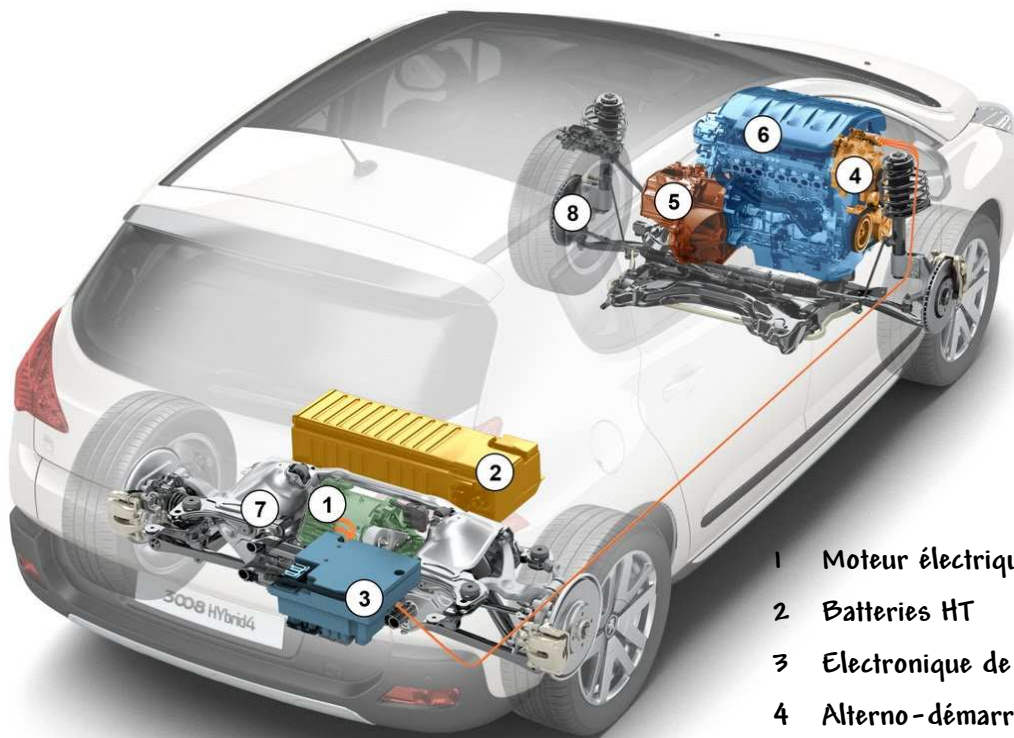
