



Petite histoire automobile

Abderrezak REZZOUG

Professeur Émérite

16 04 2021

Introduction

Dans le vaste monde des transports, l'automobile est l'objet d'analyses de toutes sortes et de discussions acharnées. Elle est l'objet de batailles politiques, sociétales, idéologiques, industrielles et commerciales. Dans toutes les discussions reviennent souvent des mots comme "liberté", "autonomie", "durabilité", "recyclage", "revente", mais aussi "pollution", "environnement", "usage". Tous les intervenants (sociologues, politiciens, industriels, urbanistes, et usagers) sont confrontés à des choix qui les engagent sur des temps non maîtrisés. Les avancées scientifiques et technologiques vont vite, les pressions sociales et démographiques sont immenses, l'urbanisation mondiale est galopante, la fourniture et les moyens de stockage de l'énergie sont incertains.

L'exploration des réalisations possibles de la voiture du futur relève de défis à l'issue incertaine. Une courte histoire de l'automobile depuis ses débuts à nos jours peut modestement contribuer à alimenter nos analyses et réflexions.

Une voiture ? Si nous passons sur les éléments de confort pour nous cocooner, les sièges en premier, c'est : i) quatre roues qui tournent à quelques centaines de tours par minute en restant bien agrippées au sol, ii) un moteur pour entraîner au moins deux des quatre roues, iii) un élément de stockage d'énergie pour alimenter le moteur.

L'élément de stockage se vide au fur et à mesure que la voiture parcourt des kilomètres. Il faut donc le compléter régulièrement dans une station dédiée. L'énergie sous sa forme utilisable a dû être transportée jusqu'à cette station. Pour terminer avec cette énumération, il faut dire que l'énergie utilisable est elle-même obtenue après plusieurs transformations d'une énergie dite primaire, celle dont on évoque souvent le nom de la source dans les médias : pétrole, charbon, gaz, uranium, biomasse, eau, soleil, vent. Pour faire un bilan complet de fonctionnement d'une voiture, on parle souvent du bilan d'énergie "du puits à la roue" ou en bon français "well to wheel energy balance, WTW".

Les débuts de l'automobile

L'histoire de l'automobile est intimement attachée au type de moteur nécessaire à sa propulsion. Dans un premier temps on a vu des automobiles mues par des moteurs à vapeur d'eau, par des moteurs utilisant des dérivés du pétrole ou par des moteurs électriques. Les premiers ayant fini par disparaître, ne serait-ce que parce qu'il fallait un chauffeur pour alimenter le foyer en continu, la bataille se déroule depuis longtemps entre les deux autres types de véhicules.

Plus largement, l'histoire de cette bataille est liée à celle du pétrole, d'une part, à celle de l'électricité et du magnétisme d'autre part. Le tableau qui suit résume quelques étapes dans cette compétition.

Pétrole	Électricité - Magnétisme
1800 : éclairages, moteurs	1826 : électroaimant 1834 : Voiture d'Anderson 1836 : Pile Daniell, énergie longue durée
1859 : 1 ^{er} puits à -23 m aux USA	1859 : Accumulateur au plomb de Planté
1862 : voiture Lenoir 1864 : moteur 4 temps	1867-1888 : Pile sans entretien
1870 : Standard Oil, Kérosène pour éclairage	1869 : Moteur à courant continu 1879 : Ampoule électrique
1886 : tricycle de Benz	1899 : Voiture de Jenatzy (100 km/h)
1908 : Ford T (Production en chaîne + démarreur)	1910 : Batterie fer-nickel

On peut constater que la première voiture, fabriquée par l'écossois Robert Anderson, était électrique. Même si la date n'est pas connue précisément (1832 à 1839) cette voiture est, *a priori*, la première qui ne fonctionnait pas à la vapeur.

Parmi les évènements de la fin du 19^{ème} siècle, il faut citer la course Paris-Bordeaux-Paris en 1895. Sur les 46 voitures inscrites, 16 étaient mues par un moteur à vapeur d'eau, 2 par un moteur électrique et les 28 autres par des moteurs fonctionnant avec des dérivés du pétrole. Parmi les 22 qui ont pris le départ, seules 9 voitures ont fait la boucle en moins de 100 h. L'histoire a retenu le nom d'Émile Levassor qui a franchi la ligne avant tous les autres après avoir parcouru les 1 175 km en 48 h et 42 mn, mais le premier prix lui a échappé au profit des frères Koechlin qui se sont présentés en 4^{ème} position, plus de 5 heures plus tard, mais avec une voiture dont les quatre places avaient été occupées pendant toute la course.



