

# Véhicules électriques et hybrides

MICHEL WASTRAETE<sup>[1]</sup>

L'Association nationale pour la formation automobile (Anfa) vient d'éditer avec le concours du ministère de l'Éducation nationale le dossier technique « Véhicules électriques, véhicules hybrides » dont nous adaptons ici un extrait. Ce document vise à apporter aux enseignants une information technique détaillée et actualisée dans ce domaine.

## Le comportement énergétique d'un véhicule électrique

L'analyse du comportement énergétique d'un véhicule thermique a mis en évidence les nombreuses pertes d'énergie d'origines potentielle et cinétique. Ces énergies sont transformées et dilapidées dans les systèmes de refroidissement.

La question qui se pose alors aux experts est de savoir comment récupérer et stocker cette énergie mécanique afin de la réutiliser. Plusieurs méthodes permettent d'ores et déjà de stocker l'énergie d'origine mécanique. Cela étant, peu sont utilisables dans la sphère automobile. À ce jour, seuls sont utilisés :

- le stockage mécanique, qui fait appel à un volant d'inertie tournant à grande vitesse. Ce système prend le nom de Kers (*kinetic energy recovery system*) en F1 (voir la fiche « innovation » p. 19) ;

- le stockage électrique, qui s'effectue au niveau de la batterie et utilise un générateur (convertisseur d'énergie mécanique en énergie électrique).

De ces deux méthodes, seul le stockage électrique est utilisable pour les véhicules routiers. La réversibilité des moteurs électriques permet au groupe motopropulseur d'être, en fonction des phases de conduite, générateur pour le freinage ou moteur (convertisseur d'énergie électrique en énergie mécanique) pour la traction.

L'énergie ainsi récupérée en phase génératrice est stockée dans la batterie de traction pour être réutilisée **1**.

L'utilisation de la motorisation électrique permet de réduire considérablement les pertes énergétiques, comme le montre le tableau **2**.

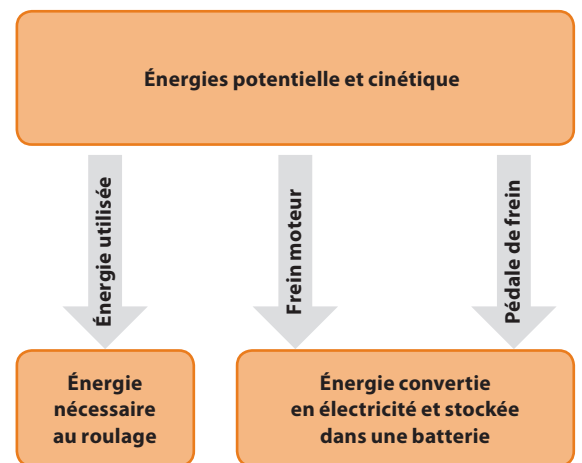
## Analyse des rendements

Le rendement énergétique d'un moteur est le rapport entre l'énergie absorbée et l'énergie mécanique produite.

[1] Formateur expert.

## Mots-clés

efficacité énergétique, recherche & développement



## 1 Récupération des énergies potentielle et cinétique (véhicule électrique)

### ● Moteurs thermiques

Le rendement des moteurs thermiques dépend du type de moteurs, essence ou Diesel **3**. Il reste faible. Dans le meilleur des cas, 60 % du carburant va être perdu (principalement sous forme de chaleur). À faible charge, la perte peut avoisiner les 80 %... Le moteur n'est cependant utilisé à forte charge que lors des accélérations, permettant ainsi un agrément de conduite. Le plus souvent, le moteur est à faible charge avec un rendement médiocre.

### ● Moteurs électriques

Le rendement des moteurs électriques synchrones est supérieur à 90 % sur plus de la moitié de leurs plages de régime **4**.

Le rendement global doit prendre en compte le rendement des organes composant la chaîne de traction, à savoir : le moteur, le convertisseur et la batterie. Chacun de ces organes a un rendement supérieur ou égal à 90 % :

$$\eta_{\text{global}} = \eta_{\text{moteur}} \times \eta_{\text{convertisseur}} \times \eta_{\text{batterie}} \\ = 0,9 \times 0,9 \times 0,9 = 0,73$$

rendement énergétique global

$$= (\text{énergie restituée} / \text{énergie absorbée}) \times 100 \\ \text{Soit un rendement global de plus de 73 \% } \mathbf{5}.$$

## Les constituants d'un véhicule électrique

Ressemblant à première vue au véhicule thermique, le véhicule électrique se distingue néanmoins de ce

