

# ***Quelle voiture pour demain?***

*Existence et évolution nécessaire des systèmes de transports collectifs et individuels*

Pierre DUYSINX  
Université de Liège  
Laboratoire d'Ingénierie des Véhicules Terrestres

# PLAN DE L'EXPOSE

- Etat de la situation et enjeux
  - Objectif 2030: 50% d'efficacité en plus!
  - Les voies d'améliorations
- Transport long courrier
  - Amélioration des moteurs à combustion interne
  - La diversification des carburants
  - L'éco conduite
- Transport urbain
  - Les véhicules électriques
  - Les véhicules hybrides
- Extension de l'autonomie: distance intermédiaire
  - La pile à combustible
- 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.

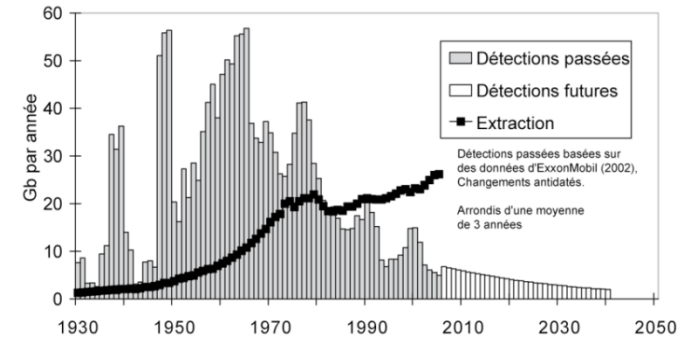


# État de la situation et enjeux

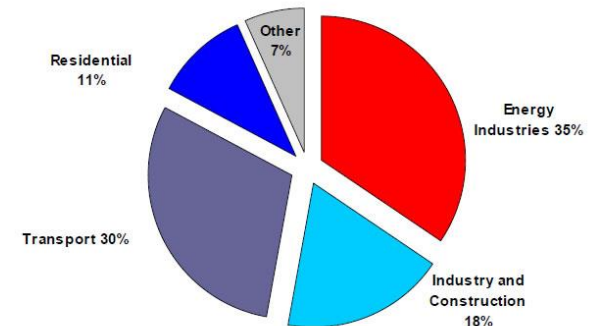


# ENJEU DU 21<sup>ème</sup> SIECLE POUR UNE AUTOMOBILE DURABLE

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

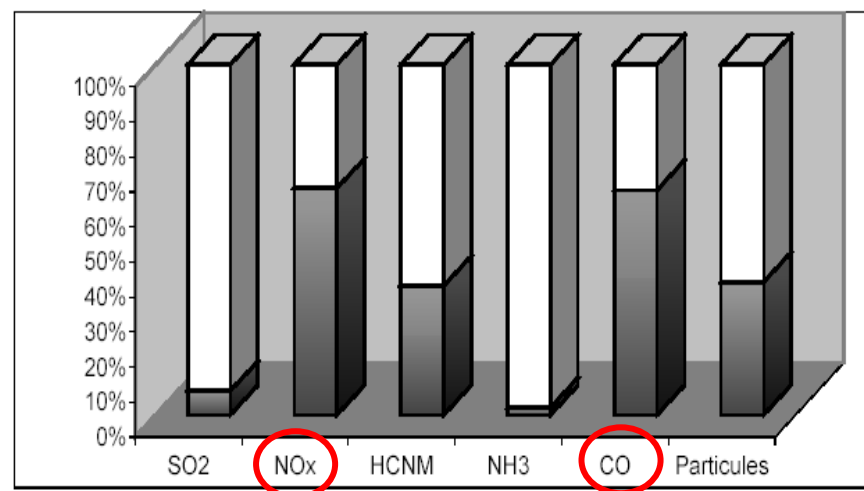
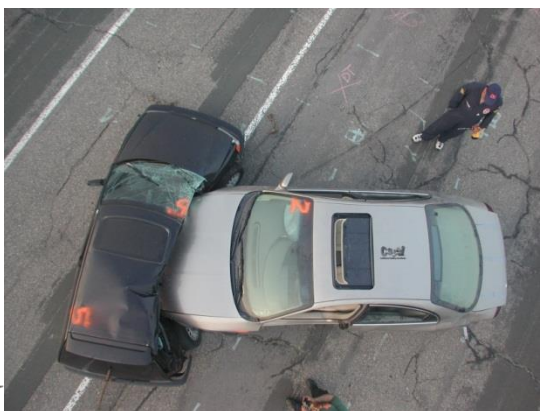


CO2 emissions by sector in 2009



# ENJEU DU 21<sup>ème</sup> 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)

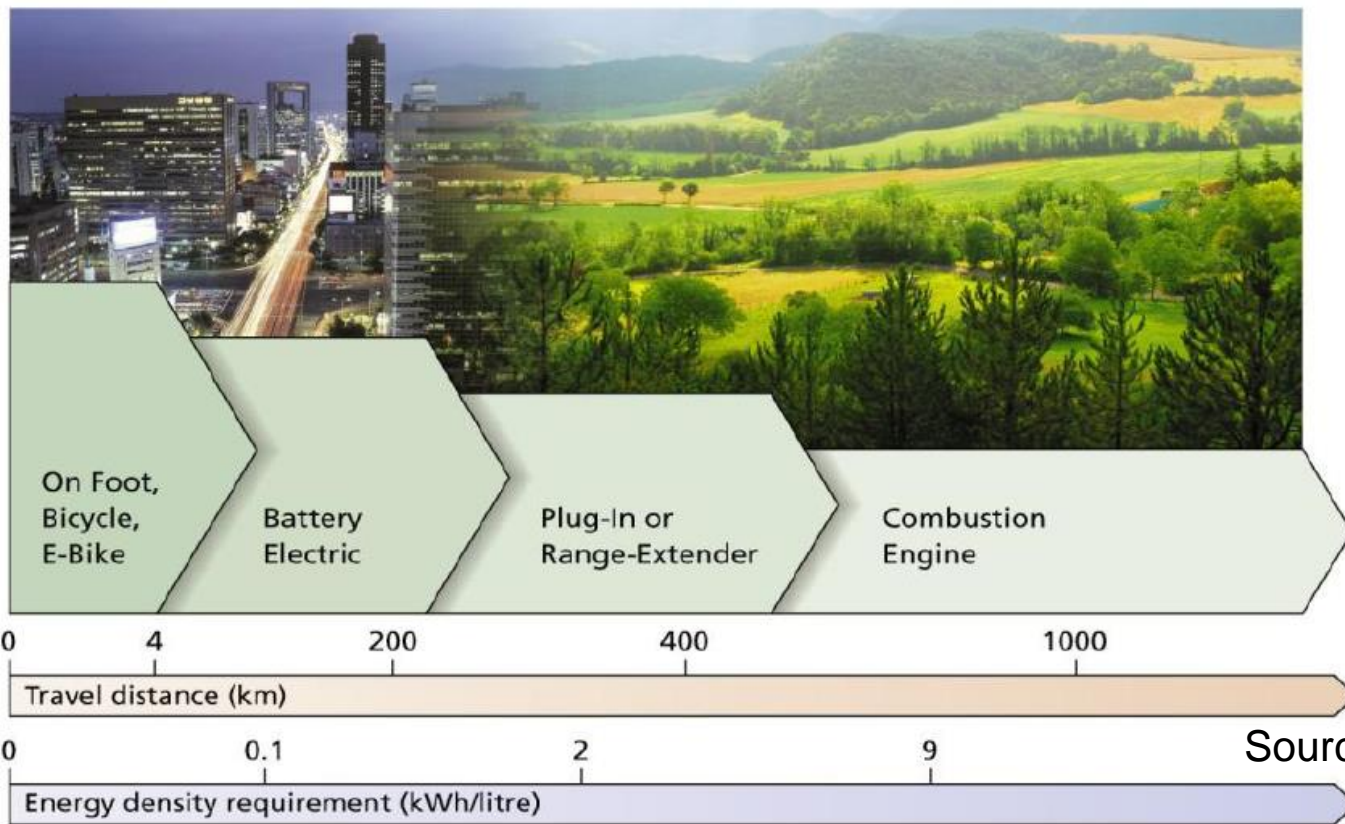
- La mobilité est un droit des citoyens
  - La mobilité individuelle est une grande avancée
- Des **systèmes de transport efficaces** sont un facteur important pour la prospérité de la société avec un impact sur:
  - La croissance économique
  - La société
  - L'environnement
- Le **but des transports durables** est de s'assurer que les systèmes de transport rencontrent **simultanément**
  - ET 1/ les besoins sociétaux,
  - ET 2/ les besoins économiques
  - ET 3/ les contraintes environnementales