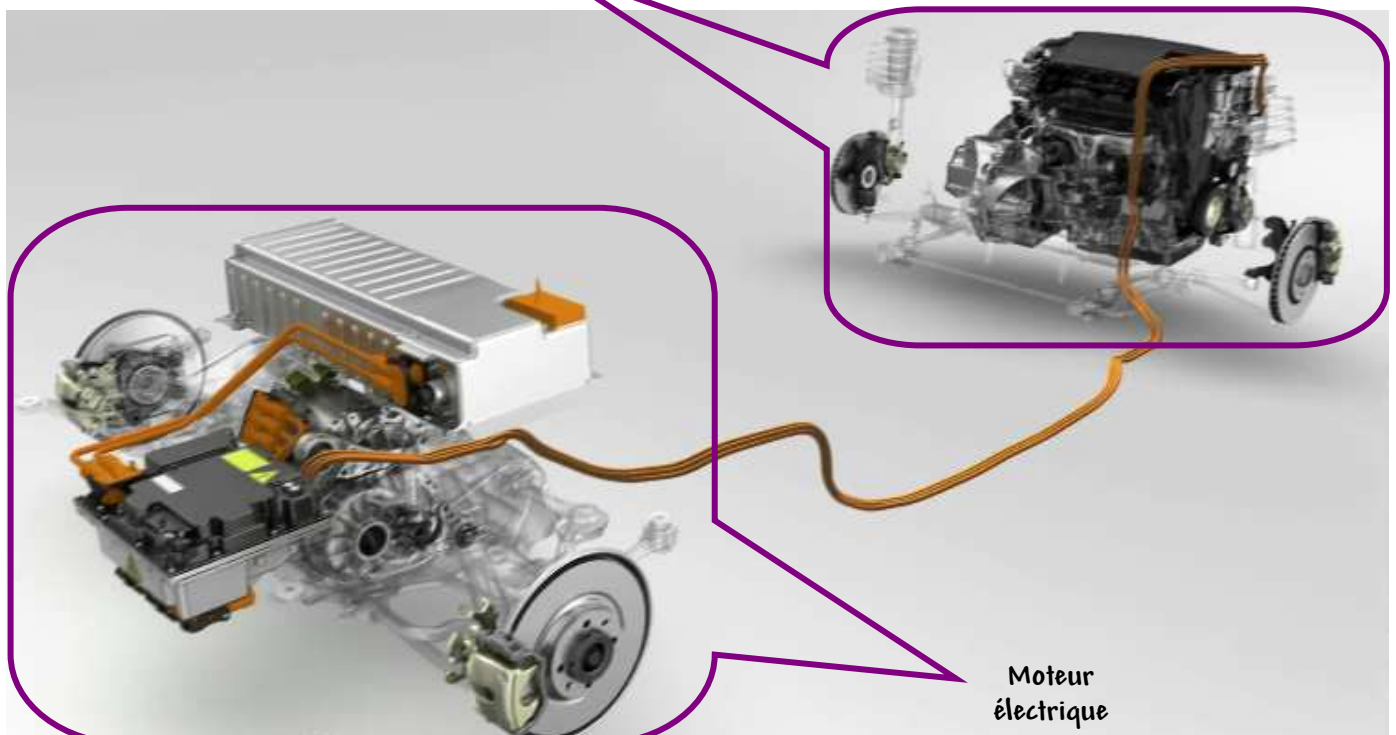


