



Synthèse de « *Sauvons Le Climat* » sur la mobilité propre

Claude JEANDRON - Décembre 2019

En septembre 2018, « *Sauvons le Climat* » avait consacré son Université d'Été à l'examen des solutions de mobilité propre de nature à réduire la contribution du secteur transport à l'émission de gaz à effet de serre (GES), tout particulièrement la mobilité électrique. Les travaux et échanges ont été poursuivis sur quelques aspects et « *Sauvons le climat* » en tire aujourd'hui une synthèse et une série de propositions. Nous n'avons pas encore pu traiter tout le champ du transport, en particulier celui de l'organisation du transport des marchandises¹, ni celui des mobilités alternatives ou du changement des comportements de la société en matière de mobilité.

Nous avons synthétisé les enseignements tirés de ces travaux en une série de constats ou de réponses à des questions que beaucoup de gens se posent. Nous en avons tiré une série de dix propositions qui font l'objet d'un document séparé.

Les transports sont le premier contributeur des émissions de GES et leur part ne cesse d'augmenter

Les transports (personnes et marchandises) consomment en France 90 % des produits pétroliers raffinés et émettent 132 MtCO₂eq en 2018, soit 30,5 % des émissions totales françaises (hors puits) : c'est le secteur le plus émetteur². Ces émissions totales peinent à diminuer (voir fig1) car les progrès enregistrés sur les performances des motorisations (nous y reviendrons) compensent difficilement la hausse continue du trafic, toutes catégories confondues, ainsi que l'engouement pour les SUV. Ceci n'est pas conforme aux prévisions de baisse figurant dans la « stratégie nationale bas carbone » (voir fig2). Signalons aussi que les transports émettent aussi des polluants très nocifs comme les NO_x et les particules fines (respectivement les deux tiers et 20% des émissions françaises)³.

Ce secteur devrait donc concentrer la part la plus importante des efforts des politiques publiques en matière de climat.

Figure 1 : source : CITEPA 2019

¹ Nous n'avons pas encore traité la question des modes alternatifs à la route comme le ferroutage.

² L'habitat/tertiaire est le deuxième avec 82,8 MtCO₂eq. Les statistiques citées ici ne prennent pas en compte l'absorption du CO₂ par les « puits » naturels que constituent les forêts et les cultures. D'autres les prennent en compte, ce qui peut modifier légèrement les chiffres.

³ Source : CITEPA Voir : <https://www.citepa.org/fr/politique-ges/> . La baisse des années 2008 et 2009 est la conséquence de la diminution du trafic imputable à la crise économique.

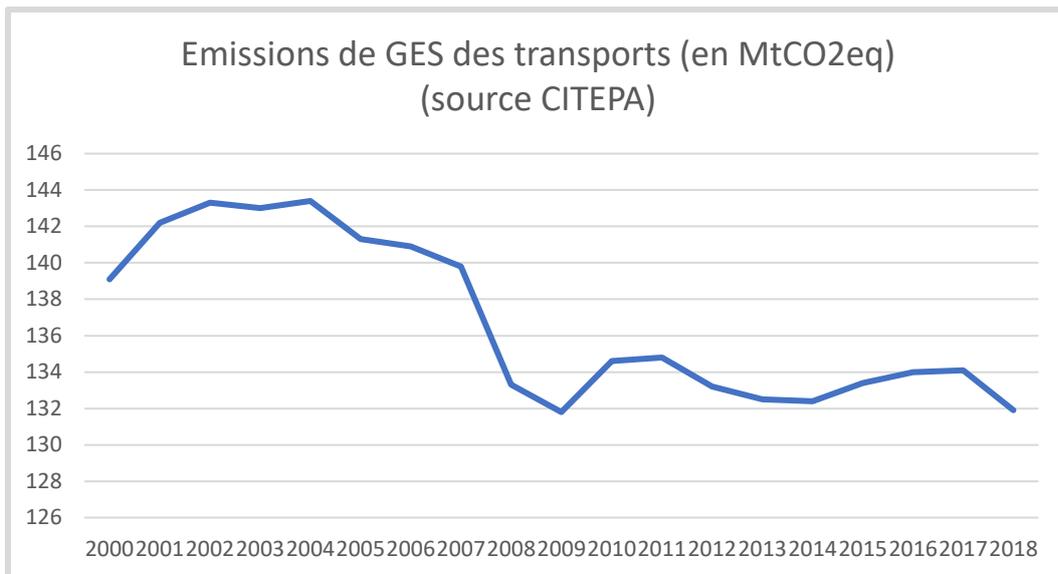
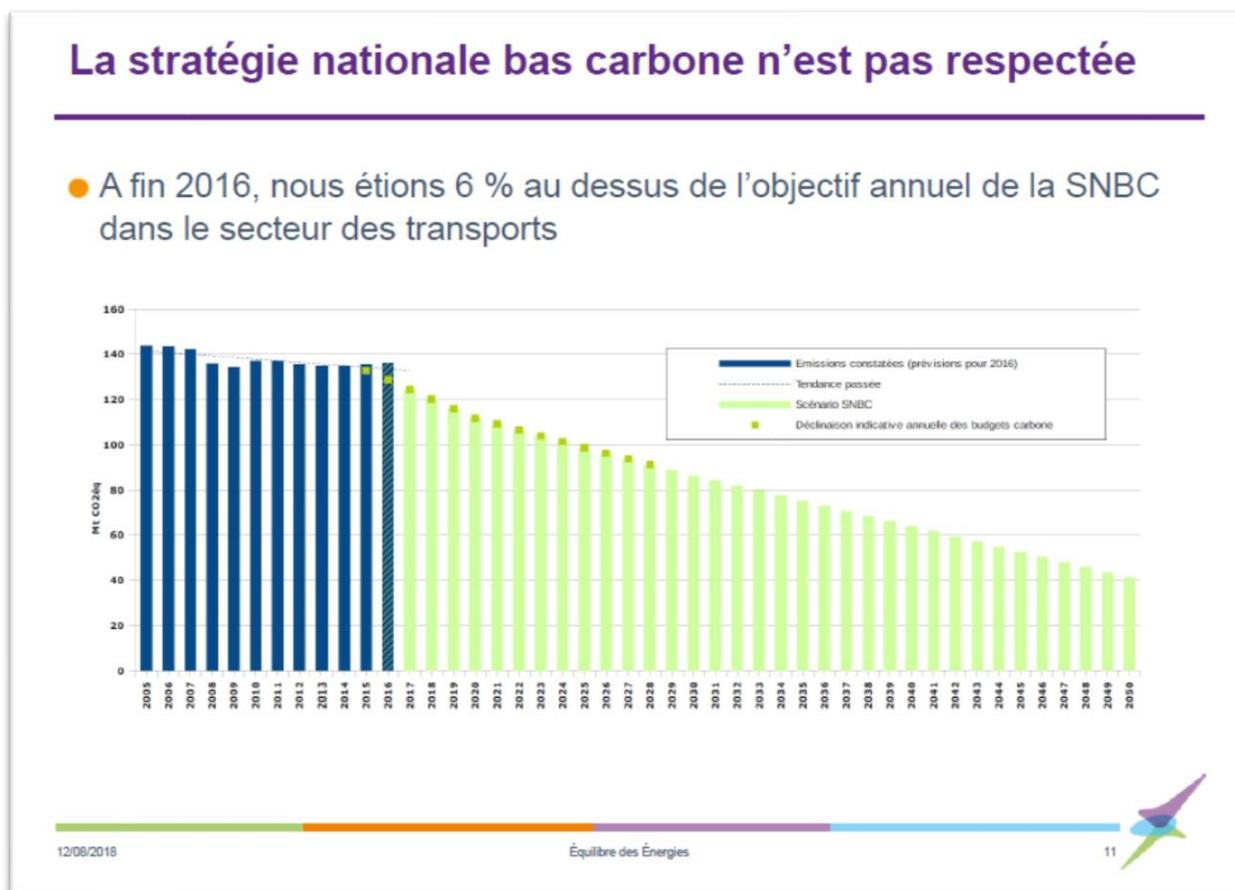