Objectif pour 2030 :  
50% d'efficacité en plus





# OBJECTIF POUR 2030 – 50% D'EFFICACITÉ EN PLUS



Etat de la situation

Transport urbain

Distance intermédiaire

Long courrier

- 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

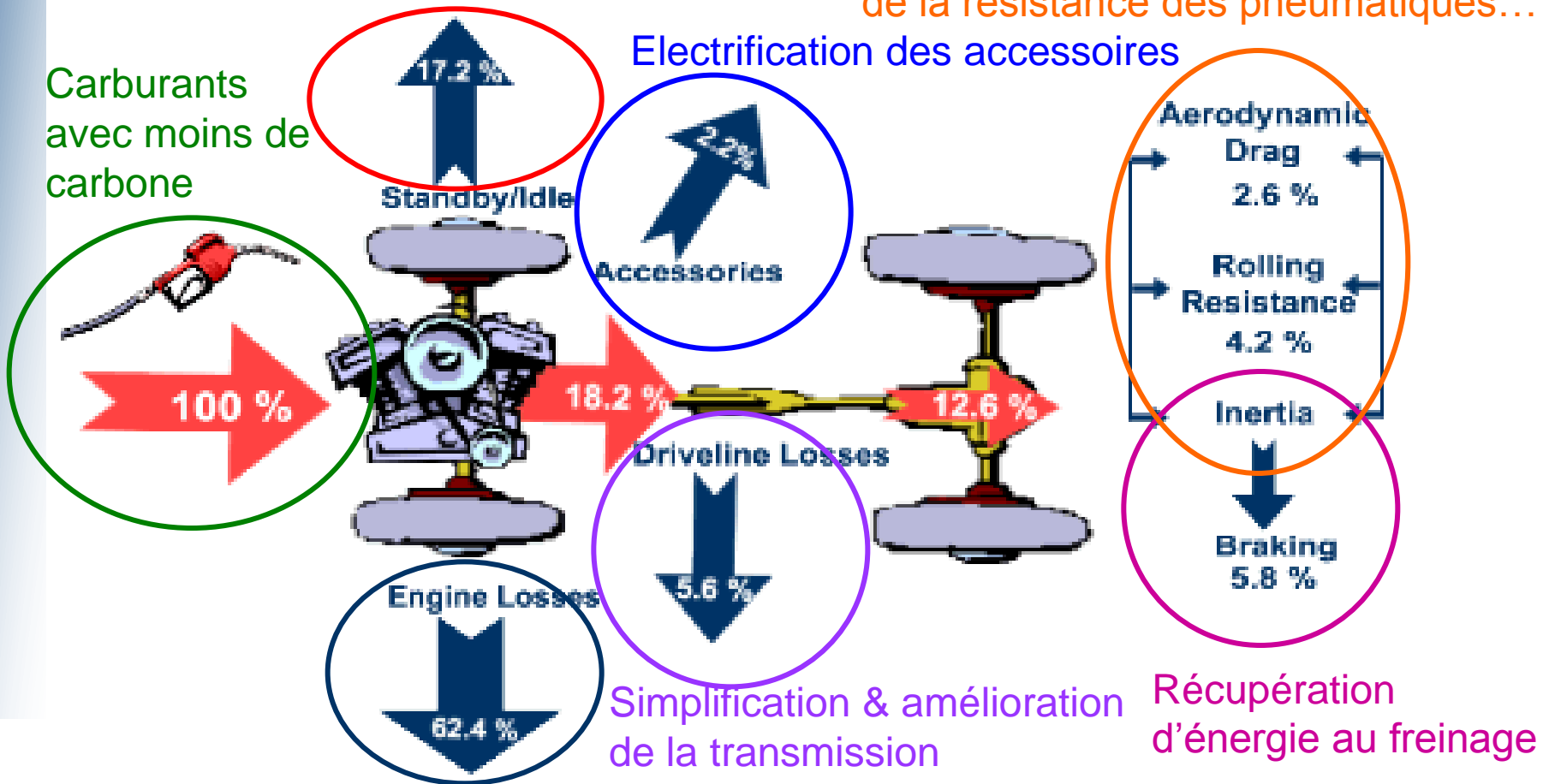
# Les stratégies d'amélioration de l'efficacité énergétique



# AMELIORER L'EFFICACITE ENERGTIQUE 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](http://www.nrel.org)



# AMELIORER L'EFFICACITE ENERGETIQUE DES VEHICULES

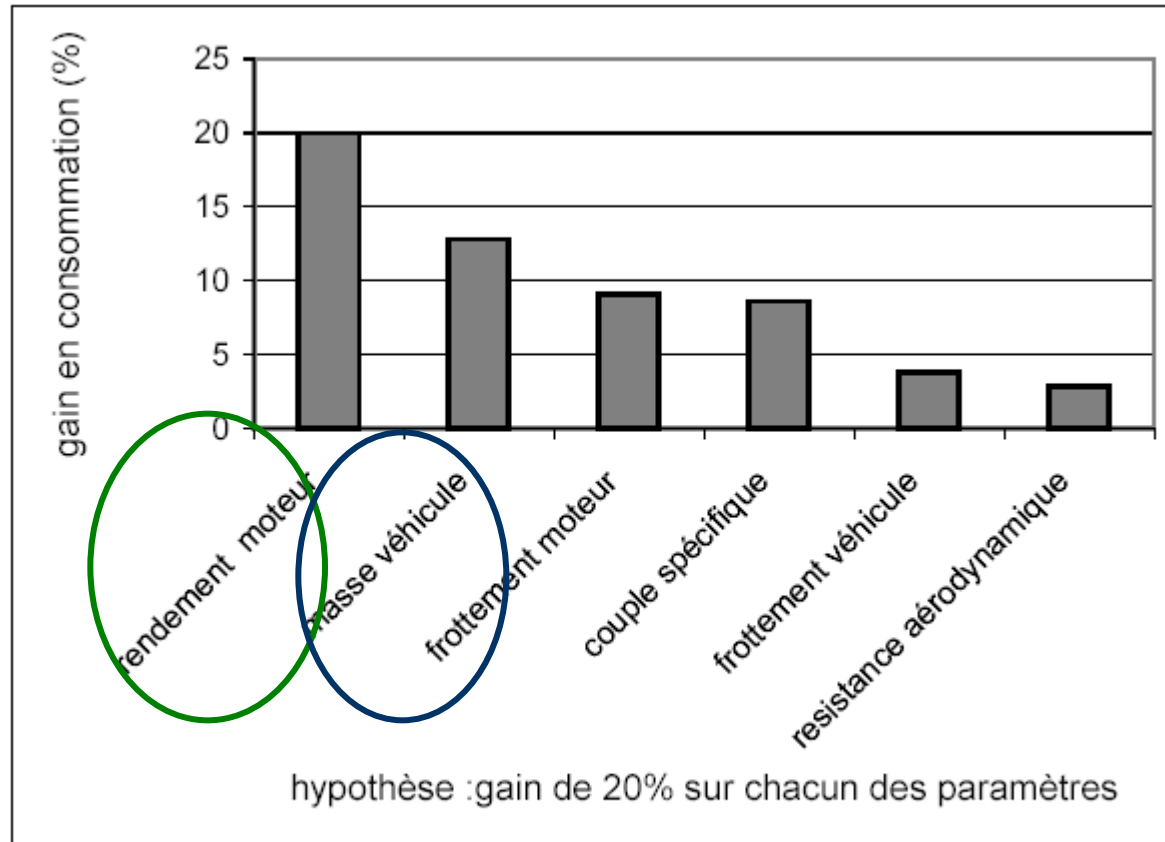


Figure 5 : Principales voies de réduction de la consommation des véhicules automobiles : impact d'une amélioration de 20% de chacun des principaux paramètres.