## 1 Limite d'étude



- 1 Moteur électrique
- 2 Batteries HT
- 3 Electronique de puissance
- 4 Alternateur-démarrage
- 5 Boîte de vitesses robotisée
- 6 Moteur thermique
- 7 Châssis moteur
- 8 Roues motrices de deux à quatre

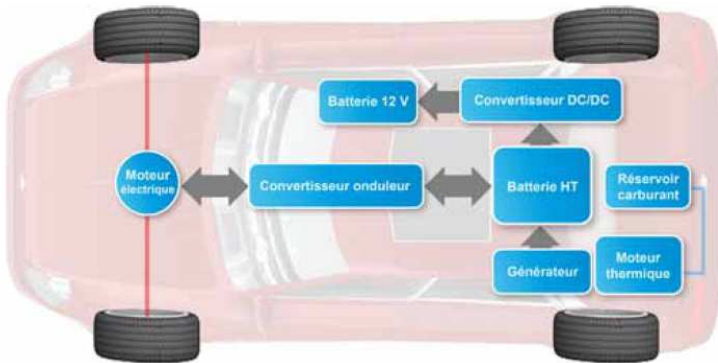
Moteur thermique



Moteur électrique

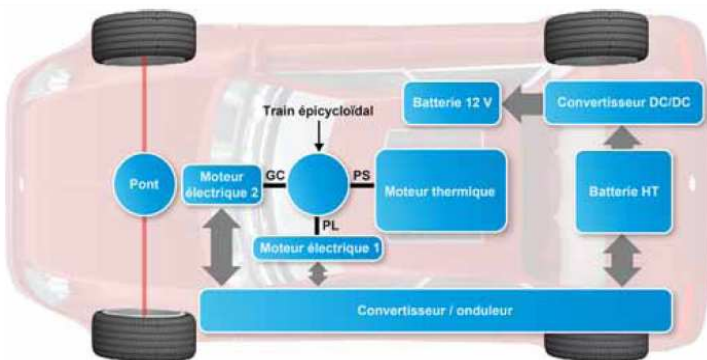
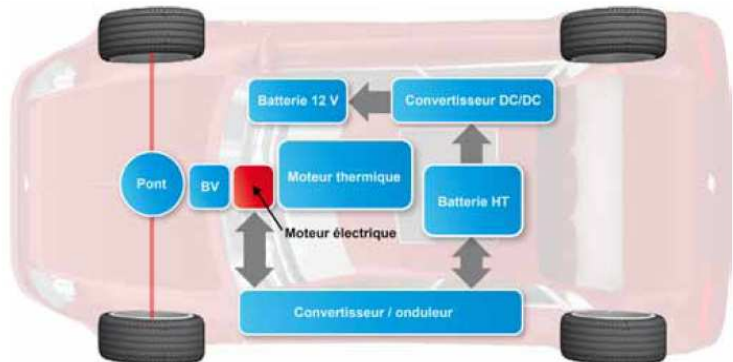
## II Différents familles de véhicules hybrides

Micro-Hybride



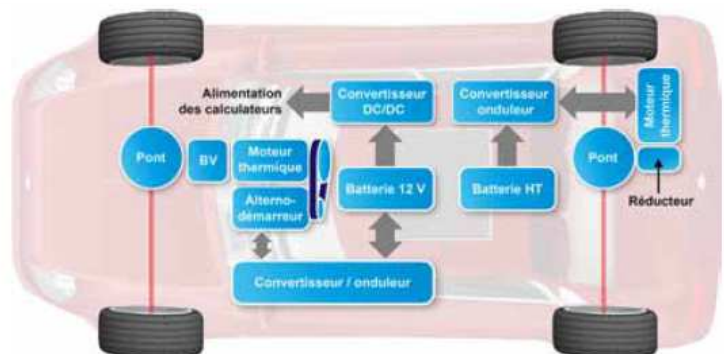
Hybride série

Hybride parallèle



Hybride série / parallèle

Autre configuration possible :  
Full hybride sur train arrière

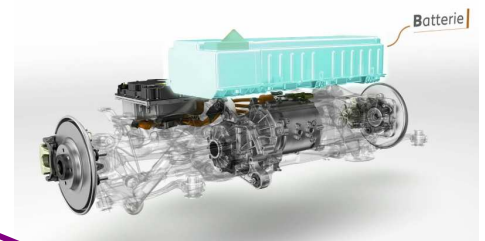
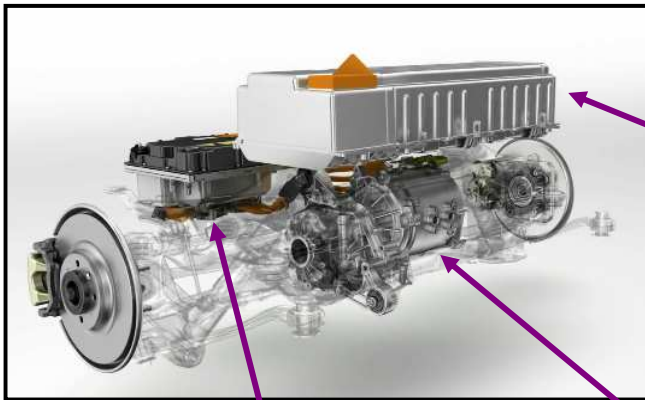


Famille	Puissance du moteur électrique	Plage de tension	Fonctions possibles	Économie de carburant
Micro-hybride	2 à 3 kW	12 V	- Fonction démarrage/arrêt	< 10 %
Mild-hybride	10 à 15 kW	42 à 150 V	- Fonction démarrage/arrêt - Fonction Boost * - Récupération d'énergie	< 20 %
Full-hybride	> à 15 kW	> 100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

Cela étant, ces combinaisons se composent toujours des éléments suivants :

