

Déploiement massif du véhicule électrique : au-delà du véhicule, un enjeu systémique.

Didier Bloch

didier.bloch@cea.fr





Le véhicule électrique ? ...beaucoup de scepticisme

1^{er} Février, 2018



« Selon une étude de l'ADEME, un véhicule électrique produit autant de CO₂ qu'un véhicule diesel »

http://www.liberation.fr/planete/2018/02/01/metaux-rares-un-vehicule-electrique-genera-presque-autant-de-carbone-qu-un-diesel_1625375

1^{er} Septembre 2020

« Non, la voiture électrique n'est pas écologique »

« Un point fait consensus : produire un véhicule électrique demande beaucoup plus d'énergie, et émet deux fois plus de gaz à effet de serre que de produire un véhicule thermique, du fait de la production de sa batterie et de sa motorisation »

<https://reporterre.net/Non-la-voiture-electrique-n-est-pas-ecologique>

<https://reporterre.net/La-voiture-electrique-cause-une-enorme-pollution-miniere>



18 Septembre 2021

« Marianne »

<https://www.marianne.net/agora/tribunes-libres/la-generalisation-des-voitures-electriques-et-une-aberration-economique-et-ecologique/>

« Les véhicules électriques sont une aberration économique et écologique »

“Les politiques négligent totalement l'impact environnemental désastreux de la production des batteries et de leur fin de vie.”



16 Novembre 2022

<https://www.varmatin.com/economie/la-voiture-electrique-nest-pas-aussi-propre-que-lon-voudrait-le-laisser-croire-francois-xavier-pietri-decrypte-les-limites-du-100-electrique-807944>



"La voiture électrique n'est pas aussi propre que l'on voudrait le laisser croire"

Didier Bloch



Le véhicule électrique est-il pertinent du point de vue environnemental ?

Quels paramètres sont en jeu ?



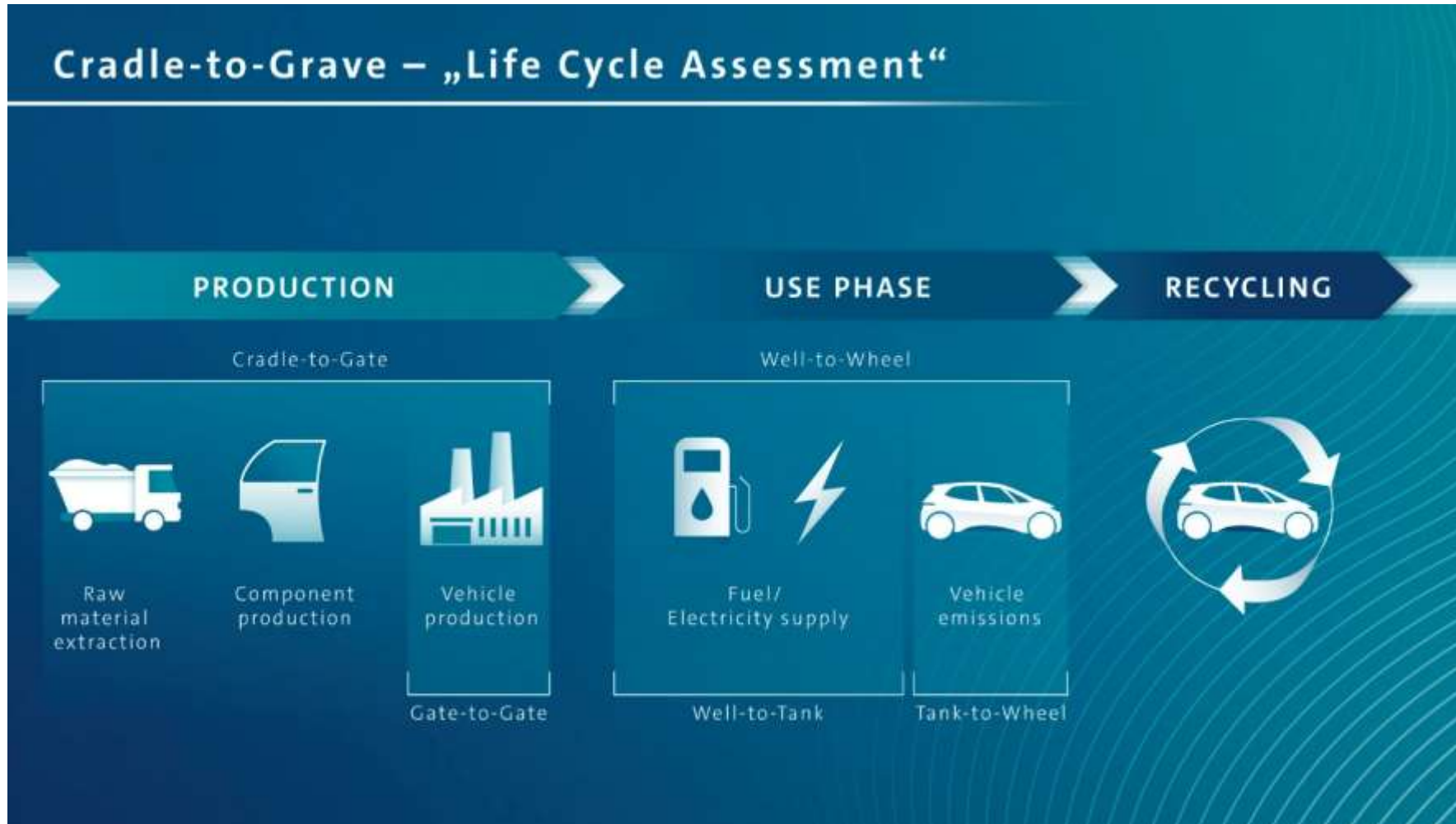
Plusieurs **facteurs conditionnent les émissions CO₂ du véhicule électrique**:

- Le contenu carbone de **l'électricité utilisée pour recharger le véhicule au cours de sa durée de vie**
- Le contenu carbone de **l'électricité utilisée pour la fabrication de la batterie**
- La **taille de la batterie** (i.e. le type de véhicule) : 50 (Zoé) ou 100 kWh ?
- La **consommation d'énergie** (électricité) du véhicule : 12 ou 25 kWh/100 km ?
- Les **performances** de la **batterie** (densité d'énergie...)
- La **durée de vie de la batterie** (et du véhicule): 50 000 or 300 000 km ?
- Les erreurs de calcul, les fausses approximations... etc.

Tous ces paramètres sont de surcroît variables avec le temps. Ils dépendent:

- De la montée en puissance des usines de fabrication des batteries
- De la réussite des efforts de décarbonation des mix électriques des pays,
- Des améliorations de la durée de vie des batteries...

Comment y voir plus clair ?



<http://media.volkswagen.fr/avantage-aux-vehicules-electriques-pour-leur-niveau-demissions-de-co2/>

Les véhicules électriques émettent moins de CO₂ que les véhicules à moteur thermique pendant la phase de roulage du véhicule (CO₂/km)

Mais la fabrication de la batterie émet (jusque-là) plus de CO₂ que celle d'un véhicule à moteur thermique

Où se situe l'équilibre, si l'on fait le calcul sur l'ensemble de la durée de vie ?