Figure 2 : source : Équilibre des énergies 2018



Les normes sur les performances des moteurs se durcissent pourtant mais ...

L'Union Européenne s'est emparée de la réglementation sur les motorisations, d'abord vis-à-vis des pollutions « classiques » (Nox, particules, CO, imbrûlés...) depuis 1990 pour les poids-lourds (normes

euro 0 à VI) et depuis 1993 pour les voitures particulières (normes euro 1 à 6d). Puis elle a institué pour chaque constructeur, à partir de 2009, des limites d'émission de CO₂, limites applicables à la moyenne des véhicules mis sur le marché. Cette limite est de 95 gCO₂/km en 2020⁴. C'est cette limite qui pousse chaque constructeur à réduire fortement les consommations des moteurs thermiques et à proposer une part croissante de modèles électriques et hybrides.

L'atteinte de cette limite est plus difficile depuis la mise en vigueur cette année du nouveau mode de calcul (WLTP-RDE) plus représentatif de la réalité que le précédent (NEDC). Pourtant, aucun de ces modes ne tient compte du contenu en CO₂ de l'électricité utilisée pour les recharges. On peut le comprendre dans la mesure où les véhicules sont homologués selon une norme internationale et que chaque véhicule peut utiliser différentes sources d'électricité (pays d'origine et même source de production) dont les contenus en CO₂ peuvent être très différents.

La limite européenne n'est donc pas représentative de la réduction réelle qui serait mesurée sur « le parc moyen de véhicules mis sur le marché ».

Les véhicules électriques émettent-ils moins de CO₂ que les véhicules à moteur thermique ?

La question est souvent posée lorsqu'on cherche à faire un bilan complet (« analyse de cycle de vie ») incluant la fabrication de la batterie et celle du véhicule, son utilisation, ainsi que son recyclage en fin de vie. L'étude qui fait référence est celle de l'ICCT⁵ qui compare en situation réelle des véhicules de caractéristiques équivalentes, utilisées dans différents pays d'Europe où l'électricité est plus ou moins carbonée. Pour les données communes (ex : impact de la fabrication des batteries), l'ICCT fait la synthèse de 11 études internationales⁶.

Sur la durée du cycle de vie (voir fig 3), un véhicule électrique roulant en France émet seulement 40% de ce qu'émet le véhicule thermique le plus performant⁷. Cette performance est due à la décarbonation importante de l'électricité produite en France⁸ ; elle est équivalente en Suède ou Norvège. En Allemagne, où l'électricité est fortement carbonée, l'émission est équivalente à celle de la voiture thermique la plus performante : le changement de motorisation n'y apporte globalement pas de gain significatif !

Figure 3 : Emissions comparées de CO₂ en analyse de cycle de vie de véhicules électriques et thermiques (source ICCT : International Council on Clean Transportation Fév 2018)

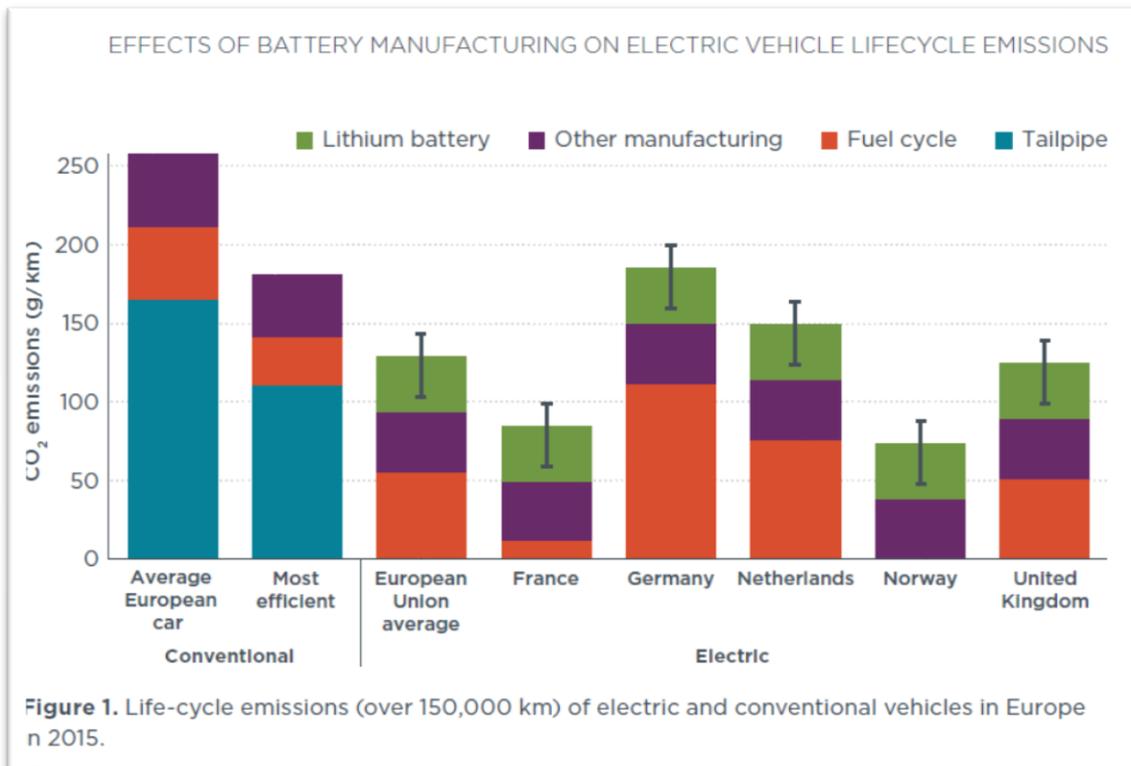
⁴ En complément la France a institué un système de bonus-malus pour favoriser la vente de véhicules plus propres. En 2019 le malus commence à 117gCO₂/km

