

Soirée-débat “Les Invités”

Rendez-vous des Annales des Mines

Parrains de l'École de Paris :

Algoé²
Alstom
ANRT
AREVA²
Cabinet Regimbeau¹
CEA
Chaire “management de l'innovation”
de l'École polytechnique
Chaire “management multiculturel
et performances de l'entreprise”
(Renault-X-HEC)
Chambre de Commerce
et d'Industrie de Paris
CNES
Conseil Supérieur de l'Ordre
des Experts Comptables
Crédit Agricole SA
Danone
Deloitte
École des mines de Paris
EDF
ESCP Europe
Fondation Charles Léopold Mayer
pour le Progrès de l'Homme
Fondation Crédit Coopératif
France Télécom
FVA Management
Roger Godino
Groupe ESSEC
HRA Pharma
IDRH
IdVectoR¹
La Poste
Lafarge
Ministère de l'Industrie,
direction générale de la compétitivité,
de l'industrie et des services
OCP SA
Paris-Ile de France Capitale
Economique
PSA Peugeot Citroën
Reims Management School
Renault
Saint-Gobain
Schneider Electric Industries
SNCF¹
Thales
Total
Ylios

¹ pour le séminaire
Ressources Technologiques et Innovation
² pour le séminaire Vie des Affaires

(liste au 1^{er} mars 2010)

**LE VÉHICULE ÉLECTRIQUE
VA-T-IL ENFIN DÉMARRER ?**

par

Patrick PÉLATA

Directeur général délégué de Renault

Michel MATHEU

Direction de la stratégie d'EDF

Christophe MIDLER

Directeur du Centre de recherche en gestion
Responsable de la Chaire management de l'innovation
de l'École polytechnique

Philippe HIRTZMAN

Conseil général de l'industrie, de l'énergie et des technologies – CGIET
Coordinateur du rapport

Perspectives concernant le véhicule “grand public” d'ici 2030

Séance du 2 février 2010

Compte rendu rédigé par Elisabeth Bourguinat

En bref

Le véhicule électrique a eu ses heures de gloire au début du XX^e siècle et il est revenu à l'ordre du jour à chaque crise de l'énergie, mais il n'a encore jamais réussi à détrôner le moteur à explosion. Il revient aujourd'hui en vogue, pour des raisons de coût du pétrole, de limitation des émissions de CO₂ et parce que la crise de l'automobile invite à développer des projets susceptibles de séduire les consommateurs en favorisant de nouveaux usages. Des constructeurs s'engagent, des États apportent leur soutien, des projets audacieux sont lancés, comme en Israël et au Danemark, mais va-t-on, cette fois, réussir à surmonter les obstacles qui ont conduit à des échecs ? La solution semble passer par une approche beaucoup plus globale qu'auparavant : au lieu d'aborder les projets uniquement par un biais technique, il faut renouveler les usages, les modèles d'affaires, les relations entre acteurs de l'automobile, qu'il s'agisse des constructeurs, des fournisseurs d'énergie, des créateurs d'infrastructures, de l'État, des collectivités locales, ou encore d'opérateurs de services privés.

*L'Association des Amis de l'École de Paris du management organise des débats et en diffuse des comptes rendus ; les idées restant de la seule responsabilité de leurs auteurs.
Elle peut également diffuser les commentaires que suscitent ces documents.*

EXPOSÉ de Philippe HIRTZMAN

Les réflexions que je vais vous présenter sur le développement du véhicule électrique s'appuient essentiellement sur le rapport intitulé *Perspectives concernant le véhicule "grand public" d'ici 2030*, dirigé par Jean Syrota, personnalité bien connue du monde énergétique, et auprès duquel j'avais assuré les fonctions de rapporteur. Ce texte a été élaboré dans le cadre du Centre d'analyse stratégique, ex-Commissariat général du Plan, et du Conseil général des Mines, devenu le Conseil général de l'Industrie, de l'Énergie et des Technologies. Il date d'un an et demi environ et j'ai dû l'actualiser sur certains points ; mais, sur le fond, l'analyse reste la même.

Un contexte inédit

Le renouvellement de l'intérêt pour le véhicule électrique est lié à l'évolution du contexte. À l'inquiétude, déjà ancienne, provoquée par la croissance soutenue de la demande mondiale d'hydrocarbures et par les incertitudes géopolitiques sur les réserves, s'est ajoutée depuis une décennie la prise de conscience de la réalité du réchauffement climatique, qui s'est traduite par l'adoption de politiques de réduction des émissions de CO₂. Or, les transports sont responsables d'un tiers des émissions de CO₂ dans le monde (34 %) et, au sein du secteur transport, le véhicule individuel représente, en France, les deux tiers des émissions.

L'intérêt pour le véhicule électrique s'explique également par deux préoccupations d'ordre plus local et sanitaire : la lutte contre le bruit en milieu urbain et surtout la réduction des "nouvelles" formes de pollution atmosphérique. En effet, plus on réduit les émissions de type HC (hydrocarbures), NOx (oxydes d'azote) et fumées noires provoquées par les véhicules thermiques, plus on renforce la prise de conscience de pollutions plus discrètes, comme les micropolluants, les aldéhydes ou les poussières fines.

Un bilan CO₂ moins évident qu'il n'y paraît

Si les atouts du véhicule électrique en matière de pollution locale et de bruit sont évidents, sa contribution à la réduction des émissions de CO₂ et de la dépendance au pétrole est plus discutable : tout dépend de l'origine de l'électricité qui alimente le véhicule.

Les véhicules thermiques émettent entre 140 et 210 grammes de CO₂ par kilomètre (moyenne actuelle du parc français : 167 g de CO₂/km). En France, compte tenu de la place de l'hydroélectricité et surtout de l'électricité nucléaire dans le mix énergétique, les véhicules électriques n'émettent que 15 à 20 g de CO₂ du puits à la roue, du moins lorsqu'ils sont chargés pendant la nuit, et même cette précaution n'est pas forcément suffisante, car une part croissante de la production "de base" est d'origine thermique, compte tenu de l'évolution des habitudes de consommation, des exigences d'exportation et de l'indisponibilité conjoncturelle d'une part non négligeable des tranches nucléaires. En charge rapide pendant la journée, l'électricité peut substantiellement provenir de centrales thermiques et le bilan est alors bien moins spectaculaire. Dans les pays dont le mix énergétique se compose à 80 % de pétrole et de charbon, les véhicules électriques peuvent émettre autant, voire davantage de CO₂ qu'un véhicule thermique roulant au diesel.