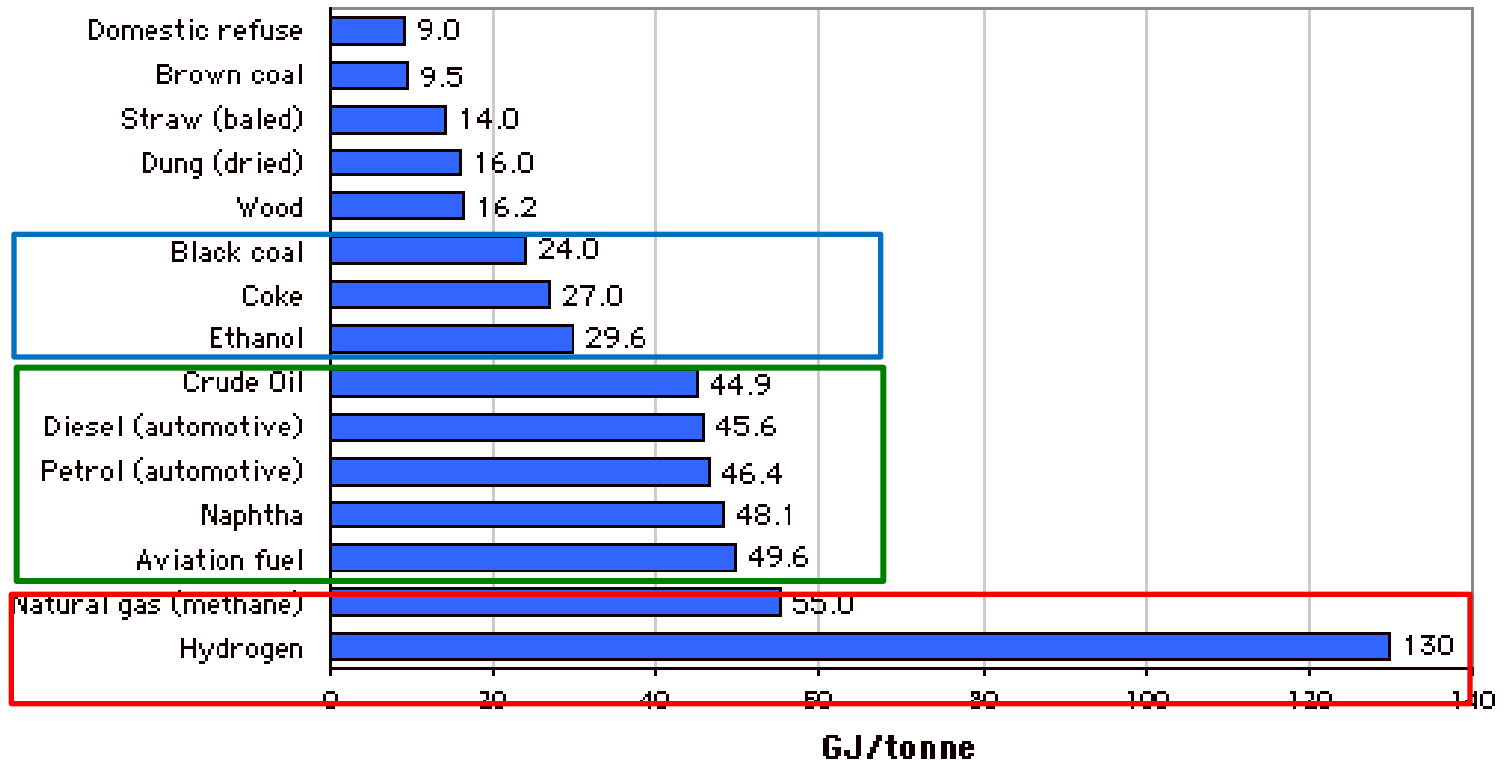


# AMELIORATION DES MOTEURS THERMIQUES

Un maillon qui reste essentiel



## ■ Valeur énergétique des carburants



## ■ Carburants alternatifs:

- Gaz Naturel comprimé (CNG)
- Liquefied Petroleum Gas (LPG)
- Alcools (éthanol, méthanol)
- Bio diesel (DME, etc.)
- Electricité
- 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 CO<sub>2</sub> et de polluants (e.g. PM)
- Objectif: **optimisation du rendement du moteur**: réduction de 5 à 10% des émissions de CO<sub>2</sub> 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 CH<sub>4</sub> 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

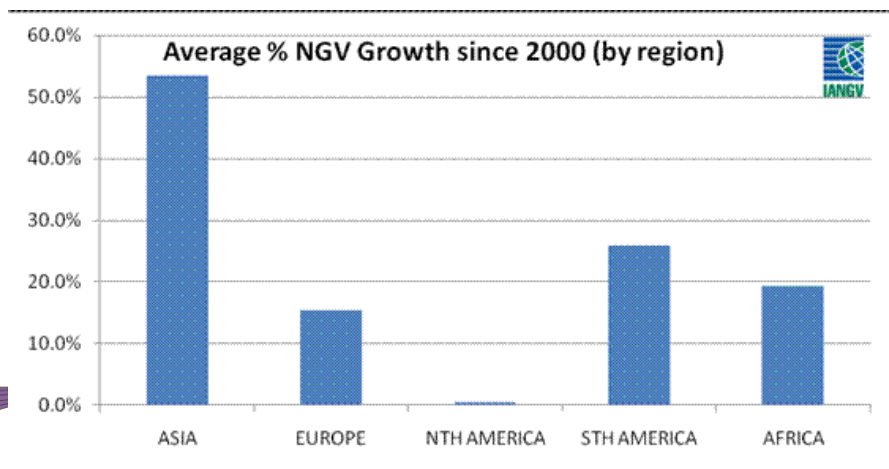
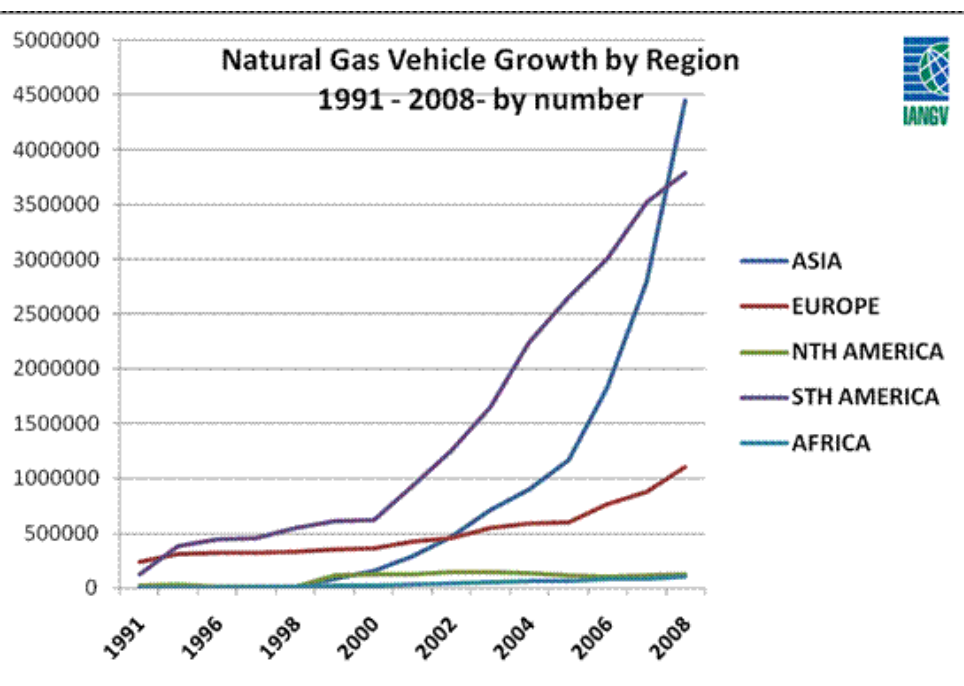
Energy per storage volume for common fuel

