

***Nos véhicules en 2030 seront-ils
électriques, hybrides ou à
hydrogène?***

Pierre DUYSINX

Groupe d'Ingénierie des Véhicules Terrestres
Département d'Aérospatiale & Mécanique
Université de Liège

PLAN DE L'EXPOSE

- Etat de la situation et enjeux
- Stratégie d'amélioration de l'efficacité des véhicules
- Les technologies pour la réduction de la consommation
 - Amélioration du moteur à combustion interne
 - La diversification des carburants
 - Les nouveaux moteurs
 - Les véhicules électriques
 - Les véhicules hybrides
 - La pile à combustible
- Conclusions
 - La voie du future : l'allègement des véhicules



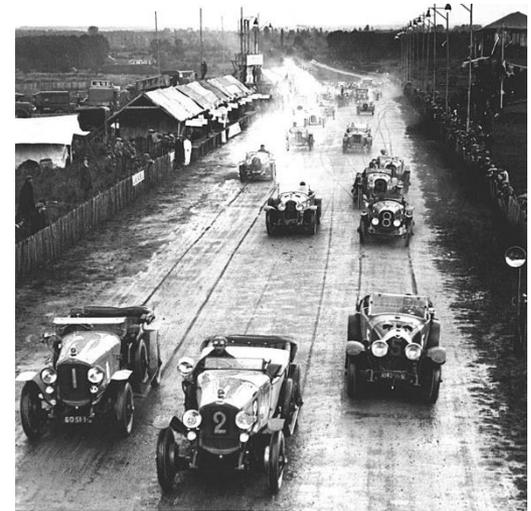
Wallonie: terre historique des véhicules électriques et hybrides

- En 1899, le vervietois Camille Jenatzy est le premier à passer les 100 km/h avec une voiture électrique
- Henri Pieper crée les automobiles pétroléo électriques en 1899 premières voitures combinant une motorisation thermique avec un moteur électrique. La firme de Herstal Auto Mixte produit des véhicules entre 1905 et 1912.



Wallonie: terre historique des véhicules électriques et hybrides

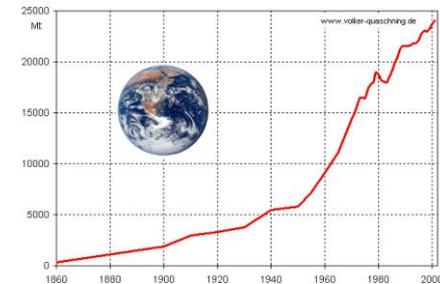
- En 1920 création du Circuit de Spa Francorchamps par le Chevalier Jules de Thier, Joseph Crawhez Bourgmestre de Spa et le coureur Henri Langlois van Ophem.
- Aujourd'hui un des plus beaux circuits du monde accueille de nombreuses cours dont le Grand Prix de Belgique ou les 1000 km de Spa.



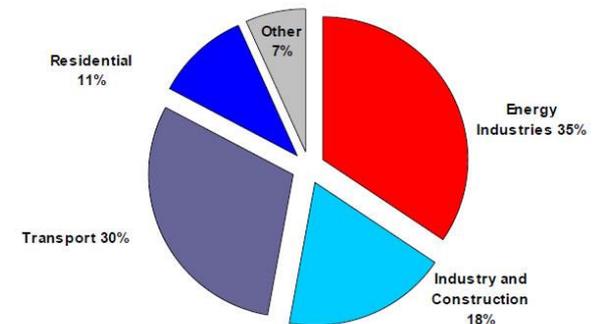
État de la situation et enjeux

ENJEUX DU 21^{ème} SIECLE POUR UNE AUTOMOBILE DURABLE

- Accroissement du parc automobile
- Le transport routier est totalement dépendant du pétrole (> 90%) dont 70% est importé
- Diminution des ressources pétrolières
- Augmentation globale de la température due à l'utilisation des ressources fossile

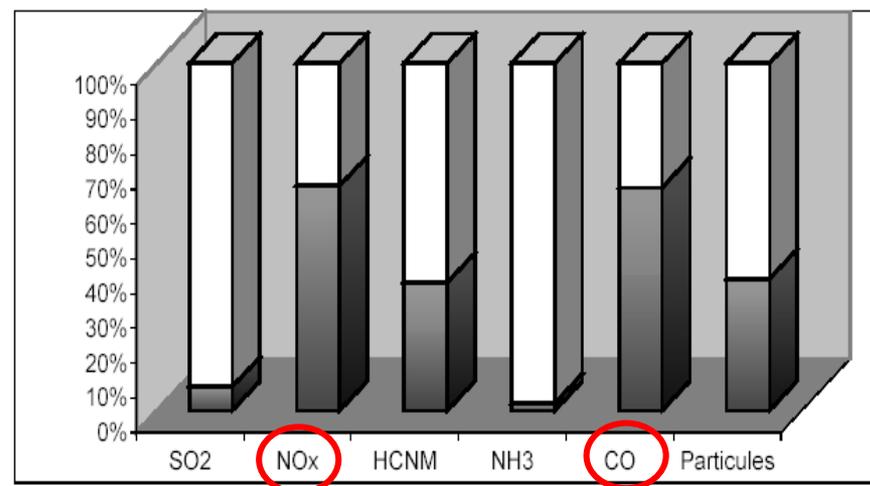
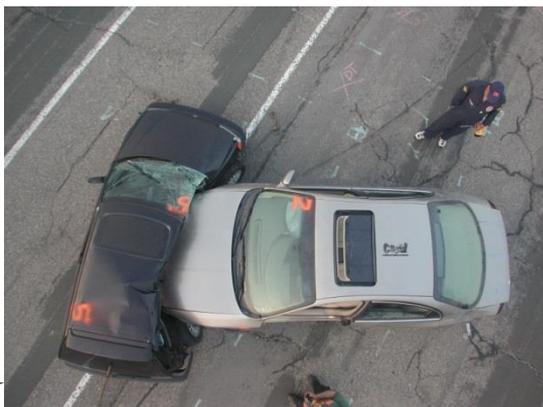


CO2 emissions by sector in 2009



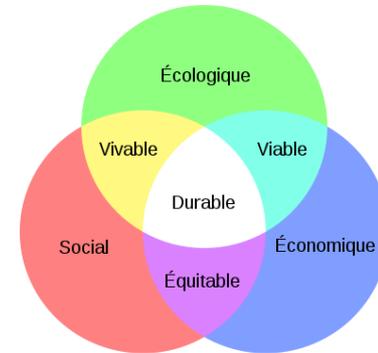
ENJEUX DU 21^{ème} SIECLE POUR UNE AUTOMOBILE DURABLE

- Forte exposition des Européens aux pollutions locales
 - 80% des Européens vivent dans des villes
- La congestion du réseau
- Sécurité routière



Contribution du secteur du transport dans les émissions globale de polluants de l'UE (2001)

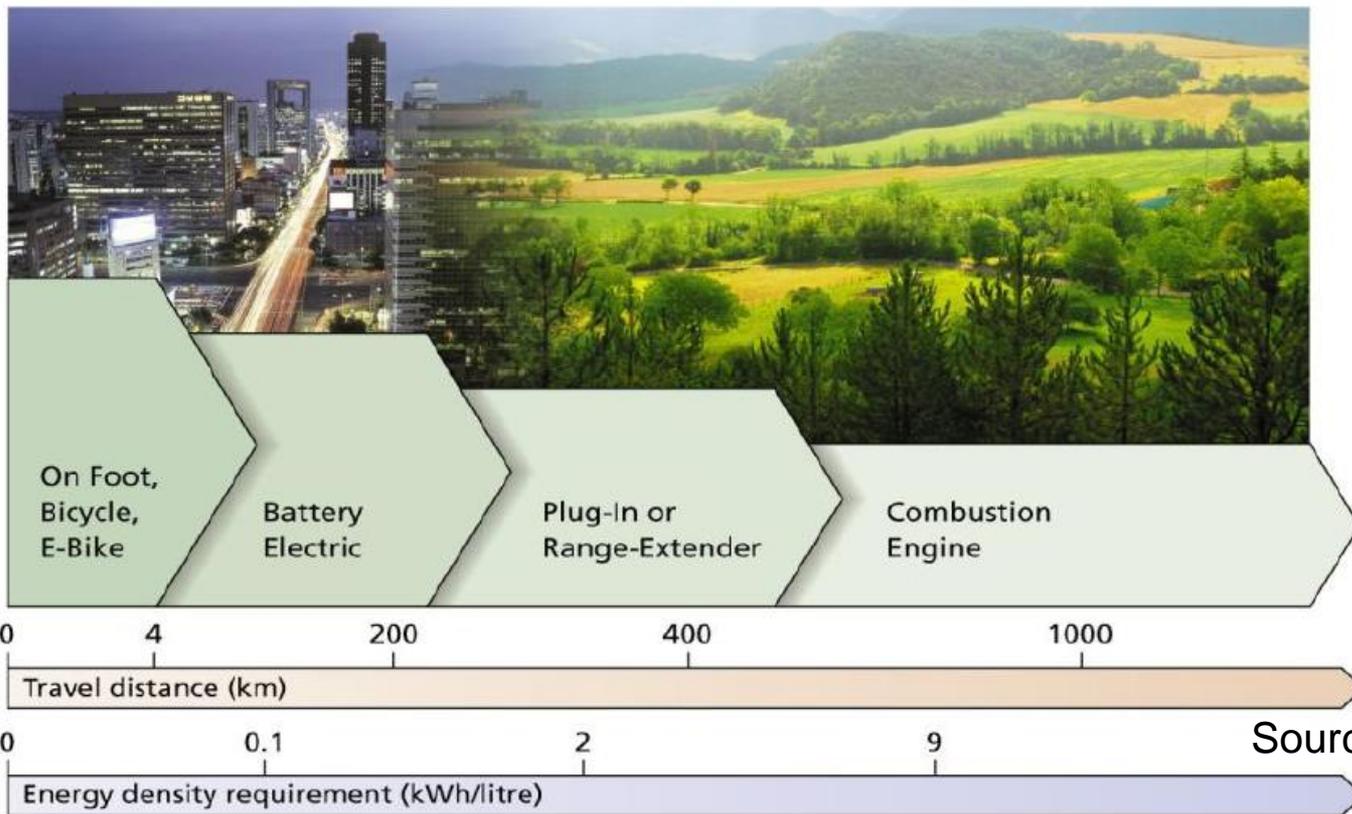
- La **mobilité est un droit des citoyens**
 - La mobilité individuelle est une grande avancée
- Des **systèmes de transport efficaces** sont très importants pour la prospérité de la société avec un impact important sur:
 - La croissance économique
 - La société
 - L'environnement



- Le **but des transports durables** est de s'assurer que les systèmes de transport rencontrent les besoins sociétaux, les besoins économiques et les contraintes environnementales

- Contributions essentielles de l'industrie Européenne à la lutte contre le réchauffement climatique et au défi énergétique:
 - Amélioration essentielle de l'efficacité énergétique des moyens de transport
 - Plus grande efficacité énergétique des moteurs, des véhicules et des systèmes de transport
 - Utilisation accrue des moyens de transport alternatif et collectif, spécialement en milieu urbain
 - Utilisation accrue des possibilités offertes par les nouvelles technologies ICT (V2I, V2V)
 - Augmentation de la part des renouvelables dans les transports
 - Utilisation des bio carburants
 - Utilisation des renouvelables dans la production d'électricité

OBJECTIF POUR 2030 – 50% D'EFFICACITÉ EN PLUS



Etat de la situation

Court terme

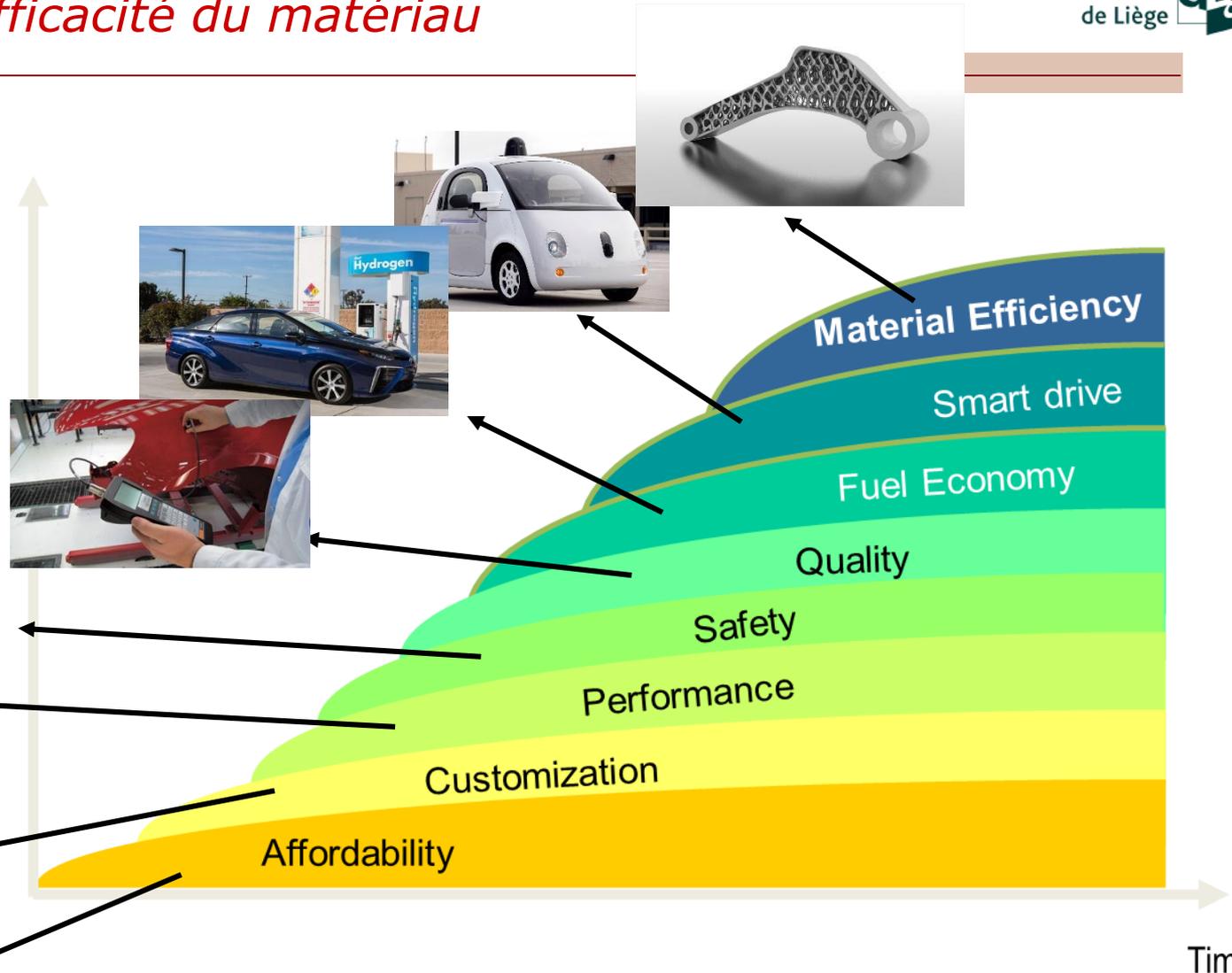
Moyen terme

Long terme

Le prochain défi: le véhicule autonome et l'efficacité du matériau

UNIVERSITÉ

Automotive Mass Market demand



Source: Ford – Low Cost Carbon for Automotive Applications conference, Liege, 22-11-2012