Les vainqueurs sur Peugeot-Daimler Type 7 Phaéton [1]

Un contexte aux aspects multiples

Les analyses qui conduiront la conception de l'automobile dans le futur immédiat ne peuvent se faire de façon purement conceptuelle et locale. Elles ne peuvent ignorer les multiples contraintes et contradictions propres à cette recherche. Nous allons examiner quelques mots-clés incontournables dans la réflexion sur l'automobile en devenir.

Urbanisation [2] [3]

Si la COVID incite actuellement certains urbains à découvrir la campagne, la migration vers les villes s'est accélérée depuis le début du 20^{ème} siècle. La réflexion sur l'automobile s'inscrit dans le cadre général de l'organisation des transports urbains. Si toutes sortes d'engins roulants empruntent les chaussées existantes, il va sans dire que ça ne pourra pas durer longtemps : l'organisation des voies n'a pas été pensée pour le trafic actuel et la législation est insuffisante pour que chacun y trouve une place. Sauf lors de la création de villes ou de quartiers nouveaux, on ne peut que réorganiser les voies de circulation existantes et multiplier les types de véhicules que chacun doit emprunter successivement pour arriver à destination ; on parle alors de multimodalité des transports. À ce propos, parmi les études qui se multiplient dans

le monde, le projet "UrbanLoop" porté par l'Université de Lorraine a pris de l'ampleur depuis son lancement en 2017 et mérite le détour.



Modélisation d'une capsule d'UrbanLoop [4].

Pollution

Si l'effet de serre est nécessaire pour que la température moyenne sur terre soit de l'ordre de 15 °C au lieu de - 19 °C en son absence, son excès est nuisible [5]. Dans le cadre d'une explication simplifiée, on peut dire que l'atmosphère terrestre se comporte comme la couverture d'une serre de jardinier. 50 % de l'énergie envoyée par le soleil atteint la surface terrestre et produit son échauffement. A l'inverse, la terre renvoie de la chaleur vers l'espace sous forme d'un rayonnement infrarouge dont 20 %, seulement traverse l'atmosphère. L'opacité relative de l'atmosphère au rayonnement infrarouge est due aux gaz dits à effet de serre : l'eau (H₂O), le gaz carbonique (CO₂), etc.

A l'échelle mondiale, les transports contribuent pour environ 19 % aux émissions de CO₂. De nombreux projets sont menés en vue de réduire cette part. A ce stade, il faut noter que les centrales énergétiques contribuent pour 30 % à l'émission de ce gaz... Il va sans dire que ce constat devra être pris en compte dans les choix des futurs moyens de transport dont l'automobile fait partie.

Objet	Dimension (µm)	
Grain sable	90	
Cheveu	50-70	
Poussière, pollen, etc.	< 10	PM10
Composés organiques, produits de combustion	< 2,5	PM2.5

L'autre fléau évoqué, dès que l'on parle d'automobile, est celui des émissions de particules. Leur taille est indiquée dans le tableau précédent. La codification actuelle s'écrit PM_x, acronyme qui signifie : "Particulate Matter, with a diameter < x microns µm".

Dans le grand fouillis de chiffres et d'analyses d'experts plus ou moins avisés, le lecteur peut s'en remettre aux

documents nationaux de l'ADEME [6], de l'IFPEN [7] ou du "rapport sur l'état de l'environnement" [8]. En France, le parc des voitures particulières est la première source d'émission de gaz à effet de serre dans un secteur des transports qui lui-même génère 30 % des émissions [7]. Les gaz à effet de serre sont émis par le tuyau d'échappement (CO, NO, Composés Organiques Volatils ou COV) ou formés indirectement dans l'atmosphère. Les particules, quant à elles, sont en partie émises en sortie du tuyau d'échappement mais peuvent aussi provenir des zones de frottements : pneus-route, embrayage ou freins. Elles se forment aussi à partir des COV et des Oxydes d'Azote (NO_x).

Moteurs utilisant des énergies fossiles

Avant de se retrouver sous une forme utilisable par l'automobiliste, l'énergie subit une phase de transformation plus ou moins complexe suivie d'un transport sur de longues distances. Les produits issus du pétrole voyagent entre le puits et la raffinerie puis entre la raffinerie et la station d'essence où ils sont stockés sous forme liquide dans des citernes (gazole, essence, GPL, bioéthanol, gaz naturel).

