sup>e</sup> siècle – 10 questions posées à Gilbert Ruelle – octobre 2008
7. \*La robotique – 10 questions posées à Philippe Coiffet, version franco-anglaise – septembre 2009
8. \*L'intelligence artificielle – 10 questions posées à Gérard Sabah – septembre 2009
9. \*La validation des acquis de l'expérience – 10 questions posées à Bernard Decomps – juillet 2012

**GRANDES AVENTURES TECHNOLOGIQUES**

1. \*Le Rilsan – par Pierre Castillon – octobre 2006
2. \*Un siècle d'énergie nucléaire – par Michel Hug – novembre 2009

**HORS COLLECTION**

1. Libérer Prométhée – mai 2011

**CO-ÉTUDES**

1. Progrès technologiques au sein des industries alimentaires – La filière laitière. Rapport en commun avec l'Académie d'agriculture de France – mai 2004
2. Influence de l'évolution des technologies de production et de transformation des grains et des graines sur la qualité des aliments. Rapport commun avec l'Académie d'agriculture de France – février 2006
3. \*Longévité de l'information numérique – Jean-Charles Hourcade, Franck Laloë et Erich Spitz. Rapport commun avec l'Académie des sciences – mars 2010, EDP Sciences
4. \*Créativité et Innovation dans les territoires – Michel Godet, Jean-Michel Charpin, Yves Farge et François Guinot. Rapport commun du Conseil d'analyse économique, de la Datar et de l'Académie des technologies – août 2010 à la Documentation française
5. \*Libérer l'innovation dans les territoires. Synthèse du Rapport commun du Conseil d'analyse économique, de la Datar et de l'Académie des technologies. Créativité et Innovation dans les territoires Édition de poche – septembre 2010 – réédition novembre 2010 à la Documentation française
6. \*La Métallurgie, science et ingénierie – André Pineau et Yves Quéré. Rapport commun avec l'Académie des sciences (RST) – décembre 2010, EDP Sciences.
7. Les cahiers de la ville décarbonée en liaison avec le pôle de compétitivité Advancity
8. Le brevet, outil de l'innovation et de la valorisation – Son devenir dans une économie mondialisée – Actes du colloque organisé conjointement avec l'Académie des sciences le 5 juillet 2012 éditions Tec & doc – Lavoisier

## SOMMAIRE

- 01 Introduction
  
- 05 **Panorama de la production automobile mondiale et de son industrie**
- 06 Les nouveaux paradigmes du marché automobile
- 06 Le produit automobile. Rappel de quelques données essentielles et les changements en cours
- 14 Une production qui a une dimension environnementale
- 19 Les évolutions du « système automobile » : Quel véhicule ?
  
- 29 **Les nouvelles mobilités et les nouveaux usages**
- 31 Les besoins de la population
- 32 Impact de l'énergie et des technologies de l'information et des communications (TIC)
- 34 La transformation des structures spatiales
- 36 Les défis pour l'industrie
- 39 La gouvernance et les politiques publiques

41	<b>L'approche « système » du véhicule du futur</b>
43	Le système routier
51	L'écosystème de mobilité électrique
59	Quelle place pour le système automobile français dans la compétition mondiale ?
61	Quelles innovations ?
65	<b>La dimension technologique du véhicule du futur</b>
66	Les verrous technologiques
70	La robotique collaborative
70	Les TIC et l'électronique grand public dans le véhicule
73	<b>Conclusion</b>
77	<b>Bibliographie</b>
77	<b>Le véhicule du futur</b>
81	<b>Auditions</b>
82	<b>Contributions</b>
83	<b>Glossaire</b>



Rapport de l'Académie des Technologies  
Le véhicule du futur

---

# INTRODUCTION

Dans une humanité de 7 milliards d'individus, il y a plus de 700 millions de véhicules particuliers et il s'en fabrique plus de 70 millions par an<sup>1</sup> ! C'est cette croissance rapide, dans un contexte de profonde évolution des politiques énergétiques<sup>2</sup> et de nécessaire limitation des gaz à effet de serre qui conduit à se poser la question du véhicule du futur.

Ce thème est l'objet de nombreuses études qui sont pour la plupart bien documentées et qui ont comme caractéristiques :

- ▶ soit de traiter exclusivement du véhicule, avec un tropisme véhicule électrique (rapport Syrota Le véhicule « grand public » d'ici 2030 (publié en 2008)) ;
- ▶ soit de traiter de la filière – toujours avec une forte interrogation relative au véhicule électrique (rapport sur la structuration de la filière des véhicules décarbonés du sénateur Nègre [2011]) ;
- ▶ soit du véhicule du futur dans la perspective de la réduction des émissions de gaz à effet de serre (facteur 4) (voir « Mobilités et transports du futur – Quelles rencontres pour le XXI<sup>e</sup> siècle ? », ouvrage de G. Plassat [2012]).

<sup>1</sup> En 2011, la production mondiale de VL est en fait proche de 80 millions de véhicules légers.

<sup>2</sup> Voir le rapport de l'Académie des technologies sur les « Vecteurs d'énergie » – novembre 2011.

Le propos du travail de la commission mobilité et transport n'est pas d'ajouter à ces travaux un nouveau rapport mais d'adopter une approche différente qui est le fruit d'un constat :

- ▶ la France est passée en dix ans, d'une situation d'un solde exportateur positif à un solde négatif pour l'industrie automobile ;
- ▶ la capacité de production de véhicules sur le territoire national est en constante régression, cela vaut aussi pour les équipementiers, et depuis quelques mois un des constructeurs nationaux PSA connaît une crise majeure ;
- ▶ les comportements d'achat des Français ont changé, et tout comme avait changé celui des jeunes Japonais dès les années 90, les générations Y<sup>3</sup> sont bien moins intéressées par la possession d'une voiture depuis dix ans ; le parc automobile français (38 millions de véhicules) n'a progressé en moyenne que de 1 % par an.

La question essentielle peut être formulée ainsi : le véhicule du futur sera-t-il produit en France et faut-il qu'il le soit ? Dans le constat de la désindustrialisation liée à la globalisation, conséquence de l'usine monde, faut-il conserver une industrie automobile en France, ou admettre que pour la survie des marques françaises, cette délocalisation vers les marchés en forte croissance (l'Asie par exemple) est inéluctable<sup>4</sup> ?

La commission a sur cette question une position tranchée. Elle a parfaitement conscience de la transformation de processus de fabrication en processus de service (dont les services industriels), et l'automobile, comme elle le montrera, illustre cette évolution. Mais elle pense que la perte d'une industrie techniquement complexe, riche de milliers d'emplois (dont environ 400 000 directs) sera préjudiciable à la capacité d'innovation des autres secteurs de l'économie nationale et européenne. Peut-on imaginer dans le futur une large adoption de l'hydrogène par l'industrie du transport si l'industrie automobile ne l'a pas popularisé et abaissé les coûts ?

<sup>3</sup> Désigne les jeunes générations nées avec l'ère du tout numérique (1980–2000), aux États-Unis les « digital natives » aujourd'hui accros des réseaux sociaux. Quant à l'origine de l'appellation Y certains comparent cette lettre à la forme des cordons des écouteurs.

<sup>4</sup> Les constructeurs ont très régulièrement alerté les pouvoirs publics sur le coût du travail en France : ce débat sur la productivité n'est pas abordé dans cette note, il ne doit pas être ignoré, mais traité dans un document spécifique.

Le trio production, conception, ingénierie doit être dans l'automobile fortement interactif pour faire vivre une dynamique de l'innovation qui rejaillit sur l'ensemble de l'environnement technologique du pays. Sans usines nationales, il n'y aura plus aussi à terme de centres de recherche et d'innovation.

Il en est de même de nombreuses autres technologies. Il est évident que notre voisin allemand a clairement choisi de préserver sa capacité de production et de protéger ses emplois. Savoir produire un objet aussi complexe qu'une automobile moderne est un avantage compétitif pour les économies européennes, et les rachats par les industriels chinois de sociétés comme Volvo illustrent bien l'intérêt que représente ce savoir-faire (il en est de même pour l'indien Tata avec Range Rover et Jaguar).

Les recommandations doivent découler d'une vision solide de l'évolution de l'industrie et de ce que sera le véhicule du futur.

La première partie fait un panorama de la production automobile mondiale et de son évolution prévisible : la place du véhicule électrique, le marché de l'hybride, la place des carburants « verts » (hydrogène compris).

La seconde partie de ce rapport traite de la mobilité et de ses évolutions prévisibles.

La troisième partie propose une vision « système » du véhicule du futur.

La quatrième partie s'intéresse à la dimension technologique du véhicule du futur et les technologies clés dont il est souhaitable de conserver la maîtrise en France pour maintenir une industrie automobile compétitive.

Enfin, en conclusion, les recommandations de la commission seront formulées.



Rapport de l'Académie des Technologies  
Le véhicule du futur

---

# PANORAMA DE LA PRODUCTION AUTOMOBILE MONDIALE ET DE SON INDUSTRIE

*« As change in our industry continues to accelerate, successful companies and people will be those that are able to better predict and adapt to future realities »*  
(Automotive engineering international, October 2008).

L'industrie automobile (à l'échelle nationale, européenne et internationale) est en profonde transformation, mais cette évolution ne peut être comprise que dans une perspective « historique ». L'impact de l'automobile sur l'industrie nationale est mis en évidence en donnant des chiffres, en expliquant les tendances actuelles et en soulignant le rôle majeur du secteur automobile dans l'innovation – pour mémoire, il engage 10,6 % de son CA en dépenses de R&D sur le territoire national<sup>5</sup>.

Depuis une dizaine d'années, une phase de transition s'est ouverte pour cette industrie après une longue période de développement, durant laquelle le produit automobile a subi des évolutions lentes, progressives, **à la fois marginales** et importantes, et qui a vu une forte concentration des acteurs après le foisonnement initial.

<sup>5</sup> Chiffres 2010 : 8,0 % en R & D internalisée et 2,6 % en contrats externes – source CCFA.

## LES NOUVEAUX PARADIGMES DU MARCHÉ AUTOMOBILE

Le marché automobile mondial continue à croître dans les pays faiblement équipés (les BRIC), mais il a cessé de le faire en Europe, au Japon et aux États-Unis. Les caractéristiques du produit sont questionnées, les politiques publiques lui sont moins favorables. Le futur s'annonce très différent, et la crise financière et économique mondiale actuelle va accélérer cette transformation : le véhicule du futur va donc se concevoir dans ce nouveau contexte. Pour comprendre cette mutation, certaines données de la production actuelle et des grandes tendances doivent être connues.

## LE PRODUIT AUTOMOBILE. RAPPEL DE QUELQUES DONNÉES ESSENTIELLES ET LES CHANGEMENTS EN COURS

L'automobile est un produit grand public, centenaire, à fort contenu technologique et industriel, qui a été et reste encore l'élément de base de la conquête sociale de la mobilité individuelle, tout en constituant, en même temps, une source importante de nuisances locales et globales.

Ci-dessous un aperçu de ces cent années d'évolution et d'innovations continues :

- 1763 Joseph Cugnot, chariot à vapeur.
- 1873 Amédée Bollée, l'obéissante. Propulsion à vapeur. Vitesse max 40 km/h
- 1884 E. Delamarre-Bouteville, 1<sup>er</sup> véhicule équipé d'un moteur à explosion.
- 1888 Dunlop invente le pneu gonflable.
- 1889 Panhard et Levassor, 1<sup>er</sup> véhicule équipé d'un moteur Daimler à 4 temps.
- 1890 Apparition du terme « automobile ».
- 1891 Création de la société PEUGEOT.
- 1898 Création de la société RENAULT.
- 1900 Production de 8300 véhicules (4200 aux États-Unis, 4100 en Europe).
- 1913 Début de la production de la FORD T aux États-Unis.
- 1919 Production de 606 000 véhicules (82,5 % en Amérique, 12,5 % en Europe).
- 1920 LANCIA, concept de la carrosserie monocoque en acier.
- 1933 CITROEN, concept de la traction avant.

- 1946 Production de 3 910 000 véhicules (83 % en Amérique, 16 % en Europe).  
Début de la production de la VOLKSWAGEN Coccinelle en Allemagne.
- 1959 Moteur transversal et traction avant (Alec Issigonis).
- 1971 Australie, 1<sup>re</sup> obligation du port de la ceinture de sécurité.
- 1988 Norme européenne EURO 0 limitant les émissions de polluants.
- 1997 TOYOTA Prius, 1<sup>er</sup> véhicule hybride commercialisé.
- 2007 Production de 73 100 000 véhicules. 42 % en Asie, 31 % en Europe, 26 % en Amérique.
- 2008 Europe, limitation des émissions de CO<sub>2</sub>. 130 g/km en 2015.
- 2009 Chine, 1<sup>er</sup> marché et 1<sup>er</sup> producteur mondial.

Le produit est essentiellement un concept européen-américain, les développements initiaux ayant été faits en Europe et la production de masse s'étant initialement développée en Amérique du Nord. Ce concept s'est diffusé et adapté aux autres régions du monde au fur et à mesure de leur développement. En 1990, la production de véhicules en Asie (Japon, puis Corée) a dépassé celle de l'Amérique du Nord. En 2009 la Chine est devenue le 1<sup>er</sup> marché mondial et le 1<sup>er</sup> producteur (avec l'aide des constructeurs occidentaux) (cf. tableau 1). En 2010 plus de 50 % des véhicules ont été produits en Asie, dont 23,5 % en Chine. Le déplacement géographique des capacités de production est acquis : les constructeurs japonais et chinois occupent en volume les premières places du classement. L'analyse en volume peut être discutée, et il est vrai qu'en valeur, la comparaison est moins rude – mais de manière tout aussi inexorable, les fonctions de conception, d'innovation se localiseront en Asie au plus près de la production.

	1980	2010	Évolution
<b>MONDE</b>	29 721	77 858	+162 %
<b>EUROPE OCC.</b>	10 401	13 689	+ 32 %
<b>Dont FRANCE</b>	2 939	2 228	– 24 %
<b>ÉTATS-UNIS</b>	6 337	5 030	– 21 %
<b>JAPON</b>	7 035	9 626	+ 37 %
<b>CORÉE</b>	55	4 272	ns
<b>BRESIL</b>	978	3 648	+273 %
<b>INDE</b>	31	3 537	ns
<b>CHINE</b>		18 265	ns

Tableau 1 : Évolution de la production mondiale (en millions d'unités)<sup>1</sup>.

L'automobile est un produit complexe qui nécessite pour sa conception, sa production et son utilisation la combinaison de très nombreuses technologies, qui vont, entre autres, du domaine des matériaux à l'électronique embarquée *via* la thermodynamique.

C'est cette complexité qui a fait, et fait encore, que les principaux constructeurs automobiles mondiaux sont originaires des pays les plus développés technologiquement (États-Unis, Europe occidentale, Japon, et plus récemment Corée) (cf. tableau 2).

CONSTRUCTEUR	PAYS	Production (VL)
1- GENERAL MOTORS	ÉTATS-UNIS	8 465 000
2-TOYOTA	<b>JAPON</b>	<b>8 348 000</b>
3-RENAULT-NISSAN (+ AvtoVaz)	FRANCE-JAPON	8 047 000
4-VAG	ALLEMAGNE	7 341 000
5-HYUNDAI	COREE	5 641 000
6-FORD	ÉTATS-UNIS	4 921 000
7-FIAT-CHRYSLER	ITALIE-ÉTATS-UNIS	3 852 000
8-HONDA	JAPON	3 643 000
9-PSA	FRANCE	3 606 000
10-SUZUKI	JAPON	2 893 000
11-DAIMLER A.G	ALLEMAGNE	1 573 000
12-BMW	ALLEMAGNE	1 481 000
13-MAZDA	JAPON	1 307 000
14-MITSUBISHI	JAPON	1 171 000
15-CHANA Automobiles	CHINE	1 103 000
16-FAW	CHINE	873 000
17-TATA	INDE	816 000
18-GEELY	CHINE	802 000
19-FUJI	JAPON	650 000
20-BYD	CHINE	521 000

Tableau 2 : Production des 20 premiers groupes en 2010.

En cent ans d'existence, l'automobile a su intégrer assez rapidement les « nouvelles technologies » au fur et à mesure de leur apparition. Par exemple, l'électronique « grand public » développée dès les années 70, est utilisée dans les automobiles depuis le début des années 80 et représente aujourd'hui environ 30 % de la valeur des véhicules. Cependant, il faut noter que, pour l'essentiel, sur cette période de

100 ans, le produit automobile a très peu évolué dans ses fondamentaux techniques qui sont 4 roues, liaisons mécaniques, moteur à combustion interne (essence, gazole, marginalement gaz) et une carrosserie métallique, même s'il y a eu assez régulièrement des véhicules différents : 3 roues, traction électrique, carrosserie plastique ... produits en petites quantités et souvent sans réelle perspective industrielle.

L'automobile est un produit industriel, composé de plusieurs milliers de pièces et composants, pour une large part fournis par des sous-traitants équipementiers, assemblés dans des usines travaillant à des cadences élevées, pouvant aller jusqu'à un véhicule par minute sur une ligne de production. Les méthodes et processus de fabrication sont au cœur de la production d'une voiture et ce secteur a été une source très importante d'innovation organisationnelle comme le taylorisme ou le « lean-management ».

Le haut niveau de performance atteint par ces outils industriels et l'importance des investissements associés expliquent au moins partiellement le « conservatisme » des solutions techniques et architecturales des véhicules. Par exemple, l'adoption d'une carrosserie en plastiques/composites rend obsolète une grande partie des usines de carrosserie – montage (emboutissage, assemblage de la caisse par soudage, peinture et pour une partie assemblage final) utilisées pour les véhicules en tôles, nécessitant de nouveaux investissements évalués à plusieurs milliards d'euros – l'exemple de la production de l'Espace à l'usine MATRA de Romorantin illustre ce propos.

C'est donc essentiellement à l'occasion de l'augmentation des capacités de production nécessitées par l'accroissement des marchés que beaucoup de nouvelles technologies peuvent être introduites. La délocalisation de la production en Asie a deux conséquences : la perte de la capacité de production et des emplois associés, mais aussi l'obsolescence « programmée » des usines nationales en l'absence de volonté de rénovation à l'exception notable de la localisation de Toyota (Yaris) – le choix de Renault étant de se développer à Tanger.

Ces forts contenus technologiques et industriels font de l'industrie automobile une activité économique importante, qui représente des millions d'emplois dans le monde.

La France a joué un rôle de premier plan dans le développement de l'automobile et possède encore deux des plus grands constructeurs automobiles mondiaux : RENAULT et PSA (cf. tableau 3). La dichotomie entre entreprise et production nationale s'est accrue – la bonne santé d'un constructeur national ne signifiant plus la bonne santé de l'économie nationale – ce qui est admis pour l'énergie (cf. l'activité de Total dans le raffinage en France), l'est moins facilement pour l'automobile.

C'est une branche industrielle qui a des dépenses de recherche et développement (R&D) importantes. Cette activité a en outre un effet d'entraînement important sur la R&D d'autres branches industrielles : métallurgie, plasturgie, électronique, énergie ...

En 2009 on évaluait qu'environ 2 370 000 personnes (soit 10 % de la population active française) et **2 359 000 en 2010** (soit **11 000 de moins en un an**) avaient leur emploi assuré par l'automobile, dont 608 000 dans les activités de production comme le synthétise le document ci-dessous (origine CCFA, CNPA, SESSI, INSEE, SES, URF et URSIF de 2010).