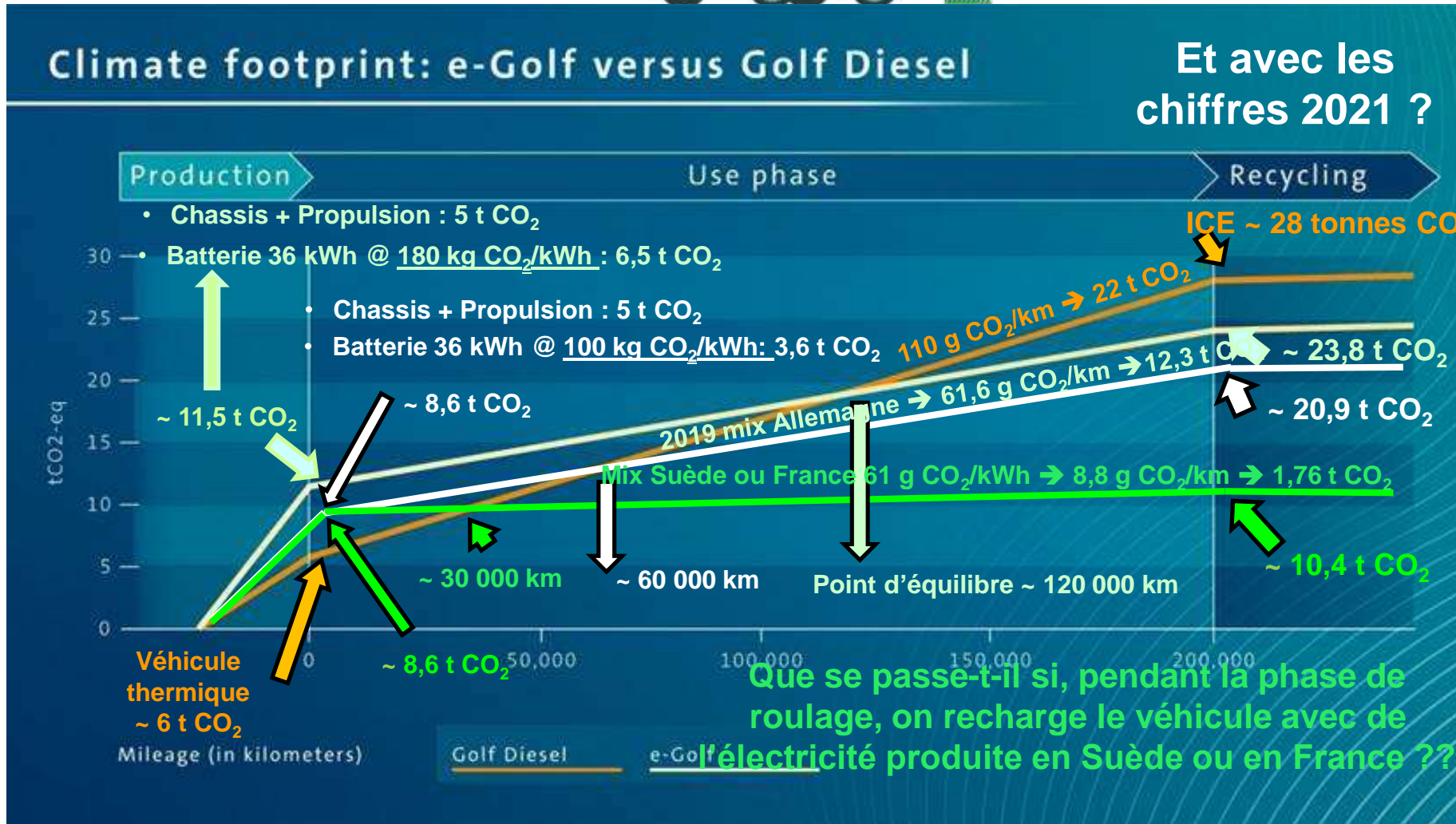
Au bout de quel kilométrage un véhicule électrique rembourse-t-il sa « dette CO₂ » ?

10 000 km ? 60 000 km ? 120 000 km ?