Time

Court terme

Moyen terme

Long terme

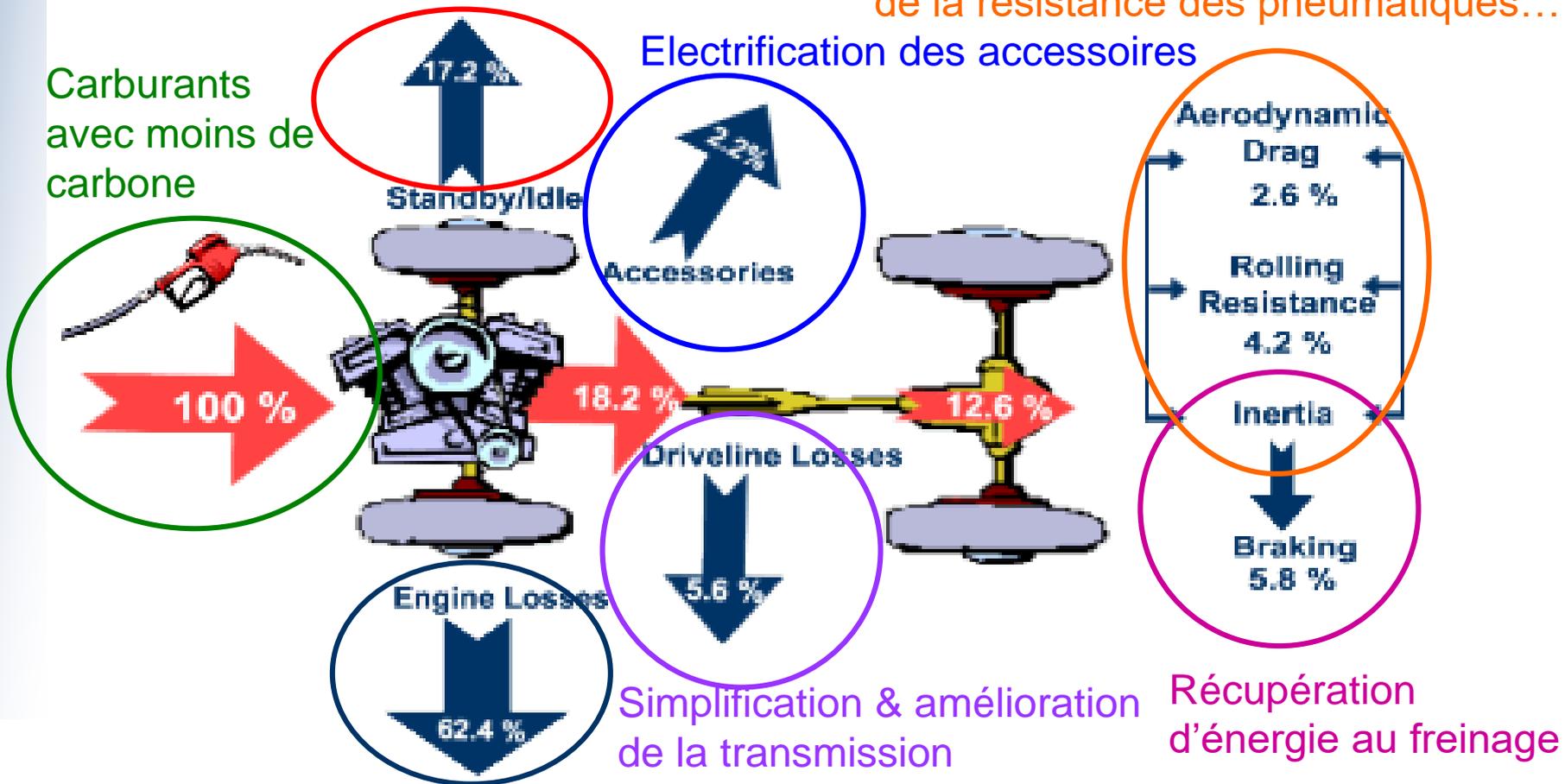
Les stratégies d'amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules



AMELIORER L'EFFICACITE ENERGETIQUE DES VEHICULES

Couper le moteur à l'arrêt

Réduction de masse, du S Cx, de la résistance des pneumatiques...



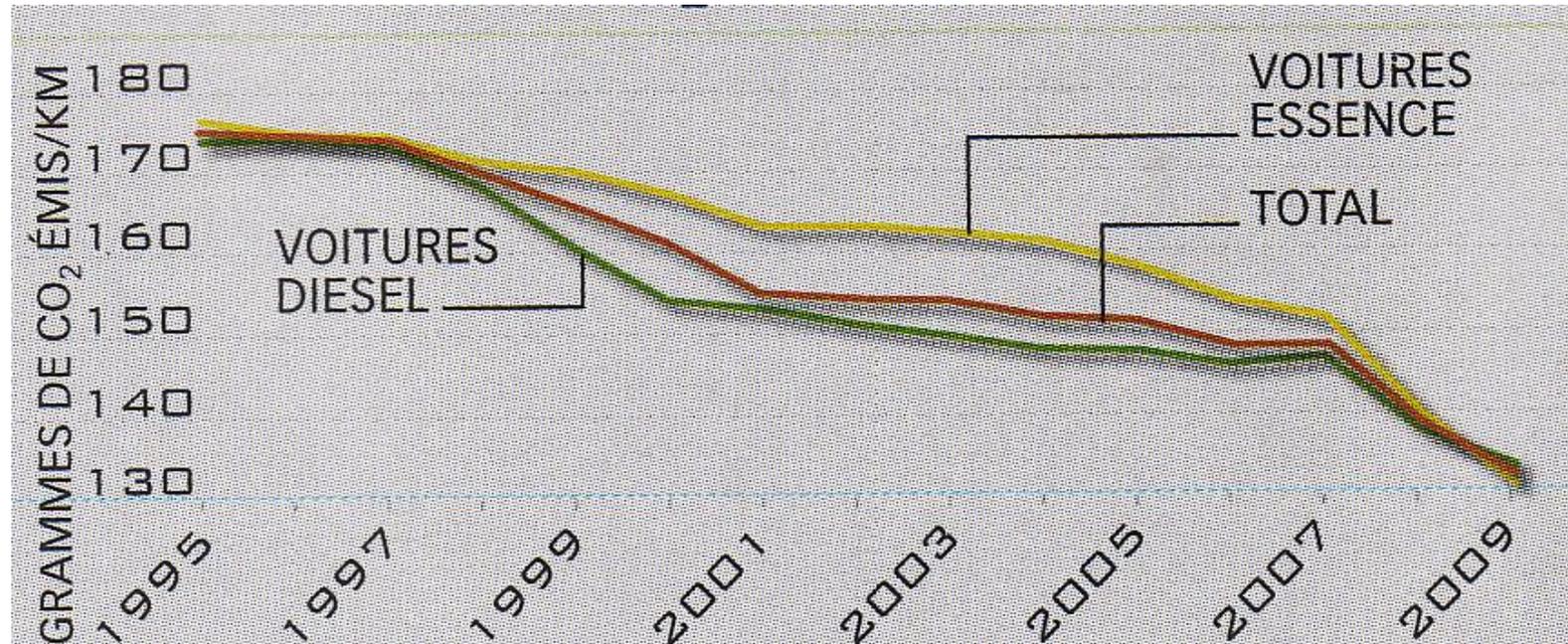
Améliorer le rendement du moteur, downsizing du moteur, réduction des frottements internes

source: www.nrel.org

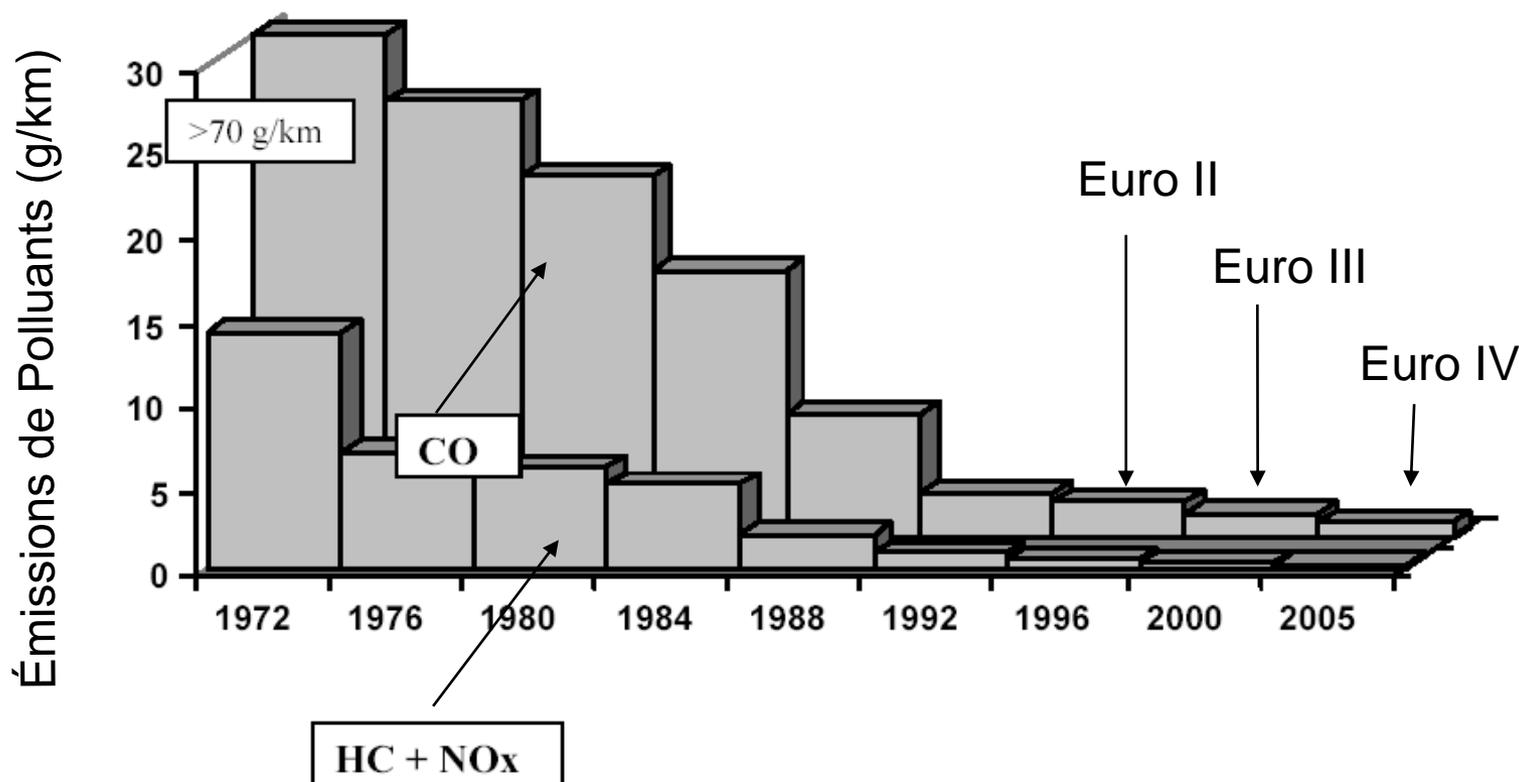
L'amélioration du moteur a combustion interne



REDUCTION DES EMISSIONS DE CO₂



- En Europe la réduction des émissions de CO₂ a été obtenues grâce à une « **diésélisation** » assez large du parc automobile.



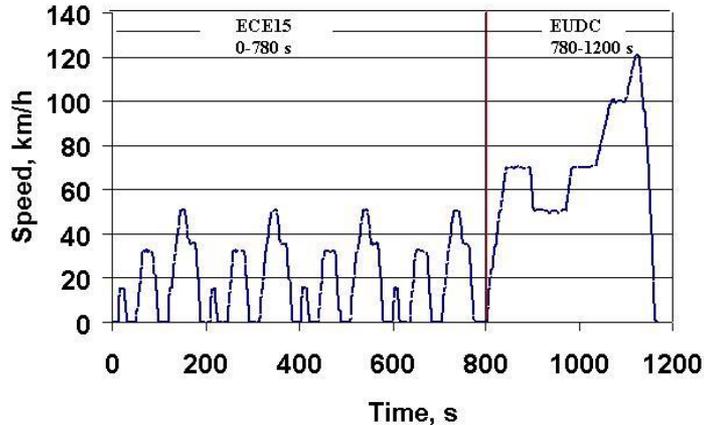
- Réduction des **normes d'émissions** pour les voitures individuelles et les moteurs de poids lourds (EURO x)
- Les émissions de polluants ont été réduites fortement (facteur 10) mais **les émissions de CO₂ continuent d'augmenter!**



Réduire la pollution locale

Partie urbaine: 4 fois
le cycles de base

Partie extra urbaine



Nouveau cycle européen (1996)

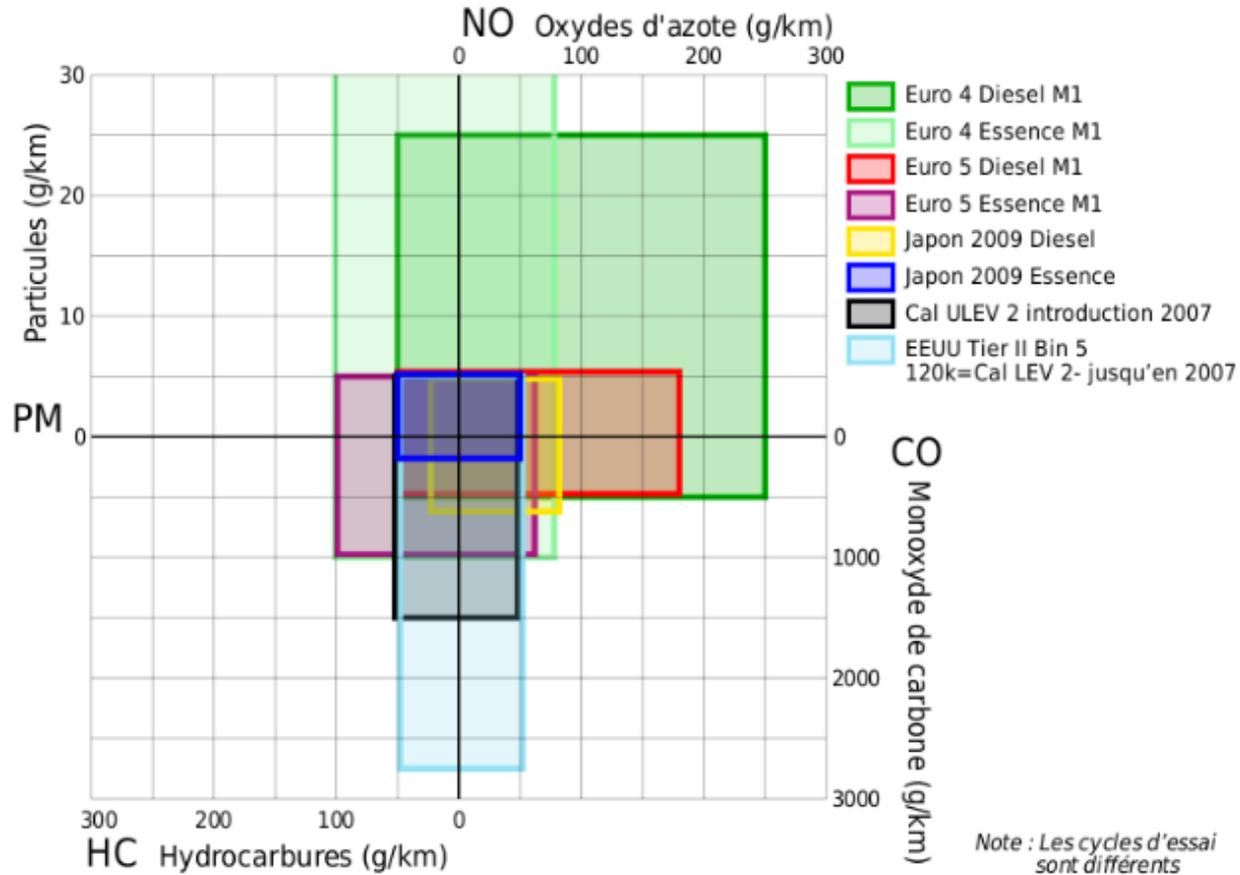


- C'est pourquoi la réglementation anti-pollution européenne se base sur des cycles de conduite urbaine et périurbaine pour l'homologation des véhicules
- Conditions de fonctionnement difficiles: faible charge, vitesse moyenne faible, démarrage à froid, accélérations décélérations
- Depuis les années 1970, les normes anti-pollution ont connu une sévèrisation importante
 - Les limites d'émission ont été diminuées d'un facteur 10 à 100!

