

## LE VEHICULE ELECTRIQUE VU AUTREMENT...

**E**nergie éolienne, énergie photovoltaïque, véhicules électriques... au-delà des informations et des incitations souvent alléchantes diffusées par les gouvernements et/ou les médias, il est évidemment important d'analyser ce mode de propulsion qui progresse sur le marché automobile courant dont le mot écologie apparaît comme le principal argument. Toutefois, encore faudrait-il savoir de quelle écologie il s'agit...

En effet, sans entrer dans trop de détails, lorsque l'on veut pratiquer de la vraie écologie, pas de l'écologie-business et/ou de la politique électoraliste, l'une et l'autre généralement financées par le contribuable, il faut remonter jusqu'au bout d'un procédé et ne pas s'arrêter en route en flattant le cœur dudit consommateur.

C'est ce que l'on appelle l'analyse de la valeur ou le cycle de vie d'un produit, quel qu'il soit. Ce n'est pas évident car il s'agit ici d'un gros travail en commençant depuis la mine ou depuis ce qui concourt à la naissance d'un produit jusqu'à son élimination la plus totale, incluant tant la quantité d'énergie consommée que sa qualité mais aussi son impact sur l'environnement.

Naturellement, il ne peut être question d'aller aussi loin dans ce document qui se contentera nécessairement de l'essentiel.

### LE VEHICULE ELECTRIQUE

Dans le cas du véhicule électrique, par mesure de simplification nous partirons du générateur de production d'énergie électrique et pour le véhicule à moteur thermique depuis la pompe à carburant.

Toutefois, convenons que c'est un peu juste car pour être précis, en ce qui concerne les énergies primaires non renouvelables il faudrait dans un cas comme dans l'autre remonter jusqu'au bout de la filière, autrement dit, au puits de pétrole ou de gaz naturel et à la mine de charbon ou d'uranium.

Pour mémoire, les rendements moyens pour les générateurs électriques aux bornes du transformateur haute tension (HT) sont les suivants :

Centrale thermique à charbon :  $\approx 44 \%$

Centrale thermique à gaz naturel ou à fuel :  $\approx 46 \%$

Centrale nucléaire type à eau pressurisée (REP) :  $33 \%$

Centrale nucléaire surgénérateur ( $^{239}\text{Pu}$ ) :  $\approx 45 \%$

Turbine à Gaz (TAG) de grande puissance :  $\approx 62 \%$  (1)

Centrale hydraulique :  $\approx 85 \%$  (2)

Générateur électrique éolien sortie transformateur HT ou électronique de puissance :  $\approx 80 \%$

Concernant les rendements moyens des différents véhicules légers, hors phase de roulement, c'est-à-dire sans considérer les frottements des pneumatiques, de l'air et de la transmission :

Motorisation essence :  $25 \%$

Motorisation diesel type HDI (injection très haute pression) ou similaire :  $35\%$

Voiture automobile à propulsion électrique :  $80 \%$  (incluant le rendement des batteries)

Concernant les deux types de moteurs thermiques d'automobiles, si l'on considère le véhicule dans son ensemble roulant, soit en réalité environ 20 % pour la voiture à essence et 25/28 % pour la voiture à moteur diesel récent type HDI... Nous ne sommes donc pas loin des meilleures locomotives à vapeur, type Chapelon, avec un rendement de  $\approx 15$  à  $16$  % (141 R, 241 P, etc.).

En effet, pour être juste, cette chute de rendement doit être considérée en incluant tous les régimes de fonctionnement du moteur et non pas le rendement au meilleur point du cycle thermodynamique ainsi que les pertes de roulement comme les pertes aérodynamiques qui, pour ces dernières, sont contenues pour la plupart des voitures courantes entre un Cx de 0.25 à 0.30 (coefficient de traînée aérodynamique), hors véhicules utilitaires.