	Density kg/m <sup>3</sup>	LHV kJ/kg	Energy MJ/m <sup>3</sup>		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



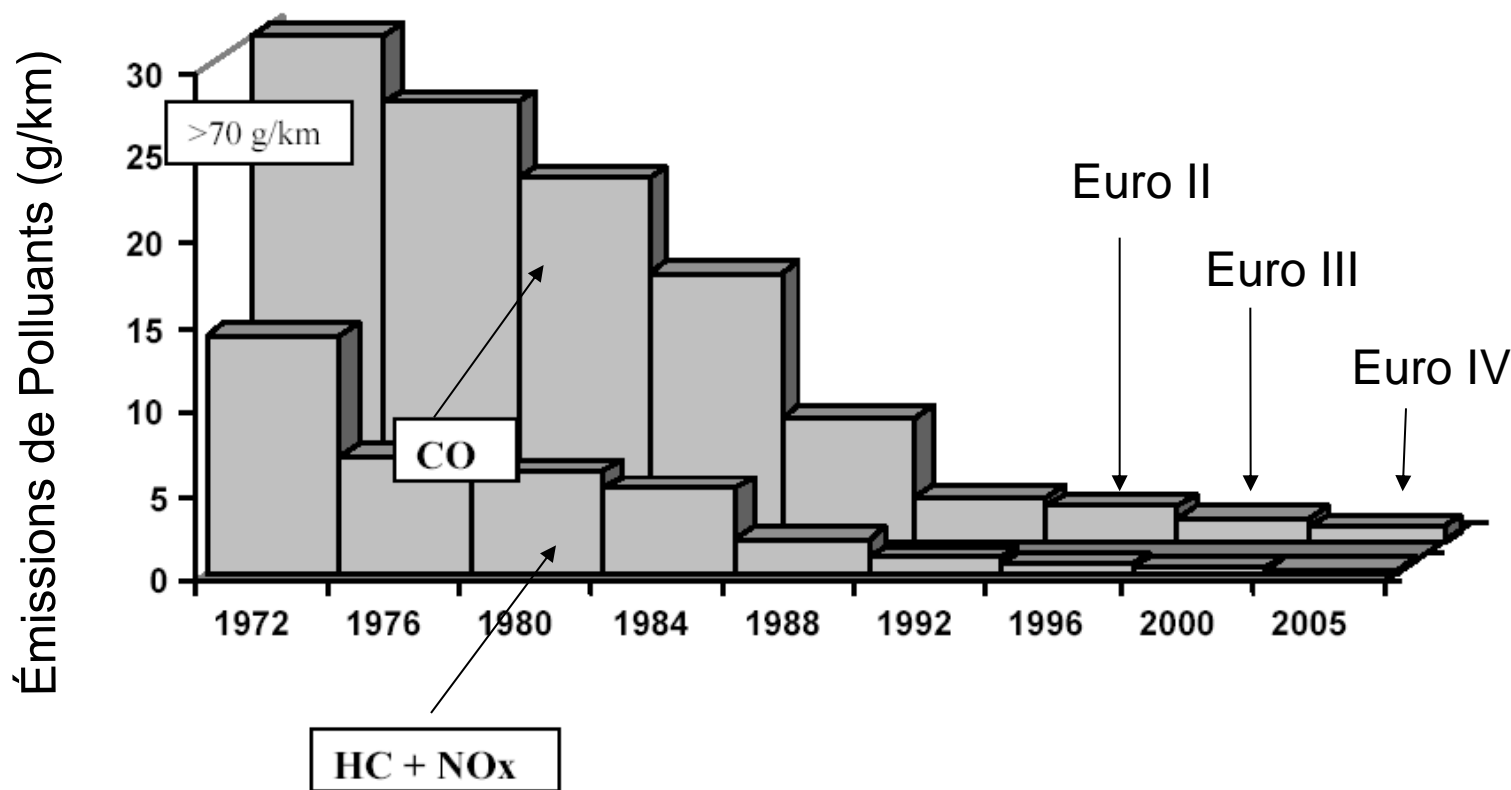
LNG fuel tank on an Iveco Stralis

# MOTEUR CI + GAZ NATUREL



- Croissance importante en Asie et Amérique du Sud. En Europe forte croissance en Italie, Allemagne, Suisse
- Forte croissance des stations services
- Croissance de l'ordre de 10%
- Source: International Association for Natural Gas Vehicles

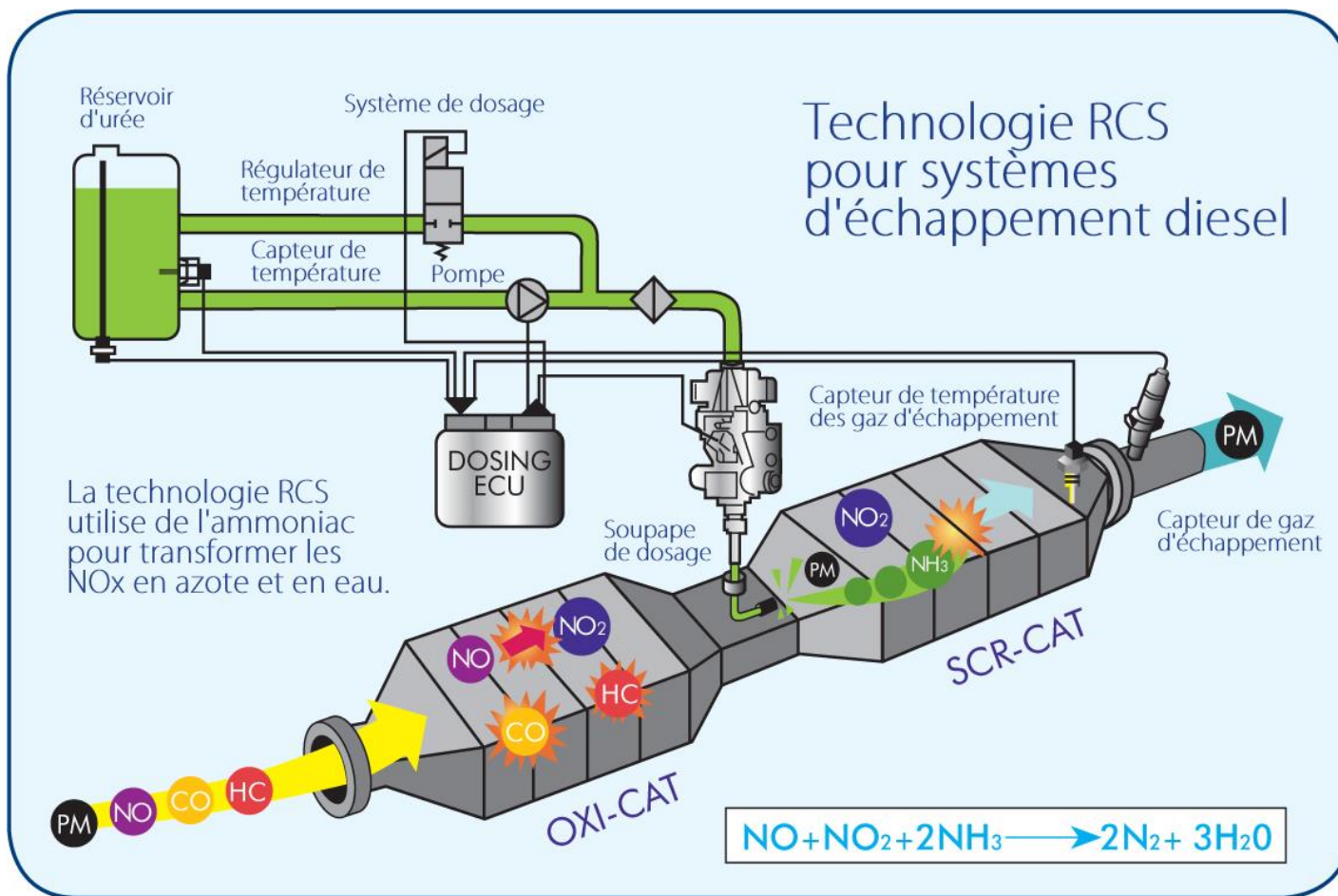
# REDUIRE LA POLLUTION LOCALE: LES NORMES