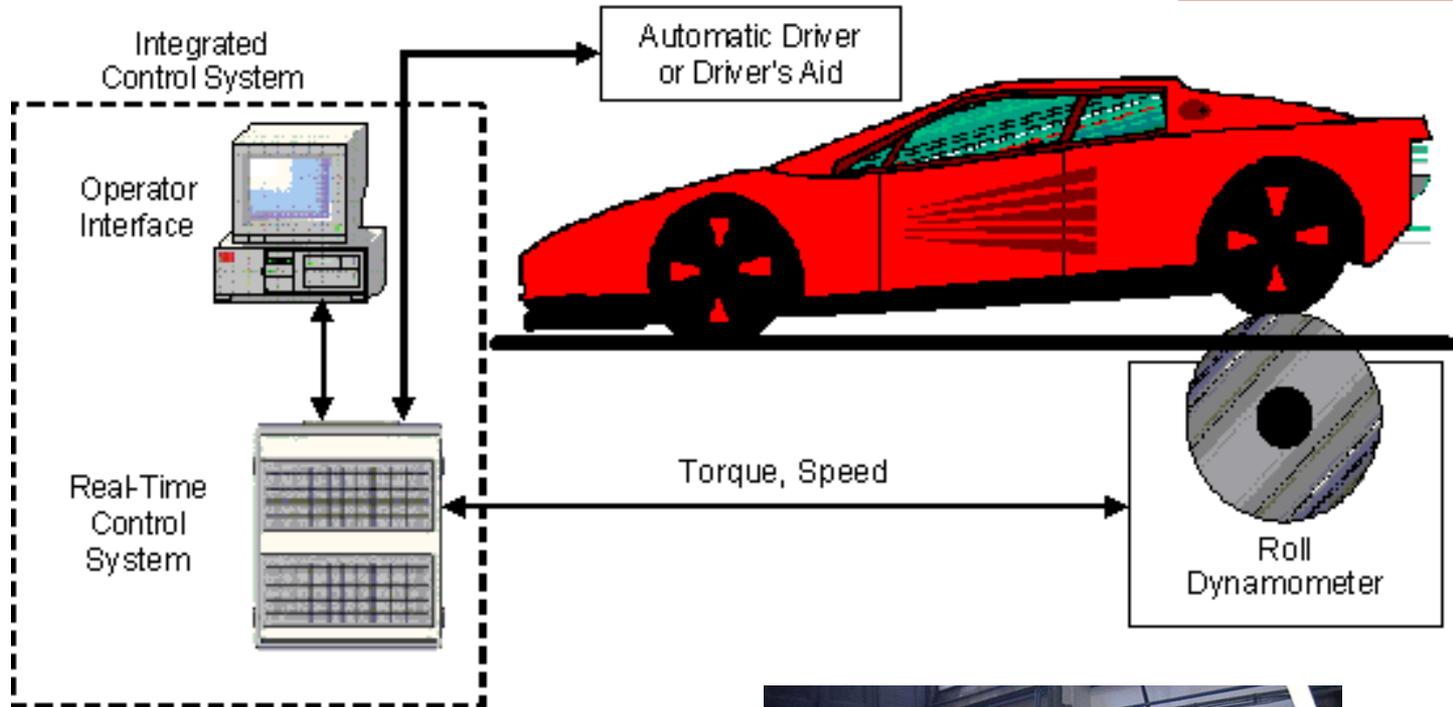
GTAS

Emissions en Europe, USA et Japon

Comparaison des valeurs limites d'émissions des voitures dans l'Union Européenne, au Japon et aux États-Unis



Banc à rouleaux

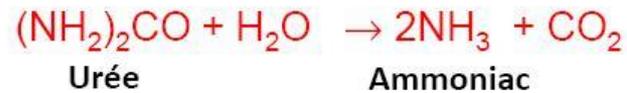


POLLUTION LOCALE: SYSTÈMES DE POST TRAITEMENT PERFORMANTS

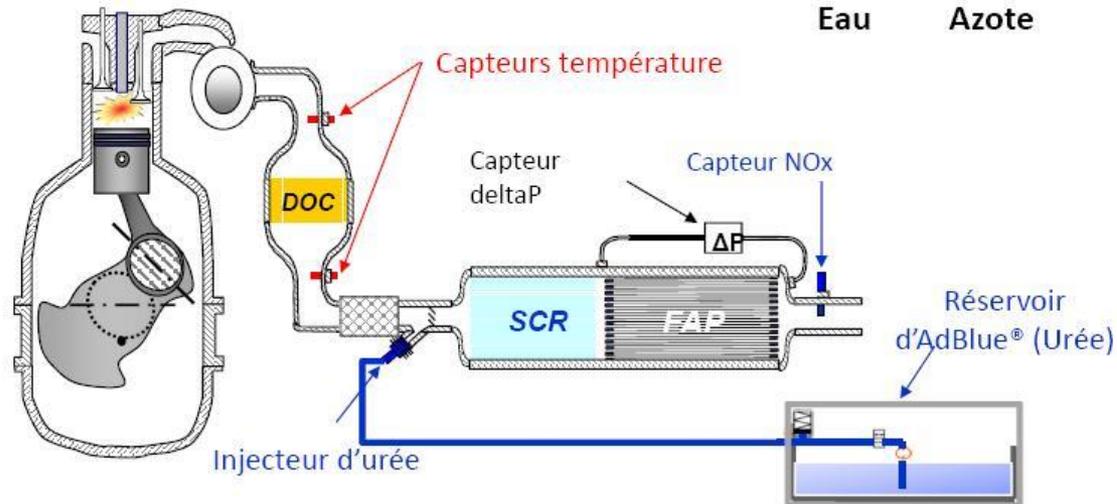
La SCR (Selective Catalytic Reduction) Le système d'élimination des NOx le plus performant



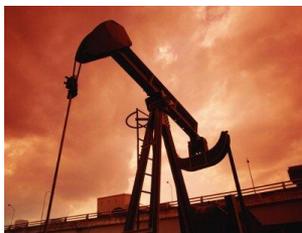
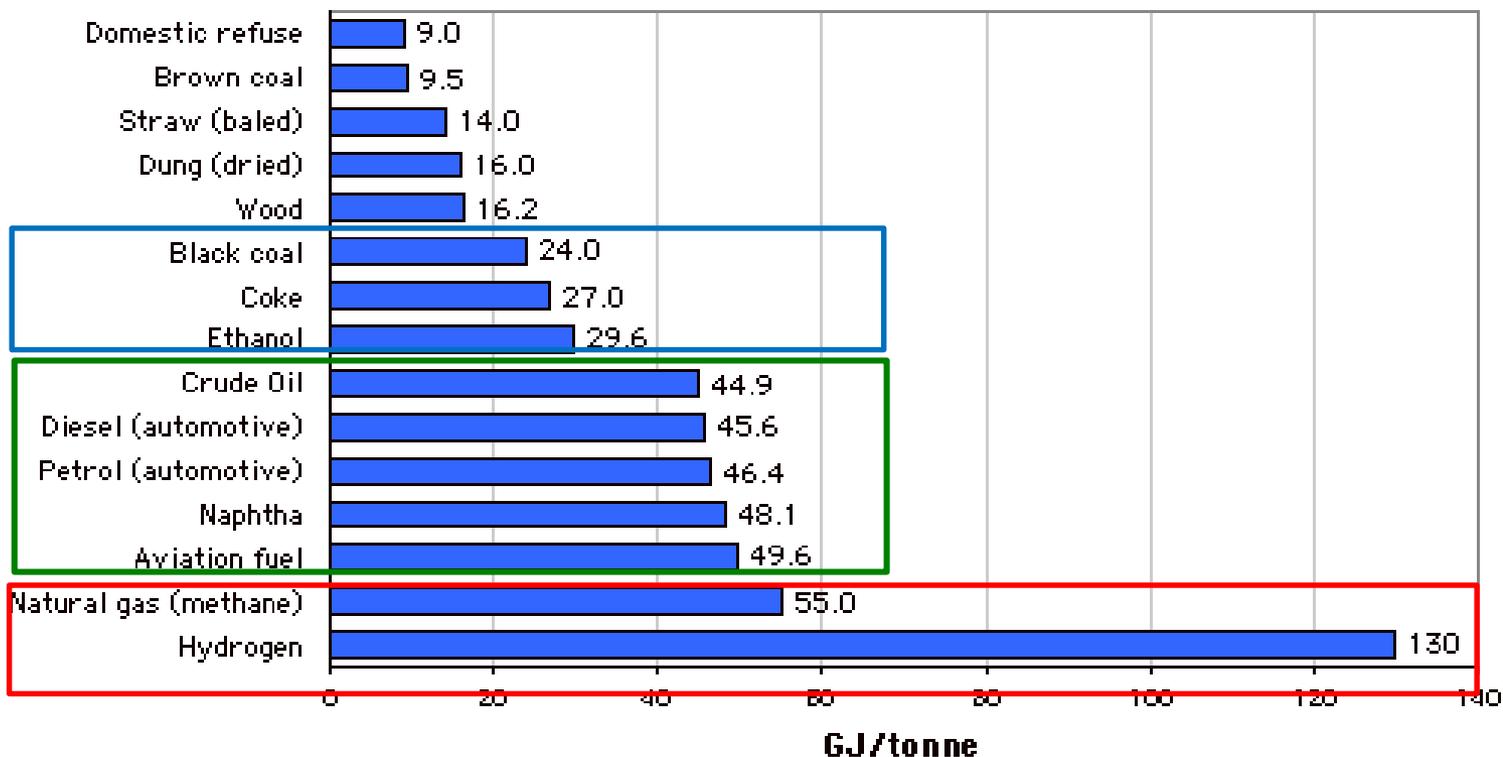
- 1 Transformation de l'Adblue® (urée) en ammoniac (NH₃) dans la ligne d'échappement



- 2 Réaction de l'ammoniac (NH₃) sur les NOx pour donner de l'eau et de l'azote



■ Valeur énergétique & carburants alternatifs



■ Carburants alternatifs:

- Liquefied Petroleum Gas (LPG)
- Alcools (éthanol, méthanol)
- Bio diesel (DME, etc.)
- Gaz Naturel comprimé (CNG)
- Hydrogène

■ Accroissement des parts de marché des carburants alternatifs (Livret blanc de la D.G. Énergie & Transport):

- Objectif pour 2020: 20% du marché
- Bio carburants: 6% en 2010
- Gaz Naturel



Moteurs dédiés au gaz naturel

- Le **gaz naturel** est un bon candidat:
 - Adaptation des moteurs assez facile
 - Grandes réserves gaz naturel
 - Réduction des émissions faibles de CO₂ et de polluants (e.g. PM)
- Objectif: **optimisation du rendement du moteur**: réduction de 5 à 10% des émissions de CO₂ par rapport au moteur diesel
- Souhait de la CE: **substitution progressive** : 2% en 2010, 5% en 2015 et 10% en 2020



Moteurs bi-fuels (ici VW)



Bus roulant au gaz naturel

GAZ NATUREL: questions à aborder

- Émissions de CH₄ et système de dépollution à développer
 - Réseau de station service en construction
 - Volume par unité d'énergie
 - Compressé @ 200/350/800 bars
 - Liquéfié @ -253°C
- Réduction de l'autonomie: ~300-400 km

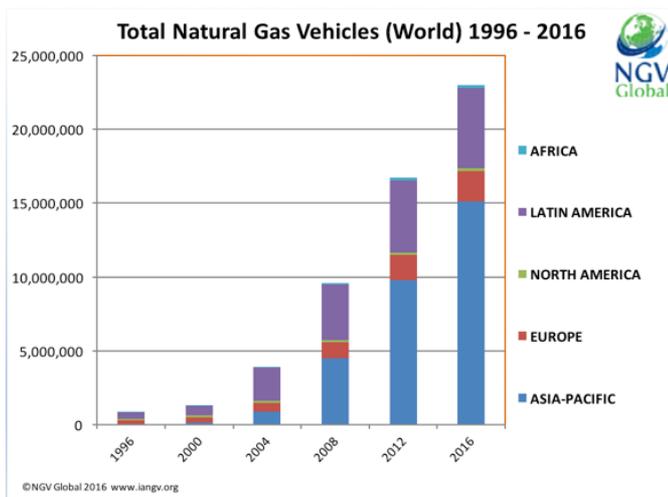
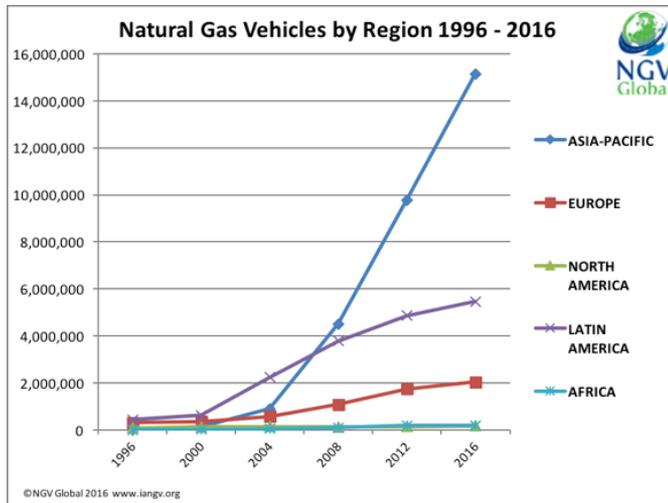
Energy per storage volume for common fuel

	Density kg/m ³	LHV kJ/kg	Energy MJ/m ³		Volume (for same energy)
Gasoline	750	42 690	32 020		
Diesel fuel	835	42 770	35 710	+11%	× 0.9
Gaseous methane 1013 hPa, 273 K	0.716	50 010	36	- 100%	× 889
Gaseous methane 20 Mpa, 293 K (AGA8)	173	50010	8 652	- 73%	× 3.7



LNG fuel tank on an Iveco Stralis

GAZ NATUREL: CNG & LNG



- Forte croissance du CNG en Asie et en Amérique du Sud
- En Europe, croissance emmenée par l'axe Italie, Suisse, Allemagne, Scandinavie
- Mise en place d'un réseau de stations suffisamment dense
- Croissance de l'ordre de 10%
- Source: International Association for Natural Gas Vehicles



Le véhicule électrique



■ Avantages

- Bien adaptée à un usage urbain
 - Zéro pollution locale
 - Grand confort de conduite
- Bonne efficacité énergétique
 - Prix de l'énergie plus faible : 20 kWh/100 km



■ Désavantages:

- Nouvelle discipline à acquérir
 - Temps de recharge (1 à 6 heures)
 - Autonomie entre 130 km et 200 km (dépendante des conditions climatiques)
- Véhicules plus petits
- Offre encore limitée
- Fiabilité reste à prouver en pratique

LES VEHICULES ELECTRIQUES



Renault Twizy, Zéro, Fluence, Kangoo



Nissan Leaf



Mitsubishi Miev, Citroën C-zéro, Peugeot ion

Smart EV



Tesla

RÉINVENTER LE CONCEPT DE VÉHICULE AVEC LA MOTORISATION ÉLECTRIQUE!