Par ailleurs, pour être équitable, la comparaison devrait porter sur une performance égale en termes de puissance, de vitesse de pointe et d'autonomie. Or, sur tous ces aspects (excepté en termes d'accélération), les véhicules électriques sont moins performants que les véhicules thermiques.

Enfin, la plupart des essais normalisés ne prennent pas en compte la consommation d'accessoires tels que la climatisation, les phares, l'autoradio, l'essuie-glace, alors qu'elle peut réduire l'autonomie du véhicule de 40 à 50 %.

De nombreux handicaps et incertitudes

Le véhicule électrique souffre par ailleurs de nombreux handicaps et incertitudes sur les plans technique et économique.

Les handicaps

La densité énergétique des batteries est bien inférieure à celles des hydrocarbures liquides, de l'ordre d'un facteur 50 : 32 Wh/kg (watt-heure par kilogramme) pour les batteries au plomb avec des plaques planes étanches, 55 Wh/kg pour les batteries au cadmium-nickel, 180 Wh/kg pour les batteries au lithium polymère et... 11 670 Wh/kg pour les hydrocarbures. Même si les performances des batteries progressent chaque année, on aura du mal à trouver plus commode que de remplir le réservoir de sa voiture avec du liquide à température ambiante et sous une pression atmosphérique normale.

La durée du réapprovisionnement constitue un deuxième handicap structurel. Faire le plein d'essence dans une station-service prend cinq minutes, paiement compris, alors qu'il faudra plusieurs heures pour charger la batterie d'un véhicule électrique en mode normal. L'écart ne pourra être réduit que par deux moyens : soit des systèmes de *quick drop*, c'est-à-dire d'échange standard de batteries, qui nécessiteront des infrastructures très lourdes et feront peser des contraintes importantes sur le design du véhicule ; soit le renforcement de la capacité des alimentations électriques, ce qui nécessitera de revoir tout le circuit d'alimentation et le système de connectique, avec un gros problème de normalisation.

Les incertitudes

Un certain nombre d'incertitudes techniques et économiques pèsent également sur le véhicule électrique. Elles concernent la capacité de stockage des batteries et sa dégradation au fil des années, leur fiabilité, leur longévité, leur poids, leur encombrement, leur coût, ou encore la sécurité de la maintenance des véhicules, sachant qu'ils utiliseront, pour la partie motrice, une tension de 400 volts sous le capot. Ces incertitudes pourront sans doute être levées avec le temps, mais on ne sait si cela prendra une ou plusieurs décennies.

Autre problème : en voulant réduire la dépendance au pétrole, on risque de créer une nouvelle dépendance au lithium. En 2008, la production de ce minerai a été de 23 000 à 25 000 tonnes et provenait essentiellement du Chili, de l'Australie, de l'Argentine et de la Chine. Les réserves prouvées exploitables sont de l'ordre de 14 millions de tonnes, concentrées en Chine et en Amérique du sud (Chili, Bolivie et Brésil notamment). Certains experts sont optimistes sur la capacité à satisfaire la demande, d'autant que le lithium est recyclable. D'autres prévoient une raréfaction et un renchérissement du lithium si des centaines de millions de véhicules doivent être équipés de batteries.

Une question cruciale concerne le financement des points de charge sur la voie publique et surtout des stations de transfert, sachant que chaque station coûtera entre 300 000 et 500 000 euros : qui paiera pour ces nouvelles infrastructures ? Se pose également un problème technique de normalisation, car plus le nombre de modèles différents à stocker dans les stations sera important, plus le coût sera élevé.

Enfin, le modèle économique du véhicule électrique lui-même n'est pas encore arrêté : achat ou location, amortissement des infrastructures, fiscalité attachée à l'électricité en tant que source d'énergie pour les transports (équivalent de la TIPP – taxe intérieure de consommation sur les produits pétroliers), etc.

Le véhicule thermique est là pour longtemps encore

Le surcoût d'un véhicule électrique est de 100 % par rapport à celui d'une voiture thermique, et ses avantages technico-économiques resteront incertains pour longtemps encore.

En attendant des progrès significatifs sur les performances et le prix des batteries, quelques amorces de solution se dessinent : le passage d'un modèle d'investissement individuel à un modèle de service délivré par un opérateur de mobilité ; la focalisation sur les flottes captives et sur les véhicules suburbains ; ou encore, le recours à l'hybridation comme compromis provisoire.

Mais le véhicule électrique souffre de trop de handicaps et d'incertitudes pour qu'il puisse se substituer massivement au véhicule thermique avant 2030, d'autant que le renouvellement du parc automobile est de toute façon très lent, puisque les voitures actuelles durent entre 10 et 15 ans. D'ici là, son développement industriel ne sera possible que grâce à une volonté politique très forte.

EXPOSÉ de Christophe MIDLER

Plutôt que d'entrer dans une discussion sur la validité des hypothèses et chiffres énoncés par Philippe Hirtzman, je voudrais insister sur le fait que l'essor du véhicule électrique ne dépendra probablement pas d'une rupture technologique, mais d'une nouvelle façon de piloter la création et la répartition de valeur. Je m'appuie ici sur une recherche que nous menons au Centre de recherche en gestion (CRG) de l'École polytechnique sur les processus d'innovation dans l'automobile, et sur les projets de véhicules électriques en particulier¹.

Comment ébranler un *dominant design* ?

Les premiers modèles de voitures électriques datent du XIX^e siècle, avec notamment la "Jamais contente" construite en 1899. Ils se sont multipliés jusqu'aux années 1920, avant d'être victimes du phénomène du *dominant design* analysé par Utterback et Abernathy²: après une phase initiale de foisonnement technologique, l'option moteur à explosion et à pétrole s'est affirmée au détriment de toutes les autres propositions. Elle a ensuite été périodiquement contestée, en particulier lors des crises spéculatives sur le prix du pétrole, mais n'a jamais pu être détrônée.

Pour expliquer le phénomène des *dominant designs*, on met souvent l'accent sur les trajectoires technologiques et sur les effets d'échelle, mais d'autres facteurs interviennent aussi, comme la stabilisation de l'usage des produits. L'exemple emblématique est celui des claviers "qwerty" : l'absence de changement ne s'explique pas par des raisons techniques, mais par l'inertie de l'usage. Un autre facteur important est la stabilité des structures de valeur. L'autonomie des voitures est toujours évaluée par rapport à un trajet de 500 kilomètres, alors que la proportion de trajets effectués par les automobilistes sur une telle distance est infime. Enfin, les produits sont "encastrés" dans des environnements physiques, sociaux ou économiques qui favorisent la coordination des acteurs sur les *dominant designs*.