- 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 CO<sub>2</sub> continuent d'augmenter!**



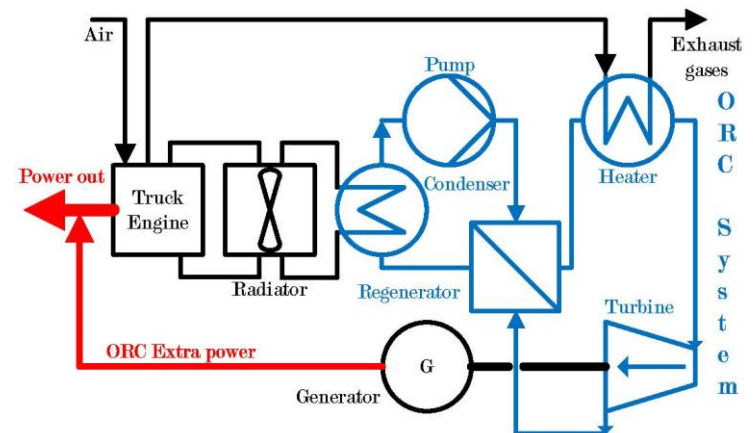
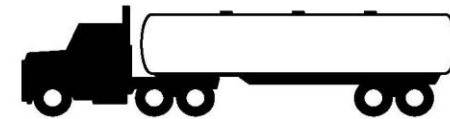
# POLLUTION LOCALE: SYSTÈMES DE POST TRAITEMENT PERFORMANTS



# AMELIORATION DU TRANSPORT LONG COURRIER

Objectif : réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de 10 à 15%

- Aérodynamique
- Moteur à haut rendement:
  - Moteur beltless
  - Gaz naturel
- Récupération de l'énergie des gaz d'échappement
- Systèmes de dépollution
- Aide à la conduite: e-Horizon



# LE VEHICULE ELECTRIQUE

## Né pour la ville



## ■ Avantages

- Bien adapté 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

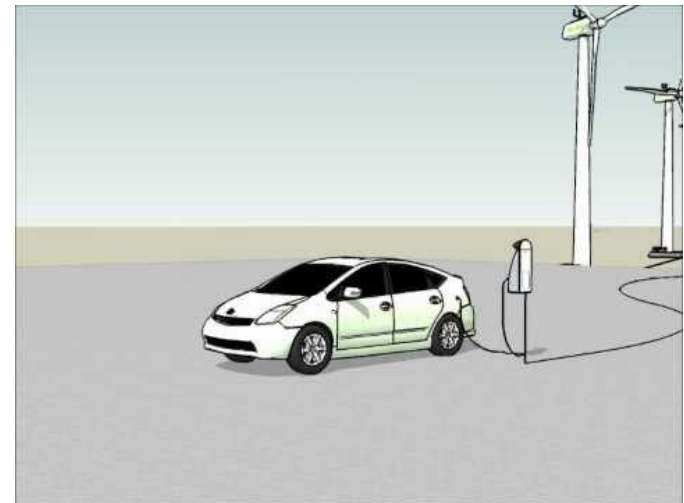
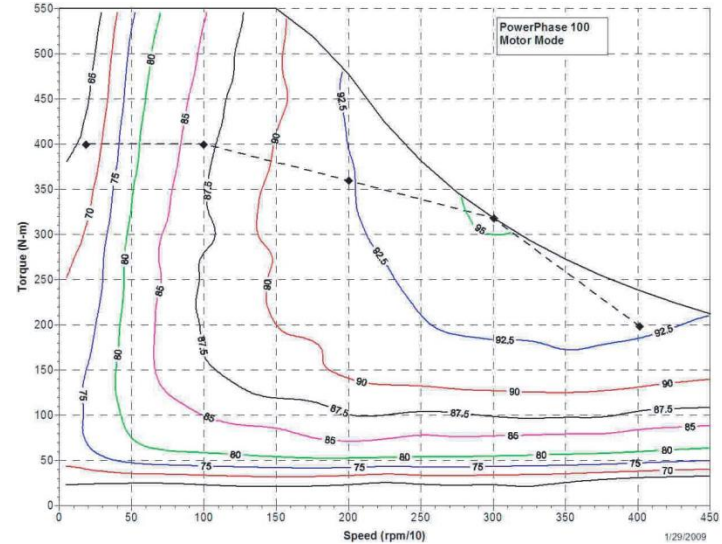
Etat de la situation

Transport urbain

Distance intermédiaire

Long courrier

- 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!

- Evolution vers des plus petits véhicules à vocation urbaine



# LE PROBLÈME DES BATTERIES

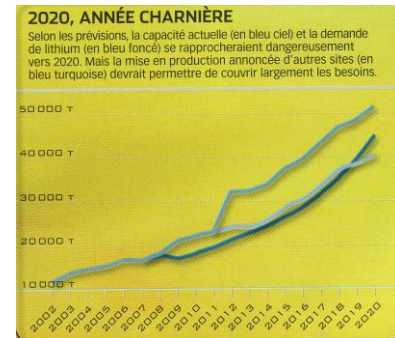
Carburant	Acide Pb	Li-Ions	Essence	Diesel
Energie spécifique du carburant [W.h/kg]	35	120	11.833	11.667
Rendement [%]	80%	80%	12% - 20%	18% - 24%
Energie spécifique à la roue [W.h/kg]	28	96	1420 - 2366	2100 - 2800
Consommation [L/100 km] ou [kWh/100 km]	25kWh/100km	25kWh/100km	8l/100km	6l/100km
Autonomie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

Augmenter l'autonomie &  
l'efficacité énergétique



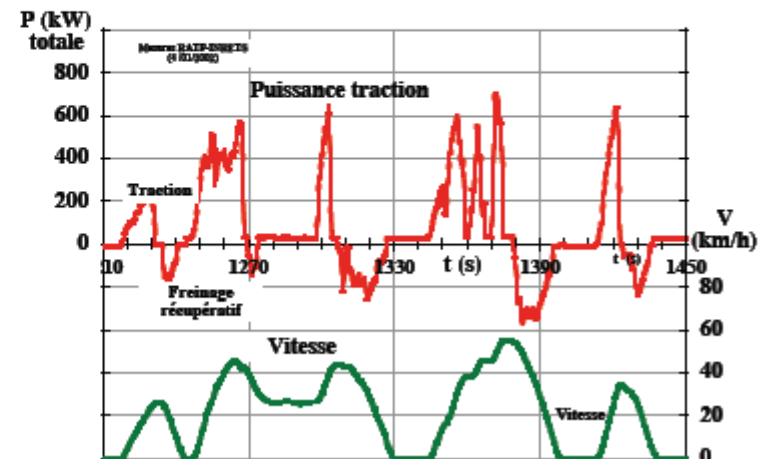
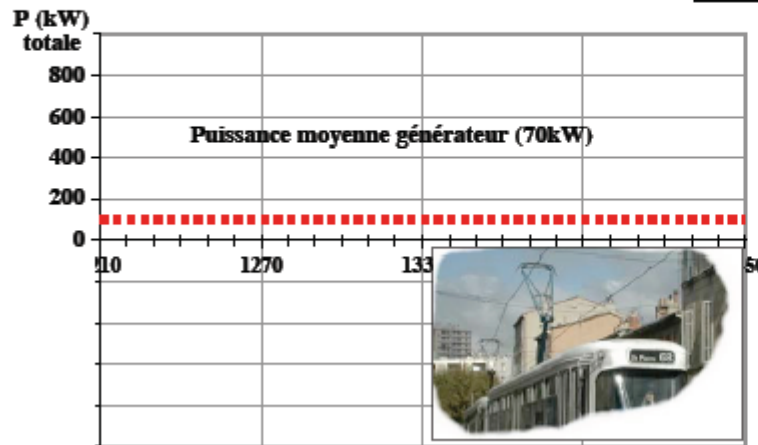
# AMELIORER L'EFFICACITE ENERGETIQUE DES VEHICULES

