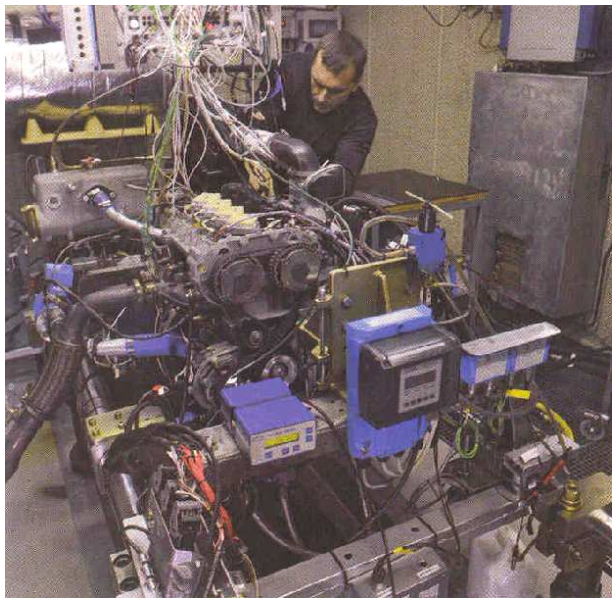
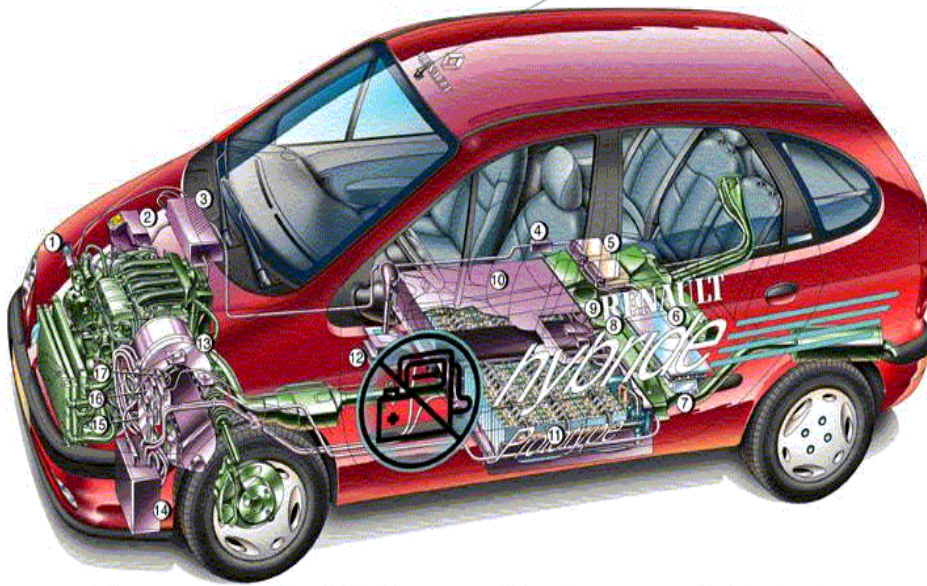


Chaînes de conversion

Les différentes technologies



Introduction

- Le véhicule électrique, et alors ?
Quelle est la difficulté ?
- Cela existe : France 2, JT 20h, lundi 26 décembre 2011,
reportage de Alain DE CHALVRON (Linoing)
<http://www.youtube.com/watch?v=VoAax3NNwTg>
- Exemple : Tesla Roadster



0 à 100 km/h en 3,9 s
aucun rejet de CO₂
propulsion : 100 % électrique,
Vitesse de pointe limitée
électroniquement à 212 km/h
autonomie de plus de 340 km
6 831 cellules Li-I, 450 kg, 53 kWh
375 volt AC induction motor
prix : 84 000 euros

3

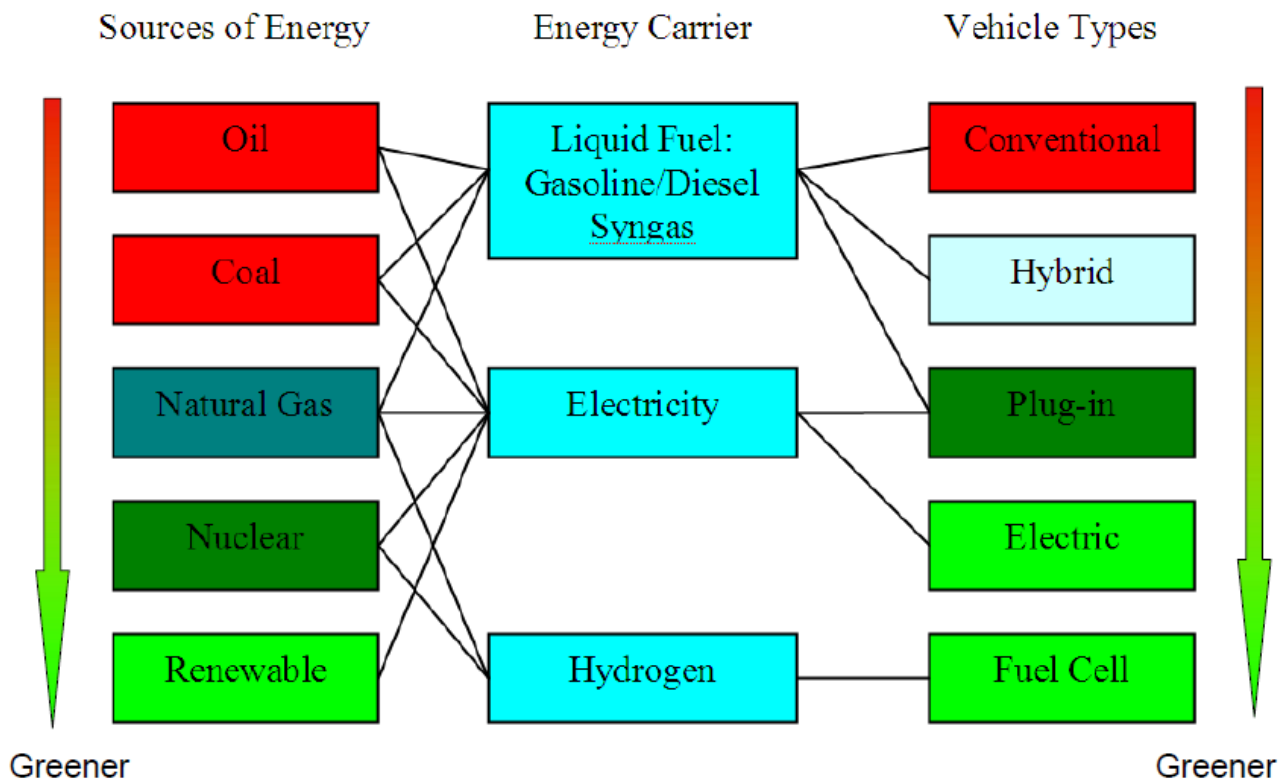
Introduction

- Objectif du cours
- Quels sont les caractéristiques et défis des propulsions des futurs véhicules automobiles ?
- Présentation des différentes technologies de véhicules électriques



4

A Sustainable Transportation



5

Différentes architectures pour la traction

■ Le véhicule tout électrique

Mono moteur

Bi moteur

Machine à courant continu

Machine synchrone

■ Le véhicule hybride

6

Véhicules électriques : Définition

Définition normalisée (IEC 61851) :

Véhicule dont la propulsion est assurée par un moteur alimenté par une batterie rechargeable à partir de sources d'énergie externes au véhicule [0].

La définition inclut les BEV (Battery Electric Vehicle) et PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) et non les HEV (Hybrid Electric Vehicle) car non rechargeables par l'extérieur.



elec 01

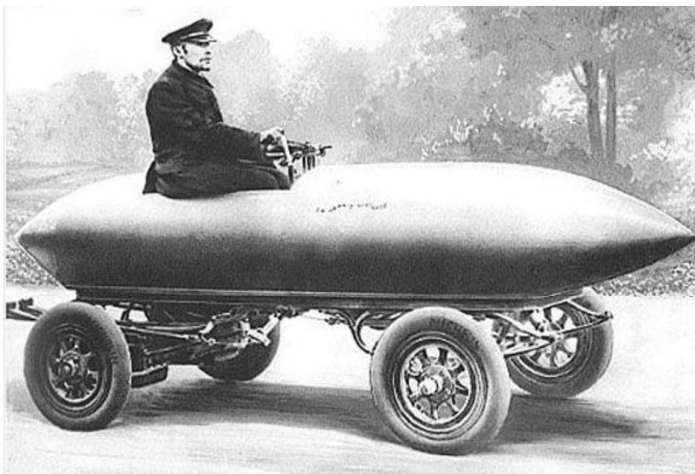
Le premier véhicule électrique, un train miniature, est daté de 1834. Le marché se développe à la fin du siècle, à la suite des travaux des français Gaston Planté et Camille Faure sur les batteries (ici, une Midlé en 1897).



Hall de Centrale Supélec

[0] P. Bauer, Yi Zhou, J. Doppler, N. Stemberge « Charging of Electric Vehicles and Impact on the Grid ». MECHATRONIKA, 2010 13th International Symposium

7



elec 02

Conçue par l'ingénieur belge Camille Jenatton, propulsée par une batterie au plomb, la Jamais Contente entre dans l'histoire en devenant la première voiture à dépasser les 100 km/h, atteignant 105,88 km/h le 1er mai 1899.



elec 03

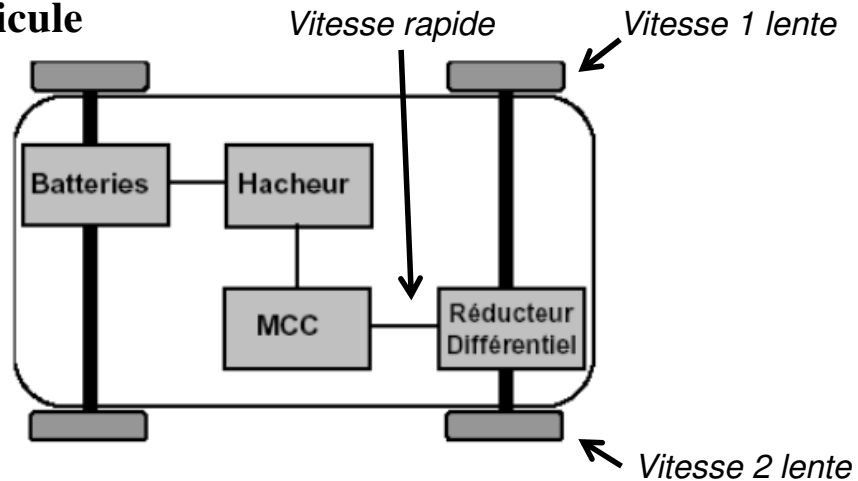
Lorsqu'il débute en 1899 ses travaux pour améliorer l'autonomie des batteries, Thomas Edison (photographié ici en 1914) est convaincu que les voitures du futur seront électriques. Aux Etats-Unis, sur les 4192 voitures vendues en 1900, 28% sont électriques.

Le véhicule électrique (mono moteur)

Architecture avec moteur à courant continu :

- _ Une batterie
- _ un variateur (un hacheur réversible)
- _ une machine à courant continu
- _ un réducteur différentiel (réduction de la vitesse, augmentation du couple)

EV: Electrical Vehicle



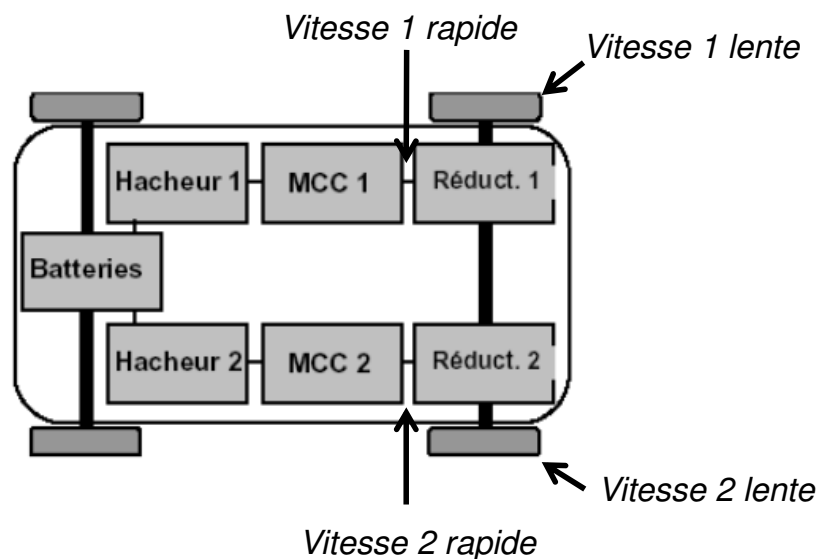
Architecture à modéliser et à simuler sous Simulink

9

Le véhicule électrique (bi moteur)

On double la chaîne énergétique de traction

Architecture avec Moteur à Courant Continu (MCC)



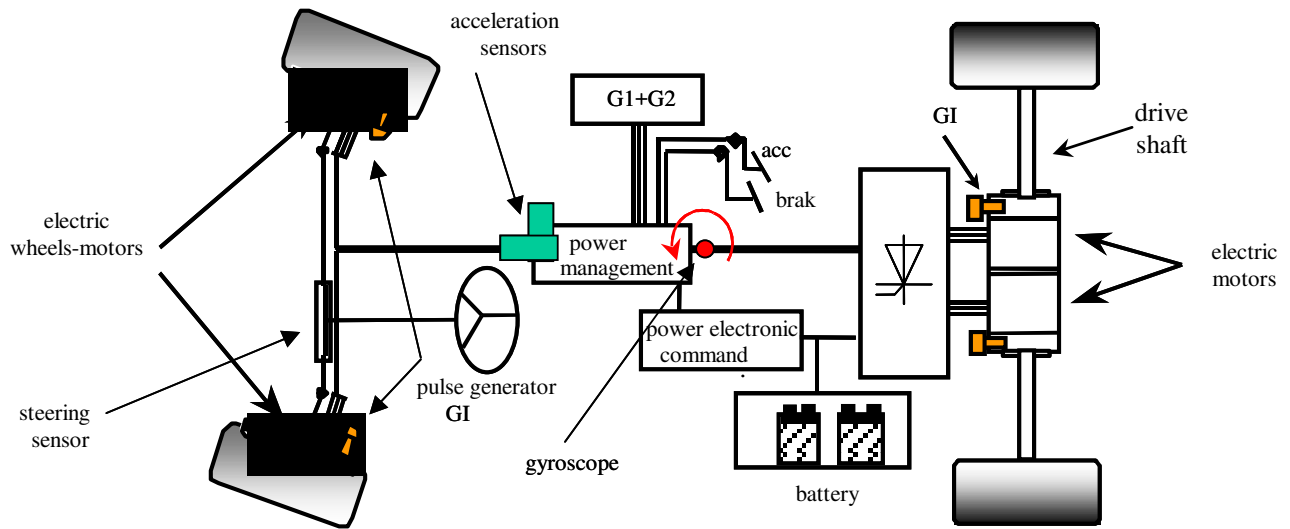
Plus de différentiel mécanique

Augmentation de la fiabilité -> 2 chaînes de traction

Fonctionnalité recrée par la supervision de la commande des deux moteurs

10

Le véhicule électrique (quadri moteur)

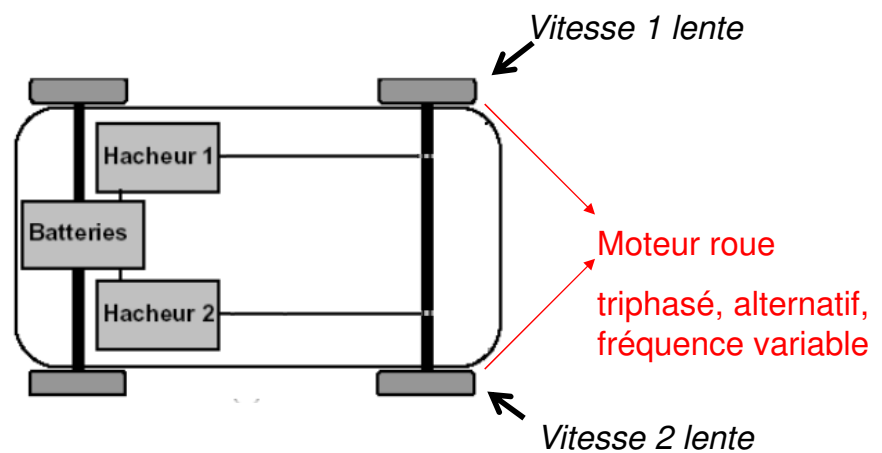


11

Le véhicule électrique (bi moteur)

Architecture avec moteur synchrone (dans la roue) :

- _ Une batterie
- _ deux variateurs (onduleur)
- _ deux machines synchrones



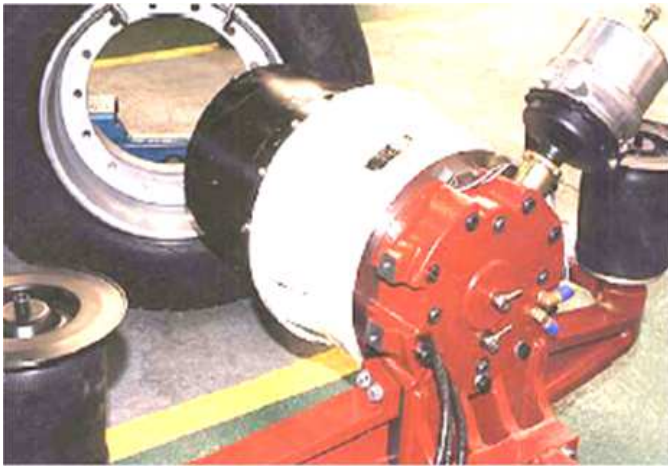
Plus de réducteur !

Plus de différentiel mécanique

Fonctionnalité recrée par la supervision de la commande des deux moteur

Le véhicule électrique (bi moteur)

Exemple : Cristalis (Bus avec caténaire)



La roue motorisée



L'essieu moteur

L'essieu avant est directeur, les essieux milieu et arrière sont moteurs

Indiquez où se trouvent les aimants en faisant un schéma en coupe d'une roue.

13

Le véhicule électrique (bi moteur)

Exemple : Michelin Seiki

Active wheel =
système de freinage +
barre antiroulis +
colonne de transmission +
organes moteurs +
suspensions



- 1 : moteur (breveté) 38kW pour 5,8kg
- 2 : suspension intégrée, temps de réponse quasi-instantané (3/1000 s)
- 3 : freinage classique (disque + étrier)
- 4 : Attache mécanique unique

14

Le véhicule électrique (bi moteur)

+ Intégration des batteries dans la roue → EZ-Wheel

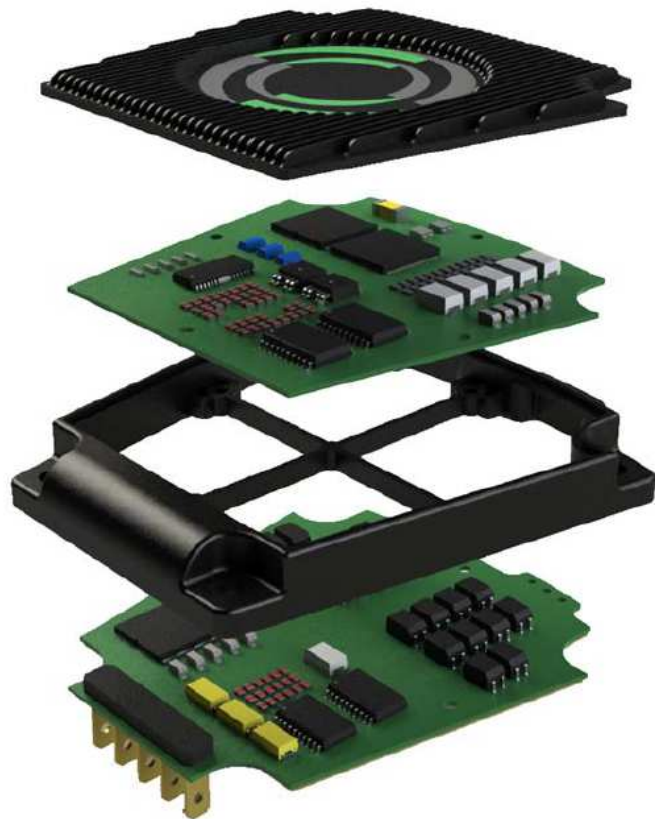
15

Comment réduire les composants dans la roue ?

Exemple: pneumatique en « nid d'abeille »



16



Challenges:

- Mechanical conditions
- Packaging and integration

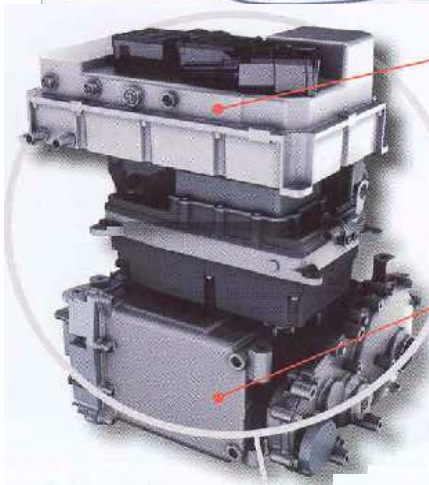


» FICHE TECHNIQUE

Modèle Renault Kangoo Express ZE (zéro-émission)
Moteur synchrone à rotor bobiné de 44 kW (rendement 90 %), maximum 10 500 tr/min, couple 226 Nm
Batterie lithium-ion de 22 kWh en position centrale sous le plancher

Vitesse maximale 130 km/h
Autonomie 160 km
Temps de recharge 6 à 8 heures sur une prise 220 V - 16 A
Poids 1410 kg à vide
Capacités 2 places, 3 à 3,5 m³ et 650 kg
Commercialisation au premier semestre 2011

Monomoteur, sans réducteur avec différentiel



L'intelligence

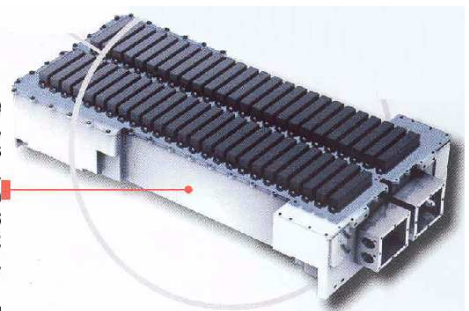
Elle comprend le boîtier d'interconnexion, le chargeur de la batterie, l'onduleur qui alimente le moteur et adapte sa vitesse. Le tout sous contrôle du superviseur qui assure la communication entre l'électronique du moteur et les éléments extérieurs (batterie, véhicule, actions du conducteur). L'énergie de freinage est récupérée dans la batterie lors de la circulation.

Les muscles

La partie mécanique du motopropulseur se compose d'un moteur électrique synchrone à haut rendement d'une puissance de 50 à 70 kW, tournant jusqu'à 12 000 tr/min. Un réducteur à rapport fixe transmet le mouvement vers les arbres de roue.

L'énergie

C'est le pack de batterie qui fait office de réservoir d'énergie. Il comporte deux rangées de 24 modules fournissant au total une capacité de 20 kWh. Chaque module contient quatre cellules lithium-ion de 3,7 V. Les réactions électrochimiques qui s'y produisent permettent de stocker le courant de recharge et de le restituer lors de l'utilisation.



Le véhicule électrique (mono moteur)

Exercice

Représentez la chaîne de conversion énergétique de la Kangoo ZE

19

AIXAM MEGA TRUCK
Autonomie 45 km
Vitesse maxi 65 km/h
Batterie Plomb
Déjà disponible

RENAULT ZOE Z.E.
Autonomie 160 km
Vitesse maxi 140 km/h
Batterie Lithium ion
Disponibilité mi-2012

SMART ED
Autonomie 160 km
Vitesse maxi 120 km/h
Batterie Lithium ion
Disponibilité 2012

Trois points à surveiller

AUTONOMIE
Suivant les conditions d'utilisation (météo, fréquence des démarrages...), le kilométrage annoncé par les constructeurs est souvent 20% inférieur à celui réellement disponible.

RENTABILITÉ
Très faible kilométrage s'abstenir. L'intérêt du véhicule électrique réside dans son faible coût d'usage, mieux vaut utiliser au maximum l'autonomie disponible... Et rouler souvent.

RECHARGE
Les recharges rapides qui boostent la voiture sur quelques kilomètres diminuent la durée de vie des batteries. Elles doivent rester une solution de dépannage.

ILLUSTRATION : M. GÉRARD - PHOTO : D. G.

20

Batteries

Lead-Acid



- Life cycle: ~ 4 years
- Cycles at 20 % discharge depth:
 - Lead-acid battery: ~ 400
 - AGM (Absorbent Glass Mat): ~ 1000
- Energy density: ~ 40 Wh/kg
- Price: Low
- Complexity: Low

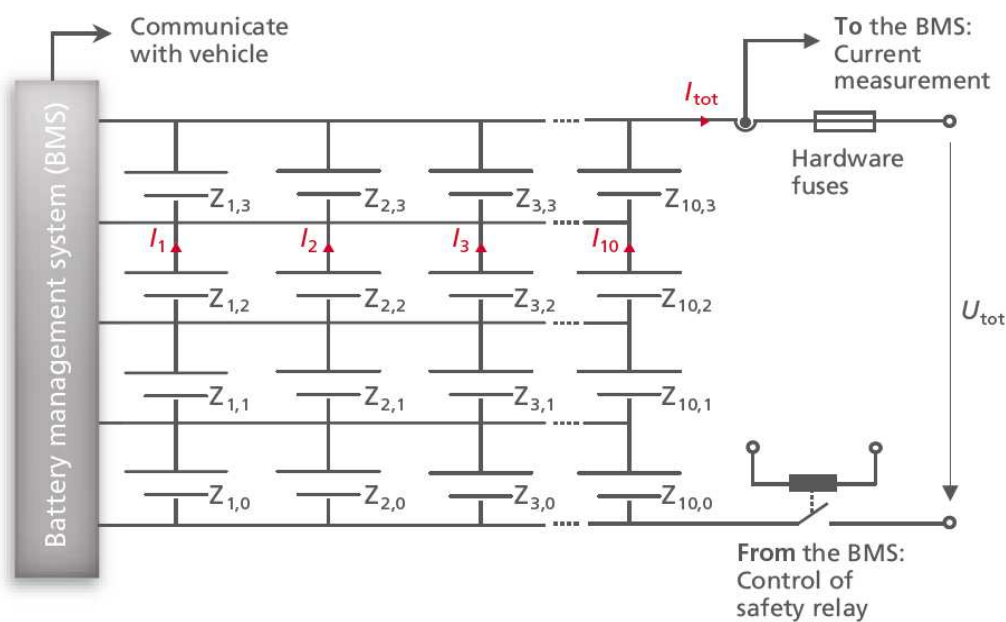
Li-Ion



- Life cycle: ~ 15 years
- Cycles at 20 % discharge depth: 15,000
- Energy density: 50 - 100 Wh/kg
- Price: Currently five times higher than lead-acid batteries
- Complexity: High (requires a battery management system).

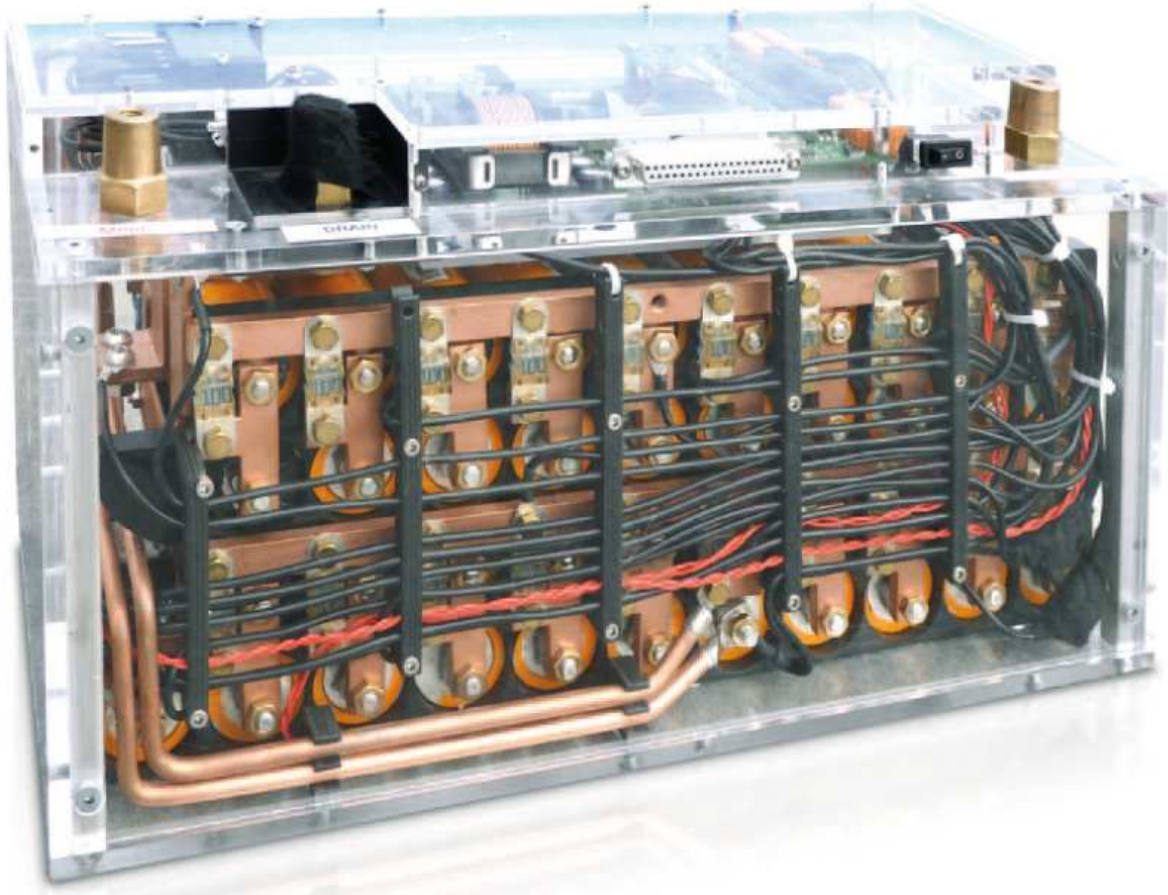
21

Battery Management System



22

BMS



23

BMS

Data Processing

- Program sequence control
- Historization

Monitoring

- Deep discharge
- Overcharge
- Overcurrent
- Overtemperature

Algorithms

- State of charge (SOC)
- State of health (SOH)
- Startability
- Charge current control
- Cell balancing strategy



Control of Actuators

- Safety relay
- Cell balancing
- Charge current control

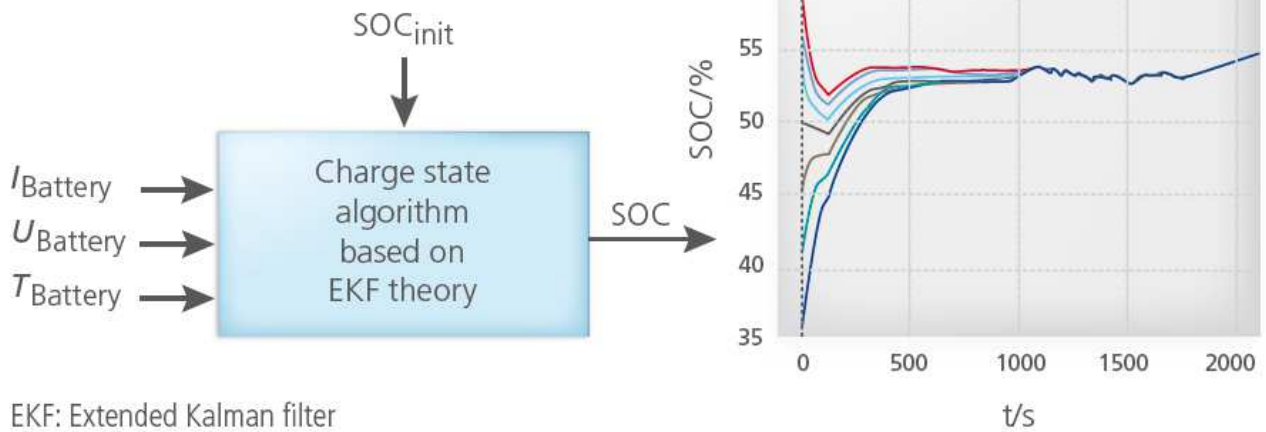
Measurement Data Acquisition

- Total voltage
- Cell voltages
- Cell temperatures
- Total current

Communication with Vehicle's Energy Management

- State of charge (SOC)
- State of health (SOH)
- Startability

24



25

Matériaux et terres rares

12 à 15kg de terres rares (cérium, lanthane, néodyme et praséodyme) contenus dans un véhicule hybride

Ils dopent la batterie

MÉTAUX: CÉRIUM, LANTHANE

- Effets:** Leur alliage constitue l'électrode négative de la batterie au nickel-hydrure métallique (Ni-MH) alimentant le véhicule. Il se caractérise par une grande capacité d'absorption de l'hydrogène – jusqu'à 1000 fois son propre volume –, qui véhicule les échanges électrochimiques au sein de la batterie.
- Perspectives:** Pionniers en la matière, les groupes Umicore et Rhodia, commencent à recycler les batteries Ni-MH. En charge de leur démantèlement, Umicore en récupère le nickel. Les terres rares résiduelles sont envoyées à Rhodia. Reste à consolider les filières de collecte.

