

Paramètres influents dans la résistance au déplacement d'un véhicule

Résistance à l'air



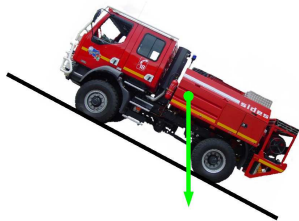
Paramètres influents : S , C_x , V , ρ

Résistance au roulement



Paramètres influents : m , C_{rr}

Résistance à la gravité



Paramètres influents : m , α

Résistance à l'accélération

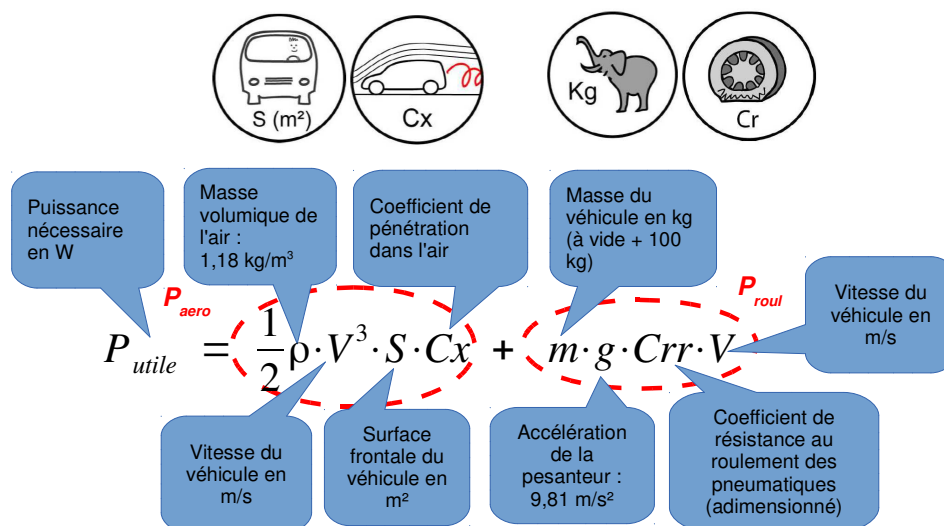


Paramètres influents : m , γ

Un véhicule qui se déplace a besoin de **puissance** pour lutter contre un certain nombre d'**efforts résistants** :

- La **résistance de l'air**, qui dépend de la **surface frontale** du véhicule (hauteur x largeur), de sa **forme** plus ou moins **aérodynamique**, et de sa **vitesse**.
- La **résistance au roulement**, qui dépend de la qualité et de la pression de gonflage des **pneumatiques**, et de la **masse** du véhicule.
- L'**attraction terrestre**, qui dépend de la **pente** et de la **masse** du véhicule.
- La **force d'inertie**, qui dépend de l'**accélération** et de la **masse** du véhicule.