### **MULTIPLIONS LES $\eta$ ... ( $\eta$ = rendement)**

Examinons maintenant suivant chaque cas le rendement moyen en % d'un véhicule électrique léger suivant la source de production d'énergie :

Centrale thermique à charbon :  $\approx 44 \times 0.80 = 35.2$  %

Centrale thermique à gaz naturel ou à fuel :  $46 \times 0.80 = 36.8$  %

Centrale nucléaire type à eau pressurisée (REP) :  $33 \times 0.80 = 26.4$  %

Centrale nucléaire surgénérateur ( $^{239}\text{Pu}$ ) :  $\approx 36$  %

Centrale hydraulique :  $80 \times 0.85 = 68$  %

Générateur électrique éolien sortie transformateur HT ou électronique de puissance :  $80 \times 0.80 = 64$  %

Turbine à Gaz (TAG) de grande puissance :  $62 \times 0.80 = 49.60$  %



Voiture électrique NISSAN LEAF 2 (version 2018). Capacité 40 kW/h. Photo JMT 2020

A cela doivent se soustraire les pertes en lignes du réseau électrique (HT, MT, BT) entre le générateur, tous types confondus et le consommateur, soit 7 à 8% de la production ce qui, toutefois, ne signifie pas 8% de rendement en moins (3).

## **EN PREMIERE CONCLUSION**

Que l'on modifie un peu les rendements ci-dessus dans le sens de l'amélioration ne change pas fondamentalement le résultat. Ainsi, la conclusion s'énonce d'elle-même car si l'on ne considère que le rendement final incluant la propulsion et le roulement, la voiture, dite électrique, n'a guère d'intérêt qu'avec la production d'énergie d'origine hydraulique ou éventuellement éolienne puisque l'une et l'autre ne font que de transformer de l'énergie mécanique (le vent et l'eau) en une autre forme d'énergie également mécanique.

Ce n'est évidemment pas le cas des centrales thermiques à combustibles fossiles, comme d'ailleurs les actuelles centrales nucléaires qui transforment l'énergie thermique en énergie mécanique.

Cela s'accompagne suivant l'incontournable loi de Sadi Carnot, d'une importante variation de l'entropie et donc d'une perte (4). Autrement dit, pour près des deux tiers de l'énergie originelle, celle-ci chauffe les oiseaux et les poissons pour leur plus grand plaisir...

Contrairement à ce qui peut se raconter ici ou là, soyons certains qu'ils ne s'en plaignent pas !

Afin d'être rigoureux et en faisant abstraction de l'autonomie actuelle pour la voiture électrique qui certainement s'améliorera, il faut aussi en considérer la masse roulante, soit entre 25 et 30 % de plus que le même véhicule à moteur thermique ce qui augmente d'autant les pertes par frottement au niveau du roulement et suivant le relief.

In fine, si l'on considère qu'en moyenne suivant les années, 70 à 75% de la production électrique d'un pays comme la France est d'origine nucléaire REP (Réacteur à Eau Pressurisée) ce qui conduit à un rendement énergétique moyen du réseau, tous type de production comme ci-dessus exposé, vers 38 %.

On constate immédiatement que le rendement final réel de la voiture dite électrique, toujours hors pertes par roulement, se situe au mieux vers  $38 \times 0.8 = 30\%$  suivant que l'une des sources de production augmente ou non sa participation au mix global (5).

En première approche et d'un point de vue réduit au seul rendement énergétique et non financier, en l'état actuel de la production d'énergie électrique française, la voiture dite électrique ne présente pas ou peu d'intérêt par rapport à la voiture diesel HDI ou similaire.

Ce n'est évidemment pas le cas pour des pays à forte production d'énergie électrique d'origine hydraulique comme la Norvège, la Finlande ou le Canada, par exemple, puisqu'elle y est largement majoritaire.

## **ENERGIE D'ORIGINE RENOUVELABLE, HORS HYDRAULIQUE**

Que ce soit en France ou en Europe et même ailleurs, on constate une forte implication de nombreux gouvernements pour l'énergie d'origine éolienne comme photovoltaïque, largement soutenues par les mouvements, dits écologistes.