Pour ébranler un modèle comme celui du véhicule thermique, il ne suffit donc pas d'agir sur la technologie. Il faut intervenir également sur l'apprentissage des nouveaux usages, sur les modèles d'affaires ou encore sur l'environnement des produits, ce qui suppose une véritable

¹ R. Beaume, C. Midler, "Project-Based Learning Patterns for Dominant Design Renewal : The Case of Electric Vehicle" (*International Journal of Project Management* 28, 2010).

² J. M. Utterback, W. J. Abernathy, "A Dynamic Model of Process and Product Innovation" (*Omega, International Journal of Management Science*, 1975, Vol 3, N°6, p. 639-656).

rupture dans la manière de piloter les projets. Or, c'est précisément à ce genre de rupture que l'on assiste aujourd'hui chez les constructeurs, et tout particulièrement chez Renault.

Les processus de conception traditionnels

La matrice classique de l'innovation dans le secteur automobile s'est structurée à la fin des années 1980. En simplifiant, elle repose sur un découplage entre la phase amont, où l'on explore les innovations possibles, et la phase aval, où le développement du produit se centre sur les aspects de qualité, coût et délai.

Appliquée à la conception du véhicule électrique, cette matrice s'est traduite par deux types de démarches. La première est celle des *concept cars*, c'est-à-dire de la réalisation d'objets techniques innovants qui ne débouchent jamais sur le marché. Cette démarche est pertinente pour évaluer la faisabilité d'une technologie ou sa maturation mais ne permet pas de tester les dimensions de coût ou d'usage en situation réelle.

La deuxième démarche consiste à prendre une voiture de série et à remplacer son moteur thermique par un moteur électrique, ce qui aboutit à des performances techniques médiocres pour un coût élevé.

Ces deux processus de conception traditionnels n'ont à peu près aucune chance d'ébranler le *dominant design*. Pour y parvenir, il me semble nécessaire de réunir quatre caractéristiques.

Des véhicules électriques intègres

La première consiste à concevoir un produit électrique *intègre*, c'est-à-dire optimisé autour de la motricité électrique, en valorisant tous ses avantages et en tenant compte de ses contraintes.

Par exemple, la consommation électrique d'un lève-vitre n'a qu'un impact marginal sur la consommation globale d'un véhicule thermique. En revanche, améliorer son rendement contribue directement à accroître l'autonomie d'un véhicule électrique.

L'exemple de la Toyota Prius illustre bien cette approche d'un véhicule intègre : outre la technologie du moteur hybride, Toyota a réussi à imposer un concept entièrement nouveau, avec un style, une architecture, un mode de commercialisation spécifiques. Cette réussite repose sur un processus de conception tout à fait original, consistant à réinventer l'entreprise autour d'un projet pilote, puis à adopter une stratégie de lignée en diffusant les nouvelles compétences dans les métiers afin de pouvoir déployer de nouveaux modèles.

Le projet de véhicule électrique porté par Renault représente une nouvelle étape dans cette évolution, grâce à une exploration simultanée de différents concepts de mobilité électrique à travers un programme multi-projets. Les compétences métiers, que ce soit sur les composants techno-électriques, les batteries ou les nouveaux services, se construisent en parallèle, et les nouveaux produits mis sur le marché ne sont plus les réceptacles de connaissances ou d'innovations développées en amont, mais les "impulseurs" du développement métier grâce à l'apprentissage des nouveaux usages.

Une offre de services adaptée

L'une des grandes avancées de l'industrie automobile contemporaine est d'avoir su élaborer des offres de services qui confortent et élargissent l'offre produit. Cette dimension de service est particulièrement cruciale pour le véhicule électrique et peut contribuer à bousculer le *dominant design* du véhicule thermique.

On peut, par exemple, imaginer un service d'assistance à l'exploitation qui rassurera les clients redoutant le risque de panne ou de non-fiabilité. La limite physique de l'autonomie des batteries peut être palliée par les systèmes de *quick drop*, mais aussi par la possibilité de prêter

au client une voiture thermique lorsqu'il a besoin d'effectuer un long trajet. On peut également élaborer des systèmes de financement qui rassurent le client sur le plan économique. Enfin, l'évolution des habitudes de mobilité et le renforcement de nouveaux usages comme l'autopartage, les taxis électriques ou la mobilité multimodale peuvent s'avérer des atouts précieux pour le développement du véhicule électrique.

La prise en compte des services dans les processus de conception se traduit par l'apparition, dans les entreprises, de "directions des programmes de services de mobilité", ou encore par l'ouverture de la démarche de conception aux acteurs-clés de la chaîne de valeur des services : opérateurs de services, pouvoirs publics locaux, opérateurs de transports.

Le couplage des modèles économiques

Un troisième levier est la définition de nouveaux modèles économiques. On peut, par exemple, envisager de valoriser des caractéristiques qui ne font pas encore l'objet d'une monétarisation, comme la suppression de toute pollution locale et le fait que la ville devient moins bruyante. Il n'y a pas de raison que cette valeur créée pour l'environnement soit nécessairement financée par l'acheteur de la voiture.

Le financement des infrastructures ne peut se faire qu'en articulant les modèles économiques du constructeur, de l'énergéticien et des pouvoirs publics. Des expériences réussies ont été menées dans ce domaine à un échelon national en Israël ou au Danemark, ou au niveau local à La Réunion.

La dynamique d'apprentissage de la mobilité électrique

Un dernier levier est la capacité à piloter un régime transitoire d'apprentissage et de création de valeurs nouvelles entre une situation où le véhicule électrique est quasiment inexistant et l'apparition d'un marché de masse. Contrairement aux secteurs des télécommunications ou de l'électronique grand public, l'automobile n'a pas été confrontée à ce genre de défi depuis environ un siècle. Elle gagnerait d'ailleurs à s'inspirer de ces expériences. Le premier enseignement qu'on peut en tirer est que la transition n'est pas continue : elle passe par des étapes intermédiaires qui mobilisent des acteurs très différents (*innovators, early adopters, early majority...*) et exigent des modes de commercialisation adaptés. Il existe aujourd'hui des petites tribus de "fans" des véhicules électriques, mais si l'on veut vendre ces produits à des compagnies de taxis, il faudra adopter des stratégies commerciales spécifiques.

