

ROULER SANS PRODUIRE DE CO₂, RÊVE OU RÉALITÉ

Julien Lefebvre, Andrée Harari, Jean-Claude Bernier

D'après *Le moteur thermique comparé au moteur électrique : enjeux et contraintes* de Henri Trintignac publié dans l'ouvrage « Chimie et transport » EDP Sciences, 2014, ISBN : 978-2-7598-1075-8

Le choix entre la motorisation électrique et la motorisation thermique est possible de nos jours ! Du réservoir à la roue, comment est-il possible de diminuer les émissions de CO₂ ?

MOTORISATION THERMIQUE VS. MOTORISATION ÉLECTRIQUE

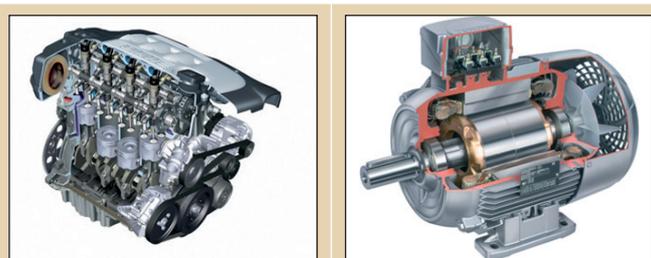
La comparaison (Tableau 1) entre les moteurs électriques et les moteurs thermiques doit se faire selon plusieurs critères. Par exemple les puissances sont de mêmes ordres de grandeur entre les deux types de moteurs, en revanche les rendements passent de 35 % au mieux pour un moteur thermique à 90 % pour un moteur électrique voire plus.

Le coût de fabrication est en faveur du moteur électrique. En effet un moteur thermique est constitué de 200 à 250 pièces, toutes très techniques. Certaines reçoivent plusieurs traitements thermiques. Alors qu'on ne retrouve à l'intérieur d'un moteur électrique

qu'une cinquantaine de pièces. Bien qu'on ne puisse pas appliquer la baisse des prix de l'électronique en électromécanique, les baisses des coûts seront plus importantes qu'en mécanique. Ainsi, il y a 30 ans, les premiers PC « de base » coûtaient environ l'équivalent de 7 500 € alors qu'aujourd'hui, le PC de base (1 000 fois plus puissant) coûte entre 500 et 750 €. Inversement, la 205 GTI, il y a 30 ans, valait 60 000 francs (9 000 €) et sa remplaçante d'aujourd'hui, la 208 GTI, vaut 25 000 €, soit environ trois fois plus. Par contre le cuivre et les terres rares (1) très présents dans le moteur électrique ont atteint des valeurs très importantes.

TYPE DE MOTORISATION ET ÉMISSIONS DE CO₂

La réduction des émissions de CO₂ par le transport automobile (2) est devenue un objectif depuis que son effet sur le changement climatique est reconnu.



Puissance spécifique (kW/kg)	1 à 1,5	2 à 3
Rendement	0 % à 35 %	60 % à 92 %
Nombre de pièces	200 à 250	< 50
Part mécanique/électronique prix	90/10	40/60

Tableau – Thermique vs. électrique, quelques chiffres.



Figure 1 – Station de recharge pour voiture électriques.

Les objectifs de rendement énergétique à atteindre doivent approcher les 50 %. Pour cela, il faut travailler sur sept leviers.

Le premier levier est la diminution de la masse des véhicules (3). Il s'agit aussi de mieux utiliser l'énergie fossile, donc utiliser moins de carburant pour parcourir la même distance.

Le deuxième levier est l'amélioration de l'aérodynamisme du véhicule ; le troisième, la réduction des frottements (4) et le quatrième, l'amélioration du rendement du moteur thermique. Le cinquième est de n'utiliser ce dernier que lorsqu'il est nécessaire ; retenons qu'il a fallu attendre un siècle pour mettre en œuvre cette idée simple, à savoir : arrêter le moteur thermique dès que le véhicule ne roule plus. C'est le système Stop/Start qui a été commercialisé pour la première fois en 2003. Le sixième levier, très prometteur, est de récupérer de l'énergie cinétique du véhicule pendant les phases de freinage pour la réutiliser ensuite, c'est qu'on appelle l'hybridation. Enfin, le septième levier consiste à utiliser une source d'énergie non fossile pour certains usages ; cela permettrait d'annuler les émissions de CO₂ pendant ces usages.

DEUX SCÉNARIOS POUR L'AVENIR

Contourner le principal handicap du véhicule électrique (la recharge des batteries, Figure 1) a fait foisonner l'imagination des chercheurs. Voici deux scénarios possibles parmi une multitude : dans l'un, le véhicule va générer de l'électricité pendant qu'il roule et dans l'autre, il va capter de l'électricité alors qu'il se déplace.

Premier scénario

Le véhicule est évidemment à traction électrique, il dispose d'une batterie (5) qui lui donne quelques dizaines de kilomètres d'autonomie et il dispose aussi d'un générateur alimenté en carburant non fossile (un alternateur).

Le générateur recharge la batterie dès que son niveau de charge est trop bas. La batterie est rechargée sur le secteur à chaque fin de trajet. Les petits trajets du quotidien sont parcourus uniquement avec l'énergie contenue dans la batterie. On ne recourt au générateur que pour les grands trajets. La capacité du réservoir de carburant et son remplissage sont comparables à l'usage que l'on fait aujourd'hui des véhicules conventionnels.