Puissance mécanique nécessaire au véhicule pour avancer sur le plat

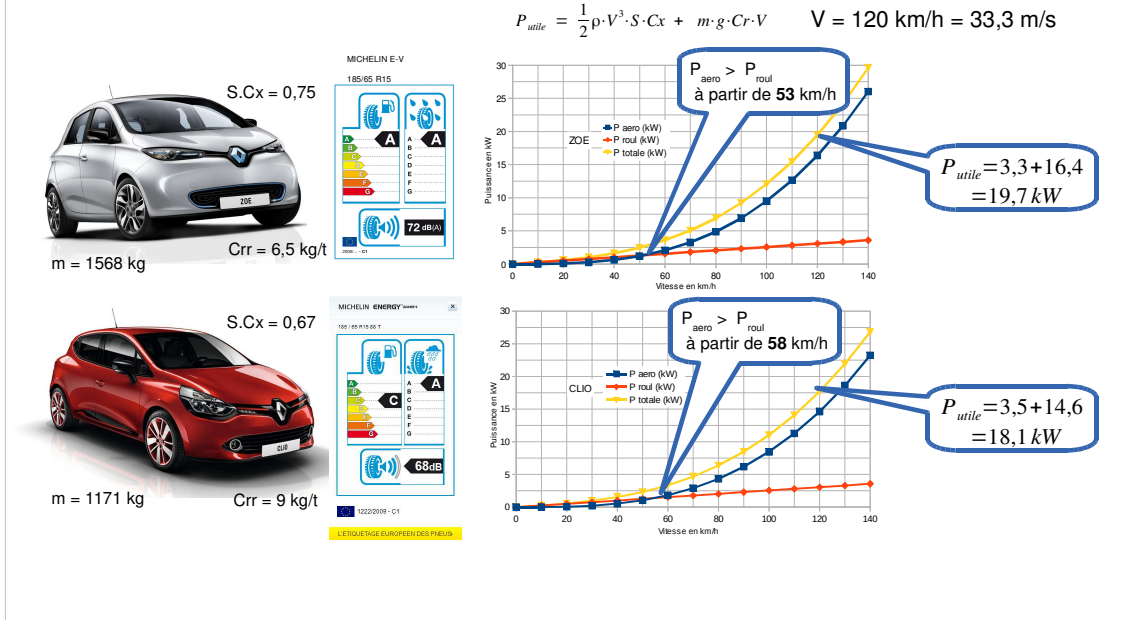


Si l'on se place dans le cas d'une vitesse constante sur du plat (pas de pente et pas d'accélération), la **puissance utile** au déplacement du véhicule se résume à la somme de la puissance pour lutter contre le freinage aérodynamique (notée P_{aero}) et de la puissance pour lutter contre la déformation des pneumatiques (notée P_{roul}).

P_{roul} est proportionnelle à la vitesse du véhicule (doubler la vitesse implique simplement de doubler la puissance), tandis que P_{aero} augmente avec le cube de la vitesse (doubler la vitesse implique de multiplier par 8 la puissance).

Nous majorerons la masse à vide des véhicules de 100kg pour tenir compte de leur remplissage moyen en France qui est de 1,3 passager par véhicule.

Comparaison de 2 véhicules sur le plat à 120 km/h



Nous comparons 2 véhicules de même segment et du même constructeur, l'un électrique (Renault ZOE), l'autre thermique (Renault CLIO 1,5 dCi 83g).

Les caractéristiques de masse et d'aérodynamisme sont issues de la documentation commerciale Renault.

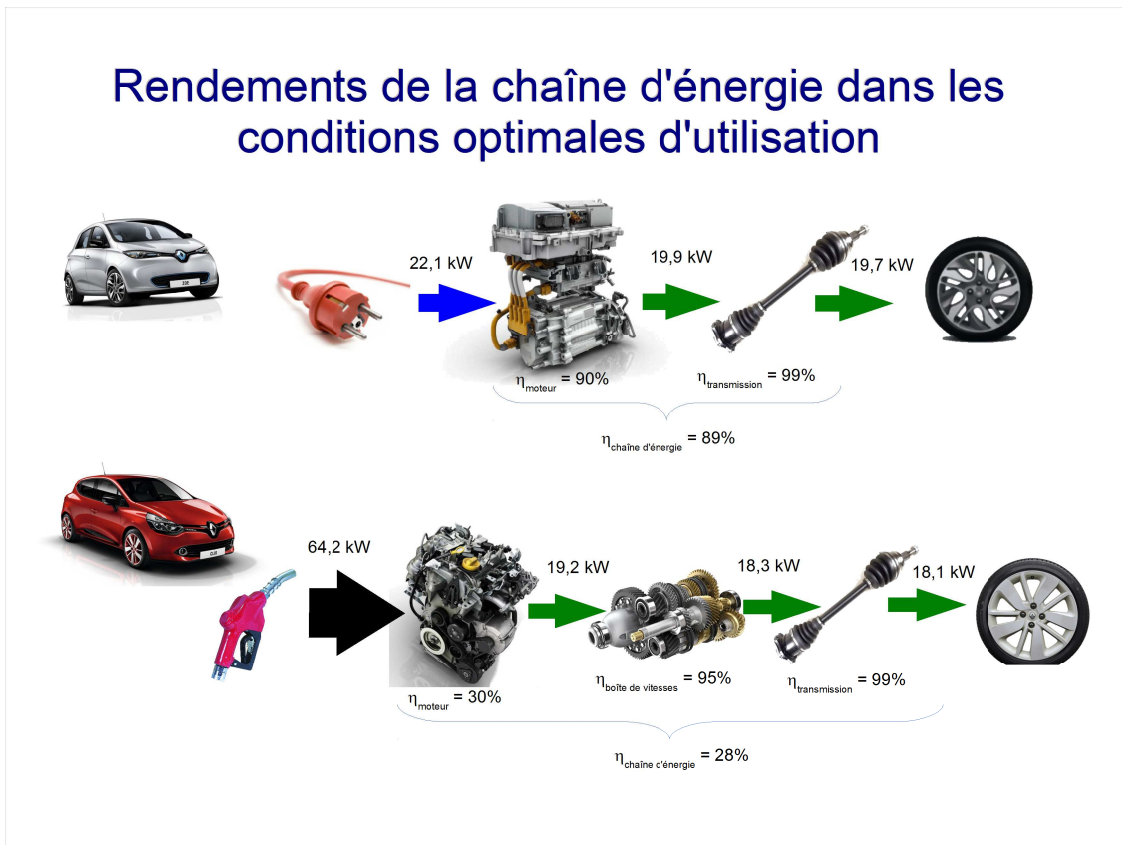
Les coefficients de résistance au roulement des pneumatiques sont issus des étiquettes de classe énergétique des pneumatiques, sachant que la ZOE est équipée de pneumatiques spécifiques limitant leur résistance.