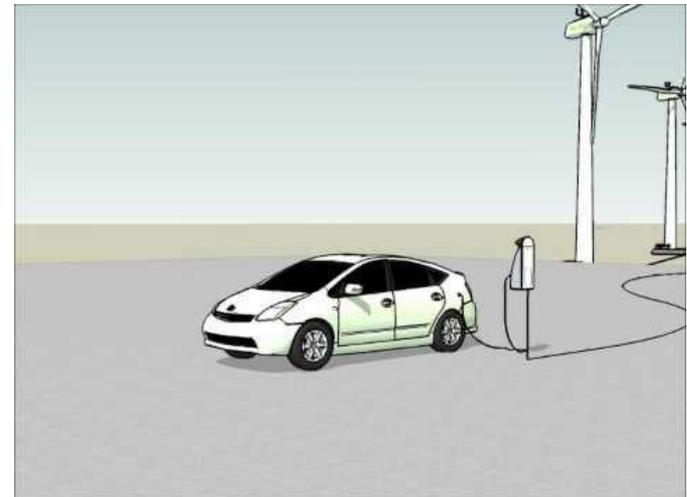
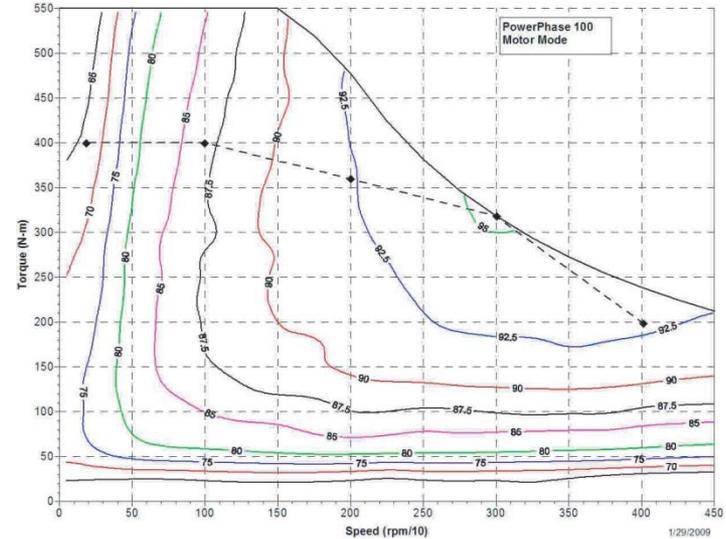
- Evolution vers des plus petits véhicules à vocation urbaine



- Rendement Moteur Electrique: 90%
- Electronique de Puissance: 95%
- Batteries: Charge décharge (Li-ion): 95%
- Total: 81%

- Réseau Electrique: 95%
- Production Combinée: 50%

- Total : 38,5%



RÉINVENTER LE CONCEPT DE VÉHICULE AVEC LA MOTORISATION ÉLECTRIQUE!

- Avec des moteurs électriques il est possible d'imaginer **mettre un moteur sur chaque degré de liberté (roue ou essieu)** à actionner selon un principe qui est maintenant cher à la mécatronique
- L'idée d'une motorisation électrique permet de **remettre en cause l'existence de plusieurs organes mécaniques**: embrayage, boîte de vitesses, différentiel mécanique...
- L'arrangement des volumes est alors fortement dominé par la position des batteries et pas par celle du moteur.
- On imagine aujourd'hui de nouveaux concepts de mobilité



LE PROBLÈME DES BATTERIES

Carburant	Acide Pb	Li-Ions	Essence	Diesel
Energie spécifique du carburant [W.h/kg]	35	120	11.833	11.667
Rendement [%]	80%	80%	12% - 20%	18% - 24%
Energie spécifique à la roue [W.h/kg]	28	96	1420 - 2366	2100 - 2800
Consommation [L/100 km] ou [kWh/100 km]	25kWh/100km	25kWh/100km	8l/100km	6l/100km
Autonomie (pour 100kg)	14 km	48 km	1666 km	2008 km

Facteur 200!



Les 6 défis des batteries

- Améliorer l'autonomie = augmenter l'énergie et la puissance spécifique
- Allonger la durée de vie
- Raccourcir le temps de recharge
- Rendre les batteries plus sûres et fiables
- Abaisser le coût et économiser les matériaux
- Organiser le recyclage



LE VEHICULE HYBRIDE

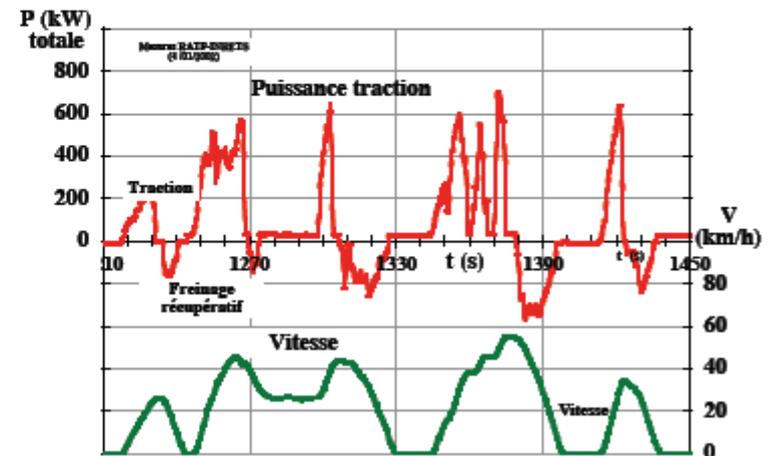
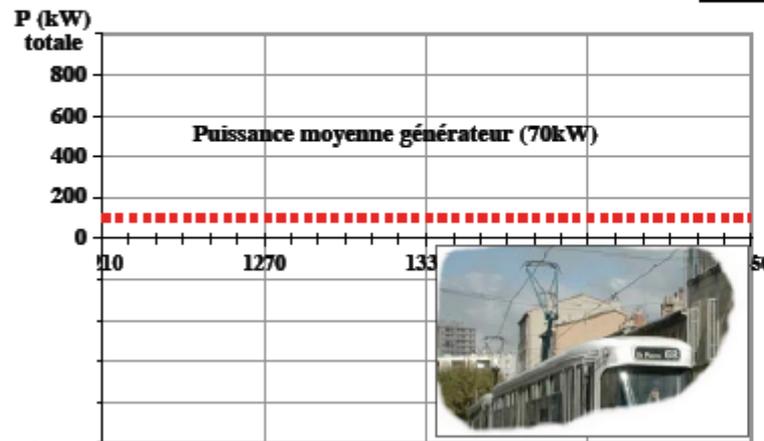
AMELIORER L'EFFICACITE ENERGETIQUE DES VEHICULES

- Problème du fonctionnement des systèmes de propulsion: la très grande variabilité des régimes de fonctionnement
 - Objectif: dimensionner à la puissance moyenne!
 - Moyen: stocker l'énergie \Rightarrow véhicule hybride

Puissance moyenne utile au déplacement (ex. tramway : 70kW)

Stockage d'énergie tampon

Puissance instantanée Absorbée pour la traction (ex. tramway: 800kW à 1MW)

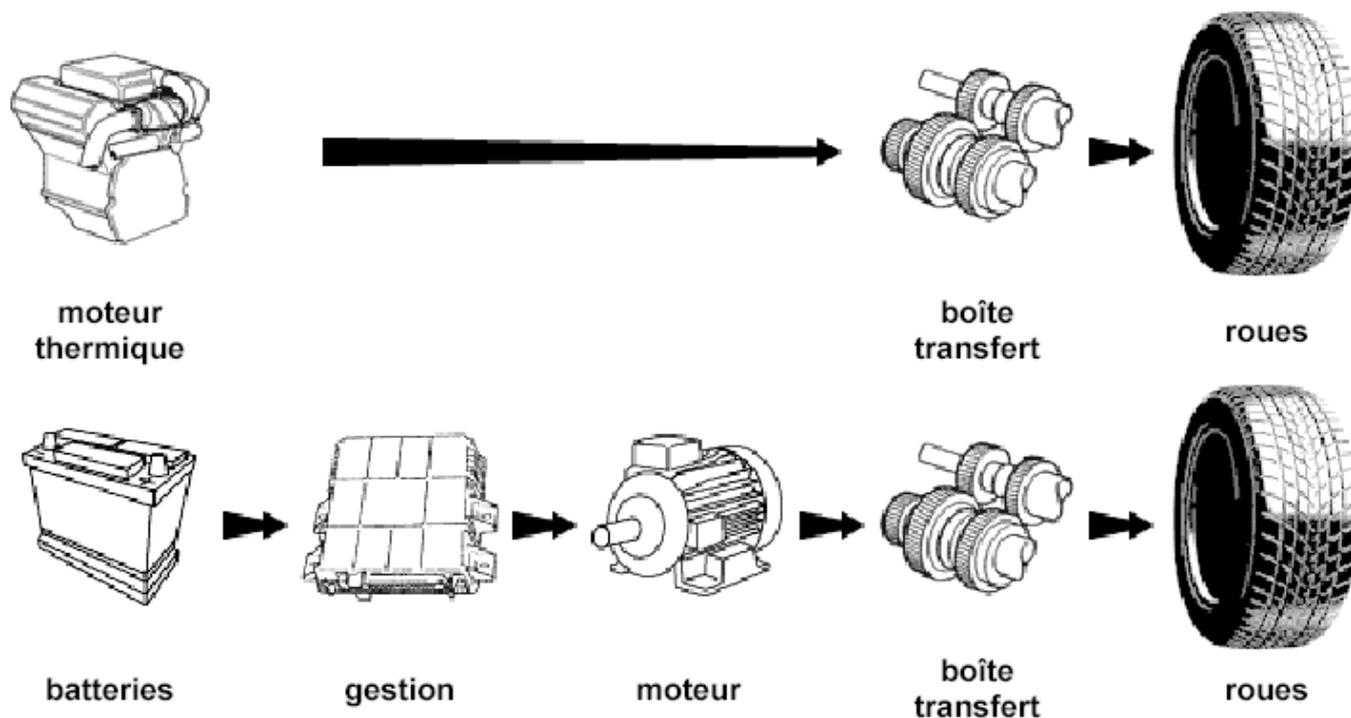


Source G. Coquery, INRETS

- Les véhicules hybrides combinent deux sources d'énergie, de stockage et de conversion de l'énergie.
 - Par exemple, les véhicules hybrides électriques associent de l'énergie chimique et électrique
- Les **Véhicules Hybrides Électriques** combinent les avantages:
 - des voitures électriques (mode zéro émission, conduite urbaine)
 - des moteurs à combustion interne (autonomie facilité de recharge, etc.)
- Architectures:
 - Deux architectures de base: série or parallèle
 - Architectures complexes

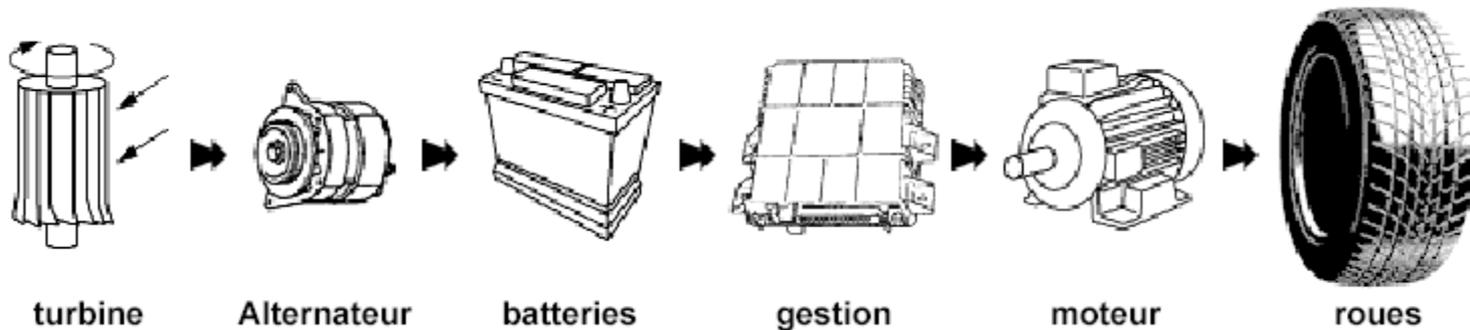


- TRACTION BI-MODE ou HYBRIDE PARALLELE
 - La traction thermique est utilisée hors des villes tandis que la traction électrique s'utilise en ville



■ TRACTION HYBRIDE SERIE

- Le moteur thermique (à piston ou turbine à gaz) entraîne un groupe électrogène qui recharge en permanence un groupe de batteries.
- Les batteries débitent sur un moteur électrique de traction



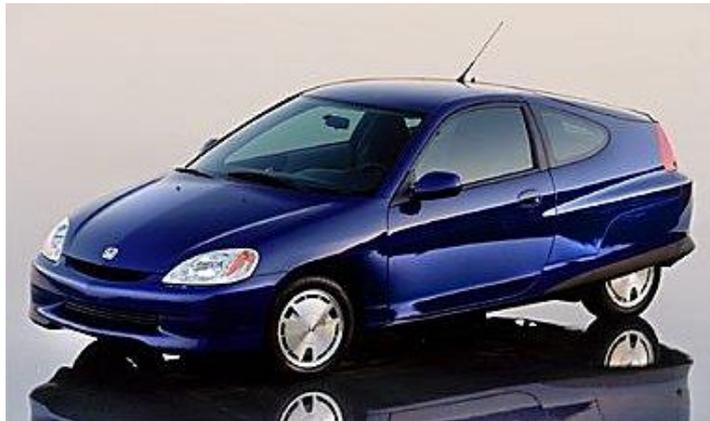
VEHICULES HYBRIDES ELECTRIQUES



Toyota Prius



Golf GTE



Honda Insight



Chevrolet VOLT

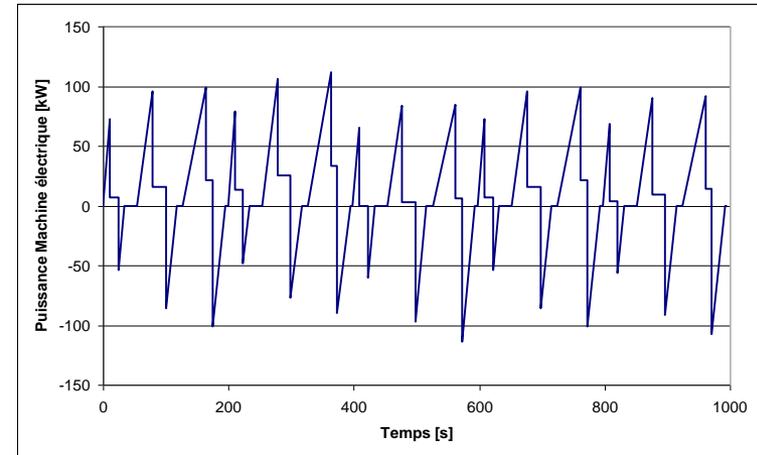
Le succès commercial est en train de venir (e.g. Toyota Prius II, Honda Insight, Lexus RX400h, Chevrolet VOLT, VW GTE...)