- 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

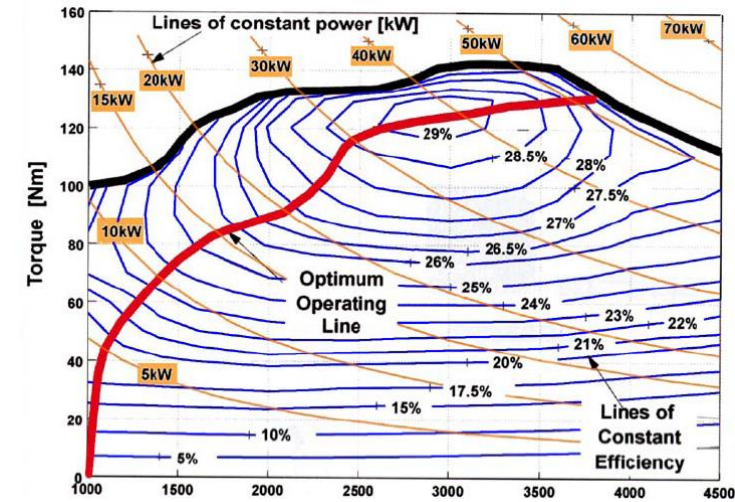
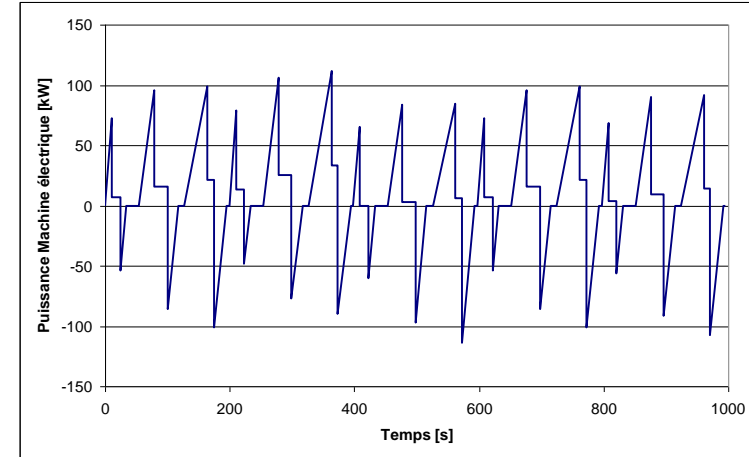
Puissance instantanée Absorbée pour la traction (ex. tramway: 800kW à 1MW)



Source G. Coquery, INRETS

# AMELIORER L'EFFICACITE DE FONCTIONNEMENT DU CONVERTISSEUR

- Utiliser le convertisseur d'énergie principal dans ses plages de rendement max
- → Batterie: Elimine les pics
- → Moteur électrique absorbe la puissance fluctuante
- → Moteur à piston: dimensionné sur la puissance moyenne et pas la puissance maximale
  - Réduction de la taille du moteur
  - Réduction des frottements internes

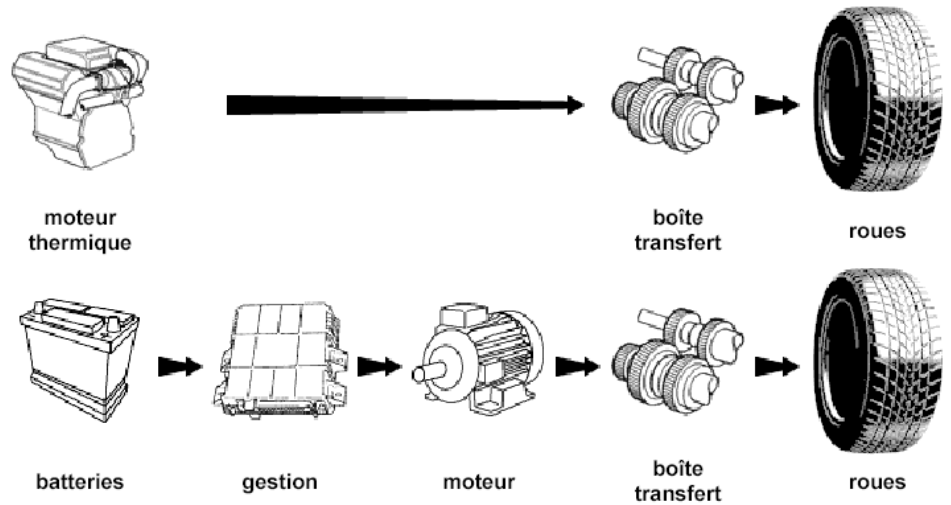




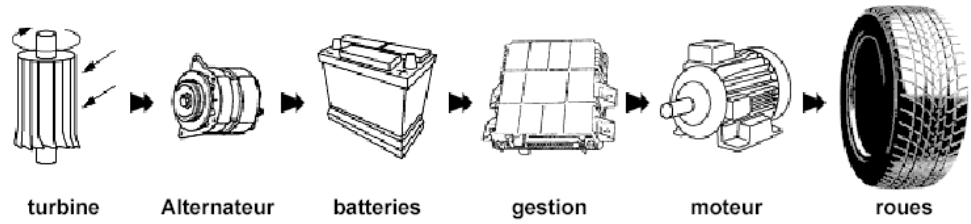
- Les véhicules hybrides combinent **deux sources d'énergie et de stockage d'énergie**.
  - Par exemple, les véhicules hybrides électriques associent de l'énergie chimique et électrique
- Les **Véhicules Hybrides Électriques** combinent les avantages:
  - des voitures électriques (mode zéro émission,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



# ARCHITECTURES SERIE ET PARALLELE



Architecture parallèle



Architecture série



# VEHICULES HYBRIDES ELECTRIQUES



Toyota Prius II



Ford Escape



Honda Insight



Lexus RX400h

■ Le succès commercial est en train de venir (e.g. Toyota Prius II, Honda Insight, Lexus RX400h, Ford Escape...)



## ■ Taux d'hybridation (%) :

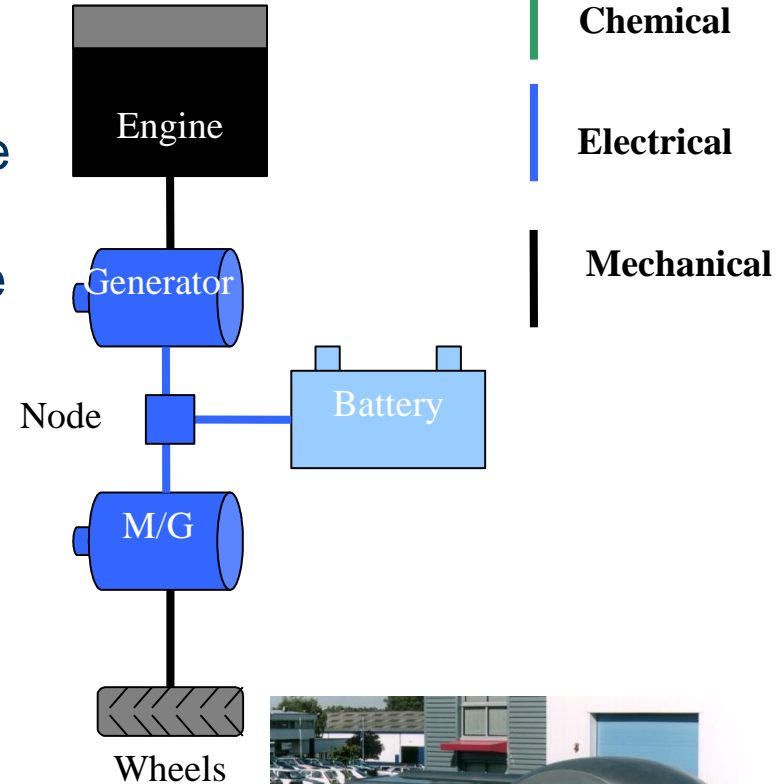
$$T_s = P_{APU} / P_e,$$

- $P_{APU}$  : puis. max source primaire (moteur à piston)
  - $P_e$  : puis. max moteur électrique
- ## ■ ZEV (km) possible sur de courte distance