On voit, pour les 2 véhicules, qu'au delà d'environ 50km/h la résistance aérodynamique devient prépondérante devant celle de déformation des pneumatiques.

Bien que plus lourde, la ZOE oppose un peu moins de résistance au roulement que la CLIO grâce à ses pneumatiques. En revanche plus haute, la ZOE nécessite plus de puissance que la CLIO pour lutter contre le freinage aérodynamique à haute vitesse.

La puissance nécessaire au déplacement reste cependant très comparable entre ces 2 véhicules.

Rendements de la chaîne d'énergie dans les conditions optimales d'utilisation



Regardons à présent ce qui se passe sous les capots des véhicules. Nous utiliserons les rendements classiques des organes mécaniques dans des conditions optimales d'utilisation.

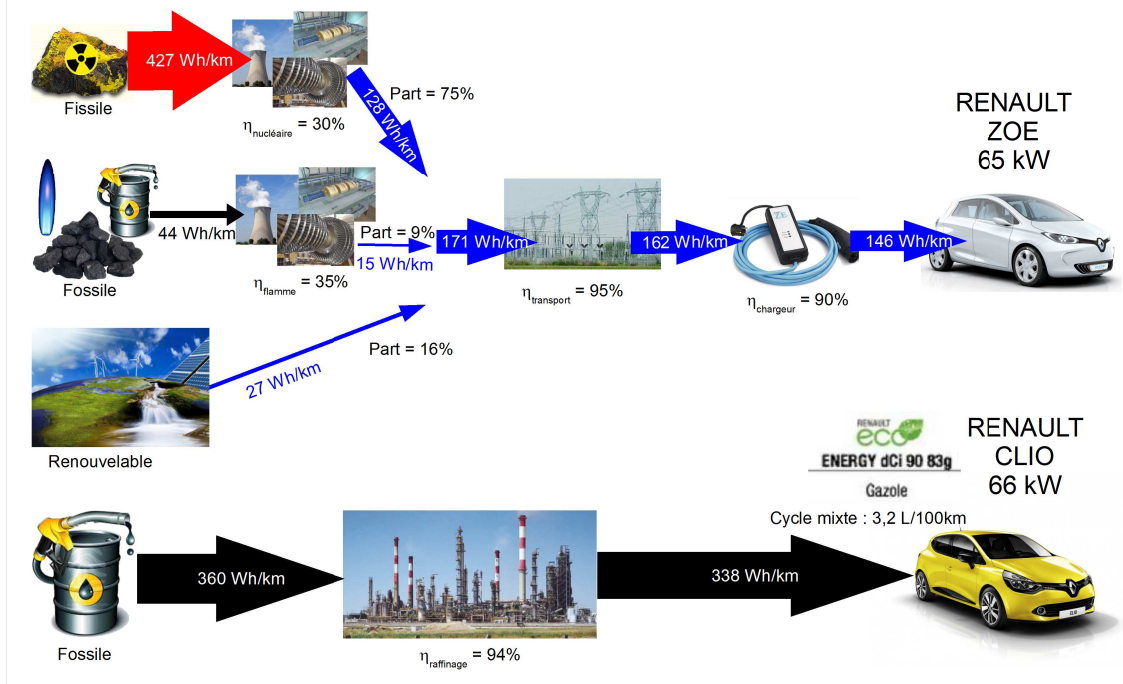
Les moteurs électriques ne nécessitent pas de boîte de vitesse car ils ont une plage de fonctionnement très large. Une chaîne d'énergie avec moins d'éléments implique donc moins de pertes. Par ailleurs les moteurs de ce type peuvent avoir des rendements énergétiques très bons pouvant atteindre les 90 %.

La ZOE a donc globalement un excellent rendement entre la puissance électrique absorbée et la puissance mécanique restituée pour son déplacement.