Hybrides: comment ça marche?

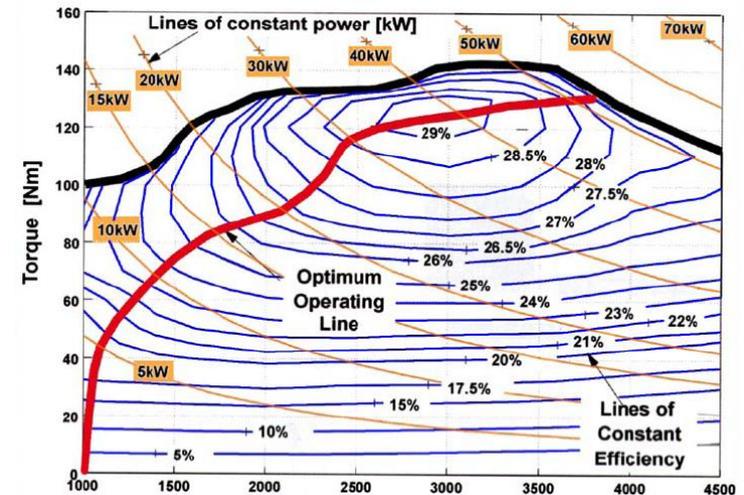
■ Système électrique

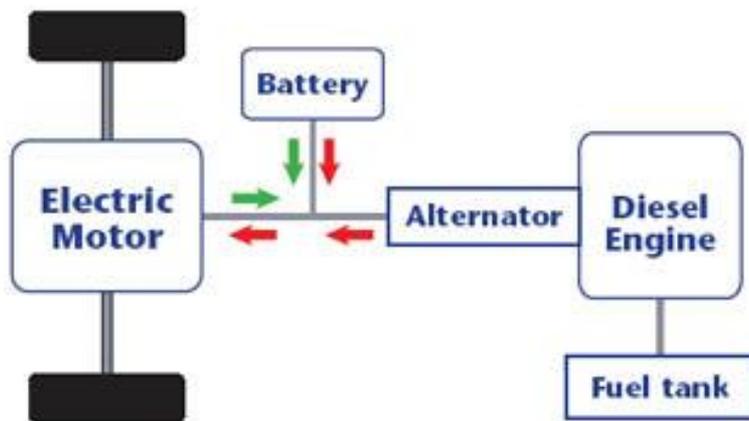
- Récupérer (partiellement) l'énergie du freinage
- Stockage dans l'accumulateur
 - ➔ Lissage des pics de puissance
 - ➔ Réduction taille du moteur
- Prend en charge les phases les plus défavorables de fonctionnement



■ Fonctionnement du moteur thermique

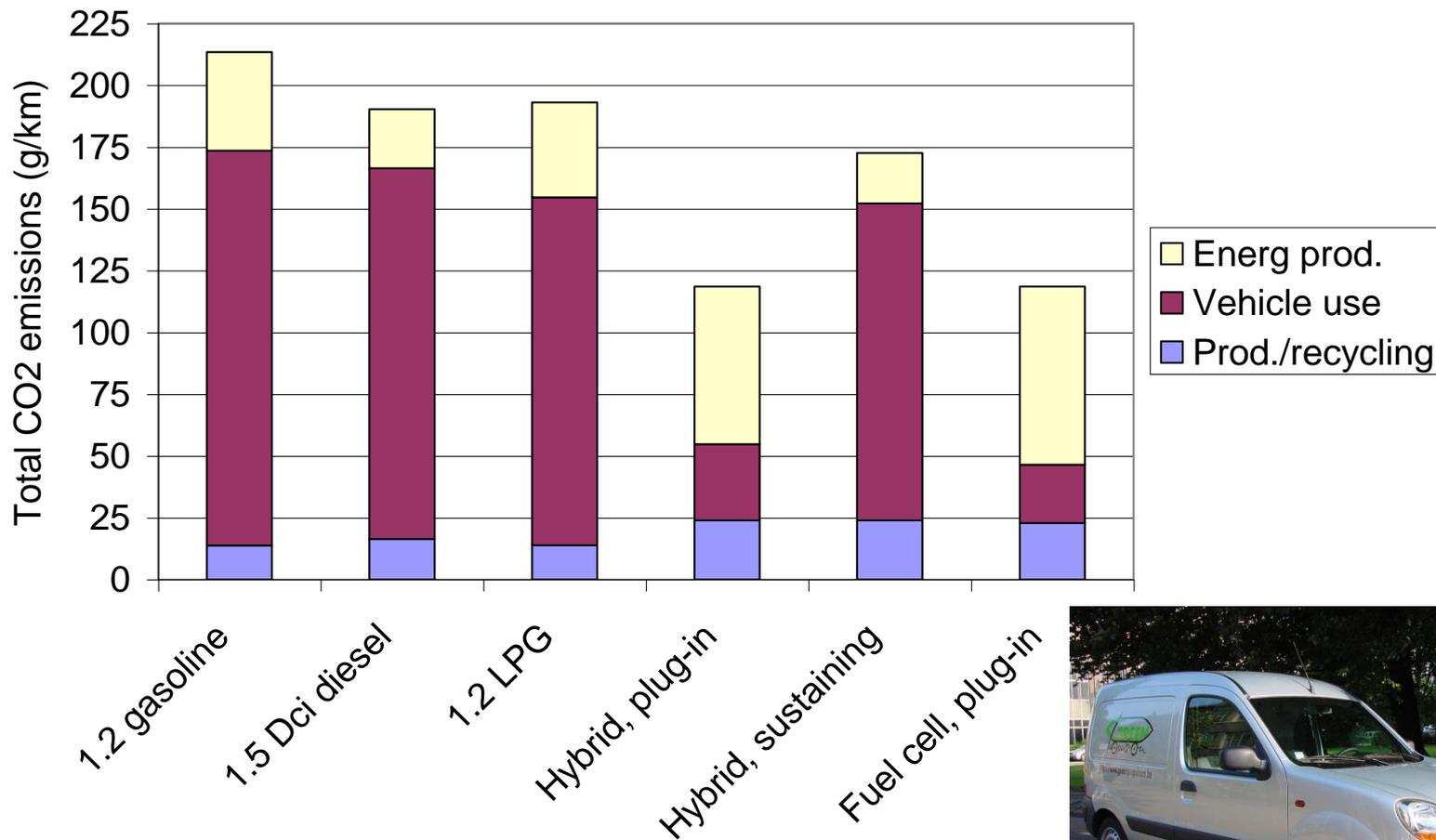
- Réduction de cylindrée en préservant le couple
- Fonctionnement dans sa meilleure plage de rendement et de moindres émissions
- Augmentation de l'autonomie





- Rendement Optimal MCI: 40%
- Rendement Génératrice: 95%
- Batteries: Charge décharge (Li-ion): 95%
- Moteur électrique et son électronique de Puissance: 95%
- Rendement Transmission: 96%
- Total: 33%