Toutefois, c'est oublier deux choses pourtant fondamentales, à savoir :

- Que la fabrication, l'implantation comme la destruction de ces matériels n'ont strictement rien d'écologique.
- Qu'il y a confusion, entretenue ou non, entre la puissance installée et la production réelle d'énergie électrique, seul élément important pour le consommateur.  
Si l'on veut bien retenir K comme coefficient entre la puissance installée et la production annuelle d'énergie électrique, pour un pays comme la France mais c'est aussi plus ou moins vrai ailleurs, il convient de diviser cette puissance par :
  - K = 5 pour l'éolien.
  - K = 7 pour le photovoltaïque.

Ceci pour trouver la puissance continue durant une année calendaire, permettant d'obtenir la quantité d'énergie réellement produite (6).

On comprend ainsi immédiatement qu'en France pour l'année 2019 malgré une puissance totale installée éolien + photovoltaïque de 15 935 + 9 083 = 25 018 MW, la part de cette production n'a contribué qu'à concurrence de 9.74 % au réseau national.

A titre de comparaison, cela représente pourtant 40 % de la puissance installée des centrales nucléaire REP, soit 63 130 MW mais qui ont fourni 75 % de la consommation du pays !

## **CONSOMMATION NATIONALE D'ENERGIE ELECTRIQUE POUR L'ALIMENTATION DES VEHICULES LEGERS ELECTRIQUES**

Un point sur lequel il se raconte et s'écrit à peu n'importe quoi. Dans un avenir plus ou moins proche, si l'on suppose un parc de 5 millions de véhicules électriques opérationnels dans un pays comme France pour une capacité de 60 kW/h par véhicule.

Tous ne sont pas en permanence en circulation mais évidemment, le volume circulant nécessite des recharges périodiques. Supposons qu'il en soit ainsi pour 50 %, soit 2 500 000 véhicules tout au long de l'année calendaire qui compte 8 760 heures.

La quantité d'énergie électrique nécessaire pour alimenter les batteries concernées est alors la suivante :

$2\,500\,000$  (véhicules)  $\times$  60 kW (capacité batteries)  $\times$  8 760 h (une année) = 1.314 TW/h.

Sachant que la production d'électricité fut de 584 TW/h en 2019 pour la France, la consommation nécessaire afin d'alimenter les véhicules légers électriques, ramenée à cette année, ne représenterait que 0.99 % de la production nationale ce qui est tout à fait négligeable.

## **LE PROGRAMME PLURIANNUEL POUR L'ENERGIE (PPE)**

Dans son édition du 21 avril 2020, le PPE (Programme Pluriannuel de l'Energie) stipule pour 2028, les estimations suivantes :

Véhicules électriques : 3 000 000

Véhicules particuliers hybrides rechargeables : 1 800 000

Véhicules utilitaires légers électriques : 500 000

Total général : 5 300 000 véhicules.

Imaginons un instant, que chaque véhicule soit équipé d'une batterie de seulement 60 kW et que les recharges s'effectuent plutôt en fin de journée après le travail quotidien. Admettons également que seulement un tiers des véhicules pratique cette recharge la nuit en 7.5 heures, on arrive à la situation suivante :

Puissance électrique nécessaire  $60 : 7.5 = 8$  kWe, soit 33 Ampères sous 240 V monophasés.

$5\,300\,000 : 3 = 1.76 \times 10^6$  véhicules (1.76 millions).

$8 \times 1.76 \times 10^6 = 14.08 \times 10^6$  kW = 14 080 MWe, ce qui représente une puissance nécessaire produite par 10,3 EPR type Flamanville (1470 MWe nets).

Un simple calcul qui ne tient pas compte des autres recharges occasionnelles (Autoroutes, entreprises, etc.) ce qui vraisemblablement représente au total entre 11 et 12 EPR !.. On observe également (Article 7) qu'au 31 décembre 2023, il y aura 100 000 points de recharge ouverts au public mais rien de plus en 2028 alors qu'à fin 2022 la France en manque déjà beaucoup.

Vraiment écolo le véhicule électrique et pour quel coût réel ? Comment apporter une quelconque crédibilité à de telles hypothèses pourtant issues de documents d'Etat ?