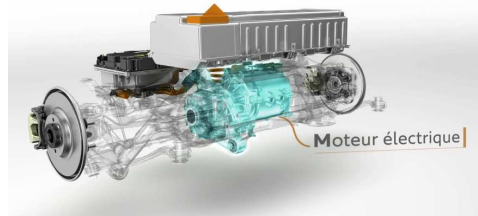
- **Batterie HT**
  - La batterie Haute Tension est le dispositif de stockage de l'énergie récupérée, cinétique ou potentielle, stockée sous forme électrique.
- **Moteur**
  - Le moteur convertit l'énergie électrique en énergie mécanique durant les phases de traction et inversement l'énergie mécanique en énergie électrique lors des phases de freinage (régénération).
- **Convertisseur onduleur**
  - Le convertisseur est le calculateur de puissance du moteur. Il reçoit 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 hybrides et thermiques nécessitent tous deux 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 (Haute Tension) et l'alimentation des consommateurs électriques lors de l'activation du véhicule par la mise du contact.
- **Chargeur**
  - Le chargeur permet d'adapter l'énergie fournie par le réseau de distribution d'électricité (220-380 V ~) afin de recharger la batterie HT. Cet élément est spécifique aux véhicules hybrides rechargeables.
- **Les flèches**
  - Les flèches symbolisent le sens de déplacement de l'énergie électrique.

### III Propulsion électrique

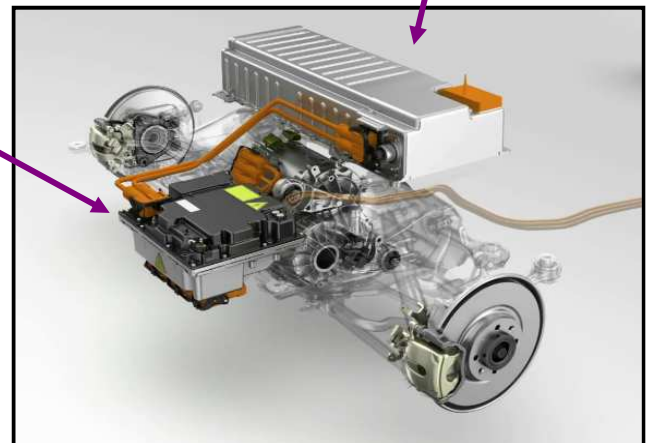


Les batteries HT  
( Ni-Mh ) nickel métal hydrure  
ou ( Li-ion ) lithium-ion  
ou ( Li-Po ) lithium polymère

Le Moteur électrique



L'électronique de  
puissance



- Les batteries lithium permettent en effet de stocker énormément de charges électriques sous forme d'ions sur les électrodes et de manière très compacte.
- Leur principe de fonctionnement réside sur la circulation des électrons pour générer un courant électrique : les ions lithium, agglutinés sur l'électrode négative en graphite, traversent l'électrolyte ( paroi centrale de la batterie ), pour se fixer sur l'électrode positive en dioxyde de cobalt.
- Les batteries lithium-ion ont une densité énergétique de 150 Wh/kg à 200 Wh/kg, soit quatre fois plus que la technologie nickel-cadmium et six fois plus que le plomb.
- Le temps de charge d'une batterie d'une voiture électrique est d'environ 8 h avec une prise domestique de 16 ampères. Il passe à 5 h avec la prise 32A destinée aux équipements de cuisine ( prise four ). Avec une prise 200A , il serait ainsi possible de charger la batterie en moins d'une heure, et de la charger à 50% de sa puissance nominale en vingt minutes.
- L'avenir sans doute de nouveaux types d'électrodes capables de stocker plus d'ions, comme l'oxyde de manganèse (  $\text{LiMnO}_2$  ) ou l'oxyde de nickel (  $\text{LiNiO}_2$  ). L'alternative peut être de changer l'électrode de graphite en la remplaçant par une feuille d'oxyde de titane, qui autorise une intégration des ions lithium plus rapide.