⁵ Voir : https://theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf

⁶ La fin de vie n'est pas incluse dans l'étude par manque de données suffisantes sur l'impact du recyclage des batteries. Les émissions générées par la fabrication des batteries paraissent élevées à certains experts ; il est exact que les progrès récents notés dans la durée de vie de celles-ci ont tendance à abaisser ce taux d'émission par km parcouru

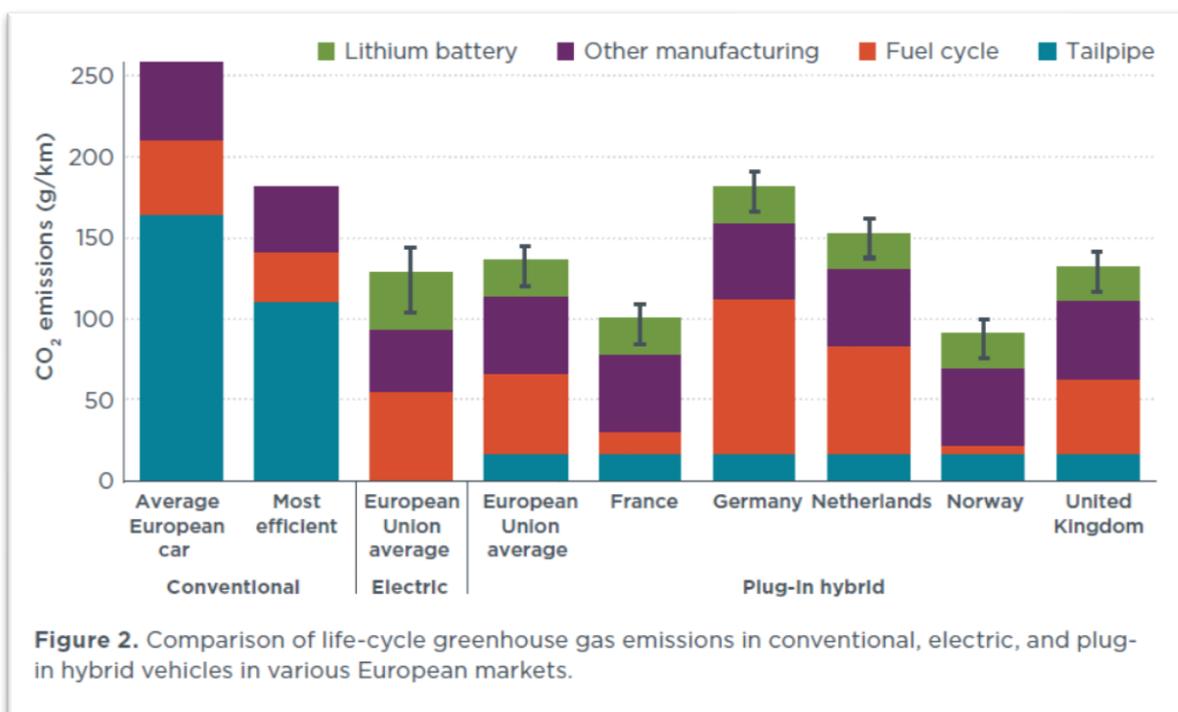
⁷ Peugeot 208 1.6 blueHDI

⁸ Due à la part prépondérante de nucléaire et de renouvelables, dont l'hydraulique, dans le mix électrique. Voir les différences notables de contenu carbone de l'électricité en consultant le site electricitymap.org



Le bilan pour un véhicule hybride rechargeable (voir fig 4) est un tout petit peu moins bon (50 % au lieu de 40 %), à condition de supposer que les utilisations urbaines sont totalement électriques (ce qui impose des recharges quasi journalières).

Figure 4 : même comparaison intégrant les véhicules hybrides rechargeables (source ICCT Fév 2018)



La mobilité électrique est donc une voie particulièrement efficace en France pour la réduction des émissions de GES. Mais pour les autres pays la décarbonation de l'électricité est indispensable pour que la contribution de la mobilité électrique à la lutte contre l'effet de serre soit significative. Certains utilisateurs ou groupes d'utilisateurs (comme des entreprises par exemple) affirment utiliser une « électricité verte »⁹ voire renouvelable : ceci ne peut être considéré comme vrai que si l'électricité est fournie par une installation dédiée, spécialement construite pour l'occasion. Dans le cas contraire, il ne s'agit que de « garantie d'origine » qui ne réalise aucune amélioration du bilan puisque la production renouvelable n'est pas augmentée pour l'occasion¹⁰. Le seul véritable critère d'efficacité vis-à-vis du climat est le contenu carbone du mix électrique utilisé.

On peut noter ici que les véhicules électriques présentent d'autres avantages environnementaux, comme la réduction des autres polluants (NO_x, particules,..), à la fois par la non utilisation de combustibles fossiles et par le freinage par récupération d'énergie qui réduit fortement l'usure des plaquettes de freins mécaniques. Autre avantage en zone urbaine : la réduction du bruit.