## LE VEHICULE ELECTRIQUE ET L'ENVIRONNEMENT

### Source de production d'électricité

Suivant la promotion qui est faite pour l'équipement des individus en véhicules électriques, que ce soit en France ou ailleurs, il convient naturellement de s'interroger au sujet de l'aspect écologique de ce type de propulsion.

Suivant ce qui précède et en première approche, on observe immédiatement que des pays largement alimentés en énergie électrique d'origine hydraulique sont évidemment favorisés par rapport à ceux qui le sont nettement moins ce qui conduit ces derniers à recourir à des centrales thermiques, qu'elles soient à combustibles fossiles ou nucléaires.

Pour ces derniers, la situation s'aggrave dans la mesure où, sous la pression des mouvements dits, écologistes, des centrales nucléaires seraient alors mises à l'arrêt, nécessitant ainsi de redémarrer d'anciennes unités à combustibles fossiles ou d'en construire de nouvelles. C'est ici particulièrement le cas de l'Allemagne.

Partant de là, il devient difficile de considérer le véhicule électrique léger comme écologique mais néanmoins, ainsi qu'il fut ci-dessus exposé, la consommation d'un important parc par rapport à la production globale, reste faible, sinon marginale.

Par conséquent, pour les pays disposant de faibles ressources en énergie électrique d'origine hydraulique, cela change peu le résultat final.

### Batteries

Dans leur grande majorité, au moins à ce jour, les véhicules électriques légers sont équipés de batteries Lithium-ion (Li-ion)

Cependant, cela présente plusieurs difficultés dont en particulier :

- Les prélèvements dans la nature de métaux disponibles en quantité plus ou moins limitée (lithium, cobalt et autres suivant le type de batterie...).
- La quantité d'énergie nécessaire pour la fabrication puis le recyclage de ces batteries (très énergétivore) (7).
- La complexité du recyclage suivant la nature des batteries pas toujours bien identifiée (LiCoO<sub>2</sub> - LiNiO<sub>2</sub> - LiFePO<sub>4</sub> - NCM). (8)
- La dangerosité du recyclage, en particulier via l'énergie électrique résiduelle et les réactions chimiques pouvant se produire (risque d'incendie, d'explosion, pollution de l'environnement).
- La très faible quantité de lithium recyclé (entre 1 et 20 % au mieux).

- Le fait que les fabricants préfèrent utiliser des matériaux neufs plutôt que recyclés afin d'obtenir de meilleurs rendements ce qui revient à déplacer les conséquences environnementales chez les autres et pas au lieu d'utilisation.

## EN CONCLUSION

Comme on peut déjà le constater simplement à travers ce document nécessairement limité, le monde enchanteur de la voiture électrique vu à travers d'alléchantes publicités, au moins à ce jour, mérite tout de même quelque attention.

Comme toute solution, il y a les avantages et les inconvénients...

### Inconvénients du véhicule léger électrique

L'analyse de la valeur (cycle de vie) complet reste à effectuer puis à comparer par rapport à un véhicule équivalent à moteur thermique moderne.

Le rendement final est directement lié à la source de production d'énergie. Dans la majorité des cas, il ne dépasse pas celui d'un véhicule moderne type HDI et s'avère même inférieur (cas des centrales thermiques et nucléaires actuelles).

Tant la fabrication des batteries que leur recyclage n'ont rien d'écologique auxquels il convient d'ajouter le transport des batteries jusqu'à l'usine concernée.

Le prix reste très élevé dont particulièrement en France.

Pour de nombreux pays d'Europe dont en France, le nombre de points de recharge en état opérationnel reste limité.

Plus la capacité des batteries augmentera et donc l'autonomie, plus il deviendra difficile d'effectuer des recharges à domicile (intensité disponible, temps...).

L'autonomie, sauf pour certains véhicules haut de gamme reste limitée, surtout en hiver (chauffage interne, éclairage...). D'une manière générale, par rapport à ce qui est annoncé par les constructeurs, il convient d'ôter de l'ordre de 50 km, voire un peu plus. Cependant, il est évident qu'entre un véhicule circulant dans une région à fort relief et le même roulant habituellement en plaine, le résultat final ne sera pas identique.