## ■ Charge des batteries

- Freinage régénératif (machine électrique  $\Rightarrow$  génératrice)
- Si utilisation de la génératrice seulement : **charge sustaining**
- Si recharge possible avec le réseau électrique aussi : **charge depleting / plug in hybrids**

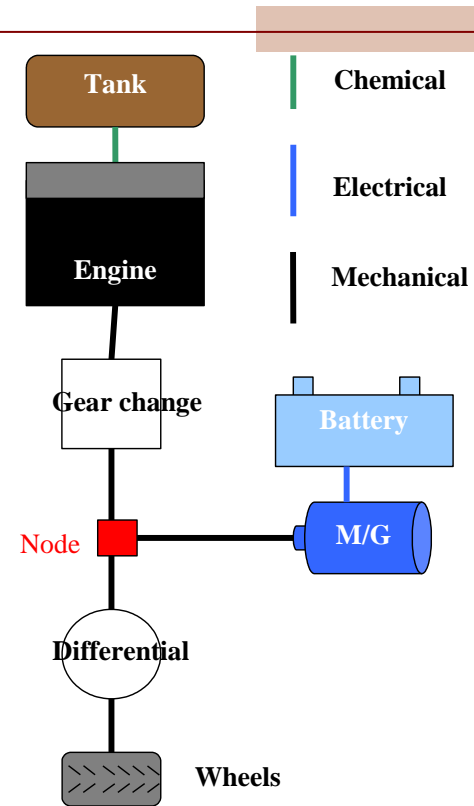
- Extension possible aux **piles à combustible**



Gruau MicroBus

# VEHICULES HYBRIDES ELECTRIQUES PARALLELE

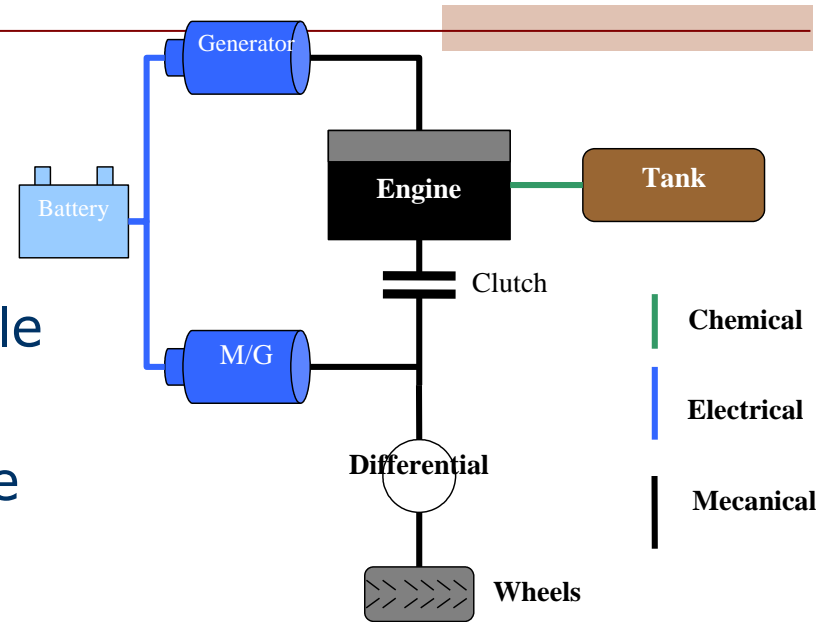
- Taux d'hybridation (%) :
  - $T_p = P_e / (P_e + P_t)$ ,
  - $P_t$  : puis. max moteur
  - $P_e$  : puis. max mot. électrique
  - Micro < mild < full
- Mode ZEV (km) est possible en zone urbaine
- Pour rencontrer les pics de puissance, l'opération simultanée des 2 moteurs est possible (mode parallèle)
- Transition entre modes et gestion de l'énergie complexes
- Charge sustaining / depleting



VW Lupo hybride  
Green Propulsion  
60 g CO<sub>2</sub>/km

# VEHICULE HYBRIDES COMPLEXES

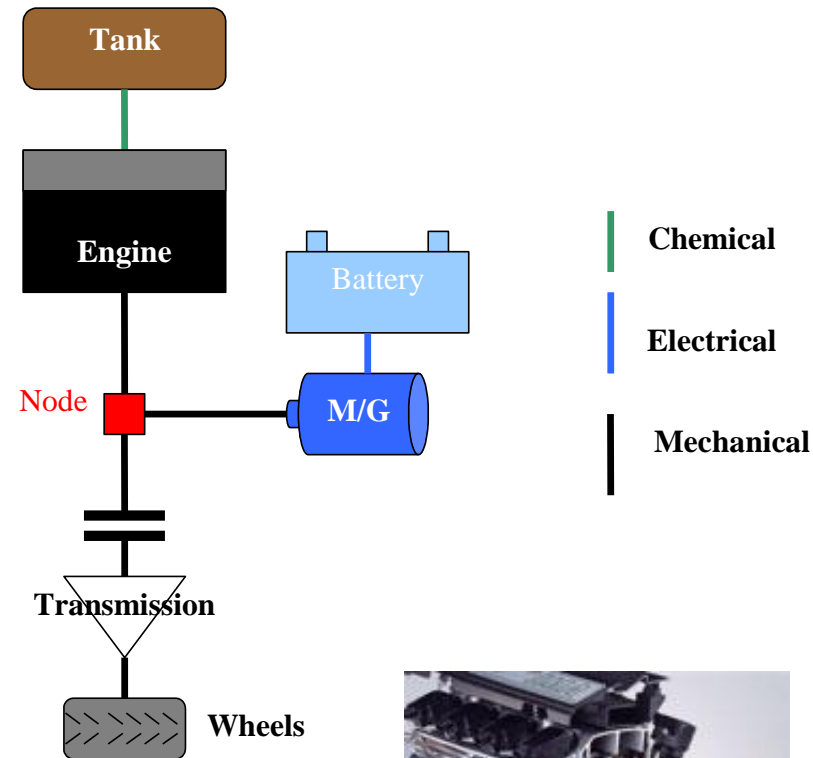
- V.S. aux hybrides séries
  - Plus petites machines électriques
  - Meilleure efficacité globale
- V.S. aux hybrides parallèles
  - Pas besoin d'une boîte de vitesse
  - Transitions plus douces
- V.S. aux hybrides complexes
  - Contrôle du moteur retrouvé
  - Accouplement bloqué à forte puissance