DE L'UTILITE DE RECHARGER A LA PRISE

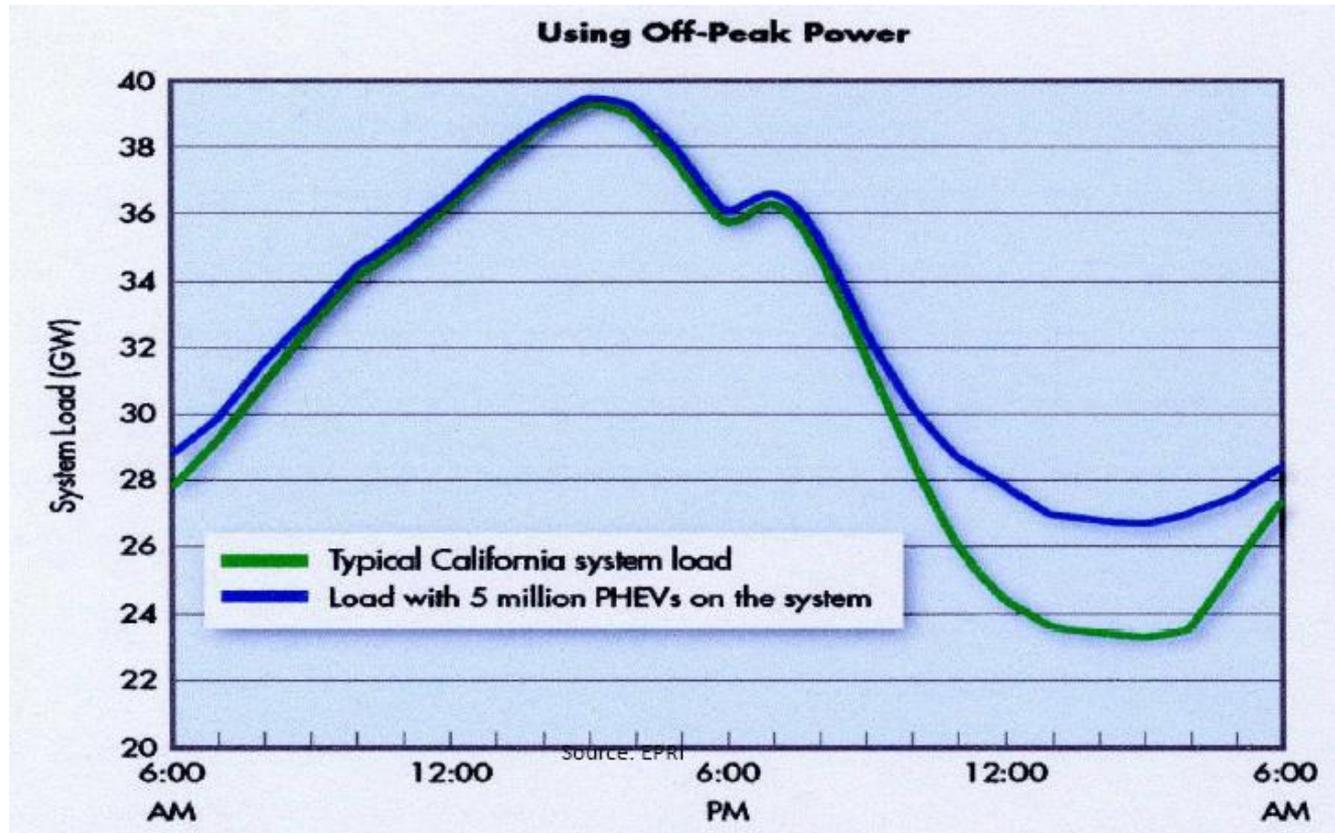


Renault Kangoo Hybrid
Green Propulsion



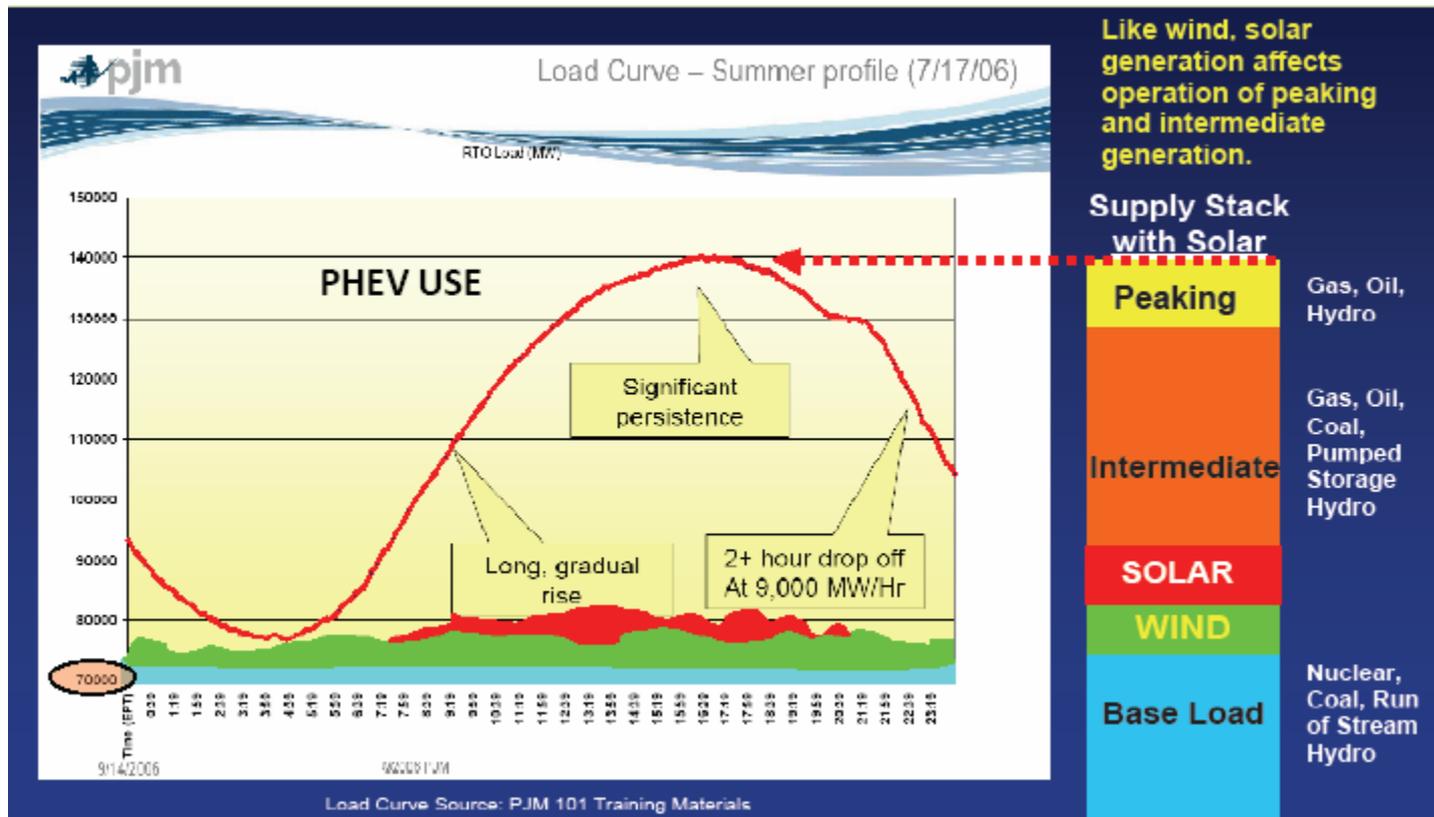
Source: www.greenpropulsion.be

- Le courant de nuit est le carburant des véhicules électriques

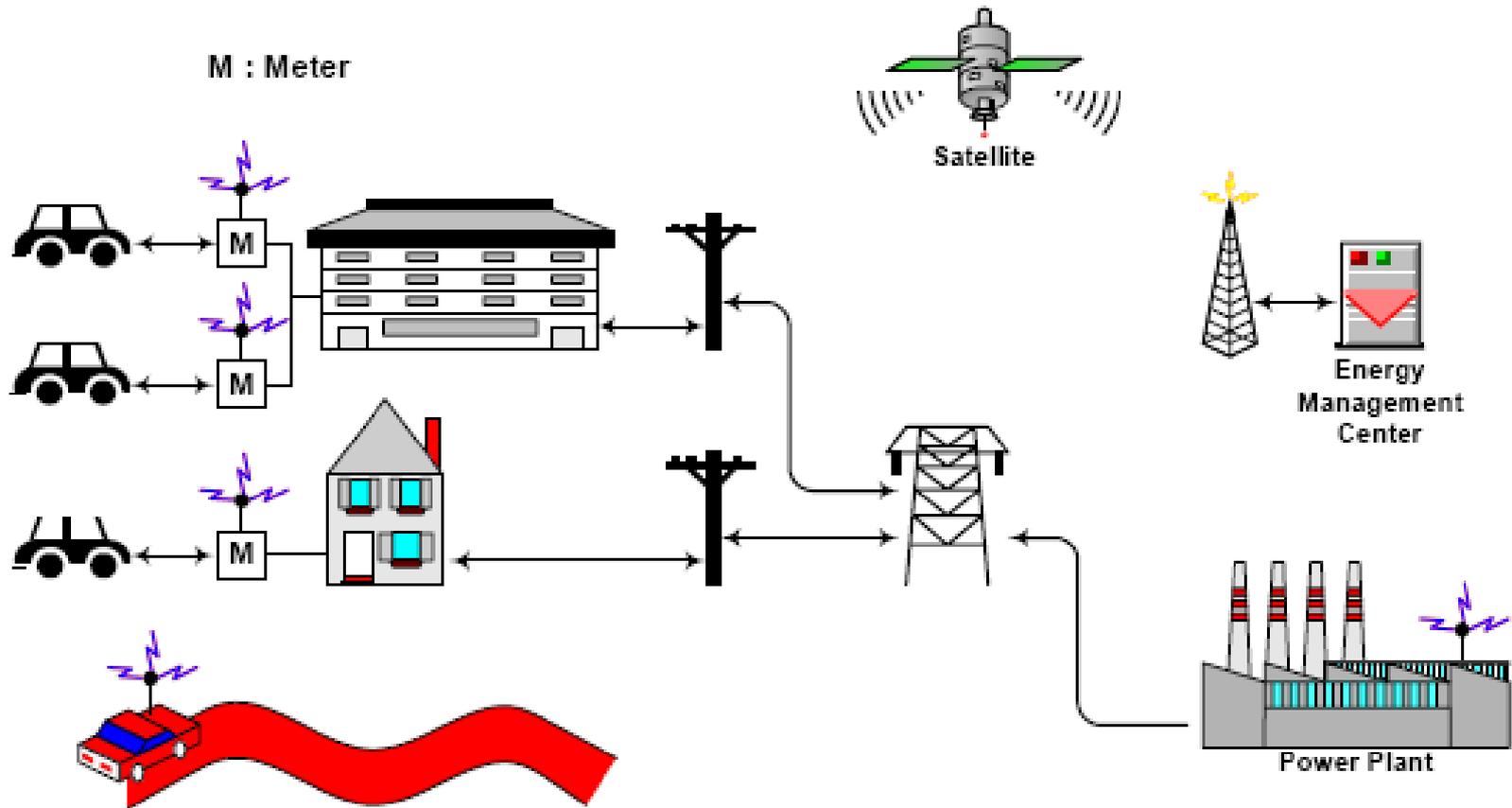


Thomas Schneider, Transportation Efficiency Through Electric Drives and the Power Grid, Capitol Hill Forum, Plug-in Hybrid Electric Vehicles: Towards Energy Independence, July 10, 2007.

- A contrario, les batteries des VE et des PHEV sont une source de puissance de réserve pour niveler les pics de demande de puissance dans le réseau



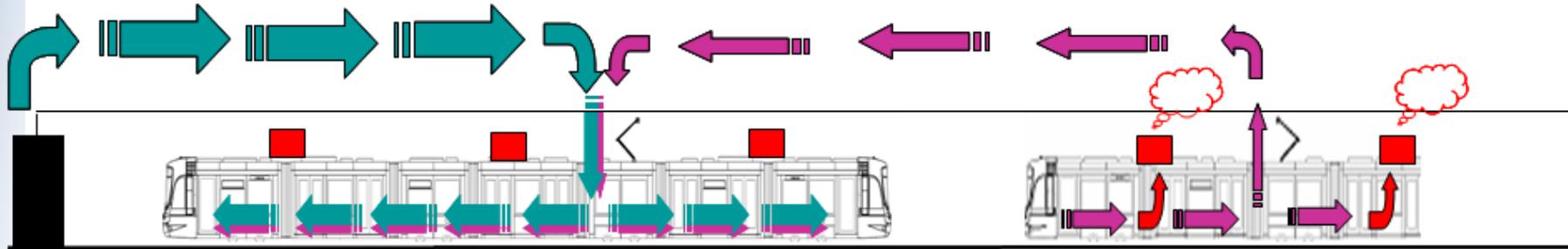
INTÉGRATION DU VE ET PHEV DANS LE RÉSEAU



Mehdi Ferdowski, Plug-in Hybrid Vehicles –A vision for the Future, 2007 IEEE VPPP

VEHICULES FERROVIAIRES HYBRIDES

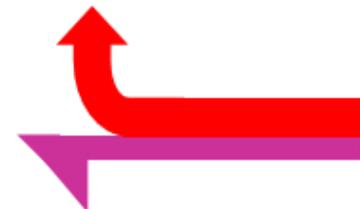
No Energy Storage System



Electric Sub-station
Recovery



Traction Energy



Rheostatic losses
Grid restitution

Braking Energy

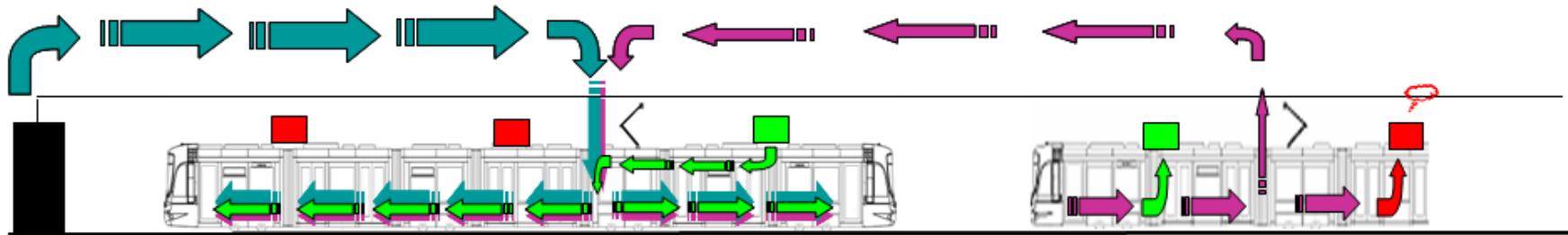
- Sans système de stockage, la récupération d'énergie est faible

Headway (s)	240	420	600
Line receptivity	83%	72%	63%



VEHICULES FERROVIAIRES HYBRIDES

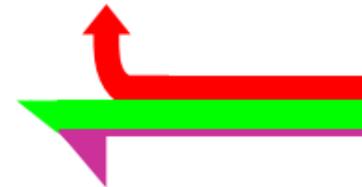
Vehicle with Energy Storage System



Electric Sub-station
ESS discharge
Recovery



Traction Energy



Rheostatic losses
ESS Recharge
Grid restitution

Braking Energy

- Introduction d'un système de stockage à bord et dans les sous-stations pour améliorer le rendement énergétique

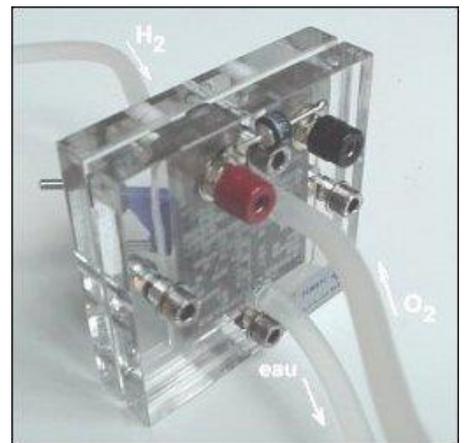
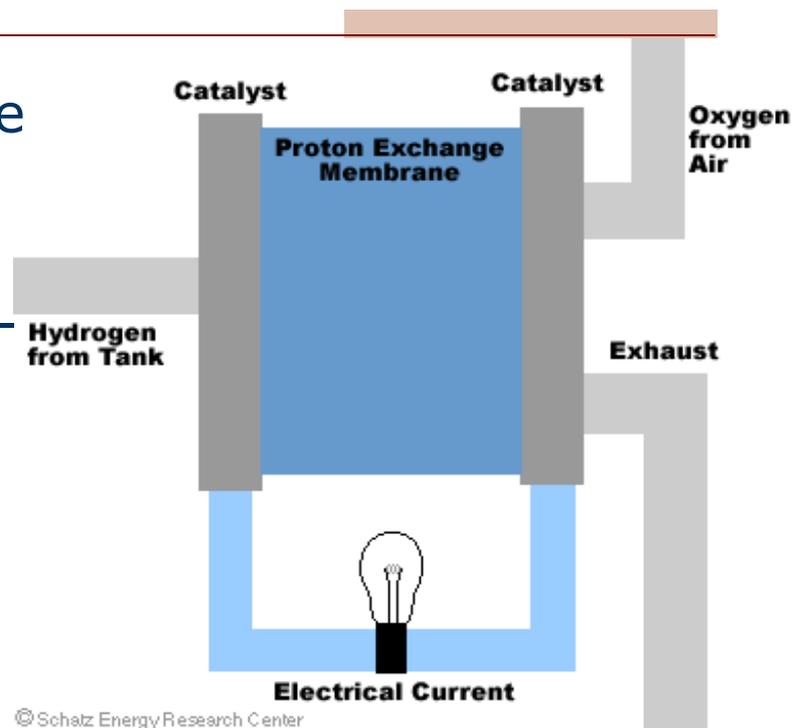


LE VÉHICULE À PILE À COMBUSTIBLE

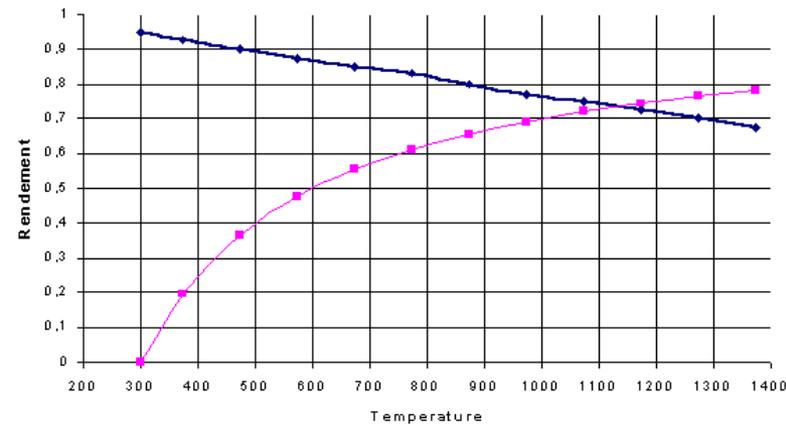
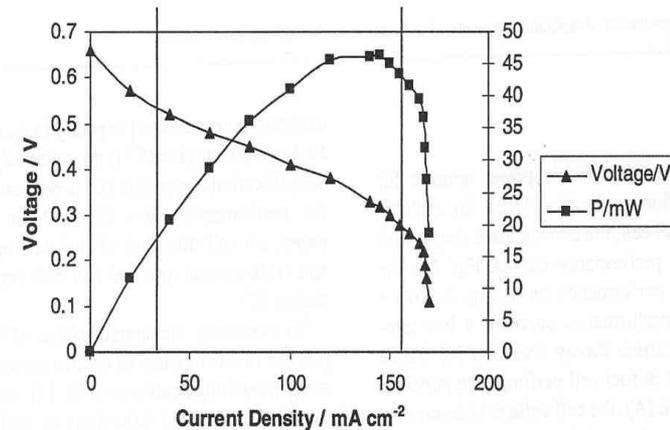
PILES A COMBUSTIBLE: C'EST QUOI?