En revanche, les moteurs thermiques perdent beaucoup d'énergie en chaleur avec des rendements médiocres dépassant rarement les 30 %. Ils sont couplés nécessairement à une boîte de vitesses. Ceci conduit à un rendement global faible pour la CLIO, entre l'énergie chimique contenue dans le carburant et l'énergie mécanique restituée.

L'avantage pourrait paraître évident pour la voiture électrique à ce stade de l'étude, mais ce serait oublier que l'électricité ne se trouve pas telle quelle dans la nature, mais qu'elle doit être produite à partir d'autres sources d'énergie, avec des rendements le plus souvent médiocres...

Consommation d'énergie primaire avec mix énergétique français de production d'électricité



Pour remonter aux énergies primaires, nous allons à présent utiliser les consommations normalisées des véhicules données par le constructeur. Si celles-ci sont vraisemblablement sous-évaluées, on peut supposer qu'elle le sont de la même manière pour les 2 véhicules.

Pour la ZOE, il faut savoir que les batteries d'accumulateurs électriques perdent environ 10 % de l'énergie lors de la charge (échauffement). Par ailleurs, les pertes en ligne du réseau de transport d'électricité sont d'environ 5 %.

Le MIX énergétique français donne la part belle au nucléaire avec environ 75 % de la production d'électricité. Or les centrales thermique nucléaires ont un rendement faible (de l'ordre de 30%) induit par la limitation des températures dans les réacteurs pour des raisons de sécurité. Plus des 2/3 de l'énergie de l'uranium est dissipée en chaleur.

La température étant plus haute dans les centrales thermiques à flamme (gaz, charbon ou pétrole) on atteint des rendements légèrement meilleurs.

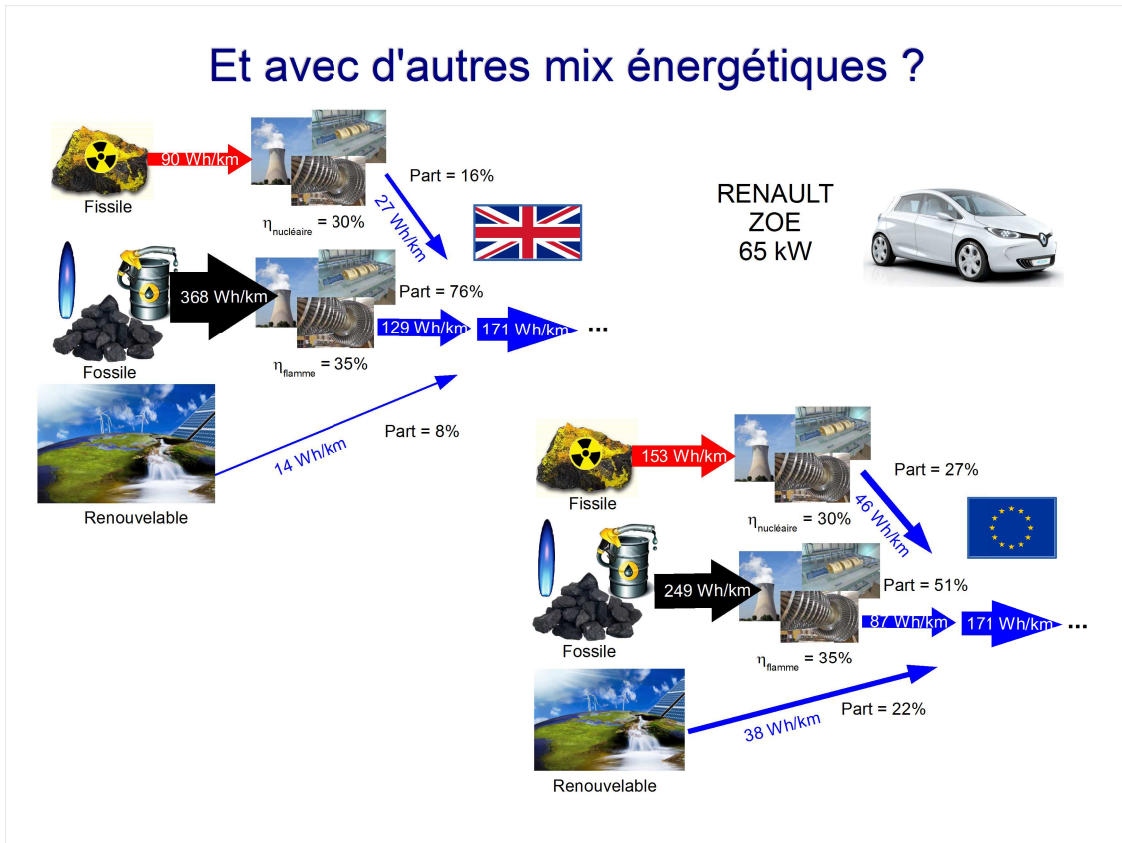
Les rendements de la production d'électricité à partir d'énergie renouvelable sont très variables, mais leur valeur importe peu, dans la mesure où la ressource n'est pas épuisable et les impacts environnementaux faibles.