Emplois induits par l'automobile en 2010		
En personnes		
industrie manufacturière et énergétique		Services
<b>220 000</b>		<b>153 000</b>
	<b>TOTAL MATIÈRES PREMIÈRES ET SERVICES</b>	
	<b>373 000</b>	
Construction automobile	Équipements accessoires	Carrosserie, remorques, caravanes
<b>137 000</b>	<b>60 000</b>	<b>23 000</b>
	<b>TOTAL INDUSTRIE AUTOMOBILE</b>	
	<b>220 000</b>	
	<b>TOTAL ACTIVITÉS DE PRODUCTION</b>	
	<b>593 000</b>	
Ventes, réparation, contrôle technique, location courte durée, démolisseurs recycleurs	Assurances, experts et crédit	Ventes de carburant
<b>495 000</b>	<b>85 000</b>	<b>34 000</b>
Auto-écoles, permis	Sport, presse, édition, divers	
<b>26 000</b>	<b>13 000</b>	
	<b>TOTAL USAGE DE L'AUTOMOBILE</b>	
	<b>653 000</b>	
Transports routiers de marchandises et de voyageurs (compte d'autrui et compte propre), services annexes	Police, santé, enseignement, administration, administration (services non marchands)	Construction et entretien des routes
<b>947 000</b>	<b>34 000</b>	<b>132 000</b>
	<b>TOTAL TRANSPORTS</b>	
	<b>1 113 000</b>	
	<b>TOTAL DES EMPLOIS INDUITS PAR L'AUTOMOBILE</b>	
	<b>2 359 000</b>	

Sources : CCFA, CNPA, SESSI, INSEE, S0eS, URF et URSIF

**Tableau 3 :** Emplois induits dans l'automobile en 2010.

Depuis le début de la crise économique et financière (2008), le solde est devenu très négatif. Encore excédentaire de 13,0 milliards d'euros en 2004, le solde français des échanges de l'industrie automobile (véhicules et pièces détachées) ne cesse depuis de se détériorer. En 2007, l'automobile représentait encore 13,1 % des exportations (51,9 G€) et 11,1 % des importations (50,5 G€), dès 2009, 10,1 % des exportations (34,6 G€) et 9,8 % des importations (39,2 G€), il est aujourd'hui négatif.

En 2011, le déficit atteint 5,0 milliards et 7,3 milliards avec la seule Allemagne, qui constitue le premier déficit bilatéral de la France pour ces produits. Le déficit vient de la branche des véhicules (8,1 milliards), alors que les pièces détachées automobiles dégagent encore un surplus (+3,1 milliards). À l'opposé, l'excédent automobile allemand se renforce : il s'élève à +103,1 milliards d'euros en 2011 (+90,1 milliards pour les véhicules, +13,0 milliards pour les pièces détachées automobiles), et compte pour les deux tiers de l'excédent commercial Outre-Rhin<sup>6</sup>.

Il est donc important pour l'économie française que **l'industrie automobile améliore ses positions commerciales, industrielles et technologiques.**

L'automobile a été, et est encore l'élément de base du développement de la **mobilité individuelle**. Par exemple, pour la France, le tableau 4 montre que, en 2009, sur les 885 milliards de voyageurs/km, 81,8 % l'ont été au moyen de voitures (en très légère baisse de 1,3 % par rapport à 2006). Les transports en commun, tous moyens confondus, ne représentent que 18,2 % des déplacements réalisés.

Mode de transport	Milliards de voyageurs/km	%
Voitures	724	81,8
Autocars/autobus	49	5,5
Ferroviaire	99	1,2
Aérien	13	1,5
TOTAL	885	

Tableau 4 : France. Transports de voyageurs par type de transport en 2009.

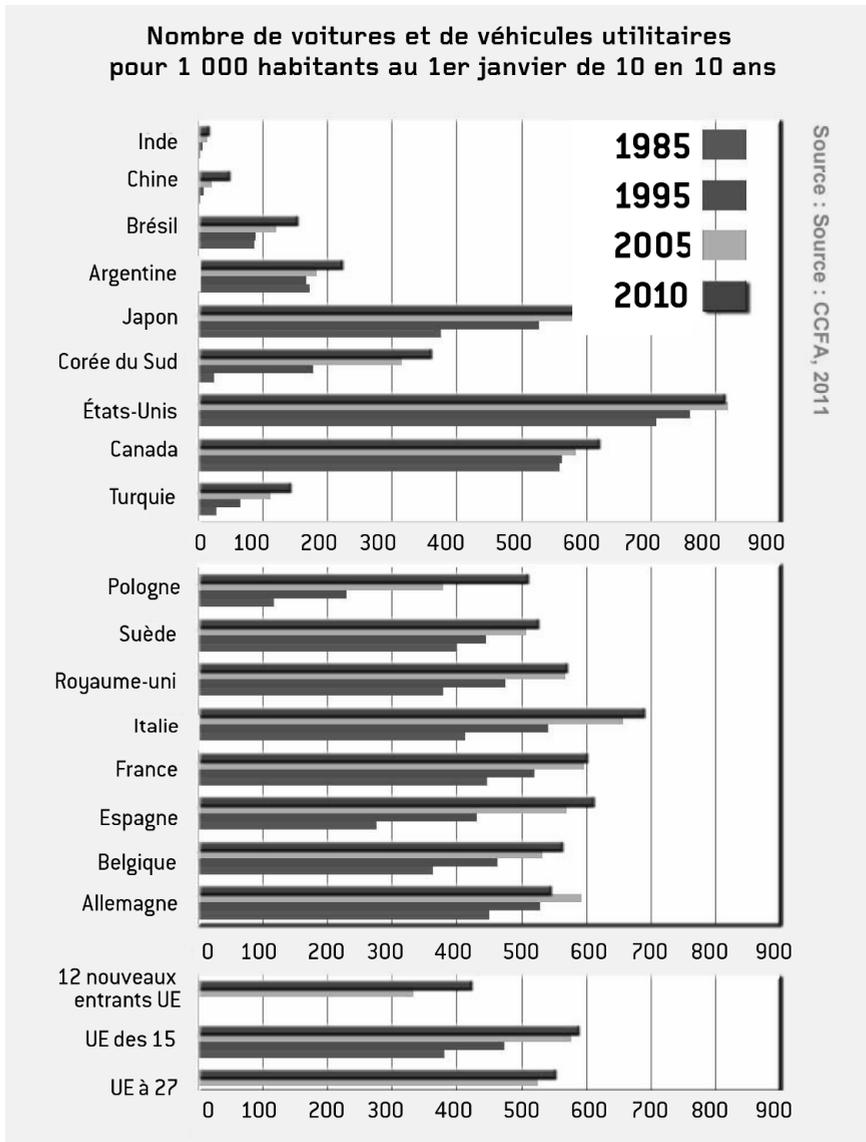
<sup>6</sup> Les chiffres du commerce extérieur – avril 2012 – <http://lekiosque.finances.gouv.fr/>

Mais, ceci n'est encore aujourd'hui vrai que pour les pays développés (cf. tableau 5). Les tableaux 6 et 7 illustrent l'évolution récente de l'équipement automobile dans les principaux pays. On constate que, malgré des augmentations rapides, les populations les plus nombreuses des pays émergents (Chine, Inde...) ont un accès limité à ce type de mobilité individuelle.

Pays	2006	2010	Population (millions d'habitants)
États-Unis	813	814	<b>309</b>
Japon	<b>593</b>	592	127
Union européenne	<b>586</b>	587	498
<i>dont France</i>	<b>595</b>	599	65
Corée	315	359	50
Russie	250		142
Brésil	124	153	192
Chine	23	47	341
Inde	12	16	1 210

Tableau 5 : Évolution du nombre de véhicules pour 1 000 habitants.

*A contrario* de l'Europe ou du Japon, avec l'élévation régulière du niveau de vie, l'accès à la mobilité individuelle est une réelle aspiration des populations des pays émergents. L'évolution des marchés automobiles le démontre clairement : **la croissance se fait quasi exclusivement dans les pays émergents, ce qui est une des causes majeures de la nécessaire évolution du système automobile.**



**Tableau 6 :** Nombre de véhicules pour 1 000 habitants par pays + UE au 1<sup>er</sup> Janvier 2010.

Cette croissance entraîne naturellement la relocalisation des moyens de production dans ces pays et, dans un deuxième temps, la création de bureaux de style et de centres de recherche.

Pays	1980	2010	Évolution (2010/1980)
Monde	<b>37 650</b>	75 111	+ 99 %
Europe occidentale	<b>11 379</b>	14 687	+ 29 %
États-Unis	<b>13 822</b>	11 772	- 15 %
Japon	5 015	4 956	-1 %
Brésil	980	3 515	+256 %
Corée	104	1 556	+1 400 %
Chine	5	18 289	NS
Inde	45	2 480	NS

Tableau 7 : Évolution des principaux marchés automobiles mondiaux (x 1 000).

## UNE PRODUCTION QUI A UNE DIMENSION ENVIRONNEMENTALE

En contrepoint à son importante diffusion (de l'ordre de 1 320 millions de véhicules dans le monde), l'automobile apparaît, et est de plus en plus ressentie et jugée, comme une très importante source de nuisances globales et locales. La pression environnementale se fait plus forte et en raison de la globalisation de leur marché, tous les constructeurs l'intègrent dans la conception de leurs produits.

### Émissions de CO<sub>2</sub> et contribution au réchauffement climatique

Dans les pays développés (58 % du parc automobile mondial), les transports représentent  $\frac{1}{4}$  de la consommation d'énergie et plus de 30 % des émissions de CO<sub>2</sub> – dont 80 % pour les véhicules routiers. Pour mémoire, la facture pétrolière représentait près de 82 % du montant total de la facture énergétique de la France en 2011 (61,4 milliards d'euros), soit plus de 70 % du déficit du commerce extérieur ou l'équivalent de 2,5 points de PIB<sup>7</sup> et elle est principalement due au logement et au transport.

<sup>7</sup> CGDD, Bilan énergétique de la France pour 2011, juillet 2012.

Pour limiter ces émissions, des réglementations ont été mises en place, en particulier en Europe et aux États-Unis.

**L'Union européenne** a adopté une directive qui prévoit de ramener la moyenne des émissions de CO<sub>2</sub> des voitures neuves à 130 g/km d'ici à 2015. Il est prévu un second objectif de 95 g/km en 2020. Les émissions moyennes de CO<sub>2</sub> des voitures vendues par les principaux constructeurs en France ont baissé de manière importante (en moyenne – 12,5 % au cours des 5 dernières années – voir tableau 8), baisse due :

- ▶ à une augmentation significative des motorisations diesel ;
- ▶ à l'amélioration des performances des moteurs à combustion interne ;
- ▶ à une part de plus en plus importante des « petits véhicules » dans les ventes (voir le tableau 9).

Constructeurs	2005	2010	Évolution
FIAT	148	122	– 14,7%
PSA	144	128	– 14,3%
RENAULT	146	128	– 14,5%
TOYOTA	146	127	– 14,5%
FORD	150	129	– 14,9%
GENERAL MOTORS	154	129	– 15,3%
VAG	156	132	– 15,5%
BMW	184	139	– 18,3%
DAIMLER-BENZ	173	149	– 17,3%
Moyenne des constructeurs	152	130	– 14,4%

**Tableau 8 :** Évolution des émissions moyennes de CO<sub>2</sub> par constructeur en France entre 2005 et 2009 (g/km).

L'objectif 2015 semble être à la portée de la plupart des constructeurs. Par contre, atteindre l'objectif 2020 (95 g CO<sub>2</sub>/km) nécessitera des évolutions très importantes des véhicules.

Les objectifs de réduction des émissions sont, aujourd'hui moins ambitieux au **Japon** (138 g CO<sub>2</sub>/km en 2015) et aux **États-Unis** (160 g CO<sub>2</sub>/km en 2020, mais avec des objectifs beaucoup plus ambitieux dans certains États par exemple en Californie).

Puissance fiscale	Pourcentage des véhicules immatriculés		Évolution 2005/2010
	2005	2010	
Moins de 4 CV	0,2	0,2	=
4 à 5 CV	40,5	56,9	+ 40,5 %
6 à 8 CV	48,2	34,5	- 28,4 %
9 CV	4,3	3,3	- 23,3 %
10 à 11 CV	3,4	2,5	- 26,5 %
12 CV et plus	3,4	2,6	-23,5 %

**Tableau 9 :** France, évolution des immatriculations par niveau de puissance.

Ces différentes réglementations créent une distorsion de la concurrence. Ces distorsions ont été utilisées dans le passé pour protéger le segment haut de gamme (essentiellement les constructeurs allemands) qui seul a des marges suffisantes pour financer les équipements d'avenir nécessaires aux constructeurs.

#### Émissions de polluants locaux : oxydes d'azote, oxydes de carbone, particules...

Dans les pays de l'OCDE, et en particulier dans l'Union européenne, ces émissions sont en forte réduction en raison des réglementations régulièrement durcies depuis 1988 dont le tableau 10 résume les évolutions. Sur les polluants réglementés, du point de vue de la norme, la pollution locale n'est plus un problème majeur en Europe, et plus généralement dans les pays développés, même s'il reste quelques questions ouvertes sur le dioxyde d'azote et sur les hydrocarbures cycliques dans les zones sensibles, dans les centres urbains. La situation s'améliore au cours des années, au fur et à mesure que les véhicules les plus anciens qui sont les plus polluants sont retirés de la circulation.

Il n'en est pas de même dans les pays émergents et en voie de développement, en raison de réglementations encore peu contraignantes et de l'accroissement rapide et important du parc de véhicules. Rappelons la nécessité des interdictions de circulation à Pékin durant la période des jeux olympiques dans l'été 2008.

Essence				Diesel			
	CO	NOx	HC	CO	NOx	HC+NOx	particules
Euro1 1992	3,13	HC+NOx	1,13	3,16		1,13	0,18
Euro2 1996	2,2	HC+NOx	1,13	1,0		0,7	0,08
Euro3 2000	2,3	0,15	0,2	0,64	0,5	0,56	0,05
Euro4 2005	1	0,08	0,1	0,5	0,25	0,3	0,025
Euro5 2009	1	0,06	0,1	0,5	0,18	0,23	0,005
Euro6 2014	1	0,06	0,1	0,5	0,08	0,17	0,005

CO : monoxyde de carbone

HC : hydrocarbures

Nox : oxydes d'azote

**Tableau 10** : Historique de la réglementation sur la réduction des rejets de polluants par les automobiles dans l'Union européenne (g/km).

Du point de vue de la santé, la récente requalification par l'Organisation mondiale de la santé des gaz d'échappement des moteurs diesel en « cancérogènes certains » pour les humains éclaire différemment ces chiffres, en raison, en particulier, des progrès de l'analyse des effets nocifs des microparticules<sup>8</sup>. Les Nations unies<sup>9</sup> attribuent 1,1 % des décès dans le monde aux effets de la pollution locale émanant des transports, à comparer aux 2,1 % des décès attribués aux accidents de la route (1,2 millions de morts)<sup>10</sup>.

**La pollution automobile est un moteur puissant de l'adoption de véhicule zéro émission**, en particulier dans les villes – au-delà de la prise en compte du bilan carbone – c'est une **tendance forte qui va s'affirmer**.

## Accidents (décès et handicaps graves)

En France, en 2010, 3 994 personnes ont trouvé la mort dans des accidents de circulation (84 000 blessés), ce chiffre très important est cependant en forte

<sup>8</sup> [http://www.iarc.fr/fr/media-centre/pr/2012/pdfs/pr213\\_F.pdf](http://www.iarc.fr/fr/media-centre/pr/2012/pdfs/pr213_F.pdf)

<sup>9</sup> Réf. : Nations unies, Air Pollution from Ground Transportation, 2002 : <http://www.un.org/esa/gite/csd/gorham.pdf>

<sup>10</sup> Organisation mondiale de la santé, Principales causes de décès dans le monde en 2008, Aide-mémoire n° 310, juin 2011 : <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs310/fr/index.html>

réduction (52,6 % entre 1998 et 2010) en raison de l'amélioration de la conception des véhicules (rating EURO NCAP), de l'amélioration des infrastructures routières, de la politique de prévention et de répression (vitesse, alcool).

Une évolution analogue est observée dans la plupart des pays de l'Union européenne.

En revanche, il n'en est pas de même dans le monde. En 2009, plus de **1,2 millions de personnes** ont été tuées dans les accidents de la route, avec une augmentation très rapide (**+ 40 % en Chine et Inde**), en relation avec la forte croissance de la circulation automobile et une formation insuffisante des conducteurs comme des piétons.

## Congestion

Enfin, il faut mentionner la paralysie de plus en plus importante des centre-ville. En Europe, la Commission européenne estime que 1 % du PIB est perdu dans les embouteillages urbains. En plus de ce côté onéreux, cette congestion accroît la pollution urbaine et la dangerosité de la circulation en raison de l'accroissement du stress des conducteurs.

La situation est bien pire dans les pays émergents. Elle s'y aggrave rapidement avec la croissance du parc automobile, dans des infrastructures routières non adéquates et sans solutions alternatives de transports collectifs, le tout dans un contexte d'urbanisation mal maîtrisée.

Dans un marché mondialement en expansion, le maintien des avantages apportés par l'automobile comme moyen essentiel de la mobilité individuelle, passe par la maîtrise et la réduction des nuisances décrites dans le paragraphe précédent, devenue une absolue nécessité. Cela concourt à un consensus pour une voiture plus sûre et plus propre au niveau mondial. Ce d'autant plus qu'à l'horizon 2050 une étude du FMI « prévoit » une augmentation du parc automobile mondial de 1,3 milliards (2011) à 2,9 milliards de véhicules. Une telle croissance n'est pas soutenable avec les véhicules et les usages tels que nous les connaissons.

En conséquence, des évolutions majeures du « système automobile » sont nécessaires.

## LES ÉVOLUTIONS DU « SYSTÈME AUTOMOBILE » : QUEL VÉHICULE ?

Sans jamais avoir évoqué l'augmentation du coût de l'énergie et la raréfaction du pétrole, la croissance du marché automobile et le poids de la dimension environnementale sont à eux seuls des facteurs de changement radicaux. Les futures mégalopoles qui regrouperont 70 % de l'humanité ne pourront pas faire le même usage des voitures. Si le principe de cette évolution est acquis, sa nature et sa rapidité peuvent faire l'objet de scénarii différents.

Dans le chapitre mobilité du futur, le développement des nouveaux usages (co-voiturage, partage, location...), est abordé du point de vue de son impact probable sur l'industrie, mais aussi dans le cadre d'une mobilité multimodale nécessairement intelligente, tant pour le passager que pour l'environnement.

Dans celui traitant des technologies, les caractéristiques de ce système sont étudiées du point de vue de la recherche et de l'innovation, en faisant un gros plan sur les technologies qu'il est indispensable de maîtriser et de développer pour conserver une activité industrielle nationale.

Dans ce chapitre 1, les évolutions déjà engagées sont traitées avec leur impact prévisible sur l'outil industriel. La diminution des capacités de production en France est essentiellement due au déplacement de la demande vers les marchés émergents et pour un produit complexe comme l'automobile, pour lequel les coûts logistiques sont importants, il est compétitif de produire au plus près de ces marchés – cela même sans faire entrer en considération de prix de production. Dans ce contexte, quel véhicule l'industrie nationale va-t-elle produire dans les trente ans à venir pour répondre aux besoins présumés des clients européens et quels en sont les volumes prévisibles ?

Il existe un consensus pour admettre qu'à côté des véhicules thermiques classiques, trois familles de véhicules peuvent les remplacer dans un futur proche :

- ▶ des véhicules hybrides parallèles à bimotorisation thermique et électrique – rechargeables sur le réseau – par la suite VHR, le véhicule hybride « actuel » VH devant rapidement (dans les cinq ans) être remplacé par des VHR ;
- ▶ des véhicules à propulsion électrique et à batterie électrochimique ou VE ;
- ▶ des véhicules à propulsion électrique à PAC (pile à combustible) dits « véhicules à hydrogène » VE PAC.

## DES STRATÉGIES DIFFÉRENTES POUR PSA ET RENAULT

**PSA Peugeot Citroën** a choisi de s'engager dans les biocarburants, le gaz naturel, l'hybridation, tout en gardant pour le long terme une activité de veille sur la pile à combustible. Ces orientations, présentées comme des solutions complémentaires pour la mobilité à court, moyen et long termes, semblent avoir exclu les batteries. L'accord avec Mitsubishi a été revu à la baisse à la suite des très faibles ventes de VE. Mais un accord pour une joint-venture sur les hybrides a été signé avec BMW début mars 2011 (BMW Peugeot Citroën Electrification).

Le récent accord avec GM ouvre, outre la possibilité de partager des plates-formes et des moyens de production, l'accès aux technologies électriques de GM.

PSA base sa stratégie à moyen terme sur sa maîtrise de la technologie diesel avec l'hybride diesel/électrique et devrait alors pouvoir bénéficier de sa spécialisation sur les segments premium des véhicules compacts et sur les véhicules utilitaires dérivés pour l'hybridation de masse.

L'accord avec BMW annonce également la stratégie de montée en gamme par les nouvelles technologies.

**Renault** a pour stratégie d'être le premier constructeur généraliste mondial à proposer des **véhicules zéro émission** accessibles au plus grand nombre dès 2011.