UNIVERSITE de Liège

- Système de **conversion directe** de l'énergie d'un combustible en électricité
- Réaction électrochimique (oxydo-réduction) **sans flamme**
- La pile à hydrogène $H_2 - O_2$: **réaction inverse de l'électrolyse de l'eau**
- Réactifs introduits et renouvelés tandis que les produits de réaction enlevés en continu
- Rendement élevé (~50%)
- Coût des électrodes: métaux précieux



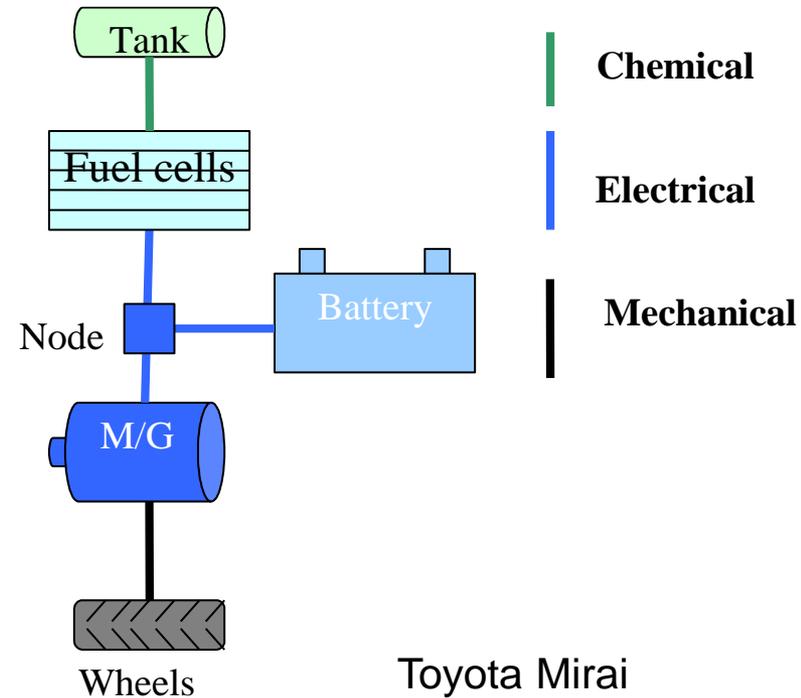
- Avantages:
 - Fonctionnement silencieux
 - Rendement théorique élevé (supérieur à 50%)
 - Pas de rejet direct de polluants
- Inconvénients:
 - Coût des électrodes
 - Pureté des combustibles
- On distingue actuellement différents types de piles à combustibles
 - Piles PEM (polymer exchange membrane)
 - Pile au Méthanol Direct
 - ...



VEHICULES A PILES A COMBUSTIBLE

- Rendement Pile à Combustible: 55%
- Rendement Convertisseur DC/DC: 95%
- Batteries: Charge décharge (Li-ion): 95%
- Moteur électrique et son électronique de Puissance: 95%
- Rendement Transmission: 96%
- Total: 45%

- Rendement production H_2 (reformage du CH_4) : 80%
- Total : 36%



Nouveaux modes de mobilité: Le véhicule autonome



Concept de mobilité personnelle

- Vision de plus petits véhicules très mobiles et très intelligents
 - Motorisation électrique
 - Batteries ou pile à combustible
 - Matériaux légers
 - Adapté à la circulation urbaine

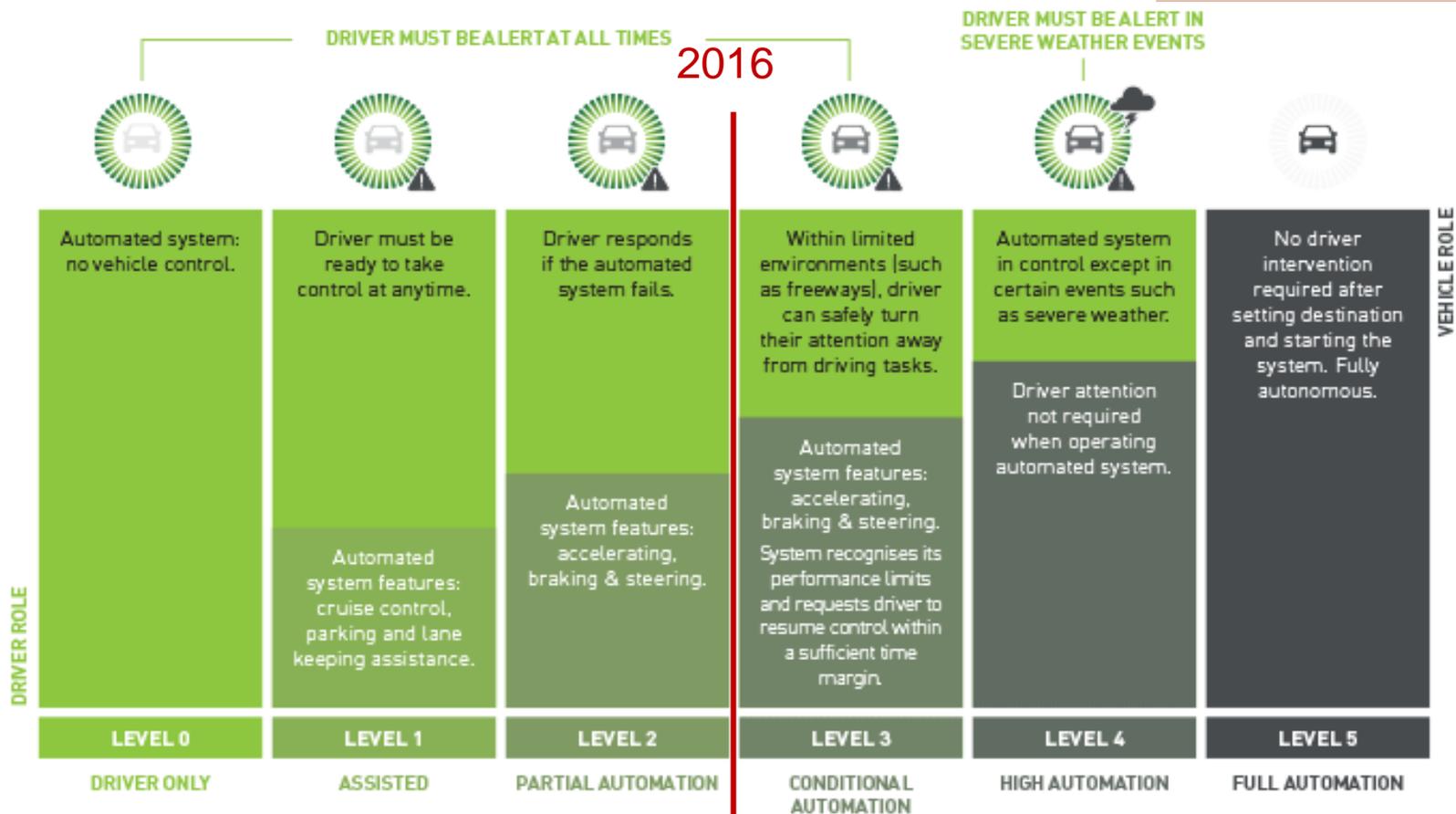


Renault Twizy



Personnal Mobility Concept de
Toyota

MOTIVATION: Evolution des technologies automobiles



Etat de la situation



Court terme



Moyen terme



Long terme

MOTIVATION: Evolution des technologies automobiles

- Un élément essentiel des véhicules autonomes réside dans la batterie de capteur et dans la fusion / interprétation des informations

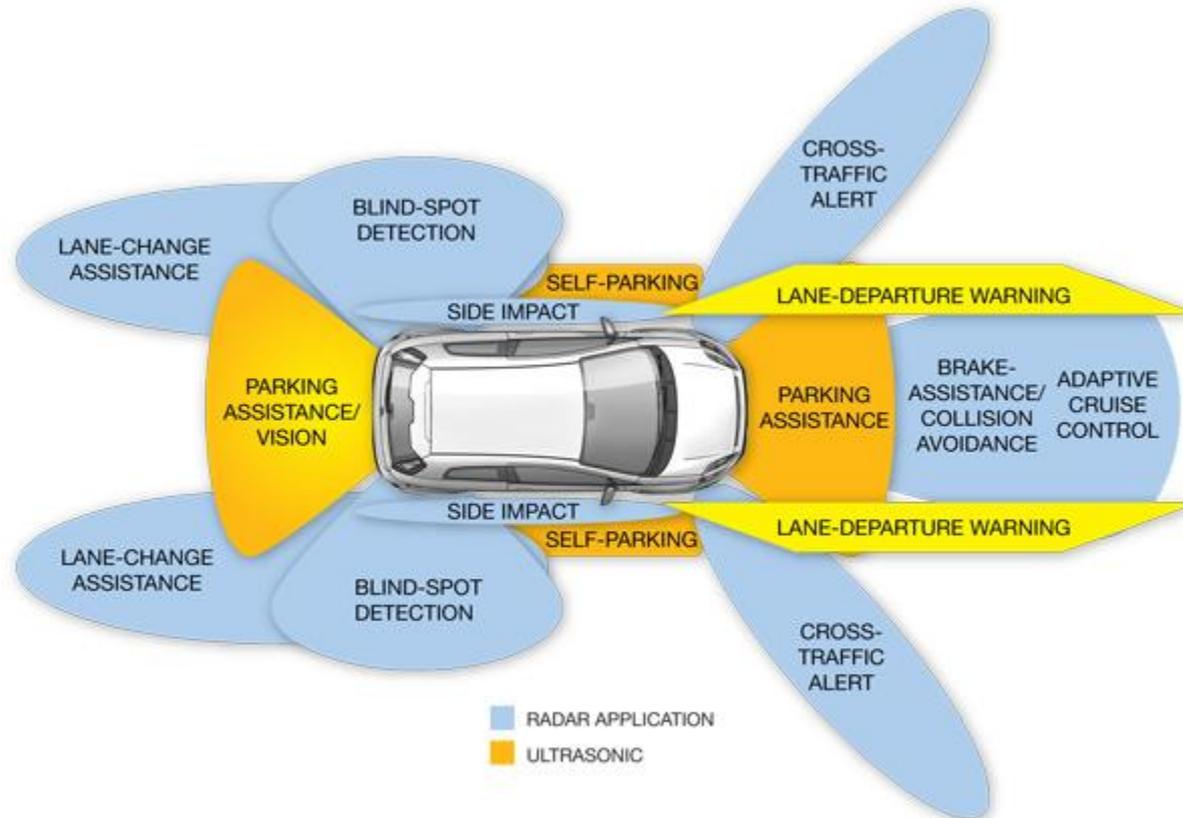


Figure 2 Several driver-assistance systems are currently using radar technology to provide blind-spot detection, parking assistance, collision avoidance, and other driver aids (courtesy Analog Devices).



MOTIVATION: Evolution des technologies automobiles

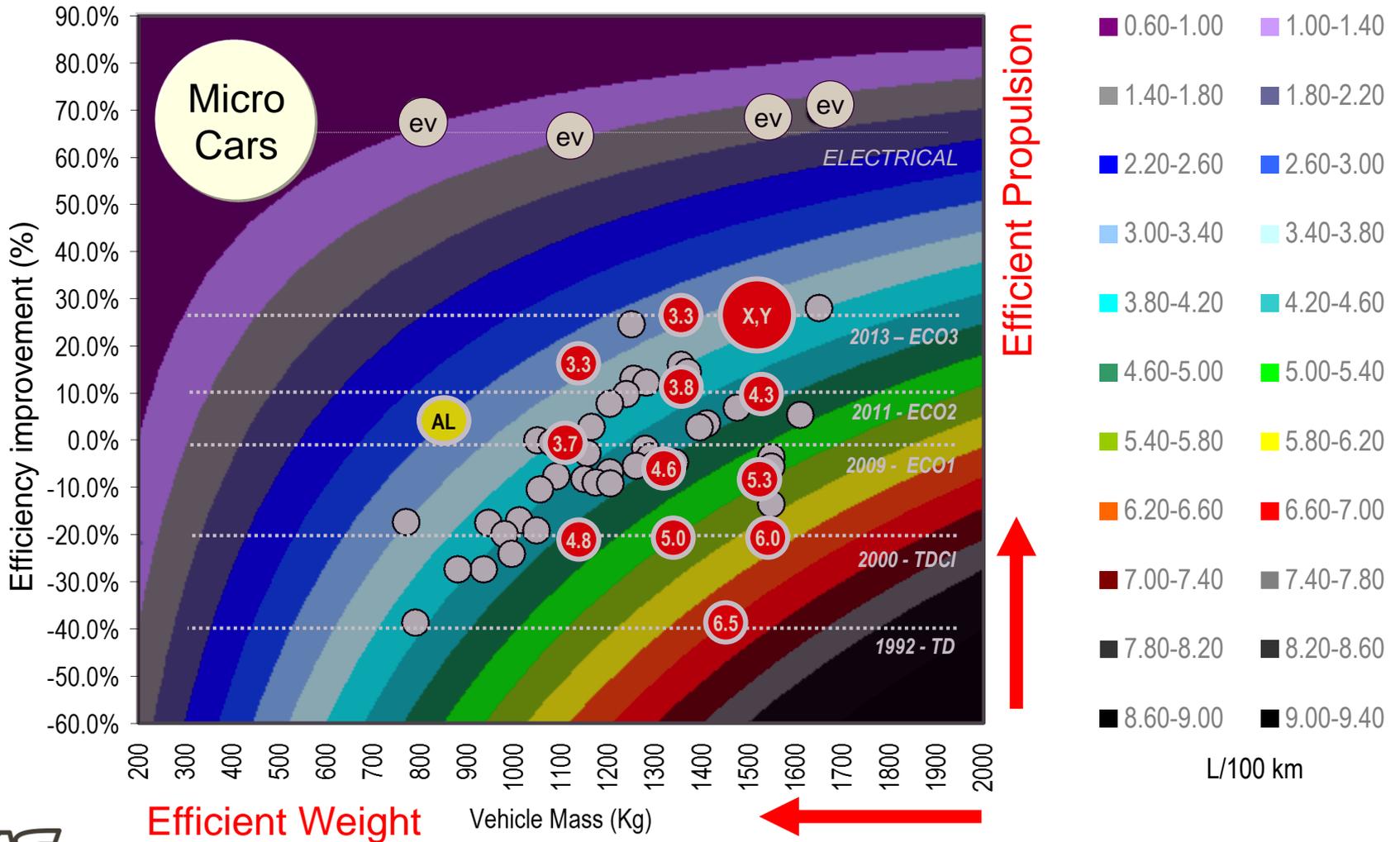
- Les véhicules électriques autonomes une opportunité pour le transport de personnes et de marchandises



Le prochain défi: l'allègement des véhicules



Economie de carburant vs masse du véhicule



- Advanced High Strength Steels - Weight savings potential **7 to 10%**
 - Most mature technology
 - Lowest cost alternative
 - Tooling upgrades required

- Aluminum - Weight savings potential **40 to 50%**
 - Material cost is higher than advanced steels
 - Slight tooling upgrades required

- Magnesium - Weight savings potential **50 to 60%**
 - Casting is currently the only economically viable manufacturing process
 - Corrosion can be an issue in some applications
 - Material supply base and converters in a state of flux

- Polymer & Composites - Weight savings potential **10 to 70+%**
 - Good supply base for sheet molded composite (SMC)
 - Suitable for appearance and semi-structural applications
 - High performance (Carbon Fiber) materials not affordable at automotive volumes but low cost grades are under development