Pour la CLIO la plus économe de la gamme avec 3,2L/100km, on remonte au pétrole primaire en tenant compte des pertes au raffinage.

Premier constat : la voiture électrique consomme plus d'énergie primaire que la voiture thermique, et, avec le mix français, plus d'énergie non renouvelable.

Consommant essentiellement de l'énergie nucléaire, elle a cependant un impact carbone plus faible. De ce point de vue, son utilisation est pertinente en France si l'on occulte les impacts liées à l'énergie nucléaire.

Et avec d'autres mix énergétiques ?



Les impacts de la consommation d'énergie électrique étant dépendants du mix énergétique de production, il est intéressant de tester sur ce modèle l'utilisation de la ZOE dans des pays où les origines de la production d'électricité sont très différents de la France.

Le Royaume Uni est un bon candidat puisque la part que nous accordons au nucléaire est dévolue là-bas aux combustibles fossiles.

Et l'on se rend compte alors que la voiture électrique consomme plus de ressources fossiles que la voiture thermique ! A proscrire donc d'un point de vue réchauffement climatique !

Le résultat est plus nuancé pour la moyenne des pays européens où les parts du fissile et du fossile sont du même ordre de grandeur.

Au final seuls quelques rares pays européens qui ont un mix électrique très orienté vers les renouvelables peuvent afficher la voiture électrique comme pertinente pour préserver les ressources non renouvelables. A condition que l'équilibre de leur mix énergétique ne soit pas perturbé par une augmentation massive de la mobilité électrique...

Synthèse sur la pertinence écologique du véhicule électrique



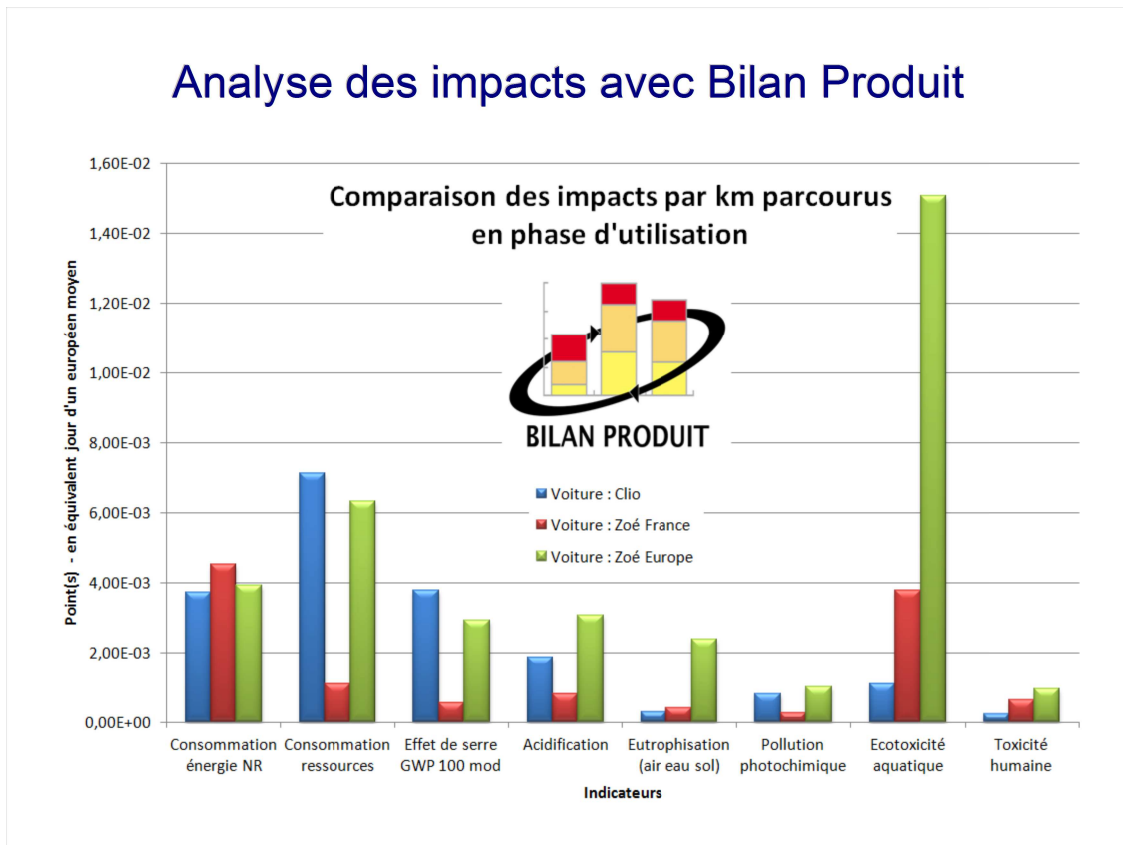
	France	UK	EU	France	UK	EU
Consommation totale d'énergie	☹️	☹️	☹️	😊	😊	😊
Consommation d'énergie non renouvelable	☹️	☹️	☹️	😊	😊	😊
Consommation d'énergie émettant du CO ₂	😊	☹️	😊	☹️	😊	☹️
Émission de polluants sur le lieu d'utilisation	😊	😊	😊	☹️	☹️	☹️