L'alliance Renault-Nissan développe une gamme complète de groupes motopropulseurs 100 % électriques dont la puissance oscillera entre 15 kW et 100 kW (20 CV et 140 CV). Renault a mis en place une stratégie de prix plutôt tirés vers le bas, ce qui va poser des problèmes avec le surcoût des nouvelles technologies. Son accord avec Avto VAZ (Lada) renforce cette approche illustrée par les succès de DACIA. *A contrario*, le rapprochement avec Daimler-Benz se veut contrebalancer ce risque « technologique » et permet de se donner accès à des savoir-faire « haut de gamme » en leur assurant des volumes de vente significatifs.

L'alliance Renault-Nissan est un atout favorable par sa présence globale sur les marchés et auprès des fournisseurs et sous-traitants.

Les bilans récents au niveau mondial de la diffusion des VE laissent cependant planer quelques doutes sur la viabilité de cette stratégie.

*(pour partie, citée de l'audition en avril 2011 de J.J. Chanaron, Directeur de recherche GATÉ-CNRS, conseiller scientifique de Grenoble école de management)*

Ces trois types de véhicule ont comme caractéristiques communes de faire appel partiellement ou totalement au « vecteur » électrique et d'avoir des émissions directes en gaz à effet de serre réduites ou nulles – mais cela ne veut pas dire que l'empreinte écologique de ces véhicules est équivalente et *a fortiori* « nulle ». Cela est vrai naturellement pour les véhicules hybrides mais aussi pour les véhicules électriques (classiques, ou PAC), qui, s'ils sont à zéro émission directe de CO<sub>2</sub> (ZEV), ont néanmoins une empreinte écologique qui dépend de leur processus de fabrication et de la production de l'électricité ou de l'hydrogène qu'ils utilisent. Cette question est traitée en détail dans le rapport de l'Académie des technologies sur les vecteurs d'énergie – chapitre Transport – (novembre 2011).

Le succès de ces « nouvelles familles » de voiture va dépendre de facteurs économiques et d'usage.

Les critères de choix du véhicule du futur par son conducteur sont peu ou prou, ceux qui sont à l'œuvre aujourd'hui aux États-Unis<sup>11</sup> :

- ▶ prix d'achat du véhicule – aides gouvernementales comprises – (70 % de la décision) ;
- ▶ prix du carburant TTC (23 %) ;
- ▶ coût de l'entretien (8 %) ;
- ▶ les critères pratiques d'usage : autonomie incluant le temps nécessaire à la « recharge énergétique », l'adéquation aux besoins de mobilité et l'existence d'un réseau de recharge ;
- ▶ les incitations réglementaires en vigueur – **incluant** les limitations de circulation.

La combinaison de ces critères peut changer : en France, la fiscalité a durablement favorisé le choix de véhicule de petite ou moyenne cylindrée et diesel (cf. tableau 10), avec un consensus entre constructeurs et pouvoirs publics même si, aujourd'hui, ce positionnement apparaît comme défavorable. La tentative de PSA de sortir de ce dilemme s'est faite dans le segment de la petite voiture « chère » et diesel (DS3). Ce souci d'avoir des constructeurs qui fabriquent des

<sup>11</sup> Deloitte “Gaining traction – A customer view of electric vehicle mass adoption in Automotive market” – 2010.

« voitures populaires » est une constante française : les différents programmes de primes à la casse (qui ont coûté plus de 2 milliards d'euros à l'État) ont plutôt tiré vers le bas de gamme le renouvellement des véhicules. Une inflexion vers le haut de gamme est une affaire de long terme : Volkswagen a mis vingt ans pour s'installer durablement dans ce segment.

L'avantage « prix » donné au carburant diesel relève aussi d'un choix étatique de long terme, qu'il est difficile d'infléchir, même si il se révèle aujourd'hui contestable (impact sur le raffinage pétrolier, pollution). La variation brutale des prix de l'énergie, des taxes sur les véhicules ne peuvent « remodeler » le paysage automobile que dans la durée, l'effet immédiat étant une baisse des immatriculations (en 2008, 2012).

Cette constante « temps » dans la modification des comportements d'achat des consommateurs est indispensable à l'industrie pour qu'elle puisse amortir ses investissements, mais, comme il est cité en exergue de ce chapitre, la capacité d'anticipation et d'innovation des constructeurs est leur seule garantie de survie dans un marché globalisé.

## La voiture électrique : quelle part de marché ?

La voiture électrique est apparue dès les débuts de l'automobile et après les premiers succès, a été rapidement réservée à des usages « confidentiels ». Les raisons de cet échec demeurent : l'autonomie des batteries, leur poids, leur prix, l'infrastructure de recharge.

En 100 ans, les progrès ne sont pas spectaculaires et la batterie offrant une capacité équivalente à celle d'une voiture à essence n'est toujours pas disponible et ne le sera probablement jamais. La phase de transition entre les véhicules à moteur à explosion et les nouveaux véhicules zéro émission va donc être longue et la cohabitation des différentes solutions va perdurer pendant 30–50 ans.

Plus probablement, on assistera à une cohabitation des VE et des VH, les premiers étant bien adaptés à la circulation en ville (autonomie limitée, contraintes environnementales fortes, nouveaux modes de mobilité partagée), les seconds à des usages périurbains et interurbains.

Les véhicules hybrides électriques apparaissent comme une option intéressante et réaliste, même si leur complexité et leur coût les réservent pour l'instant aux véhicules de milieu ou de haut de gamme.

Dans le chapitre 2 de « Vecteurs pour le transport » du rapport de l'Académie des technologies sur les vecteurs d'énergie (novembre 2011), une analyse détaillée des différents vecteurs d'énergie est proposée pour le secteur automobile. Il apparaît clairement que les carburants liquides verts (biocarburants de première et de deuxième génération) auront un rôle à jouer – mais que ce rôle est fortement corrélé au coût attribué au CO<sub>2</sub>. Ce coût est tout aussi déterminant pour la pénétration (à technologie équivalente) de la voiture électrique elle-même.

Les tailles respectives de ces segments dépendent des hypothèses retenues quant à l'évolution du prix de la tonne de CO<sub>2</sub>, le prix actuel étant insuffisant pour permettre au marché électrique (ou zéro émission) de se développer sans incitation fiscale ou aide directe de l'État.

En 2009, le plan « véhicule électrique » a imaginé une France où deux millions de VE circuleront à l'horizon 2020. Cette vision a été reprise par Renault, moins clairement par PSA Citroën.

Renault-Nissan, qui a abondamment communiqué sur sa stratégie VE dans son plan stratégique « 2016, Drive the change », prévoit pour la fin 2016, 1,5 millions de VE Renault et Nissan au niveau mondial. À cette date, sa capacité de production serait de 500 000 VE/an.

Pour 2020, le marché mondial des VE est estimé à 1 % soit environ 800 000 VE/an (pour une production mondiale de 80 millions de VP) :

- ▶ PSA vise une production de 4 % du marché mondial de VE en 2020 soit 32 000 VE ;
- ▶ VAG a une ambition de 2 à 3 % du marché mondial en 2020 ;
- ▶ SIEMENS projette d'équiper d'ici 2050 4,5 millions de VE en Allemagne ;
- ▶ RWE table sur 2,5 millions de VE – toujours en Allemagne et sur la même période.

Pour 2040, le cabinet de conseil en stratégie Olivier Wyman estime que les VE (VE + VHR) devraient représenter 30 à 50 % du marché mondial – mais d'autres cabinets prédisent une part bien inférieure (5 %) – cette dispersion s'explique en partie par l'incertitude de la production de VE par les BRIC.

Ces projections correspondent à une croissance rapide du VE, la réalité est plus mesurée ; au 30 juin 2011, le total VE (sans hybride) en Europe est de 5 222 unités (0,072 %) contre 507 en 2010 avec la répartition suivante :

- ▶ Allemagne 1 020 (62 en 2010)
- ▶ France 953 (22 en 2010)
- ▶ Norvège 850 (1,23 % du marché) (140 en 2010)
- ▶ UK 599 (29 en 2010)

Ce marché est dans une phase d'émergence et les volumes restent modestes :

- ▶ au 30 novembre 2011, 2 100 VE ont été au total immatriculés en France, dont 466 pour ce mois ;
- ▶ au 1<sup>er</sup> octobre 2011, un marché de 15 600 Kangoo ZE a été attribué à Renault par les pouvoirs publics, la production de Kangoo ZE a été dimensionnée à 30 000 VE/an dans l'usine de Maubeuge ;
- ▶ un marché de 3 950 VE a été attribué à PSA (Peugeot Ion et Citroën CO) ;
- ▶ fin avril 2012, 1 594 VE particuliers avaient été immatriculés.

Les constructeurs sont financièrement incités à vendre des VE pour limiter ou annuler les pénalités prévues en Europe en fonction des émissions moyennes de leur gamme. Un constructeur vendant un million de véhicules avec des émissions moyennes de 140 g CO<sub>2</sub>/km aura une pénalité de 710 M€ soit un « malus » de 710 € par véhicule vendu. S'il vend 10 000 VE zéro émission, la moyenne des émissions descend à 132 g et la pénalité devient 39 M€ soit un gain de 67 100 € par véhicule électrique vendu. S'il en vend 15 000, la pénalité est nulle. Dans cette perspective, la stratégie électrique des constructeurs « haut de gamme » est compréhensible (exemple de Daimler Benz avec la Smart électrique).

Ce genre d'approche de mutation technologique par incitations et pénalités risque de conduire par « acharnement thérapeutique » à une impasse, alors que d'autres options plus progressives (VH et VHR) conduiront à un résultat global plus intéressant en termes de CO<sub>2</sub> et de consommation.

Du point de vue de la stricte production automobile, les projections de commercialisation sont insuffisantes pour permettre à court terme de compenser les volumes perdus par substitution de fabrication « thermique » ; en outre, l'appareil industriel existant devra être amorti pour que des véhicules de conception radicalement différente (plus légers par exemple) soient fabriqués en masse. Mais cette période de transition est cruciale, car elle est favorable à l'innovation et à la mise en place de nouvelles filières (batterie, composant, métallurgie...) qui rendront compétitive cette industrie à moyen terme.

La maîtrise de la chaîne de valeur du VE est un défi industriel majeur. Contrairement au véhicule thermique pour lequel le moteur représente une part importante de son coût, dans le VE, c'est la batterie qui représente l'essentiel de la valeur ajoutée. Les batteries, en particulier Li-ion, sont conçues et fabriquées en Asie, la maîtrise de la filière batterie est un enjeu pour la France et l'Europe.

Le choix de fabriquer des véhicules hybrides – rechargeables dans le futur – apparaît comme un compromis positif entre les attentes des clients et les contraintes industrielles. Toyota a été l'inventeur du concept (1997), les constructeurs français ont longtemps considéré que le rapport coût/bénéfice était peu attractif, la fabrication de moteurs diesel très économes en carburant permettant d'obtenir des consommations moyennes équivalentes. Les hybrides rechargeables doivent offrir le meilleur des deux mondes : zéro émission pour des déplacements urbains et la possibilité de faire de long parcours sans la contrainte de l'autonomie des batteries. L'appareil industriel existant (et son écosystème) est conservé, s'y rajoute une propulsion « électrique » – moteur et batterie – qui est intégrée au véhicule dans des architectures plus ou moins sophistiquées (train épicycloïdal...). Le choix récent de produire ces véhicules (par PSA) est conforté par les aides publiques et par un certain intérêt des clients du segment « haut de gamme », mais là encore, le positionnement « historique » des constructeurs nationaux n'est pas favorable.

L'hypothèse VE PAC « hydrogène » est encore plus lointaine, son bilan énergétique et carbone n'étant pas satisfaisant avec les technologies actuelles, sa mise en œuvre non maîtrisée pour une utilisation grand public<sup>12</sup>.

<sup>12</sup> La production, le stockage et la diffusion d'hydrogène pour un usage grand public représentent des investissements importants inaccessibles dans les décennies à venir.

La nature décarbonée de l'électricité utilisée pour charger les véhicules doit aussi être prise en compte dans le cadre d'une analyse « du puits à la roue », des émissions de gaz à effet de serre. Cet aspect est traité dans le rapport sus cité (*Les vecteurs d'énergie – Académie des technologies*).

À l'horizon 2030, il est probable que les véhicules électriques représenteront au plus **10 %** du marché européen, et les hybrides rechargeables **15–20 %**. Cette estimation prudente prend en compte l'inertie des marchés et des outils industriels, et table sur une hausse modérée de la tonne de CO<sub>2</sub>, elle cache nécessairement des disparités géographiques.

Dans cette perspective, la question pour l'industrie automobile nationale et européenne est de faire le choix des segments qu'elle souhaite conserver ou investir afin de conforter ses positions. L'industrie allemande a fait dans les années 80 le choix du haut de gamme, alors que les constructeurs français, soumis à la pression des pouvoirs publics, étaient obligés de se concentrer sur la petite voiture pas chère : *a posteriori*, le choix allemand semble plus judicieux. Mais la stratégie du low-cost par Renault/Dacia est *a contrario* porteuse en termes de volume.

En quelque sorte vaut-il mieux construire des petits véhicules électriques – urbains – ou de lourds hybrides ?

Ce choix de segment produit conditionne aussi la nature de l'offre de service associée au produit lui-même et dicte l'orientation stratégique des entreprises. Si l'électrique est au cœur de la stratégie, une offre de service de mobilité urbaine ou périurbaine est aujourd'hui la clé du succès – ce qui est plus facile dans des pays de taille plus réduite que la France (Projet « Better Place » au Danemark ou en Israël). Si l'hybride est choisi, l'automobile semble plus aisée à produire et à vendre dans le cadre du modèle de propriété actuel pour une offre de mobilité interurbaine.

**La capacité à anticiper et à être au cœur des changements, énergétiques, environnementaux et de la mobilité sera déterminante pour la survie des entreprises automobiles, les conditions de cette agilité seront analysées dans le chapitre Technologie.**

## QUELLE STRATÉGIE DE BOLLORÉ DANS LE DOMAINE DES VÉHICULES ÉLECTRIQUES ?

La technologie de batterie « sèche » lithium-métal-polymère (LMP) choisie par Bolloré présente deux avantages majeurs par rapport à la technologie de batterie liquide lithium-ion, en termes d'autonomie du véhicule d'une part, de coût de fabrication d'autre part.

Le principal point faible de cette technologie tient à la **nécessité de maintenir la batterie en température** pour éviter toute difficulté au redémarrage. Parce qu'elle est de ce fait à l'origine d'une **perte d'énergie en charge**, la batterie LMP verrait ainsi son **domaine de pertinence restreint** :

- i) aux infrastructures de recharge utilisant une énergie renouvelable de type éolien couplée à un système de stockage, ou
- ii) aux systèmes de véhicules en libre-service (de type Autolib) qui garantissent un fort taux d'utilisation du véhicule.

La Bluecar est au début 2012 en tête des immatriculations de VE avec 1 383 véhicules soit 60 % du marché national. En comparaison le Renault Fluence a été vendu à 121 exemplaires, mais le Kangoo à 1 058 unités et le Twizy (qui n'est pas un VL !) à 1 550 !

*[Pour mémoire, l'usine d'Ergué-Gabéric dans le Finistère, dont la deuxième tranche a été inaugurée en janvier 2011, a représenté un investissement de 250 M€ pour une capacité annuelle de production en rythme de croisière de 20 000 batteries de 30 kWh. Au total, le groupe Bolloré a investi 1,5 G€ depuis 16 ans dans la filière véhicule électrique.]*

*Cité de V. Boutueil LVMT – février 2012*

En conclusion de ce chapitre, l'industrie automobile est engagée dans une profonde mutation pour des raisons environnementales et énergétiques. Elle doit prendre en compte dans la conception de ces produits des contraintes fortes :

- ▶ le développement de nouveaux usages ;
- ▶ le développement de véhicules destinés à ces nouveaux usages (robustesse, fiabilité, facilité d'entretien et d'utilisation, coût...) – assez éloignés du VP traditionnel ;

- ▶ la prise en compte de l'amélioration de la fluidité du trafic par le développement de la communication entre le véhicule et les infrastructures (V2I), et entre véhicules (V2V) ;
- ▶ réduction des émissions de CO<sub>2</sub> par les véhicules et la réduction des émissions de polluants divers.

Dans tous ces domaines, les évolutions ont commencé à l'initiative des pouvoirs publics (réglementations, taxes, incitations), des industriels constructeurs et équipementiers, des opérateurs de transport, des assureurs...

Les récentes mesures d'incitation ciblent les véhicules « propres » hybrides et VE et favorisent cette évolution.

La réussite de cette transformation va nécessiter :

- ▶ des changements de comportement des usagers et clients vis-à-vis de la mobilité ;
- ▶ des politiques publiques adaptées, ambitieuses et surtout stables dans la durée ;
- ▶ et de nombreux développements technologiques appuyés sur une politique de recherches – développements coordonnées et une politique industrielle.

## LES NOUVELLES MOBILITÉS ET LES NOUVEAUX USAGES

Le changement du comportement des usagers a un impact sur les développements technologiques automobiles, *via* l'évolution de la demande.

Les grandes causes de ces changements sont :

- i) les contraintes économiques et en particulier le coût de l'énergie ;
- ii) l'augmentation de la sensibilité environnementale et de la réglementation associée ;
- iii) les évolutions démographiques et ses liens avec l'urbanisation.

L'objectif d'un constructeur est d'anticiper ces changements et de tenter d'y être associé, voire de les conduire.

Comme l'indiquent les données rassemblées dans le tableau 11, entre 1990 et 2008 la part de l'automobile (achat + utilisation) dans les dépenses de consommation des ménages s'est réduite de 11,3 %.

Dans ces dépenses, la part de l'ensemble achat + entretien a baissé d'environ 7,1 %, alors que, hors assurances, la part des dépenses d'utilisation (carburants, péages, stationnement...) a augmenté de 17,2 %. La hausse des carburants a été de 12,2 % en 2008.

Cette évolution s'accélère, entre septembre 2010 et septembre 2011, les prix des carburants ont augmenté de 14,8 %.

	1990		2008	
Dépenses consacrées à l'automobile par ménage	3 875,0 €		5 302,0 €	
Part des dépenses de consommation liées à l'automobile. Dont :	83,8 G€	11,5 %	143,2 G€	10,2 %
- achat d'une automobile	29,6 G€	35,3 %	35,3 G€	24,7 %
- pièces détachées et accessoires	12,3 G€	14,7 %	28,6 G€	20 %
- entretien et réparations	11,1 G€	13,2 %	20 G€	14 %
- carburants	20,3 G€	24,2 %	39,1 G€	27,3 %
- assurances	4,1 G€	4,9 %	6 G€	4,2 %
- autres dépenses (location, péages...)	4,1 G€	4,9 %	9,7 G€	6,8 %

**Tableau 11** : France. Part de l'automobile dans la consommation des ménages. Comparaison 1990–2008. Source INSEE (G€ = milliard d'euros).

Ces augmentations pèsent d'autant plus que les ménages habitent dans les zones rurales ou périurbaines. Le coût des carburants compte pour 5 % dans les dépenses totales des ménages vivant en zone rurale, contre 2,1 % pour ceux habitant l'agglomération parisienne.

Donc, depuis 2008, l'augmentation rapide du prix des carburants entraîne un changement important dans la structure de dépenses des ménages. Si elle se poursuit, elle pourrait accélérer des mutations technologiques ou d'usage, en particulier favoriser le recours au covoiturage puis aux véhicules électriques (si les prix de l'électricité restent contenus). C'est d'ailleurs ce qui est constaté, à chaque pic du prix des hydrocarbures, il y a un report (temporaire) de la route vers les transports collectifs pour les zones denses et vers des solutions de covoiturage (transfert aidé par les sites internet spécialisés).

Les différentes enquêtes disponibles sur la mobilité (enquêtes nationales transports et déplacements) montrent un nombre de déplacements quotidiens stable entre 1982 à 2008, autour de 3,2 déplacements quotidiens par personne. Par contre, le nombre global de déplacements continue de croître.

La situation francilienne est la plus dégradée en France, avec une moyenne de 10 heures par semaine consacrée aux déplacements domicile-travail à rapprocher

d'une durée hebdomadaire du travail de 35 heures. En outre, la dispersion des origines/destinations s'accroît, allongeant le temps de trajet et favorisant une forme de valorisation du temps différenciée selon les jours de la semaine, soit des jours travaillés à la maison et d'autres au bureau ou en clientèle. Le taux de remplissage des véhicules reste bas (1,1) pour la mobilité domicile/travail (enquête ORSTIF de 2009 en IdF) et il y a peu ou pas d'incitation (voirie différenciée) à un meilleur remplissage !