26

Matériaux et terres rares

Ils magnétisent le moteur électrique

MÉTAUX: NÉODYME, PRASÉODYME, DYSPROSIUM, TERBIUM

- **Effets:** Le néodyme, mélangé au bore et au fer, constitue les aimants permanents du moteur électrique synchrone. Ce type d'aimants surclasse les performances des aimants classiques en ferrite d'un facteur dix. L'ajout de 5% de dysprosium maintient ces performances à haute température.
- **Perspectives:** Toyota planche avec l'américain Tesla sur une motorisation électrique sans aimants permanents. Côté recyclage, le chimiste Rhodia récupère et traite des concentrés de terres rares auprès de partenaires spécialisés dans le démantèlement d'aimants.



Ils euphorisent les écrans LCD

MÉTAUX: INDIUM, EUROPIUM, YTTRIUM, CÉRIUM

- **Effets:** Les propriétés phosphorescentes du duo europium/terbium sont à la base du rétroéclairage de la plupart des écrans LCD. Leur cousin yttrium se rend également indispensable comme porteur des nuances rouges de l'europium. Autre composant névralgique: l'ITO (indium tin oxyde), un oxyde d'indium, dopé à l'étain. C'est le conducteur idéal pour les fines électrodes transparentes qui recouvrent écrans plats et dalles tactiles.
- **Perspectives:** Des unités pilotes de séparation de l'indium des dalles LCD sont à l'essai en France. La séparation simultanée du trio indium-europium-yttrium n'est pas à l'ordre du jour. Les nanotubes de carbone, transparents et conducteurs comme l'ITO, sont une piste de substitution.



27

Matériaux et terres rares

Ils boostent le polissage des vitres

MÉTAUX: CÉRIUM, LANTHANE, PRASÉODYME

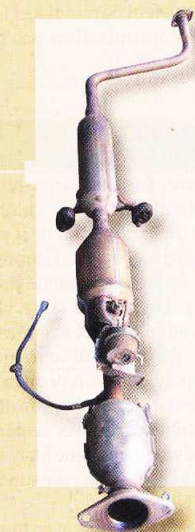
- **Effets:** Champion du polissage de précision, l'oxyde de cérium a totalement remplacé l'oxyde de fer pour le traitement de tous types de surfaces optiques.
- **Perspectives:** Le recyclage des boues de polissage est à l'étude. Mais ce gisement ne semble pas prioritaire. La filière de collecte est encore inexistante.



Ils stimulent le pot catalytique

MÉTAUX: CÉRIUM, LANTHANE, PLATINOÏDES

- **Effets:** Les platinoïdes (platine, palladium, rhodium...) sont de puissants catalyseurs. Au cœur des pots catalytiques, ils accélèrent la dégradation des gaz d'échappement (oxyde de carbone, hydrocarbures et oxydes d'azote) en substances moins nocives. Quant au lanthane et au cérium, leurs oxydes finement dispersés s'utilisent en substitution ou en complément au très précieux platine.
- **Perspectives:** Dans les pots catalytiques en fin de vie, les platinoïdes sont bien récupérés. Mais il n'existe pas à ce jour de procédé viable pour extraire aussi le cérium et le lanthane.



28

Le véhicule hybride

Un véhicule hybride est un véhicule possédant au moins un moteur thermique et au moins un moteur électrique.

Ne pas oublier l'avantage du pouvoir calorifique du moteur thermique, ordre de grandeur:

1kg de pétrole=1,3l=11,6kWh= 230kg de batteries=10kg d'H₂= 1mg d'Uranium

La motorisation est hybride mais l'alimentation peut l'être aussi !

Exemple : Batterie + Supercondensateurs + Pile à Combustible + Pétrole

HEV: Hybrid Electrical Vehicle

29

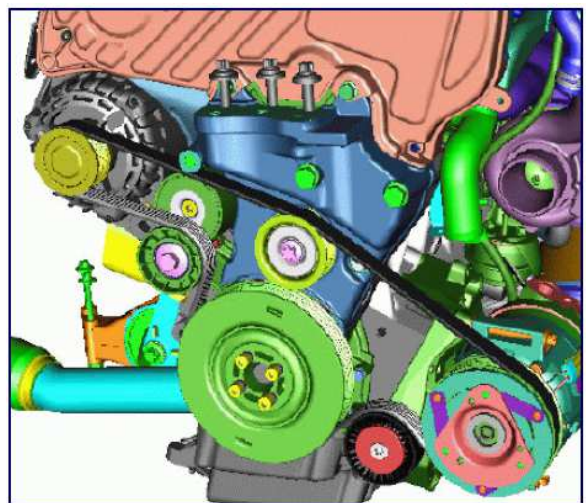
Systeme Stop and Start : Fondements

Fonction d'un démarreur :

Un démarreur est un moteur alimenté à partir de la batterie et destiné à lancer un moteur à combustion interne car un régime de rotation suffisant doit lui être imprimé pour alimenter les cylindres

Fonction d'un alternateur:

L'alternateur est entraîné par le moteur thermique (courroies) et recharge la batterie et alimente électriquement les équipements



Objectif : Economies d'énergie possible

Au delà de trois secondes d'immobilité, l'arrêt du moteur thermique est bénéficiaire.

30

Système Stop and Start : Hybrider des fonctions

Principe :

Le système Start and Stop consiste à hybrider les fonctions alternateur et démarreur sur un même équipement : l'alternateur-démarreur

Assistance sur le moteur thermique :

Dès que la vitesse atteinte est inférieure à 6 km/h, le moteur se met en veille, l'embrayage est alors ouvert.

Le moteur reste alors en veille tant que la pédale de frein est enfoncée.

Dès lors que celle-ci est relâchée, le moteur redémarre automatiquement, instantanément, en silence et presque sans aucune vibration.

Lorsque l'accélérateur est à nouveau sollicité, l'embrayage se referme progressivement.

31

Système Stop and Start : StARs (Valéo)

L'entraînement de l'alternateur-démarreur est réalisé par une courroie pouvant aussi servir d'autres accessoires tels que le compresseur de climatisation, la pompe à eau ou de direction assistée.

Un tendeur réversible lui permet **d'accepter la transmission de puissance dans un sens ou dans l'autre**, selon que l'alternateur-démarreur StARS travaille en démarreur ou en générateur.

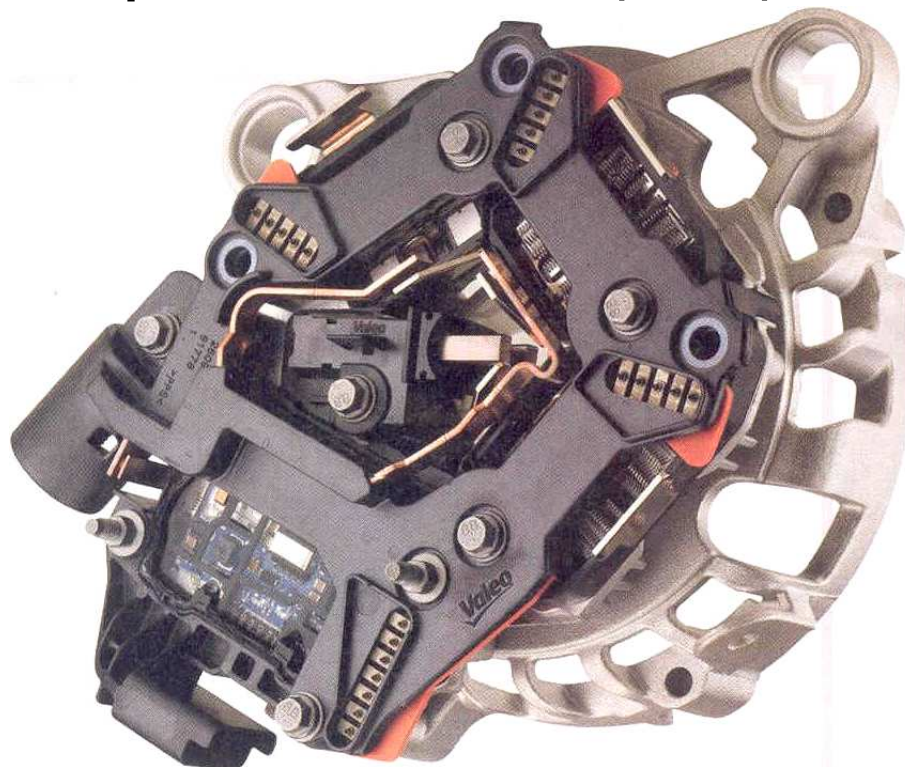
Il est associé à une **batterie** acceptant un plus grand nombre de cycles de charge/décharge.

La batterie est surveillée grâce à un capteur permettant:

- d'inhiber la fonction Start-Stop en cas **de charge trop faible** ou
- de commander le redémarrage du moteur en cas **de charge trop forte**.

32

Système Stop and Start : StARs (Valéo)



2004.

Citroën C3 1.4i 16V,

Citroën C2.

Baisse de la consommation de 3% en conduite urbaine chargée

Consommation descendue à 4 l/ 100 km

BNiveau de CO2 à seulement 103 grammes/kilomètre.

33

Système Stop and Start : StARs (Valéo)

L'alternateur StARS est une **machine synchrone triphasée avec rotor à griffes**, refroidie par circulation d'air

conversion triphasée alternative/ continu 12 volts réalisée par un convertisseur électronique déporté

En **mode démarreur**, le convertisseur électronique fournit trois courants déphasés de 120° en relation avec les informations des **3 capteurs de position** de l'axe.

Courant nominal de 600 A générant un couple élevé pour un entraînement immédiat du moteur thermique (<0,4s) et à régime plus élevé qu'avec un démarreur conventionnel,

Ensuite **en mode alternateur** avec redressement des 3 courants réalisé par le convertisseur électronique (Transistor à Effet de Champ MOSFET).

C'est l'une des raisons du rendement de l'alternateur StARS : 82 %, soit 10 % de mieux que l'alternateur conventionnel le plus performant du marché. La machine débite un courant allant jusqu'à 80 A.

34

Hybrider la traction

Principe : Disposer de plusieurs motorisations et plusieurs sources afin d'en exploiter leurs caractéristiques

Exemple : Électrification du Groupe Moto Propulseur conventionnel

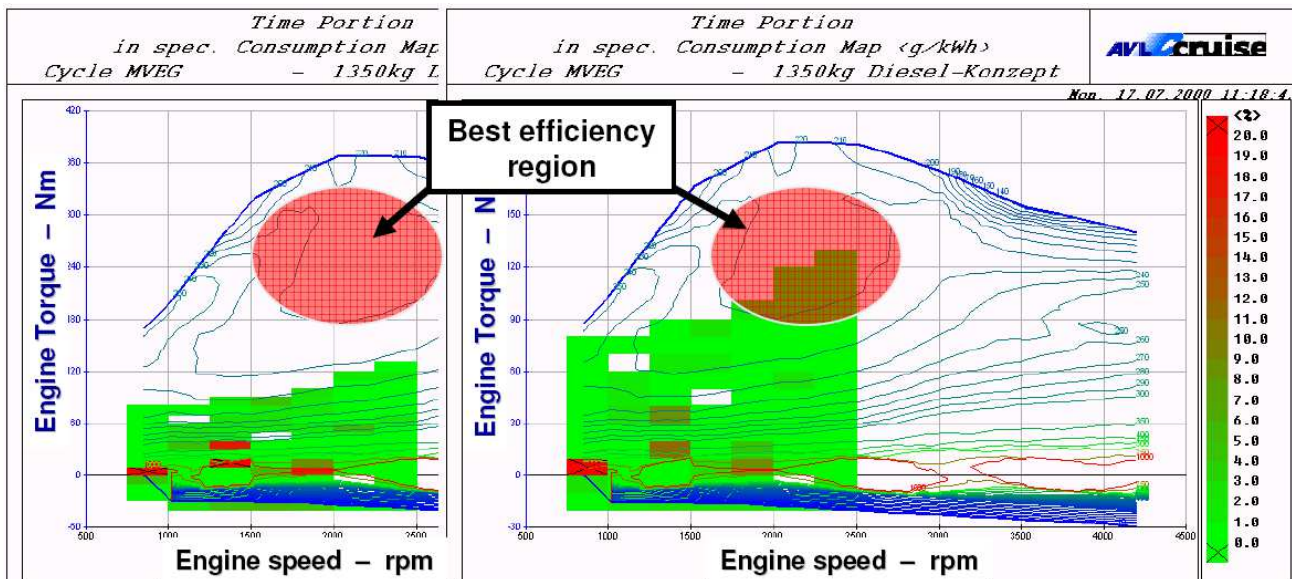
Intérêt : Réduction de la consommation et
Amélioration de l'agrément de conduite

Comment ? : en assistant le moteur thermique et
en employant celui-ci à son meilleur point de fonctionnement.

Utilisation de la caractéristique couple/vitesse

35

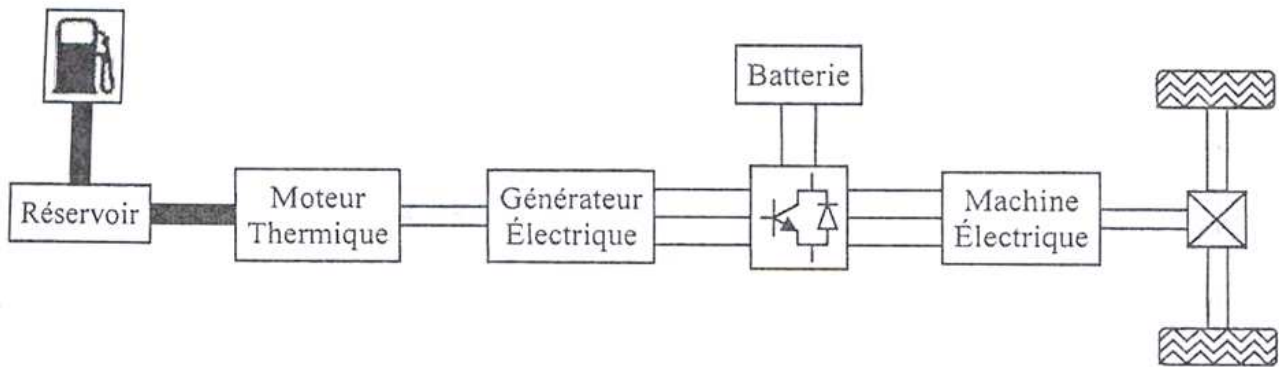
Exemple de caractéristique couple/vitesse



3 architectures : Série
Parallèle
À dérivation de puissance.

36

Le véhicule hybride série



Traction 100% électrique

Le groupe électrogène fournit la puissance moyenne, la batterie les pics de puissance

Fonctionnement optimal du moteur thermique sur une très grande plage de fonctionnement car il n'est pas couplé aux roues

Mauvais rendement de la chaîne énergétique globale

37

Recharge des batteries par récupération d'énergie au freinage ou par le moteur thermique

L'ensemble moteur thermique + Générateur électrique constituent un groupe électrogène

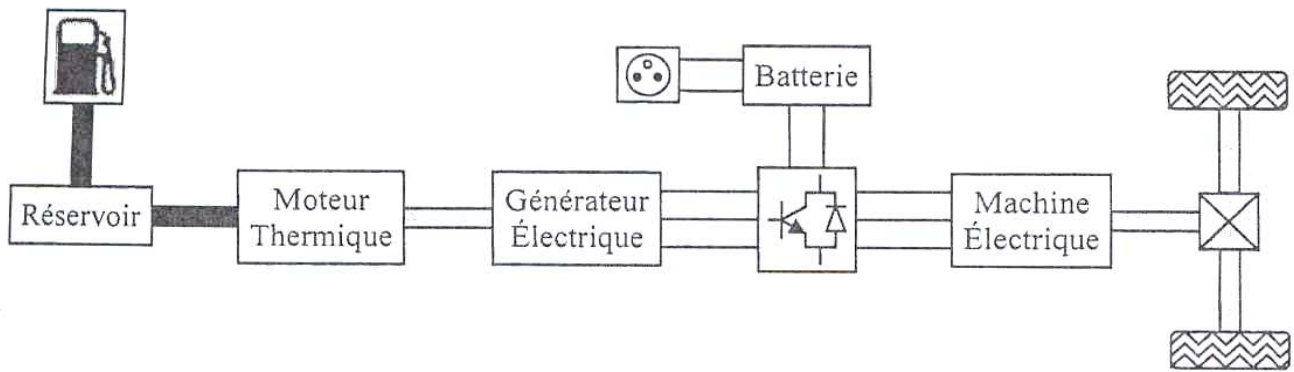
Coté CO₂, réduction à la marge

Exemple:

Voiture de l'année 2012 :

- Chevrolet Volt, voiture hybride série
- moteur électrique: 111 kW (151 ch)
- consommation moyenne dans le cycle mixte est de 1.2 l/100 km, avec des émissions de CO₂ de moins de 27 g/km.

Le véhicule hybride série : PHEV



Possibilité de recharger les batteries à partir du réseau électrique

PHEV: Plugin Hybrid Electrical Vehicle

Véhicule hybride à dominante électrique avec prolongateur d'autonomie thermique

Gestion automatique des énergies électrique et thermique tout en se gardant la possibilité d'un fonctionnement forcé purement électrique

39

Le véhicule hybride série : PHEV

Caractéristiques principales

- Technologies innovantes pour la chaîne de traction :
 - batterie de traction Lithium
 - moteur électrique synchrone à aimants permanents
 - altesno-démarrereur du groupe électrogène

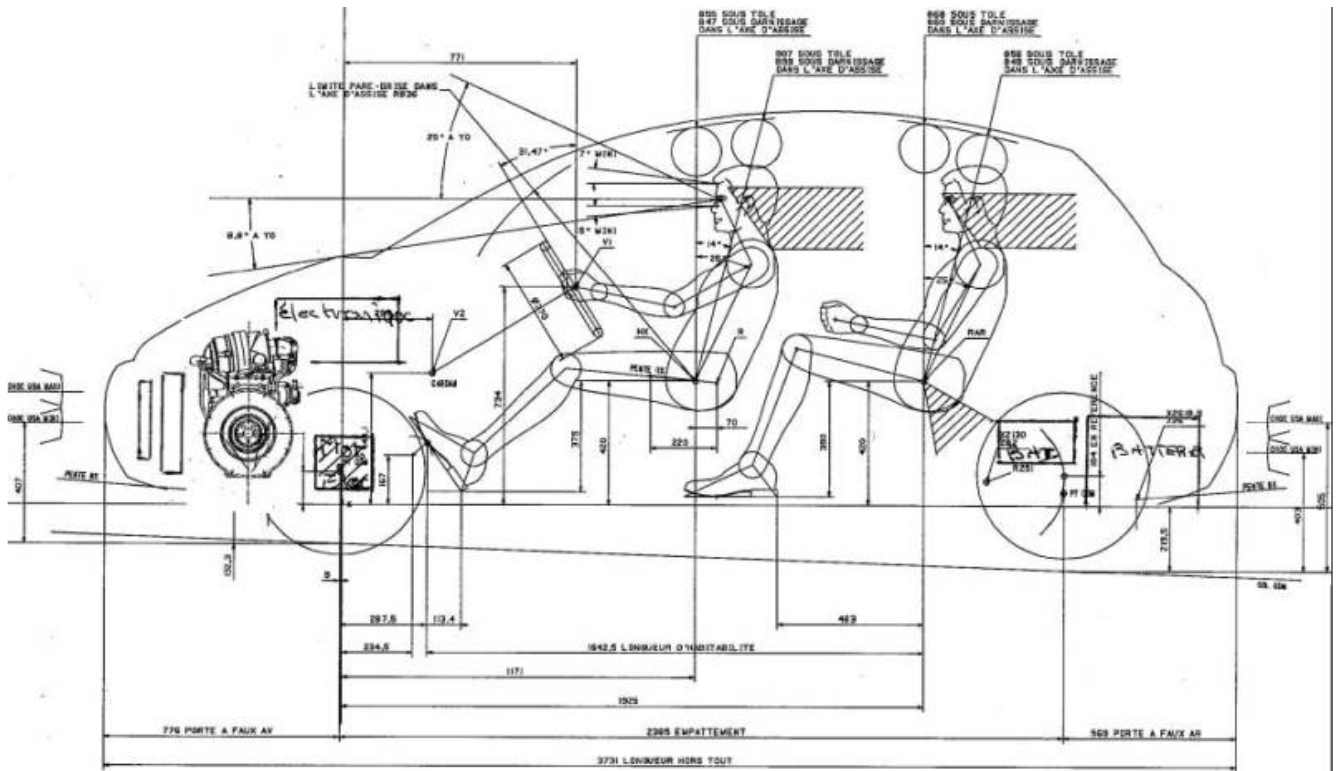
Le projet **VNX- Dassault et Heuliez (D-H)**

40

Le véhicule hybride série : PHEV

Le projet VNX- Dassault et Heuliez (D-H)

Implantation de la chaîne de traction en élévation

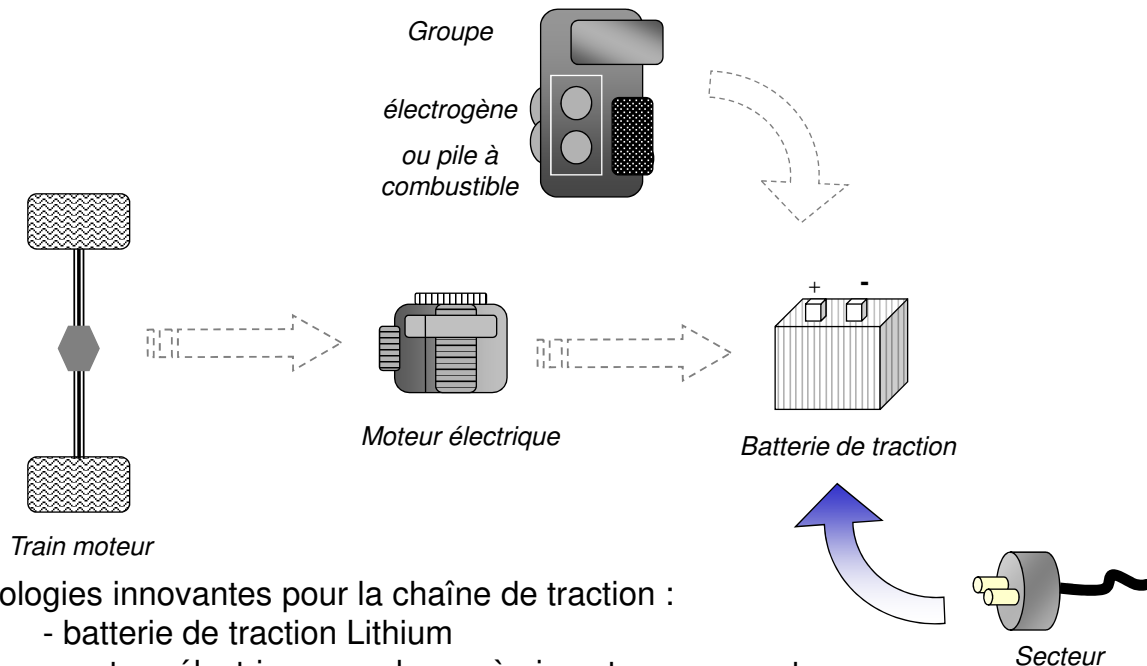


41

Le véhicule hybride série : PHEV

Le projet VNX

Mode charge à partir du réseau électrique



Technologies innovantes pour la chaîne de traction :

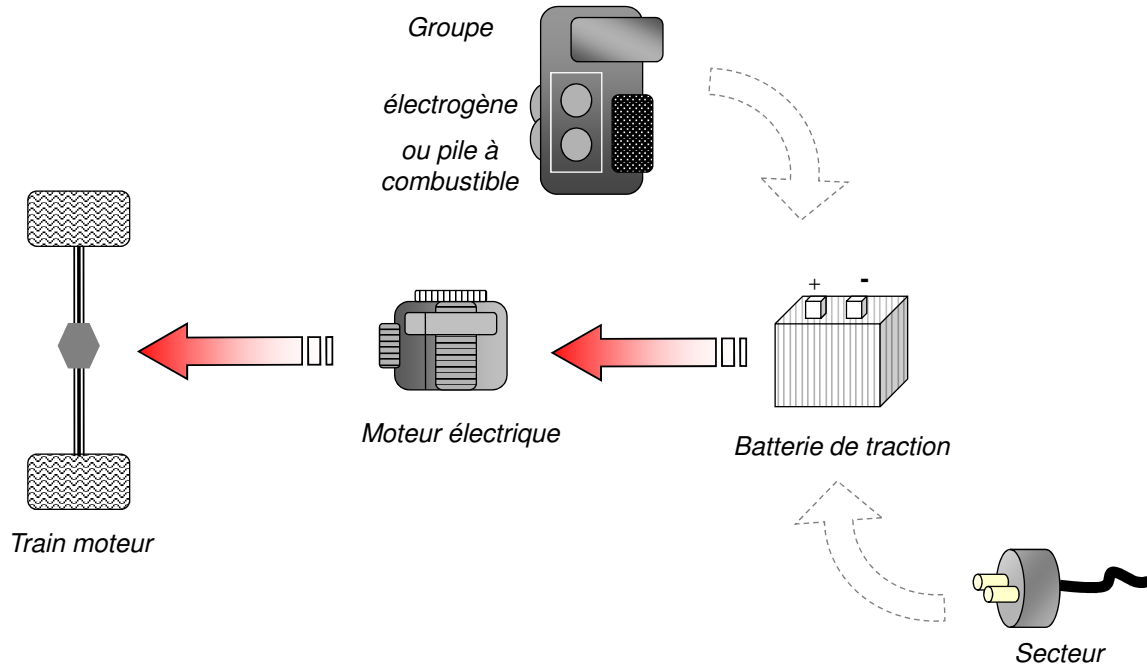
- batterie de traction Lithium
- moteur électrique synchrone à aimants permanents
- alerno-démarrreur du groupe électrogène

42

Le véhicule hybride série : PHEV

Le projet VNX

Mode traction purement électrique

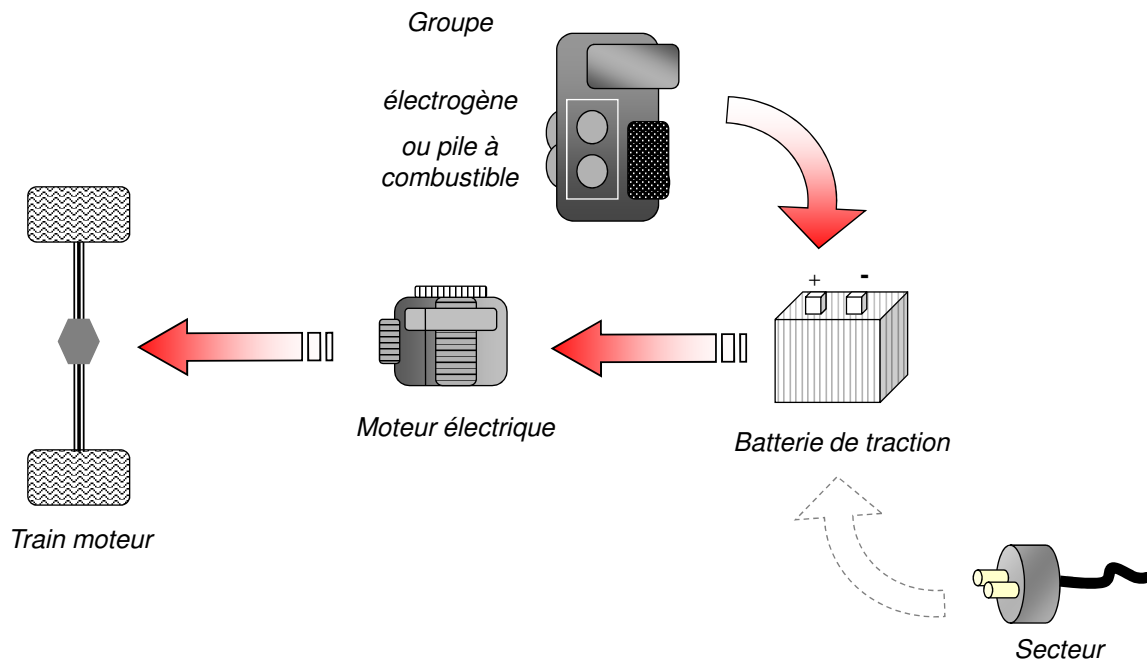


43

Le véhicule hybride série : PHEV

Le projet VNX

Mode traction avec recharge de la batterie par le groupe électrogène ou la pile à combustible

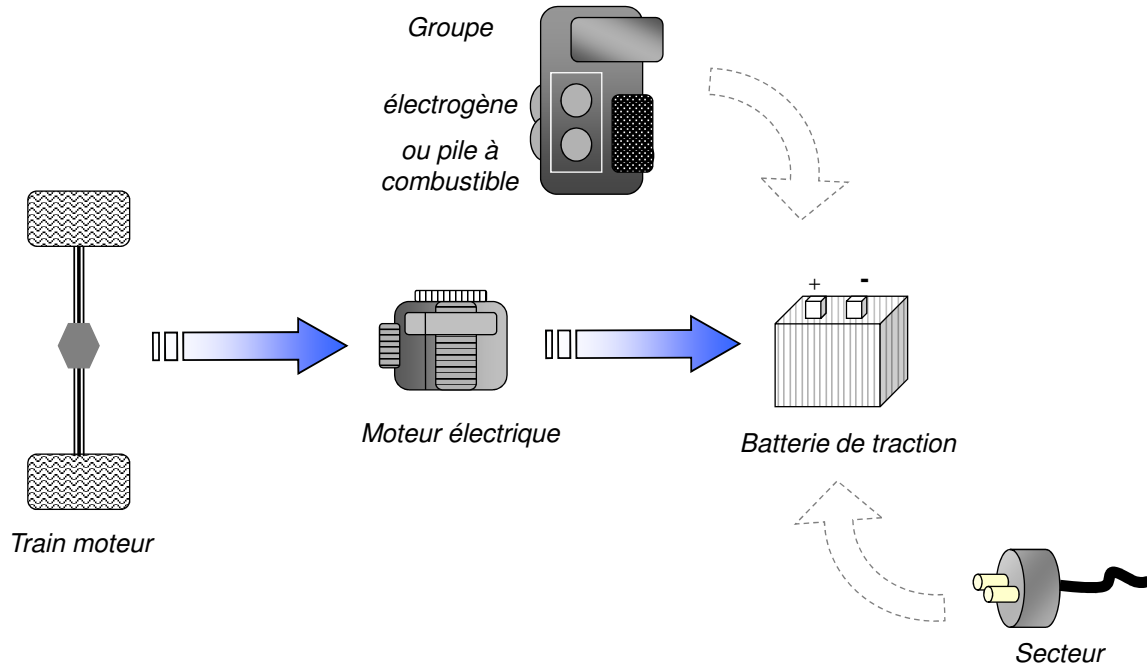


44

Le véhicule hybride série : PHEV

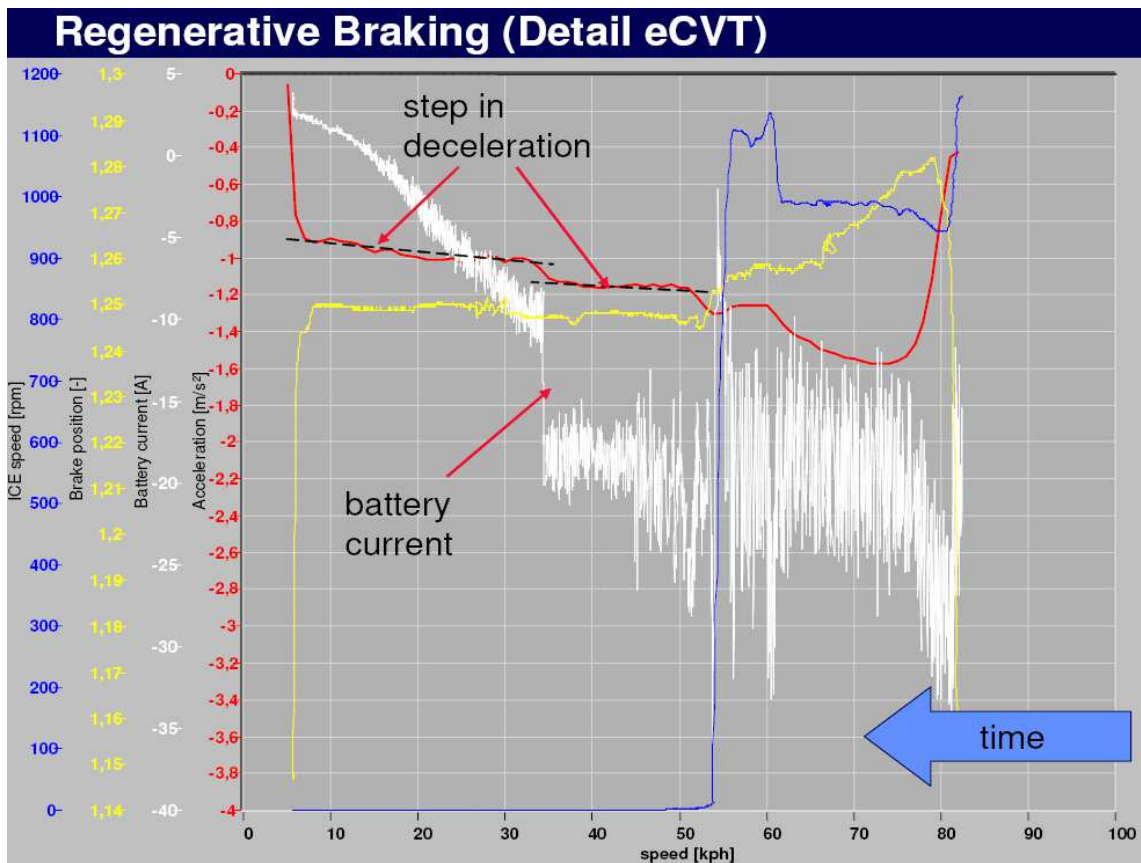
Le projet VNX

Mode récupération d'énergie



45

Le véhicule hybride série



46

Le véhicule hybride série

Le projet VNX

Performances

0 – 50 km/h	7s
50 – 80 km/h	7s
80 – 110 km/h	13s
0 – 115 km/h	37s
Vitesse maximale	120km/h

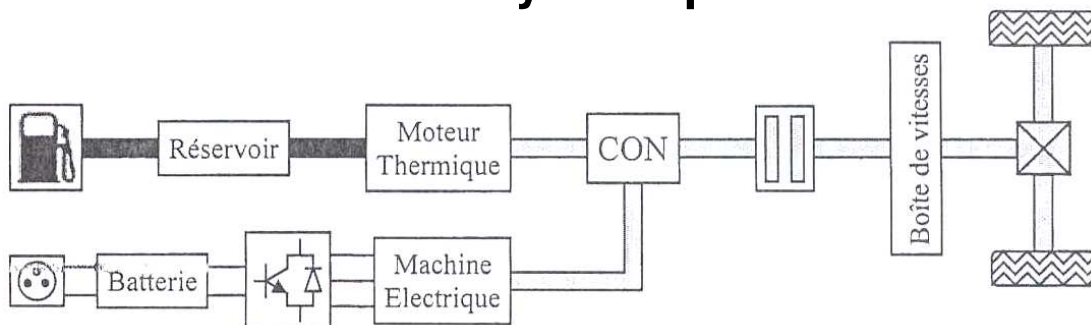
Autonomie

<u>100 % électrique</u>	
<u>batterie 30 kWh</u>	
Usage urbain	300 km
<i>(vitesse moyenne=30 km/h)</i>	
<u>Fonctionnement hybride</u>	
<i>plus GEL 20 l</i>	
<i>2l/100km</i>	
Usage routier	200 km 450 km
<i>(vitesse moyenne = 90 km/h)</i>	

* GEL= Groupe thermique électrogène

47

Le véhicule hybride parallèle



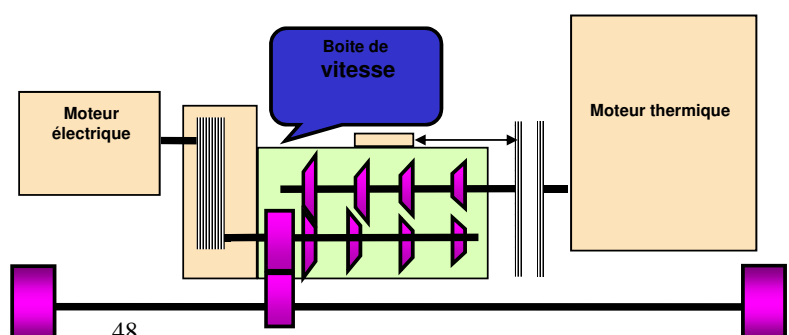
Bon rendement de la chaîne énergétique globale

Une seule machine électrique utilisée

Mode de traction en tout thermique ou tout électrique

Couplage mécanique complexe

Gestion délicate de l'ensemble



48

Voir article :

L'hybridation conquiert le Diesel

Exemple:

Q5 hybrid quattro d'Audi

- moteur à essence 2.0 TFSI
- moteur électrique
- puissance totale de 188kW (245ch) et un couple de 480Nm.
- Consommation moyenne dans le cycle mixte, 6.9 l/100 km
- Avec des émissions de CO2 de 159 g/km



Le véhicule hybride parallèle : HONDA

Insight 1999

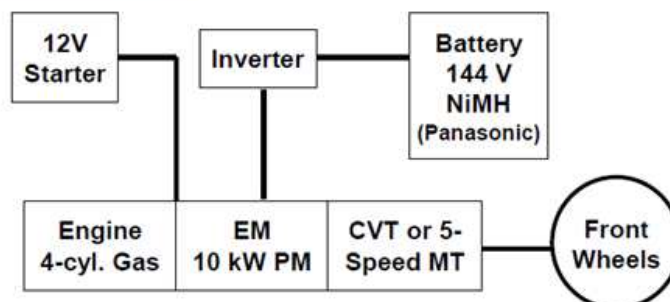
Civic Integrated Motor Assist (2003), hybridation moins complète

Le moteur électrique redémarre le moteur thermique et participe si besoin à la propulsion en soutien du moteur thermique, la batterie se recharge aux décélérations et aux freinages.