Conclusion

Je suis convaincu que le véhicule électrique a de bonnes chances de se développer dans les années qui viennent. Son décollage tiendra moins à d'éventuelles ruptures technologiques qu'à un changement radical dans le mode de gestion de l'innovation : ambition stratégique à la mesure de l'enjeu, remise en cause des modèles d'affaires traditionnels de l'automobile, implication "concourante" des métiers et du développement produits, processus de co-innovation allant au-delà de l'écosystème automobile traditionnel, pilotage des processus d'apprentissage des usages.

Il s'agit d'un domaine d'expérimentation privilégié pour une collaboration entre industrie et recherche en sciences sociales, et je voudrais saluer à cette occasion l'initiative de l'Institut de la mobilité durable, créé en commun par Renault et ParisTech.

EXPOSÉ de Michel MATHEU

La motorisation électrique constitue un usage performant de l'électricité : le véhicule électrique offre un avantage considérable, en termes d'émissions de CO₂, par rapport au véhicule thermique, même dans des pays dont la production est moyennement carbonée. En France, aucun doute n'est permis, et l'avantage est encore accru si le rechargement se fait principalement aux heures creuses : la production d'électricité y est "décarbonée" à 90 %, et le sera bientôt à 93 %.

Cela dit, le marché du véhicule électrique reste assez marginal par rapport à la consommation globale d'électricité en France. Un parc d'un million de véhicules électriques ne représenterait que 2 TWh (térawatt-heure) de consommation annuelle, et un parc de 10 millions de véhicules, un peu moins que la production de deux centrales nucléaires EPR (réacteur pressurisé européen). Si l'ensemble du parc était électrifié, en revanche, la consommation du secteur automobile serait très significative par rapport à celle du secteur résidentiel.

Réduire le coût des batteries

L'un des facteurs clefs de succès du véhicule électrique est la réduction du coût des batteries, qui sera rendue possible par une fabrication en grande série, mais aussi par une deuxième vie pour les batteries. Lorsqu'elles ne seront plus utilisables dans les véhicules, elles pourront servir, par exemple, au stockage à domicile d'électricité d'origine renouvelable, ce qui pourra compenser le coût du recyclage.

En 2020, le coût de la possession d'un véhicule thermique devrait être d'environ 0,20 euro/km ; celui d'un véhicule hybride rechargeable avec revente de la batterie, de 0,20 à 0,21 euro/km ; celui d'un véhicule électrique avec revente de la batterie, de 0,22 à 0,26 euro/km.

Contenir le coût des infrastructures

Entre le coût d'installation d'une prise dans l'espace privé et l'investissement pour un point de charge sur la voie publique, le facteur est de 120, et de 2 400 pour une station d'échange ou un point de charge en mode rapide.

Une solution consisterait à développer en premier lieu les usages les moins gourmands en infrastructures. Il s'agit, d'une part, de l'utilisation de véhicules hybrides rechargeables, qui ne provoquent pas l'angoisse de la panne électrique et ne nécessitent donc pas de points de charge rapide ; d'autre part, de l'utilisation de véhicules électriques sur des trajets d'ampleur raisonnable et prévisible, par exemple pour des trajets domicile/travail ou dans le cadre de flottes d'entreprise. Si ces deux types d'usages démarrent assez vite, la charge d'infrastructure devrait progresser de façon supportable et le décollage pourrait se faire sans heurt.

Mais même dans un scénario relativement sobre, la charge d'investissement initiale restera substantielle. Dans la phase de développement, il faudra investir chaque année un montant de 300 millions d'euros, soit environ 3 centimes par kilomètre parcouru. Ce chiffre pourra, ultérieurement, être divisé par deux, voire par trois.

Combiner financement public et privé

Les infrastructures de charge privées pourront être directement financées par les propriétaires, ménages ou entreprises, et l'on pourra sans doute étendre ce modèle aux petites copropriétés.

En revanche, les infrastructures de charge sur voirie seront plus onéreuses et il est difficile de prévoir quel sera leur taux d'usage, car il variera fortement en fonction du nombre de conducteurs qui auront besoin d'être rassurés et utiliseront la borne, ou encore en fonction de

la densité de bornes dans une ville. Le plein de carburant électrique devrait coûter environ 2 euros. En fonction des hypothèses de taux d'usage retenues, le coût d'amortissement à imputer à chaque plein pourrait varier de quelques euros, ce qui serait encore commensurable avec le coût du plein, à plusieurs dizaines d'euros.

L'imprévisibilité est telle qu'un investisseur privé ne saurait assumer seul le risque lié à ce type d'investissements. La solution passe probablement par une association de type public/privé, par exemple sous la forme de marchés publics gérés par les collectivités locales, ou par des partenariats public/privé comme il en existe pour de nombreux services urbains.

Équilibrer l'économie des deux systèmes

Un moyen supplémentaire de favoriser le décollage du véhicule électrique consisterait à équilibrer l'économie du véhicule thermique et celle du véhicule électrique.

On peut appliquer le principe du "pollueur-payeur" et envisager une fiscalité différentielle selon les carburants utilisés, hydrocarbures ou électricité. C'est la voie adoptée par le Danemark et par Israël, pays dans lesquels la fiscalité des véhicules thermiques est désormais extrêmement élevée. À noter toutefois que, dans les pays où la fiscalité thermique n'est pas encore très importante, la relever sensiblement peut représenter un coût politique.

Une autre solution consiste à apporter une aide publique à l'acquisition du véhicule afin de provoquer un effet boule-de-neige. En France, cette aide est de 5 000 euros pour l'achat d'un véhicule entièrement électrique et de 2 500 euros pour l'achat d'un véhicule hybride. Pour combler 1 centime/kilomètre de déficit lié à l'utilisation d'un véhicule électrique, il faut prévoir soit 20 centimes de taxe par litre de carburant (ce qui représente une taxe de 90 euros par tonne de carbone), soit 750 euros d'aide par véhicule.

On peut également prévoir des financements publics, nationaux ou locaux, pour les infrastructures. Les collectivités locales peuvent trouver un intérêt à desservir un territoire urbain par des points de charge et contribuer ainsi à l'image d'une ville ou d'une région écologique, comme à travers la création de tramways il y a quelques années. Enfin, certains acteurs privés, comme les gestionnaires de parkings ou d'hypermarchés, peuvent trouver avantage au développement d'infrastructures sur leurs propres sites.

EXPOSÉ de Patrick PÉLATA

Je suis d'accord avec Philippe Hirtzman sur un point : si le contexte économique et environnemental était resté le même qu'il y a quelques décennies, le véhicule électrique n'aurait aucun sens. Mais le monde a changé, et nous sommes obligés de reconsidérer la question.