Phase de fonctionnement	Comportement énergétique	
	avec moteur thermique	avec moteur électrique
<b>Accélération</b>	Le moteur fournit l'énergie mécanique qui est nécessaire au stockage de l'énergie cinétique et qui permet de vaincre les résistances à l'avancement	Idem au thermique
<b>Vitesse stabilisée</b> (déclivité nulle)	Le moteur fournit l'énergie mécanique nécessaire afin de vaincre les résistances à l'avancement	Idem au thermique
<b>Légère déclivité</b> (puissance nulle)	Le moteur tourne à couple nul et consomme environ 5 % de la consommation à puissance nominale	Le moteur électrique à puissance nulle ne consomme rien
<b>Grande déclivité</b> (frein moteur)	Le moteur n'est plus alimenté en carburant et offre un couple résistif qui transforme l'énergie potentielle en chaleur	Le moteur devient générateur, transforme l'énergie potentielle en énergie électrique et la stocke dans la batterie de traction afin de maintenir la vitesse
<b>Décélération</b> (frein moteur)	Le moteur n'est plus alimenté en carburant et offre un couple résistif qui transforme l'énergie cinétique en chaleur	Le moteur devient générateur, transforme l'énergie cinétique en énergie électrique et la stocke dans la batterie de traction afin de diminuer la vitesse
<b>Freinage</b>	L'énergie cinétique est transformée en chaleur par le système de freinage	La majeure partie de l'énergie cinétique est transformée en électricité, le reste est dissipé par les disques de frein. L'ensemble est piloté par un calculateur électronique
<b>Arrêts momentanés</b> (feux rouges...)	Le moteur tourne au ralenti et consomme environ 5 % de la consommation à puissance nominale	Le moteur électrique à l'arrêt ne consomme rien

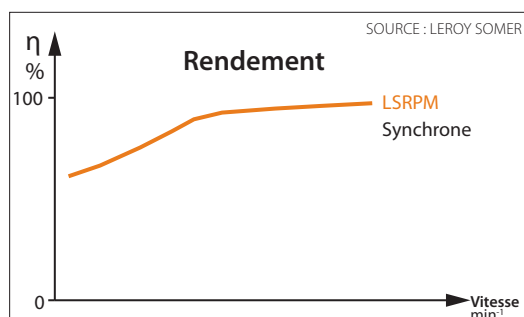
■ Favorable ■ Perte d'énergie

## 2 Tableau comparatif des pertes d'énergie (sans prise en compte du rendement moteur)

Moteur	Rendement (%)	
	Forte charge	Faible charge
Essence	36	15
Diesel	42	15

SOURCE : IFP

## 3 Le rendement des moteurs thermiques



## 4 Le rendement des moteurs électriques synchrones

dernier par son châssis spécifique. Ce châssis intègre une batterie HT (haute tension) dont le volume et la masse sont importants (environ 300 kg). Cela permet une répartition des masses favorisant la stabilité dynamique du véhicule.

Ce mode de motorisation nécessite des composants qui n'ont rien de commun avec ceux utilisés en motorisation thermique **6** :

### ● Batterie HT

La batterie haute tension est le dispositif de stockage de l'énergie embarquée (on peut la comparer au réservoir de carburant pour un modèle thermique).

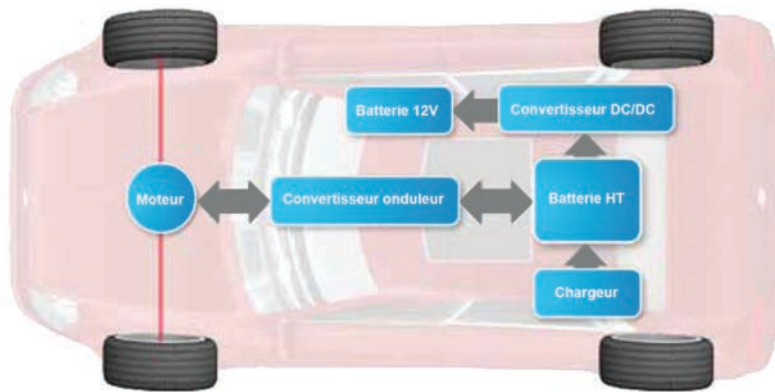
### ● Moteur

Le moteur convertit l'énergie électrique en énergie mécanique durant les phases de traction, et inversement l'énergie mécanique en énergie électrique lors des phases de freinage (régénération).

Phase de fonctionnement	Rendement énergétique global	
	Moteur thermique	Moteur électrique
Accélération	≈ 40 %	> 70 %
Vitesse stabilisée (déclivité nulle)	≈ 25 %	
Légère déclivité (puissance nulle)	0 %	
Grande déclivité (frein moteur)		
décélération (frein moteur)		
Freinage		
Arrêts momentanés (feux...)		

