

La voiture électrique : virage ou mirage ?*

Le salon de l'auto à Francfort en septembre, suivi du salon Equip-Auto à Villepinte en octobre, ont mis les pleins feux de l'actualité sur le véhicule électrique (VE). Conversion et enthousiasme de néo-convertis ou méthode Coué pour concrétiser une innovation majeure capable de relancer l'industrie automobile ? Renault prépare toute une gamme de VE pour 2010-2012, et PSA n'est pas en reste : les constructeurs français annoncent dans un élan « écoélectrique » entre 5 et 10 % du marché en 2020. Les constructeurs allemands sont plus réservés et tablent sur 1 à 1,5 % du marché à cette même échéance.

Parallèlement, les gouvernements et l'Europe encouragent les investissements importants qui seront nécessaires, à la fois pour industrialiser les modèles, fabriquer les moteurs électriques et l'informatique de commande, et produire les batteries de stockage de l'énergie en grande série. C'est plusieurs milliards d'euros qui sont en jeu pour les majors du secteur : Renault-Nissan, PSA, mais aussi Bolloré-Dassault, Batscap-Avestor, SAFT-Johnson Controls... pour développer en France un nouveau secteur industriel de qualité, avec à la clé des milliers d'emplois en cas de réussite.

Du point de vue technique et thermodynamique, y a-t-il un véritable intérêt au véhicule électrique ? Penchons-nous sur les rendements et dépenses énergétiques :

- rendement énergétique « tank to wheel » (du réservoir à la roue) pour le moteur thermique : de l'ordre de 22 % pour le diesel et de 18 % pour l'essence ;
- rendement énergétique « tank to wheel » (de la prise électrique à la roue), en prenant en compte le rendement du chargeur, de la batterie, du moteur électrique : de l'ordre de 72 %.

Pour une voiture moyenne diesel qui consomme environ 6 L/100 km, soit 60 kWh, son équivalent électrique consommerait $(60 \times 22)/72 = 18,3$ kWh/100 km ; mais avec la récupération d'électricité à la décélération et au freinage, nous tombons à 15 kWh/100 km. C'est un gain merveilleux direz-vous ! Mais d'où sont issues les énergies pétrolières et électriques ?

Pour l'essence et le gas-oil, il faut tenir compte de l'énergie consommée en raffinerie : ce qui donne un rendement « plant to wheel » (entrée de la raffinerie à la roue) qui tombe à 14 % pour l'essence et à 18 % pour le diesel.

L'estimation du rendement « plant to wheel » (entrée de la centrale électrique à la roue) pour le véhicule électrique est

plus complexe. Le rendement varie en effet énormément en fonction du type de centrale : 30-40 % pour une centrale thermique classique, 50-60 % pour les centrales au gaz, 70 à 80 % pour celles à cycle combiné et co-génération. Il faut y ajouter la distribution électrique d'un rendement de 93 %. Le chiffre moyen européen retenu par les experts est de $40 \times 0,93 = 37 \%$, d'où pour le véhicule électrique $72 \times 0,37 = 27 \%$: un gain énergétique qui reste donc appréciable.

On comprend alors pourquoi nos voisins allemands sont moins enthousiastes que les Français. Cela tient au « mix électrique » des centrales – charbon, pétrole, gaz, nucléaire, éolien, photovoltaïque – pour produire le kWh (*tableau I*).

Pour nos voisins d'outre-Rhin et plus encore pour les Danois, il est clair qu'à 126 g de CO₂/km, le gain par rapport aux voitures économiques de 2010 est quasi inexistant. Par contre en France, avec 90 % de l'électricité d'origine nucléaire ou hydraulique, le gain est intéressant. On notera cependant que si vous rechargez la batterie du véhicule avec les panneaux photovoltaïques de votre toit ou l'éolienne de votre jardin, c'est (dans l'absolu) 0 g CO₂/km !

Alors vive la voiture électrique française ? Pas si vite ! Tourneons-nous vers nos collègues (et nos sauveurs) les électrochimistes en charge de la source d'énergie mobile. C'est là que les choses se compliquent : là où la microélectronique a fait en fin du XX^e siècle des progrès étonnants avec extrapolation de technologies maîtrisées, la capacité des accumulateurs est restée limitée par l'extrême complexité d'un système où interviennent des électrodes solides, la nature des électrolytes (liquides, gels ou polymères), la maîtrise des interfaces macro- et microscopiques. C'est dire qu'en un siècle, on n'a gagné qu'un facteur 4 en passant des accumulateurs au plomb au nickel-cadmium, au nickel-métal-hydrure, au lithium-ion et lithium-polymère (*tableau II*) [1].

C'est donc vers les systèmes lithium que les fabricants d'accumulateurs pour VE s'orientent. Ils ont été déjà partiellement éprouvés par les fabricants japonais pour les appareils électroniques nomades et nous allons assister à une grande lutte commerciale avec différentes options : lithium-ion avec électrodes CoNiLiO₂-graphite, lithium-polymère-graphite, PO₄FeLi-polymère... et avec de nouvelles avancées grâce aux nanotechnologies qui ont montré que l'on pouvait utiliser nombre d'oxydes pour intercalation ou réaction avec le lithium, à condition de les mettre en œuvre sous forme de nanoparticules

éventuellement couvertes de nanocouches de carbone [2].