Faut-il encore attendre pour acheter un véhicule électrique ? Des progrès importants peuvent-ils être espérés à court terme ?

Le développement récent des véhicules électriques est principalement dû aux progrès enregistrés sur les batteries Li-ion. Tout d'abord en termes de densité énergétique : on est passé en gros en 20 ans de 150 à 250 Wh/kg, ce qui permet d'augmenter la capacité à poids constant : important pour une voiture ! Mais les espoirs d'un nouveau progrès équivalent sont réduits, au moins à technologie de base inchangée. Ensuite en termes de prix : ils ont été divisés par cinq en huit ans¹¹ ! Et avec le gigantisme et l'automatisation des usines de fabrication (comme la « gigafactory » Panasonic/Tesla en Californie), des baisses sont encore attendues. Mais il faut compter avec une augmentation exponentielle vertigineuse de la demande (**fig.5**) donc aussi de la production et des matières premières. Verra-t-on rapidement de telles usines en Europe ?... Ce serait bien que l'Asie et les Etats-Unis n'aient pas le monopole de la production de batteries... Les premiers projets européens ont le feu vert de la Commission Européenne. Actuellement, celle-ci et des États membres de l'UE se concertent sur deux projets d'envergure concernant la production de batteries. Il est prévu de les réaliser en tant que « projets importants d'intérêt européen commun » (PIIEC). Et la fabrication en France de batteries améliorerait encore le bilan environnemental de la mobilité électrique.

On peut donc espérer encore une baisse des prix des batteries mais pas de réelle rupture dans les performances, au moins dans la décennie qui vient tellement la technologie Li-ion est la plus avancée.

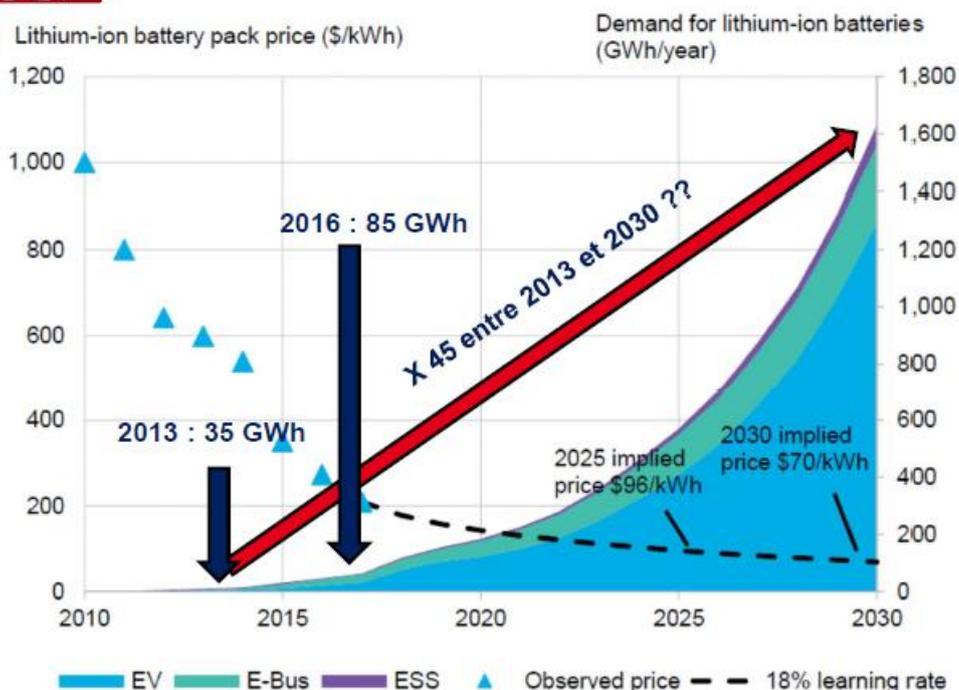
Figure 5 : source CEA

⁹ En France l'électricité livrée par le réseau général est verte au sens de décarbonée !

¹⁰ Si le fournisseur d'électricité se contente de garantir à un de ses clients l'origine renouvelable de l'électricité achetée sans investir plus dans les moyens correspondants (ce qui est généralement le cas), les autres clients achètent sans le savoir une électricité moins renouvelable, le bilan global restant le même !!

¹¹ On est passé sous la barre des 200\$/kWh en 2018 ; on espère 70\$/kWh en 2030. Mais alors qu'on a produit près de 200 GWh de capacité en 2018, on vise plus de 1500 en 2030, c'est-à-dire la capacité de production de 40 usines comme la gigafactory de Panasonic/Tesla en Californie !...

LE MARCHÉ DÉCOLLE....DANS QUELLE MESURE ?



Source: Bloomberg New Energy Finance. Note: ESS is stationary energy storage applications.

114

L'achat d'un véhicule électrique présente un intérêt économique

On peut certes regretter que le prix à l'achat d'un véhicule électrique soit sensiblement plus élevé que celui d'un véhicule à moteur thermique. Ceci est dû au coût de la batterie. La prime instituée par l'Etat (le « bonus écologique ») compense en partie l'écart. L'avantage économique apparaît nettement à l'utilisation grâce au coût plus faible de l'énergie¹² et de la maintenance du véhicule électrique¹³. Le bilan complet montre un avantage économique certain à partir d'une possession d'au moins 4 ans et un kilométrage annuel d'au moins 7500 kms¹⁴.

On peut regretter également que l'électrification des véhicules commence par les véhicules haut de gamme (Tesla, Audi e-tron,...), hormis quelques modèles de type « petite citadine » (Renault Zoé...). Mais du fait du caractère très contraignant de la réglementation européenne, on peut penser que la gamme va rapidement s'étendre vers les véhicules moyens et les petits véhicules urbains, ainsi que vers les utilitaires. C'est ce qu'on commence à observer en 2019.