Pour conclure, en France et dans une partie de l'Europe, la voiture électrique permettrait de limiter les émissions de CO₂, à condition que les capacités de production décarbonées soient en capacité de supporter la croissance du parc des véhicules électriques.

Avec une production d'électricité majoritairement carbonée, le véhicule électrique a plus d'impacts sur tous les points de vues.

L'avantage qu'il faut reconnaître à la mobilité électrique dans tous les cas, est qu'elle a très peu d'impacts sur son lieu d'utilisation, ceux-ci étant déportés sur le lieu de production d'électricité. Son principal atout est donc de permettre de lutter contre les concentrations de pollution en ville. Elle n'apporte cependant pas une solution globale aux problèmes environnementaux qui nous touchent.

Analyse des impacts avec Bilan Produit



De façon complémentaire, on peut chiffrer plus finement les impacts environnementaux en utilisant la base de donnée de l'ADEME et son logiciel « Bilan Produit ». On saisit alors en phase utilisation les Wh d'électricité consommée avec le mix français ou européen pour la ZOE, et la quantité de carburant consommé par la CLIO.

Les résultats confirment l'analyse précédente sur la consommation d'énergie et mettent en lumière d'autres impacts qui relativisent encore la pertinence de la voiture électrique.

Prise en compte des énergies de production

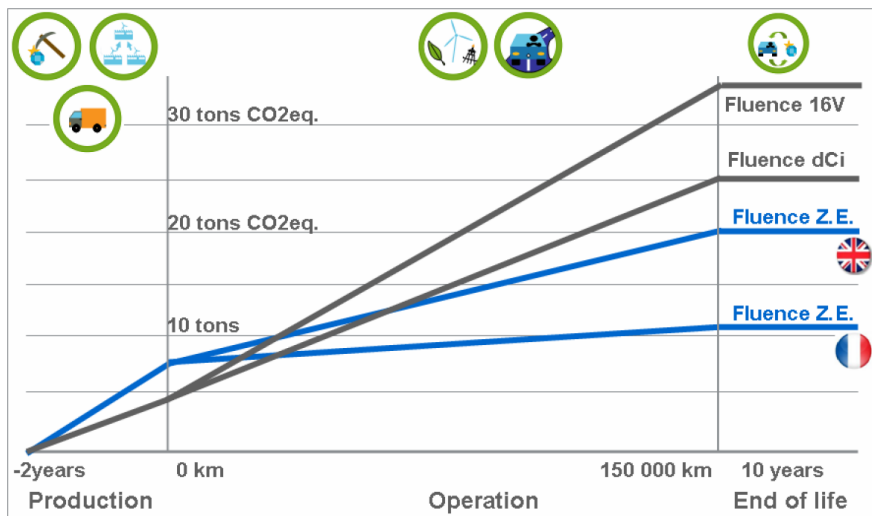


Figure 49 : Comparing carbon footprint of EV and ICE vehicles.

Si l'on s'attarde sur les énergies grises de production des véhicules qui ne sont pas étudiées ici, il faut savoir également que la voiture électrique a un impact environ double de la voiture thermique à cause des batteries. Ceci pénalise encore le bilan global de la voiture électrique.