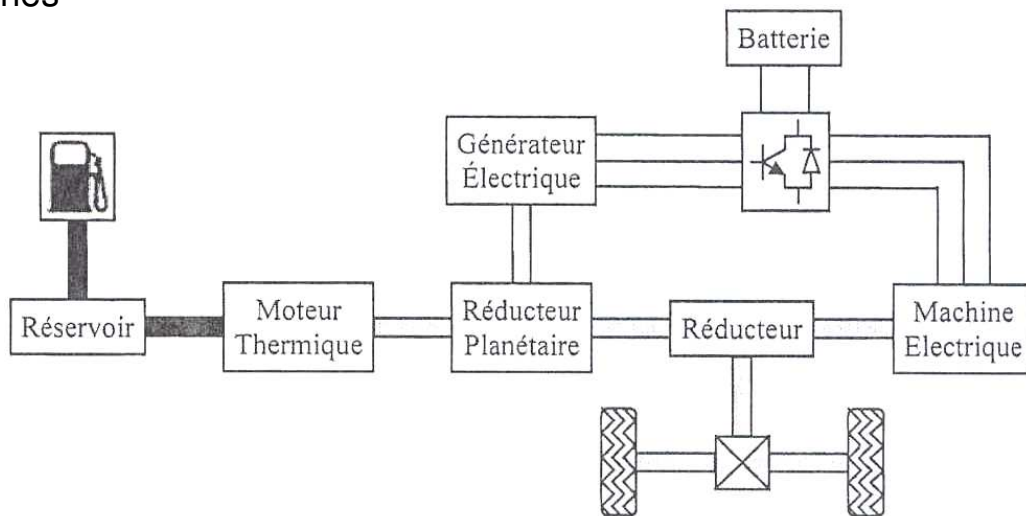
Engine: 1.34L 85 HP (63 kW) / 119 Nm

Motor: PM DC Brushless
10 kW / 62 Nm Assist
12.6 kW / 108 Nm Regen



Le véhicule hybride parallèle à dérivation de puissance « Full Hybrid »

La puissance thermique est en partie récupérée (générateur) pour recharger les batteries



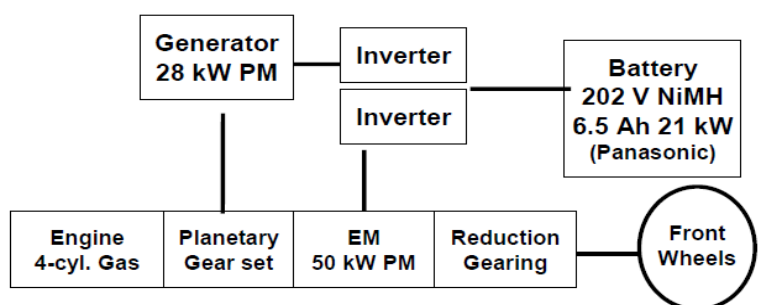
Couplage mécanique complexe mais pas de rupture de couple lors des changements des rapports car les deux tractions sont combinées

Très bonne répartition de l'énergie

Gestion très délicate de l'ensemble 51

Le véhicule hybride : Toyota Prius

La Toyota Prius est la première voiture à propulsion hybride parallèle à dérivation de puissance construite en grande série (1997, Japon USA).



1ere génération, 130 000 exemplaires vendus

2eme génération, mars 2004

La E-CVT (Electronic Continuously Variable Transmission) exploite la bi-motorisation de la Prius :

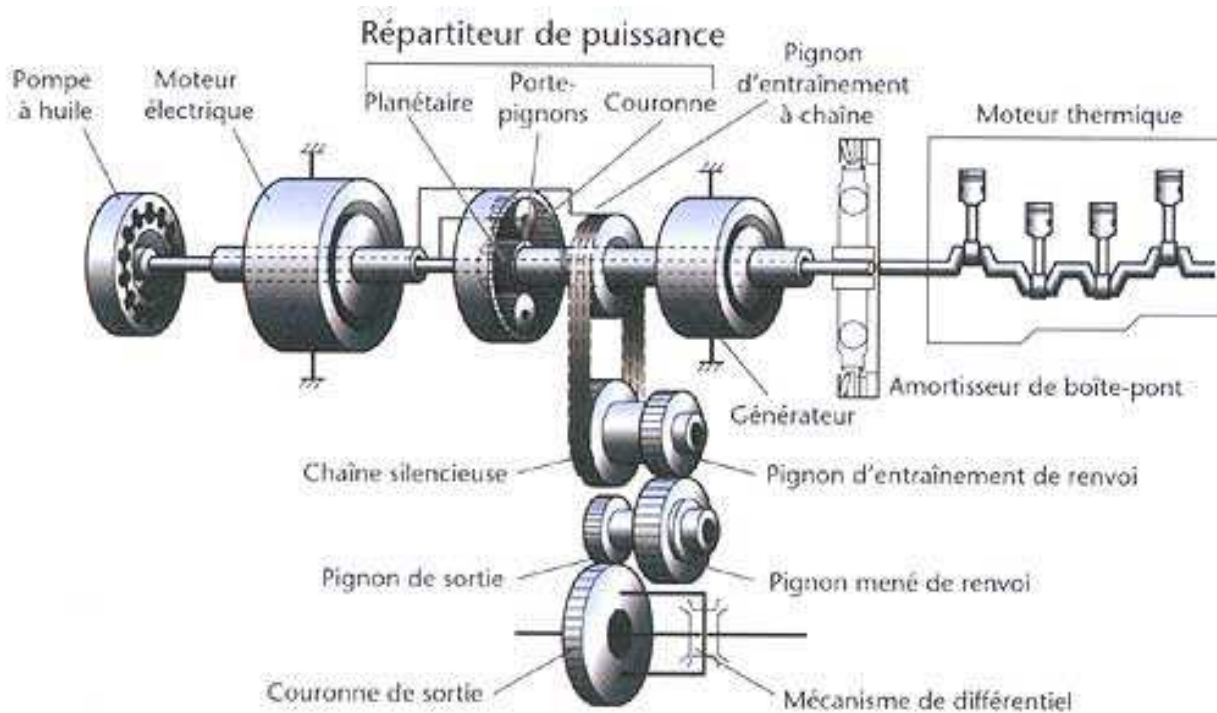
- un moteur thermique à essence, à injection électronique multipoint, 4 cylindres, **1497 cm³**, **P_{max} 57 kW** à **5000 tr/min**, **C_{max} 115 Nm** à **4000 tr/min**

- un moteur électrique triphasé **synchrone à aimants permanents**, **P_{max} 50 kW** de **1200 à 1540 tr/min**, **C_{max} 400 Nm** de **0 à 1200 tr/min**, **500V**

Le véhicule hybride : Toyota Prius

Un répartiteur de puissance reçoit le couple des moteurs thermique et électrique et le transmet aux roues et à un générateur électrique.

En commandant séparément le régime des moteurs, on obtient une variation continue de la vitesse de la voiture.



Le véhicule hybride : Toyota Prius

Rôle:

Répartir la puissance entre les roues motrices et le générateur afin que le moteur thermique travaille le plus possible dans la zone de son meilleur rendement.

La puissance peut suivre deux voies, l'une mécanique, l'autre électrique : le moteur thermique peut entraîner les roues, tout comme le moteur électrique, mais il peut aussi entraîner le générateur.

Suivant les cas, la puissance de sortie du moteur thermique est dirigée par le répartiteur :

- totalement sur les roues en partie sur les roues et en partie sur le générateur électrique
- totalement sur le générateur électrique

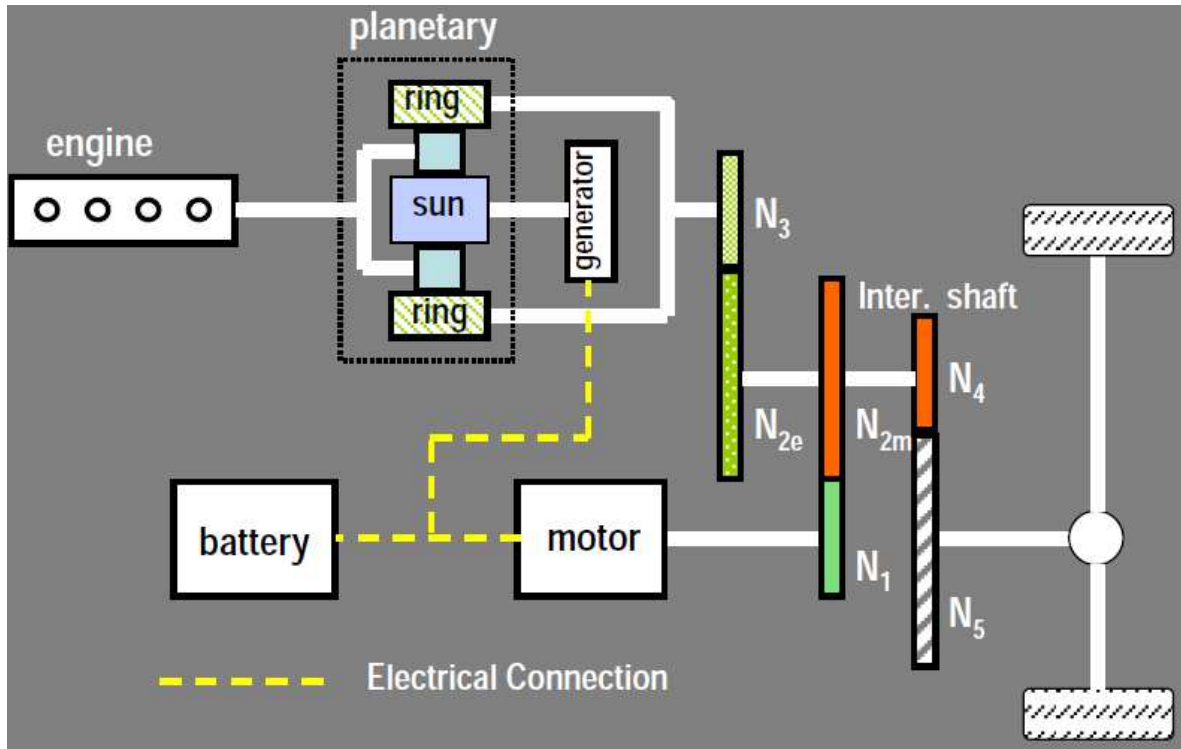
Deux autres cas peuvent se produire :

seul le moteur électrique entraîne les roues

les roues entraînent le moteur électrique fonctionnant alors en générateur électrique

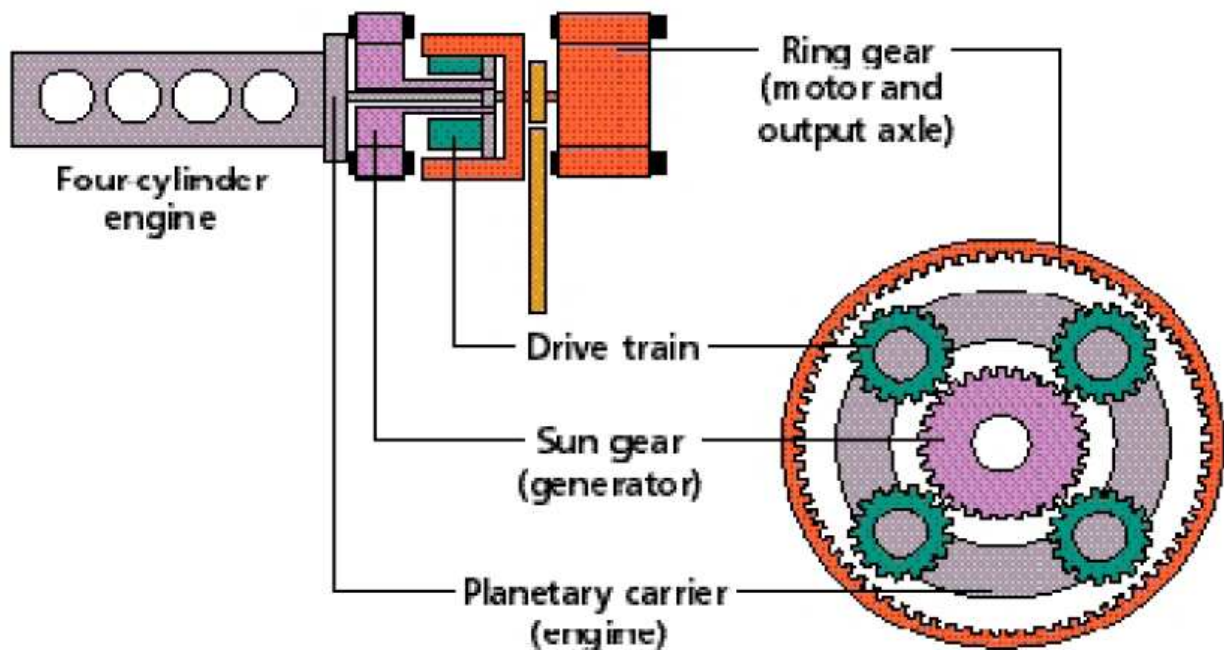
Le véhicule hybride : Toyota Prius

Directement relié au moteur thermique, le bloc de transmission hybride comprend le moteur électrique, le générateur électrique et le répartiteur de puissance, constitué pour l'essentiel d'un train épicycloïdal.



55

Le véhicule hybride : Toyota Prius



56

Le véhicule hybride : Toyota Prius

Bien qu'il comprenne le moteur électrique et le générateur, le système entier s'avère aussi compact qu'une boîte de vitesses classique.

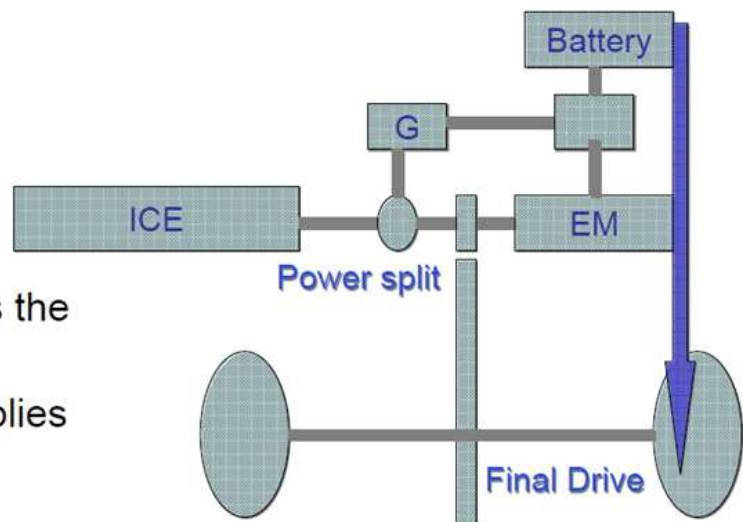


57

Le véhicule hybride : Toyota Prius Les configurations de fonctionnement

- Au départ et à faible vitesse :

- ICE off
- Motor drives the vehicle
- Battery supplies the needed power



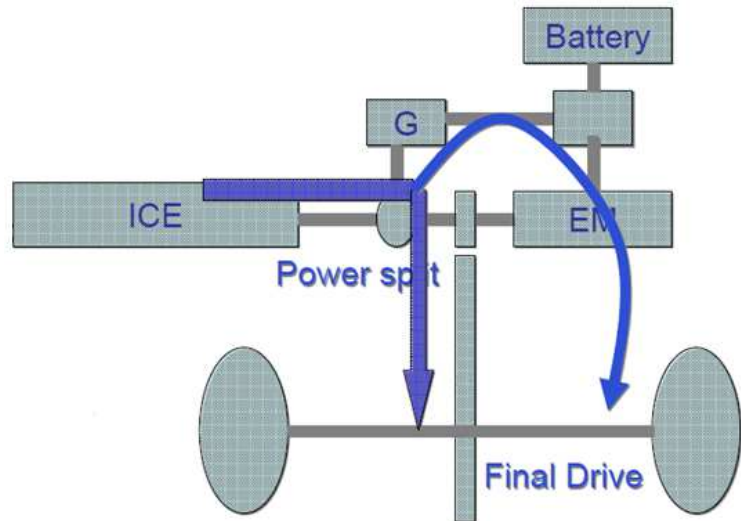
Les roues sont propulsées par le moteur électrique seul, alimenté par la batterie à travers un convertisseur DC/AC triphasé à fréquence variable.

- En mode forcé EV « electric vehicle » : les roues sont propulsées uniquement par le moteur électrique alimenté par la batterie. Le moteur thermique ne fonctionne pas. Vitesse maxi : 45 km/h. Autonomie maxi : 2 km.

58

En conditions normales :

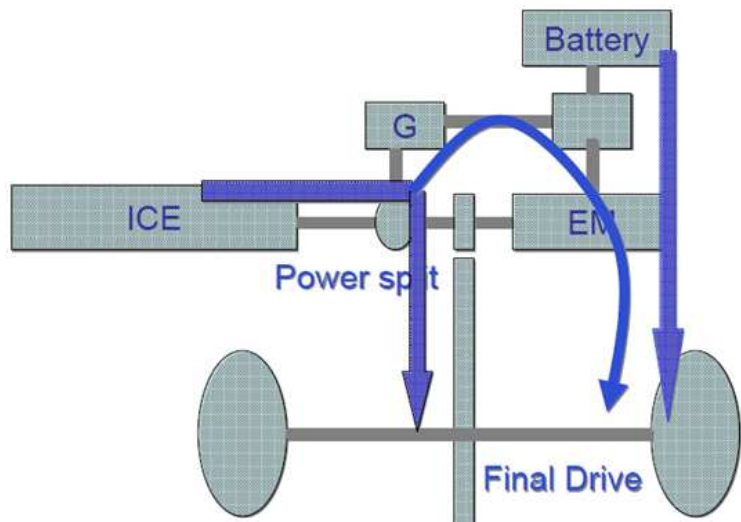
- ICE power is split
- CVT is achieved
- Parallel and series function
- Parallel paths
 - ICE → final drive
 - Motor → final drive
- Series path:
 - ICE → G → Motor



Les roues sont propulsées à la fois par le moteur thermique et par le moteur électrique. Le moteur électrique est alimenté par la batterie mais celle-ci est maintenue en charge par le générateur électrique qui reçoit une partie de la puissance du moteur thermique, la répartition des puissances étant optimisée par le calculateur de bord. On peut donc dire que le moteur thermique fournit directement une partie de la propulsion et fournit indirectement l'autre partie en faisant tourner le générateur qui alimente le moteur électrique (sans perdre de vue que la relation n'est pas directe : le générateur triphasé fournit son énergie à un convertisseur AC/DC relié au réseau continu et à la batterie, et un convertisseur DC/AC triphasé à fréquence variable alimente le moteur électrique).

59

En forte accélération :



Les roues sont propulsées par le moteur thermique et par le moteur électrique puisant son énergie dans la batterie.

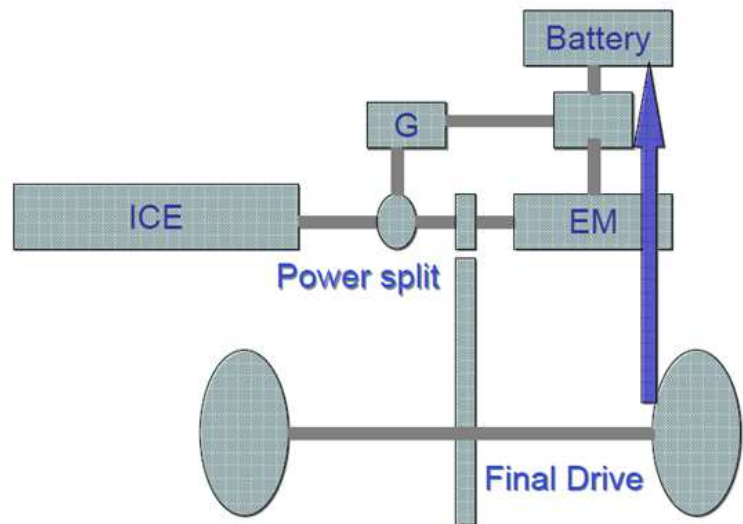
Le générateur ne fonctionne pas, afin de laisser toute la puissance du moteur thermique disponible pour la propulsion.

La puissance totale disponible est au maximum de 82 kW. Le couple quant à lui, peut atteindre des valeurs élevées (jusqu'à 478 Nm à 20 km/h) autorisant des reprises impressionnantes.

60

En décélération ou en freinage

- ICE is off

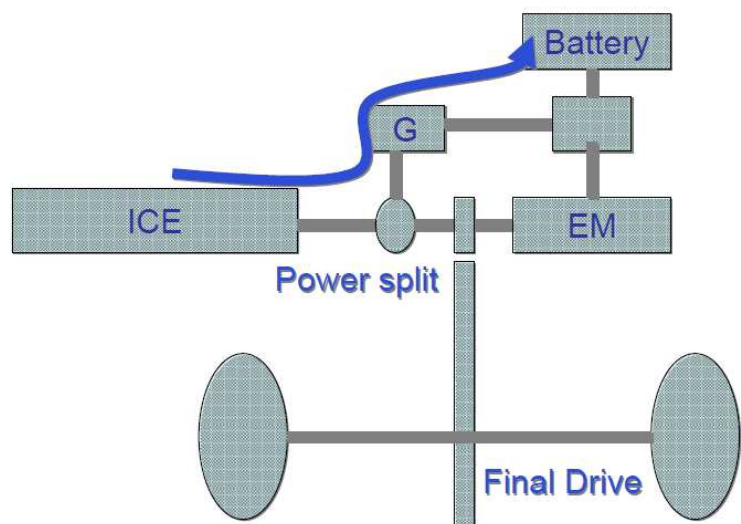


Les roues entraînent le moteur électrique qui fonctionne alors en alternateur. Son convertisseur électronique étant réversible, il transforme le triphasé en continu pour recharger la batterie. L'énergie cinétique du véhicule est récupérée, ce qui permet une économie non négligeable de carburant.

61

A l'arrêt, même temporaire

- Stationary Charging



Le couplage mécanique du moteur thermique est automatiquement coupé

62

Le véhicule hybride : Toyota Prius

Les performances de la Toyota Prius

PERFORMANCES

accélération de 0 à 100 km/h : 10,9 s
400 m départ arrêté : 17,6 s
vitesse maxi (sur circuit) : 170 km/h

CONSOMMATIONS POUR 100 KM

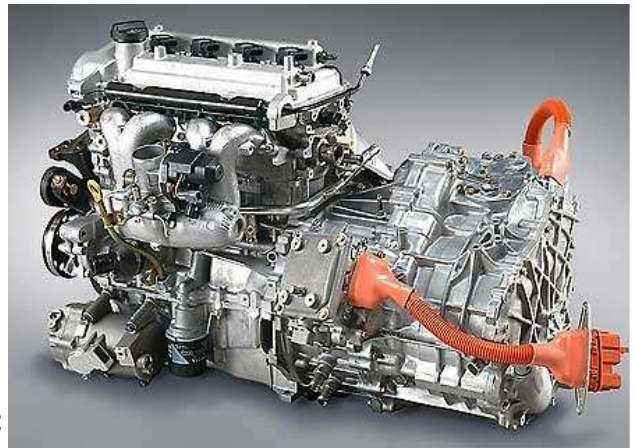
Documentation constructeur (normes CE) :

cycle urbain : 5,0 litres
cycle extra-urbain : 4,2 litres
cycle mixte : 4,3 litres
émission CO2 en cycle mixte : 104 g/km

Essai par *L'Express - Le Quotidien Automobile* :

ville : 4,3 litres
route : 6,7 litres
autoroute : 8,2 litres

D'après cet essai, l'hybridation de la Toyota Prius est particulièrement intéressante en ville !!



63

Le véhicule hybride : Autres

Honda :

_ Insight 1999

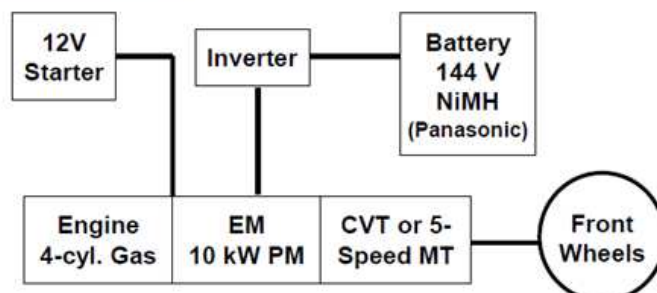
_ Civic Integrated Motor Assist (2003), hybridation moins complète

Le moteur électrique redémarre le moteur thermique et participe si besoin à la propulsion en soutien du moteur thermique, la batterie se recharge aux décélérations et aux freinages.



Engine: 1.34L 85 HP (63 kW) / 119 Nm

Motor: PM DC Brushless
10 kW / 62 Nm Assist
12.6 kW / 108 Nm Regen



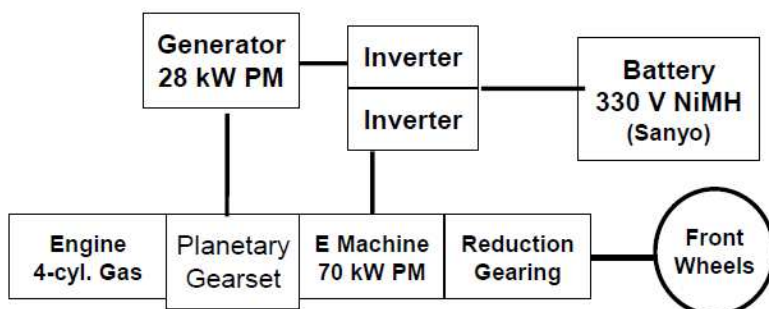
Ford :

_ Escape Hybrid (2004 ???)