Dans ce contexte, la voiture apparaît encore comme le moyen le plus « performant » pour se déplacer, surtout en dehors des zones denses, mais la prise de conscience que l'avenir sera peut-être moins autocentré (en référence aux travaux de John Urry sur « The system of automobility » (2004)) progresse.

Les besoins et les usages changent, mais, en l'absence de rupture majeure, dans la continuité.

## LES BESOINS DE LA POPULATION

Les besoins à satisfaire, ce que les économistes appellent la demande, dépendent d'abord de la richesse des agents et de la répartition de cette richesse. De ce point de vue, les perspectives économiques tablent globalement sur une croissance faible dans les pays européens, probablement largement tirée par la croissance forte qui devrait se maintenir dans les pays émergents (Inde, Chine, Brésil, Asie du Sud-Est et Amérique latine). Quant à la répartition de la richesse, les tendances actuelles sont très nettement à l'élargissement des inégalités ; est-ce que les efforts, actuellement assez modestes, que font les gouvernements européens pour la réduire vont s'intensifier et porteront leurs fruits ? Compte tenu des différences de potentiel économique entre le Nord et le Sud de la Méditerranée et l'Est de l'Europe, il est probable que ces inégalités persisteront. On peut penser qu'il y aura toujours des différences appréciables de niveaux de vie et de culture entre les centres des grandes agglomérations et les banlieues et que la population comportera une proportion importante de ménages fragilisés (chômage, rupture de la famille...). Néanmoins, il faut être conscient que ces perspectives peuvent être controuvées ; les exemples abondent de changements brutaux qui peuvent intervenir à la suite de crises structurelles ou de modifications politiques majeures

comme en a connu le xx<sup>e</sup> siècle, ou plus probablement à la suite des modifications entraînées par des transformations des relations internationales ; ainsi une faible accélération – ou à l'inverse un ralentissement – des flux migratoires peuvent entraîner des transformations non seulement économiques, mais aussi politiques et sociales dont il est difficile de prévoir l'impact sur la mobilité. On écartera dans la suite du texte l'éventualité de tels bouleversements, même s'il faut en garder à l'esprit la possibilité d'occurrence.

## IMPACT DE L'ÉNERGIE ET DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET DES COMMUNICATIONS (TIC)

En dehors de ces évolutions globales de la richesse et de sa répartition, il faut mettre l'accent sur les transformations sectorielles et, de ce point de vue, deux secteurs méritent considération. Le premier est celui de l'énergie, un secteur sur lequel pèsent la raréfaction des ressources pétrolières et les craintes de réchauffement planétaire ; elles peuvent entraîner un renchérissement des prix du carburant et des politiques visant à économiser l'énergie, par action sur les véhicules, mais aussi par action sur les déplacements, en favorisant les déplacements en transports collectifs jugés moins énergivores, et en suscitant des formes d'organisation spatiale plus denses ; l'ensemble de ces mesures devrait conduire à une certaine réduction de la mobilité motorisée et à une réduction de la part de l'automobile dans les déplacements.

L'autre secteur ayant un impact fort sur la mobilité est celui de l'informatique et des technologies de l'information et de la communication (TIC). On examinera plus loin ces impacts sur l'offre de transports (les véhicules et leur gestion), on se limitera ici aux conséquences sur la demande, en termes de besoins ; une première conséquence résulte du développement du télétravail qui va peut-être réduire les besoins de mobilité et, surtout, alléger les contraintes horaires qui pèsent actuellement sur les déplacements domicile-travail. Les TIC vont aussi changer la nature des déplacements ; avec le développement des achats sur internet, on peut penser que beaucoup de déplacements pour motifs d'achat vont être supprimés, et remplacés par un développement des livraisons à domicile, qu'on voit déjà prendre une place croissante dans la circulation ; de même, les TIC vont favoriser la création de nouveaux types d'activités de loisir ou de commerce (les livreurs de pizzas).

Les changements technologiques vont aussi venir des TIC. Elles envahissent déjà, sans que l'utilisateur s'en aperçoive, et vont continuer à envahir, les automobiles et les autres véhicules de transport ; ainsi c'est en large partie grâce à elles que des progrès importants sont envisageables dans l'amélioration des performances environnementales des véhicules. Mais leur impact le plus marquant viendra dans l'organisation des déplacements.

Les TIC y permettront la régulation des flux, par l'information et par la tarification. L'information, on le voit déjà à travers les systèmes GPS de guidage des automobilistes ; ces systèmes commencent à faire leur apparition dans les transports en commun ; leur mise en œuvre intermodale est encore à venir. On peut également penser que beaucoup est à faire, et peut être fait, pour le guidage des piétons, notamment dans les lieux d'échange modaux tels les gares. Les systèmes se limitent actuellement à donner les temps de trajet et les meilleurs itinéraires ; on peut imaginer qu'ils puissent dans l'avenir personnaliser leurs services, intégrer les contraintes horaires particulières de l'utilisateur et lui donner des indications sur les meilleures heures de déplacement et le meilleur chaînage de ses trajets successifs.

La tarification est un autre thème qui peut connaître des développements importants. Les économistes ont toujours regretté que les signaux-prix soient si peu utilisés pour la régulation des déplacements et la lutte contre la congestion et les externalités. Une des raisons tenait à ce qu'on ne disposait pas d'outils techniques capables de cibler ces externalités, et en particulier de différencier les tarifs avec suffisamment de finesse dans le temps et dans l'espace. Maintenant ces outils existent, comme, par exemple, le système LiberT en vigueur sur les autoroutes à péage ou le système MAUT allemand de taxation des poids lourds, qui permettent, par des moyens techniques différents mais fondés sur les TIC, de taxer chaque véhicule en fonction de son type et des caractéristiques de la circulation dans laquelle il est plongé. Ces outils vont être perfectionnés, et leur acceptabilité va croissante ; on peut envisager que dans quelques années la plupart de nos agglomérations en soient dotées comme c'est déjà le cas dans beaucoup de villes nordiques ou d'Italie. On peut même envisager que les TIC soient utilisées pour des systèmes d'enchères permettant de réguler le nombre de véhicules dans une ville (l'accès à l'agglomération étant subordonné à l'acquisition d'un permis vendu par enchères sur internet).

Les TIC vont aussi être la base du développement de nouvelles formules de transport pour répondre aux besoins de mobilité, dans lesquelles ce qui est offert est, non plus la possession d'un véhicule comme c'est le cas actuellement,

mais un service adapté aux besoins du déplacement désiré. Entrent sous cette dénomination toutes les nouvelles formes de mobilité : auto-partage, covoiturage, transport collectif à la demande, robot-taxi... Les services de ce type, d'apparition récente, existent déjà et foisonnent de manière peu contrôlée ; les recensements en sont rares, mais ceux qui existent mettent en évidence la grande diversité et la capacité d'invention de la part de leurs initiateurs avec, comme dans toute activité naissante, des échecs mais aussi des succès remarquables.

Les offres de multimodalité utilisent les TIC pour permettre en temps réel et *in situ* (en mobilité) à l'utilisateur d'avoir les informations pour utiliser différentes solutions modales. Une initiative comme « 2Mi » soutenue par l'Académie des technologies s'inscrit dans cette perspective et a été relayée par le programme des investissements d'avenir.

On peut enfin s'interroger sur l'interaction entre transports et télécommunications. Celle-ci a été faible dans le passé. La croissance du trafic téléphonique n'a pas réduit celle de la circulation automobile. Il n'est pas sûr qu'il en soit de même dans l'avenir avec Internet ; on voit bien les entreprises développer les systèmes de téléconférences et les substituer à des réunions dans les périodes de crises ou dans d'autres situations exceptionnelles (grèves, accidents réduisant les possibilités de transports). On voit aussi les adolescents substituer pour une part les échanges électroniques aux déplacements physiques ; il est probable que, parvenus à l'âge adulte, ils poursuivront ces pratiques.

## LA TRANSFORMATION DES STRUCTURES SPATIALES

Les évolutions économiques s'accompagnent de changements dans les structures spatiales, et là, compte tenu de la lenteur des transformations en ce domaine, on peut s'attendre en gros au maintien de la situation actuelle, avec poursuite des tendances qui s'y font jour, sous la réserve que l'étalement urbain, la périurbanisation et la « rurbanisation » devraient peut-être se ralentir sous l'effet de la lutte contre l'accroissement de l'effet de serre, qui conduit à densifier pour gagner sur le coût du logement et sur la viabilisation et les services collectifs et, en particulier, pour réduire le recours à la voiture particulière en développant les transports collectifs. Cet effet devrait être surtout localisé et sensible dans les zones où un

développement spatial important est attendu, par exemple dans la zone desservie par le Grand Paris. Son ampleur dépendra beaucoup de la force et de la continuité des politiques publiques. Mais là où il se produira, on peut s'attendre à la mise en œuvre particulièrement marquée de nouvelles formes et de nouveaux moyens de mobilité (taxi robot, minibus...) que l'on examinera plus en détail dans la suite.

La démographie française sera marquée par un taux de croissance de la population nettement supérieur à celui de la plupart des autres pays européens, s'accompagnant d'une augmentation de l'âge moyen, deux facteurs de changements dans la mobilité et ses instruments : une mobilité plus faible, un moindre recours à l'automobile, au moins en tant que conducteur.

La mobilité était dans le passé, et reste encore, un moyen de liberté ; cette image de liberté était particulièrement attachée à l'automobile. Il semble que, maintenant, cette image s'estompe, probablement en raison de la montée des univers numériques. Les adolescents ne cherchent plus tant à posséder un moyen de locomotion ou à posséder le permis de conduire que de disposer du dernier modèle de « smartphone » qui leur ouvre la voie à des échanges autrement plus nombreux, plus rapides et plus lointains et leur permet une socialisation qui répond davantage aux attentes modernes que ne le fait l'automobile. La mobilité a toujours été pour partie un objectif en soi (le désir d'évasion) et un moyen intermédiaire pour atteindre une activité qui constitue le vrai but du déplacement. Mais de plus en plus le deuxième aspect, la mobilité comme outil, prend le pas sur l'autre. De ce fait, le calcul économique occupe une place croissante dans le choix de la mobilité ; les agents vont sortir du schéma selon lequel l'accession à la mobilité passe par la possession d'une automobile, et porter une attention croissante aux coûts des transports et à la diversité des moyens qui peuvent les satisfaire.

Il y a une nouvelle segmentation des opérateurs de mobilité qui fait évoluer la multimodalité afin de garantir l'usage du moyen de mobilité le mieux adapté par maille spatiale (agglomération - banlieue - campagne). Dans ce contexte, le véhicule servira plutôt pour les déplacements entre des zones denses pour compenser les insuffisances des infrastructures de transports collectifs. Le taux de possession d'automobile va diminuer (à long terme on va revenir à une voiture par ménage<sup>13</sup>), ce qui entraînera une baisse des ventes (au moins en Europe). La France doit se

<sup>13</sup> La notion de « ménage » correspond ici à l'« entité » vivant sous le même toit.

positionner pour faire face à ces évolutions. Les exportations (en ce qui concerne plutôt la construction des usines que les produits eux-mêmes) doivent augmenter et des offres de services autour de la mobilité sont à établir afin d'assurer une croissance du secteur. Pour cela une approche systémique de l'industrie devient de plus en plus importante. L'industrie automobile française est-elle assez agile pour agir et pour s'adapter à ces nouvelles tendances ?

## LES DÉFIS POUR L'INDUSTRIE

Il est intéressant de constater que tant l'approche industrielle que l'approche par les usages conduisent à une conclusion similaire : l'agilité de l'industrie automobile française est déterminante pour sa survie. En dix ans, cette industrie est passée d'un mode productif classique où le volume est la clé unique du succès, volume assuré par les pays émergents et la globalisation, à un mode « mixte » où il faut certes des volumes de production mais aussi une capacité à anticiper, épouser les attentes de la société et les usages nouveaux – soit une agilité pour évoluer correctement.

Cela signifie que les nouveaux modèles doivent être imaginés et produits dans des cycles courts – et que pour que ce cycle apparent (vu du client) soit court, le produit final doit être le résultat d'un processus d'intégration de composants préexistants. Dans les grands groupes, cet appel à des « banques d'organes mécaniques » s'est généralisé et les processus de fabrication ont intégré la formidable diversité de l'offre (la marque MINI dit pouvoir fabriquer des voitures quasi uniques par client).

Un intégrateur fait appel à de nombreux sous-traitants : le rapport entre le constructeur automobile et ses sous-traitants est un autre élément de cette agilité, mais le partage des rôles et responsabilités qui prévaut ne doit-il pas évoluer vers un mode plus collaboratif ? Ce mode d'organisation permettant de mieux appréhender les évolutions des usages et faciliter la transition vers un modèle d'offres de service ? Cette transformation sera illustrée dans le chapitre consacré au « système automobile ».

Dans la perspective de la diffusion du VE en Europe, le coût élevé de ce véhicule et sa faible polyvalence (hors les véhicules hybrides rechargeables) le destine à un usage urbain et son amortissement économique (hors aide gouvernementale) ne

peut être obtenu que par le partage afin de réduire l'immobilisation du véhicule<sup>14</sup>. La notion de service est en quelque sorte « en germe » dans le choix de l'électrique et elle implique un usage différent de la voirie. Celle-ci doit être « libérée » pour permettre recharge et partage : le véhicule vertueux (*cité de J.P. Orfeuil – Mobilité urbaine : l'âge des possibles – novembre 2009*) est plus en « rupture » par les usages que par sa conception technique.

Les bénéfices pour la société sont connus :

- ▶ faible encombrement, non polluant ;
- ▶ bénéfices pour les usages compensant les surcoûts éventuels ;
- ▶ sécurité mieux assurée ;
- ▶ convergence des vitesses par divergence des droits<sup>15</sup> ;
- ▶ différenciation forte des droits et tarifs d'occupation de la voirie et des infrastructures de stationnement (ex parcs de rabattement) ;
- ▶ multimodalité avec les transports en commun pour la longue distance.

Subventionné par les pouvoirs publics, ce type de véhicule doit être conçu et fabriqué en France.

Les services associés doivent être pensés « dans une dimension territoriale » : autopartage, véhicule en libre-service, covoiturage, location sociale, services à la demande, taxis...

Pour chacun de ces services, les avantages/inconvénients sont connus et les modèles économiques et les conditions de succès identifiés.

L'autopartage qui est la mise à disposition par une entreprise, une association ou une collectivité d'un véhicule sur une base par exemple horaire à un client, un adhérent, peut se développer, facilité par les réseaux sociaux (plus agiles que des systèmes classiques de réservation), dans les centres villes sans capacité suffisante de stationnement, en particulier si les municipalités le facilitent au détriment du stationnement résidentiel. Pour les collectivités, les places de stationnement sont libérées dans les zones contraintes, ce qui a un effet positif sur d'autres services « urbains » comme les livraisons en ville. Pour les particuliers,

<sup>14</sup> Windisch et Laurent – LVMT – Avantages et coûts du véhicule – ATEC ITS 2012.

<sup>15</sup> Les différents usagers de la route n'ont pas les mêmes droits de circulation, ce qui induit une convergence des vitesses (voies dédiées par exemple).

ils paient à l'usage et ne financent plus le coût fixe de possession, élevé pour les véhicules électriques. Les VE destinés à l'autopartage pourraient recevoir des innovations facilitant cet usage (gestion du partage, communication en temps réel...).

Ce service peut être aussi proposé aux entreprises, ce qui pourrait avoir un effet positif sur leur compte d'exploitation.

Les véhicules en libre-service sont popularisés par l'expérimentation de l'Autolib à Paris. Il existe des expérimentations en Europe – le frein principal semble être le coût élevé du service, en particulier lié aux coûts de la maintenance et de la gestion de l'infrastructure de recharge (voirie). Pour cet usage, des déclinaisons spécifiques de VE sont nécessaires (J.P. Orfeuill, déjà cité, parle de véhicule à « forte urbanité »). Le « libre-service » est une forme d'autopartage, mais dont la nature induit des coûts importants, d'infrastructure de charge, d'occupation de la voirie et de maintenance (cf. Velib).

Le **covoiturage** est *a priori* plus compliqué à organiser et plus contraignant – mais les réseaux sociaux et internet ont facilité son usage – il est bien adapté aux déplacements assez longs, domicile-travail entre villes ou banlieues. S'il est flexible, il ne présente pas de « rupture » en termes d'usage (possession de la voiture, stationnement, carburant...) et il est marginalement rentable pour le propriétaire du véhicule, mais comme le fait remarquer Gabriel Plassat (dans Transport du Futur 2012), c'est une approche efficace pour réduire la trace carbone !

Le succès de ces nouveaux usages est conditionné à un support des politiques publiques à la mobilité « vertueuse » pour ne pas dire électrique sous diverses formes (fiscalité mais aussi développement des infrastructures).

Comme les intervenants du « EV Infrastructure World Congress 2012 » le soulignent<sup>16</sup>, les mesures de « transition douce » (information, formation...) vers le véhicule électrique en ville sont préférables à des solutions coercitives ; néanmoins les ouvertures de privilèges d'accès (voies de bus, voies prioritaires sur autoroute, accès au centre-ville...) sont des mesures efficaces de promotion – tout comme le soutien économique dans la phase de démarrage.

<sup>16</sup> Dans « État des lieux et perspectives de déploiement de l'écosystème de mobilité électrique en Europe » – LVMT/ Virginie Boutueil – juin 2012.

La France est particulièrement prudente sur ces évolutions, en particulier dans les grandes agglomérations congestionnées.

Comme il a été dit plus haut, l'enjeu majeur est de changer les habitudes et de ne pas transposer à l'identique les comportements d'usage du véhicule thermique (possession, stationnement...). Au véhicule du futur doit correspondre un conducteur lui aussi du futur. Il s'agit là d'un enjeu majeur que la technologie seule ne peut permettre d'atteindre, le changement de comportement sera le résultat de l'éducation (des plus jeunes), de la sensibilisation aux enjeux environnementaux et, bien sûr, de la prise en compte d'éléments économiques et réglementaires.

## LA GOUVERNANCE ET LES POLITIQUES PUBLIQUES

La mobilité dépend enfin des actions publiques ; celles-ci disposent de nombreux leviers d'action : les instruments financiers tels que taxes et subventions ; la réglementation, par exemple celle qui porte sur les normes des véhicules ; les actions directes telles que la réalisation d'infrastructures. Il n'est pas question ici de passer en revue l'ensemble de ces actions et d'analyser leur probabilité de modification ainsi que leurs conséquences sur la mobilité.

On voudrait ici simplement s'interroger sur l'avenir des impulsions données par les politiques actuelles, impulsions parfois contradictoires d'ailleurs. Les contradictions se constatent d'abord au niveau national, où l'on sent une tension entre les aspirations environnementales qui, par exemple, ont conduit aux décisions du Grenelle de l'Environnement, et les contraintes économiques, qui conduisent à s'interroger sur la possibilité de financer l'ensemble des décisions en question. Elles se constatent aussi au niveau international, où l'on voit la difficulté de trouver des accords sur des sujets tels que la lutte contre le réchauffement planétaire. Elles se constatent aussi au niveau local, où fréquemment des collectivités locales ont des intérêts divergents et prennent des décisions dont les effets s'annulent.

Or, beaucoup des orientations qui se font jour actuellement impliquent une coordination de politiques publiques diverses, non seulement entre collectivités publiques de niveaux différents, mais aussi pour une même collectivité, entre des politiques sectorielles différentes. Ainsi le développement des transports collectifs doit s'accompagner d'actions fortes en matière d'urbanisme et d'organisation de

l'espace ; jusqu'ici les deux types de politiques n'ont pas été fortement coordonnées, ni au niveau central (incohérence des systèmes de taxes et subventions concernant le logement et les transports), ni au niveau local (les différents pouvoirs de décisions d'une agglomération ont des intérêts divergents qui les conduisent à externaliser les problèmes d'une collectivité locale à l'autre).

Enfin, le véhicule électrique, un des enjeux de la mobilité de demain, nécessite un dosage de l'action publique qui doit être assez forte pour arriver à se coordonner entre ses différentes parties prenantes et pour définir le cadre des initiatives privées (normes, politique d'implantation des systèmes de recharge) sans les brimer et les étouffer.