Prenons notre exemple précédent de voiture moyenne gamme avec une consommation de 15 kWh/100 km et une batterie lithium industrielle ayant une densité d'énergie de l'ordre de 120 Wh/kg. Pour avoir 200/250 km d'autonomie, il faut embarquer 250 kg de batterie. Pour atteindre une autonomie comparable aux voitures diesel de l'ordre de 800 km en gardant le même poids, il faudrait monter la densité d'énergie à 480/500 Wh/kg. C'est le pari que va tenter BASF, associé depuis mai 2009 à Sion-Power, avec la technologie Li-S et de nouvelles configurations en nanocanaux et nanofibres de carbone.

Avec en France – à Amiens, Bordeaux, Nantes, Grenoble – des équipes de recherche d'électrochimistes remarquables et novatrices [3] qui dès 1990 sur le lithium avaient le sentiment de prêcher dans le désert et des industriels français du secteur qui se réveillent maintenant, ce début du XXI^e siècle va s'avérer passionnant.

Certes, on passera progressivement de la voiture hybride parallèle à la voiture hybride « plug in » ou à l'hybride série, tant il est vrai que l'aspect psychologique de la batterie vide sans « prise » de secours reste fort. Mais la voiture de ville s'imposera, puis celle au long cours. Cela prendra sans doute du temps, comme toute émergence d'une nouvelle technologie dans le domaine très grand public : le choix de la technologie, les outils de production à créer, le réseau commercial et d'entretien, les prix, le niveau des subventions publiques, l'approvisionnement des matières premières, la stratégie commerciale (achat ou location), tous ces points se régleront progressivement. Du point de vue de la chimie, de la physico-chimie, et même des sciences sociales et économiques, les évolutions et les objectifs sont enthousiasmants. Nous en sommes tous « survoltés » : prenons le virage, le mirage s'évanouira !

Jean-Claude Bernier,
le 30 novembre 2009

*D'après *Tintin au pays de l'or noir*, Hergé, Casterman, 1950, 15, p. 23.

[1] Franger S., Benoit C., Saint-Martin R., *L'Act. Chim.*, 2008, 325, p. 41.

[2] Simon P., Tarascon J.-M., Stockage électrochimique de l'énergie : l'apport des nanomatériaux, *L'Act. Chim.*, 2009, 327-328, p. 87.

[3] Les laboratoires français sont leaders dans l'Institut de recherche européen « ALISTORE-ERI ».

Source	Émission de CO ₂	Consommation au 100 km	CO ₂ /km
Gas-oil	2 600 g/L	6 L	156 g
Centrale charbon	980 g/kWh	15 kWh	146 g
Mix Danemark	840 g/kWh	15 kWh	126 g
Mix Allemagne	600 g/kWh	15 kWh	90 g
Mix France	75 g/kWh	15 kWh	11 g

Tableau I.

	Pb acide	Ni-Cd	Ni-MH	Li-ion	Li-polymère	Li-S ?
Tension	2	1,3	1,2	3,5	3,5	2,8
Puissance (W/kg)	40	200	200	250	300	
Densité E (Wh/kg)	40	65	80	150	130	500

Tableau II.

Communication de la chimie

La « culture scientifique »... évidence ou oxymore ?

Sa signification est évidente et la communauté scientifique défend unanimement sa « diffusion » auprès du *grand public* : la « culture scientifique » est un bienfait à partager, si ce n'est à imposer.

Comme tous les concepts consensuels et évidents, il peut toutefois être intéressant de s'y arrêter pour l'interroger. Laissons de côté le second terme, en mentionnant simplement l'invitation pertinente qui nous est faite de la requalifier en « culture scientifique, technique et industrielle », portée notamment par le réseau des emblématiques CCSTI⁽¹⁾. Car de même que dans la réflexion sur le développement durable, la querelle entre les tenants du « durable » et les partisans du « soutenable » occulte la discussion essentielle sur le concept de « développement », l'extension de la culture scientifique à la technique et à l'industrie risque fort de masquer les implicites extraordinaires qui sont véhiculés par le terme de « culture » ; si ce n'est même un certain flou permettant d'en faire l'apanage d'une idéologie scientiste conquérante.

En première approximation, les différentes et nombreuses définitions du mot « culture » peuvent être séparées en deux catégories principales : la culture *individuelle* et la culture *collective*. La première s'apparente à la « culture générale », parfois définie comme le fond minimal de connaissances et de compétences que devrait posséder un individu pour pouvoir s'intégrer dans la société. On y trouve les dates des grands événements historiques, la sensibilité artistique ou la capacité à participer à un sport populaire. La seconde est un ensemble de connaissances, de valeurs et de normes partagées par une communauté ou une société, transmises et imposées socialement. Ces caractéristiques construisent en retour une « identité culturelle » que l'on retrouve aussi bien dans les « cultures d'entreprise » que les « cultures animales ».