## IV Comparatif des différentes batteries

	Plomb	Ni/Cd	Ni/MH	ZEBRA Nickel Chlorure Sodium	Li-ion		Li-métal
					LiCoO <sub>2</sub>	LiFePO <sub>4</sub> <sup>(1)</sup>	polymère <sup>(1)</sup>
Disponibilité pour VE	En série	En petite série	En série	En petite série	En petite série	En petite série	En petite série
Énergie spécifique massique (Wh/kg)*	30-50	45-80	60-120	120	150-190	120-140	150-190
Énergie spécifique volumique (Wh/litre)*	75-120	80-150	220-330	180	220-330	190-220	220-330
Puissance en pointe (W/kg)	Jusqu'à 700	Jusqu'à 400	Jusqu'à 900	200	Jusqu'à 1500	Jusqu'à 800	Jusqu'à 250
Nombre de cycles (charge/décharge)	400-1200	2000	1500	800	500-1000	>2000	200-300
Autodécharge par mois	5 %	20 %	30 %	12 % par jour	10 %	5 %	10 %
Tension nominale d'un élément	2 V	1,2V	1,2 V	2,6 V	3,6 V	3.2 V	3 V
Gamme de température de fonctionnement	-20 °C à 60 °C	-40 °C à 60 °C	-20 °C à 60 °C	-40 °C à 50 °C (350 °C à coeur)	-20 °C à 60 °C	0 °C à 45 °C (charge) -20 °C à 60 °C (décharge)	0 °C à 60 °C (70-90 °C à coeur)
Avantages	Faible coût	Fiabilité Cyclabilité Performances à froid	Très bonne densité volumique d'énergie	Très bonne densité d'énergie Bonne cyclabilité	Excellent en énergie et puissance spécifiques	Très bonne Wh/kg en sécurité et cyclabilité. Faible coût par rapport au LiCoO <sub>2</sub>	Possibilité de batteries en films minces Très « logeable »
Inconvénients	Faible densité Wh/kg Mort subite	Faible densité Wh/kg Présence du Cd	Coût des matériaux de base Comportement en basse T °C	Puissance limitée Très forte autodécharge	Sécurité à maîtriser pour les gros éléments Coût	Charge à basse T °C	Performances à froid Coût
Coûts Indicatifs <sup>(2)</sup> (€/kWh)	200 à 250 <sup>(3)</sup> 200 <sup>(4)</sup>	600	1500 à 2000	800 à 900	2000	1000 à 1800	1500 à 2000

Tableau comparatif des différents accumulateurs

\* Les chiffres extrêmes des fourchettes correspondent à des tailles différentes d'éléments (les gros ayant en général des énergies spécifiques plus élevées) ou à des conceptions pour des applications différentes.

<sup>(1)</sup> Pas encore disponibles sur le marché pour les applications « véhicule électrique » ;

<sup>(2)</sup> pour les volumes actuels de production ;

<sup>(3)</sup> éléments prismatiques étanches ;

<sup>(4)</sup> éléments bobinés tubulaires.

## V Traction par moteur thermique



### → Moteurs thermiques

Le rendement des moteurs thermiques dépend du type de moteur :

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

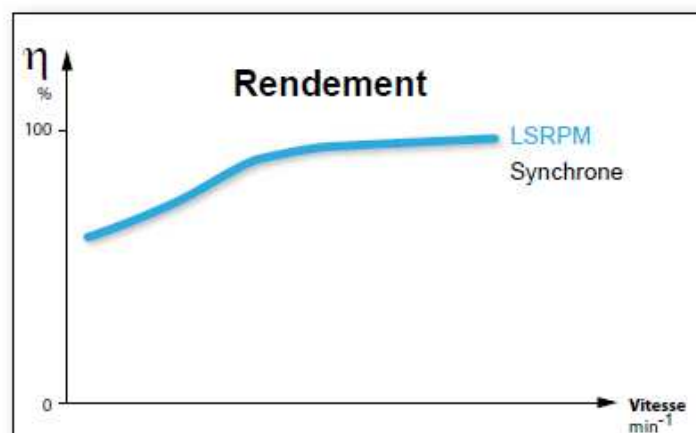
*Le rendement des moteurs thermiques*

Les rendements des moteurs thermiques (essence et diesel) restent faibles. 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.