Quel carburant ? L'hydrogène est un vecteur d'énergie (6) répondant à ce cahier des charges, on peut stocker dans un véhicule la quantité nécessaire pour parcourir 600 kilomètres et faire le plein en cinq minutes. Ce carburant H₂ est obtenu actuellement à 95 % par *steam cracking* du méthane et hydrocarbures avec malheureusement la production de 10 kg de CO₂ par kg d'hydrogène mais il peut être obtenu sans émission de CO₂ ou peu par électrolyse de l'eau (Figure 2).

La prospective autorisant toutes les audaces, on peut envisager l'installation d'une infrastructure de distribution d'hydrogène peu dense sous 700 bars de pression, en dehors des grands centres urbains, où l'on produit sur place à partir d'énergies renouvelables. À noter que la production d'hydrogène peut aussi servir de moyen de stockage d'énergie à grande échelle.



Figure 2 – L'usine de Falkenhagen en Allemagne utilise l'énergie éolienne et l'électrolyse [installation Hydrogenics] pour transformer l'eau en hydrogène. Source : Courtesy of Energy Storage GmbH.

Deuxième scénario : la captation d'énergie en roulant

Le véhicule est toujours à traction électrique, il dispose d'une batterie qui lui donne quelques dizaines de kilomètres d'autonomie et d'un dispositif de captation d'électricité permettant de recharger la batterie en roulant. Il recharge la batterie dès que son niveau de charge est trop bas. Les petits trajets du quotidien sont parcourus uniquement avec l'énergie contenue dans la batterie. On ne recourt au dispositif de captation que pour les grands trajets, une infrastructure de charge a été déployée sur environ 1 km de chaussée expérimentale. Les chaussées d'autoroutes, voies express et rocade sont une extension futuriste (voir les 12 000 km de réseau français présentés dans l'article d'Henri Van Damme publié dans « Chimie et transport », p. 23) [7].

Comment capter de l'électricité en roulant ? Des bornes de recharge sans contact pour véhicules électriques existent déjà, elles assurent la charge de la batterie à l'arrêt. Des démonstrateurs de pistes avec recharges sans contact de véhicules en mouvement existent aussi, une ligne de bus électrique se rechargeant sans contact à l'arrêt et en roulant sur les premières dizaines de mètres après l'arrêt sera bientôt mise en service en Allemagne.

Ces deux scénarios (batterie + générateur, batterie + captation d'énergie), bien entendu très « prospectifs », permettent chacun de rendre un véhicule à traction électrique polyvalent, c'est-à-dire compatible de l'usage que l'on fait aujourd'hui des véhicules conventionnels, et sans émission locale de CO₂, tout au moins du réservoir à la roue.

QUEL AVENIR POUR LE VÉHICULE ÉLECTRIQUE ?

Aujourd'hui, le véhicule électrique n'est pas une alternative au véhicule thermique. Il a son propre marché, qui pour l'instant est de 1 % mais qui est

appelé à se développer, ce qui justifie d'ailleurs que des industriels investissent dans ce créneau.

Deuxièmement, l'électrification est l'une des voies qui pourrait permettre de baisser durablement les émissions de CO₂ à condition toutefois que les sources d'électricité de recharge soit fortement décarbonées comme en France et en Norvège, voire les faire tendre vers zéro. Le défi porte sur la baisse du surcoût lié à l'électrification et au mix électrique décarboné [8].

Enfin, de très importants efforts de recherches, notamment dans les domaines de l'électronique de puissance et des batteries sont à déployer pour rendre l'équation économique de l'électrification possible. Dans les deux cas, l'invention et le développement de nouveaux matériaux sont des verrous clés.

POUR EN SAVOIR PLUS

[1] Ces matériaux si rares pour la transition énergétique

<http://www.mediachimie.org/node/2160>

[2] Vers des transports décarbonés : carburants, combustion et post traitement pour les transports routiers

<http://www.mediachimie.org/node/563>

[3] Les alliages d'aluminium pour l'allègement des structures dans l'aéronautique et la carrosserie automobile

<http://www.mediachimie.org/node/567>

[4] Chimie et voitures de formule 1 (Chimie et... Junior)

<http://www.mediachimie.org/node/1063>

[5] Piles à combustible et batteries au lithium

<http://www.mediachimie.org/node/939>

[6] L'hydrogène, vecteur de la transition énergétique

<http://www.mediachimie.org/node/1325>

[7] Les infrastructures de transport : les apports de la chimie dans les projets d'avenir (vidéo)

<http://www.mediachimie.org/node/570>

[8] Des nouveaux véhicules automobiles pas très verts

<http://www.mediachimie.org/node/2315>

Jean-Claude Bernier, professeur émérite de l'Université de Strasbourg, ancien directeur scientifique des sciences chimiques du CNRS

Andrée Harari, ingénieur ENSCP, directeur de recherches honoraire au CNRS, spécialité de recherches : science des matériaux

Julien Lefebvre, professeur de physique chimie

Grégory Syoën, professeur agrégé, chef de projet Mediachimie-Fondation de la maison de la chimie