Les lignes directrices ne sont pas du tout claires aujourd'hui. Les politiques semblent être plutôt réactives aux problèmes que proactives afin d'empêcher ces derniers. En Allemagne les stratégies sont beaucoup plus claires et visionnaires. Elles mènent jusqu'à 2020, 2030 et même 2050 !

Des politiques publiques adaptées et surtout stables dans le temps (il faut se méfier des « microdécisions » qui ne visent que le proche avenir) sont souhaitables. La clientèle, les constructeurs et les équipementiers cherchent de la continuité et de la stabilité en la matière. Une cohérence entre les politiques pour l'infrastructure et celles qui visent les véhicules (ainsi que les 2- et les 3-roues) est primordiale.

Par ailleurs, essentiellement au niveau urbain, les politiques devraient s'adjuger un rôle régulateur (pas seulement organisateur).

## L'APPROCHE « SYSTÈME » DU VÉHICULE DU FUTUR

Le concept de « système » s'applique à différents composants du système de transport global et, dans ce chapitre, les sous-systèmes abordés sont constitutifs du « système véhicule du futur » : le « système routier » vision infrastructure et usage, le « système automobile » vision industrielle, le « système de mobilité » vision déplacement et multimodalité. L'exhaustivité n'est pas recherchée dans ce rapport, mais, comme il l'a été dit en introduction, l'identification des enjeux et des verrous de manière à pouvoir formuler quelques recommandations, en particulier pour la gouvernance future du système routier. Dans la suite de ce paragraphe, le monde numérique indissociable aujourd'hui de cette démarche systémique, est souvent référencé en tant que tel – mais c'est bien l'ensemble du modèle et de son expression numérique auquel il est fait référence.

La réflexion sur le « système » conduit à concevoir et mettre en place la gouvernance associée de toutes ses composantes, dont le véhicule ne constitue qu'un élément parmi d'autres. C'est cette démarche qui doit prévaloir, en particulier si le véhicule du futur est majoritairement électrique, car il nécessitera une infrastructure encore très largement à concevoir et qui devra s'intégrer dans le « système énergie » mis en œuvre en France et en Europe.

Cette idée de « système » n'est pas spontanément partagée par l'ensemble des acteurs de la filière, qui souhaitent préserver leur autonomie de décision et limiter l'intervention de l'État. La voiture est née sous le signe de la liberté et sa limitation n'est pas aisée (vitesse, droit de circulation et stationnement).

L'industrie automobile a toujours formulé sa réticence à toute ingérence des pouvoirs publics. L'homme qui, à juste titre, faisait autorité dans ce monde, François Michelin, avait une sainte horreur de toute réglementation, économique et sociale, mais aussi technique, ce qui est plus contestable. Ainsi pour lui, la réglementation de la vitesse était un mal absolu car un frein redoutable au progrès technique. Seule la compétition avait grâce à ses yeux et il fallait être le premier, c'était l'impératif car toute perte de compétitivité risquait d'être mortelle. De ce point de vue, l'industrie allemande qui a pu faire valoir cette position a, semble-t-il, pu en tirer un avantage concurrentiel.

Une première conclusion est à tirer de ce constat :

- ▶ l'ingénierie des systèmes et l'économie numérique ont une vision du monde ;
- ▶ les politiques publiques et la démocratie en ont une autre.

La rencontre de ces deux visions est un exercice qui s'impose aux institutions techniques quand les décisions relèvent de la compétence d'élus qui ne peuvent être confrontés sans médiateurs aux enseignements tirés de l'ingénierie des systèmes à partir de retours d'expérience. La conception des systèmes complexes relève de la science des ingénieurs, mais ces mêmes ingénieurs doivent aussi prendre en compte l'acceptabilité de ces systèmes par les élus et l'ensemble des citoyens. S'ils souhaitent être écoutés, ils doivent s'en préoccuper activement durant tout le cycle de vie des projets, au risque, sinon, de voir ces projets rejetés.

Dans une période de prise de conscience de la dette liée aux infrastructures de transport (cf. *Transport et dettes publiques – Cercle des Transports – avril 2012 – de J.-N. Chapulut*<sup>17</sup>), une vision globale, une argumentation de choix doit reposer sur une stratégie compréhensible par le plus grand nombre et notamment les électeurs, certes s'appuyant sur l'ingénierie des systèmes, mais traduite en langage courant ! Une évaluation des résultats attendus et chiffrés s'impose, faite par des professionnels reconnus, même si leurs conclusions ne confirment pas les intuitions du public : pour le véhicule du futur, il faut se méfier des effets de mode et soumettre les choix à cette démarche « raisonnée » dans une vision globale pour un progrès « choisi et partagé ».

<sup>17</sup> Disponible sur le site [www.cnsif.org](http://www.cnsif.org)

## LE SYSTÈME ROUTIER

Trois points restent à préciser avant de comprendre le lien entre une vision stratégique et une analyse de système :

- ▶ Un système routier à trois composants. Pourquoi ?
- ▶ Quels modèles et quelles simulations pour le système routier ?
- ▶ L'information routière, où en est-elle, où va-t-elle ?

### Introduction : Un système à trois composants

Il faut remonter à 1979 pour trouver parmi les « MIT Series in Transportation Studies » la référence d'un livre dont l'auteur est Marvin L. Manheim, bien connu des étudiants français qui prolongeaient au MIT par un Master ou un PhD leurs études d'ingénieur. Le titre de cet ouvrage est : « Fundamentals of Transportation Systems Analysis<sup>18</sup> ».

Citons ci-dessous un passage de l'ouvrage de Marvin Manheim (pages 12, 13 & 14) :

*« Le système de transport d'une région est en forte interaction avec le système d'activités socio-économiques. Le système de transport est influencé par la croissance et les changements de l'activité socio-économique et les changements socio-économiques impliquent des changements dans le système de transport. L'interaction est fondamentale pour comprendre l'ingénierie du système de transport. Le système peut être décrit par trois variables de base : T, le système de transport ; A, le système d'activités et F, le flux de trafic, les origines, les destinations, les voies empruntées et les volumes de marchandises et voyageurs engendrés par le système d'activité. Trois sortes de relations peuvent être identifiées parmi ces variables (figure 1) :*

1. *les flux du système de transport engendrés par le système d'activités ;*
2. *ces flux conduiront à des changements ultérieurs du système d'activités grâce à la qualité des services de transport et aux ressources consommées par ces services ;*

<sup>18</sup> Fundamentals of Transportation Systems Analysis « The interrelation of Transportation and Activity Systems » – MIT Press – 1970 – Marvin L. Manheim.

3. ces flux évolueront avec le temps et, par anticipation, les entrepreneurs et pouvoirs publics amélioreront les services de transport. »

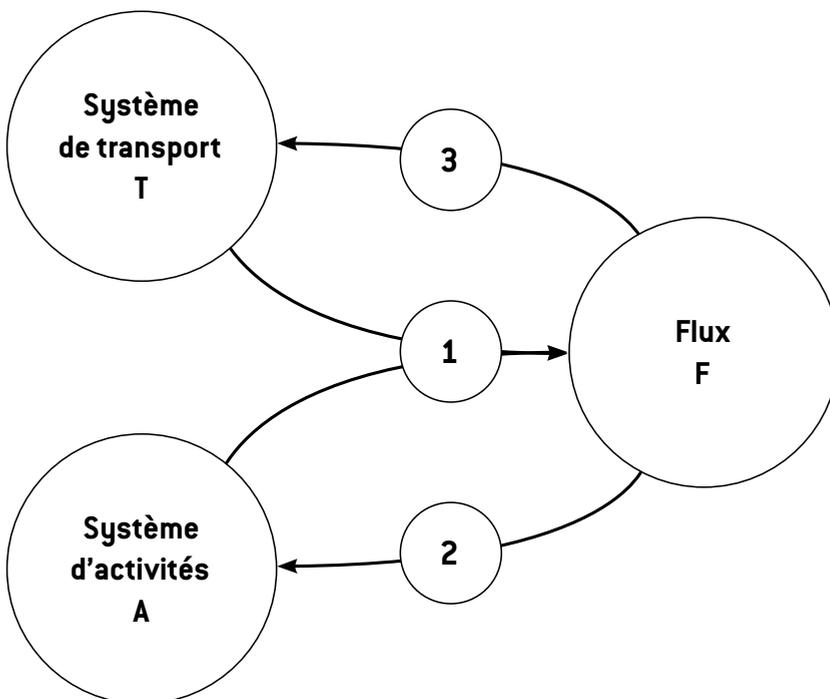


Figure 1 : Système à trois composantes.

Le système d'activités n'est pas aussi simple que ce qui est suggéré par le symbole A. Au contraire, le système d'activités d'une aire métropolitaine ou d'une région urbaine ou d'un pays en développement inclut de nombreux sous-systèmes se superposant et interagissant entre eux – structures sociales, institutions politiques, marchés du logement, etc. Le transport est seulement l'un de ces sous-systèmes.

L'évolution du système d'activité est déterminée par de nombreuses forces et pressions. La dynamique interne de ce système est très complexe et échappe à une totale compréhension. Le transport a une influence sur cette évolution, mais, en dehors de situations exceptionnelles, il n'est pas le seul déterminant de cette évolution. Le développement de la motorisation et du réseau des autoroutes n'est pas la cause de la suburbanisation et de la dispersion des aires métropolitaines appelées

parfois rurbanisation. Il faut tenir compte de l'évolution des revenus des ménages, du marché du travail et autres sous-systèmes. Rendre accessible dans un pays en développement une zone vierge ne suffit pas à stimuler l'agriculture. Il faut un marché pour écouler la production et d'autres mesures doivent être prises pour cela.

L'interaction entre le transport et le système d'activités est fondamentale dans notre approche. Le défi de l'analyse du système de transport est d'intervenir délicatement et délibérément dans la fabrique complexe de la société afin d'utiliser les transports efficacement, en coordination avec d'autres actions publiques et privées, pour atteindre les objectifs de cette société. Relever ce défi n'est pas aisé. Nous devons voir dans le transport une technologie, un système d'éléments physiques gérés par des organisations humaines pour le mouvement des personnes et des biens. Nous devons comprendre le transport comme un sous-système d'autres forces complexes sociales, économiques et politiques que nous résumons sommairement par l'expression de système d'activités. L'essentiel est que nous sachions utiliser avec efficacité cette compréhension.

Cette approche système à trois composants peut se décliner à plusieurs niveaux. Ici le système de transport, tous modes et le système d'activité, mais aussi le système routier avec son infrastructure, ses véhicules et son exploitation reposant sur le code de la route. On voit derrière chacun de ces composants tout le poids du génie civil pour le premier, de l'industrie manufacturière pour le second et des pouvoirs tutélaires du secteur public pour le troisième en matière de sécurité, d'environnement, certes, mais aussi d'aménagement du territoire et de choix des investissements relevant du domaine public.

Le terme « d'interrelation » employé par Marvin Manheim n'est pas dans le dictionnaire français. Il se traduit par interaction qui veut dire : influence réciproque. Mais derrière ce mot, il y a un monde. Prenons le contact pneu/chaussée, avec son rôle d'adhérence et de transmission de la force motrice, pour lequel une industrie majeure est née faisant plus de recherche au départ que l'industrie automobile et dont on ne sait pas trop qui est l'équipementier de l'autre. Des milliers de chercheurs travaillent sur ce sujet et nous avons un leader mondial français qui s'appelle Michelin. Cette industrie a eu une influence géostratégique [latex] avec les villes fantômes du Brésil et les drames de l'Indochine.

La voiture, elle-même, est à trois composants, comme l'avion et le navire avec l'habitacle, le moteur et le système de contrôle/commande. Un système doit avoir une frontière pour permettre la maîtrise de l'analyse.

## Quels modèles et quelles simulations pour le système routier ?

Définir le modèle, préalable à tout raisonnement scientifique n'est pas simple. Beaucoup de scientifiques adopteraient volontiers la définition trouvée dans l'ouvrage de Stephen Hawking : « Y a-t-il un grand architecte dans l'Univers ? »<sup>19</sup>.

« Un modèle est de qualité s'il satisfait les critères suivants :

- ▶ être élégant ;
- ▶ ne contenir que peu d'éléments arbitraires ou ajustables ;
- ▶ s'accorder et expliquer toutes les observations existantes ;
- ▶ pouvoir prédire de façon détaillée des observations à venir qui à leur tour permettront d'infirmer ou de disqualifier le modèle si elles ne sont pas vérifiées. »

En clair, le modèle des modèles serait de la forme :  $E=mc^2$  !

La modélisation du comportement des véhicules sur une route est difficile : trouver dans les lois physiques commandant les écoulements de fluides ou de particules des modèles mathématiques qui permettent de retrouver les fameuses courbes « débits-vitesses » constatés sur le terrain est très complexe.

Un conducteur au volant, comme, dans le passé un homme sur un cheval, n'a rien, par sa diversité infinie, d'une goutte d'eau, d'un électron ou de toute autre particule inerte. C'est en fait un homme avec une prothèse : quatre pattes pour un cheval et quatre roues pour une voiture. Seules les méthodes dites de « psychologie expérimentale » peuvent être utilisées. Or ce n'est pas une science de second ordre et les méthodes modernes de recueil de données et de traitement de ces données permettent avec rigueur de trouver des courbes significatives utiles pour la gestion du trafic. Le mythique « Highway Capacity Manual » publié dans les années 50 aux États-Unis par le « Bureau of Public Roads » a permis de recueillir des données dans tous les États américains. Maintenant il est possible, avec les systèmes d'information géographique couplés au GPS, de disposer économiquement des bases expérimentales nécessaires. C'est une méthode pragmatique, mais efficace.

<sup>19</sup> Y a-t-il un grand architecte dans l'univers ? Stephen Hawking, écrit en collaboration avec le physicien américain Leonard Mlodinow. Odile Jacob 2011.

Ces approches font aujourd'hui appel aux méthodes dites « analytiques » (soit la trilogie : informatique, recherche opérationnelle et statistique) sur des grands volumes de données. Cette démarche a conduit à proposer des solutions opérationnelles pour le traitement de la congestion autour de grandes agglomérations par exemple Chicago (source IBM).

Il semble donc possible pour un coût économiquement acceptable d'avoir un échange de données et des interactions quasi temps réel entre les différentes composantes du système et de proposer au couple conducteur/véhicule de modifier son comportement en fonction des informations connues « globalement ».

Cette approche est connue sous le vocable ITS (Intelligent transportation system) ou STI (système de transport intelligent).

## L'information routière, où en est-elle, où va-t-elle ?

### – ou de la borne Michelin au système de transport intelligent –

Il serait trop long de faire l'historique même raccourci de l'information routière. Contentons-nous du point de départ et du point d'arrivée actuel avec quelques pistes pour son développement futur.

Le point de départ c'est la célèbre borne Michelin en lave émaillée. Elle avait la double caractéristique d'être statique et quasi éternelle car résistante au vandalisme.

Nous en sommes maintenant aux systèmes dits intelligents donnant une information dynamique par panneaux variables et de plus en plus diffusée électroniquement dans l'infrastructure et dans le véhicule. Cependant l'adjectif « intelligent » est une mauvaise traduction de l'anglais, ce que l'on appelle un faux-ami car il s'agit de renseignements (CIA, MI5) et non du cerveau humain. Donnons la définition de Bruxelles du STI :

*« Les systèmes de transport intelligents (STI) sont des applications avancées qui, sans pour autant comporter de processus intelligent à proprement parler, visent à fournir des services innovants liés aux différents modes de transport et à la gestion de la circulation et permettent à différents utilisateurs d'être mieux informés et de faire un usage plus sûr, plus coordonné et plus « intelligent » des réseaux de transport. »*

Les STI associent les télécommunications, l'électronique et les technologies de l'information à l'ingénierie des transports afin de planifier, concevoir, exploiter, entretenir et gérer les systèmes de transport.

Les groupes d'acteurs concernés sont :

- ▶ les gestionnaires d'infrastructures et AOT (autorités organisatrices de transports) ;
- ▶ les exploitants de réseaux de transports publics ;
- ▶ les industriels et équipementiers automobiles ;
- ▶ les opérateurs télécoms ;
- ▶ les fournisseurs de services ITS (d'information, d'assistance, de paiement ...) ;
- ▶ les fournisseurs d'équipements et de systèmes, installateurs et intégrateurs ;
- ▶ les opérateurs de fret ;
- ▶ les consultants et sociétés d'ingénierie ;
- ▶ les usagers ;
- ▶ les chercheurs.

L'objectif est d'élaborer des spécifications d'ordre fonctionnel, technique, organisationnel, sur la quasi-totalité des domaines des STI soit :

**Pour les infrastructures :**

- ▶ gestion des trafics, sur route et autoroute ;
- ▶ prévention des accidents, gestion de la sécurité ;
- ▶ conditions de circulation (climatiques) ;
- ▶ gestion de l'entretien et de la maintenance du réseau ;
- ▶ gestion de la congestion ;
- ▶ gestion des incidents ;
- ▶ gestion de crise ;
- ▶ gestion des péages routiers, tarification, facturation ;
- ▶ information aux voyageurs/conducteurs ;
- ▶ système d'information (dont télécommunications) ;
- ▶ gestion transport intermodal (rail/route) ;
- ▶ centre de gestion du trafic.

**Pour les véhicules :**

- ▶ interaction ente les véhicules : protection contre les collisions ...
- ▶ notification des accidents, localisation ;
- ▶ assistance à la conduite.

D'où quatre domaines prioritaires :

- ▶ domaine prioritaire I : utilisation optimale des données relatives aux routes, à la circulation et aux déplacements ;
- ▶ domaine prioritaire II : continuité des services STI de gestion de la circulation et du fret ;
- ▶ domaine prioritaire III : applications des STI à la sécurité et à la sûreté routière ;
- ▶ domaine prioritaire IV : lien entre le véhicule et l'infrastructure de transport.

Il en résulte une gestion lourde, une grande incertitude sur le calendrier des applications et les modèles d'affaires. Beaucoup de potentialités, peu de réalisations à l'échelle des moyens mobilisés. Si l'on prend l'exemple du téléphone mobile et du GPS, ce qui est au départ un produit lié à la voiture devient un produit individuel de poche utilisable partout comme le mobile 3 G, mais interdit au conducteur car incompatible avec une conduite en sécurité.

Le véhicule du futur va évoluer sur une infrastructure qui offrira tout ou partie des services listés ci-dessus. Pour les constructeurs, le marché d'usage du véhicule va conduire à moduler les services accessibles dans l'automobile. Les véhicules urbains ou roulant sur les autoroutes auront des équipements sophistiqués et coûteux, mais qui contribueront à les rendre plus sûrs, plus confortables.

La politique de prévention des accidents a conduit à passer en France d'un nombre de 10 960 morts en 1986 (tués à 6 jours) à 4 172 en 2010 (tués à 30 jours) pour un trafic actuellement deux fois plus élevé, en faisant évoluer les véhicules et en limitant la vitesse. Pour continuer dans cette direction, les services d'assistance à la conduite peuvent faire encore gagner des vies, sans nécessairement utiliser des investissements lourds.

En termes de sécurité, les dispositifs existent, mais se généraliseront. Avec des systèmes GPS aux données de positionnement plus précises (Galileo), les systèmes de régulation de vitesse, d'anticollision, d'insertion dans le trafic vont encore progresser et la conduite quasi automatique sera possible sur autoroute ou dans des zones denses dans un premier temps. Le principal frein ne semble pas technique, mais humain, la conduite assistée devant être acceptée. Par ailleurs, compte tenu de la durée de renouvellement du parc, il faudra assurer la cohabitation de différentes générations de voitures sur une même infrastructure.

Tous les composants techniques sont disponibles, cependant la mise en œuvre dans le cadre d'une vision globale française et européenne semble peu « portée » par les pouvoirs publics.

Tous les véhicules étant connectés – et interconnectés (on parle de V2V<sup>20</sup> – véhicule à véhicule), les modèles de gouvernance peuvent être très différents : une approche libérale, avec une valorisation des services fournis par des entreprises spécialisées, une approche plus étatique, avec une gratuité des services de base. L'exemple des GPS automobiles illustre cette évolution – le guidage fait partie des fonctionnalités de base – l'information sur les embouteillages, la gestion des itinéraires de délestage, les mises à jour des cartes sont souvent sur abonnement. La cohabitation de plusieurs générations de véhicules offre aux équipementiers des opportunités d'installation de ces équipements sur le parc existant, à des conditions plus avantageuses.