Golf TDI : 140 g CO₂/km
sur sa durée de vie



E-Golf : 119 g CO₂/km
Sur sa durée de vie



Étude « certifiée » VW, batterie 36 kWh fabriquée en Asie & 24 avril, 2019 mix électrique Allemagne 2019 (428 g CO₂/kWh) pour la recharge pendant la phase de roulage

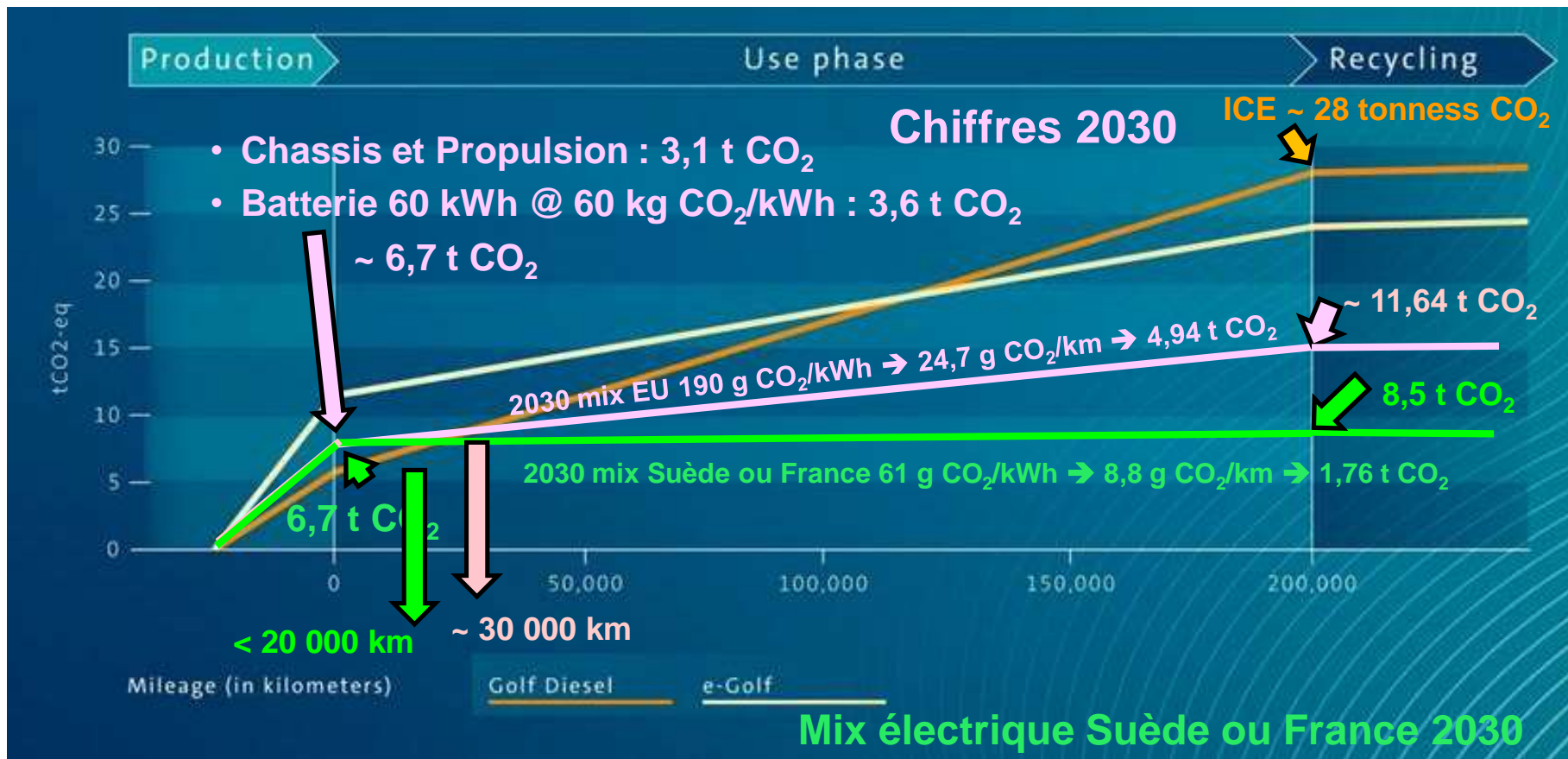
<http://media.volkswagen.fr/avantage-aux-vehicules-electriques-pour-leur-niveau-demissions-de-co2/>

Qu'attendre (raisonnablement) en 2030 ?