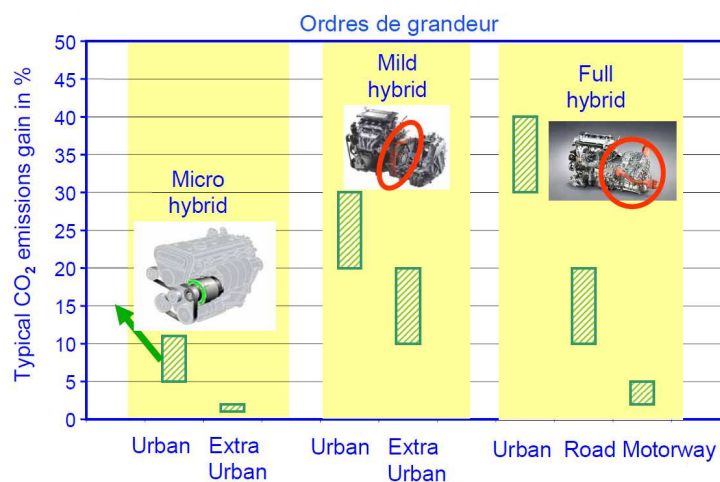
*Le rendement des moteurs électriques synchrones*

L'utilisation de la motorisation électrique permet de réduire considérablement les pertes énergétiques comme le montre le tableau ci-dessous :

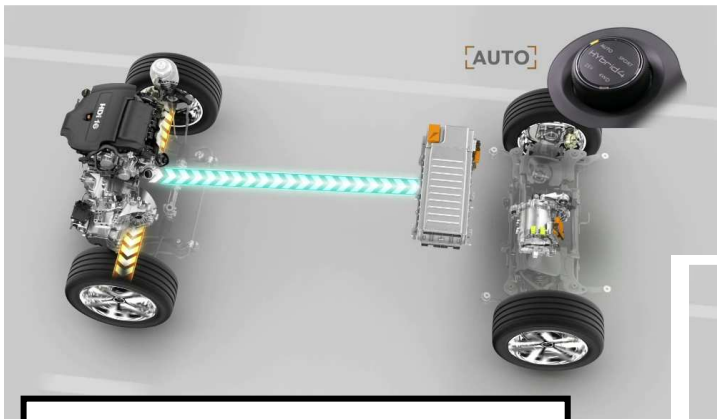
Phase de fonctionnement	Comportement énergétique avec moteur	
	thermique	électrique
Accélération	Le moteur fournit l'énergie mécanique qui est nécessaire au stockage de l'énergie cinétique et qui permet de vaincre les résistances à l'avancement.	Idem au thermique.
Vitesse stabilisée (déclivité nulle)	Le moteur fournit l'énergie mécanique nécessaire afin de vaincre les résistances à l'avancement.	Idem au thermique.
Légère déclivité (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.
Grande déclivité (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 et transforme l'énergie potentielle en énergie électrique et la stocke dans la batterie de traction afin de maintenir la vitesse.
Décélération (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 et transforme l'énergie cinétique en énergie électrique et la stocke dans la batterie de traction afin de diminuer la vitesse.
Freinage	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.
Arrêts momentanés (feux rouges, etc.)	Le moteur tourne au ralenti et consomme environ 5 % de la consommation à puissance nominale.	Le moteur électrique à l'arrêt ne consomme rien.

Tableau comparatif des pertes d'énergie  
(Sans prise en compte du rendement moteur)