D'où, en conclusion, une seule certitude, il y aura de nouvelles applications – la réponse à la question « mais lesquelles et quand ? » reste plus difficile. Le processus de développement obéit à des impératifs évidents de discrétion comme dans tous les secteurs industriels très concurrentiels : si comme le faisait Steve Job, vous avez en tête le futur « iphone ou ipad », vous ne direz rien avant le lancement, l'enjeu est considérable et il faut protéger ses inventions avant de les commercialiser.

Le système routier est bien un système, mais son évolution est difficilement planifiable car il est ouvert à l'innovation et son succès dépend à la fois du caractère « perversif », c'est-à-dire acceptable par le grand public de l'application avec un modèle d'affaire approprié supposant une définition non ambiguë des responsabilités en cas de dysfonctionnement.

Il faut s'accommoder d'une gouvernance molle et divisée par des intervenants jaloux de leur propre domaine qui ne peuvent ni financer seul ni imposer alors que les institutions concernées doivent agir de concert pour que l'automobile puisse circuler dans tous les pays et sur des infrastructures appartenant à des collectivités territoriales multiples.

<sup>20</sup> Vehicle to vehicle.

## L'ÉCOSYSTÈME DE MOBILITÉ ÉLECTRIQUE

Dans la perspective d'un véhicule du futur écologique (cela semble acquis), dès 2020, toute nouvelle automobile fera appel à un certain niveau d'hybridation (même le dispositif « start and stop » est considéré comme « microhybride »), l'importance d'une infrastructure de charge électrique performante est cruciale. La structuration de l'écosystème de la mobilité électrique suit son cours en Europe<sup>21</sup>, avec des efforts de coopérations entre États, entre secteurs et entre acteurs publics ou privés.

Si les démarches sont diverses, il semble que les entreprises du monde de l'énergie aient largement opté pour des stratégies proactives et des démarches fédératrices, *a contrario* des fournisseurs d'infrastructure (stationnement...) (cité dans 6). La France apparaît plutôt isolée, peu présente dans les travaux qui seront la base des standards et des modèles d'affaires de demain : elle n'a pas, par exemple, signé le traité de Vals (le 30 mars 2012) qui pose les bases d'une itinérance des services de charge entre Pays-Bas, Portugal, Belgique, Luxembourg, Irlande, Autriche, Allemagne.

Les domaines de standardisation prioritaire à l'échelle européenne sont :

- ▶ les protocoles de données, la sécurité, les prises ;
- ▶ au niveau des services – une harmonisation des offres et des modèles d'affaires.

Les enjeux sont importants pour l'industrie nationale, et pas uniquement automobile, puisque, plus encore qu'aujourd'hui, l'industrie automobile va interagir avec l'énergie, l'électronique grand public, les télécommunications et l'industrie du logiciel. Dans ce contexte, la maîtrise des interactions et la capacité d'innovation pour chacun des domaines est indispensable pour conserver la capacité de création des nouveaux produits – si on admet (cité dans « Automobile 2020: clarity beyond the chaos » – IBM 2008) que plus de 48 % des composants devront être renouvelés dans le cycle de vie du produit.

<sup>21</sup> État des lieux et perspectives de déploiement de l'écosystème de mobilité électrique en Europe – LVMT/ Virginie Boutueil – juin 2012.

Le tableau 12 présente les différentes solutions de charge des batteries et leur coût estimé (en € 2012 – sans subvention).

Type de charge	Normale (3 kVA)	Accélérée (22 kVA)	Rapide (43 kVA)	échange de batterie
Durée de la charge complète pour une batterie de 25 kWh	6 à 8 heures	1 à 2 heures	Moins de 30 min	5 min (avec robot)
Kms récupérés en 10 mn de charge	3 km	25 km	50 km	150 km
Structure/ Câblage	Câble nomade (fourni avec le véhicule)	Câble nomade (fourni avec le véhicule)	2 câbles attachés (courant alternatif + courant continu)	15 batteries par station (projet Better Place)
Coût unitaire estimé en €/ investissement minimum	de 500 à 1 600 €	2 500 €/ prise 6 000 € minimum	12 000 €/ prise 60 000 € minimum	80 000€/ poste 1 200 000 €/ station
Type d'espace	Maison individuelle/ copropriété	Parking privé (centre commercial) ou public	Parking public/voirie	Station privée
Usage	Quotidien – domicile / travail	appoint : parking, centre commercial	Flotte, taxi	Long trajet autoroutier

Tableau 12: Les solutions de charge.

La charge normale est possible à domicile, dans le cadre d'une maison individuelle, mais avec un raccordement sécurisé au réseau (ce qui explique la variation des coûts de base). La borne permet de gérer « intelligemment » la recharge de manière à optimiser les différents paramètres économiques et techniques,

illustrant l'interaction toujours plus grande entre les différents sous-systèmes, il serait cependant impropre de parler aujourd'hui de « smart grid » (réseau électrique intelligent), la batterie du VE étant uniquement en charge (pas de stockage pour le réseau).

Une étude socio-économique récente<sup>22</sup> montre que le marché potentiel de la voiture électrique en Île-de-France est fortement dépendant du mode d'achat des batteries et de la capacité d'équipement des ménages vivant en maison individuelle : avec un mode location, le marché est estimée à 13 % des ménages soit environ à 646 000 unités – avec le mode « achat », à 218 000 unités soit 4,4 %.

Il faut aussi souligner l'absence de standard entre les solutions proposées entre constructeurs (ex. : pour la charge rapide Renault en courant alternatif, PSA en continu) et au niveau européen (cf. Traité de Vals). L'infrastructure de charge est un sous-système très limitant pour le déploiement du VE<sup>23</sup> et qui représente un investissement important suivant les hypothèses retenues<sup>24</sup> :

- ▶ les coûts sont contenus si le développement utilise l'infrastructure existante, l'hypothèse est de répondre au besoin d'une flotte de VE et de VHR connue et aux parcours prévisibles (domicile-travail) – estimés à 2,5 G€ sur 2012–2025 ;
- ▶ le coût d'un réseau reposant sur la charge rapide et adapté à une flotte de VE à parcours « libre » est beaucoup plus élevé – 6 G€ sur 2012–2025 – donc plus difficile à financer.

La charge normale, particulièrement dans l'espace privé, correspond à un niveau d'investissement « modeste » comparé à l'option charge rapide. Ramené au véhicule, pour un parc d'un million de véhicules, le coût par véhicule

<sup>22</sup> Elisabeth Windisch – The impact of public policies on the adoption of privately owned electric vehicles – A socio-economic analysis – 24–25 mai 2012 – 11<sup>e</sup> séminaire francophone est-ouest de socio-économie des transports – Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, Allemagne.

<sup>23</sup> Windisch et Laurent LVMT – The compatibility of French households with electric vehicles – décembre 2011.

<sup>24</sup> Quelles perspectives pour les infrastructures de charge ? Chaire de développement durable – 2009 – EDF.

en circulation est de 300 €, hors rémunération des capitaux engagés – soit environ 3 cents du km parcouru en moyenne. Avec le développement du parc, il décroît à 150 € quand le parc dépasse les 5 millions. Dans l'hypothèse de mise en place d'infrastructure de charge « rapide », il faut financer 6 cents par km, ce qui constitue un frein évident au déploiement pour un VE déjà cher et difficile à rentabiliser par rapport à un véhicule thermique comme le montre la figure 2 (source EDF).

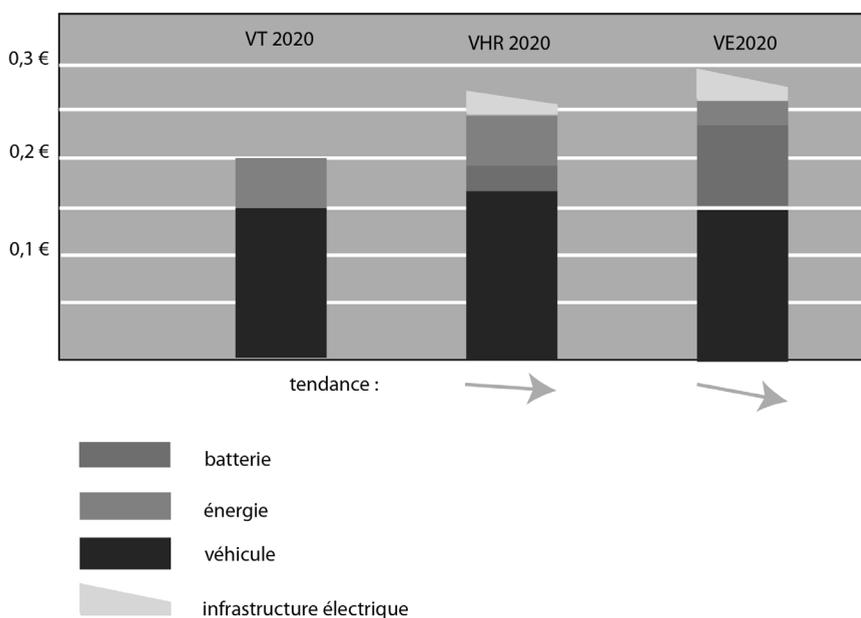


Figure 2 : Coûts kilométriques comparés hors infrastructure routière.

Le modèle de développement du VE dépend bien d'une vision système des interrelations entre le véhicule (et ses performances = capacité de la batterie/coût), l'infrastructure de charge (et sa dépendance au système énergie) et la mobilité et les usages, avec le paradoxe que l'approche favorable à l'amortissement rapide du VE (flotte partagée) induit des coûts d'infrastructure élevés (charge rapide sur le domaine public).

## Le sous-système énergie : quel impact énergétique ?

La question essentielle est de savoir si la demande énergétique d'un parc de 2 millions de VE peut être satisfaite et si elle n'a pas d'effet contreproductif en terme de gaz à effet de serre. Le tableau 13 présente les trois paramètres pour répondre à cette question<sup>25</sup>.

	Capacité installée	Facture énergétique	Charge
Définition	Puissance du parc de centrales installé	Électricité consommée en France par an	Puissance que le réseau doit fournir à tout instant pour satisfaire la demande
Chiffres clé en 2009	116 GW dont 55 % de centrales nucléaires	542 TWh soit un taux de charge des centrales de 53 %	40–55 GW selon l'heure de la journée
Impact de 2 millions de VE	Consommation de 5,2 TWh/an, soit 1 % de la consommation électrique française avec l'hypothèse 13 000 km/an et 0,2 kWh/km		Dépendant du comportement des usagers

**Tableau 13 :** Impact de 2 millions de VE.

Charger un VE sur le réseau revient à connecter l'équivalent de la puissance consommée par une maison (électrique !) en usage maximum – pour une charge lente, 3 kW pendant 8 h soit un appel de puissance de 6 GW (5 % de la capacité installée). Pour la charge rapide, la demande passe à 40 kW pendant ½ heure et un appel de 80 GW (65 % de la capacité installée)<sup>26</sup>.

La demande pourra être satisfaite par les centrales actuelles avec l'hypothèse que 90 % des véhicules seront rechargés aux heures creuses en charge lente (appel de puissance de 1,8 GW) et que le 10 % des usagers fassent appel à la charge rapide (appel de 1,6 GW en heure de pointe).

<sup>25</sup> Cité de ENPC – Séminaire VET – La voiture électrique : une émergence possible ? Morel Clémence, Pages Emmanuelle, Hilt Etienne, Paron Emilien 23/03– 2012.

<sup>26</sup> GNESE – Faut-il construire de nouvelles centrales pour vendre des véhicules électriques ? [www.GNESE.com](http://www.GNESE.com) – 22 octobre 2011.

En moyenne, 1,6 GW nucléaires sont largement disponibles la nuit – les autres besoins peuvent être couverts en exploitant les centrales thermiques<sup>27</sup> – plus que l'éolien (ou le solaire). Pour bénéficier d'un impact environnemental, la gestion du réseau électrique doit intégrer ce paramètre d'usage.

## Mais quel impact environnemental ?

Dans une vision « système », cette question doit être abordée pour l'ensemble du cycle de vie du véhicule, même si le bilan d'usage est celui qui est le plus souvent analysé. La fabrication d'une voiture correspond aujourd'hui à environ 6 tonnes de CO<sub>2</sub> en moyenne – la Commission européenne prend une valeur entre 5 et 5,5 tonnes – *a contrario*, sur le marché américain les valeurs sont au-dessus de 7 tonnes, mais la masse pondérée des véhicules européens est de 1 262 kg contre 1 820 aux États-Unis. Les premières estimations relatives aux véhicules électriques tous types confondus (VHR, VE) aboutissent à des chiffres supérieurs, de l'ordre de 7 à 9 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub>. En effet un véhicule électrique a une structure de VT plus des batteries qui correspondent à 1 à 3 tonnes de CO<sub>2</sub> supplémentaires.

Le véhicule du futur devra être conçu de manière à réduire les émissions induites par sa conception – plus léger, avec des matériaux différents. Les nouvelles générations de batteries doivent elles aussi avoir un bilan plus favorable – et nécessiter moins de métaux ou terres rares.

À l'usage la voiture électrique a un avantage, mais celui-ci dépend de la nature de l'énergie électrique utilisée :

- ▶ 65 g CO<sub>2</sub>/kWh (13 g CO<sub>2</sub>/km) pour une charge en heure creuse avec production nucléaire ;
- ▶ 500 g CO<sub>2</sub>/kWh (100 g CO<sub>2</sub>/km) pour les heures de pointe avec une production marginale assurée par les centrales thermiques.

La production envisagée de 2 millions de véhicules électriques correspondra à l'émission de 18 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> soit environ 5 % des émissions de la France, par contre, l'économie annuelle pourrait être de 3,1 millions de tonnes de

<sup>27</sup> Au détriment de l'impact environnemental.

CO<sub>2</sub> si les VE sont chargés en heure creuse. En cinq ans et demi, le coût du carbone de transition serait remboursé et le solde sera positif sur le cycle de vie du véhicule estimé à 15 ans. Sur cette durée d'usage et avant recyclage, le gain est évalué à environ 20 % par rapport aux VT d'aujourd'hui.

Cela montre à quel point, le bilan énergétique est dépendant de la nature de la production électrique et de la conception du véhicule et des progrès des batteries : avec le « mix » électrique allemand d'aujourd'hui – ce gain ne serait plus que de 12 % [cité par VB – conférence débat AVERE – 22 mai 2012].

Les autres avantages environnementaux du VE – soit l'absence de nuisance sonore et d'émissions polluantes – sont incontestables et représentent une économie comprise entre 0,5 et 1 milliard d'euros/an – sans compter l'impact « santé » positif.

Le développement des véhicules électriques dépend donc de contraintes systémiques complexes – système routier – système de mobilité – système énergie – et en outre, leur émergence rapide n'est possible que *via* la transformation du système automobile qui doit évoluer pour produire ces voitures du futur.

### Le système automobile français face aux nouvelles technologies de mobilité<sup>28</sup>

Les approches « système automobile » prennent en compte les relations et synergies entre tous les acteurs de la filière, incluant les nouveaux partenaires – électronique grand public, énergie, par exemple – et dont la figure 3 tente de résumer la complexité, dans le cadre d'une industrie centenaire qui a dû évoluer en permanence, mais qui doit encore accélérer sa transformation en raison de la globalisation des marchés et de l'obsolescence plus rapide des produits.

C'est peu dire que la compétitivité d'un constructeur va dépendre de son insertion dans le « système » qui n'est plus uniquement national mais mondial. Les modes d'organisation et de production peuvent s'avérer rapidement inadaptés et les erreurs stratégiques ou de positionnement conduire à des situations

<sup>28</sup> Ce titre est repris d'une audition du professeur Jean-Jacques Chanaron en avril 2011 qui illustre bien la nature du défi !

difficiles. Car le système est devenu instable parce qu'il est soumis à des contraintes contradictoires :

- ▶ marché national / compétition internationale ;
- ▶ produire en France/ produire au plus près des marchés émergents ;
- ▶ concurrence par les prix/ investissements technologiques lourds ;
- ▶ contraintes réglementaires locales sévères/compétition internationale faussée ;
- ▶ aides gouvernementales par marché.

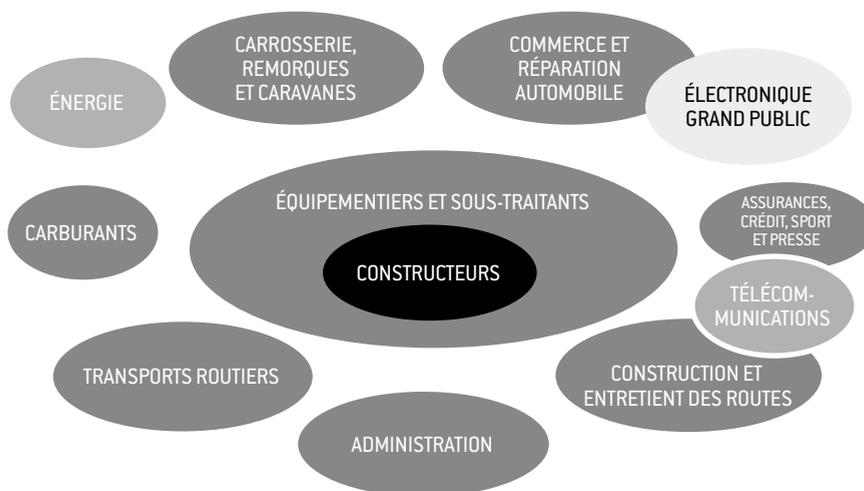


Figure 3 : Le système automobile.

Pour ces raisons, le point mort de production n'a cessé de croître et il atteint le million par groupe industriel – alors même que le marché se différencie toujours plus en nouveaux segments « lowcost », SUV... Les constructeurs doivent concevoir des modèles « globaux », avoir des banques d'organes qui leur permettent de réduire les coûts de conception et de fabrication des nouveaux véhicules, mais ils doivent aussi répondre à une demande toujours plus forte de personnalisation de la part des clients.

Ces contradictions ne peuvent être résolues que par les entreprises les plus performantes qui ont la capacité d'attirer des talents dans tous les domaines (techniques et artistiques), d'innover en animant un écosystème plus important que celui dont ils sont issus.

Le véhicule du futur va être le résultat de cette mutation, qui est en quelque sorte inattendue puisque, pour la première fois, des efforts importants vont être mis en œuvre pour développer des innovations technologiques pour un produit *a priori* plus cher et moins polyvalent ! Cette situation résulte du consensus mondial de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> (la Chine vise une production de 5 millions de VE en 2020 selon son plan décennal).

## QUELLE PLACE POUR LE SYSTÈME AUTOMOBILE FRANÇAIS DANS LA COMPÉTITION MONDIALE ?

Le panorama de la production mondiale présenté dans le premier paragraphe illustre le fait que la croissance de l'automobile se fait en Asie et dans les pays émergents. Du point de vue de ce critère, Renault *via* son alliance avec Nissan, a incontestablement un avantage concurrentiel vis-à-vis de PSA.

Le système automobile français produit de moins en moins en France et PSA qui avait préservé des capacités hexagonales, va les réduire. Sans proposer dans une analyse des forces et faiblesses des deux groupes, la condition du maintien de la recherche, du développement et de la conception de véhicules correspondant à des marchés matures et « sophistiqués » passe par la localisation d'un outil de production national.

Il semble illusoire de vouloir assembler en Europe des véhicules pour la Chine ou le Brésil – les coûts logistiques seuls, induisent une relocalisation des usines – mais des sous-ensembles technologiques peuvent continuer à y être conçus et fabriqués : la valeur ajoutée d'un système électronique est plus élevée que celle de l'emboutissage de la carrosserie.

Dans ce contexte, le véhicule du futur – s'il est innovant, technologiquement sophistiqué et adapté aux marchés « matures », en particulier en offrant la capacité à s'intégrer dans des écosystèmes de transport complexe – a plus de probabilité d'être national.

Pour cette raison, la robotique collaborative, apte à associer à un homme un robot, est indispensable pour conserver les opérations d'assemblage des véhicules : le robot a une forte valeur ajoutée et doit être conçu *in situ* pour les besoins spécifiques d'une fabrication, son association avec l'homme permet

de faire baisser les coûts tout en créant de nouveaux emplois qualifiés pour le concevoir.