Engine: 2.3 L Inline 4-Cylinder
99kW / 172Nm

Motor: PM 330 V
70 kW



<http://www.fordvehicles.com/suvs/escapehybrid/features/specs/>

65

Résultat sur les émissions de CO2 : comparatif



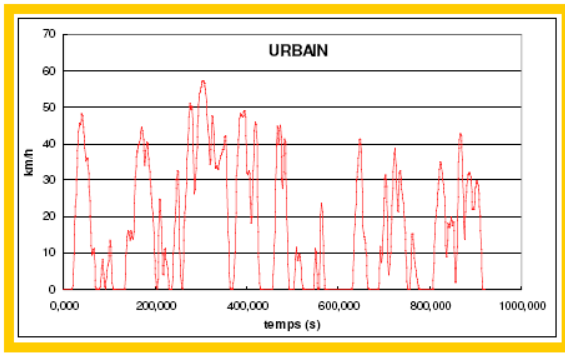
Caractéristiques du véhicule et des GMP analysés

Véhicule		GMP		
		1,6 l. mpi BVM6	1,5 l. dci BVM6	Hyb 1,6 l. mpi BVR6
Véhicule	MVODM (Kg)	1320	1400	1420
	SCx (m2)	0,82	0,82	0,82
	R roue (m)	0,31	0,31	0,31
Boîte de Vitesses	V1000 (Km/h à 1000 tr/min)			
	1ère	7	7,9	7
	2nde	12,4	15,2	12,4
	3ème	18	22,3	18
	4ème	23,5	30,3	23,5
	5ème	28,6	38,7	28,6
	6ème	34,1	46,2	34,1
Moteur Thermique	Pmax (Kw)	81	80	81
	Couple max (m.N)	148	246	148
Moteur Electrique	Pmax (Kw)			50
Batterie Li-ion	Pmax (Kw)			45

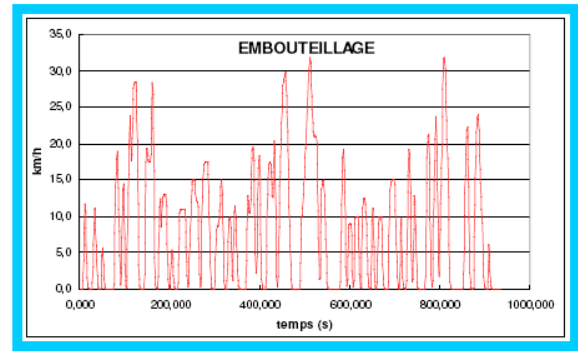
Source : RENAULT-Hennequet

66

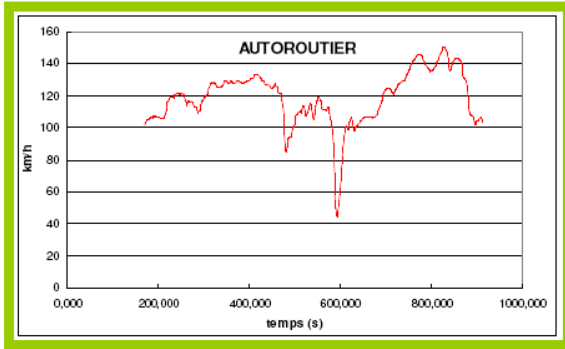
Résultat sur les émissions de CO2 : comparatif



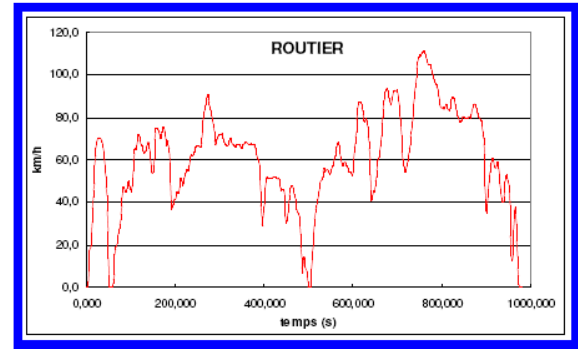
Moyenne = 18 km/h - Pic = 57 km/h



Moyenne = 8 km/h - Pic = 32 km/h



Moyenne = 119 km/h - Pic = 150 km/h



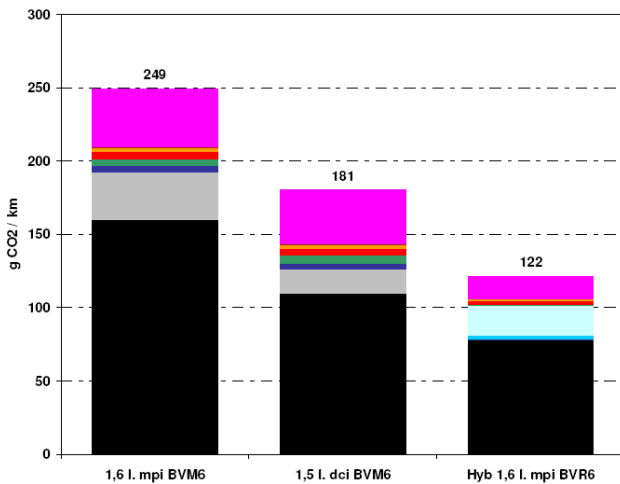
Moyenne = 61 km/h - Pic = 111 km/h

Source : RENAULT-Hennequet

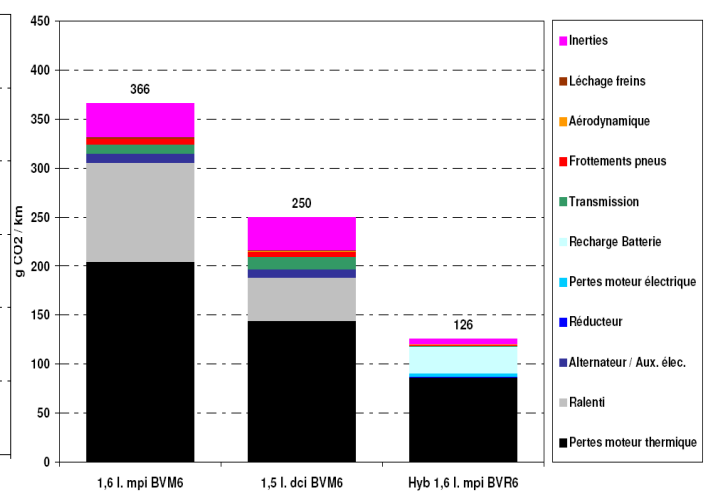
67

Résultat sur les émissions de CO2 : comparatif

Urbain



Embouteillage



Source : RENAULT-Hennequet

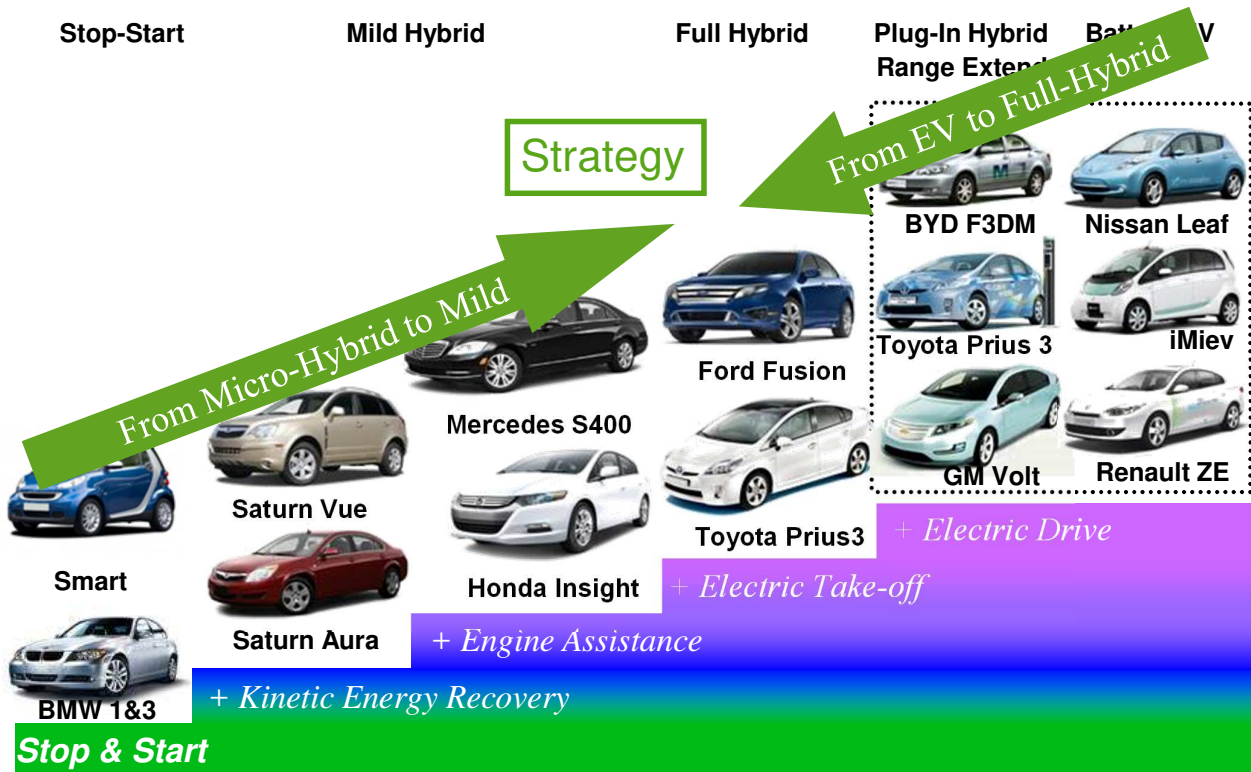
68

Exemple de comparatif des émissions de CO2 entre constructeur

	Peugeot 3008 HYbrid4	Peugeot Concept RCZ HYbrid4	Mercedes Vision E 300 BlueTEC HYBRID	Lexus RX450h	Toyota Prius 3
Moteur thermique	Diesel 2.0 120 kW (163 ch)	Diesel 2.0 120 kW (163 ch)	Diesel 2.2 168 kW (225 ch)	Essence 3.5 183 kW (249 ch)	Essence 1.8 73 kW (98 ch)
Moteur électrique Avant/arrière	AR : 20 kW	AR : 20 kW	AR : 15 kW	AV : 123 kW AR : 50 kW	AV : 60 kW
Type hybridation	Full hybride Parallèle Mot. therm. : AV Mot. élect : AR	Full hybride Parallèle Mot. therm. : AV Mot. élect : A	Mild hybride Parallèle Mot. therm. : AR Mot. élect : AR	Full hybride Dérivation de puissance Mot. therm. : AV Mot. élect : AV+AR	Full hybride Dérivation de puissance Mot. therm. : AV Mot. élect : AV
Batteries	Ni-MH 1,1 kWh	Ni-MH 1,1 kWh	Lithium-ion	Ni-MH	Ni-MH 1,3 kWh
0 à 100 km/h	8,8 s.	8,5 s.		7,8 s.	10,4 s.
Vitesse maxi	209 km/h	215 km/h		200 km/h	180 km/h
Consommation mixte NEDC	3,8 l/100 km	3,7 l/100 km	4,5 l/100 km	6,3 l/100 km	3,9 l/100 km
CO ₂ mixte NEDC	99 g/km	95 g/km	119 g/km	148 g/km	89 g/km

69

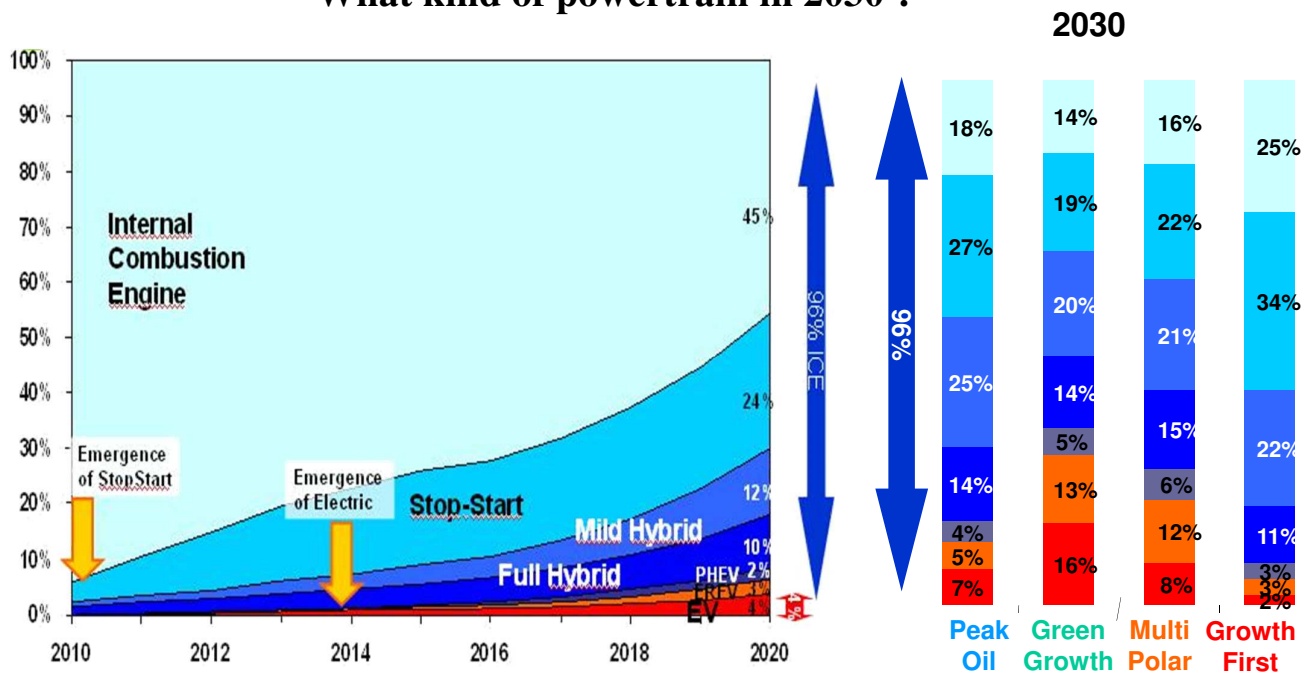
Hybrid / Electrical Vehicles on the market



70

Source : **Valeo**

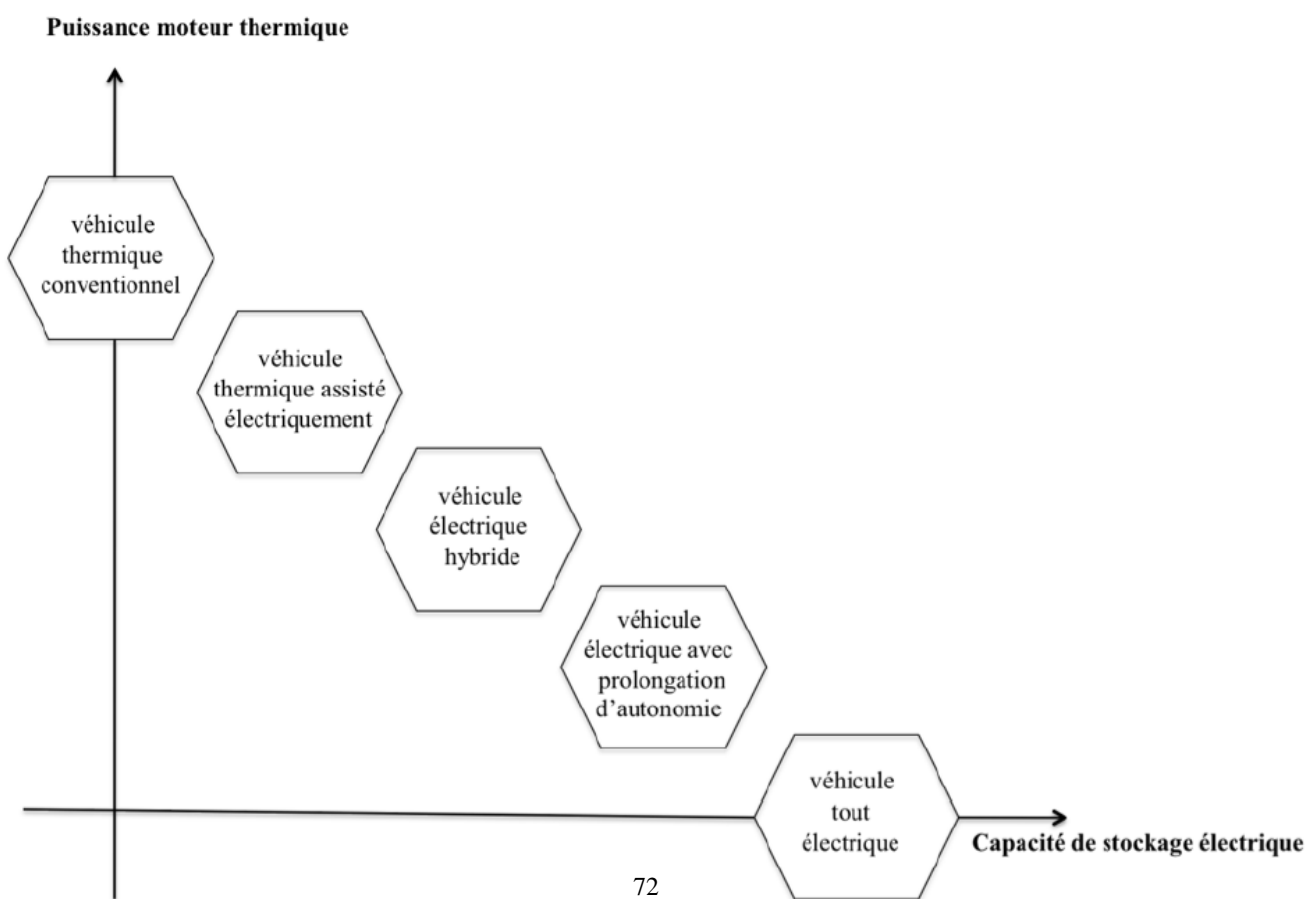
What kind of powertrain in 2030 ?



- Peak Oil** → High Hybrid fitment rates because fuel economy is key
- Green Growth** → Regulation & infrastructure pushing EVs & Hybrids
- Multi Polar World** → Mixed of 2 different markets becoming a reasonable forecast
- Growth First** → Low EV fitment rates, only rationales push other Hybrids

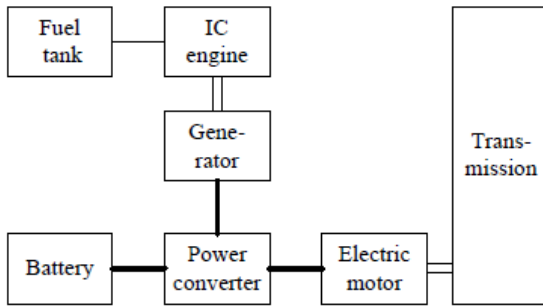
Source : **Valeo**

Classement des véhicules suivant le taux d'hybridation [DUB 02]



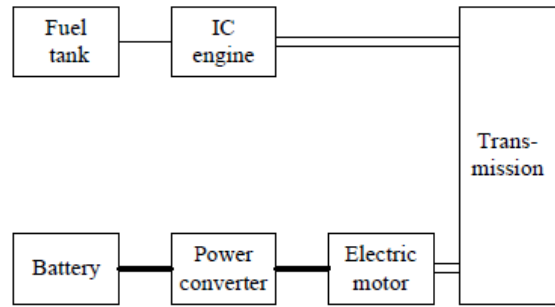
Résumé: Architecture des HEV et PHEV

Series hybrid



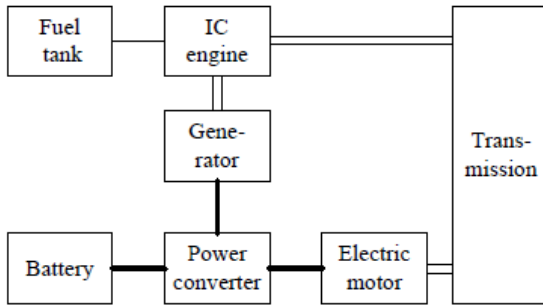
(a)

Parallel hybrid



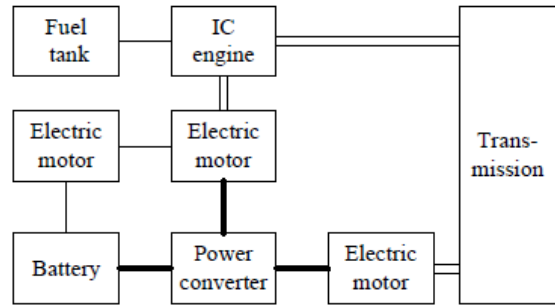
(b)

Series-parallel hybrid

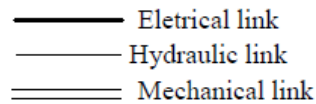


(c)

Complex hybrid



(d)



Résumé: Modes de fonctionnement

a. Mode démarrage (Stop-and-Start)

Coupe systématiquement le moteur thermique, quand aucune puissance n'est demandée (feux rouges et embouteillages)

permet au moteur thermique d'être redémarré rapidement et sans vibration après un arrêt de courte durée

Disparition de la consommation de carburant au ralenti, une consommation

b. Mode régénération (*flux série*)

Le moteur électrique fournit un couple négatif et le moteur thermique fournit un couple supérieur au couple de consigne.

L'énergie provenant du moteur électrique est alors stockée dans les batteries.

Quand le véhicule avance à vitesse stabilisée, il est possible d'augmenter légèrement la charge du moteur thermique lui permettant ainsi de fonctionner dans une zone de meilleur rendement. Le supplément d'énergie est ensuite récupéré par la machine électrique pour recharger l'élément de stockage.

c. Mode récupératif

Récupérer l'énergie cinétique du véhicule, lors des phases de freinage ou de décélération du véhicule sous la forme d'une énergie électrique, qui est ensuite stockée..

Résumé: Modes de fonctionnement

d. Mode boost

Cette fonction n'existe que dans les véhicules hybrides où les deux couples peuvent s'additionner (architecture hybride parallèle ou parallèle à dérivation de puissance).

assistance du moteur thermique, lors de fortes demandes de puissance par le moteur électrique qui développe un couple positif et participe à la traction du véhicule (Formule 1)

Ce mode est activé pour décharger le moteur thermique afin de le placer sur un point de fonctionnement de meilleure efficacité.

e. Mode thermique pur

convient à des situations où le rendement thermique est bon ou bien lorsque le stockage est déchargé ou complètement plein.

f. Mode électrique pur

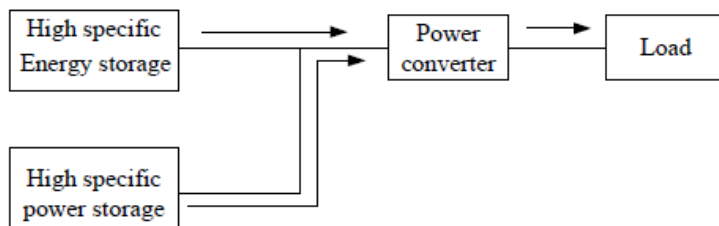
la machine électrique assure à elle seule la traction du véhicule. C'est le mode « zéro émission » avec une consommation nulle en carburant.

75

Hybridation moteur thermique/ stockage

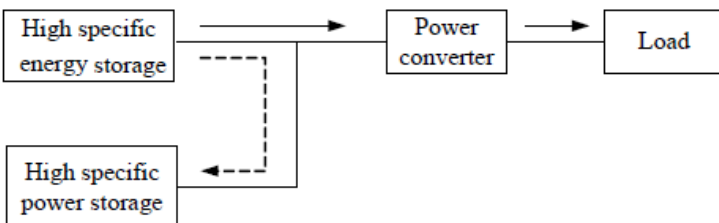
Apport en énergie
Apport en puissance

High power demand



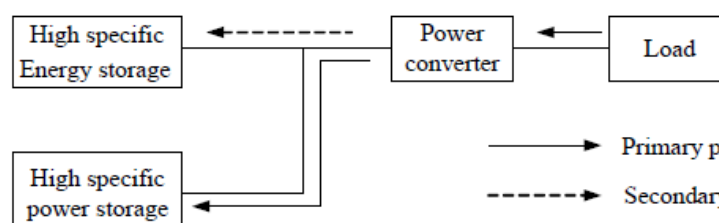
(a)

Low power demand



(b)

Negative power

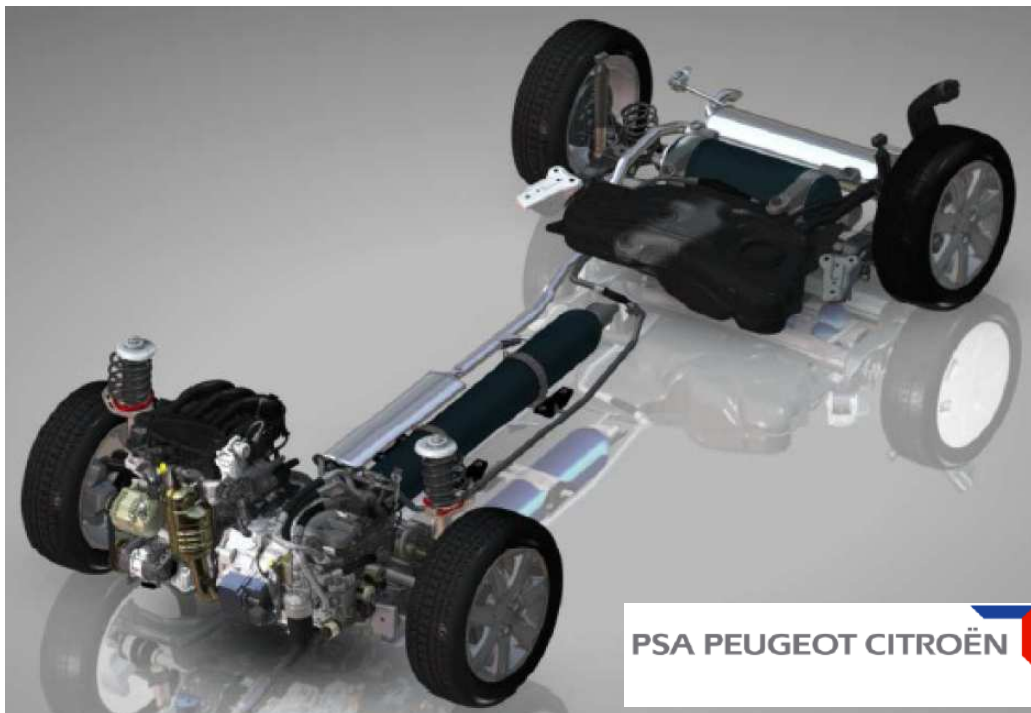


(c)

————> Primary power flow
- - - - -> Secondary power flow

Hybridation moteur thermique/ air comprimé

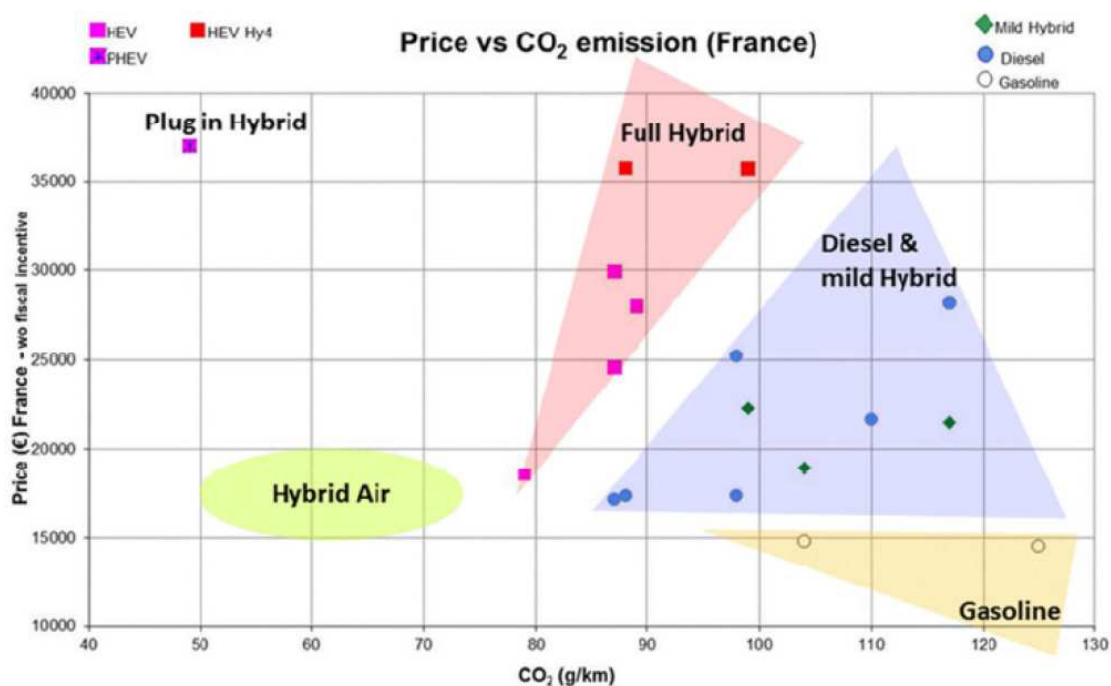
La technologie Hybrid Air couple un ensemble moteur essence avec une pompe hydraulique, un stockage d'énergie sous forme d'air comprimé et une transmission automatique.



77

Hybridation moteur thermique/ air comprimé

Positionnement dans une zone de compromis CO₂/coût encore non atteinte par les technologies actuelles.

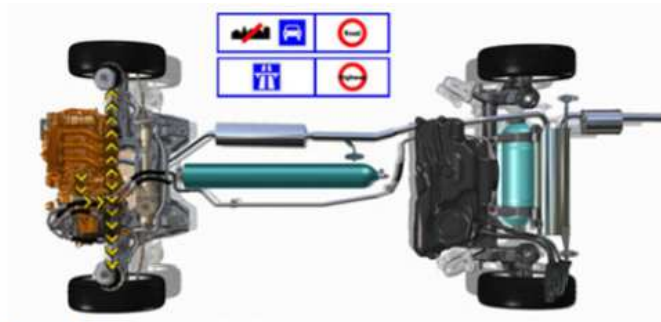


Répartition des différentes technologies de moteurs thermiques en fonction de son coût et de sa performance environnementale

78

Hybridation moteur thermique/ air comprimé

Mode thermique essence : seul le moteur thermique transmet l'énergie aux roues



Mode thermique essence

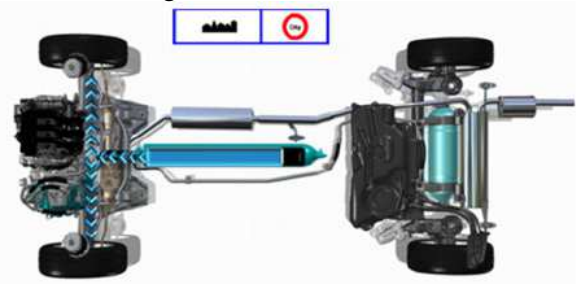
HYBRID AIR OPERATING MODES

GASOLINE POWER : Cruising

AIR POWER : Zero Emissions

COMBINED POWER : Acceleration and Hill Climbing

Mode AIR : seul le moteur hydraulique transmet l'énergie stockée aux roues via le stockage



Mode AIR

HYBRID AIR

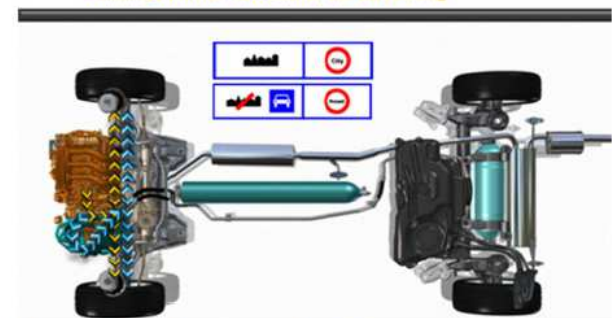
OPERATING MODES

GASOLINE POWER : Cruising

AIR POWER : Zero Emissions & Brake Energy Regeneration

COMBINED POWER : Acceleration and Hill Climbing

Mode combiné essence / air comprimé : les moteurs thermiques et hydrauliques fonctionnent conjointement pour apporter l'énergie nécessaire aux roues.



Mode combiné essence/air comprimé

PSA PEUGEOT CITROËN

79

PSA Peugeot Citroën a déposé sur cette technologie plus de 80 brevets étendus à l'ensemble du Monde

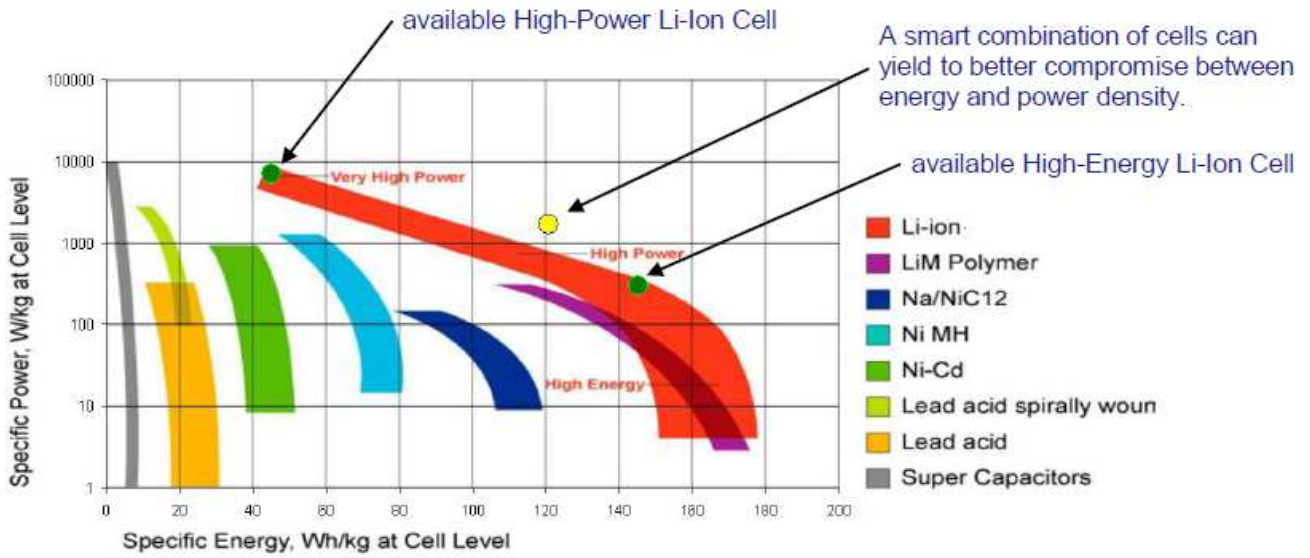
Fonctionnement en Mode Air (zéro CO2) sur 60 à 80% de temps d'usage urbain (selon la densité du trafic) grâce à une efficacité optimale de la récupération d'énergie au freinage.

Consommation normalisée est de **2,9l/100km en cycle mixte soit environ 69g CO2/km** sur une silhouette conventionnelle du marché de type Citroën C3 ou Peugeot 208.

Impact environnemental réduit en comparaison de l'hybridation électrique (nécessitant des batteries) car les matériaux constitutifs de la technologie Hybrid Air sont abondants et aisément recyclables

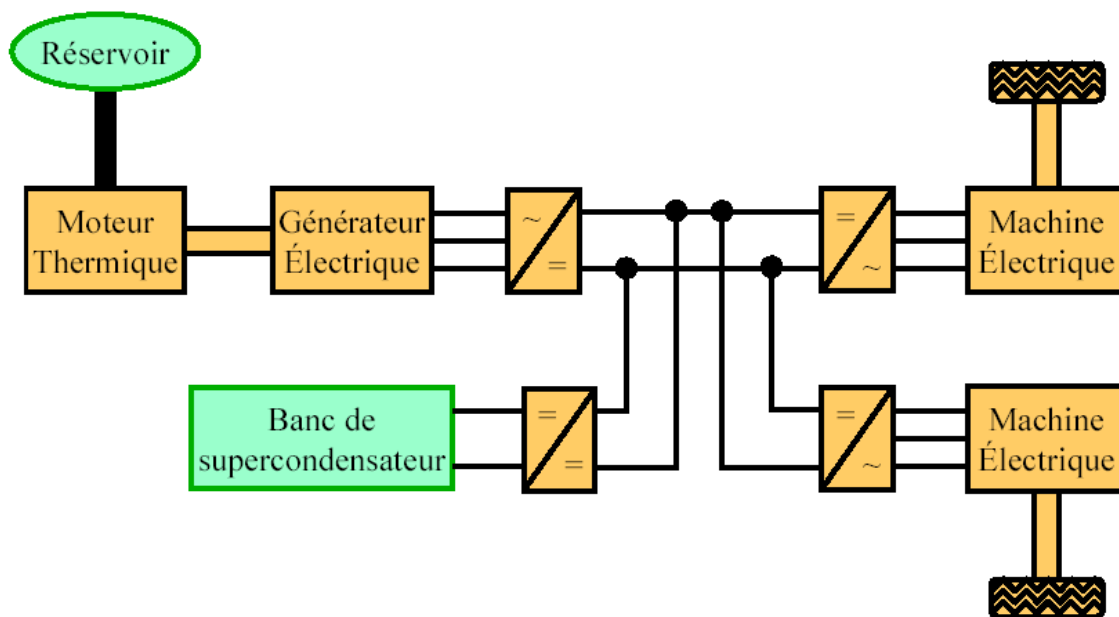
Hybridation moteur thermique/ supercondensateur

...