- Véhicule de milieu de gamme
 - **Batterie 60 (~~36~~) kWh**
 - **60 (~~100~~) kg CO₂/kWh** pour la fabrication de la batterie
 - **13 kWh (~~14,4~~)/100 km** pour la consommation d'énergie du véhicule
 - **Mix électrique européen à 190 (~~319~~) gCO₂/kWh (??)**
- Ce qui donne (phase de roulage) $13 \times 190 / 100 = 24,7 \text{ gCO}_2/\text{km}$ (~~61,6 gCO₂/km~~)
- **Châssis et Propulsion : 3,1 tonnes CO₂ (~~5 tonnes~~) (?)**

Projection 2030 ; véhicule et batterie 60 kWh fabriqués en Europe (si les objectifs CE sont atteints...)



Le développement du véhicule électrique permet, de manière critique, de réduire les émissions de CO₂...

...si les objectifs de réduction des émissions CO₂ du mix électrique européen sont atteints !!

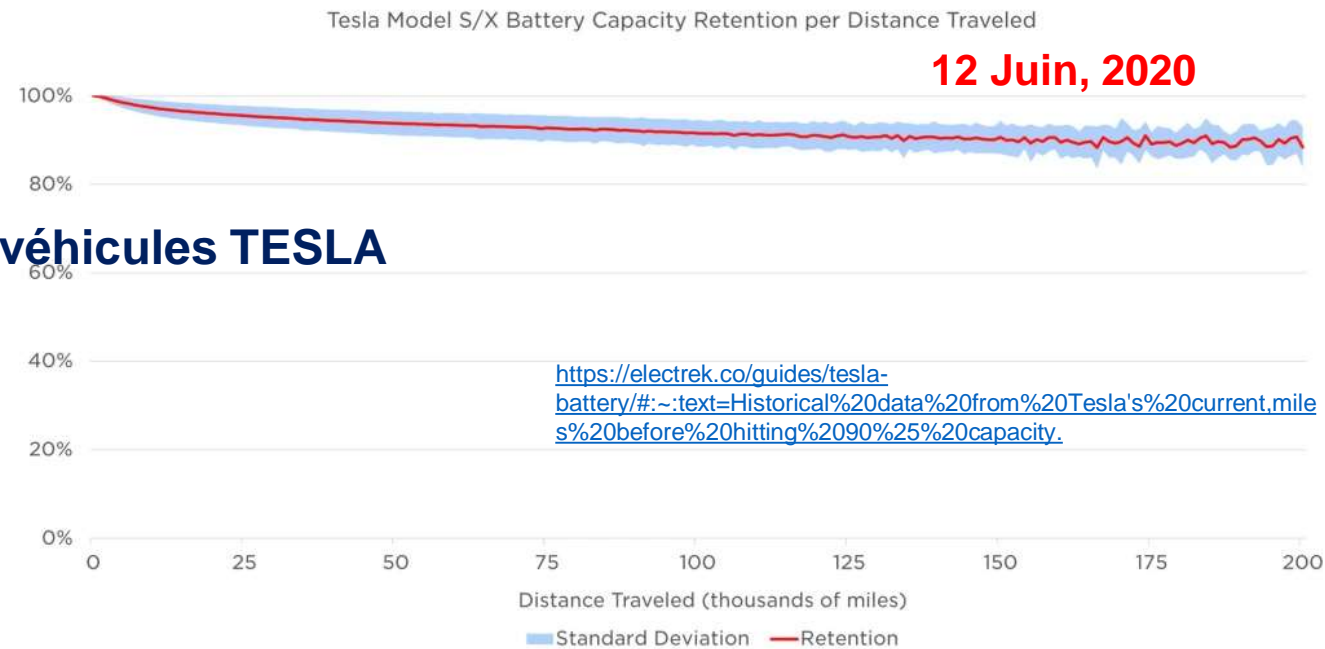
MAIS L'HISTOIRE NE S'ARRÊTE PAS LÀ...