La nécessité d'une rupture

La facture pétrolière représente, selon les pays, de 2,5 à 7 % du PIB. Le prix du pétrole, après avoir atteint jusqu'à 140 dollars le baril l'an dernier, oscille entre 65 et 85 dollars. Mais d'après l'AIE (Agence internationale de l'énergie), les investissements réalisés actuellement dans l'exploitation pétrolière ne correspondent pas à ce que sera la demande dans quelques années. On peut donc s'attendre à une envolée des prix et à une pression très forte sur les technologies économes en pétrole.

Par ailleurs, le sommet de Copenhague a au moins permis de se mettre d'accord sur un chiffre : pour que l'élévation de la température ne dépasse pas 2 degrés, il faut viser un scénario à 450 ppm. Or, l'automobile représente 25 % de la consommation de pétrole, 12 % des émissions de CO₂ et 20 % de l'augmentation des émissions d'ici 2030. Toujours selon

l'AIE, si l'on veut atteindre l'objectif de 450 ppm en 2030, les voitures devront émettre 50 % de CO₂ de moins que les plus performantes d'entre elles aujourd'hui. Avec la technologie du véhicule thermique, il est impossible d'y parvenir. La plupart des voitures thermiques émettent environ 200 g de CO₂ par kilomètre, du puits à la roue ; aux États-Unis, les émissions peuvent atteindre 300 g. La Toyota Prius, qui représente ce qui se fait de mieux en technologie classique essence, est à 105 g. En conservant cette technologie, on peut encore progresser de 15 ou 20 %, mais pas de 50 %.

Le véhicule électrique, une vraie rupture

Les émissions des voitures électriques alimentées par de l'électricité produite exclusivement avec du charbon sont de 128 g/km. Ce résultat surprenant s'explique par le fait que le rendement d'un moteur thermique n'est que de 20 %, alors que le rendement d'un moteur électrique est de 90 %. C'est la raison pour laquelle le gouvernement chinois investit autant dans la R&D sur les batteries au lithium-ion.

En France, compte tenu du mix énergétique, les émissions des véhicules électriques ne sont que de 12 g/km, et de 3 à 4 g/km lorsque la charge s'effectue de nuit, ce qui sera le cas pour 90 % de l'électricité qui sera consommée par les voitures.

Au Danemark, dont 25 % de l'énergie est d'origine éolienne, le gouvernement subventionne le véhicule électrique par une fiscalité particulièrement attractive, afin d'utiliser l'électricité produite de nuit par les centrales éoliennes. On descend alors à un taux de 0 g/km.

On peut également imaginer des solutions utilisant le photovoltaïque : pour alimenter une Mégane effectuant 15 000 km par an, ce qui correspond à la moyenne européenne, il suffirait, du moins dans les pays méditerranéens ou au sud de la France, de 15 m² de panneaux solaires installés sur la maison ou sur le garage. À La Réunion, nous allons couvrir des parkings de panneaux solaires : les voitures seront à l'ombre tout en rechargeant leurs batteries.

Le rêve de la voiture totalement non "émissive" est désormais à notre portée.

Les clients potentiels

En Europe, 87 % des automobilistes roulent moins de 60 km par jour. Certains effectuent des trajets plus longs le week-end ou pendant les vacances, mais dans le segment des petites voitures compactes, 32 % des véhicules ne vont jamais au-delà de 150 km par jour, ce qui correspond très précisément à l'autonomie actuelle d'une batterie lithium-ion. Ce segment de clientèle sera naturellement notre première cible pour le lancement du véhicule électrique.

Ces clients se verront offrir trois possibilités pour recharger leur batterie : soit à domicile, avec une durée de 4 à 8 heures ; soit en charge rapide, en 30 minutes ; soit dans une station *quick drop*, en 3 minutes. Les véhicules seront pourvus d'un système de navigation intelligente qui leur indiquera très précisément s'ils ont suffisamment de charge pour parvenir à destination ou quel est le point d'approvisionnement le plus proche. Ce dispositif sera de nature à réduire peu à peu les réticences liées à l'autonomie du véhicule.

Les aides d'État

Une aide publique sera probablement nécessaire, au démarrage, pour compenser le surcoût du véhicule électrique à l'achat. Cette aide peut se justifier par la réduction de la facture pétrolière de la France, dont il faut rappeler qu'elle est égale au déficit de la balance de notre commerce extérieur (environ 50 milliards d'euros), et bien sûr par la réduction des émissions de CO₂.

À l'heure actuelle, les États-Unis accordent une aide fiscale de 7 500 dollars par voiture électrique ; la France, de 5 000 euros. L'Espagne se prépare à annoncer une prime de 6 000 euros. Des accords sont en discussion en Chine et en Inde. Une étude du CIRED (Centre

international de recherche sur l'environnement et le développement) sur l'intérêt que présente pour un État le fait de soutenir le lancement du véhicule électrique a montré qu'entre 2015 et 2030, la valeur actualisée nette dans le PIB d'une voiture électrique vendue en début de période serait comprise entre 7 000 et 13 000 euros, en fonction des hypothèses retenues en matière de prix du pétrole et de valeur de la tonne de CO₂.

La technologie des batteries va encore progresser

La technologie lithium-ion a déjà beaucoup progressé mais offre encore un grand potentiel d'optimisation : c'est une technologie nouvelle et près d'un demi-million d'ingénieurs y consacrent leurs efforts à travers le monde.

En occident, les principales entreprises en concurrence sont les Américains EnerDel, Valence, A123 Systems (société issue du MIT), Johnson Control ; les Français Bolloré, Saft, et désormais AESC et le CEA avec qui nous travaillons sur le sujet ; les Allemands Evonik et Gaia. En Asie, il faut mentionner le Coréen SK Energy, qui assure, dans son pays, 40 % de la production d'électricité, 50 % des télécommunications et au moins un tiers de la pétrochimie. Cette entreprise était spécialiste du *coating*, c'est-à-dire le dépôt de produits chimiques sur des films et leur séchage, technologie indispensable pour la fabrication des batteries. Elle a vendu une de ses activités les plus profitables pour financer son entrée dans l'industrie des batteries, et elle assure par ailleurs la maîtrise d'œuvre d'un projet de recherche lancé par le gouvernement coréen sur le *smart grid* (réseau "intelligent" de distribution d'électricité). Il est clair que, dans peu de temps, SK Energy sera l'un des grands acteurs de l'industrie du véhicule électrique. On peut également citer le Chinois BYD, dans lequel Warren Buffet a investi un milliard de dollars il y a deux ans et demi et dont la valeur en Bourse a été multipliée par trois ou quatre depuis. Cette entreprise compte 1 500 ingénieurs entièrement dédiés à la recherche sur les batteries lithium-ion pour les voitures et les vélos.