Type de moteur :	essence	diesel
Monoxyde de carbone (CO)	1000	500
Oxydes d'azote (NO _x)	60	80
Particules fines (PM10)	4,5	4,5
Hydrocarbures non méthaniques (NMHC)		68
Hydrocarbure + oxydes d'azote (HC+NO _x)		170

Extrait de données des normes Euro 6D. Unité : mg/km

Les mesures des polluants émis par un véhicule sur un parcours type (WLTP) sont utilisées pour établir les taxes et les restrictions applicables en fonction des normes en vigueur. Un classement simpliste des carburants repose sur la production de CO₂ par kilomètre parcouru [9]. En fonction de cette valeur (carte grise rubrique V7), un malus est calculé au moment de l'achat du véhicule. Les chiffres récents relèvent de la loi de finance 3360-art 14. À partir du 1^{er} janvier 2022, une taxe sur le poids du véhicule viendra s'y ajouter. L'application de la norme actuelle (Euro 6d) pose de sérieux problèmes aux constructeurs qui ont un stock important d'inventaires en raison de la crise sanitaire.

Il ne faut toutefois pas oublier que chaque litre de carburant génère d'autres émissions de CO₂ avant qu'il n'atteigne la station service, pendant les opérations de raffinage et de transport.

Production d'énergie électrique décarbonée

En France, l'énergie électrique est produite dans sa quasi totalité sans émission de CO₂. L'électricité est principalement générée par des machines tournantes (des "alternateurs") liées à des turbines qu'il faut entraîner.

Comme autrefois, une chute d'eau, un courant fluvial, un mouvement de houle ou de marée, un courant éolien peut être utilisé pour assurer la rotation de la turbine. Ces sources naturelles d'énergie, renouvelables et décarbonées, sont hélas tributaires de sites géographiques particuliers et de ce fait limités en nombre.

Dans les unités de production les plus puissantes c'est de la vapeur d'eau sous pression qui entraîne des très grosses turbines. En France ce sont les centrales nucléaires qui fournissent, avec une puissance pratiquement constante, la plus grande partie de l'énergie électrique ; l'adaptation à une demande particulièrement fluctuante se fait grâce aux réglages bien plus rapides des sources citées en premier.

La production d'électricité sans machines tournantes a connu un fort développement depuis une vingtaine d'années avec l'utilisation de panneaux solaires, que ce soit dans des installations domestiques ou des unités de grande surface. Ces dispositifs produisent de l'électricité à partir de l'impact des rayons du soleil sur des cellules photovoltaïques à base de semi-conducteurs. Leur rendement, qui ne dépasse pas les 20 %, dépend encore une fois du site géographique.

Le transport de l'électricité sur de grandes distances, dans les câbles conducteurs, produit des pertes inévitables. Afin de les réduire, on élève la tension à une valeur très haute, jusqu'à 400 kV en France, ce qui diminue l'intensité électrique dans les lignes de transports. Malgré tout, selon RTE [10], 10 milliards de kWh sont ainsi perdus chaque année.

Le stockage de l'énergie électrique, dans l'attente de son utilisation, constitue un enjeu technologique majeur. Il se situe au niveau d'installations à forte puissance, ainsi qu'au niveau des automobiles elles-mêmes. Les premières constituent un sujet en soi, qui ne peut être détaillé ici. Quant aux batteries embarquées, celles utilisées actuellement remplissent assez bien le rôle qui leur est dévolu, mais elles sont coûteuses, se dégradent avec le temps et utilisent des terres rares dont la disponibilité est limitée. Il n'en reste pas moins que la multiplication des voitures électriques favorisée par des aides gouvernementales ne saurait perdurer que si des solutions sont trouvées pour améliorer le réseau de recharge des batteries et pour augmenter leur capacité de stockage.

Matériaux

On ne peut pas parler de voitures électriques ou hybrides sans évoquer les problèmes liés aux matériaux du système électrique.

De façon simplifiée un moteur est constitué d'une partie fixe qui porte des enroulements en cuivre logés dans les encoches d'un cylindre creux en fer et qui servent à créer un champ qui tourne dans l'espace interne de ce cylindre. Une partie tournante est logée dans le même espace. Elle comporte des aimants, des électroaimants où de simples barres de cuivre ou d'aluminium.

La machine la plus efficace est celle où il y a des aimants, à conditions qu'ils soient de haute qualité. Les plus utilisés sont familièrement appelés les Néodyme-Fer-Bore. Si les constructeurs se sont jetés sur eux, ils ont vite déchanté quand le prix du Néodyme, comme pour d'autres terres rares, a atteint des sommets en 2011 (30 à 467 \$/kg en moins d'un an [11]). Si le prix a baissé depuis, c'est l'aspect stratégique qui continue à être le problème. La période actuelle nous montre en effet combien il est important, dans tous les domaines, de ne pas dépendre d'une seule source d'approvisionnement, les terres rares étant principalement produites en Chine. Malgré la supériorité de ce type de moteur, des constructeurs sont revenus vers des versions à électroaimants et parfois à celles ne comportant que des barres en cuivre reliées entre pour former ce que l'on appelle une cage d'écureuil.