La mutation à entreprendre est donc importante, puisque, qu'il s'agisse de Renault ou de PSA, leur image est dans les véhicules de gamme basse et moyenne. Audi prouve cependant qu'avec une production limitée, mais bénéficiant des plates-formes d'un grand groupe VAG, il est possible d'être très rentable. Cette stratégie de « valeur ajoutée » sur des composants standardisés est accessible aux entreprises françaises – en premier lieu pour Renault avec son alliance avec Nissan, et demain pour PSA Citroën avec son accord avec GM.

Cette stratégie de l'innovation semble incontournable – elle est encouragée par l'État (*via* des programmes de recherche, des pôles de compétitivité) – mais elle est conditionnée simultanément par :

- ▶ la faisabilité d'une solution technique en ligne avec les attentes des consommateurs et utilisateurs = la batterie qui tient 400 km ;
- ▶ l'adéquation commerciale, c'est-à-dire que son prix de marché rencontre la demande et que le coût d'usage soit raisonnable = des nouveaux modèles économiques pour utiliser des batteries ;
- ▶ l'industrialisation possible – coût, qualité, volume – avec des partenaires et sous-traitants ;
- ▶ que l'acceptabilité politique, sociale, culturelle qui fait que le consommateur accepte le produit existe = forte attente de VE en ville.

Ces conditions préalables ne font pas le succès et des modèles d'affaires<sup>29</sup> adaptés sont essentiels pour accompagner l'émergence. Ces modèles peuvent se démarquer considérablement des déclinaisons actuelles qui reposent toutes – avec des variantes – sur la possession du véhicule par son utilisateur, pour devenir des offres de service de mobilité.

Les industriels doivent mener deux transformations :

- ▶ une transformation industrielle en rupture ;
- ▶ la mise en place de modèles d'affaires éloignés de leur culture d'origine.

<sup>29</sup> On entend par modèle d'affaires, l'ensemble des modalités économiques, incluant les éventuels soutiens de toute nature, qui font qu'une opération, un système est viable ou non.

Le maintien d'une industrie automobile va donc dépendre de la capacité des constructeurs nationaux à construire des voitures différentes et à mettre en place une relation et des services différents de ceux qu'ils offrent aujourd'hui.

### LA FRANCE ET SON SYSTÈME AUTOMOBILE...

Le système automobile français n'est ni particulièrement en avance ni dramatiquement en retard sur le plan de la maîtrise des technologies des batteries et des piles à hydrogène, par contre il n'est pas très bien placé pour financer la R & D du fait de la (relative) faiblesse en matière de rentabilité financière des constructeurs et équipementiers nationaux.

Il n'a pas réussi à rallier les grands groupes de la filière électrique, qui craignent les rapports de force asymétriques traditionnellement en vigueur dans le système automobile.

Le système automobile français peut bénéficier de son expertise en matière de design et de production de petits véhicules et utilitaires dérivés, il peut être pénalisé du fait de sa spécialisation « bas de gamme » et/ou « low cost » si les coûts de production des nouvelles technologies imposent un « premium » pour les rentabiliser.

Il peut compter sur le soutien de l'État pour se positionner sur la technologie appelée à devenir dominante, une fois celle-ci déterminée, mais sans financement massif.

*(cité de l'audition en avril 2011 de J.J. Chanaron, Directeur de recherche GATE-CNRS – conseiller scientifique de Grenoble école de management)*

## QUELLES INNOVATIONS ?

Les innovations les plus importantes vont concerner un marché initial de 50 000 à 100 000 unités par an et la période de transition va être longue : les innovations actuelles sur le moteur thermique devront donc se poursuivre pour permettre l'amortissement des investissements réalisés sur des séries plus importantes – ils bénéficieront *a priori* aux véhicules hybrides.

Les équipementiers ont un rôle important à jouer tant dans l'innovation des futurs véhicules (Michelin avec le moteur-roue par exemple) que dans l'évolution « écologique » des équipements indispensables au confort des conducteurs (climatisation solaire, etc.).

Cette capacité à amortir une partie des innovations sur des véhicules thermiques ou hybrides a un double bénéfice :

- ▶ diminuer la trace carbone des VT ;
- ▶ abaisser les coûts des petites séries de VE.

L'innovation technologique va porter en particulier sur :

- ▶ les batteries et les processus de charge et d'insertion dans le réseau électrique ;
- ▶ les fonctions de « transport intelligent » comme vu précédemment, soit plus d'électronique et de logiciel dans chaque véhicule ;
- ▶ l'allègement des véhicules ;
- ▶ les matériaux composites ;
- ▶ les nanotechnologies ;
- ▶ et toujours la performance du moteur thermique qui dispose encore d'un potentiel important de réduction de consommation (2 à 3 l/100 km semblent à portée).

La principale nouveauté vient de l'association au produit « automobile » d'une innovation « service » et le rôle que vont y jouer les constructeurs est encore mal défini.

Aujourd'hui, les services dans le secteur automobile correspondent essentiellement aux processus de vente et de maintenance. Le passage progressif au VE – la diminution du nombre de VT – aura pour conséquence de diminuer le volume de la maintenance et sa nature. Un moteur électrique est très fiable, une batterie se remplace. Il est probable que dans l'écosystème automobile, il y aura une forte réduction du nombre de garagistes (en parallèle de la disparition des stations essence). À ces services existants, devront se substituer les services issus des nouvelles mobilités.

Ce type d'innovation, bien connu dans l'industrie des télécommunications ou du logiciel, l'est moins dans le monde automobile. Plusieurs types de scénarii sont possibles : un scénario repose sur des alliances entre sociétés du monde du service et constructeurs, un autre sur leur dissociation – dans ce cas les cahiers des charges seraient fournis aux constructeurs par l'opérateur du service (Better Place,

un opérateur global de réseaux d'infrastructure, déjà présent dans le segment des stations de recharge ou d'échange des batteries automobiles ?) ou enfin un scénario « ouvert », avec des constructeurs qui publieraient les caractéristiques techniques d'interopérabilité de leur produit et qui animent des « écosystèmes » (comme dans le domaine des TIC Apple, Facebook...) comme le synthétise le tableau 14.

La sous-traitance automobile, en particulier au-delà du rang 2, devra accompagner cette transformation et même y jouer un rôle nouveau. Un rapport d'OSEO sur « Les PME et les ETI de la filière automobile » de Vincent Frigant – maître de Conférences – Bordeaux IV – juillet 2011 – montre combien l'innovation est urgente pour préserver les emplois de la filière : les pôles de compétitivité, les programmes nationaux y contribuent, mais l'effort doit être intensifié pour attirer des talents et créer un « écosystème » innovant autour du véhicule du futur qui ne soit pas nécessairement le reflet des analyses marketing des constructeurs.

	Les nouveaux services			
	Définis par les constructeurs	Appel d'offres des sociétés de service de mobilité (Veolia...)	Proposé par un écosystème	Défini par une gouvernance publique
Définition du produit	Par le Marché	Par les sociétés de service	Co-opétition* de l'écosystème	Cahier des charges
Agilité/adaptabilité	+	=	++	-
Diversité	+	=	++	-
Interopérabilité	Propriétaire mais mondial	Propriétaire « local »	Standard de marché ou standard national ou international	Propriétaire national ou standard
Prix	=	+	--	-
* On désigne par ce néologisme une relation de coopération/compétition				

Tableau 14: Scenarii pour les nouveaux services.

Les entreprises « dominantes » ont du mal à innover en rupture – IBM a laissé les systèmes d'exploitation à Microsoft et a ignoré les routeurs qui ont fait la fortune de CISCO – Microsoft n'a pas vu grandir Google ... Dans le secteur automobile, l'arrivée des technologies numériques, leur poids relatif dans la valeur ajoutée (> 30 %) devrait favoriser cette évolution.

Le système automobile va donc se complexifier dans le futur. La place prépondérante prise par la mobilité et les usages en substitution du produit technique est un enjeu majeur qui peut ouvrir des perspectives industrielles dans les années à venir. à la croisée des chemins, le système automobile actuel – très orienté production – doit continuer à accroître sa performance pour pérenniser les entreprises tout en se réinventant pour répondre tant organisationnellement que techniquement à la demande prévisible des nouveaux usages.

## LA DIMENSION TECHNOLOGIQUE DU VÉHICULE DU FUTUR

Les progrès technologiques peuvent porter, soit sur les véhicules proprement dits, soit sur l'organisation de leurs mouvements.

En matière de véhicules, l'automobile thermique offre encore de grandes marges de progrès. Les consommations unitaires et les atteintes à l'environnement peuvent encore se réduire considérablement. La rupture technologique est constituée, à l'échelle du moyen-long terme, par l'usage de l'électricité, soit à travers les véhicules hybrides, soit à travers le véhicule électrique pur.

Pour la première fois depuis l'âge des pionniers, des innovations potentiellement majeures sont envisageables tant pour le véhicule lui-même que pour son insertion dans l'infrastructure et la mobilité.

Le développement **de l'offre** en matière de véhicules n'est certes plus commandé par le marché français mais par les besoins du marché mondial et particulièrement des pays émergents, mais d'autres industries montrent qu'en matière d'offre, un marché très innovant peut avec une taille modeste jouer un rôle moteur (La Corée pour les TIC par exemple). Cette dynamique innovante peut conduire à une déclinaison très large des produits, puisque le « contexte » d'usage sera radicalement différent. Les grandes mégapoles seront un marché pour le VE, mais un marché segmenté qui nécessitera des adaptations aux standards, infrastructures, usages et mobilité locaux – un enjeu majeur est l'adoption de ces standards et la capacité du marché national à y obtenir un rôle moteur.

Pour cette raison, les innovations de service (en particulier dans les technologies numériques – TIC) joueront un rôle majeur pour permettre l'adaptation locale d'un produit global à un coût « acceptable ». De ce point de vue, l'industrie automobile peut trouver dans le monde de la téléphonie portable un modèle d'adaptabilité entre les mobiles à carte prépayés d'Afghanistan et les iPhones de San Francisco !

## LES VEROUS TECHNOLOGIQUES

### La batterie

Fait unique dans une industrie mature, un choix technique va être encouragé en proposant une technologie moins performante et plus chère que celle qui est en usage. Les batteries sont très loin d'offrir l'équivalent énergétique d'un plein d'essence (ou gazole) d'un VT.

Pour cette raison, l'enjeu majeur pour le développement de la voiture électrique est l'accumulateur (et son infrastructure de charges). Le stockage le plus performant en termes de densité d'énergie (Wh/kg) est l'accumulateur électrochimique. Les batteries ont évolué de l'accumulateur au plomb (1880), puis au NiCd (1899) et plus récemment au Li-ion (1990).

La technologie au lithium évolue rapidement et sous la dénomination Li-ion (lithium-ion) ou Li-Po (lithium-polymère) selon que l'électrolyte est un liquide (Li-ion) ou un polymère (Li-Po), il est fait référence à une trentaine de couples d'électrodes différentes. La société Bolloré a promu une technologie lithium-métal-polymère utilisée pour la Blue Car de l'Autolib.

Les perspectives d'amélioration des batteries sont réelles, mais leur disponibilité industrielle pour un véhicule (fiabilité, cycle de charge, risque incendie) est moins prévisible (5–10 ans).

Les progrès des nanotechnologies vont aussi contribuer à ces évolutions, la dynamique du marché des batteries donne les ressources nécessaires à ces travaux de recherche. Sont envisagés les batteries sèches – sans risque incendie, à meilleure durée de vie, un accumulateur nickel-lithium avec des électrolytes solides 2 à 3 fois plus performant que le Li-ion et même des batteries lithium-air (3 à 4 fois le Li-ion).

Sans intégrer le paramètre « coût », ces évolutions laissent présager d'une autonomie d'usage des VE qui passerait de 150 à 200 km à 300–400 puis 450–600 km sur plus de vingt ans. Les fabricants de batteries vont-ils pouvoir supporter des changements de technologies aussi rapides ?

Un des freins à ce développement est peut-être plus dans la relative rareté du lithium – ce qui nécessite la mise en place d'une filière de recyclage performante – et la limitation à quelques centaines de millions de VE compte tenu des réserves connues.

Du point de vue des brevets, la situation française et européenne n'est pas bonne : la Chine et la Corée représentent 75 % des 300 brevets récents déposés sur les batteries lithium – au niveau de publications présentées à l'IMLB « International Meeting on Lithium Battery », les publications françaises passent de 50 en 2006 à aucune en 2008... La situation est identique pour les brevets concernant les véhicules électrique et pour les piles à combustible.

Les évolutions rapides des solutions au niveau du laboratoire pour des nouvelles batteries posent un problème majeur de choix stratégique avec deux options contraires : soit faire porter l'effort sur la recherche de la solution la plus performante, au détriment des applications court terme pour lancer le marché, soit au contraire choisir une solution déjà éprouvée mais avec des performances moyennes et concentrer les moyens de développement pour couvrir la phase de lancement des VE dès maintenant.

D'autre part, en ce qui concerne le contrôle de la chaîne de valeur dans les batteries, il faut intégrer dans les réflexions stratégiques à ce sujet les fortes différences entre les étapes successives de la production du pack batterie spécifique d'un VE donné. La première étape de fabrication du module de base est un procédé industriel lourd analogue à celui des composants photovoltaïques ; la deuxième est la production de blocs élémentaires de modules ; la troisième est la production du pack spécifique et l'implantation du système de gestion (BMS, voir ci-dessous) ; enfin la dernière étape, souvent méconnue, est la mise en état de bon fonctionnement du pack par des cyclages contrôlés avant l'intégration dans le véhicule. Il est bien évident que les stratégies d'intervention des constructeurs sur la production des batteries pousseront à s'engager plus ou moins fortement sur ces différentes étapes.

L'évolution des infrastructures de charge est également un domaine de recherche prometteur, en particulier pour accroître l'autonomie des VE. Des projets de route

électrique sont à l'étude, en Allemagne en particulier, à l'initiative de Siemens, avec ou sans caténaire. Le savoir-faire français en matière de tramway est à valoriser.

## Les systèmes de gestion des batteries (BMS)

Les BMS (Battery Management Systems), permettent de délester les cellules trop sollicitées dans les cycles de charge/décharge des batteries et d'optimiser la dégradation des modules de forte capacité afin d'atteindre la cyclabilité théorique d'une cellule isolée en laboratoire de cet accumulateur. Ces systèmes sont essentiels non seulement pour fiabiliser le cycle de vie et d'usage des batteries, mais aussi pour bâtir des modèles d'affaires « stables » – indispensables au développement de la location – le loueur ne prenant qu'un risque « calculé » donc prévisible ! Ces systèmes sont un composant essentiel de la batterie.

## L'accès au vecteur énergie électricité

Les progrès proviendront essentiellement de la mise en place de « smart grids » donc d'une gestion optimisée du réseau électrique. Dans la phase de démarrage, le réseau actuel peut répondre à la sollicitation des recharges si elles sont à 90 % « lentes » – au-delà et pour ne pas annuler l'effet zéro-émission en produisant une électricité carbonée, une approche globale et optimisée – intégrant peut-être les VE comme source « tampon » ou autres stockages – devra être progressivement déployée afin de lisser la courbe de demande électrique et les aléas de la production de l'électricité verte (solaire, éolien).

## L'électronique de puissance

Son intérêt est de fournir aux moteurs de propulsion les pointes de courant d'accélération ainsi que d'absorber en retour celle de récupération d'énergie (freinage...). Elle constitue un composant essentiel dans le développement des VE et plus encore des VE PAC (afin de leur donner une capacité d'accélération), elle permet de mettre des dispositifs « minihybrides » sur des VT (stop and start).

## L'hydrogène

Le développement du véhicule à hydrogène, mettant en œuvre une pile à combustible ne semble pas devoir largement se développer – hors des niches – à court terme en raison du mauvais bilan carbone de son extraction et du coût élevé de constitution d'un réseau de distribution grand public. Néanmoins, la recherche de procédés de production d'hydrogène ayant un meilleur bilan énergétique et l'amélioration du fonctionnement des PAC est importante pour la compétitivité de l'industrie française dans le cadre du transport de marchandise par exemple.

## Les biocarburants de seconde génération

Le véhicule du futur – en particulier dans le cas des hybrides – fera appel aux biocarburants dits de seconde génération qui utilisent non pas les graines ou le jus riche en sucre des plantes cultivées, mais la plante entière et les déchets des plantes alimentaires, généralisant ainsi le règne végétal et ses sous-produits comme source possible de matière première renouvelable. Ils peuvent permettre à des industries matures existantes, comme les producteurs de pâte à papier, de valoriser des sous-produits disponibles et d'améliorer leur balance environnementale (*extrait, comme ce qui suit, du rapport de l'Académie des technologies sur les vecteurs d'énergie*).

Ces biocarburants sont en cours d'élaboration et d'industrialisation. Deux procédés industriels sont testés :

- ▶ les procédés dits « biochimiques » mettant en œuvre des mélanges d'enzymes pour libérer les sucres présents dans la plante, y compris le bois, ces sucres étant eux-mêmes récupérés et utilisés pour la fermentation et la distillation de molécules à forte composante énergétique comme l'éthanol ou le butanol ;
- ▶ les procédés dits « thermochimiques » qui en gazéifiant la biomasse libèrent du CO et de l'hydrogène. Ces procédés utilisent la réaction de synthèse de Fischer-Tröpsch<sup>30</sup> pour produire des hydrocarbures à partir de ce gaz, avec toutefois des pertes énergétiques supérieures à 50 %.

<sup>30</sup> Procédé chimique inventé et breveté par ces deux chimistes dans les années 1920 permettant de produire des hydrocarbures liquides à partir du charbon. Le procédé peut aussi être utilisé pour produire des carburants liquides à partir du gaz naturel.

Les sources de matière première utilisables sont *a priori* abondantes et l'effet, suivant le procédé, neutre ou quasi neutre en émission de nouveaux gaz à effet de serre. Ces procédés, actuellement en test pilote aux États-Unis et en Europe ne devraient pas être mis en œuvre au stade industriel avant 2020 au plus tôt, ils ont un fort potentiel d'amélioration de leur performance. La richesse française en biomasse donne la possibilité de développer des capacités de raffinage qui répondent au besoin du secteur transport au-delà de 2020. La voiture du futur hybride ou le petit véhicule thermique mettra en œuvre des moteurs adaptés à ces carburants.

## LA ROBOTIQUE COLLABORATIVE

La capacité à fabriquer des robots aptes à travailler « collaborativement » avec des hommes est un facteur de compétitivité pour les industries d'assemblage comme l'automobile. L'industrie des robots, encore peu développée prendra une importance croissante d'ici 2050. Un vaste programme de développement des technologies nécessaires à leur élaboration et industrialisation semble indispensable comme le fait aujourd'hui le Japon.

## LES TIC ET L'ÉLECTRONIQUE GRAND PUBLIC DANS LE VÉHICULE

Les technologies de l'information et l'électronique sous diverses formes sont déjà dans le véhicule et représentent une partie importante et croissante de la valeur ajoutée de l'automobile. Le véhicule électrique va encore accélérer cette « interpénétration » entre une électronique et des logiciels embarqués traitant des fonctions de contrôle et d'échange d'information avec les autres véhicules et l'infrastructure et l'électronique grand public, proposée pour différencier le produit et le rendre plus attractif à des générations Y très connectées.

La France a des atouts à faire valoir pour ces deux catégories de composants – vrais sous-systèmes – *via* ses champions du monde de la défense et de l'aéronautique – il semble judicieux de favoriser l'émergence de plates-formes « ouvertes » [au sens du tableau 14] pour faire émerger un écosystème associant autour des

pôles de compétitivité entreprises et chercheurs, dans et en dehors du monde de l'automobile, qui puisse concevoir de nouvelles générations de produits validés dans le cadre d'expérimentations nationales. L'expérience des sociétés de service dans le transport de taille internationale est un atout pour qu'à travers ces prototypes ou petites séries, les entreprises innovantes – TPE ou PME/PMI – puissent acquérir un avantage compétitif qui servira leur développement.

### **Comment conserver la valeur ajoutée en France ?**

En conclusion, l'objectif pour la France est de garder de la valeur ajoutée sur le territoire dans une logique de compétition avec les autres pays qui développent des expertises complémentaires ou concurrentes. Afin de savoir dans quelles directions il serait souhaitable de faire évoluer les coûts, il faut observer et mettre en évidence les évolutions liées aux différents types de véhicules (thermiques, électriques (incluant l'hydrogène) et les véhicules hybrides.