Avec un tel panel de concurrents, il est évident que la technologie va progresser à grands pas et son coût diminuer fortement. Nous avons d'ores et déjà reçu trois propositions de prix inférieures à celle qui nous a décidés à investir massivement dans le véhicule électrique.

Un nouveau modèle d'affaires

Dans le modèle d'affaires du véhicule électrique, il faut distinguer le coût d'achat et le coût d'usage. Pour les utilisateurs, l'équivalent du carburant n'est pas l'électricité, dont le prix est très faible, mais l'ensemble batterie plus électricité. Le coût d'usage dépend donc du coût de la batterie, du nombre de cycles de recharge possibles, ou encore de la valeur résiduelle de la batterie à la revente (par exemple pour équiper une maison solaire). Compte tenu de ces différents paramètres, on peut estimer que le coût d'usage s'élèvera à environ 100 euros par mois. Sur cette base, il existe deux modèles économiques possibles.

Le premier consiste à ce que le constructeur loue la voiture et la batterie à son client et que ce dernier achète l'électricité. Il faudra alors envisager des subsides du gouvernement pour financer les stations de rechargement, avant que leur production en grandes séries permette d'abaisser leur coût.

Le deuxième modèle consiste à rompre le lien bijectif entre voiture et batterie. Le client achète la voiture ; l'opérateur lui loue la batterie et lui facture l'électricité consommée. L'opérateur assure ainsi un "service mobilité" à son client. Il peut compléter son revenu de différentes façons, par exemple en revendant de l'électricité à EDF, aux heures de pointe, à partir des véhicules stationnés dans les parkings, à un prix plus élevé que le prix de l'électricité chargée pendant la nuit.

Le marché mondial

Le marché du véhicule électrique dépendra de nombreux paramètres : le prix du pétrole, l'évolution des réglementations et incitations en faveur de la réduction des émissions, le coût des batteries, le déploiement des infrastructures et du *smart grid*, mais aussi le changement des habitudes des automobilistes. L'avantage économique représenté par le véhicule électrique va en effet probablement accélérer le développement de nouvelles mobilités. La pratique de l'autopartage, par exemple, progresse doucement aux États-Unis et en Allemagne, et commence à s'installer en France. Elle consiste à partager les coûts d'un véhicule (voiture, parking et maintenance) entre plusieurs clients. Dans la mesure où le coût variable du véhicule électrique est très faible, il rend le modèle d'affaires de cette activité plus intéressant et va probablement accélérer sa diffusion.

Au total, nous estimons que la part potentielle du véhicule électrique est de 10 % du marché mondial, ce qui devrait représenter 6 millions de véhicules en 2020. La pénétration du véhicule électrique sera sans doute plus élevée dans les pays fortement nucléarisés et accordant une valeur importante au CO₂, comme la France et le Japon, ou dans des pays comme la Chine et l'Inde, qui auront des difficultés à s'approvisionner en pétrole et peuvent aussi être séduits par la perspective d'un *short cut* technologique. Il est en effet plus facile de fabriquer des voitures électriques simples que des voitures thermiques simples.

Conclusion

Nous sommes en train d'investir sur le véhicule électrique un milliard d'euros, soit 15 % de nos ressources de R&D. À travers ce choix, nous pensons que Renault continue à jouer le rôle d'innovateur qui a été le sien historiquement. Nous sommes heureux de constater que le gouvernement français accompagne ce mouvement : il a été l'un des premiers à accorder une aide de 5 000 euros sur l'achat d'une voiture électrique et le premier à investir 900 millions d'euros sur la mise en place des infrastructures ; il nous a également soutenus pour mobiliser le CEA dans des programmes de recherche sur les batteries. Nous apportons ainsi notre contribution à l'économie nationale et, sur le plan mondial, à la réponse aux défis majeurs que constituent la dépendance pétrolière et le réchauffement de la planète.

DÉBAT

L'installation des prises

Un intervenant : *J'utilise à titre privé une voiture électrique depuis 12 ans et j'en suis extrêmement satisfait. Après avoir eu un peu de mal à obtenir de ma copropriété le droit d'installer une prise dans le parking, j'ai fait placer un compteur, et ma consommation représente 80 euros par an au maximum, pour environ 4 à 5 000 km parcourus.*

Je ne crois pas beaucoup au marché des flottes captives. Jean-Paul Bailly, président de La Poste, a du mal à tenir sa promesse d'acheter 100 000 véhicules électriques. Le vrai marché me semble être celui des trajets domicile/travail. Il est donc essentiel de faciliter au maximum l'équipement des parkings privés avec des prises de charge.

Michel Matheu : L'action de l'État en faveur du véhicule électrique ne doit pas se borner à signer des chèques. Il peut également jouer un rôle de facilitateur grâce à des mesures réglementaires. Aujourd'hui, les appartements neufs sont obligatoirement équipés pour pouvoir se connecter à Internet. On peut imaginer des dispositions qui rendraient l'accès au carburant électrique beaucoup plus facile.

Patrick Pélata : Certaines mesures ont d'ores et déjà été prises. Par exemple, à partir de 2015, aucun immeuble de bureau ne pourra être livré sans que son parking soit équipé en prises de charge.

La normalisation

Int. : *J'ai conduit une voiture électrique pendant quelques années : on a l'impression de voyager sur un tapis volant et c'est très agréable. Un autre avantage de la voiture électrique est qu'elle peut se recharger sur n'importe quelle prise. J'ai d'ailleurs souvent été dépanné par des amis : j'avais une très longue rallonge et je pouvais me brancher n'importe où. Mais si l'on envisage de faire des prises spécifiques, cela va tout compliquer.*

M. M. : Deux raisons puissantes plaident en faveur d'une normalisation. D'une part, on ne peut pas plaisanter avec la sécurité, et l'une des particularités des prises en question est qu'elles devront pouvoir être branchées et débranchées très fréquemment. D'autre part, les utilisateurs doivent pouvoir accéder au carburant électrique partout, ce qui nécessite une harmonisation. Dans certains pays, on utilise le courant à 400 V en triphasé ; ailleurs, on utilise surtout la tension de 240 V et le courant est plus rarement triphasé. Nous avons donc beaucoup de travail devant nous, mais les parties prenantes sont déterminées à aboutir pour que les véhicules électriques puissent être utilisés sans difficulté sur l'ensemble de l'espace européen.