Pour terminer, il faut savoir que la masse des batteries et de leur système de refroidissement handicape fortement les véhicules, nous y reviendrons dans la suite.

La voiture hybride et la voiture électrique

Si le marché automobile a longtemps été occupé, de façon quasi-exclusive, par les modèles thermiques, l'apparition en 1997 de la Prius, du constructeur japonais Toyota, a ouvert la voie conduisant au véhicule électrique en passant par la voiture hybride qui embarque un moteur/générateur électrique et un moteur thermique.

Derrière le vocable "véhicule hybride" se cachent des réalités différentes, liées au "niveau d'hybridation". On constate que souvent les chiffres, sur le gain en émission de CO₂ comme sur le gain en consommation, sont donnés pour des trajets urbains et sont de ce fait favorables à l'hybridation forte ou au tout électrique [12]. Sur les trajets routiers la combinaison (moteur thermique)-(moteur électrique) est moins pertinente à cause des masses supplémentaires à déplacer. Par ailleurs la combinaison des deux types de moteur,

sachant que l'électrique est réversible, conduit dans la plupart des cas à une architecture complexe pour permettre la meilleure gestion de l'énergie [13]. Chaque architecture et chaque carte de commande des distributions d'énergie, selon la situation rencontrée par le véhicule, constituent le secret de chaque fabricant.

Quant à la voiture électrique moderne, elle a tardé à faire l'objet d'offres commerciales pour tous. Le frein majeur a été la faible autonomie que permettaient les meilleures batteries. Aujourd'hui, à volume donné on peut parcourir 10 fois plus de kilomètres avec de l'essence qu'avec des batteries, et ce constat est encore plus handicapant quand on considère les masses. C'est avec ce millénaire qu'un saut important a été effectué. Après avoir fait des voitures pour battre des records d'accélération et de vitesse, ou des petits véhicules urbains dont l'autonomie est de quelques dizaines de kilomètres, Elon Musk se lança le défi de réaliser un véhicule avec une autonomie de plus de 300 km et des performances sportives. Ce fut le top départ pour les constructeurs du monde entier. Reste à améliorer le temps de charge ainsi que la capacité et le recyclage des batteries : un vrai challenge pour les constructeurs et des projets de construction de "giga-factories" pour relever les défis. Si les voitures hybrides sont de construction complexe, l'architecture d'une voiture électrique est particulièrement simple...une planche à roulettes avec une carrosserie !



Plateforme TESLA S – 100 kWh :
1-Moteur à induction, 2-Convertisseur électronique
3- Plancher avec 8256 batteries et leur système
de refroidissement

Ainsi, pour une des Tesla, on trouve un moteur à cage d'écureuil relié aux roues arrières et alimenté par un convertisseur électronique qui puise et contrôle l'énergie fournie par des batteries qui occupent la presque totalité du plancher. La structure et l'habitacle sont faits en aluminium (avec des renforts en acier) et en plastique pour alléger le tout. Une direction assistée et des freins ABS complètent l'ensemble.

Le véhicule hybride et, encore mieux, les véhicules électriques peuvent contribuer à la diminution des

rejets de CO₂ et de la taxe qui va avec, à la condition que la production de l'énergie électrique soit elle-même décarbonée comme c'est le cas en France. Avec une durée de garantie des batteries (pour 70 % de la capacité) de l'ordre de 8 ans ou plus de 160 000 km, les progrès sont encourageants mais l'énergie dépensée pour leur fabrication et l'utilisation de matériaux stratégiques sont des facteurs handicapants.

Références

- [1] <https://www.automag.be/1895-GRANDE-PREMIERE>
- [2] <https://population.un.org/wup/Maps/>
- [3] <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/urbanisation-1>
- [4] <https://fr.wikipedia.org/wiki/UrbanLoop>
- [5] <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/comprendre-le-climat-mondial/leffet-de-serre-et-autres-mecanismes>
- [6] <https://www.ademe.fr/expertises/mobilite-transports/chiffres-cles-observations/chiffres-cles>
- [7] <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/article/emissions-des-voitures-essence-et-diesel-recentes-publication-letude-realisee-ifpen>
- [8] <https://ree.developpement-durable.gouv.fr/themes/defis-environnementaux/changement-climatique/emissions-de-gaz-a-effet-de-serre/article/les-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-des-transports>
- [9] <https://ecoscore.be/fr/info/ecoscore/co2?path=info%2Fecoscore%2Fco2>
- [10] <https://www.rte-france.com/riverains/deperditions-denergies-ou-pertes-en-ligne-un-phenomene-naturel>
- [11] BRGM Panorama 2014 du marché des terres rares
- [12] <https://www.senat.fr/rap/r05-125/r05-12530.html>
-