Le bilan économique d'un véhicule hybride rechargeable (PHEV) est plus complexe car l'offre des constructeurs est encore peu étendue et le coût à l'usage dépend fortement du type d'utilisation. Il ne

¹² Pour un véhicule urbain de type Zoé (équivalent thermique Twingo) les 100 kms reviennent à 2,5€ (équivalent essence 7,5€)

¹³ Moindre coût de la révision annuelle, pas de vidange moteur, pas d'allumage, moins de pièces d'usure, les plaquettes de freins s'usant très peu

¹⁴ Le site « automobile-propre.com » met à disposition une calculatrice qui permet de faire son bilan personnel en fonction du véhicule choisi et de son utilisation : <https://www.automobile-propre.com/dossiers/calculatrice-rentabilite-voiture-electrique/>

peut être positif que si tous les petits déplacements journaliers sont faits en mode totalement électrique, ce qui conduit à recharger fréquemment ces véhicules. La possession d'une solution de recharge à domicile devient donc encore plus indispensable (voir les difficultés plus bas). Là aussi l'élargissement des gammes sera intéressant à observer.

La consommation, pour la fabrication des batteries, de matières premières rares rend-elle la mobilité électrique insoutenable ? Les batteries sont-elles recyclables ?

La fabrication des batteries de technologie actuelle Li-ion nécessite des quantités importantes de métaux constitutifs de la cathode dont les ressources sont limitées et concentrées dans quelques pays, en particulier le cobalt et le lithium. Ceci constitue un problème géopolitique (les ressources minières sont dans les mains de très peu de pays, en premier la Chine¹⁵ mais aussi Chili-Bolivie), éthique et social (car les conditions d'exploitation sont déplorables dans certains cas) et stratégique car la ressource évaluée à ce jour pourrait limiter le développement des véhicules électriques et hybrides (sauf rupture technologique que l'on ne voit pas survenir à court terme).

Tout dépendra d'abord du rythme réel de croissance des ventes de ces véhicules (donc aussi de la volonté politique des pays de mener la transition énergétique) et du type de véhicule en développement. La recherche effrénée de la plus grande autonomie des batteries des VE pour répondre à l'attente des clients (60 à 100 kWh) conduit à une surconsommation de ressources métalliques rares, non nécessaire pour la plupart des déplacements¹⁶. À l'inverse, les véhicules hybrides rechargeables (VHR ou PHEV en anglais) ont une batterie plus modeste (en général 10 à 13 kWh) qui leur donne une autonomie suffisante pour les trajets quotidiens (50 kms environ) ; avec le complément thermique (alimenté en biocarburant), il peut représenter une solution plus soutenable (voir fig6).

Dans tous les cas, il sera important (et même indispensable si le développement des VE et VHR est important) de bien maîtriser le recyclage des batteries en fin de vie, afin de récupérer les matériaux. La filière existe déjà pour les batteries des générations précédentes (plomb, nickel-cadmium). Elle ne s'est pas encore développée pour les batteries de traction au Li-ion par manque de marché. La réglementation impose aux fabricants de récupérer et recycler leurs batteries. Les techniques sont classiques et ne présentent pas de difficulté spécifique¹⁷. Outre l'intérêt pour l'environnement (ne pas laisser ces métaux polluer le sous-sol et diminuer l'impact environnemental de la production de batteries), ce recyclage a donc un intérêt stratégique et économique. Il est indispensable de maîtriser la filière.

Figure 6 : source CEA

¹⁵ La Chine a le monopole du raffinage du cobalt extrait des mines de RDC où sont les plus grosses réserves

¹⁶ Et à un surcroît de poids non négligeable non plus

¹⁷ Après broyage, les matériaux sont séparés par hydrométallurgie ou pyrométallurgie. Lire : <https://www.automobile-propre.com/dossiers/recyclages-batteries-voitures-electriques/>

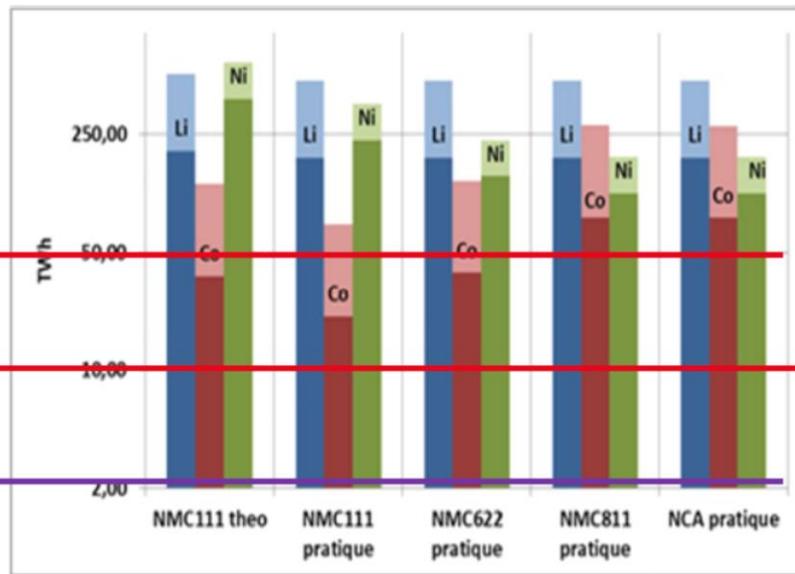


RESERVES/RESSOURCES MATÉRIAUX

parc VP mondial
complètement électrifié
VE (50 kWh embarqués
par véhicule) : 50 TWh
(ordre de grandeur). (1
MM véhicules)

parc VP mondial PHEV (10
kWh embarqués par
véhicule) : 10 TWh (ordre
de grandeur). (1 MM
véhicules)

parc VP européen
complètement électrifié PHEV
(10 kWh embarqués par
véhicule) : 2 TWh (ordre de
grandeur). (200 M véhicules)



AU BILAN:

- Mission impossible VE pur 50 kWh sauf à trouver substituts au Cobalt et au Nickel
- Compliqué mais jouable avec PHEV 10 kWh mais recyclage efficace indispensable

| 40

La recharge d'un parc important de véhicules électriques ne pose pas de problème de quantité d'énergie à produire, mais en pose un en puissance instantanée à réunir et de réseau pour alimenter les bornes de recharge rapide