■ > 70 %    ■ ≈ 40 %    ■ ≈ 25 %    ■ 0 %

5 Tableau comparatif des rendements des véhicules thermiques et électriques



6 Synoptique d'un véhicule électrique

En ligne

Le fichier « VehElec\_VehHybrid.pdf » est téléchargeable sur : [www.educauto.org](http://www.educauto.org)  
 (Dossiers techniques > Véhicules électriques, véhicules hybrides)

Retrouvez tous les liens sur <http://eduscol.education.fr/sti/revue-technologie>

● Convertisseur onduleur

Le convertisseur est le calculateur de puissance du moteur. Le convertisseur reçoit ainsi les paramètres de multiples capteurs, dont les pédales d'accélérateur et de frein, puis commande le moteur en traction ou en régénération (freinage).

● Batterie 12 V

Les circuits de bord des véhicules électriques et thermiques nécessitent tous une alimentation fournie par une batterie 12 V.

● Convertisseur DC/DC

Le convertisseur DC/DC permet de recharger la batterie 12 V au moyen de la batterie HT et l'alimentation des consommateurs électriques lors de l'activation du véhicule par la mise du contact.

● Chargeur

Le chargeur permet de convertir l'énergie fournie par le réseau de distribution d'électricité (220 ou 380 V~) en courant continu afin de recharger la batterie HT.

Qu'est-ce qu'un véhicule hybride ?

Selon le dictionnaire Larousse, le terme *hybride* tire son origine du latin *hybrida*, qui peut être traduit par « composé de deux éléments de natures différentes ». Dans la sphère automobile, ce terme signifie que les véhicules sont équipés de deux types de motorisation, font appel à deux types d'énergie et abritent deux accumulateurs d'énergie.

Les véhicules hybrides commercialisés intègrent un moteur thermique fournissant l'énergie nécessaire au déplacement du véhicule et un ou plusieurs moteurs électriques permettant d'optimiser son fonctionnement.

Il est possible de distinguer trois familles de motorisation pour véhicules hybrides, classées en fonction de la puissance du moteur électrique utilisé : *micro hybrid*, *mild hybrid*, *full hybrid*.

Famille	Puissance du moteur électrique	Plage de tension	Fonctions possibles	Économie de carburant
Micro hybrid	2 à 3 kW	12 V	Fonction démarrage/arrêt	< 10 %
Mild hybrid	10 à 15 kW	42 à 150 V	Fonction démarrage/arrêt Fonction Boost * Récupération d'énergie	< 20 %
Full hybrid	> à 15 kW	> 100 V	Fonction démarrage/arrêt Fonction Boost * Récupération d'énergie Conduite électrique	> 20 %