81

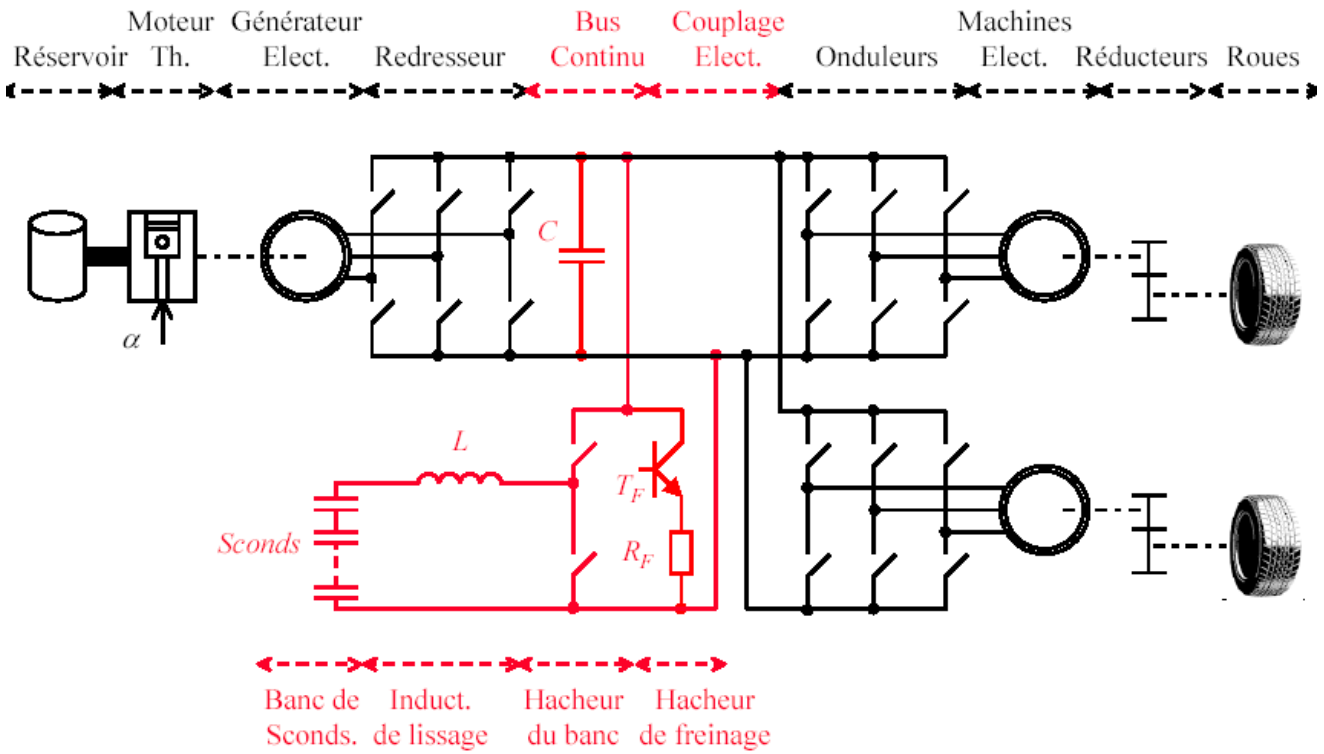
Apport du stockage embarqué Exemple : Les super condensateurs



82

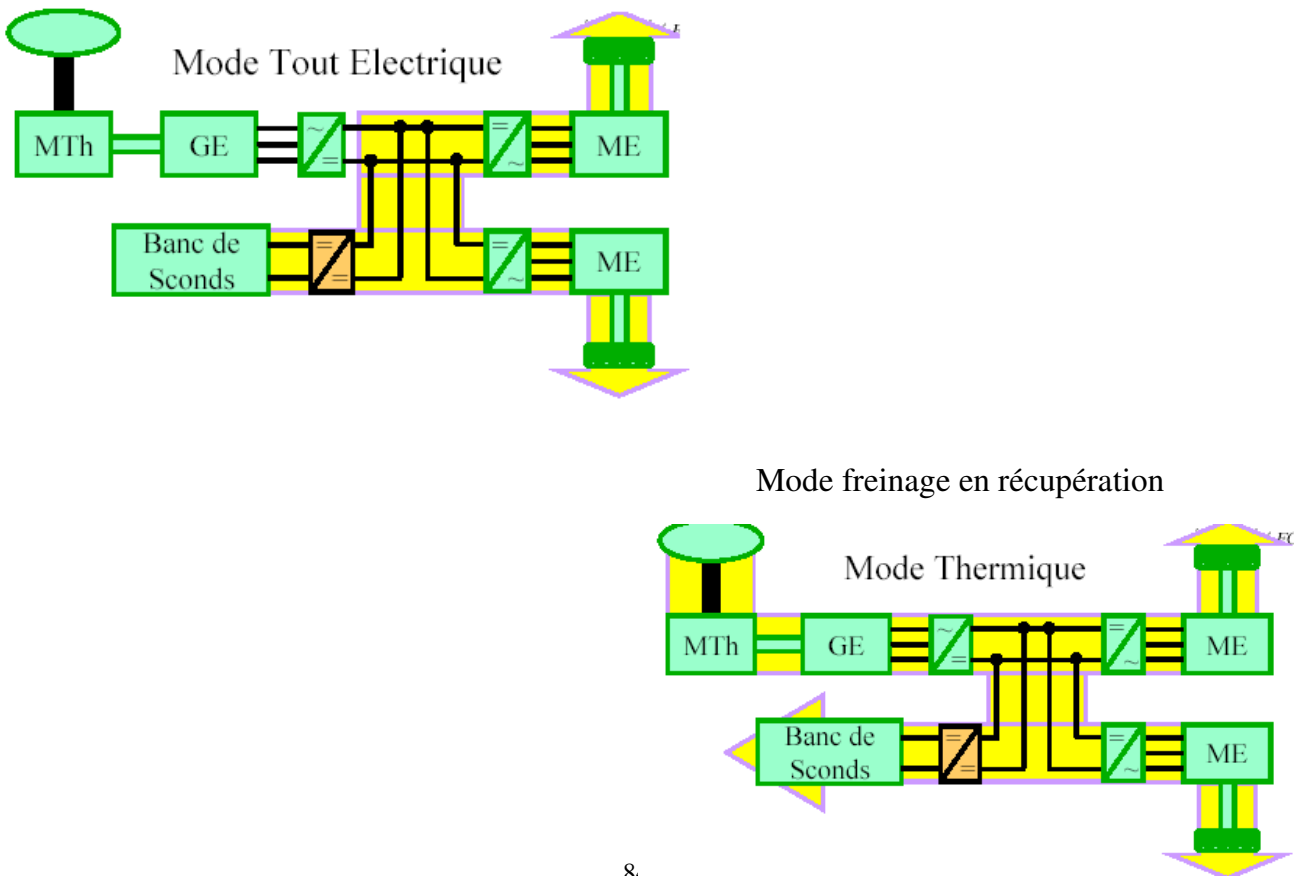
Apport du stockage embarqué

Exemple : Les super condensateurs



Apport du stockage embarqué

Exemple : Les super condensateurs



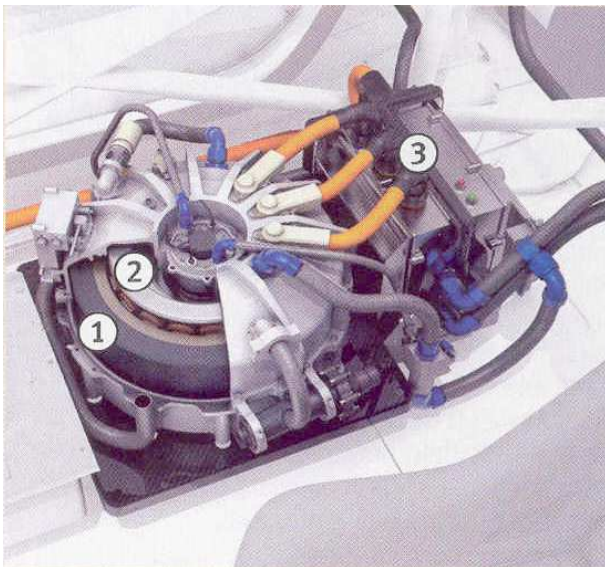
Hybridation moteur thermique/ volant d'inertie

Voir article :

Le tramway acquiert l'autonomie énergétique

85

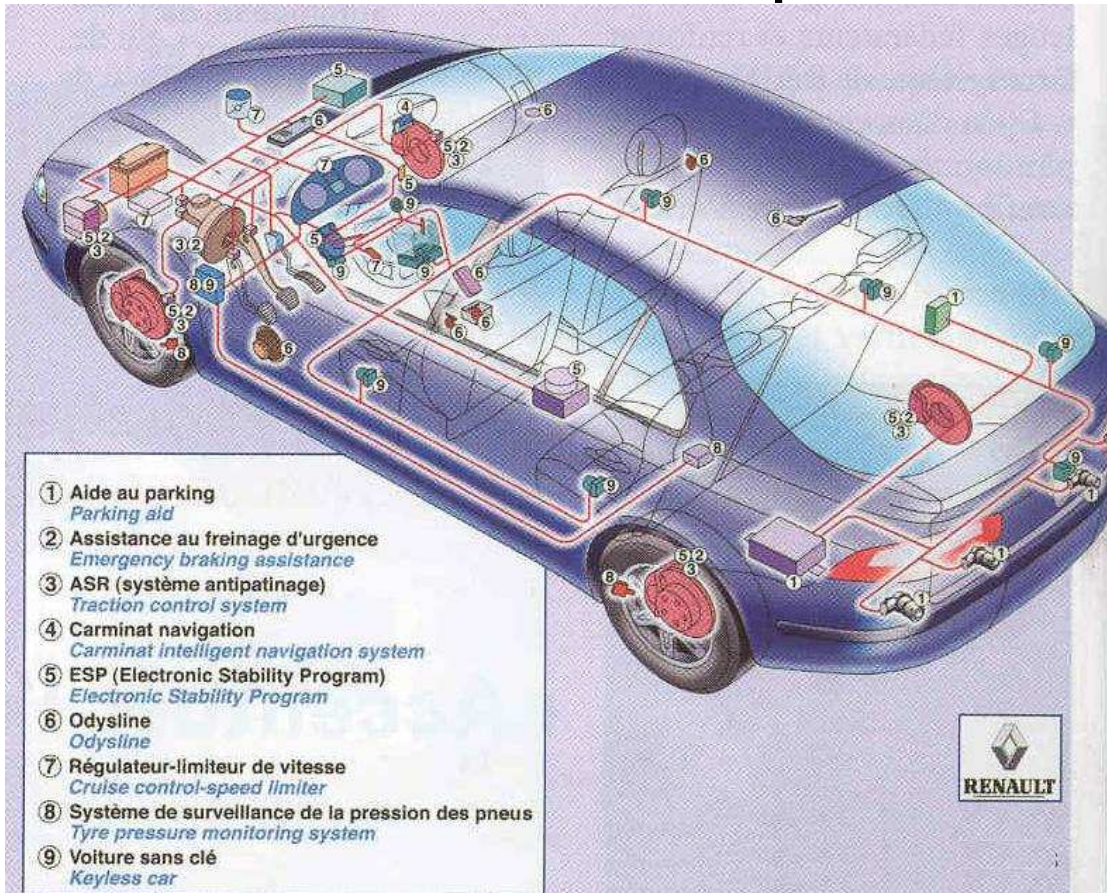
Porsche 911 GT3 R HYBRID, le volant d'inertie booste le 6 cylindres



Développée pour une voiture vouée à la conduite sur circuit, la motorisation de la 911 GT3 R Hybrid cherche davantage à augmenter les performances qu'à réduire la consommation. Porsche a complété son moteur Boxer 6 cylindres 4 litres arrière de 480 ch. par deux moteurs électriques de 60 kW (164 ch.) installés à l'avant. Originalité: les classiques batteries nickel metal hydrure ont été remplacées par un accumulateur à volant d'inertie. Cet accumulateur est lui-même un moteur électrique (stator ②, rotor ①, électronique de puissance ③) qui stocke mécaniquement l'électricité grâce à un rotor tournant à vitesse très élevée (jusqu'à 40 000 tr/mn). Il se recharge au freinage lorsque les deux moteurs électriques de l'essieu avant se transforment en générateurs. Il restitue ensuite son énergie aux deux moteurs pendant 6 à 8 secondes, offrant alors au pilote un supplément de puissance. Grâce à un très bon rapport poids/puissance, ce système pourrait apparaître à court terme sur les Porsche «de route». Avec cette fois comme objectif de baisser la consommation, et donc les émissions de CO₂.

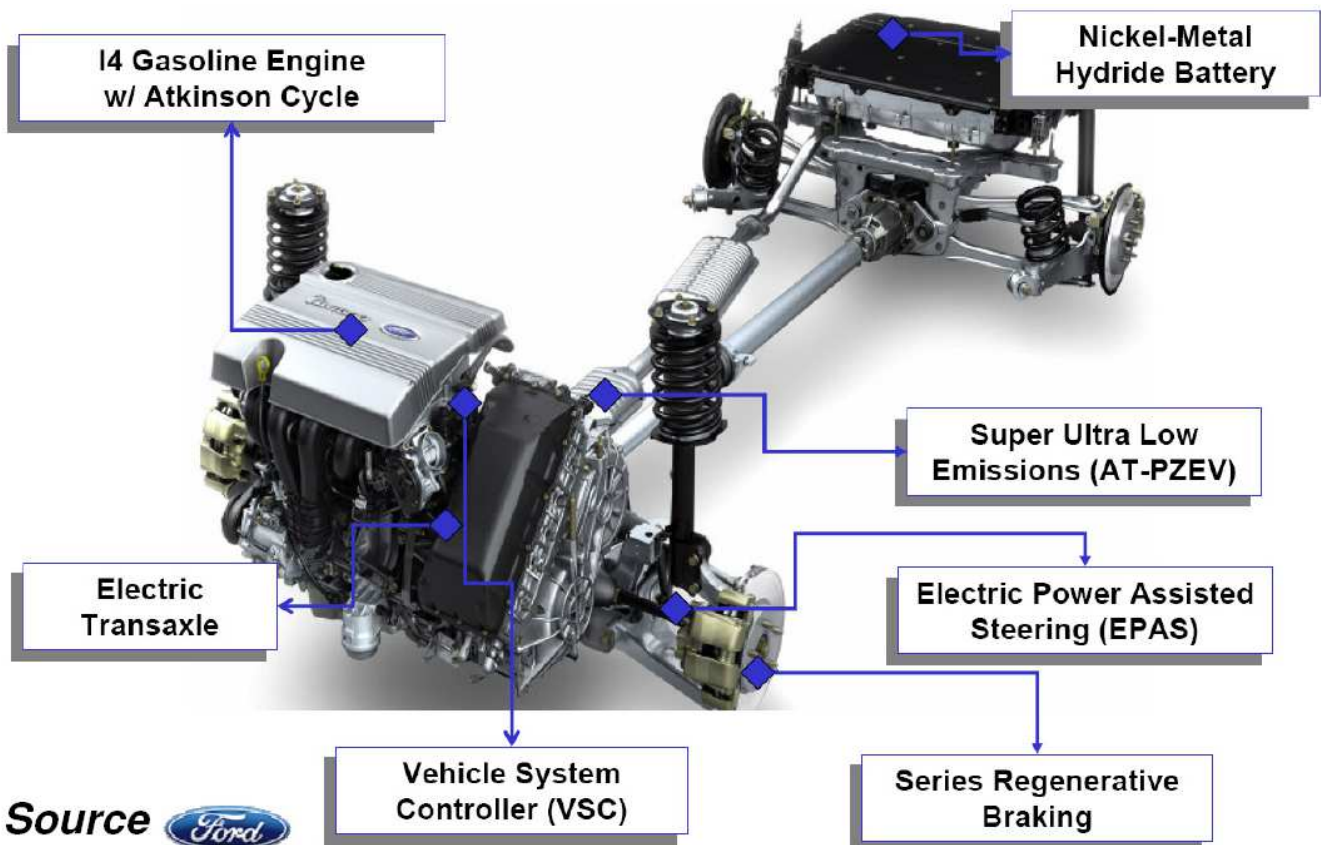


Les auxiliaires « électriques »



87

Exemple d'intégration des auxiliaires « électriques »

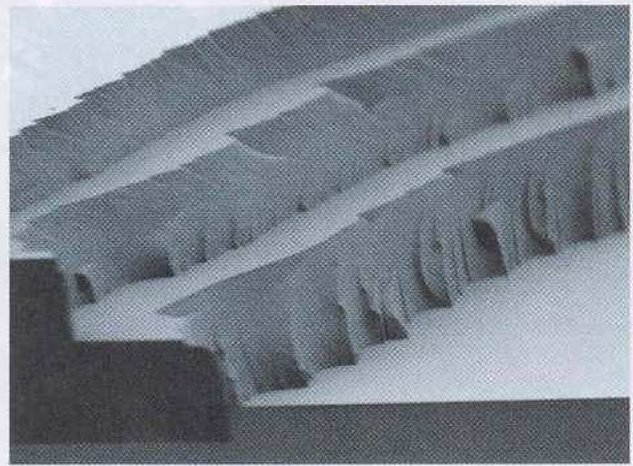


88

Automobile

QUAND LE PARE-BRIS SE DÉGIVRERA TOUT SEUL...

Un film de polymère qui stocke l'énergie solaire et la restitue quand on en a besoin. Avec ce matériau transparent, une équipe du MIT envisage de créer des pare-brise qui se dégivrent tout seuls ou presque. Le film appliqué sur le verre contient une molécule qui change de configuration chimique en absorbant le rayonnement solaire. Le revêtement stocke l'énergie reçue du soleil jusqu'au moment voulu où, sous l'impulsion d'une petite quantité de chaleur - par exemple un jet d'air chaud -, il la restitue pour dégivrer la surface. Les chercheurs travaillent à améliorer encore la transparence du film et ses performances de chauffage. Cette solution pourrait intéresser en parti-

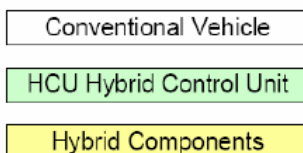
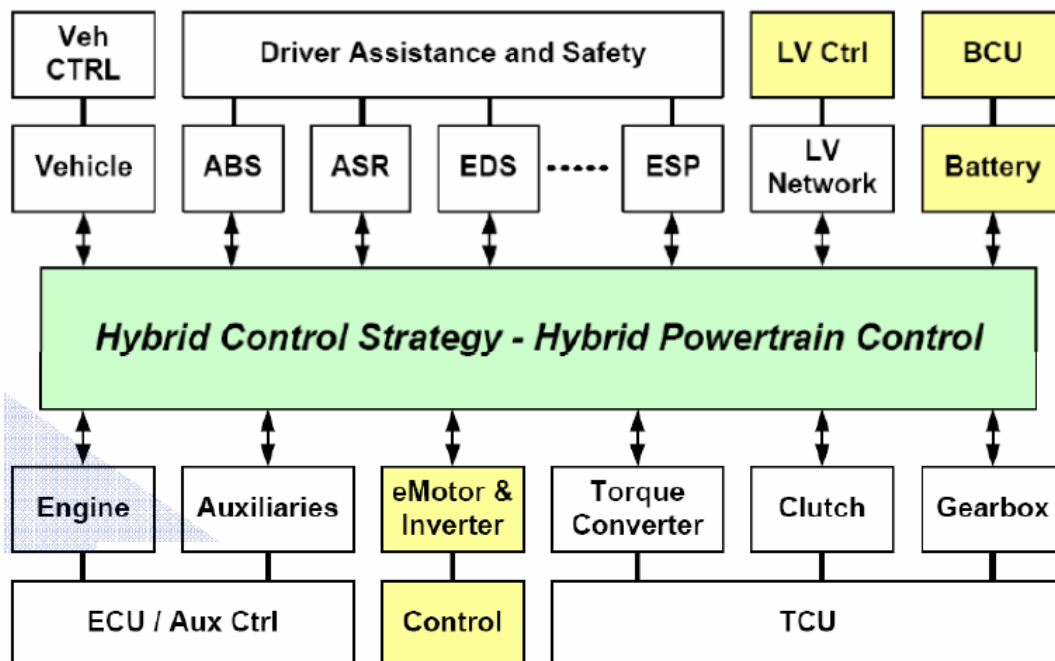


Le matériau absorbe et stocke l'énergie solaire.

culier les véhicules électriques, le dégivrage traditionnel consommant beaucoup d'électricité. Par ailleurs, comme le film s'applique sur diverses surfaces, d'autres applications sont envisageables, sur des vêtements, par exemple. ■ THIERRY LUCAS

89

Supervision des auxiliaires « électriques »



Hybrid Development is System Integration Process:

- Coupling of different engineering disciplines;
- Introducing of different system targets;
- Final System depends at least on the System Integration and not on the individual component development;

90

Recréer les assistances à la conduite sur un véhicule électrique

Subsystem	Goals
Base Brake Control	•High regeneration capability (pure regeneration at any deceleration level up to 30 km/h for the unladen vehicle, and progressively decreasing regeneration capability as a function of vehicle speed).
ABS	•ABS modulation entirely achieved through the control of the regenerative torque; •5% of minimum stopping distance reduction during ABS braking in low friction conditions achieved during the experimental validation using the vehicle demonstrator.

91

Les défis, que reste t il à faire ?

- **Energy Storage Systems**
(management, cost, performance, lifetime, safety)
- **Drive Train Technologies**
(energy recovery, range extenders)
- **System Integration**
(energy efficient interplay of components)
- **Grid Integration**
(charging, metering, renewables, V2G)
- **Safety**
(crashworthiness, HV, emergency)
- **Transport System Integration**
(road infrastructures, intermodal use)



92



Steady-state & Transient Fuel Consumption

Engine-out Emissions & Aftertreatment

Transient Engine Effects

Fuel Economy

Emissions

Driving Performance

Drivability, Gear Shifting Quality



ANNEXE





95

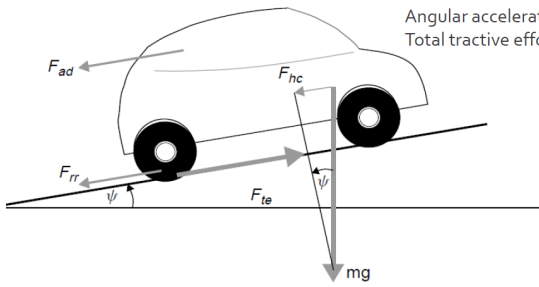


Figure 3.3: The battery pack of the Chevrolet Volt (General Motors, 2010).

96

Traction force

- Rolling resistance force = F_{rr}
- Aerodynamic drag = F_{ad}
- Hill climbing force = F_{hc}
- Linear acceleration force = F_{la}
- Angular acceleration force = $F_{\omega a}$
- Total tractive effort = F_{te}



Traction force

Rolling resistance force → $F_{rr} = \mu_{rr}mg$

Typical values: $\mu_{rr} = 0.015$ for a radial ply tyre
 $\mu_{rr} = 0.005$ for tyre developed especially for electric vehicles.

Aerodynamic drag → $F_{ad} = 0.5\rho AC_d v^2$

ρ = density of the air
 A = frontal area
 v = speed
 C_d = drag coefficient

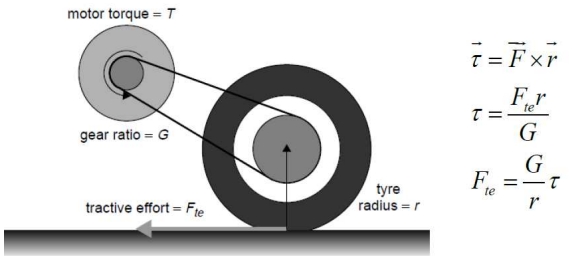
Typical values for C_d :
 Conventional cars: $C_d = 0.3$
 Electric vehicle: $C_d = 0.19$
 Motorcycle and bus: $C_d = 0.7$

Traction force

Hill climbing force → $F_{hc} = mg \sin(\psi)$

Linear acceleration force → $F_{la} = ma$

Angular acceleration force → due to the rotating parts



Traction force

Angular speed at the axle → $\omega = \frac{v}{r}$

Angular speed at the motor → $\omega = G \frac{v}{r}$

Motor angular acceleration → $\dot{\omega} = G \frac{a}{r}$

Torque required for this acceleration → $\tau = I \dot{\omega} = IG \frac{a}{r}$

Angular acceleration force → $F_{\omega a} = \frac{G}{r} T = I \left(\frac{G}{r} \right)^2 a$

Traction force

It will quite often turn out that the moment of inertia of the motor will not be known.

In such cases a reasonable approximation is to simply increase the mass by 5% in F_{la} and to ignore the $F_{\omega a}$ term.

Total tractive force → $F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{la} + F_{\omega a}$

We should note that F_{la} and $F_{\omega a}$ will be negative if the vehicle is slowing down, and that F_{hc} will be negative if it is going downhill.

Modelling the acceleration of an electric scooter:

Characteristics:

- Electric Scooter mass = 115 kg + 70 kg (pilot) = 185 kg
- The moment of inertia of the motor is not known, so m is increased by 5%, therefore, Electric Scooter mass = 194 kg
- The drag coefficient (C_d) is estimated as 0.75
- The frontal area of vehicle and rider = 0.6 m²
- Coefficient of the tire rolling resistance $\mu_{rr} = 0.007$
- The motor ratio belt = 2:1, and wheel diameter = 42 cm, thus, $G = 2$
- Gear system efficiency (η_g) = 98%
- The motor is an 18V **Lynch** type motor
- Motor speed = 70 rpm/V
- Armature resistance = 0.016 Ω

Modelling Vehicle Acceleration

For $\omega < \omega_c$ or $v < (r/G) \omega_c$ then $\tau = \tau_{max}$

For $\omega \geq \omega_c$ or $v \geq (r/G) \omega_c$ then $\tau = \tau_0 - k\omega$

For a vehicle on level ground, and air density of 1.25 kg.m⁻³:

$$F_{te} = \mu_{rr}mg + 0.625AC_d v^2 + ma + I \frac{G^2}{\eta_g r^2} a$$

$$F_{te} = \frac{G}{r} \tau \quad a = \frac{dv}{dt}$$

$$\frac{G}{r} \tau = \mu_{rr}mg + 0.625AC_d v^2 + \left(m + I \frac{G^2}{\eta_g r^2} \right) \frac{dv}{dt}$$

Modelling the acceleration of an electric scooter:

Torque equation:

$$K_m \Phi = \frac{60}{2\pi} \frac{E}{RPM} = \frac{60}{2\pi} \frac{1}{70} = 0.136$$

$$\tau = K_m \Phi I = \frac{E_s K_m \Phi}{R_a} - \frac{(K_m \Phi)^2}{R_a} \omega = \frac{18 \times 0.136}{0.016} - \frac{(0.136)^2}{0.016} \omega$$

$$\tau = 153 - 1.16\omega$$

The current will be limited in 250A, therefore, the maximum torque is:

$$\tau = K_m \Phi I = 0.136 \times 250 = 34 Nm$$

Modelling the acceleration of an electric scooter:

Critical motor speed : $34 = 153 - 1.16\omega$

$$\omega = \frac{153 - 34}{1.16} = 103 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

For constant torque:

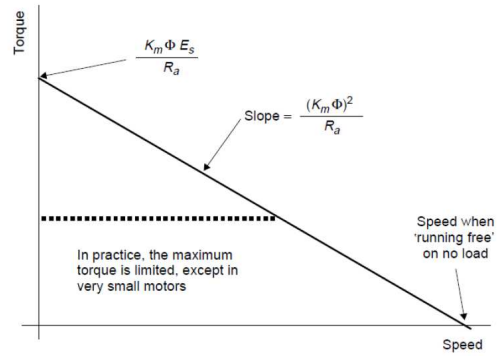
$$\frac{G}{r} \eta_g \tau = \mu_r mg + 0.625 AC_d v^2 + \left(m + I \frac{G^2}{\eta_g r^2} \right) \frac{dv}{dt}$$

$$\frac{2}{0.21} \times 0.98 \times 34 = 0.007 \times 185 \times 9.8 + 0.625 \times 0.6 \times 0.75 v^2 + 194 \frac{dv}{dt}$$

$$317 = 12.7 + 0.281 v^2 + 194 \frac{dv}{dt}$$

$$\frac{dv}{dt} = 1.57 - 0.00145 v^2$$

Permanent magnetic DC motor



Modelling the acceleration of an electric scooter:

This equation holds until the torque begins to fall when, $\omega = \omega_c = 103 \text{ rad/s}$, which corresponds to $103 \times 0.21/2 = 10.8 \text{ m/s}$. After this point the torque is governed by :

$$153 - 1.16\omega = \mu_r mg + 0.625 AC_d v^2 + \left(m + I \frac{G^2}{\eta_g r^2} \right) \frac{dv}{dt}$$

$$\frac{2}{0.21} \times 0.98 \times \left(153 - 1.16 \frac{2}{0.21} v \right) = 0.007 \times 185 \times 9.8 + 0.625 \times 0.6 \times 0.75 v^2 + 194 \frac{dv}{dt}$$

$$1428 - 103v = 12.7 + 0.281 v^2 + 194 \frac{dv}{dt}$$

$$\frac{dv}{dt} = 7.3 - 0.53v - 0.00145 v^2$$

Modelling the acceleration of an electric scooter:

The derivative of v is simply the difference between consecutive values of v divided by the time step given by :

Constant torque: $\frac{v_{n+1} - v_n}{\partial t} = 1.57 - 0.00145 v_n^2$

$$v_{n+1} = v_n + \partial t \times (1.57 - 0.00145 v_n^2)$$

After critical speed: $v_{n+1} = v_n + \partial t \times (7.30 - 0.53 v_n - 0.00145 v_n^2)$

Introduction

- Le véhicule électrique, et alors ?
Quelle est la difficulté ?
- Cela existe : France 2, JT 20h, lundi 26 décembre 2011,
reportage de Alain DE CHALVRON (Linoing)
<http://www.youtube.com/watch?v=VoAax3NNwTg>
- Exemple : Tesla Roadster



0 à 100 km/h en 3,9 s
aucun rejet de CO₂
propulsion : 100 % électrique,
Vitesse de pointe limitée
électroniquement à 212 km/h
autonomie de plus de 340 km
6 831 cellules Li-I, 450 kg, 53 kWh
375 volt AC induction motor
prix : 84 000 euros

3

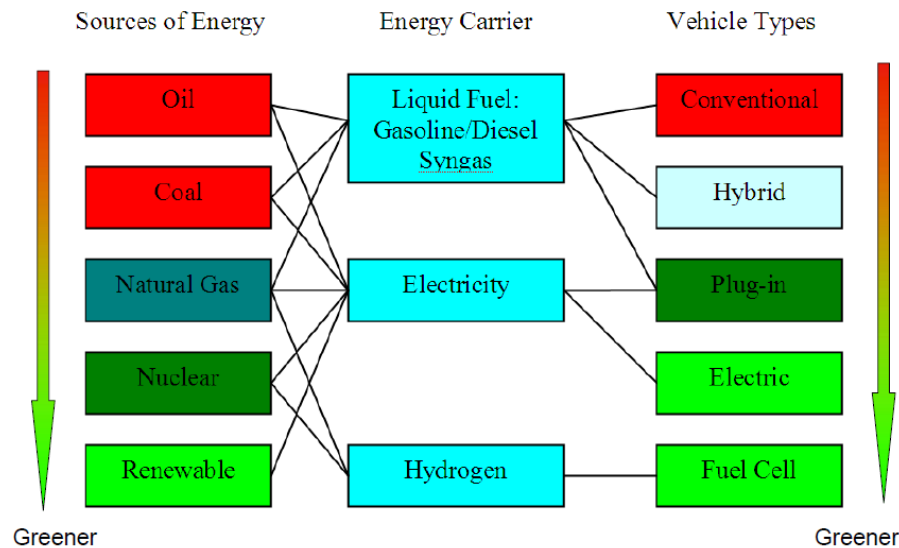
Introduction

- Objectif du cours
- Quels sont les caractéristiques et défis des propulsions des futurs véhicules automobiles ?
- Présentation des différentes technologies de véhicules électriques



4

A Sustainable Transportation



5

Différentes architectures pour la traction

- Le véhicule tout électrique
 - Mono moteur
 - Bi moteur
 - Machine à courant continu
 - Machine synchrone
- Le véhicule hybride

6

Véhicules électriques : Définition

Définition normalisée (IEC 61851) :

Véhicule dont la propulsion est assurée par un moteur alimenté par une batterie rechargeable à partir de sources d'énergie externes au véhicule [0].

La définition inclut les BEV (Battery Electric Vehicle) et PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) et non les HEV (Hybrid Electric Vehicle) car non rechargeables par l'extérieur.



elec 01
Le premier véhicule électrique, un train miniature, est daté de 1834. Le marché se développe à la fin du siècle, à la suite des travaux des français Gaston Planté et Camille Faure sur les batteries (ici, une Midlé en 1897).



Hall de Centrale Supélec

[0] P. Bauer, Yi Zhou, J.Doppler, N.Stembridge « Charging of Electric Vehicles and Impact on the Grid”. MECHATRONIKA, 2010 13th International Symposium



elec 02
Conçue par l'ingénieur belge Camille Jenatton, propulsée par une batterie au plomb, la Jamais Contente entre dans l'histoire en devenant la première voiture à dépasser les 100 km/h, atteignant 105,88 km/h le 1er mai 1899.



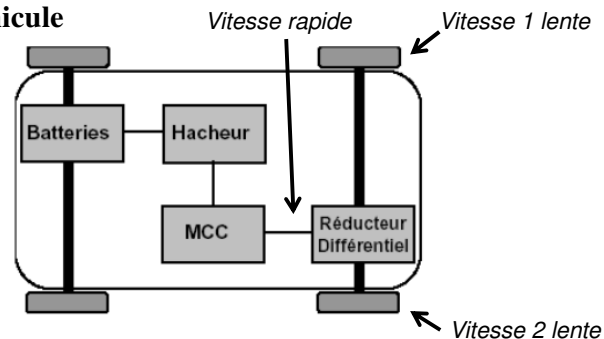
elec 03
Lorsqu'il débute en 1899 ses travaux pour améliorer l'autonomie des batteries, Thomas Edison (photographié ici en 1914) est convaincu que les voitures du futur seront électriques. Aux Etats-Unis, sur les 4192 voitures vendues en 1900, 28% sont électriques.