Une bonne surprise: la durée de vie des batteries

Il y a 4 ou 5 ans, les experts (optimistes) tablaient sur une durée de vie des batteries dans les véhicules de l'ordre de 400 à 500 cycles (150-200,000 km)...



Figure 7 : Tesla Model S



Résultats de terrain, véhicules TESLA

“ La capacité des batteries diminue de 5% à l'issue de 80,000 km, et elle est encore supérieure à 90% à l'issue de plus de 200 000 km”

<https://electrek.co/2020/09/01/tesla-model-3-emits-less-lifetime-emissions-mercedes-benz-c-class-study/>

Il est raisonnable d'espérer que des batteries de bonne qualité, bien gérées thermiquement et électroniquement permettront d'ici 5 ans d'atteindre les 2000 cycles soit...

... 800 000 km ! (soit encore > 60 ans @13000 km/an !!)

2000 CYCLES - 60 ANS...800 000 KM ? COMMENT FAIRE AVEC DE TELLES PERFORMANCES ?

Les fabricants de véhicules et de batteries ne sont guère enthousiastes...

Et qui voudra garder le même véhicule toute sa vie ?

MAIS : ces résultats sont critiques pour réduire les émissions de CO₂ !

Le problème est résolu si les véhicules peuvent, au-delà de la mobilité, être utilisés comme pourvoyeurs de services au réseau électrique !

750 cycles pour la mobilité (300 000 km – 23 ans)...

...& 1250 cycles (≈ 60 MWh = 7 kWh/jour) pour le service au réseau...

...pendant les périodes de stationnement du véhicule !



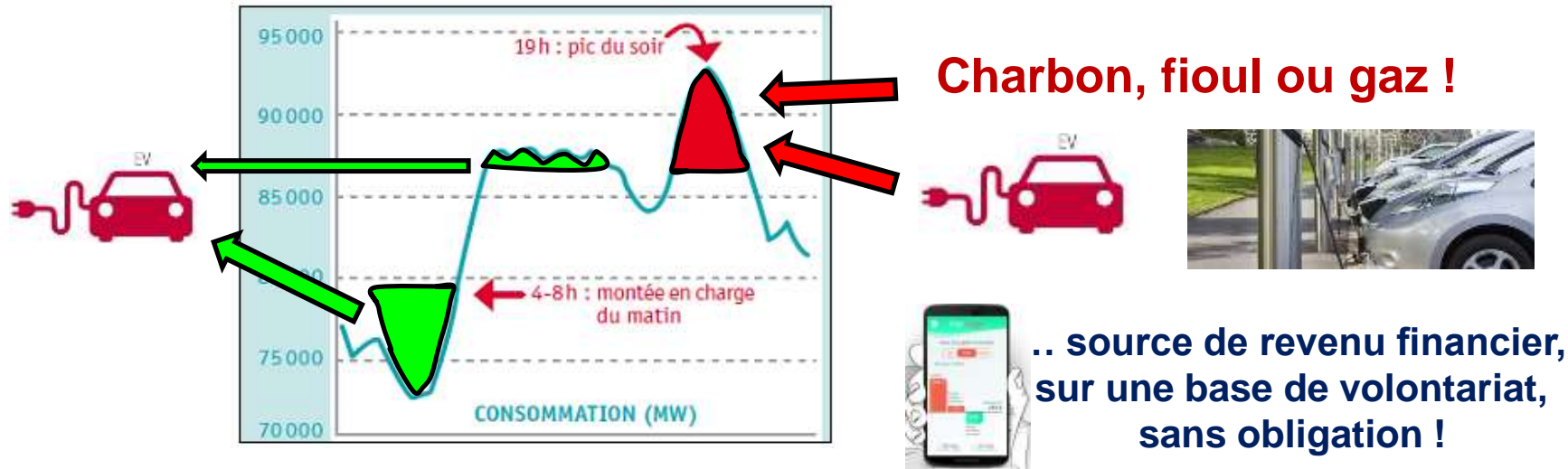
100 €/kWh & 2500 cycles → CAPEX 0,04 €/kWh échangé !