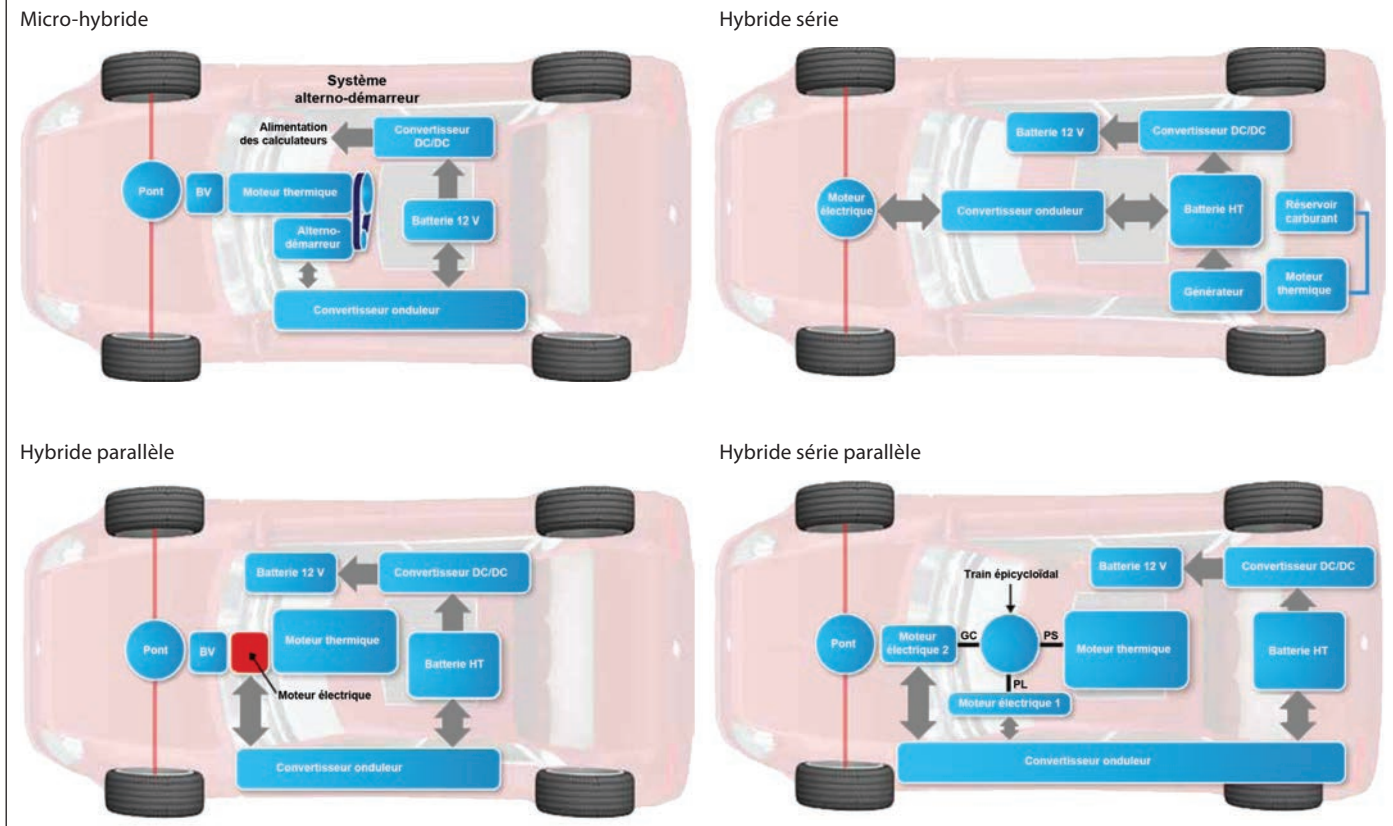
SOURCE : BMW

\* La fonction Boost additionne le couple du moteur électrique à celui du moteur thermique durant la phase d'accélération, ce qui permet, tout en gardant un agrément de conduite, la réduction de la puissance du moteur thermique. Cette fonction Boost permet ainsi de réduire, durant le fonctionnement à faible charge, la consommation et les rejets de CO<sub>2</sub> par une utilisation du moteur thermique dans des plages de fonctionnement à meilleur rendement.

7 Caractéristiques techniques des familles hybrides

## Les synoptiques des différentes familles de véhicules hybrides

(Les flèches symbolisent le sens de déplacement de l'énergie électrique.)



Phase de fonctionnement	Amélioration énergétique en fonction des types de motorisation hybride			
	Thermique	Micro hybrid	Mild hybrid	Full hybrid
Accélération	Amélioration	Amélioration	Amélioration	Amélioration
Vitesse stabilisée (déclivité nulle)	Rendement ≈ 40 %	Rendement ≈ 25 %	Amélioration	Amélioration
Légère déclivité (puissance nulle)	Rendement ≈ 40 %	Rendement ≈ 25 %	Rendement 0 %	Amélioration
Grande déclivité (frein moteur)	Rendement ≈ 40 %	Rendement ≈ 25 %	Rendement 0 %	Amélioration
Décélération (frein moteur)	Rendement ≈ 40 %	Rendement ≈ 25 %	Rendement 0 %	Amélioration
Freinage	Rendement ≈ 40 %	Rendement ≈ 25 %	Rendement 0 %	Amélioration
Arrêts momentanés (feux...)	Rendement ≈ 40 %	Rendement ≈ 25 %	Rendement 0 %	Amélioration
Accélération	Amélioration	Amélioration	Amélioration	Amélioration

Amélioration Rendement ≈ 40 % Rendement ≈ 25 % Rendement 0 %

8 Tableau comparatif des améliorations énergétiques en fonction des types de motorisation hybride

Le tableau 7 illustre les caractéristiques propres à ces trois différentes familles.

Le tableau 8 représente les améliorations en termes de rendement global pour chaque phase de fonctionnement et chaque type de motorisation hybride.

Les synoptiques des différentes familles de véhicules hybrides sont donnés en encadré.

De multiples combinaisons sont possibles afin d'associer un ou plusieurs moteurs électriques avec un moteur thermique, chacune ayant des caractéristiques particulières. Cela étant, les composants, quant à la partie électrique, sont identiques à ceux des véhicules électriques. Seuls quelques détails relatifs à leur fabrication et à leur stratégie les distinguent. ■