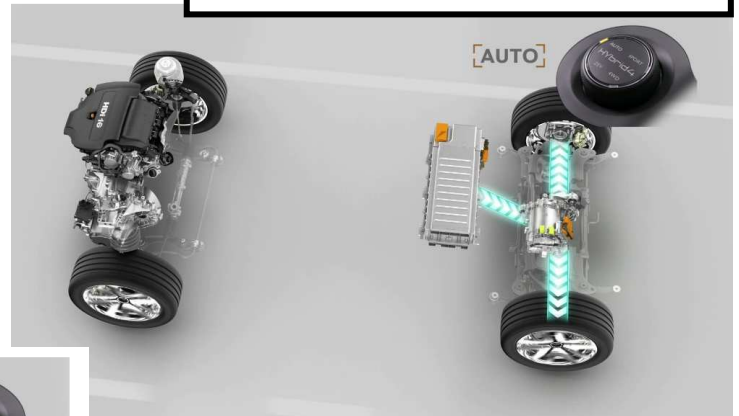
- Favorable
- Perte d'énergie



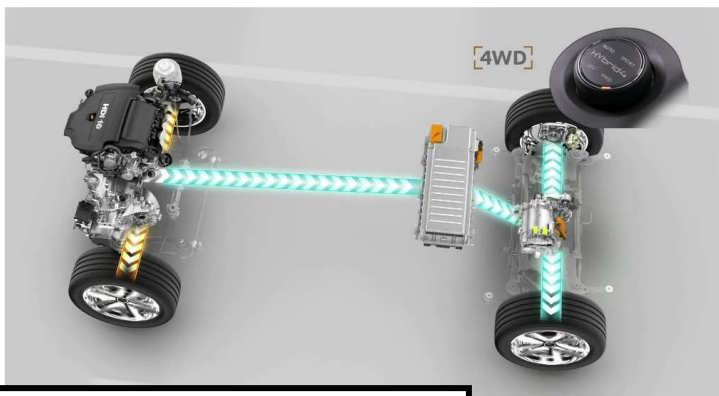
## VI Différents modes de fonctionnement



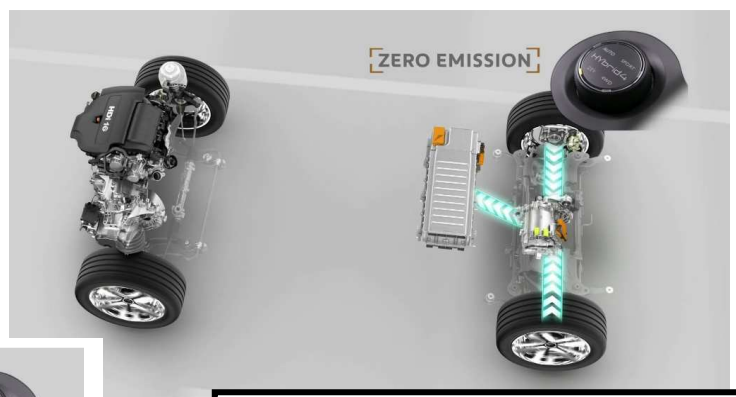
**Traction 2 roues motrices avants**  
Le moteur thermique fonctionne seul



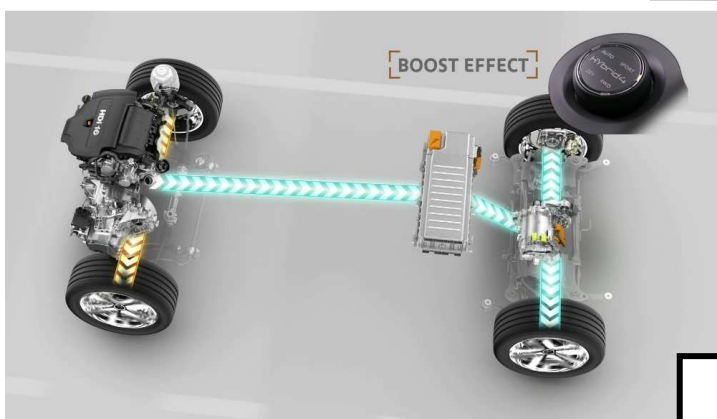
**Propulsion 2 roues motrices arrières**  
Le moteur électrique fonctionne seul



**4 roues motrices**  
Les deux moteurs, thermique et électrique, fonctionnent



**Récupération d'énergie au freinage**  
Le moteur électrique fonctionne comme un alternateur



**Forte accélération**  
Les deux moteurs fonctionnent  
( 4 roue motrices )