Chacun son métier

Int. : *Pourquoi EDF, au lieu de se contenter de vendre de l'électricité au bout des fils, n'entrerait-elle pas dans le marché des batteries afin de vendre également de l'électricité en boîte ? Pourquoi n'utiliserait-elle pas les possibilités du smart grid pour optimiser l'usage des batteries ?*

M. M. : Il est naturel que tout acteur impliqué d'une façon ou d'une autre dans une nouvelle activité analyse l'ensemble des segments de la chaîne de valeur et envisage un repositionnement éventuel. EDF ne fait pas exception. Dans les arrangements nouveaux qui vont se mettre en place, différents acteurs vont se rapprocher pour imaginer des offres globales de nature à convaincre et à rassurer le consommateur. À chacun de se positionner sur le métier où il excelle. Et à ceux qui savent inventer des montages nouveaux, par exemple les intermédiaires capables de proposer des tarifications du service innovantes, de se montrer créatifs !

Quel marché ?

Int. : *Les exposés de ce soir montrent que l'on cherche à vendre la voiture électrique comme première voiture, ce qui me paraît une impasse : le vrai marché est celui de la deuxième voiture. Je crois aussi que l'on se trompe en ciblant les périurbains : il vaudrait mieux s'adresser aux "rurbains", qui possèdent souvent deux, voire trois voitures.*

Int. : *Pour ma part, je regrette qu'on en reste à la transposition éternelle du système actuel, alors que la raréfaction des ressources pétrolières – moins pour des raisons géologiques qu'en raison de conflits géostratégiques – va nous obliger à transformer de fond en comble notre système de mobilité. Plutôt que de cibler la deuxième ou la troisième voiture, il serait temps d'envisager le marché de la voiture unique, combiné à une forte progression des transports collectifs.*

P. P. : À l'heure actuelle, 80 % des déplacements se font en voiture individuelle, et on peut douter que cette situation évolue très rapidement. En revanche, de nouvelles formules vont apparaître, comme le fait de posséder une voiture électrique et de louer une voiture thermique pour partir en week-end, ou encore de prendre le train et de trouver à destination la même voiture électrique que la sienne.

Un bilan économique à améliorer ?

Int. : *Comme cela a été expliqué, les gens perçoivent la location de la batterie comme correspondant au coût du carburant sur un véhicule thermique. Dans ces conditions, le bilan économique de la voiture électrique reste encore très défavorable. Si le coût d'usage est de 100 euros par mois, cela représente environ 100 litres de gazole, avec lesquels, si vous avez une petite voiture qui consomme 4 litres aux cent, vous pouvez rouler 2 500 km. Vous devez donc rouler plus de 2 500 km par mois, avec un véhicule dont l'autonomie est de 150 km, pour justifier le choix de l'électrique. Psychologiquement, cela constitue un obstacle sérieux. Il vaudrait mieux trouver un système permettant de vendre la batterie au lieu de la louer.*

P. P. : Les premiers clients seront certainement des personnes effectuant les trajets domicile-travail les plus longs. Avec la baisse des coûts, ceux qui parcourent des trajets plus courts pourront également être intéressés. Il faut signaler, en outre, que le véhicule électrique présente un budget de maintenance beaucoup plus faible que celui du véhicule thermique.

Christophe Midler : On a souvent tendance à “naturaliser” les coûts, c'est-à-dire à estimer qu'ils sont acquis et ne changeront jamais. Patrick Pélata a insisté sur le fait que lorsque vous faites travailler des milliers d'ingénieurs sur un problème, cela change forcément l'ordre de grandeur des coûts à terme.

Mon équipe de recherche s'est intéressée à un autre mode de transport innovant qui a rencontré des problèmes d'infrastructure, l'Airbus A380 : il ne pouvait pas atterrir sur les aéroports existants. Airbus a demandé aux acteurs dont c'était a priori le travail, à savoir les gestionnaires d'aéroports, d'étudier la question. L'évaluation donnait un coût tellement élevé qu'il rendait l'équation insoluble. Airbus a décidé de nommer en interne un responsable des infrastructures A380 et a lancé ses propres études, qui ont permis de réduire les coûts d'adaptation des infrastructures de manière impressionnante. Il n'existe pas de valeur absolue des coûts : tout dépend de qui travaille dessus et avec quel objectif d'optimisation.

Les nouveaux entrants

Int. : *Aux différentes étapes de l'histoire de l'électronique, on a vu de nouveaux entrants prendre la place des sociétés auparavant leaders du marché. Ne craignez-vous pas l'arrivée d'acteurs qui, n'ayant jamais construit de voitures, ne seront pas soumis aux mêmes pesanteurs internes que les constructeurs établis ?*

P. P. : Ce n'est pas parce qu'une entreprise est grande qu'elle ne peut pas être agile... IBM est passé de la production d'ordinateurs à la production de services et le Groupe est toujours bien vivant. J'espère que Renault saura, lui aussi, affronter les mutations nécessaires.

C. M. : L'un des aspects qui me fascine, dans l'histoire de l'automobile, est sa capacité à se remettre en cause périodiquement lorsque sa trajectoire la conduit à une voie sans issue, avec des réformes en profondeur comme le “fordisme”, la gestion métier, la gestion de projet, les flux tendus, etc.

P. P. : Cela dit, parmi toutes les banderilles de Philippe Hirtzman, la plus sérieuse me paraît être la concurrence d'un nouveau venu comme l'entreprise chinoise BYD, qui a commencé par fabriquer des batteries pour les vélos, puis pour les scooters, puis pour les voitures, puis est devenu constructeur de voitures, dans un pays qui représente le plus gros marché automobile du monde, et probablement aussi le plus gros marché potentiel du véhicule électrique. Si nous n'avançons pas assez vite, BYD peut très bien se retrouver devant nous.

Le smart grid

Int. : *Patrick Pélata a évoqué à juste titre l'importance du smart grid pour faciliter le développement du véhicule électrique. Où en est-on sur ce point en France ?*

M. M. : La législation européenne exige que 80 % des réseaux soient équipés de compteurs communicants d'ici 2020. Nous venons de participer à une consultation associant notre filiale de distribution ERDF (Électricité réseau distribution France) et un certain nombre de parties prenantes pour définir les fonctionnalités du compteur communicant qui sera déployé en France. L'expérimentation va commencer dès l'an prochain.