Des pistes possibles pour garder de la valeur ajoutée en France :

- ▶ soutien à la construction des batteries (en choisissant les parties de la chaîne de valeur qui sont intéressantes en emploi et en valeur) ;
- ▶ renforcement des secteurs des plastiques, des composites et de leurs transformations pour favoriser l'allègement des véhicules (entre autres) ;
- ▶ renforcement des équipementiers qui gagnent de plus en plus d'importance dans le système automobile ;
- ▶ renforcement du secteur TIC (qui est lié au véhicule) – ex. : intégration de téléphone intelligent ou « smartphone » dans la voiture (exemple de la Nissan LEAF) ;
- ▶ soutien aux joint-ventures qui visent à proposer des services autour de la mobilité aux clients ;
- ▶ renforcement du segment des véhicules hauts de gamme qui sont les véhicules qui font émerger les grands développements.



Rapport de l'Académie des Technologies  
Le véhicule du futur

---

## CONCLUSION

L'automobile est une industrie essentielle au développement de la technologie et de l'économie. Cela vaut pour l'Europe, et particulièrement pour la France, car elle est un fort contributeur direct et indirect au budget de l'État.

Il est indubitable que l'âge d'or de la production automobile en France est derrière nous et que les marchés de masse se trouvent en Asie et dans les pays émergents. Comme d'autres industries matures, le système automobile est contraint de privilégier les créneaux à forte valeur ajoutée au volume et pour conserver un outil de production hexagonal, la reconversion doit être profonde et les difficultés actuelles proviennent d'anticipations insuffisantes ou mises en œuvre trop tardivement.

Ce rapport montre que le véhicule du futur sera certainement très différent de celui que nous utilisons, pas uniquement parce qu'il sera électrique (au sens large), mais sans doute surtout parce que son usage sera « en rupture » par rapport aux cent ans antérieurs.

Le recul du modèle de « possession » pour un usage plus flexible dit « en service » est une quasi-certitude et en soi un défi pour les constructeurs. Pour s'en convaincre, il suffit de mesurer l'écart existant entre les produits achetés et les produits loués, entre une voiture particulière et une place de TGV ! Dans un monde idéal, la cohabitation des deux modes, devrait se faire harmonieusement et « tirer » en quelque sorte vers le haut technique, fonctionnel et ludique, les deux familles de produits.

Cette inflexion n'est pas encore visible, elle se prépare, mais les investissements massifs qui sont nécessaires à son émergence n'ont pas été engagés suite à la crise de 2008. Des pays à géographie plus petite vont probablement servir de laboratoires à idées : le Danemark, Israël par exemple.

Le véhicule électrique va évoluer par étape vers une plus grande autonomie et polyvalence, offrant des fonctionnalités nouvelles de connectivité et d'intégration à l'infrastructure qui le différencieront des véhicules actuels. Ces étapes sont encore difficilement identifiables, ce qui explique la grande dispersion des scénarii de développement, mais la mutation semble certaine. Le conducteur sortira de sa « bulle » pour entrer de plain-pied dans le V2V (le véhicule à véhicule), forme nouvelle de réseau social « en mobilité » – il communiquera avec ses voisins mais sa sécurité, son guidage seront assurés par le système de transport intelligent jusqu'à sa destination. Le plaisir de la conduite ne sera plus très éloigné de celui de la conversation...

Le véhicule thermique continuera de progresser plus dans des zones géographiques spécifiques (zones à infrastructure difficile) que dans des segments particuliers – le petit VT sera conçu plutôt pour Lagos que Nice, le SUV VT (et peut être hybride), pour le Népal et moins Neuilly.

La capacité du système automobile (français-européen-occidental) d'accompagner et même de précéder ces évolutions nous semble encore intacte pour peu que les équipes de recherche et de développement, de conception de produit, de design restent en majorité sur notre territoire. Il est légitime de concevoir et produire au plus près des nouveaux clients certains produits, mais si l'ambition est d'exporter à travers l'automobile un certain « art de vivre et de se mouvoir », il est souhaitable que ces activités créatives restent occidentales.

Cet effort de création et d'inventivité doit être important pour que cette ambition puisse être atteinte et permettre de différencier les automobiles hexagonales (luxe, sophistication) des autres productions, comme c'est le cas aujourd'hui pour les voitures allemandes (robustesse, fiabilité).

Le contenu technique est au cœur de la compétition industrielle. Comme on s'est efforcé de le souligner dans ce rapport, la diffusion du VE va être lente et en dehors d'une crise majeure, les VT n'auront encore pendant au moins trente ans, et probablement plus, aucune difficulté liée à l'approvisionnement en carburant (pétrole ou biocarburant). La diffusion lente des VE est en grande partie due à la faiblesse actuelle de la maîtrise de la filière batterie, faiblesse

qui peut être surmontée par une politique de recherche, développement puis de production.

La batterie impose aussi une infrastructure et une logistique complexe, pour sa charge et pour son recyclage. La vision « système » du VE est essentielle à son développement. Le monde de l'automobile va devoir travailler plus étroitement avec les énergéticiens, les logisticiens – ou pour le moins aborder ces questions non dans une logique de dépendance mais de collaboration. La même obligation existe pour les interactions avec les offreurs de service de transport, dans une perspective de multimodalité.

La société évoluant, de nouvelles mobilités apparaissent et sont structurantes pour le futur du véhicule « léger » : dans ce contexte, la stabilité dans la durée et la coordination des politiques publiques en matière réglementaire et d'infrastructure apparaissent comme déterminantes pour renforcer cette industrie et encourager l'innovation. Il faut raisonner au niveau du système de déplacement global et en intégrer la dimension multimodale.

De nouvelles perspectives se font jour et doivent permettre à cette industrie de se réinventer, pas seulement avec le véhicule électrique, mais avec des offres de service de mobilité novatrices (véhicule « intelligent »). Pour conserver un niveau de production sur le territoire national/européen, il faudra outre l'excellence technologique, des coûts compétitifs très liés à une bonne performance logistique<sup>31</sup>. Ce maintien conditionne aussi le maintien des compétences technologiques (métallurgie/fonderie, chimie, électronique, ingénierie ...) indispensables à l'ensemble du tissu industriel.

### Quelles recommandations ?

L'Académie des technologies a parfaitement conscience de la transformation des processus de fabrication en processus de service (dont les services industriels), dans l'automobile, mais **cette transformation ne doit pas entraîner la perte ou la large délocalisation d'une industrie techniquement complexe, riche de milliers d'emplois, qui sera préjudiciable à la capacité d'innovation des autres secteurs de l'économie nationale et européenne. Il ne s'agit pas de défendre les emplois d'hier mais de capter les emplois de demain, si possible générateurs d'une forte valeur**

<sup>31</sup> Les coûts logistiques peuvent être équivalents aux coûts de main d'œuvre et justifier des délocalisations.

**ajoutée. La Californie a perdu ses millions de chercheurs d'or pour des millions de passionnés des technologies nouvelles qui trouvent d'autres pépites !**

**La capacité à anticiper et à être au cœur des changements, énergétiques, environnementaux et des besoins de mobilité sera déterminante pour la survie des entreprises automobiles. Il faut donc favoriser cette agilité au sein des entreprises du système automobile et encourager les pouvoirs publics et les acteurs économiques à trouver les chemins de ces transformations : des pays voisins (l'Allemagne) ou lointains (le Japon) ont montré comment conduire le changement et transformer en profondeur leurs processus d'innovation, de conception et de fabrication.**

**La création de ces écosystèmes n'est pas aisée, mais sans incitation, il est à craindre qu'il ne puisse émerger spontanément des relations traditionnellement très verticales, donneur d'ordre-sous-traitant de ce secteur.**

**Il faut donc promouvoir des politiques publiques adaptées et surtout stables dans le temps (il faut, en particulier, se méfier de « microdécisions » qui ne risquent de concerner que le court terme). Clients, constructeurs et équipementiers sont toujours demandeurs de politiques<sup>32</sup> stables et continues. Une cohérence entre les politiques qui concernent l'infrastructure et celles qui concernent les véhicules, de tous types, ainsi que les 2- et les 3-roues, est primordiale.**

Ces scénarios du futur, fortement dépendants des évolutions des technologies, seront aussi influencés profondément par les organisations mises en place pour leur déploiement. **Il est donc indispensable, pour les opérateurs de mobilité et les responsables publics, d'avoir une bonne vision sur les potentiels de ces diverses technologies afin de définir avec toutes les parties prenantes des feuilles de route réalistes et pérennes.**

**Les programmes de recherche existants – avec l'appui des laboratoires publics et privés, des pôles de compétitivité doivent être renforcés pour les technologies les plus critiques tels que les batteries, les systèmes « intelligents », les matériaux.**

**Enfin, il serait intéressant d'introduire une éducation à l'électromobilité et à la conduite éco-responsable à tous les niveaux du système éducatif pour accompagner la transformation des mentalités. Elle devrait entre autres se traduire par la possibilité de passer son permis de conduire sur une voiture électrique !**

<sup>32</sup> Pour la fiscalité, voir la politique des bonus-malus.

## BIBLIOGRAPHIE

### LE VÉHICULE DU FUTUR

1. Ministère de l'écologie et du développement durable. Rapport sur « *la division par 4 des émissions de dioxyde de carbone en France d'ici à 2050* » – 2004.
2. John LLEWELLYN « *The business of climate change. Challenge and opportunities* » – Lehman Brothers – february 2007.
3. Oliver Wyman Automotive.« *A comprehensive study of innovation in the automobile industry* » – 2007.
4. Pierre-René BAUQUIS « *Quelles énergies pour les transports du XXI<sup>e</sup> siècle ?* » Les cahiers verts de l'observatoire du véhicule d'entreprise – juillet 2008.
5. Centre d'analyse stratégique. Rapport sur « *le véhicule grand public d'ici 2030* » – préparé sous la direction de Jean SYROTA – 2008.
6. Groupe La Poste. Rapport sur « *les perspectives du développement industriel des véhicules électriques. Conditions de réussite et plans d'actions* » – septembre 2008.
7. IBM « *Automotive 2020. Clarity beyond the chaos* » – 2008
8. Centre d'analyse stratégique. Rapport sur « *les nouvelles mobilités et usages de l'automobile* » – préparé sous la direction d'Olivier Paul-Dubois-Taine – 2008.

9. Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques (PIPAME).  
Rapport sur « *les mutations économiques dans le secteur de l'automobile* » – 2009.

+6 documents annexes :

#### **1/Contexte économique mondial**

- ▶ croissance économique des pays émergents
- ▶ prix du pétrole
- ▶ prix et disponibilité du gaz naturel
- ▶ biomasse énergie
- ▶ prix et disponibilité des matériaux stratégiques
- ▶ coût et qualité du travail
- ▶ diversification et disponibilité électrique par région

#### **2/ Automobile. Technologies et produits**

- ▶ électrification des fonctions
- ▶ véhicule intelligent et sécurité active
- ▶ allègement des véhicules
- ▶ motorisation hybride et électrique, et consommation
- ▶ stockage et recharge électriques

#### **3/ Régulations nationales et européennes**

- ▶ règlement EU sur les gaz à effet de serre
- ▶ fiscalités sur les véhicules et carburants
- ▶ polluants non réglementés (EU)
- ▶ services et transports longue distance

#### **4/ Régulations locales**

- ▶ modes de régulation du trafic urbain
- ▶ contribution des TIC à la régulation du trafic, à la sécurité et à la surveillance des
- ▶ comportements de conduite par les assureurs
- ▶ offre de services partagés et services associés
- ▶ offre de services de transports collectifs
- ▶ plates-formes locales de mutualisation des services
- ▶ impacts des pôles de compétitivité

**5/ Demande de transport et valeurs**

- ▶ revenus disponibles et activité
- ▶ comportements générationnels
- ▶ utilisation du temps libre et des loisirs
- ▶ valeurs automobiles et environnementales
- ▶ téléactivité des ménages
- ▶ localisation de l'habitat, des bassins d'emploi et des services
- ▶ attrait des sciences
- ▶ comportements de mobilité

**6/Automobile. Compétitivité et stratégie des acteurs**

- ▶ chaîne de valeur constructeurs/équipementiers
- ▶ usage des TIC dans la filière
- ▶ télé-services automobiles
- ▶ place et définition des véhicules « *low-cost* »
- ▶ nouveaux types de véhicules
- ▶ définition et marché des véhicules « *haut de gamme* »
- ▶ pièces de rechange
- ▶ distribution des véhicules et pièces
- ▶ offre et localisation des services d'usage automobiles
- ▶ gestion de la vie du véhicule

10. Michel FREYSSENET « *Sommes-nous au début d'une seconde révolution automobile ?* » – Gerpisa – décembre 2009.
11. Luc-Alexandre MENARD « *Mission de réflexion prospective sur les besoins des consommateurs* » – Pôle MOVEO – novembre 2009.
12. Paul COLONNA « *Les biocarburants, rêves et réalités* » dans la revue du Palais de la découverte, n°361 – mars/avril 2009.
13. CNISF/CCFA « *Le futur de l'automobile* » – Cycle de conférences – 2009.
14. Louis NEGRE « *Rapport sur la Structuration de la filière des véhicules dé carbonés* » – Sénat 2012.
15. Commissariat général au développement durable. « *Les véhicules en perspective. Analyse coûts – avantages et demande potentielle* » dans « *études et documents* » – n° 41 – mai 2011.
16. John AXSEN et Kenneth KURANI « *Developing pro-societal values through sustainable mobility policy* » – OCDE International Transport Forum – 2011.

17. ESIEE Paris « *La filière des batteries lithium-ion dans l'industrie automobile. état de l'art* » – étude réalisée par les auditeurs du mastère « *intelligence scientifique, technique et économique* » – avril 2011.
18. Conseil d'analyse économique « *L'émergence de la Chine : impact économique et implications de politique économique* » – 2011.
19. Gabriel PLASSAT « *Mobilités et Transports du Futur - Quelles rencontres pour le 21<sup>e</sup> siècle ?* » – 2012.
20. Rapport de l'Académie des Technologies « *les vecteurs d'énergie – guide pérenne pour les choix énergétiques* » – Novembre 2011.
21. Deloitte “*Gaining traction – A customer view of electric vehicle mass adoption in Automotive market*” – 2010.
22. Windisch et Laurent – LVMT – « *Avantages et coûts du véhicule électrique pour les finances publiques : modèles d'évaluation intégrée et application au territoire français* » – 2012.
23. « *État des lieux et perspectives de déploiement de l'écosystème de mobilité électrique en Europe* » – LVMT/Virginie Boutueil – Juin 2012.
24. Fundamentals of Transportation Systems Analysis “*The interrelation of Transportation and Activity Systems*” – MIT Press – 1970 – Marvin L. Manheim
25. « *Y a-t-il un grand architecte dans l'univers ?* » Stephen Hawking, écrit en collaboration avec le physicien américain Leonard Mlodinow – Odile Jacob – 2011.
26. Windisch et Laurent – LVMT – « *The compatibility of French households with electric vehicles* » – décembre 2011.
27. Élisabeth Windisch « *The impact of public policies on the adoption of privately owned electric vehicles – A socio-economic analysis* » – 24-25 mai 2012 – 11<sup>e</sup> séminaire francophone est-ouest de socio-économie des transports – Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe, Allemagne.
28. « *Quelles perspectives pour les infrastructures de charge ?* » Chaire de développement durable – 2009 – EDF.
29. Cité de ENPC – Séminaire VET – « *La voiture électrique : une émergence possible ?* » Morel Clémence, Pages Emmanuelle, Hilt Etienne, Paron Emilien 23/03 – 2012.
30. GNESEG – « *Faut-il construire de nouvelles centrales pour vendre des véhicules électriques ?* » [www.GNESEG.com](http://www.GNESEG.com)

**Et pour les données statistiques, sites des organismes suivants :**

1. OICA (Organisation internationale des constructeurs automobiles) [www.oica.net](http://www.oica.net)
2. ACEA (Association des constructeurs européens d'automobiles) [www.acea.be](http://www.acea.be)
3. CCFA (Comité des constructeurs français d'automobiles) [www.ccfa.fr](http://www.ccfa.fr)
4. FIEV (Fédération des industries des équipements de véhicules) [www.fiev.fr](http://www.fiev.fr)

## AUDITIONS

Adlène Benkénida	IFP
Alain Berthoz	Membre de l'Académie des sciences – Institut de France, et de l'Académie des technologies – président de l'Institut de biologie du Collège de France, directeur du LPPA (Laboratoire de physiologie de la perception et de l'action, Collège de France, CNRS)
Jean-Jacques Chanaron	Directeur de recherche GATE-CNRS – Conseiller scientifique de Grenoble École de management
Sophie Desormière	VALEO, Directeur marketing et innovation
Olivier Paul Dubois-Taine	Centre d'analyses stratégiques (service du Premier ministre)
Yves Dubreuil	Renault
Bernard Gauvin	Ancien responsable réglementation technique automobile au ministère des transports
Guillaume Gérondeau	VP Product Planning & Marketing Europe Toyota
Laurent Gouzènes	ST Microelectronics. Projet IVA2I (Institut du véhicule autonome et Jochen Langheim des infrastructures intelligentes)
Pascal Henault	PSA
Alain Julien	Alstom Pearl
Claire Martin	Directeur responsabilité sociale Entreprise et Fondation Renault – membre de l'Académie des technologies
Jean-Pierre Orfeuill	Professeur d'université Paris XII
Philippe Payen	Véolia
Gabriel Plassat	Chargé de mission, ADEME
Hughes de Rouvray	ACF
Christian Streiff	Ancien président de PSA Peugeot Citroën
Roland Vardanega	Membre de l'Académie des technologies – ancien président de PSA Peugeot Citroën

## CONTRIBUTIONS

Ce rapport est le résultat des travaux de la commission mobilité et transport (CMT) qui a initialisé ce rapport en 2009 – avec les regrettés Paul Caseau et Xavier Karcher – et qui l'a poursuivi depuis avec la participation active de :

*François de Charentenay*

*Michel Combarous*

*Michel Frybourg*

*Olivier Maurel (président CMT depuis 2011)*

*Paul Parnière*

*Émile Quinet*

*Jean-Claude Raoul (président CMT jusqu'en 2010)*

*Marc Pélegrin*

Secrétaires scientifiques :

*Élisabeth Windisch – Laboratoire véhicules mobilité transports (LVMT)  
– jusqu'en 2011*

*Virginie Boutueil – Laboratoire véhicules mobilité transports (LVMT)*

Une note synthétique a été publiée dès la fin 2011, avant le rapport complet, afin de permettre à l'Académie de débattre de ce sujet et de préparer ses recommandations relatives au véhicule du futur, l'actualité en la matière étant particulièrement riche.

## GLOSSAIRE

ACEA	Association des constructeurs européens d'automobiles] <a href="http://www.acea.be">www.acea.be</a>
AFH2	Association Française de l'hydrogène APU Auxiliary Power Unit
BMS	Battery Management System
CCFA	Comité des constructeurs français d'automobiles <a href="http://www.ccfa.fr">www.ccfa.fr</a>
DG-TREN	Direction générale transport énergie de la Commission européenne
facteur 2	Objectif européen intermédiaire de réduction de ses émissions de gaz à effet de serre d'un facteur 2 en 2030 par rapport au niveau de référence 1990.
facteur 4	Objectif double du précédent pour l'horizon 2050. En France, le Grenelle de l'environnement a transformé cet objectif en engagement. Voir : <a href="http://developpement-durable.gouv.fr/IMG/spipwwwmedad/pdf/FACTEUR_4_La_reponse_au_defi_climatique_cle0afc2b.pdf">http://developpement-durable.gouv.fr/IMG/spipwwwmedad/pdf/FACTEUR_4_La_reponse_au_defi_climatique_cle0afc2b.pdf</a>
FIEV	Fédération des industries des équipements de véhicules <a href="http://www.fiev.fr">www.fiev.fr</a>
GES	Gaz à effet de serre (GHG – Green House Gas en Anglais)
GIEC	Groupement intergouvernemental d'étude du climat
OICA	Organisation internationale des constructeurs automobiles <a href="http://www.oica.net">www.oica.net</a>
OMS	Organisation mondiale de la santé
PAC	Pile à combustible
VE	Véhicule électrique
VE PAC	Véhicule électrique à pile à combustible
VH PAC	Véhicule hydrogène à pile à combustible
VHR	Véhicules hybrides rechargeables
VP	Voitures particulières
VUL	Véhicules utilitaires légers
ZEV	Zero Emission Vehicles