Le véhicule électrique (mono moteur)

Architecture avec moteur à courant continu :

- _ Une batterie
- _ un variateur (un hacheur réversible)
- _ une machine à courant continu
- _ un réducteur différentiel (réduction de la vitesse, augmentation du couple)

EV: Electrical Vehicle

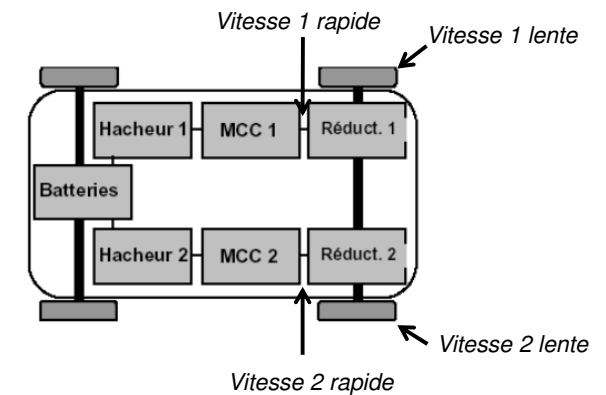


➡ Architecture à modéliser et à simuler sous Simulink

Le véhicule électrique (bi moteur)

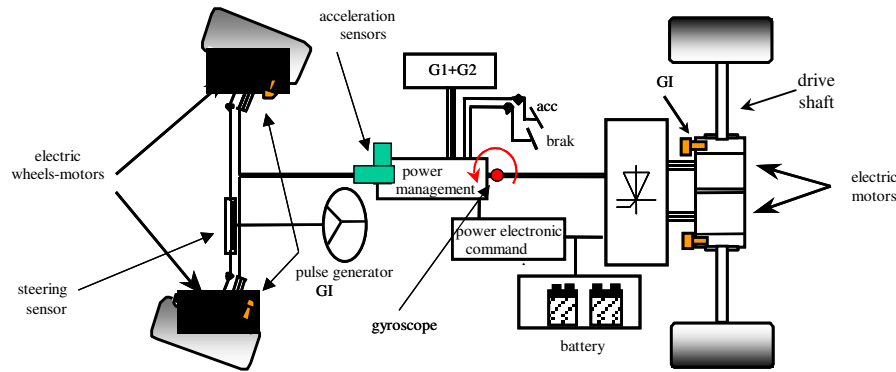
On double la chaîne énergétique de traction

Architecture avec Moteur à Courant Continu (MCC)



➡ Plus de différentiel mécanique
Augmentation de la fiabilité -> 2 chaînes de traction
Fonctionnalité recréée par la supervision de la commande des deux moteurs

Le véhicule électrique (quadri moteur)

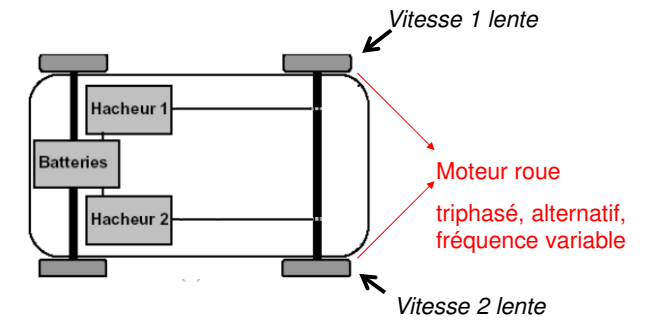


11

Le véhicule électrique (bi moteur)

Architecture avec moteur synchrone (dans la roue) :

- _ Une batterie
- _ deux variateurs (onduleur)
- _ deux machines synchrones



Plus de réducteur !

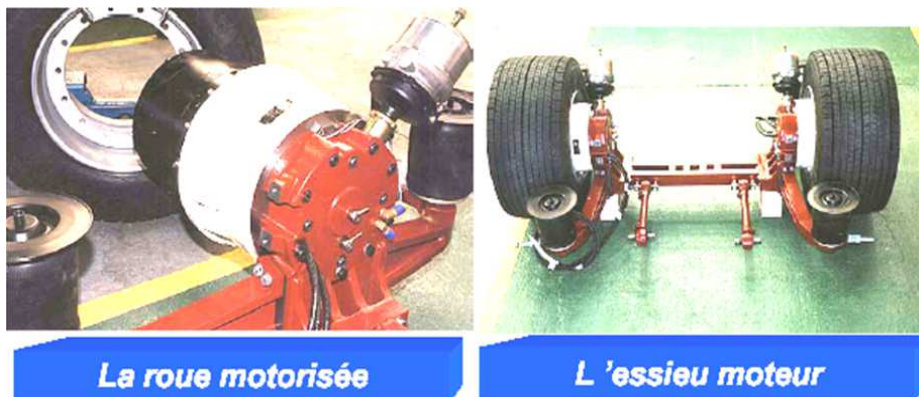
Plus de différentiel mécanique

Fonctionnalité recréée par la supervision de la commande des deux moteur

12

Le véhicule électrique (bi moteur)

Exemple : Cristalis (Bus avec caténaire)



L'essieu avant est directeur, les essieux milieu et arrière sont moteurs

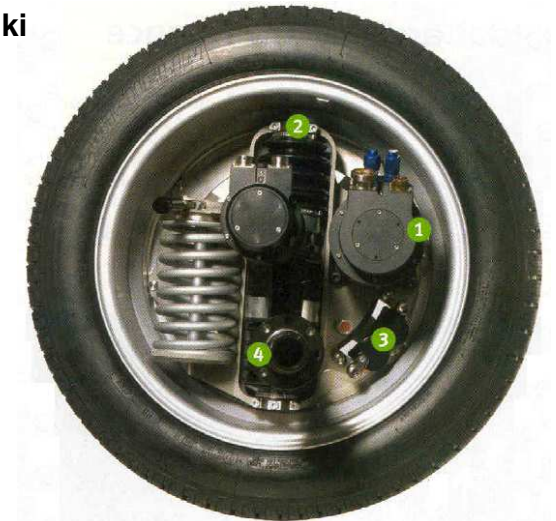
Indiquez où se trouvent les aimants en faisant un schéma en coupe d'une roue.

13

Le véhicule électrique (bi moteur)

Exemple : Michelin Seiki

Active wheel =
système de freinage +
barre antiroulis +
colonne de transmission +
organes moteurs +
suspensions



1 : moteur (breveté) 38kW pour 5,8kg

2 : suspension intégrée, temps de réponse quasi-instantané (3/1000 s)

3 : freinage classique (disque + étrier)

4 : Attache mécanique unique

14

Le véhicule électrique (bi moteur)

+ Intégration des batteries dans la roue → EZ-Wheel

15

Comment réduire les composants dans la roue ?

Exemple: pneumatique en « nid d'abeille »



16



Challenges:

- Mechanical conditions
- Packaging and integration

17



Monomoteur, sans réducteur avec différentiel



L'intelligence

Elle comprend le boîtier d'interconnexion, le chargeur de la batterie, l'onduleur qui alimente le moteur et adapte sa vitesse. Le tout sous contrôle du superviseur qui assure la communication entre l'électronique du moteur et les éléments extérieurs (batterie, véhicule, actions du conducteur). L'énergie de freinage est récupérée dans la batterie lors de la circulation.

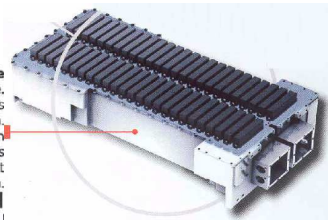
Les muscles

La partie mécanique du motopropulseur se compose d'un moteur électrique synchrone à haut rendement d'une puissance de 50 à 70 kW, tournant jusqu'à 12 000 tr/min. Un réducteur à rapport fixe transmet le mouvement vers les arbres de roue.

L'énergie

C'est le pack de batterie qui fait office de réservoir d'énergie. Il comporte deux rangées de 24 modules fournissant au total une capacité de 20 kWh. Chaque module contient quatre cellules lithium-ion de 3,7 V. Les réactions électrochimiques qui s'y produisent permettent de stocker le courant de recharge et de le restituer lors de l'utilisation.

» JEAN-FRANÇOIS PREVERAUD
j.preveraud@industrie-technologies.com



Le véhicule électrique (mono moteur)

Exercice

Représentez la chaine de conversion énergétique de la Kangoo ZE

AIXAM MEGA TRUCK
Autonomie 45 km
Vitesse maxi 65 km/h
Batterie Plomb
Déjà disponible

RENAULT ZOE Z.E.
Autonomie 160 km
Vitesse maxi 140 km/h
Batterie Lithium ion
Disponibilité mi-2012

SMART ED
Autonomie 160 km
Vitesse maxi 120 km/h
Batterie Lithium ion
Disponibilité 2012

Trois points à surveiller

AUTONOMIE
Selon les conditions d'utilisation (méto, fréquence des démarrages...), le kilométrage annoncé par les constructeurs est souvent 20 % inférieur à celui réellement disponible.

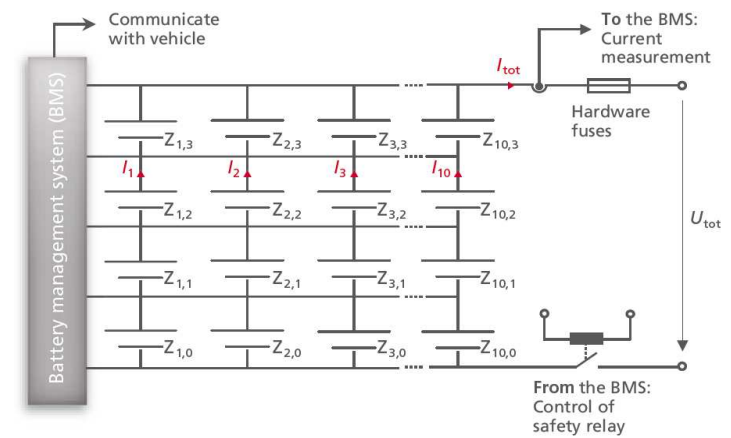
RENTABILITÉ
Très faible kilométrage s'abstenir. L'intérêt du véhicule électrique réside dans son faible coût d'usage, mieux vaut utiliser au maximum l'autonomie disponible... Et rouler souvent.

RECHARGE
Les recharges rapides qui boostent la voiture sur quelques kilomètres diminuent la durée de vie des batteries. Elles doivent rester une solution de dépannage.

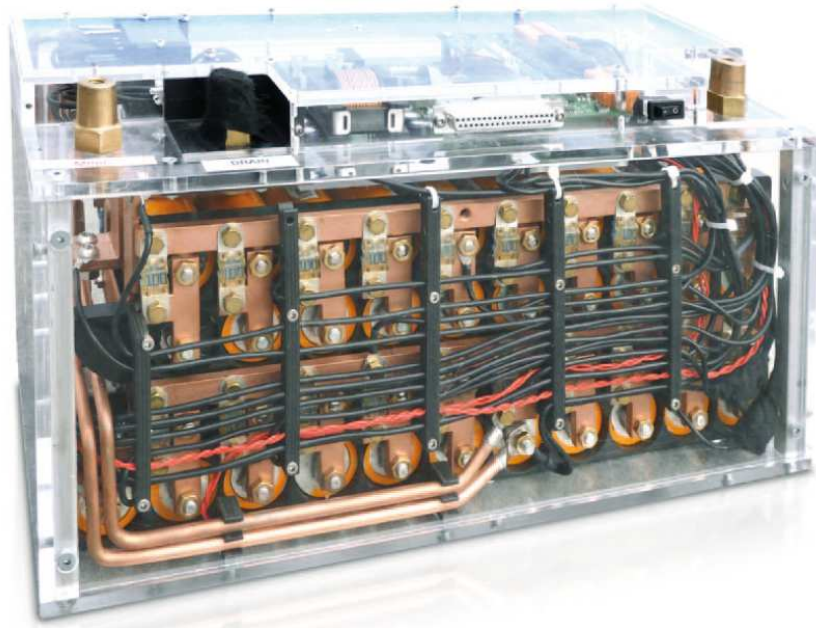
Batteries

Lead-Acid	Li-Ion
	
<ul style="list-style-type: none"> Life cycle: ~ 4 years Cycles at 20 % discharge depth: <ul style="list-style-type: none"> Lead-acid battery: ~ 400 AGM (Absorbent Glass Mat): ~ 1000 Energy density: ~ 40 Wh/kg Price: Low Complexity: Low 	<ul style="list-style-type: none"> Life cycle: ~ 15 years Cycles at 20 % discharge depth: 15,000 Energy density: 50 - 100 Wh/kg Price: Currently five times higher than lead-acid batteries Complexity: High (requires a battery management system).

Battery Management System

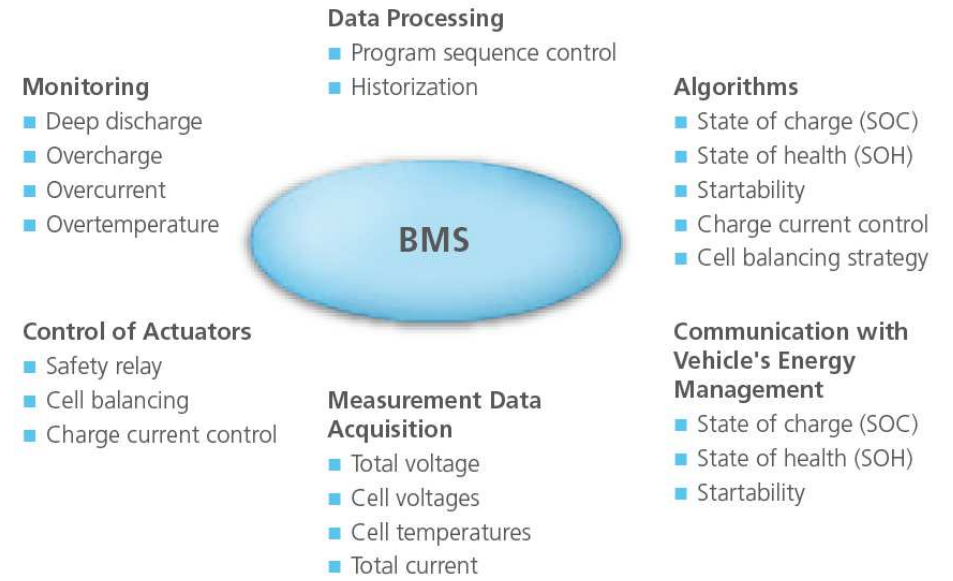


BMS



23

BMS



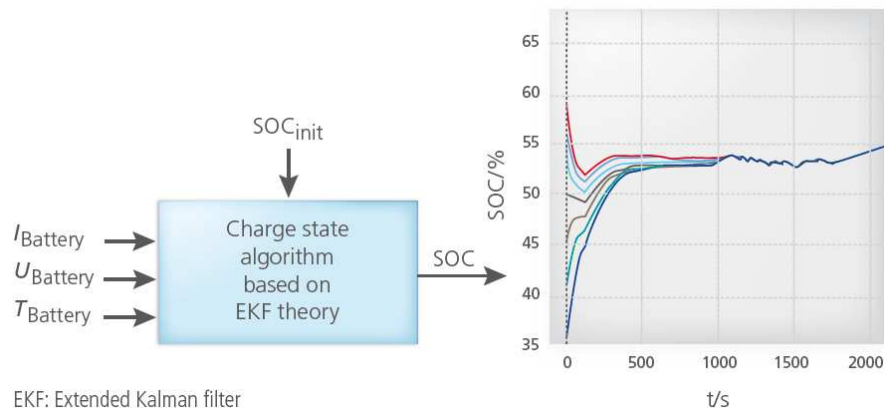
24

Matériaux et terres rares

12 à 15kg de terres rares (cérium, lanthane, néodyme et praséodyme) contenus dans un véhicule hybride



26



25

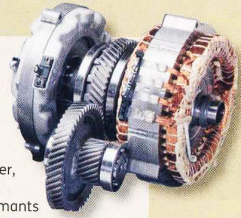
Matériaux et terres rares

Ils magnétisent le moteur électrique

MÉTAUX: NÉODYME, PRASÉODYME, DYSPROSIUM, TERBIUM

► **Effets:** Le néodyme, mélangé au bore et au fer, constitue les aimants permanents du moteur électrique synchrone. Ce type d'aimants surclasse les performances des aimants classiques en ferrite d'un facteur dix. L'ajout de 5% de dysprosium maintient ces performances à haute température.

► **Perspectives:** Toyota planche avec l'américain Tesla sur une motorisation électrique sans aimants permanents. Côté recyclage, le chimiste Rhodia récupère et traite des concentrés de terres rares auprès de partenaires spécialisés dans le démantèlement d'aimants.



Ils euphorisent les écrans LCD

MÉTAUX: INDIUM, EUROPIUM, YTTRIUM, CÉRIUM

► **Effets:** Les propriétés phosphorescentes du duo europium/terbium sont à la base du rétroéclairage de la plupart des écrans LCD. Leur cousin yttrium se rend également indispensable comme porteur des nuances rouges de l'europium. Autre composant névralgique: l'ITO (indium tin oxyde), un oxyde d'indium, dopé à l'étain. C'est le conducteur idéal pour les fines électrodes transparentes qui recouvrent écrans plats et dalles tactiles.

► **Perspectives:** Des unités pilotes de séparation de l'indium des dalles LCD sont à l'essai en France. La séparation simultanée du trio indium-europium-yttrium n'est pas à l'ordre du jour. Les nanotubes de carbone, transparents et conducteurs comme l'ITO, sont une piste de substitution.



27

Matériaux et terres rares

Ils boostent le polissage des vitres

MÉTAUX: CÉRIUM, LANTHANE, PRASÉODYME

► **Effets:** Champion du polissage de précision, l'oxyde de cérium a totalement remplacé l'oxyde de fer pour le traitement de tous types de surfaces optiques.

► **Perspectives:** Le recyclage des boues de polissage est à l'étude. Mais ce gisement ne semble pas prioritaire. La filière de collecte est encore inexistante.



Ils stimulent le pot catalytique

MÉTAUX: CÉRIUM, LANTHANE, PLATINOÏDES

► **Effets:** Les platinoïdes (platine, palladium, rhodium...) sont de puissants catalyseurs. Au cœur des pots catalytiques, ils accélèrent la dégradation des gaz d'échappement (oxyde de carbone, hydrocarbures et oxydes d'azote) en substances moins nocives. Quant au lanthane et au cérium, leurs oxydes finement dispersés s'utilisent en substitution ou en complément au très précieux platine.

► **Perspectives:** Dans les pots catalytiques en fin de vie, les platinoïdes sont bien récupérés. Mais il n'existe pas à ce jour de procédé viable pour extraire aussi le cérium et le lanthane.



28

Le véhicule hybride

Un véhicule hybride est un véhicule possédant au moins un moteur thermique et au moins un moteur électrique.

Ne pas oublier l'avantage du pouvoir calorifique du moteur thermique, ordre de grandeur:

1kg de pétrole=1,3l=11,6kWh= 230kg de batteries=10kg d'H₂= 1mg d'Uranium

La motorisation est hybride mais l'alimentation peut l'être aussi !

Exemple : Batterie + Supercondensateurs + Pile à Combustible + Pétrole

HEV: Hybrid Electrical Vehicle

29

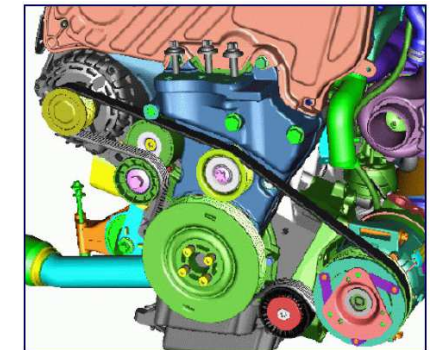
Système Stop and Start : Fondements

Fonction d'un démarreur :

Un démarreur est un moteur alimenté à partir de la batterie et destiné à lancer un moteur à combustion interne car un régime de rotation suffisant doit lui être imprimé pour alimenter les cylindres

Fonction d'un alternateur:

L'alternateur est entraîné par le moteur thermique (courroies) et recharge la batterie et alimente électriquement les équipements



Objectif : Economies d'énergie possible

Au delà de trois secondes d'immobilité, l'arrêt du moteur thermique est bénéficiaire.

30

Système Stop and Start : Hybrider des fonctions

Principe :

Le système Start and Stop consiste à hybrider les fonctions alternateur et démarreur sur un même équipement : l'alternateur-démarreur

Assistance sur le moteur thermique :

Dès que la vitesse atteinte est inférieure à 6 km/h, le moteur se met en veille, l'embrayage est alors ouvert.

Le moteur reste alors en veille tant que la pédale de frein est enfoncée.

Dès lors que celle-ci est relâchée, le moteur redémarre automatiquement, instantanément, en silence et presque sans aucune vibration.

Lorsque l'accélérateur est à nouveau sollicité, l'embrayage se referme progressivement.

31

Système Stop and Start : StARs (Valéo)

L'entraînement de l'alternateur-démarreur est réalisé par une courroie pouvant aussi servir d'autres accessoires tels que le compresseur de climatisation, la pompe à eau ou de direction assistée.

Un tendeur réversible lui permet **d'accepter la transmission de puissance dans un sens ou dans l'autre**, selon que l'alternateur-démarreur StARs travaille en démarreur ou en générateur.

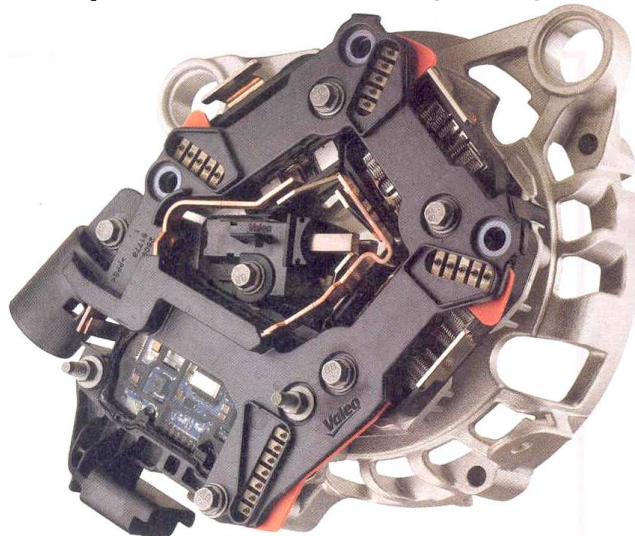
Il est associé à une **batterie** acceptant un plus grand nombre de cycles de charge/décharge.

La batterie est surveillée grâce à un capteur permettant:

- d'inhiber la fonction Start-Stop en cas **de charge trop faible** ou
- de commander le redémarrage du moteur en cas **de charge trop forte**.

32

Système Stop and Start : StARs (Valéo)



2004.
Citroën C3 1.4i 16V,
Citroën C2.

Baisse de la consommation de 3% en conduite urbaine chargée
Consommation descendue à 4 l/ 100 km
BNiveau de CO2 à seulement 103 grammes/kilomètre.

33

Système Stop and Start : StARs (Valéo)

L'alternateur-démarreur StARs est une **machine synchrone triphasée avec rotor à griffes**, refroidie par circulation d'air

conversion triphasée alternative/ continu 12 volts réalisée par un convertisseur électronique déporté

En **mode démarreur**, le convertisseur électronique fournit trois courants déphasés de 120° en relation avec les informations des **3 capteurs de position** de l'axe.

Courant nominal de 600 A générant un couple élevé pour un entraînement immédiat du moteur thermique (<0,4s) et à régime plus élevé qu'avec un démarreur conventionnel,

Ensuite **en mode alternateur** avec redressement des 3 courants réalisé par le convertisseur électronique (Transistor à Effet de Champ MOSFET).

C'est l'une des raisons du rendement de l'alternateur-démarreur StARs : 82 %, soit 10 % de mieux que l'alternateur conventionnel le plus performant du marché. La machine débite un courant allant jusqu'à 80 A.

34

Hybrider la traction

Principe : Disposer de plusieurs motorisations et plusieurs sources afin d'en exploiter leurs caractéristiques

Exemple : Électrification du Groupe Moto Propulseur conventionnel

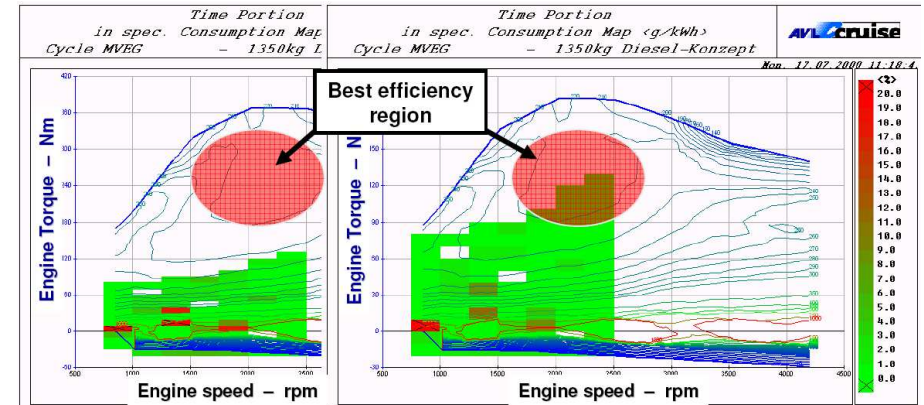
Intérêt : Réduction de la consommation et Amélioration de l'agrément de conduite

Comment ? : en assistant le moteur thermique et en employant celui-ci à son meilleur point de fonctionnement.

Utilisation de la caractéristique couple/vitesse

35

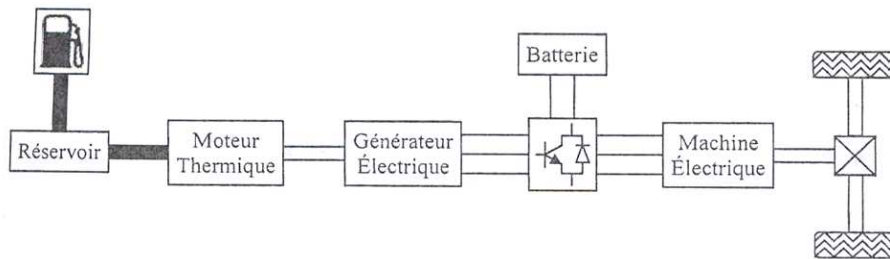
Exemple de caractéristique couple/vitesse



3 architectures : Série
Parallèle
À dérivation de puissance.

36

Le véhicule hybride série



Traction 100% électrique

Le groupe électrogène fournit la puissance moyenne, la batterie les pics de puissance

Fonctionnement optimal du moteur thermique sur une très grande plage de fonctionnement car il n'est pas couplé aux roues

Mauvais rendement de la chaîne énergétique globale

37

Recharge des batteries par récupération d'énergie au freinage ou par le moteur thermique
L'ensemble moteur thermique + Générateur électrique constitue un groupe électrogène

Coté CO₂, réduction à la marge

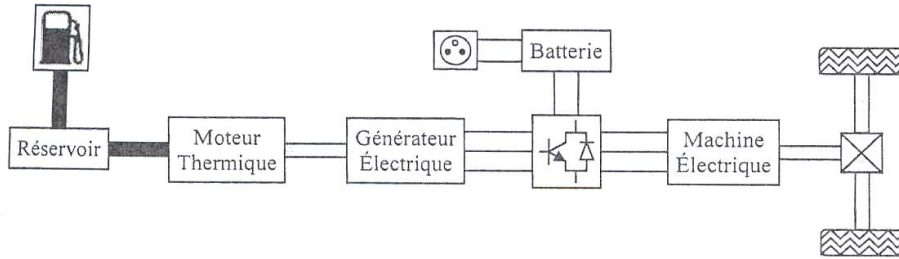
Exemple:

Voiture de l'année 2012 :

- Chevrolet Volt, voiture hybride série
- moteur électrique: 111 kW (151ch)
- consommation moyenne dans le cycle mixte est de 1.2 l/100 km, avec des émissions de CO₂ de moins de 27 g/km.

38

Le véhicule hybride série : PHEV



Possibilité de recharger les batteries à partir du réseau électrique

PHEV: Plug-in Hybrid Electrical Vehicle

Véhicule hybride à dominante électrique avec prolongateur d'autonomie thermique

Gestion automatique des énergies électrique et thermique tout en se gardant la possibilité d'un fonctionnement forcé purement électrique

39

Le véhicule hybride série : PHEV

Caractéristiques principales

- Technologies innovantes pour la chaîne de traction :
 - batterie de traction Lithium
 - moteur électrique synchrone à aimants permanents
 - alerno-démarrreur du groupe électrogène

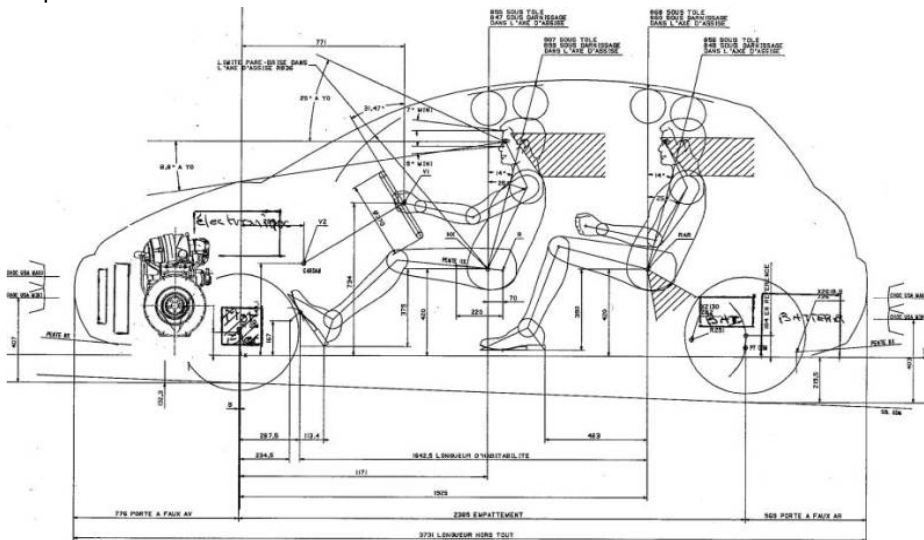
Le projet VNX- Dassault et Heuliez (D-H)

40

Le véhicule hybride série : PHEV

Le projet VNX- Dassault et Heuliez (D-H)

Implantation de la chaîne de traction en élévation

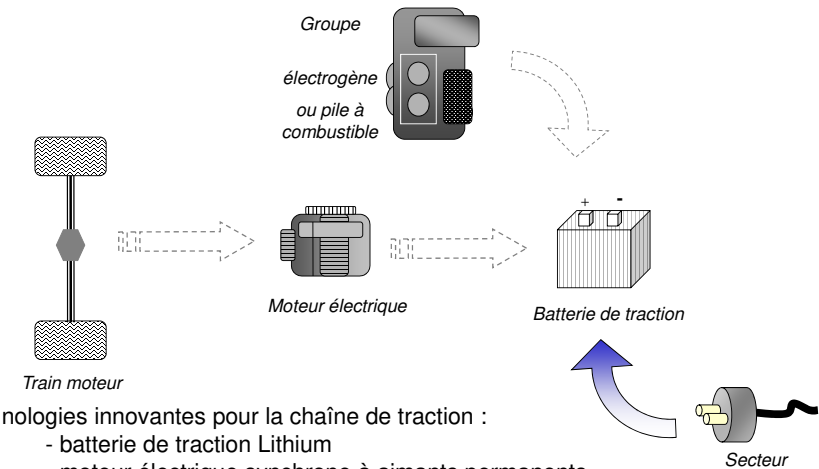


41

Le véhicule hybride série : PHEV

Le projet VNX

Mode charge à partir du réseau électrique



Technologies innovantes pour la chaîne de traction :

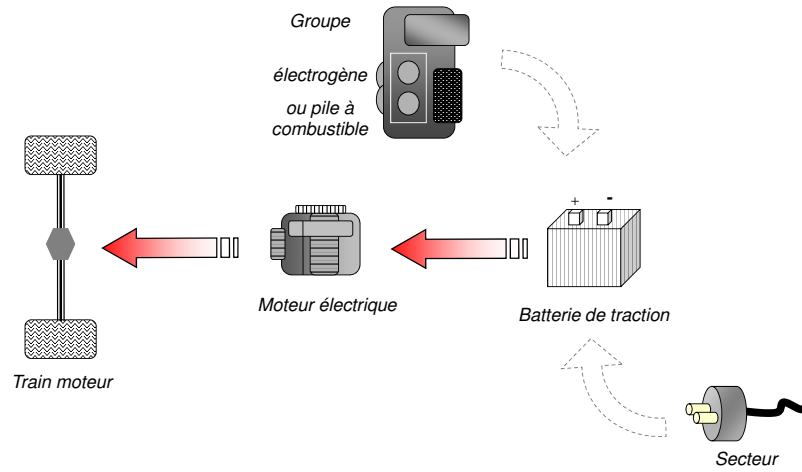
- batterie de traction Lithium
- moteur électrique synchrone à aimants permanents
- alerno-démarrreur du groupe électrogène