Les fonctionnalités du *smart grid* nécessaires à l'essor du véhicule électrique sont relativement rudimentaires. On a besoin, par exemple, d'affiner les formules tarifaires, qui actuellement distinguent de façon rudimentaire les heures pleines et les heures creuses. On pense toujours au creux de la nuit, mais il existe aussi un creux à l'heure du déjeuner, par exemple. La définition des pointes sera aussi plus fine. Des tarifications plus astucieuses vont être possibles. Une autre fonction utile consisterait à couper pendant une brève durée la recharge des batteries, avec l'accord du client, en cas de pic de consommation. Ces deux fonctions ont déjà été testées dans plusieurs pays.

Le véhicule hybride

Int. : *Pendant encore quelques années, le véhicule hybride ne pourrait-il pas constituer un complément intéressant au véhicule électrique ?*

P. P. : Tous les constructeurs du monde sont en train d'ajouter un peu d'électricité à leurs véhicules pour améliorer le fonctionnement du moteur et de la boîte de vitesse : cette mini-hybridation n'a que des avantages. En revanche, ajouter au coût du moteur électrique celui d'un moteur thermique rend l'équation économique insoluble.

Quelle fiscalité pour le carburant électrique ?

Int. : *Quand on compare le prix des carburants et le prix de l'électricité, on a l'impression que cette dernière ne coûte rien. Mais dans un litre d'essence à 1,40 euro, il y a 80 % de taxes, ce qui ramène le prix "réel" à 19 centimes. Pour la même puissance énergétique, à savoir 8 kWh, il en coûte aujourd'hui 10 centimes d'électricité, et cette somme ne comprend pas le coût des infrastructures à créer pour les véhicules électriques.*

Philippe Hirtzman : Et si l'on assiste à un transfert massif d'une forme d'énergie vers l'autre, il est probable que l'État ne regardera pas ses recettes fiscales fondre sans rien faire...

Les émissions de CO₂

P. H. : Patrick Pélata a annoncé, pour la France, des émissions de 12 g/km pour le véhicule électrique. Mais d'une part, Renault n'envisage probablement pas de se limiter au marché national, et lorsque ses voitures seront vendues en Pologne, en Allemagne, en Chine ou en Inde, les émissions seront de 120 ou 150 g/km. D'autre part, avec le jeu des échanges internationaux d'énergie, on n'est pas certain, même la nuit, que l'électricité vendue en France sera d'origine nucléaire, et Patrick Pélata a indiqué que la seule façon de lutter contre l'angoisse de la panne serait de multiplier les points de charge rapide, qui par définition seront utilisés pendant la journée. L'idée que le véhicule électrique serait la panacée universelle pour réduire les émissions de CO₂ à l'échelle de la planète ou même en France est donc un leurre.

M. M. : Le système électrique français émet en moyenne 60 g de CO₂ par kWh, alors que les systèmes fonctionnant uniquement sur de l'énergie thermique émettent entre 300 et 800 g. Il faut donc croire que les heures où EDF ne produit aucune émission sont nombreuses ! Et, par définition, ces heures sont plutôt celles de la nuit et du week-end.

P. P. : En écoutant Philippe Hirtzman, je me dis que nous ne sommes pas à la poursuite du même Graal. Vous semblez être à la recherche d'une solution unique, alors que nous avons une approche beaucoup plus modeste : nous savons que la lutte contre le réchauffement climatique passera par des milliers d'actions différentes. Nous pensons que le véhicule électrique a sans doute une contribution à apporter à cet égard, en particulier dans des pays

comme la France, le Japon, Israël, le Danemark, l'Angleterre, l'Espagne, le Maroc, et de nombreuses îles intéressées par le fait de réduire leurs investissements capacitaires, comme Singapour, La Réunion, l'Île Maurice, Hawaï, etc. Nous évaluons le marché mondial à 6 millions de véhicules : si nous réussissons à prendre un tiers ou un quart de ce marché, ce sera une très belle opération pour nous.

Présentation des orateurs :

Philippe Hirtzmann : ingénieur général des mines, président de la section Sécurité & risques du Conseil général de l'industrie, de l'énergie et des technologies (ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi) ; ancien chef du service des entreprises, de l'innovation, des technologies et du développement durable au Commissariat général du Plan puis au Centre d'analyse stratégique (Premier ministre) ; antérieurement directeur de l'École nationale supérieure des mines de Saint-Étienne et directeur régional de l'industrie, de la recherche et de l'environnement de la région Midi-Pyrénées.

Michel Matheu : est responsable, à la direction de la stratégie du groupe EDF, des questions de régulation, de marchés et des études économiques ; avant de rejoindre EDF il a animé un service du Commissariat général du Plan (aujourd'hui CAS) en charge notamment des industries de réseaux et de l'environnement ; auparavant il a été chercheur à l'École polytechnique et rédacteur en chef des publications des *Annales des Mines* ; il a dirigé avec Claude Henry et Alain Jeunemaître l'ouvrage *Regulation of network utilities. The European experience* (OUP, 2001).

Christophe Midler : directeur du Centre de recherche en gestion de l'École polytechnique (CRG) et professeur associé à l'École des mines de Paris ; ses travaux portent sur les mutations des grandes entreprises industrielles dans le domaine de l'organisation des projets et de la conception des produits nouveaux ; il a publié de nombreux articles et plusieurs ouvrages sur ce thème dont *L'auto qui n'existait pas, management des projets et transformation de l'entreprise*, préface Raymond Lévy (Dunod) et, en 2004, en collaboration avec Gilles Garel et Vincent Giard, *Faire de la recherche en management de projet* (Vuibert).

Patrick Pélata : diplômé de l'École polytechnique et de l'École nationale des Ponts et Chaussées, est titulaire d'un doctorat en socioéconomie de l'École des Hautes Études en Sciences Sociales de Paris ; il entre chez Renault en 1984 comme chef d'atelier à l'usine de Flins ; de 1985 à 1998, il occupe différentes positions à la Direction des Études ; il devient directeur du développement de l'Ingénierie Véhicule en 1998 et entre au comité de direction Renault ; en 1999, il rejoint Nissan à Tokyo en tant que directeur général adjoint en charge du Plan, du Produit, du Design et des Programmes et membre du comité exécutif et du conseil d'administration de Nissan ; le 1^{er} juillet 2005, il est nommé directeur général adjoint Plan, Produit, Programmes du groupe Renault et membre du comité exécutif Groupe ; le 13 octobre 2008, il est nommé directeur général délégué aux opérations de Renault.

Diffusion mars 2010