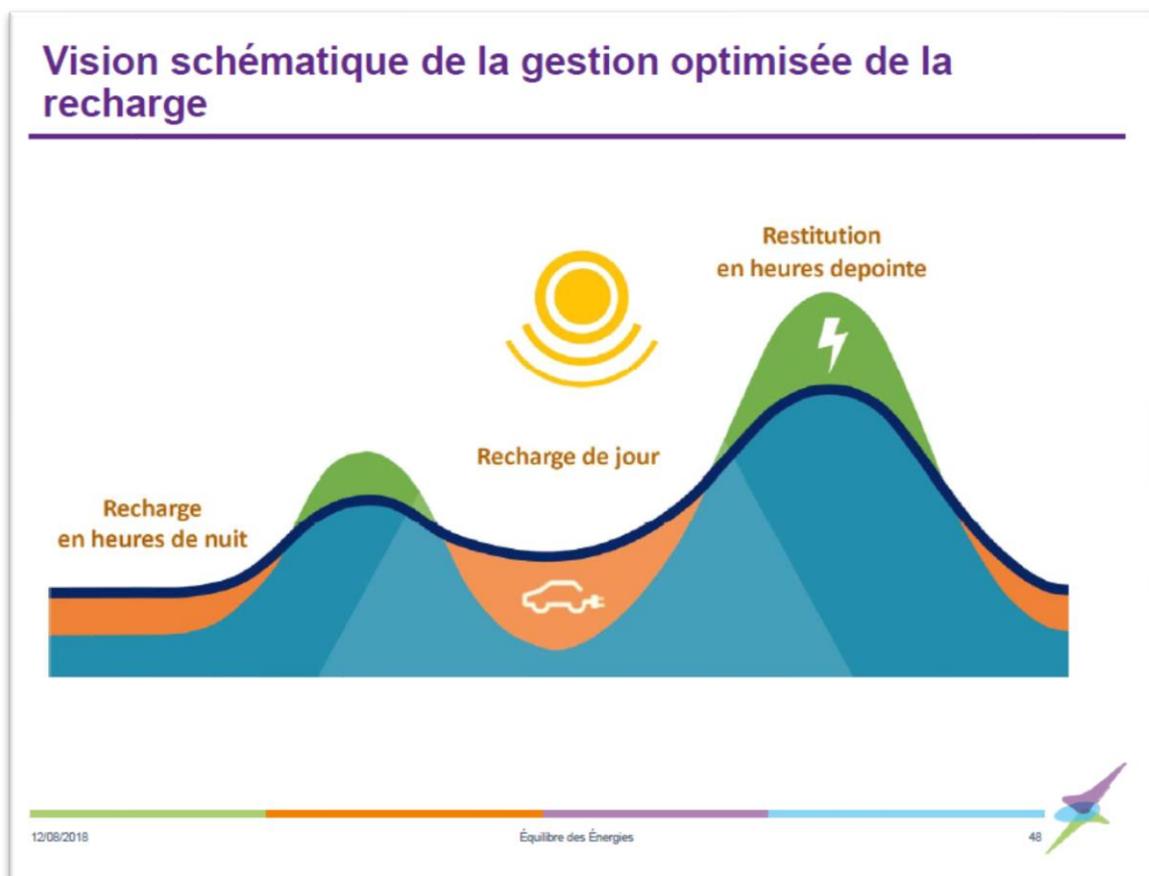
Le parc français de VE et VHR vient de passer en octobre 2019 la barre de 200 000 véhicules. Il connaît une croissance de 50 % par an. A ce rythme nous atteindrions le chiffre de 5 millions de véhicules électriques en circulation en moins de 8 ans. Chacun consommant en moyenne 2500 kWh par an, leur consommation totale serait donc voisine de 12,5 TWh, soit 2,5 % de la consommation totale française ou la production annuelle d'un réacteur nucléaire et demi. L'énergie consommée globalement n'est donc pas un problème. Ceci est dû à la faible consommation unitaire de chaque véhicule grâce à sa bonne efficacité énergétique, son bon rendement.

Mais si on imagine qu'un utilisateur sur trois recharge sa voiture en soirée au retour à son domicile, il faut alors pendant trois à quatre heures non plus **un** mais au moins **cinq** réacteurs nucléaires en service pour les alimenter¹⁸. Il est donc indispensable d'étaler dans le temps la recharge des véhicules du parc, en particulier pendant les heures creuses de consommation d'électricité. La mise en œuvre de bornes intelligentes est donc indispensable assez rapidement. Elles permettront, par un signal tarifaire incitatif par exemple, des programmations de recharges en heures creuses avec un étalement adapté.

¹⁸ On suppose que chaque voiture consomme une quinzaine de kWh par jour, ce qui permet une recharge tous les trois jours pour un VE équipé d'une batterie de 50 kWh

De telles bornes, si elles deviennent bidirectionnelles, peuvent même offrir un service important : celui de permettre un soutien au réseau en cas d'insuffisance de production des énergies renouvelables intermittentes pendant les périodes de pointe de consommation. Ayons en effet bien conscience que 5 millions de batteries de capacité moyenne 50 kWh représentent un stockage total de 250 GWh. Si seulement un cinquième de ces batteries accepte de fournir ce service (moyennant rétribution), on dispose alors d'un stockage de 50 GWh permettant un soutien au réseau de 20 GW pendant 2h30. C'est bien assez pour passer la pointe de consommation du soir en hiver. On peut alors imaginer un schéma optimisé de gestion d'un parc de véhicules électriques pendant les nuits (où les autres consommations sont moindres) et les pointes de production d'origine solaire (voir figure 7). Ce modèle ne peut fonctionner que s'il attire un grand nombre de contributeurs, ce qui impose de trouver un modèle économique gagnant-gagnant et d'adapter les voitures et le réseau de recharge en conséquence. Devant cette difficulté certains imaginent donner plutôt une deuxième vie aux batteries qui seraient alors reprises par des « opérateurs de stockage » sous forme de batteries fixes. Mais il faut d'abord atteindre un marché suffisant pour de telles batteries...