42

Le véhicule hybride série : PHEV

Le projet VNX

Mode traction purement électrique

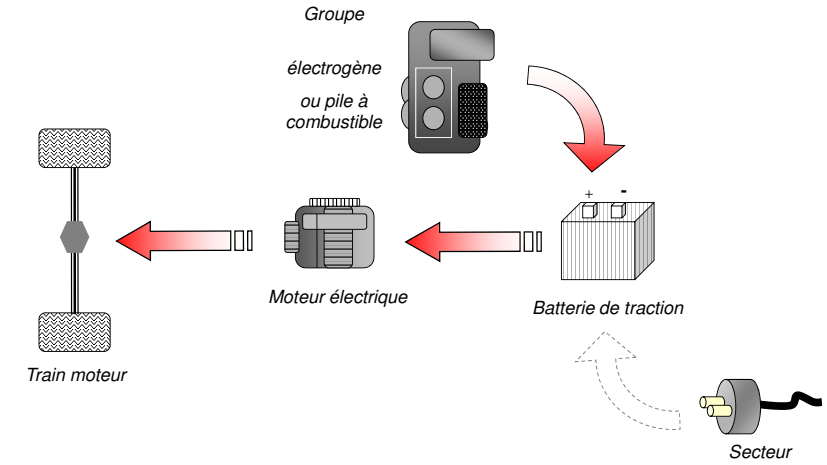


43

Le véhicule hybride série : PHEV

Le projet VNX

Mode traction avec recharge de la batterie par le groupe électrogène ou la pile à combustible

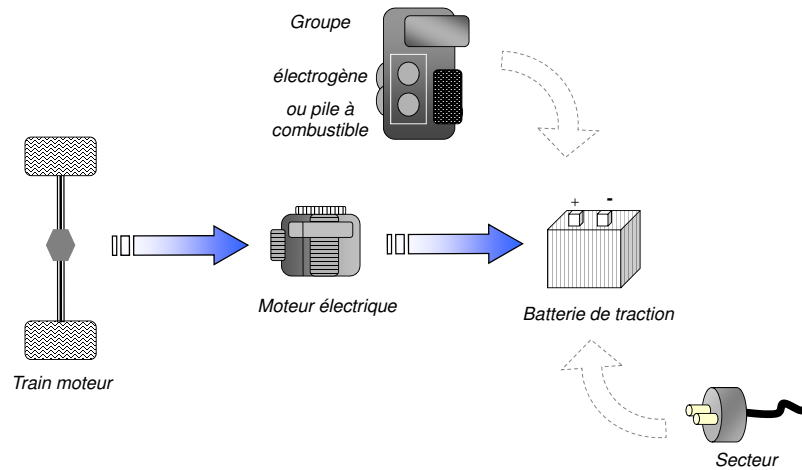


44

Le véhicule hybride série : PHEV

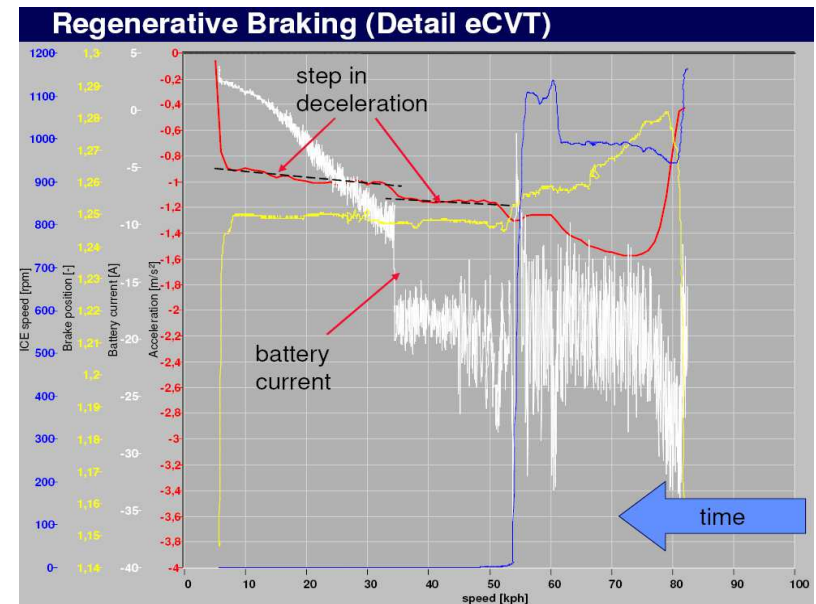
Le projet VNX

Mode récupération d'énergie



45

Le véhicule hybride série



46

Le véhicule hybride série Le projet VNX

Performances

0 – 50 km/h	7s
50 – 80 km/h	7s
80 – 110 km/h	13s
0 – 115 km/h	37s
Vitesse maximale	120km/h

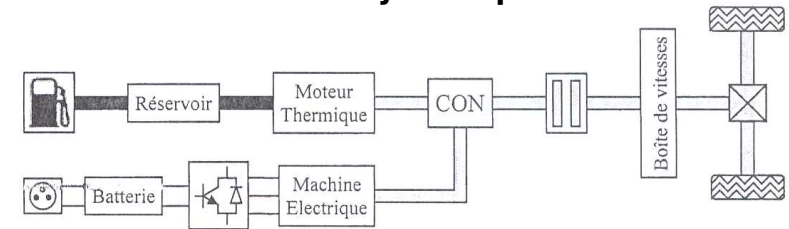
Autonomie

100 % électrique	
batterie 30 kWh	
Usage urbain	300 km
<i>(vitesse moyenne = 30 km/h)</i>	
Fonctionnement hybride	
plus GEL 20 l	
<i>2l/100km</i>	
Usage routier	200 km 450 km
<i>(vitesse moyenne = 90 km/h)</i>	

* GEL= Groupe thermique électrogène

47

Le véhicule hybride parallèle



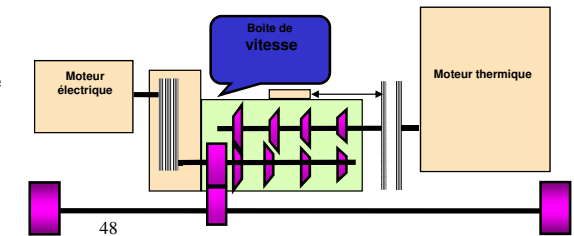
Bon rendement de la chaîne énergétique globale

Une seule machine électrique utilisée

Mode de traction en tout thermique ou tout électrique

Couplage mécanique complexe

Gestion délicate de l'ensemble



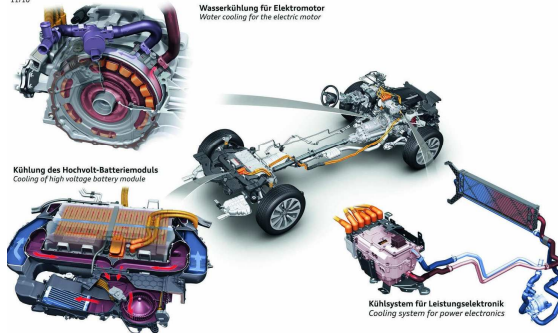
48

Voir article :
L'hybridation conquiert le Diesel

- Exemple:
Q5 hybrid quattro d'Audi
- moteur à essence 2.0 TFSI
 - moteur électrique
 - puissance totale de 188kW (245ch) et un couple de 480Nm.
 - Consommation moyenne dans le cycle mixte, 6.9 l/100 km
 - Avec des émissions de CO2 de 159 g/km

Audi Q5 hybrid quattro
Hybridkomponenten - Kühlung
Hybrid components - cooling
11/10

Wasserkühlung für Elektromotor
Water cooling for the electric motor



Kühlung des Hochvolt-Batteriemoduls
Cooling of high-voltage battery module

Kühlsystem für Leistungselektronik
Cooling system for power electronics



Le véhicule hybride parallèle : HONDA

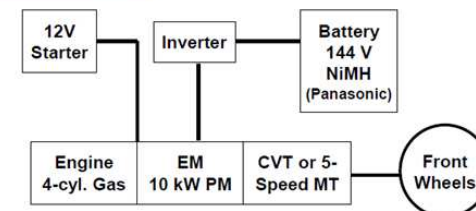
Insight 1999

Civic Integrated Motor Assist (2003), hybridation moins complète
Le moteur électrique redémarre le moteur thermique et participe si besoin à la propulsion en soutien du moteur thermique, la batterie se recharge aux décélérations et aux freinages.



Engine: 1.34L 85 HP (63 kW) / 119 Nm

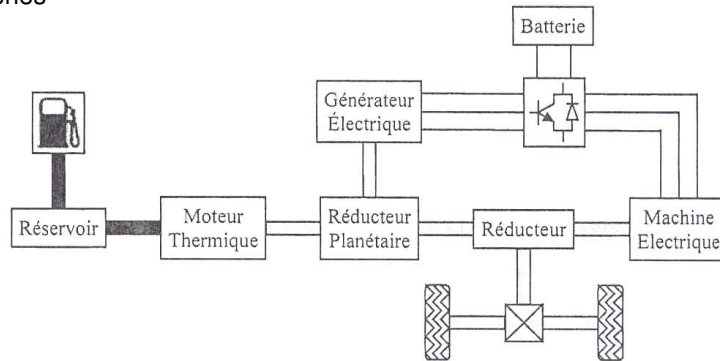
Motor: PM DC Brushless
10 kW / 62 Nm Assist
12.6 kW / 108 Nm Regen



http://automobiles.honda.com/models/specifications_full_specs.asp?ModelName=Civic+Hybrid&Category=3

Le véhicule hybride parallèle à dérivation de puissance « Full Hybrid »

La puissance thermique est en partie récupérée (générateur) pour recharger les batteries



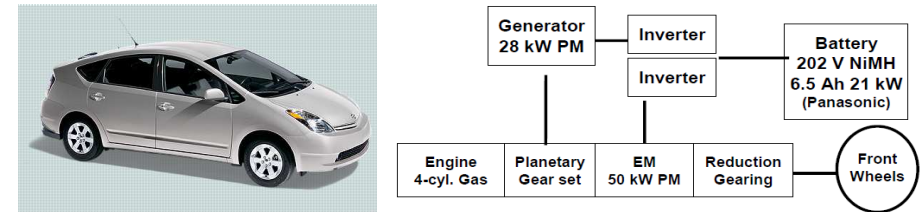
Couplage mécanique complexe mais pas de rupture de couple lors des changements des rapports car les deux tractions sont combinées

Très bonne répartition de l'énergie

Gestion très délicate de l'ensemble 51

Le véhicule hybride : Toyota Prius

La Toyota Prius est la première voiture à propulsion hybride parallèle à dérivation de puissance construite en grande série (1997, Japon USA).



1ere génération, 130 000 exemplaires vendus

2eme génération, mars 2004

La E-CVT (Electronic Continuously Variable Transmission) exploite la bi-motorisation de la Prius :

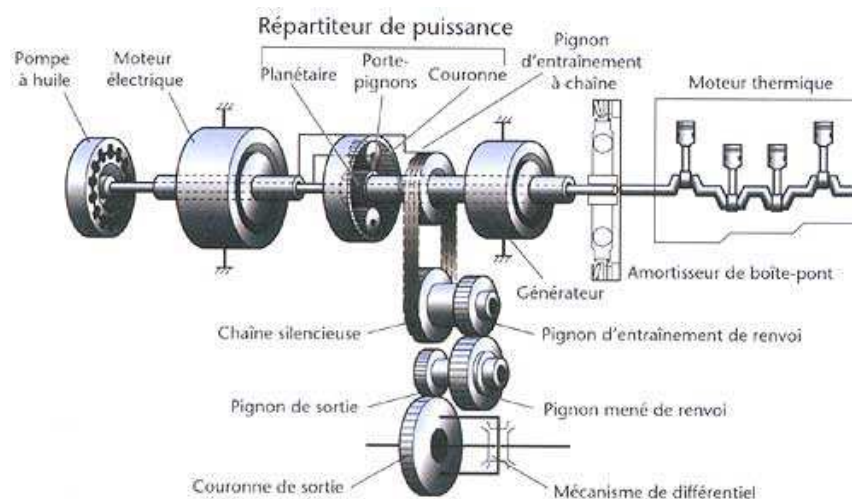
- un moteur thermique à essence, à injection électronique multipoint, 4 cylindres, **1497 cm³, Pmax 57 kW à 5000 tr/min, Cmax 115 Nm à 4000 tr/min**
- un moteur électrique triphasé **synchrone à aimants permanents, Pmax 50 kW de 1200 à 1540 tr/min, Cmax 400 Nm de 0 à 1200 tr/min, 500V**

52

Le véhicule hybride : Toyota Prius

Un répartiteur de puissance reçoit le couple des moteurs thermique et électrique et le transmet aux roues et à un générateur électrique.

En commandant séparément le régime des moteurs, on obtient une variation continue de la vitesse de la voiture.



Le véhicule hybride : Toyota Prius

Rôle:

Répartir la puissance entre les roues motrices et le générateur afin que le moteur thermique travaille le plus possible dans la zone de son meilleur rendement.

La puissance peut suivre deux voies, l'une mécanique, l'autre électrique : le moteur thermique peut entraîner les roues, tout comme le moteur électrique, mais il peut aussi entraîner le générateur.

Suivant les cas, la puissance de sortie du moteur thermique est dirigée par le répartiteur :

- totalement sur les roues en partie sur les roues et en partie sur le générateur électrique
- totalement sur le générateur électrique

Deux autres cas peuvent se produire :

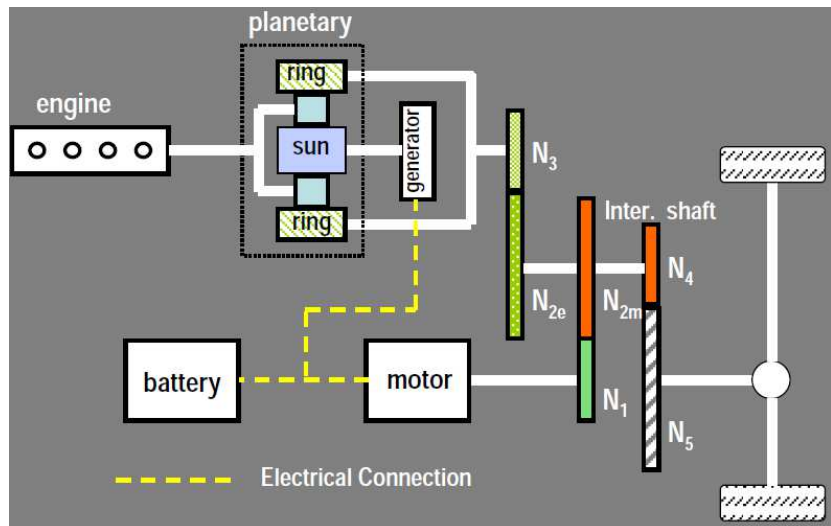
seul le moteur électrique entraîne les roues

les roues entraînent le moteur électrique fonctionnant alors en générateur électrique

54

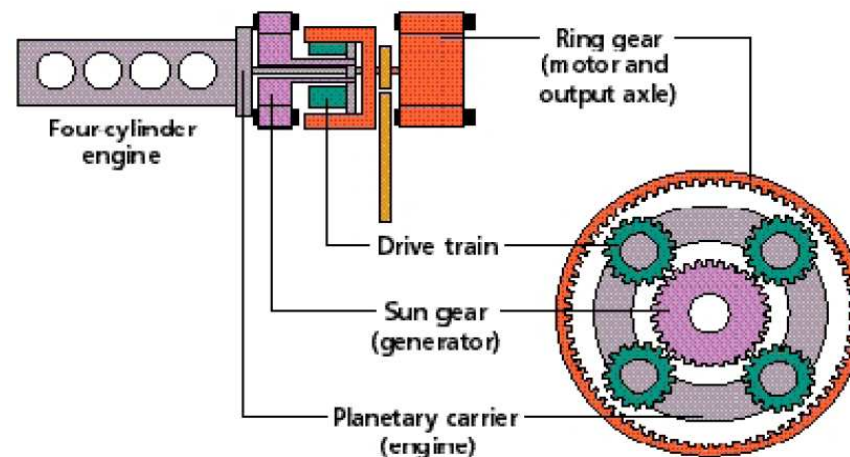
Le véhicule hybride : Toyota Prius

Directement relié au moteur thermique, le bloc de transmission hybride comprend le moteur électrique, le générateur électrique et le répartiteur de puissance, constitué pour l'essentiel d'un train épicycloïdal.



55

Le véhicule hybride : Toyota Prius



56

Le véhicule hybride : Toyota Prius

Bien qu'il comprenne le moteur électrique et le générateur, le système entier s'avère aussi compact qu'une boîte de vitesses classique.

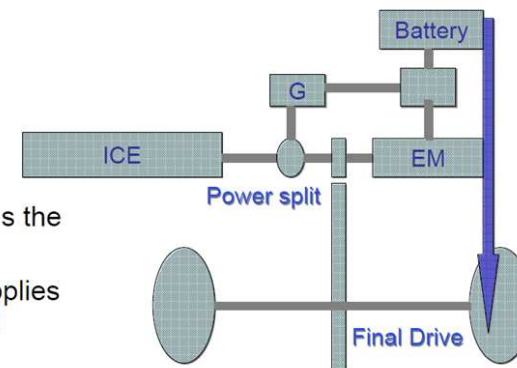


57

Le véhicule hybride : Toyota Prius Les configurations de fonctionnement

-Au départ et à faible vitesse :

- ICE off
- Motor drives the vehicle
- Battery supplies the needed power



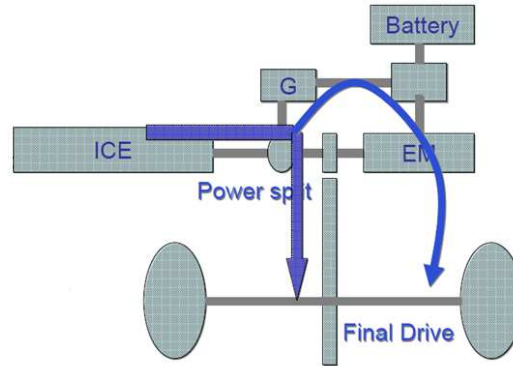
Les roues sont propulsées par le moteur électrique seul, alimenté par la batterie à travers un convertisseur DC/AC triphasé à fréquence variable.

-En mode forcé EV « electric vehicle » : les roues sont propulsées uniquement par le moteur électrique alimenté par la batterie. Le moteur thermique ne fonctionne pas. Vitesse maxi : 45 km/h. Autonomie maxi : 2 km.

58

En conditions normales :

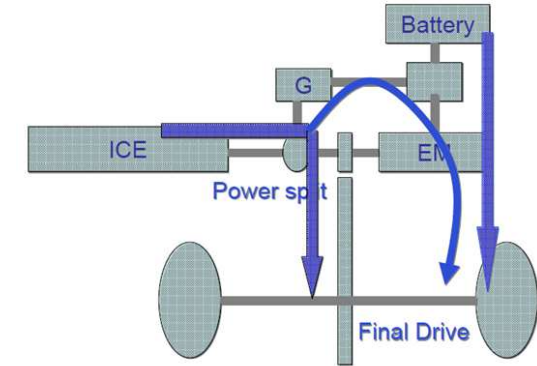
- ICE power is split
- CVT is achieved
- Parallel and series function
- Parallel paths
 - ICE → final drive
 - Motor → final drive
- Series path:
 - ICE → G → Motor



Les roues sont propulsées à la fois par le moteur thermique et par le moteur électrique. Le moteur électrique est alimenté par la batterie mais celle-ci est maintenue en charge par le générateur électrique qui reçoit une partie de la puissance du moteur thermique, la répartition des puissances étant optimisée par le calculateur de bord. On peut donc dire que le moteur thermique fournit directement une partie de la propulsion et fournit indirectement l'autre partie en faisant tourner le générateur qui alimente le moteur électrique (sans perdre de vue que la relation n'est pas directe : le générateur triphasé fournit son énergie à un convertisseur AC/DC relié au réseau continu et à la batterie, et un convertisseur DC/AC triphasé à fréquence variable alimente le moteur électrique).

59

En forte accélération :

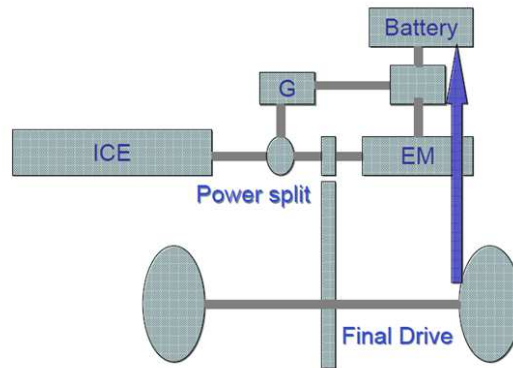


Les roues sont propulsées par le moteur thermique et par le moteur électrique puisant son énergie dans la batterie. Le générateur ne fonctionne pas, afin de laisser toute la puissance du moteur thermique disponible pour la propulsion. La puissance totale disponible est au maximum de 82 kW. Le couple quant à lui, peut atteindre des valeurs élevées (jusqu'à 478 Nm à 20 km/h) autorisant des reprises impressionnantes.

60

En décélération ou en freinage

- ICE is off

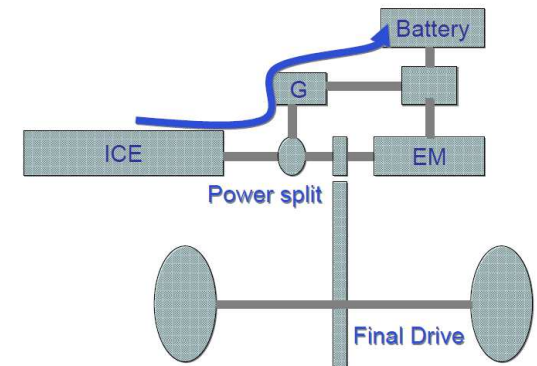


Les roues entraînent le moteur électrique qui fonctionne alors en alternateur. Son convertisseur électronique étant réversible, il transforme le triphasé en continu pour recharger la batterie. L'énergie cinétique du véhicule est récupérée, ce qui permet une économie non négligeable de carburant.

61

A l'arrêt, même temporaire

- Stationary Charging



Le couplage mécanique du moteur thermique est automatiquement coupé

62

Le véhicule hybride : Toyota Prius

Les performances de la Toyota Prius

PERFORMANCES

accélération de 0 à 100 km/h : 10,9 s
 400 m départ arrêté : 17,6 s
 vitesse maxi (sur circuit) : 170 km/h

CONSOMMATIONS POUR 100 KM

Documentation constructeur (normes CE) :

cycle urbain : 5,0 litres
 cycle extra-urbain : 4,2 litres
 cycle mixte : 4,3 litres
 émission CO2 en cycle mixte : 104 g/km

Essai par L'Express - Le Quotidien Automobile :

ville : 4,3 litres
 route : 6,7 litres
 autoroute : 8,2 litres

D'après cet essai, l'hybridation de la Toyota Prius est particulièrement intéressante en ville !!



63

Le véhicule hybride : Autres

Honda :

_ Insight 1999

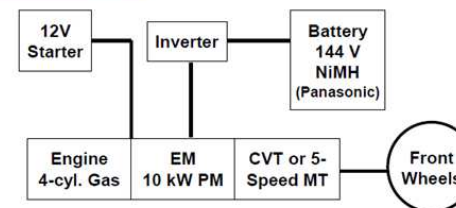
_ Civic Integrated Motor Assist (2003), hybridation moins complète

Le moteur électrique redémarre le moteur thermique et participe si besoin à la propulsion en soutien du moteur thermique, la batterie se recharge aux décélérations et aux freinages.



Engine: 1.34L 85 HP (63 kW) / 119 Nm

Motor: PM DC Brushless
 10 kW / 62 Nm Assist
 12.6 kW / 108 Nm Regen



http://automobiles.honda.com/models/specifications_full_specs.asp?ModelName=Civic+Hybrid&Category=3

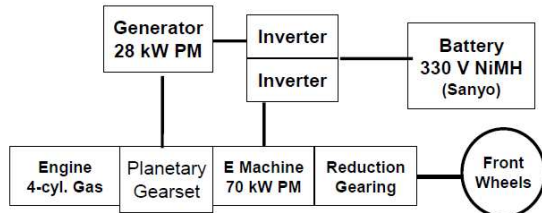
Ford :

_ Escape Hybrid (2004 ???)



Engine: 2.3 L Inline 4-Cylinder
 99kW / 172Nm

Motor: PM 330 V
 70 kW



<http://www.fordvehicles.com/suvs/escapehybrid/features/specs/>

65

Résultat sur les émissions de CO2 : comparatif



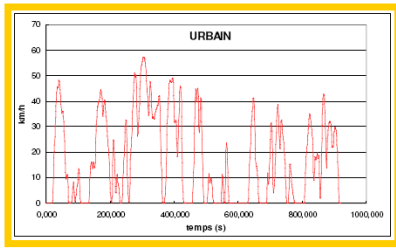
Caractéristiques du véhicule et des GMP analysés

Véhicule		GMP		
		1,6 l. mpi BVM6	1,5 l. dci BVM6	Hyb 1,6 l. mpi BVR6
Véhicule	MVODM (Kg)	1320	1400	1420
	SCx (m2)	0,82	0,82	0,82
	R roue (m)	0,31	0,31	0,31
Boîte de Vitesses	V1000 (Km/h à 1000 tr/min)			
	1ère	7	7,9	7
	2nde	12,4	15,2	12,4
	3ème	18	22,3	18
	4ème	23,5	30,3	23,5
	5ème	28,6	38,7	28,6
Moteur Thermique	6ème	34,1	46,2	34,1
	Pmax (Kw)	81	80	81
Moteur Electrique	Couple max (m.N)	148	246	148
	Pmax (Kw)			50
Batterie Li-ion	Pmax (Kw)			45

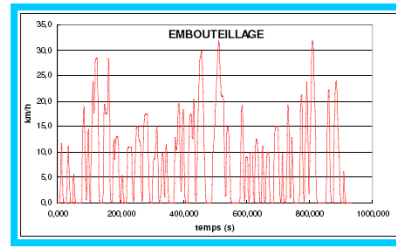
Source : RENAULT-Hennequet

66

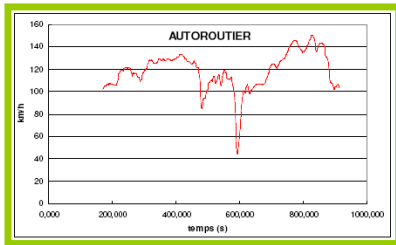
Résultat sur les émissions de CO2 : comparatif



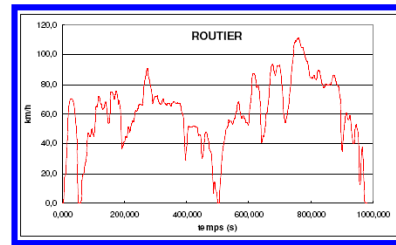
Moyenne = 18 km/h - Pic = 57 km/h



Moyenne = 8 km/h - Pic = 32 km/h



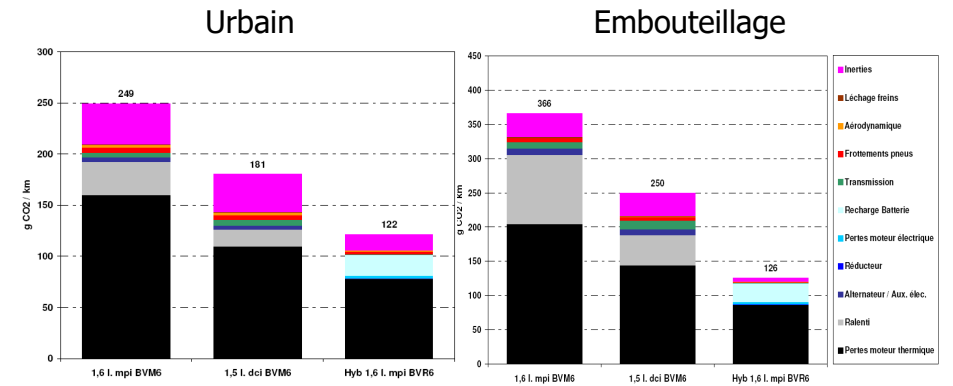
Moyenne = 119 km/h - Pic = 150 km/h



Moyenne = 61 km/h - Pic = 111 km/h

Source : RENAULT-Hennequet

Résultat sur les émissions de CO2 : comparatif

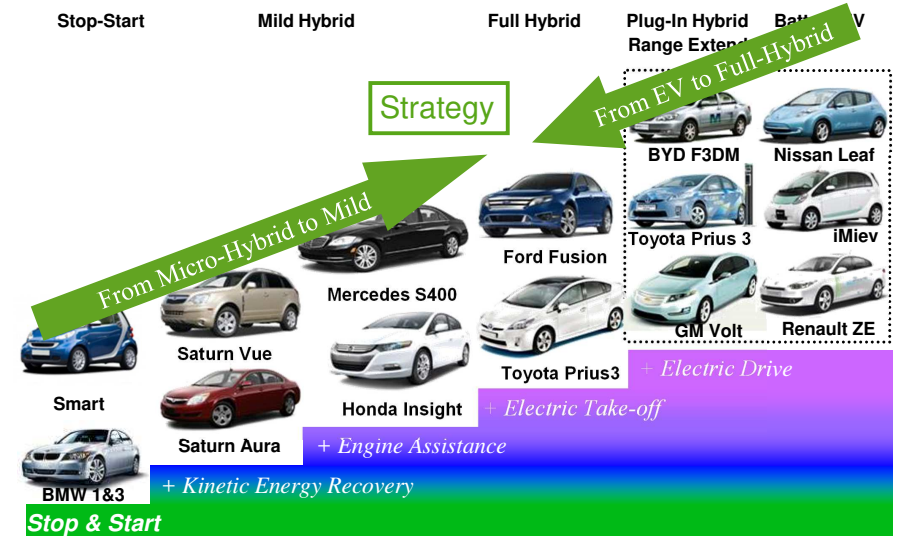


Source : RENAULT-Hennequet

Exemple de comparatif des émissions de CO2 entre constructeur

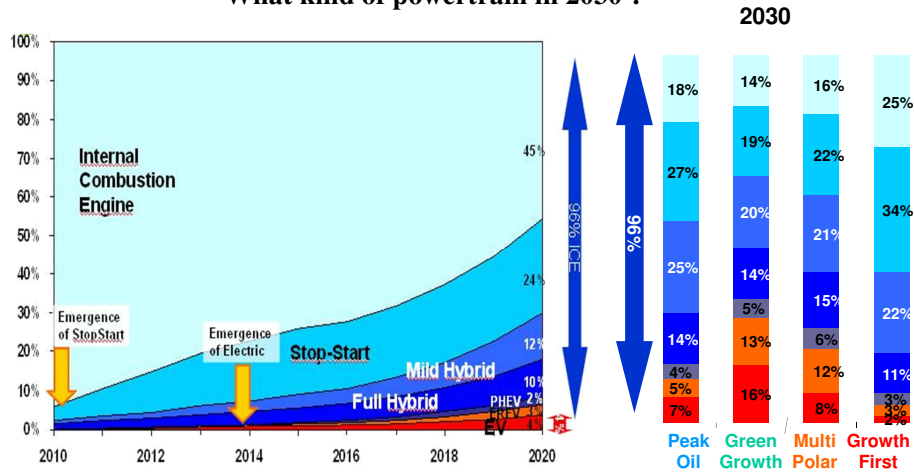
	Peugeot 3008 Hybrid4	Peugeot Concept RCZ Hybrid4	Mercedes Vision E 300 BlueTEC HYBRID	Lexus RX450h	Toyota Prius 3
Moteur thermique	Diesel 2.0 120 kW (163 ch)	Diesel 2.0 120 kW (163 ch)	Diesel 2.2 168 kW (225 ch)	Essence 3.5 183 kW (249 ch)	Essence 1.8 73 kW (98 ch)
Moteur électrique Avant/arrière	AR : 20 kW	AR : 20 kW	AR : 15 kW	AV : 123 kW AR : 50 kW	AV : 60 kW
Type hybridation	Full hybride Parallèle Mot. therm. : AV Mot. élect. : AR	Full hybride Parallèle Mot. therm. : AV Mot. élect. : A	Mild hybride Parallèle Mot. therm. : AR Mot. élect. : AR	Full hybride Dérivation de puissance Mot. therm. : AV Mot. élect. : AV+AR	Full hybride Dérivation de puissance Mot. therm. : AV Mot. élect. : AV
Batteries	Ni-MH 1,1 kWh	Ni-MH 1,1 kWh	Lithium-ion	Ni-MH	Ni-MH 1,3 kWh
0 à 100 km/h	8,8 s.	8,5 s.		7,8 s.	10,4 s.
Vitesse maxi	209 km/h	215 km/h		200 km/h	180 km/h
Consommation mixte NEDC	3,8 l/100 km	3,7 l/100 km	4,5 l/100 km	6,3 l/100 km	3,9 l/100 km
CO2 mixte NEDC	99 g/km	95 g/km	119 g/km	148 g/km	89 g/km

Hybrid / Electrical Vehicles on the market



Source : Valeo

What kind of powertrain in 2030 ?