Il apparaît dès lors que c'est dans la première acception du terme qu'il faut le plus souvent comprendre la notion de « culture scientifique » lorsqu'elle est employée par les partisans de sa promotion. Ces derniers, parallèlement, appartiennent à des communautés qui tirent leurs relatives cohésions de caractéristiques

identitaires cette fois définies par des cultures qu'il faut entendre dans la seconde acception du terme : scientifiques, chimistes, médiateurs scientifiques constituent en effet autant de groupes humains partageant des connaissances, des valeurs et des normes *collectives*, souvent relayées et/ou contrôlées par des institutions telles que les académies ou les sociétés savantes.

La « culture scientifique » serait donc un patchwork de cultures *collectives* disciplinaires proposées aux *individus* au travers de diverses actions de communication. Mais sa promotion, lorsqu'elle est mal faite, risque du même coup de devenir une sorte d'injonction à entrer dans un moule lui-même modelé par des tendances corporatistes ou prosélytes. C'est ainsi qu'on se moque avec dédain et méchanceté des quelques 50 % de Français qui ne savent plus qui, de la Terre ou du Soleil, tourne autour de qui (oubliant du même coup que l'un n'est pas le contraire de l'autre⁽²⁾ et qu'en outre la réponse, totalement dépendante du référentiel choisi, est fautive dans les deux cas⁽³⁾). Alors qu'une véritable « culture générale scientifique » réside bien plus dans la capacité à appréhender les enjeux des sciences et des technologies en cours d'élaboration (la *science chaude*) que dans des connaissances *refroidies* (stabilisées) et peu utiles pour comprendre le monde dans lequel on vit. Pire, c'est ainsi qu'on raille l'inculture scientifique, voire l'ignorance, de celui qui ne saura pas écrire CO₂ sans erreur typographique, oubliant cette fois qu'il ne faut voir là que conventions et qu'il fut un temps où les chimistes eux-mêmes l'écrivaient CO²...

Contrairement à la culture artistique dont la dimension collective n'implique pas la condamnation de la transgression des règles au niveau individuel⁽⁴⁾, la culture scientifique, comme la culture religieuse, aurait parfois quelques tendances à vouloir non seulement *diffuser*, mais également *contrôler* les connaissances individuelles. Tous les scientifiques vous le diront : la science doit être partie intégrante de la culture. « *Il ne saurait être de culture dans le monde d'aujourd'hui qui tienne la science à distance* », martelait

récemment un collègue chasseur de mammoth auquel nous espérons ne pas faire trop de publicité en le citant⁽⁵⁾. À ce stade, il est en effet difficile de le contredire. Quelques lignes plus haut, il écrit pourtant : « *Au nom d'une spécialisation nécessaire et toujours exigeante, les scientifiques se sont isolés et ont laissé la science s'abstraire de la culture générale.* »

La science devrait donc quitter son statut de connaissance proposée pour adopter celui de savoir imposé, sous contrôle des scientifiques. Dès lors, le bel objectif culturel souhaité de tous ne risque-t-il pas de se voir contraindre et censurer par une science inquisitrice, au motif que la culture dont il dépend serait qualifiée de « scientifique » ? Comme le vocable de « développement durable » évoqué plus haut, celui de « culture scientifique » prend soudain, sous certaines plumes, des allures d'oxymore⁽⁶⁾.

Dans ces conditions, est-il possible de promouvoir une véritable culture scientifique, technique et industrielle qui ne souffre pas de ces travers et respecte l'individu, ses connaissances profanes et ses valeurs ? La réponse dans une prochaine chronique...

Richard-Emmanuel Eastes,
le 18 décembre 2009

(1) Les Centres de culture scientifique, technique et industrielle, nés dans les années 70 et adhérents depuis 2001 à une charte signée avec le Ministère de la Recherche, constituent l'essentiel des centres de science ouverts au public en France. Voir www.ccsti.fr

(2) Pour expliquer l'alternance des jours et des nuits, si le Soleil ne tourne pas autour de la Terre, c'est la rotation de la Terre sur elle-même et pas autour du Soleil qu'il faut invoquer.

(3) Le Soleil et la Terre tournent autour de leur centre de gravité commun, si on fait abstraction de l'influence des autres planètes.

(4) Jouer Chopin au métronome ou mélanger Mozart avec de la musique égyptienne, projeter des disques de lumière sur un mur ou y peindre un simple carré bleu... tout est bon si la démarche est assumée et justifiée.

(5) Allègre C., *Un peu de science pour tout le monde*, Fayard, 2003.

(6) Une expression est un oxymore lorsqu'elle met côte à côte deux mots ayant des sens opposés et aboutissant à une image contradictoire et frappante pour la représentation, comme « un silence assourdissant ». « *Cette obscure clarté qui tombe des étoiles* » (Corneille, *Le Cid*, 1682, Acte IV, scène 3) est probablement l'exemple d'expression oxymorique le plus souvent cité.

Retrouvez l'intégralité de ces chroniques « communication » sur le blog Parlez-vous chimie ? (www.parlezvouschimie.org).