Le concept mérite d'être fortement encouragé et supervisé par les autorités publiques pour promouvoir les synergies entre différents acteurs qui ont des intérêts contradictoires

COMMENT ÇA MARCHE ?

EXACTEMENT COMME LES BARRAGES
HYDROÉLECTRIQUES !

15
ANS



Les véhicules électrifiés sont principalement rechargés en heures creuses

... peuvent stocker une partie des énergies renouvelables

Être utilisés, au-delà de leur fonction principale, comme moyen de stockage-tampon de l'électricité et comme pourvoyeurs de services au réseau

...évitant ainsi la construction et l'exploitation de centrales thermiques émettrices de CO₂, sinon nécessaires pour répondre aux besoins pendant les périodes de pic de consommation ou d'absence de production ENR

La convergence Mobilité-Stationnaire permettra une forte baisse du coût de possession et de l'empreinte environnementale du véhicule!

Didier Bloch



QU'EST-CE QUI POURRAIT MODIFIER CE SCÉNARIO ?

Risque élevé

- L'objectif de 190 g CO₂/kWh en 2030 ne sera pas atteint en Europe...sauf en Suède et en France (61 g/kWh aujourd'hui)

19 juin 2022:

Gaz russe : l'Allemagne annonce qu'elle va davantage utiliser ses centrales à charbon pour son électricité



- Accroissement de la taille “standard” des batteries à 80 ou même 100 kWh batteries en 2030 en Europe, ce qui ferait mécaniquement augmenter les émissions de CO₂ à leur fabrication

Risque plus réduit

- L'objectif global de 60 kg CO₂/kWh pour la fabrication de la batterie pourrait ne pas être atteint du fait de la part de plus en plus grande prise par les matériaux (extraction/raffinage)

Quelle R&D pour répondre aux enjeux ?

Axes de R&D « batteries »

- Augmenter encore la durée de vie des batteries (10 000 cycles)
- Réduire l'utilisation de matériaux sensibles (Co; Ni...)
- Développer des filières sans matériaux sensibles
- Améliorer les procédés de recyclage

Axes de R&D « système »

- Réduire le contenu CO₂ des mix électriques européens
- Améliorer l'efficacité énergétique des bornes de recharge

Références

- **21 March, 2019** <https://innovationorigins.com/en/correcting-misinformation-about-greenhouse-gas-emissions-of-electric-vehicles-auke-hoekstras-response-to-damien-ernsts-calculations/>
- **April, 2020** Transport & Environment : “How Clean are Electric Cars ? T&E’s analysis of electric car lifecycle CO₂ emissions »,
- **July, 2021** G. Bieker « A Global Comparison of the Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions of Combustion Engines and Electric Passenger Cars »; White Paper, International Council on Clean Transportation (ICCT),
- **Janvier, 2021** Renault « Analyse du cycle de vie comparative Renault Zoé et Clio »
- **2021** CEA internal studies
- **19 juin 2022** : « En Allemagne, davantage de charbon pour éviter le gaz »
<https://www.lefigaro.fr/conjoncture/gaz-russe-l-allemande-annonce-qu-elle-va-davantage-utiliser-ses-centrales-a-charbon-pour-son-electricite-20220619>