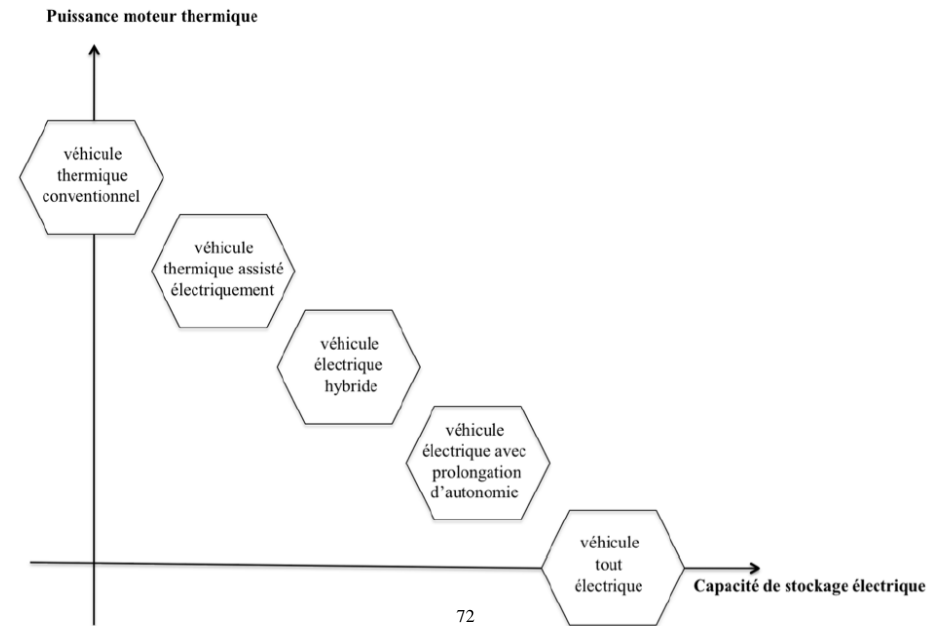


- Peak Oil** → High Hybrid fitment rates because fuel economy is key
- Green Growth** → Regulation & infrastructure pushing EVs & Hybrids
- Multi Polar World** → Mixed of 2 different markets becoming a reasonable forecast
- Growth First** → Low EV fitment rates, only rationales push other Hybrids

Source : **Valeo**

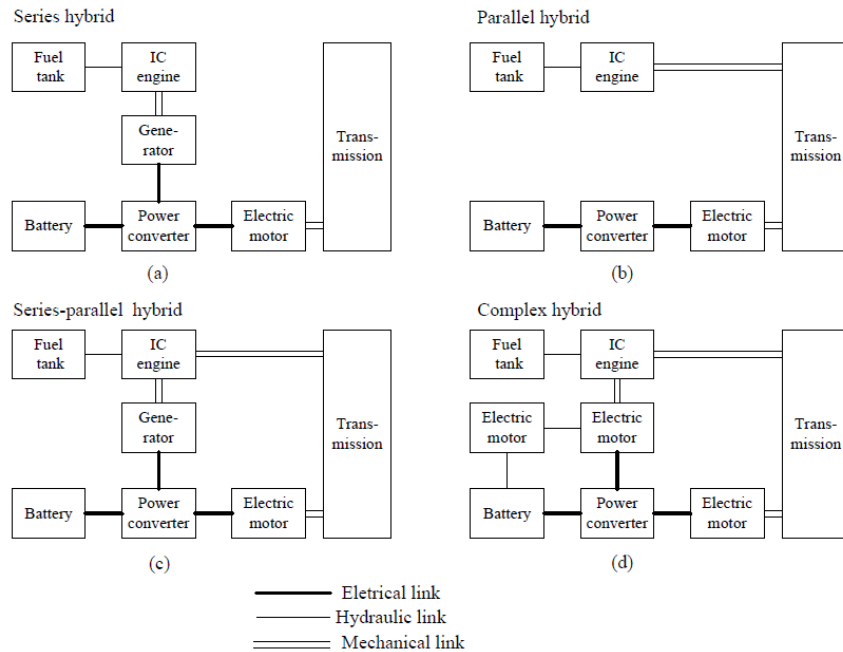
71

Classement des véhicules suivant le taux d'hybridation [DUB 02]



72

Résumé: Architecture des HEV et PHEV



73

Résumé: Modes de fonctionnement

a. Mode démarrage (Stop-and-Start)

Coupe systématiquement le moteur thermique, quand aucune puissance n'est demandée (feux rouges et embouteillages) permet au moteur thermique d'être redémarré rapidement et sans vibration après un arrêt de courte durée Disparition de la consommation de carburant au ralenti, une consommation

b. Mode régénération (flux série)

Le moteur électrique fournit un couple négatif et le moteur thermique fournit un couple supérieur au couple de consigne. L'énergie provenant du moteur électrique est alors stockée dans les batteries. Quand le véhicule avance à vitesse stabilisée, il est possible d'augmenter légèrement la charge du moteur thermique lui permettant ainsi de fonctionner dans une zone de meilleur rendement. Le supplément d'énergie est ensuite récupéré par la machine électrique pour recharger l'élément de stockage.

c. Mode récupératif

Récupérer l'énergie cinétique du véhicule, lors des phases de freinage ou de décélération du véhicule sous la forme d'une énergie électrique, qui est ensuite stockée..

74

Résumé: Modes de fonctionnement

d. Mode boost

Cette fonction n'existe que dans les véhicules hybrides où les deux couples peuvent s'additionner (architecture hybride parallèle ou parallèle à dérivation de puissance).

assistance du moteur thermique, lors de fortes demandes de puissance par le moteur électrique qui développe un couple positif et participe à la traction du véhicule (Formule 1)

Ce mode est activé pour décharger le moteur thermique afin de le placer sur un point de fonctionnement de meilleure efficacité.

e. Mode thermique pur

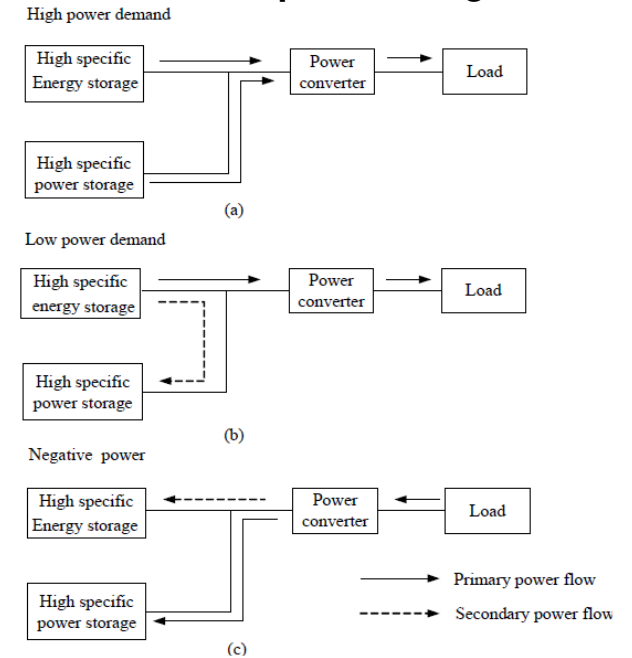
convient à des situations où le rendement thermique est bon ou bien lorsque le stockage est déchargé ou complètement plein.

f. Mode électrique pur

la machine électrique assure à elle seule la traction du véhicule. C'est le mode « zéro émission » avec une consommation nulle en carburant.

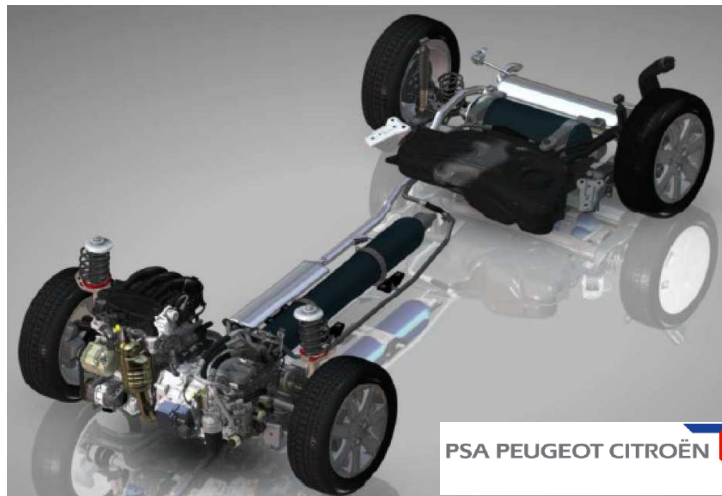
Hybridation moteur thermique/ stockage

Apport en énergie
Apport en puissance



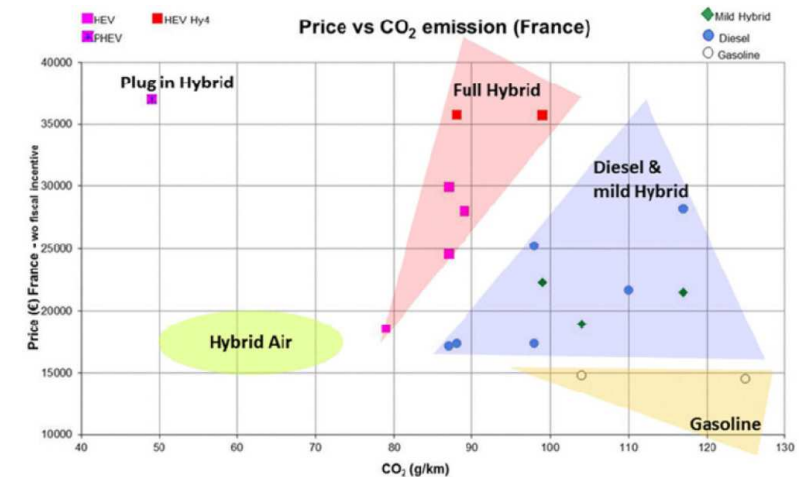
Hybridation moteur thermique/ air comprimé

La technologie Hybrid Air couple un ensemble moteur essence avec une pompe hydraulique, un stockage d'énergie sous forme d'air comprimé et une transmission automatique.



Hybridation moteur thermique/ air comprimé

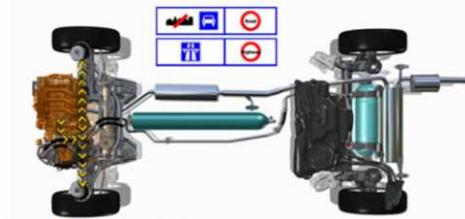
Positionnement dans une zone de compromis CO₂/coût encore non atteinte par les technologies actuelles.



Répartition des différentes technologies de moteurs thermiques en fonction de son coût et de sa performance environnementale

Hybridation moteur thermique/ air comprimé

Mode thermique essence : seul le moteur thermique transmet l'énergie aux roues



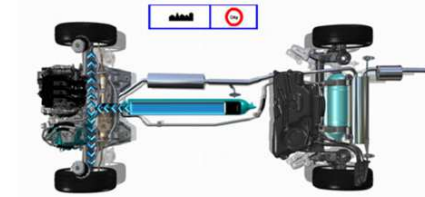
Mode thermique essence
HYBRID AIR OPERATING MODES
GASOLINE POWER : Cruising
AIR POWER : Zero Emissions
COMBINED POWER : Acceleration and Hill Climbing

Mode combiné essence / air comprimé : les moteurs thermiques et hydrauliques fonctionnent conjointement pour apporter l'énergie nécessaire aux roues.

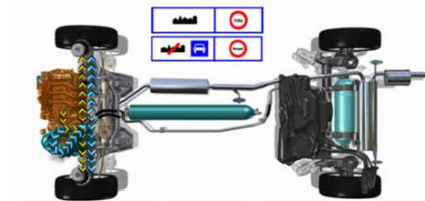
PSA PEUGEOT CITROËN

79

Mode AIR : seul le moteur hydraulique transmet l'énergie stockée aux roues via le stockage



Mode AIR
HYBRID AIR OPERATING MODES
GASOLINE POWER : Cruising
AIR POWER : Zero Emissions & Brake Energy Regeneration
COMBINED POWER : Acceleration and Hill Climbing



Mode combiné essence/air comprimé

PSA Peugeot Citroën a déposé sur cette technologie plus de 80 brevets étendus à l'ensemble du Monde

Fonctionnement en Mode Air (zéro CO2) sur 60 à 80% de temps d'usage urbain (selon la densité du trafic) grâce à une efficacité optimale de la récupération d'énergie au freinage.

Consommation normalisée est de **2,9l/100km en cycle mixte soit environ 69g CO2/km** sur une silhouette conventionnelle du marché de type Citroën C3 ou Peugeot 208.

Impact environnemental réduit en comparaison de l'hybridation électrique (nécessitant des batteries) car les matériaux constitutifs de la technologie Hybrid Air sont abondants et aisément recyclables

80

Hybridation moteur thermique/ supercondensateur

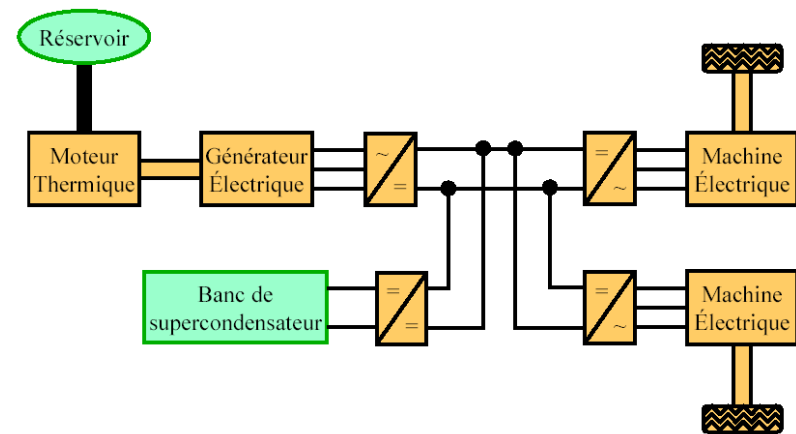
...



81

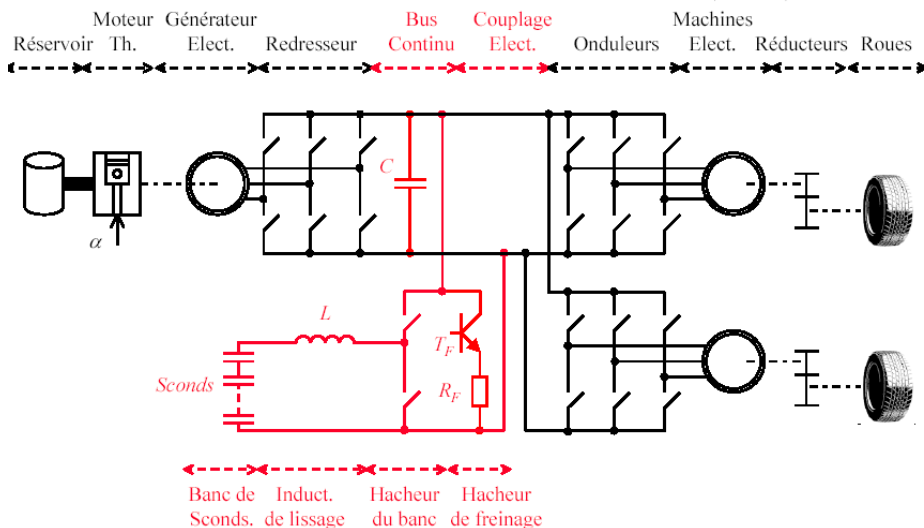
Apport du stockage embarqué

Exemple : Les super condensateurs



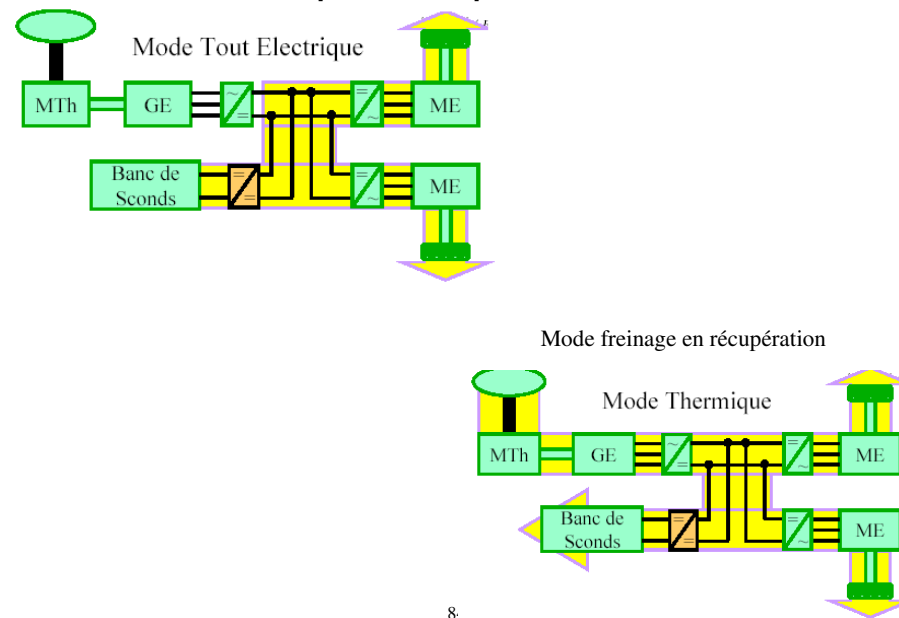
82

Apport du stockage embarqué Exemple : Les super condensateurs



83

Apport du stockage embarqué Exemple : Les super condensateurs



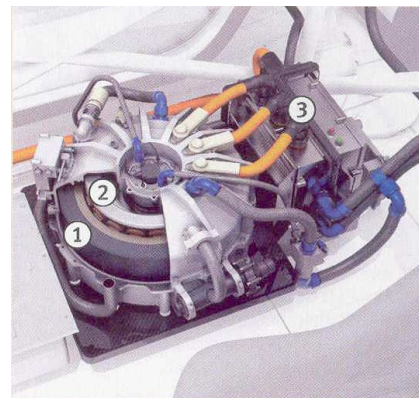
8.

Hybridation moteur thermique/ volant d'inertie

Voir article :
Le tramway acquiert l'autonomie énergétique

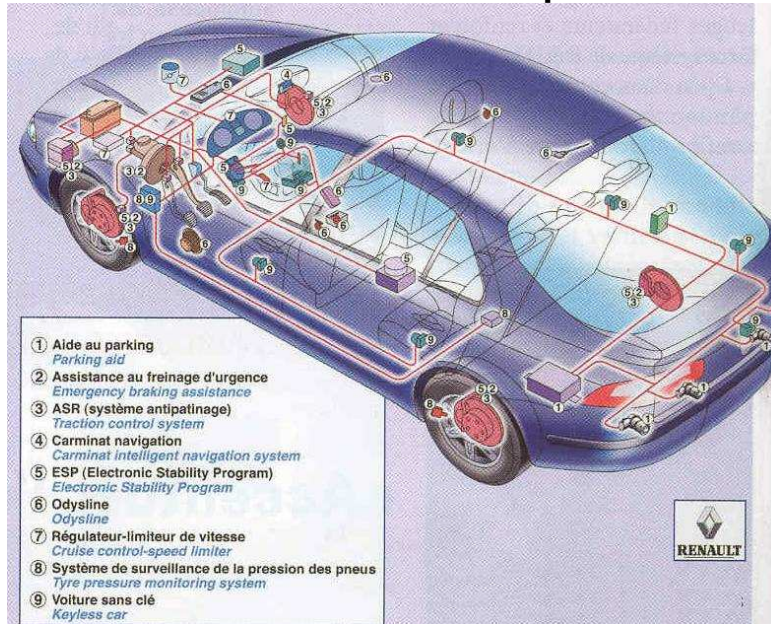
85

Porsche 911 GT3 R HYBRID, le volant d'inertie booste le 6 cylindres



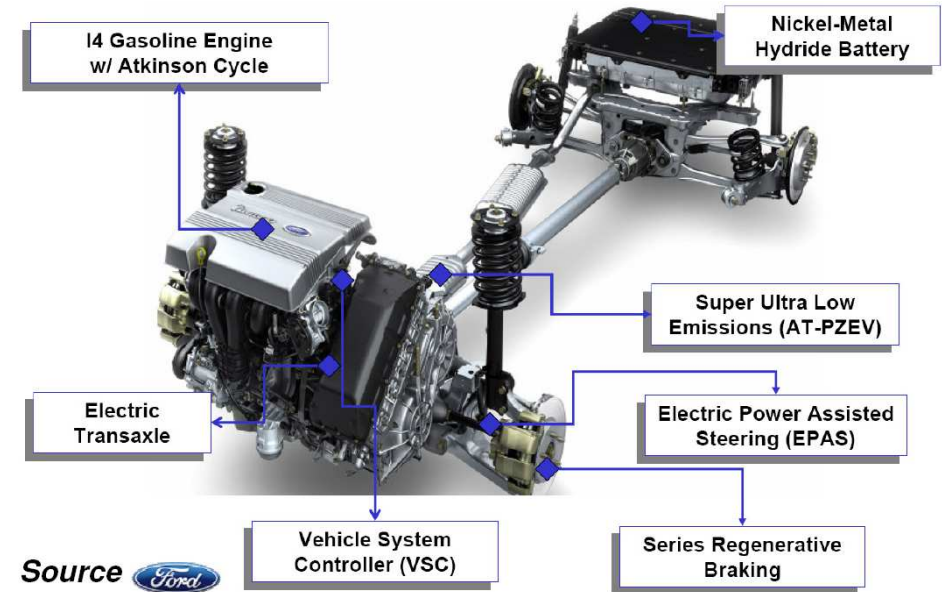
Développée pour une voiture vouée à la conduite sur circuit, la motorisation de la 911 GT3 R Hybrid cherche davantage à augmenter les performances qu'à réduire la consommation. Porsche a complété son moteur Boxer 6 cylindres 4 litres arrière de 480 ch. par deux moteurs électriques de 60 kW (164 ch.) installés à l'avant. Originalité : les classiques batteries nickel metal hydrure ont été remplacées par un accumulateur à volant d'inertie. Cet accumulateur est lui-même un moteur électrique (stator ②, rotor ①, électronique de puissance ③) qui stocke mécaniquement l'électricité grâce à un rotor tournant à vitesse très élevée (jusqu'à 40 000 tr/mn). Il se recharge au freinage lorsque les deux moteurs électriques de l'essieu avant se transforment en générateurs. Il restitue ensuite son énergie aux deux moteurs pendant 6 à 8 secondes, offrant alors au pilote un supplément de puissance. Grâce à un très bon rapport poids/puissance, ce système pourrait apparaître à court terme sur les Porsche « de route ». Avec cette fois comme objectif de baisser la consommation, et donc les émissions de CO₂.

Les auxiliaires « électriques »



87

Exemple d'intégration des auxiliaires « électriques »

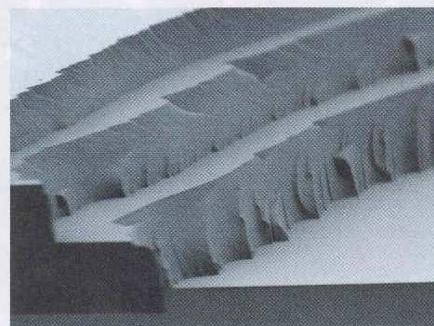


88

Automobile

QUAND LE PARE-BRIS SE DÉGIVRERA TOUT SEUL...

Un film de polymère qui stocke l'énergie solaire et la restitue quand on en a besoin. Avec ce matériau transparent, une équipe du MIT envisage de créer des pare-brise qui se dégivrent tout seuls ou presque. Le film appliqué sur le verre contient une molécule qui change de configuration chimique en absorbant le rayonnement solaire. Le revêtement stocke l'énergie reçue du soleil jusqu'au moment voulu où, sous l'impulsion d'une petite quantité de chaleur - par exemple un jet d'air chaud -, il la restitue pour dégivrer la surface. Les chercheurs travaillent à améliorer encore la transparence du film et ses performances de chauffage. Cette solution pourrait intéresser en parti-

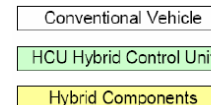
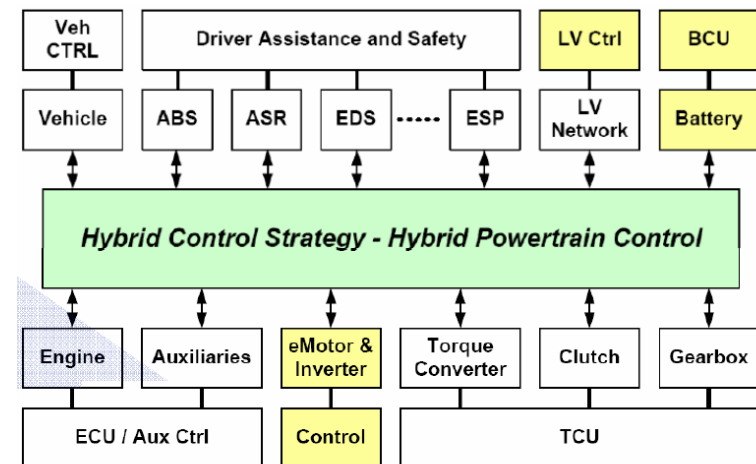


Le matériau absorbe et stocke l'énergie solaire.

culier les véhicules électriques, le dégivrage traditionnel consommant beaucoup d'électricité. Par ailleurs, comme le film s'applique sur diverses surfaces, d'autres applications sont envisageables, sur des vêtements, par exemple. ■ THIERRY LUCAS

89

Supervision des auxiliaires « électriques »



Hybrid Development is System Integration Process:
 - Coupling of different engineering disciplines;
 - Introducing of different system targets;
 - Final System depends at least on the System Integration and not on the individual component development;

90

Recréer les assistances à la conduite sur un véhicule électrique

Subsystem	Goals
Base Brake Control	•High regeneration capability (pure regeneration at any deceleration level up to 30 km/h for the unladen vehicle, and progressively decreasing regeneration capability as a function of vehicle speed).
ABS	•ABS modulation entirely achieved through the control of the regenerative torque; •5% of minimum stopping distance reduction during ABS braking in low friction conditions achieved during the experimental validation using the vehicle demonstrator.

91

Les défis, que reste t il à faire ?

- **Energy Storage Systems**
(management, cost, performance, lifetime, safety)
- **Drive Train Technologies**
(energy recovery, range extenders)
- **System Integration**
(energy efficient interplay of components)
- **Grid Integration**
(charging, metering, renewables, V2G)
- **Safety**
(crashworthiness, HV, emergency)
- **Transport System Integration**
(road infrastructures, intermodal use)



92

ANNEXE



Steady-state & Transient Fuel Consumption

Engine-out Emissions & Aftertreatment

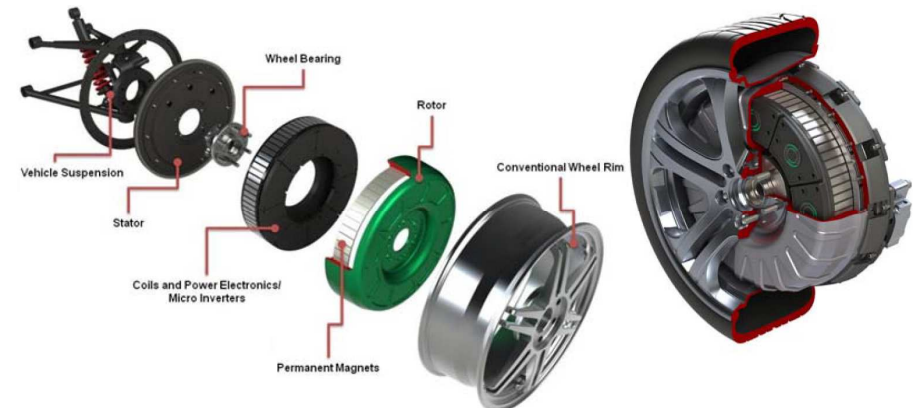
Transient Engine Effects

Fuel Economy

Emissions

Driving Performance

Drivability, Gear Shifting Quality



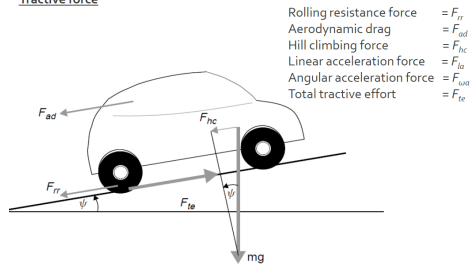
93

94



Figure 3.3: The battery pack of the Chevrolet Volt (General Motors, 2010).

Tractive force



Tractive force

Rolling resistance force $\rightarrow F_{rr} = \mu_r mg$
 Typical values: $\mu_r = 0.015$ for a radial ply tyre
 $\mu_r = 0.005$ for tyre developed especially for electric vehicles.

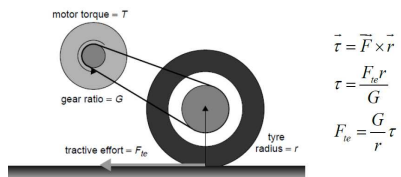
Aerodynamic drag $\rightarrow F_{ad} = 0.5 \rho A C_d v^2$
 ρ = density of the air
 A = frontal area
 v = speed
 C_d = drag coefficient
 Typical values for C_d :
 Conventional cars: $C_d = 0.3$
 Electric vehicle: $C_d = 0.19$
 Motorcycle and bus: $C_d = 0.7$

Tractive force

Hill climbing force $\rightarrow F_{hc} = mg \sin(\psi)$
 Linear acceleration force $\rightarrow F_{la} = ma$
 Angular acceleration force \rightarrow due to the rotating parts

Tractive force

Angular speed at the axle $\rightarrow \omega = \frac{v}{r}$
 Angular speed at the motor $\rightarrow \omega = G \frac{v}{r}$
 Motor angular acceleration $\rightarrow \dot{\omega} = G \frac{a}{r}$
 Torque required for this acceleration $\rightarrow \tau = I \dot{\omega} = IG \frac{a}{r}$
 Angular acceleration force $\rightarrow F_{\omega} = \frac{G}{r} T = I \left(\frac{G}{r} \right)^2 a$



Tractive force

It will quite often turn out that the moment of inertia of the motor will not be known.

In such cases a reasonable approximation is to simply increase the mass by 5% in F_{la} and to ignore the F_{ω} term.

Total tractive force $\rightarrow F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{la} + F_{\omega}$

We should note that F_{la} and F_{ω} will be negative if the vehicle is slowing down, and that F_{hc} will be negative if it is going downhill.

Modelling the acceleration of an electric scooter:

Characteristics:

- Electric Scooter mass = 115 kg + 70 kg (pilot) = 185 kg
- The moment of inertia of the motor is not known, so m is increased by 5%, therefore, Electric Scooter mass = 194 kg
- The drag coefficient (C_d) is estimated as 0.75
- The frontal area of vehicle and rider = 0.6 m²
- Coefficient of the tire rolling resistance $\mu_r = 0.007$
- The motor ratio belt = 2:1, and wheel diameter = 42 cm, thus, $G = 2$
- Gear system efficiency (η_g) = 98%
- The motor is an 18V Lynch type motor
- Motor speed = 70 rpm/V
- Armature resistance = 0.016 Ω

Modelling Vehicle Acceleration

For $\omega < \omega_c$ or $v < (r/G) \omega_c$, then $\tau = \tau_{max}$
 For $\omega \geq \omega_c$ or $v \geq (r/G) \omega_c$, then $\tau = \tau_c - kv$

For a vehicle on level ground, and air density of 1.25 kg.m⁻³:

$$F_{te} = \mu_r mg + 0.625 A C_d v^2 + ma + I \frac{G^2}{\eta_g r^2} a$$

$$F_{te} = \frac{G}{r} \tau \quad a = \frac{dv}{dt}$$

$$\frac{G}{r} \tau = \mu_r mg + 0.625 A C_d v^2 + \left(m + I \frac{G^2}{\eta_g r^2} \right) \frac{dv}{dt}$$

Modelling the acceleration of an electric scooter:

Torque equation:

$$K_m \Phi = \frac{60}{2\pi} \frac{E}{RPM} = \frac{60}{2\pi} \frac{1}{70} = 0.136$$

$$\tau = K_m \Phi I = \frac{E K_m \Phi}{R_m} - \frac{(K_m \Phi)^2}{R_m} \omega = \frac{18 \times 0.136}{0.016} - \frac{(0.136)^2}{0.016} \omega$$

$$\tau = 153 - 1.16 \omega$$

The current will be limited in 250A, therefore, the maximum torque is:

$$\tau = K_m \Phi I = 0.136 \times 250 = 34 Nm$$

Modelling the acceleration of an electric scooter:

Critical motor speed : $34 = 153 - 1.16\omega$

$$\omega = \frac{153 - 34}{1.16} = 103 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

For constant torque:

$$\frac{G}{r} \eta_g \tau = \mu_n mg + 0.625 AC_d v^2 + \left(m + I \frac{G^2}{\eta_g r^2} \right) \frac{dv}{dt}$$

$$\frac{2}{0.21} \times 0.98 \times 34 = 0.007 \times 185 \times 9.8 + 0.625 \times 0.6 \times 0.75 v^2 + 194 \frac{dv}{dt}$$

$$317 = 12.7 + 0.281 v^2 + 194 \frac{dv}{dt}$$

$$\frac{dv}{dt} = 1.57 - 0.00145 v^2$$

1.4b.

Modelling the acceleration of an electric scooter:

This equation holds until the torque begins to fall when, $\omega = \omega_c = 103 \text{ rad/s}$, which corresponds to $103 \times 0.23/2 = 10.8 \text{ m/s}$. After this point the torque is governed by

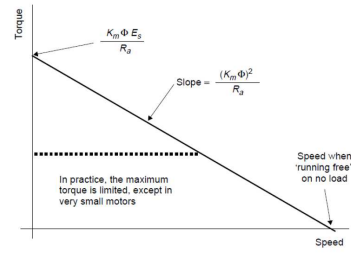
$$153 - 1.16\omega = \mu_n mg + 0.625 AC_d v^2 + \left(m + I \frac{G^2}{\eta_g r^2} \right) \frac{dv}{dt}$$

$$\frac{2}{0.21} \times 0.98 \times \left(153 - 1.16 \frac{2}{0.21} v \right) = 0.007 \times 185 \times 9.8 + 0.625 \times 0.6 \times 0.75 v^2 + 194 \frac{dv}{dt}$$

$$1428 - 103v = 12.7 + 0.281 v^2 + 194 \frac{dv}{dt}$$

$$\frac{dv}{dt} = 7.3 - 0.53v - 0.00145 v^2$$

Permanent magnetic DC motor



Modelling the acceleration of an electric scooter:

The derivative of v is simply the difference between consecutive values of v divided by the time step given by :

Constant torque: $\frac{v_{n+1} - v_n}{\partial t} = 1.57 - 0.00145 v_n^2$

$$v_{n+1} = v_n + \partial t \times (1.57 - 0.00145 v_n^2)$$

After critical speed: $v_{n+1} = v_n + \partial t \times (7.30 - 0.53 v_n - 0.00145 v_n^2)$