Figure 7 : schéma de gestion optimisée d'un parc de véhicules électriques¹⁹ : les véhicules sont rechargés pendant les nuits (périodes de moindre consommation) où lorsque les énergies renouvelables sur-produisent (ex le solaire en milieu de journée) ; ils soutiennent le réseau pendant les pointes de consommation



¹⁹ Temps en abscisse, consommation électrique nationale en ordonnée

Le déploiement très rapide d'un réseau dense de bornes de recharge faciles d'utilisation conditionne la réussite du développement des VE/VHR

L'expérience des premières années de mobilité électrique confirme une quasi évidence : l'utilisateur a besoin d'une borne de recharge à domicile ou à proximité immédiate de son domicile. Sinon, soit il reporte l'acte d'achat, soit (s'il dispose d'un VHR) il ne recharge pas son véhicule à la fréquence nécessaire pour en optimiser l'usage. S'il est propriétaire d'une maison individuelle, la situation est la plus facile ; l'installation d'une borne de charge lente (3,7 ou 7 kW) ne présente pas de difficulté et est en général soutenue financièrement. Pour l'habitat collectif, malgré les dispositions réglementaires prises (le « droit à la prise »²⁰), de nombreux acheteurs potentiels reculent devant la difficulté et le coût de l'installation de bornes de recharge ou devant la distance qui les sépare de la borne publique la plus proche. Il est donc indispensable :

- Que les syndicats disposent d'un soutien réglementaire et technique pour répondre aux attentes des copropriétaires
- Que les communes soient incitées à densifier rapidement les réseaux de recharge en zone fortement urbanisée
- Que dans la construction neuve, les bornes de recharge soient installées d'origine (respect du décret du 25/7/2011).

Outre la possibilité de recharger facilement à son domicile ou à proximité immédiate pour ses usages quotidiens, l'utilisateur de VE a besoin d'un réseau de chargeurs rapides (22 kW et au-delà) pour ses longs déplacements. Ce réseau est en cours de déploiement mais on n'est pas encore à la densité optimale et ce réseau (autoroutier notamment) ne suffira pas lorsque le parc sera constitué de plusieurs millions de véhicules. On imagine mal la puissance qu'il faudra rendre disponible à chaque station de recharge, si on dimensionne celles-ci pour les jours de grands départs²¹ ! La course à la plus grande autonomie et à la recharge très rapide rencontrera donc de grandes difficultés à terme et il conviendra de se tourner vers des solutions complémentaires.

Comme on l'a vu, les véhicules hybrides rechargeables ont toute leur pertinence pour les grands trajets occasionnels. D'autres solutions mériteraient d'être testées à plus grande échelle comme le prolongateur d'autonomie²².

Les utilisateurs d'aujourd'hui rencontrent une autre difficulté : la plupart des bornes nécessitent l'utilisation d'une carte d'abonnement ou d'une application sur smartphone. Malgré l'interopérabilité de certains réseaux de charge, il est encore trop fréquent de ne pas pouvoir utiliser une borne pourtant disponible²³. Dans certaines régions, les bornes sont installées d'origine avec possibilité de paiement par carte contact, système qui devrait être généralisé rapidement.

²⁰ Voir http://www.aveve-france.org/Site/Article/?article_id=5887&from_espace_adherent=0

²¹ Si l'on imagine recharger un VE de batterie 80 kWh en 10 minutes (certains voudraient 5 minutes !) il faut une borne de puissance 500 kW pour chaque voiture. Si vous voulez pouvoir recharger 10 véhicules en parallèle, il faut alors une alimentation totale de 5 MW !! Un groupe électrogène de 2,2 MW se transporte sur un semi-remorque !!!

²² Voir :

https://www.sauvonsleclimat.org/images/articles/pdf_files/ue_2018/UE2018_Fabrice_VIOT_prolongateur_autonomie.pdf

²³ Sans compter les désagréments liés aux emplacements parfois inadaptés de ces bornes, ou à la grande diversité de modes d'accès à la recharge et de modes de facturation

Enfin la circulation transfrontalière des VE devrait être mieux prise en compte car la standardisation tardive des prises et socles (côté infrastructure et véhicules) ainsi que l'absence de protocole standard de communication entre le VE et la borne (e-roaming) limitent celle-ci.

Des solutions spécifiques pour les poids lourds

Le transport de marchandises par véhicules routiers lourds représente le quart des émissions dues au transport alors que ce mode ne représente que le vingtième de la circulation²⁴. Mais il est difficile d'appliquer aux camions les mêmes solutions techniques qu'aux voitures. Leur besoin d'autonomie et de puissance rend la propulsion électrique sur batterie inadaptée pour les longues distances (même si certains comme Elon Musk développent de tels concepts...). Ils ont besoin d'un réseau spécifique de recharge à plus haute puissance que les voitures, réseau qui n'existe pas à ce jour, sauf pour les bus électriques en zone urbaine ou les flottes captives. Certains constructeurs travaillent sur des infrastructures de recharge particulières pour les poids lourds telles que la recharge par caténaire ou par rail sur autoroute (le camion pouvant alors être équipé d'une motorisation hybride)²⁵. D'autres solutions non électriques sont également testées (voir fig8 et texte plus bas). L'établissement d'une stratégie européenne est indispensable pour que les constructeurs et responsables d'infrastructures développent à grande échelle les solutions les plus adaptées.

Figure 8 : expérimentations pour poids lourds

Le transport de marchandises – Autres solutions

- Les solutions électriques
 - 

Camion Tesla à 800 km d'autonomie
 - 

Concept suédois d'e-Road
- Les solutions hybrides
 - 

Concept d'autoroute électrique - Scania
 - Le camion à hydrogène
 - 

Expérimentation Toyota à Los Angeles

12/09/2018 Équilibre des Énergies 57

²⁴ Voir <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2019-04/datalab-50-chiffres-clefs-du-transport-avril2019.pdf>

²⁵ On pourra lire également avec intérêt l'état des lieux dressé par l'Observatoire de l'Électricité https://observatoire-electricite.fr/IMG/pdf/note_de_conjoncture_bus_electrique.pdf

Le véhicule à hydrogène est-il la solution ?