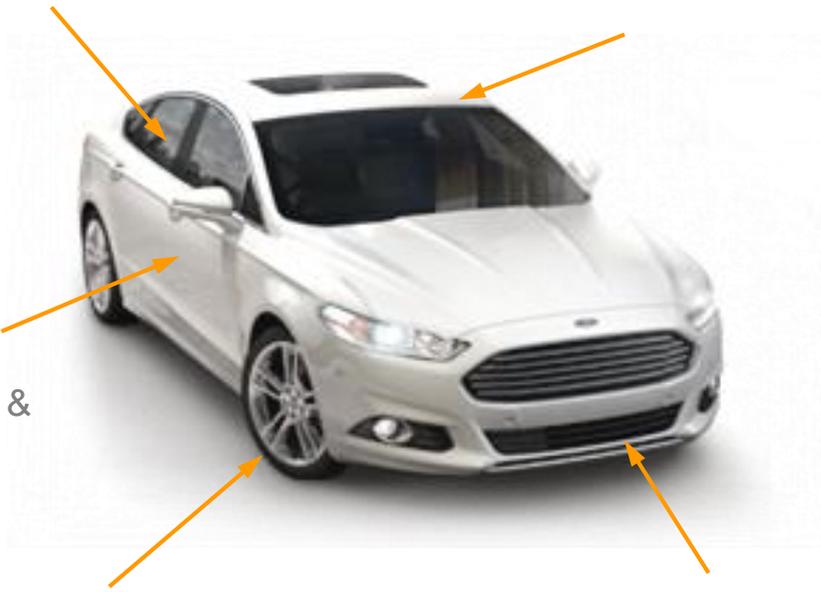
FEUILLE DE ROUTE POUR LES MATERIAUX

Body Interior

Short & Long term: Aluminum, Mg,
Bio Based Plastics

Body Structures

Short Term – Increase AHSS, Aluminum
Long term – Mg, Carbon Fiber, Natural Fibers



Closures

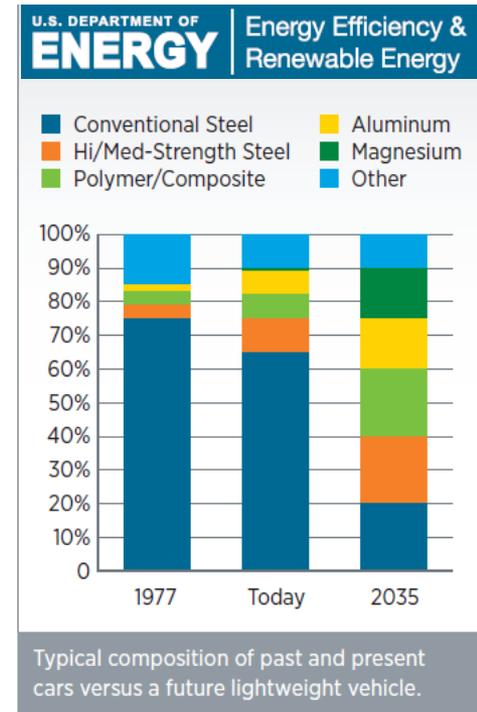
Short Term – AHSS, Aluminum,
Long term – Magnesium & Reinforced Plastics

Chassis

Short Term – AHSS, Aluminum
Long term – Mg, CF

Powertrain

Short Term – Aluminum
Long term – Magnesium

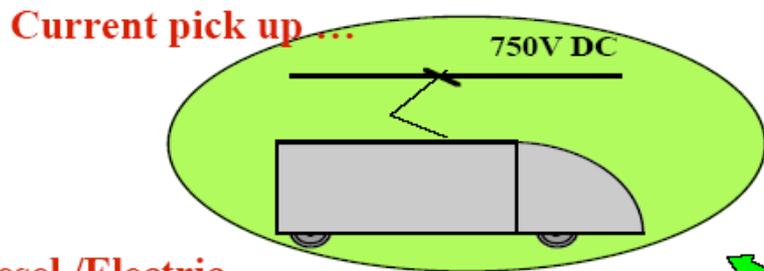


Conclusions et Perspectives

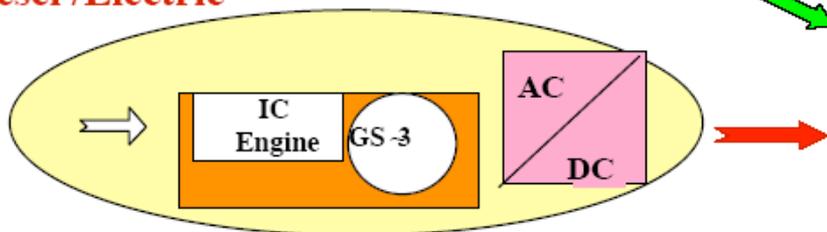


- L'automobile
 - fait partie de notre vie
 - doit faire face à des défis majeurs à l'aube du 21^{ème} siècle
- Nouveaux développements à court et moyen termes
 - Améliorer les moteurs à combustion interne
- En circulation urbaine le **véhicule électrique** constitue une réponse à l'amélioration de l'efficacité et la décarbonisation des transports urbains
- Le pétrole et les moteurs à pistons ne pourront être remplacés que **partiellement par plusieurs solutions alternatives (carburants et systèmes de propulsion)**, chacun étant le mieux adapté dans une niche.

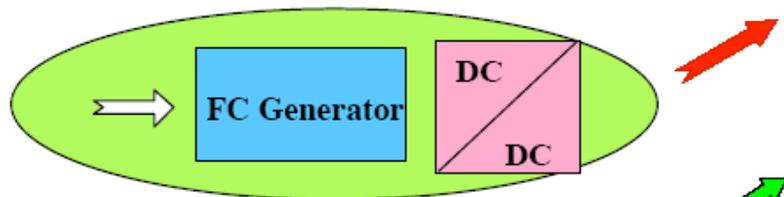




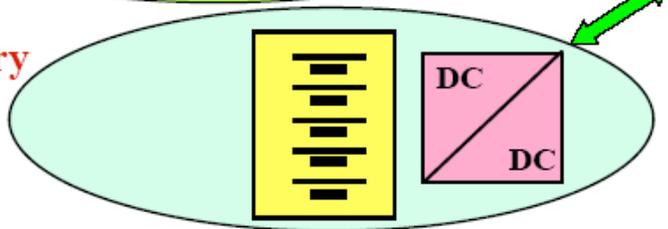
Diesel /Electric



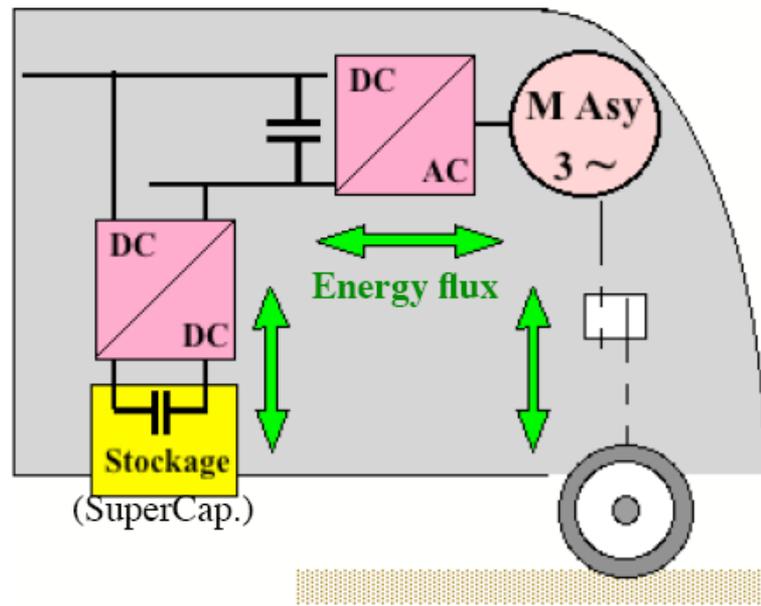
H2



Battery



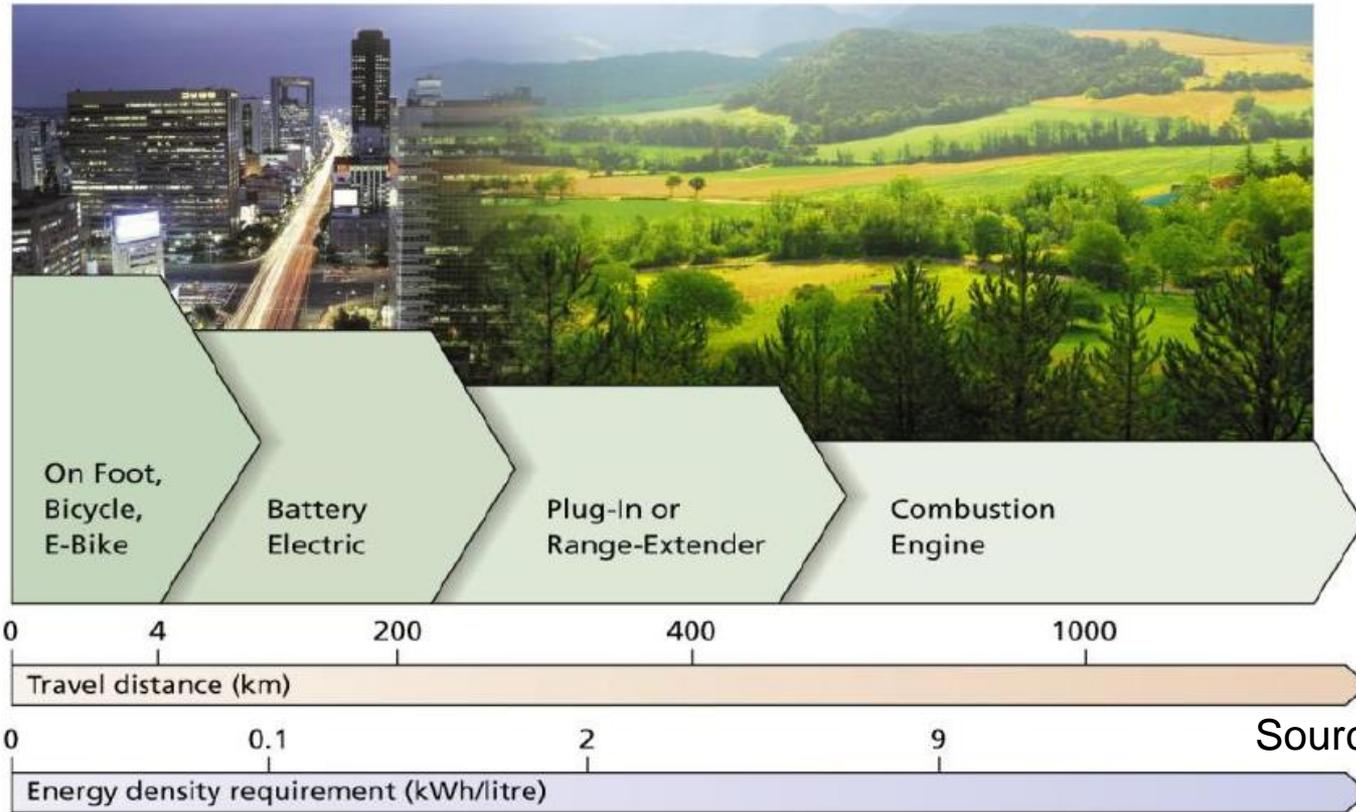
Basic structure
traction - regenerative braking
with buffer energy storage



Véhicules multi sources



AMELIORER L'EFFICACITE ENERGETIQUE DES VEHICULES



GTAS

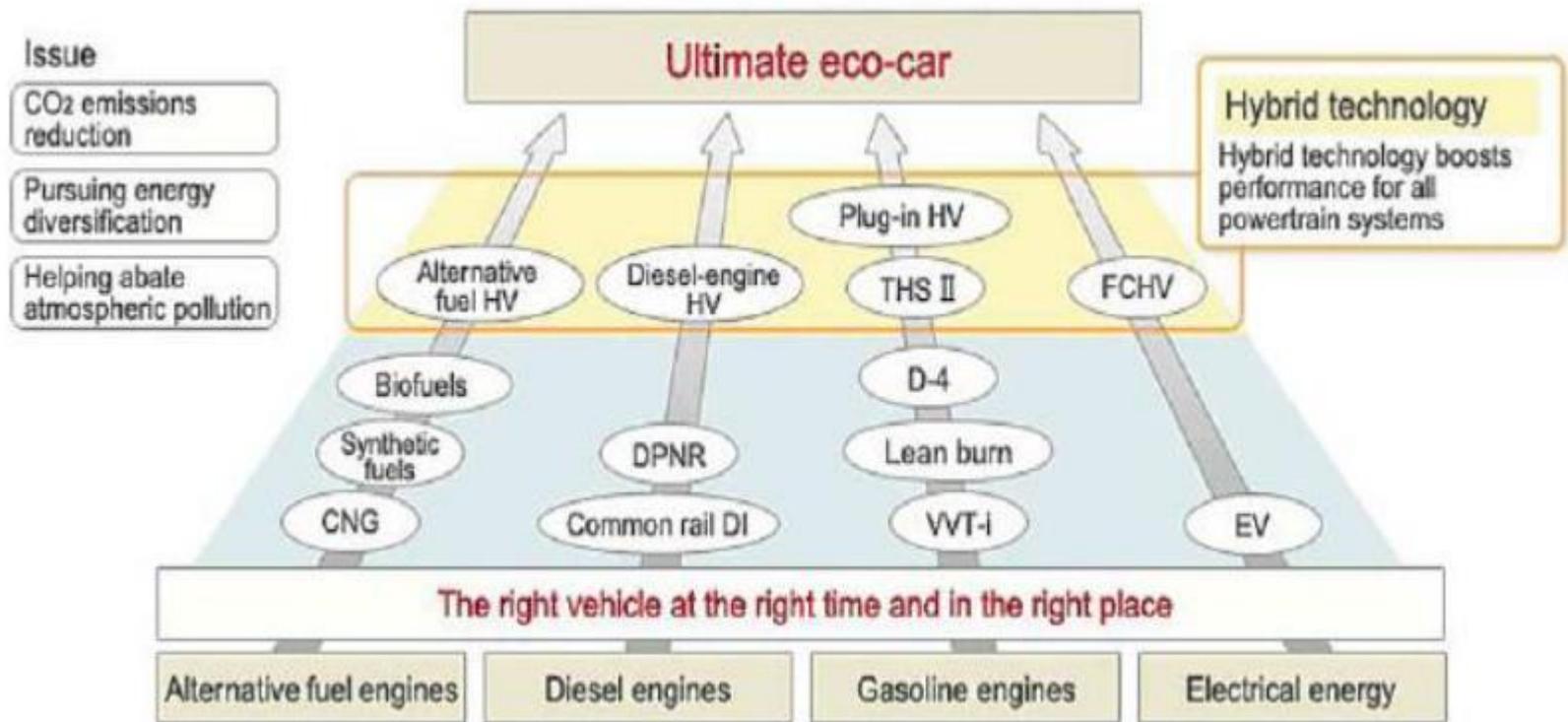
Etat de la situation

Court terme

Moyen terme

Long terme

- La feuille de route Toyota pour la réduction des émissions de CO2



Concept de mobilité personnelle

- Vision de plus petits véhicules très mobiles et très intelligents
 - Motorisation électrique
 - Batteries ou pile à combustible
 - Matériaux légers
 - Adapté à la circulation urbaine



Renault Twizy



Personnal Mobility Concept de
Toyota

Concept de mobilité partagée

- Véhicules partagés
- Remise en cause du concept de possession du véhicule
- Ouverture liée au véhicule autonome
- Uberisation de la mobilité



Uber commande des véhicules autonomes

Véhicules autonomes



CONCLUSIONS

- En tout état de cause, le passage au véhicule électrique demandera un changement d'habitude
 - De consommation
 - D'utilisation
- Préserver le bien précieux de la mobilité individuelle est à ce prix
- Le rôle des technologies des télécommunication pour augmenter l'efficacité des transports