**Une ergonomie attrayante, pas de changement de vitesses et le tout sans guère de bruit. Photo. JMT 2020**



## **Avantages du véhicule léger électrique**

Le véhicule électrique, au moins en usage urbain et périurbain présente d'indéniables avantages dont l'absence de pollution aérienne locale comme une forte limitation du bruit.

Son confort est à souligner.

Grande facilité de conduite, y compris pour des personnes à mobilité réduite.

Très peu d'entretien mécanique, sinon pas du tout.

Au moins à ce jour, ce qui reste évidemment à vérifier dans l'avenir, son usage est peu onéreux (frais d'entretien, de consommation électrique, d'assurance...).

Une fiabilité certaine comme une longévité très intéressante.

Vraisemblablement dans l'avenir, des perfectionnements au niveau des batteries et de l'autonomie comme une baisse du prix d'achat.

Dans une certaine mesure, dès l'instant où la production d'énergie électrique nationale est suffisante, cela conduit à l'autonomie du pays considéré par rapport à l'importation de produits pétroliers, sous réserve du lieu de fabrication des batteries et pour le moment du lieu de l'extraction du lithium mais qui se confond avec la fabrication de dites batteries.

Quoi qu'il en soit, l'observation montre ainsi que les considérations écologistes méritent souvent d'être sérieusement tempérées car il ne faut certes pas tout mélanger mais bien poursuivre le raisonnement jusqu'au bout de la chaîne.

Dans le cas contraire il ne s'agit plus d'écologie mais d'autre chose dont par exemple des intérêts corporatistes, politiques, voire électoralistes, etc. Toutefois, quel que soit le schéma il ne faut pas oublier que, in fine, c'est le contribuable qui paie.

Particulièrement, observons qu'actuellement et pas qu'en France, le véhicule électrique doit d'abord son relatif succès aux aides financières d'Etat et des régions, aides financières que chacun paie à travers ses impôts, même s'il ne dispose pas d'un tel moyen de locomotion. On peut donc également s'interroger quant à un tel système économique mais dont l'existence apparaît en réalité largement autoalimentée par le contribuable/consommateur ce qui ressemble quelque peu au mouvement perpétuel appliqué à l'économie financière mais convenons qu'il s'agit d'un autre débat mais qui a son importance... Admettons que pour finir, il revient à chacun d'analyser la justification du véhicule à propulsion électrique suivant le besoin comme l'intérêt exprimés.

## **UN AUTRE TYPE DE CIVILISATION ?..**

Que l'ère du pétrole et de sa pollution généralisée de l'atmosphère de la planète s'achève ou non, il apparaît néanmoins que l'énergie électrique constitue une source d'avenir, naturellement sous réserve que sa production réponde à des critères à la fois de sûreté et d'environnement les plus stricts.

C'est ainsi et quoi que l'on en dise, l'énergie nucléaire actuellement produite par des réacteurs type REP participe déjà à limiter les effets nocifs issus de l'énorme consommation de combustibles type charbon et pétrole avec tous les inconvénients géostratégiques qui en découlent inévitablement puisque représentant une nécessité vitale pour les nations industrielles.

Dans ce contexte, l'éventuel avènement de réacteurs à fusion nucléaire et non à fission comme actuellement, conduirait à des rendements électriques finaux, soit à partir d'un système MHD (9), soit à partir d'un cycle eau-vapeur classique, nettement supérieurs à celui des centrales actuelles, type REP ou autres qui ne dépasse guère 33 %, sauf pour les RNR (10) mais qui sont très peu nombreux en activité.

Le véhicule électrique, quel qu'en soit le modèle y compris pour des engins lourds et des transports en commun dont des trains (12), prendrait ainsi toute sa justification.

Compte tenu du faible impact de leur consommation d'énergie électrique pour la recharge des batteries, cette voie nécessiterait dès aujourd'hui d'être mieux explorée qu'elle ne l'est dans un pays comme la France, justifiant à terme l'affaiblissement de la demande en carburant et en combustibles d'origine organique comme le pétrole et le charbon.