Le véhicule à hydrogène est un véhicule électrique : l'électricité est produite par une pile à combustible embarquée, elle-même utilisant de l'hydrogène pour fonctionner. Son avantage est alors triple : il n'émet pas de CO₂ à l'utilisation, il ne pollue pas et ne fait pas de bruit comme le VE, il se ravitaille rapidement et peut avoir une bonne autonomie. Mais il présente plusieurs inconvénients :

- Le mode actuel principal de production de l'hydrogène est le vaporeformage d'hydrocarbures, procédé fortement émetteur de CO₂²⁶ qui fait perdre le premier avantage cité. L'autre mode de production est l'électrolyse de l'eau, procédé propre mais qui n'a de sens que si l'électricité est décarbonée (par exemple les surplus de production des énergies intermittentes : l'éolien et le solaire). Le rendement de cette chaîne de production est faible²⁷ et le prix de revient de l'hydrogène est élevé²⁸. Il est alors plus avantageux d'utiliser directement l'électricité dans un véhicule électrique à batterie.
- L'hydrogène doit être comprimé à très forte pression (350 à 700 bars) pour pouvoir être transporté en donnant une autonomie suffisante. Etant très explosif (plus que le méthane), sa manipulation nécessite des précautions extrêmes. Pour être utilisé à grande échelle, il devrait disposer d'un réseau de distribution très coûteux à installer.

Les défis à relever sont donc importants et on imagine plus aujourd'hui une utilisation en réseaux captifs de véhicules se ravitaillant en points de nombre réduit (flottes de véhicules d'entreprise, flotte d'autobus ou de poids lourds) ou de trains. Le choix actuel de développer plutôt la mobilité électrique avec batteries est justifié, en particulier en France qui dispose d'électricité décarbonée²⁹. L'Allemagne, qui a une électricité fortement carbonée et des renouvelables intermittentes avec des périodes de surproduction, paraît s'intéresser plus à l'hydrogène, mais avec un impact économique très négatif.

Et les véhicules à biogaz ?..

Il faut d'abord noter que les véhicules à « gaz naturel pour véhicules » (GNV), qui se développent surtout pour le transport de fret et de passagers, présentent des performances intéressantes vis-à-vis des pollutions classiques : selon les modes d'utilisation ils réduisent les émissions de NO_x de 40 à 70 %, et de particules fines jusqu'à 90 %³⁰. Mais ils ne réduisent que très peu les émissions de CO₂ : moins de 10 %, voire pas du tout lors des trajets sur autoroute. Seul le BioGNV peut constituer une solution à terme puisque les émissions de CO₂ au pot d'échappement compensent le CO₂ absorbé par la plante au début de la chaîne de transformation. Mais la solution actuelle de valorisation du biogaz (par injection dans le réseau de gaz³¹) ne peut pas convenir puisque la proportion de ce « bon » gaz restera trop faible pour longtemps (10 % en 2030). Pour éviter que ce biogaz soit une façon détournée de promouvoir le gaz naturel, il devrait être utilisé dans des stations dédiées, par exemple par des flottes captives (usages industriels, urbains,...).

²⁶ 10 tonnes de CO₂ sont émises pour fabriquer 1 tonne d'hydrogène

²⁷ 70 % pour l'électrolyse et 50 % pour la PAC, soit 35 % au total

²⁸ 3 fois plus cher que le carburant liquide actuel (par km parcouru)

²⁹ On pourra lire le rapport de France Stratégie sur le sujet : <https://www.strategie.gouv.fr/publications/y-t-une-place-lhydrogene-transition-energetique>

³⁰ Source ADEME

³¹ Quand ce n'est pas pour produire de l'électricité

Et les véhicules à biocarburants liquides?

L'intérêt des biocarburants liquides est leur densité énergétique élevée. Ils ne nécessitent pas de développement de nouveaux moteurs et permettent d'utiliser les infrastructures de stockage, de transport et de distribution existantes.

Pour que les cultures vivrières ne pâtissent pas de l'usage des sols pour les agrocarburants (biocarburants de première génération, éthanol 1G et bio-diesel), leur production est actuellement limitée et leur incorporation dans l'essence ou dans le gazole est plafonnée à 7,5 % en énergie en France.

Les biocarburants de deuxième génération, tout comme le biogaz, ont un potentiel de production plus élevé, mais se heurtent à un certain nombre de difficultés :

- La ressource en biomasse est limitée. La ressource bois encore disponible est actuellement fléchée vers le chauffage. La conversion d'environ 5 Mha (2 Mha dédiés aux biocarburants 1G et 3 Mha de friches ou prairies) serait nécessaire pour produire une dizaine de Mtep de biomasse qui pourraient contribuer significativement aux besoins en carburants en France,
- Les technologies de conversion (gazéification, éthanol 2G) ne sont pas industrielles,
- Compte tenu de la complexité des procédés, la production devra être centralisée, ce qui nécessitera le transport de la biomasse vers les centres de traitement,
- Le rendement énergétique de conversion en carburant est faible pour les procédés n'utilisant que la biomasse (de l'ordre de 25 à 30 %). Ce rendement pourrait être significativement augmenté (40 à 50 %) en ajoutant électricité et/ou hydrogène dans le procédé. Mais il resterait toutefois inférieur au rendement obtenu en utilisant directement l'électricité dans les véhicules, quand les technologies seront prêtes.

Les biocarburants liquides pourraient constituer une solution alternative pour les avions et certains engins lourds.

Les solutions au problème climatique ne seront pas que techniques et industrielles

Lors des travaux de l'Université d'Été 2018, Sauvons le climat s'est intéressé en priorité aux solutions techniques qui pourraient être de nature à réduire les émissions de gaz à effet de serre en sortant de l'impasse fossile dans laquelle nous nous trouvons aujourd'hui. On constate que des pistes sérieuses existent mais elles sont difficiles à mettre en œuvre et elles ne sont pas sans inconvénients. Il n'y a pas de solution miracle ! Et si l'humanité, tout comme la population française à une moindre échelle, continue à assurer ses transports, de personnes comme de marchandise, sur les mêmes bases qu'aujourd'hui, elle se trouvera rapidement face à un mur... ou ne réduira pas ses émissions de CO₂ comme elle le devrait pourtant, et comme elle s'engage régulièrement à le faire lors des conférences internationales sur le climat.

En complément des solutions techniques, toute stratégie sérieuse doit donc comprendre une remise en question des modes de transport, non traitée ici :

- Développement des transports collectifs au lieu de la mobilité individuelle
- Développement du covoiturage
- Urbanisation intégrant la contrainte des déplacements
- Développement des modes de transports doux

- Recherche des circuits les plus courts dans le commerce et l'industrie
- Réorganisation des transports de marchandises pour limiter le routier
- Recours au travail à distance
- Etc ...