Alliée à une orientation écologique des cultures, il s'agit donc ici d'une autre forme de civilisation, certainement beaucoup plus agréable à vivre que ce qui fut développé et exploité jusqu'ici...

S'opposant aux tenants d'une société de type malthusien, cette évolution comme ci-dessus décrite, mérite assurément toute attention.

## BIBLIOGRAPHIE

- **LES MODIFICATIONS CLIMATIQUES EN QUESTION.**
- 2008 - Du même auteur, Jean-Marc TRUCHET. Autoédition LA PLUME DU TEMPS. Accès numérique uniquement, en cours.
- **ENERGIES RENOUVELABLES... VRAI PROGRES AOU AUTRE CHOSE ?.. Eolien-Photovoltaïque.** Jean-Marc TRUCHET. Autoédition LA PLUME DU TEMPS. Accès numérique uniquement, en cours.
- **HESPUL. SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES.** FABRICATION ET IMPACT ENVIRONNEMENTAL. Energies renouvelables et efficacité énergétique. 2009.
- SITES INTERNET RTE et EDF - Statistiques 2019.
- **MINISTERE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE ET SOLIDAIRE (France)** Commissariat général au développement durable - Observations et statistiques.
- **EOLIENNES : UN SCANDALE D'ETAT** - Alban d'Arguin.
- **EOLIEN, UNE CATASTROPHE SILENCIEUSE** - Jean-Louis Butré
- **POURQUOI L'EOLIEN EST UN DANGER POUR LA FRANCE** - Jean-Louis Butré
- **LES MIRAGES DE L'EOLIEN** - Grégoire Souchay
- DOCUMENTS DE FABRICANTS (éoliennes et solaire photovoltaïque).

## REFERENCES

- (1) Société Général Electricque (GE - USA). Documents techniques accessibles par Internet.
- (2) Caractéristiques retenues dans le présent document. Divers documents techniques de fabricants.
  - Rendement d'une turbine hydraulique de grande puissance  $\approx 0.90$
  - Rendement d'un alternateur de grande puissance :  $\approx 0.95$
  - Rendement d'une éolienne de grande puissance :  $\approx 0.80$
- (3) Source : Electricité De France (EDF). Documents internes à la société.
- (4) C'est ce que l'on appelle le rendement de Carnot ou le cycle thermodynamique de Carnot. Consulter les cours de thermodynamique.  
Nicolas Léonard Sadi Carnot, ingénieur physicien français, père de la thermodynamique. Né à Paris le 1<sup>er</sup> juin 1796, décédé à Ivry sur Seine le 24 août 1832.
- (5) EDF- RTE (Réseau de Transport d'Electricité). Statistiques 2019 via Internet.

- (6) **ENERGIES RENOUVELABLES... VRAI PROGRES OU AUTRE CHOSE ?.. Eolien-Photovoltaïque.** Jean-Marc TRUCHET. Autoédition LA PLUME DU TEMPS. A paraître en 2020.
- (7) Etude Wang, Sung : A critical review and analysis on the recycling of spent lithium-ion batteries. Académie chinoise des sciences. Via Internet.
- (8) INERIS - Réf. DRG-14-141681-06454A. G. Marlair, D. Schach-Tigreat, M.A Soenen. DECHETS DE BATTERIES AU LITHIUM. 2014.
- (9)  $\text{LiCoO}_2$  = Lithium Cobalt Oxygène -  $\text{LiNiO}_2$  = Lithium Nickel Oxygène -  $\text{LiFePO}_4$  = Lithium Fer Nickel Potassium - NCM = Lithium Nickel Cobalt Manganese. Documents généraux de cours de chimie.
- (10) Magnéto Hydro Dynamique ce qui, dans le principe, consiste à faire transiter une source de chaleur à haute température à travers un flux magnétique.
- (11) Réacteur à Neutrons Rapide = Réacteur surgénérateur.
- (12) Au début du XX<sup>e</sup> siècle, des tramways électriques à batteries au plomb furent déjà exploités et 1982, dans le parc industriel d'Aubervilliers, près de Paris, il existait encore des locotracteurs de ce type circulant sur un réseau privé.