Renault Kangoo Hybrid  
Green Propulsion Long courrier

# VEHICULES HYBRIDES ELECTRIQUES « DOUX »

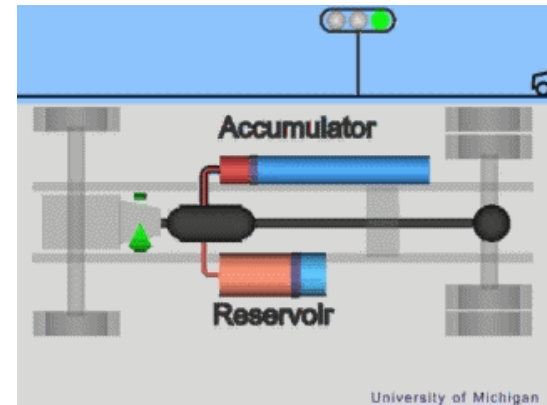
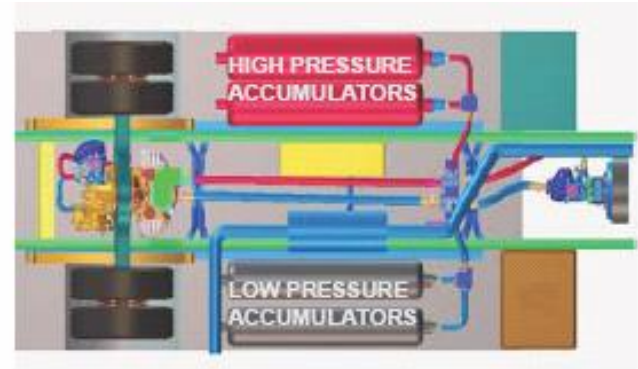
- Architecture « douce »
  - Petites machines électriques (~10 kW)
  - Fonction Stop & start
  - Faible capacité de freinage régénératif
  - Assistance pour la source principale
- Remplace le volant d'inertie moteur, le démarreur et l'alternateur
- PAS de mode électrique pur significatif



Honda Insight

# VEHICULES HYBRIDES HYDRAULIQUES

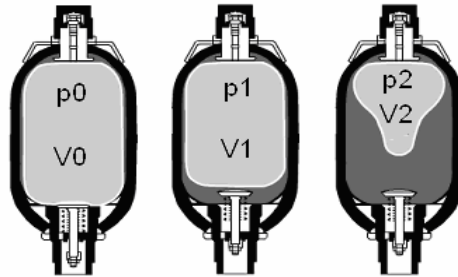
- Autre stockage énergie: hydraulique
- Faible énergie spécifique:
  - hybride doux
  - assistance
- Forte densité de puissance
  - Adapté aux véhicules lourds
  - Aux véhicules urbains avec arrêts fréquents et accélérations intensives
- Nouveaux développements de moteurs pompes, d'accumulateurs hydrauliques peu coûteux



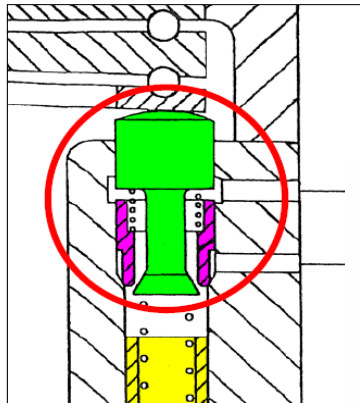
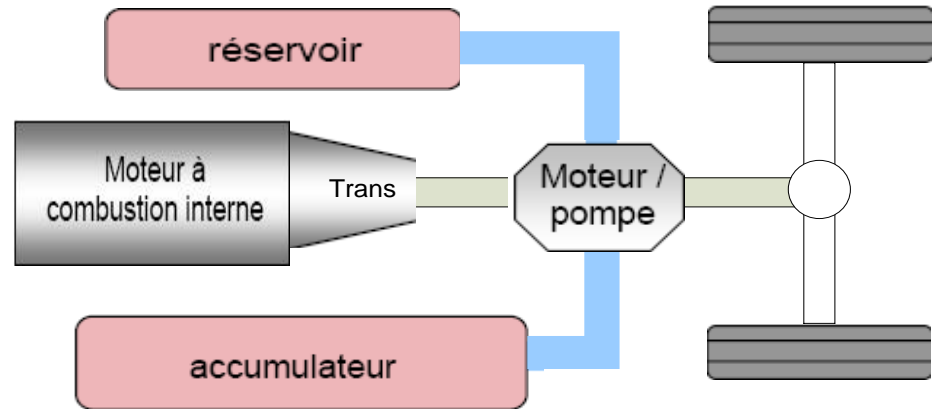
Smart Truck



# VEHICULES HYBRIDES HYDRAULIQUES



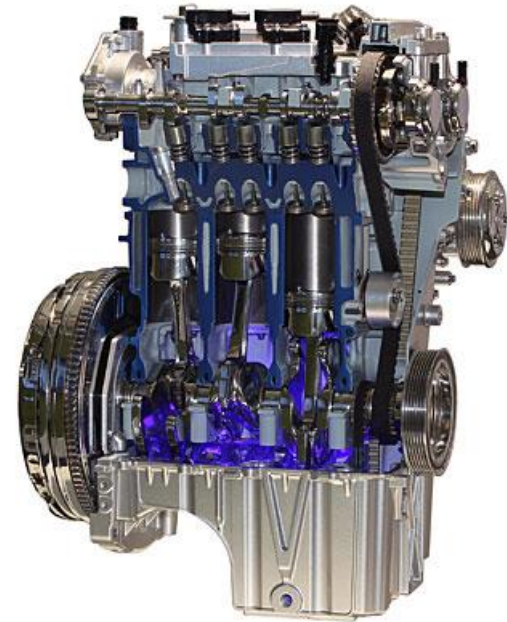
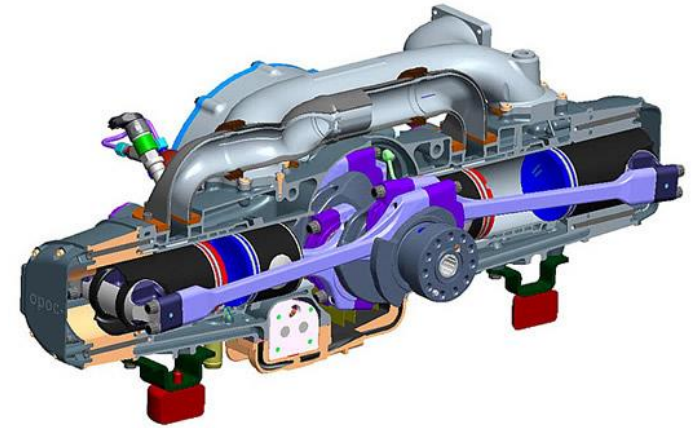
Accumulateur à vessies



Moteur pompe réversible à haut rendement

# AMELIORATION DES MOTEURS A COMBUSTION INTERNE

- La recherche actuelle porte sur des **moteurs de cylindrée plus petite** ( $< 1000 \text{ cm}^3$ )
- Exploration de nouvelles configurations
  - Configuration de moteurs bicylindres ou mono cylindres
  - Renaissance du moteur deux temps?
    - ex. moteur 2T diesel à pistons opposés



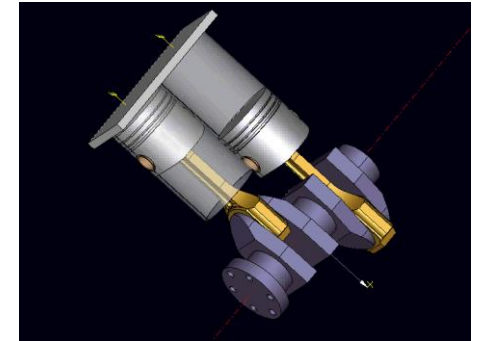
International Engine of the Year  
Ford 999cc three-cylinder turbo

# AMELIORATION DES MOTEURS A COMBUSTION INTERNE

## ■ Moteurs bicylindres ou monocylindres

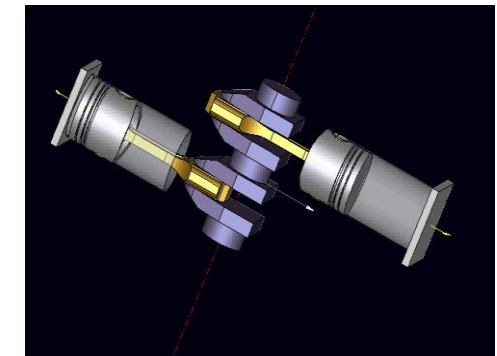
### AVANTAGES

- Petite cylindrée (downsizing)
- Plus compact (packaging)
- Utiliser des composants éprouvés des moteurs de plus grosses cylindrées
  - Exemple Turbo Diesel 2.0 l (4 cyl.) → 1.0 l (2 cyl.)

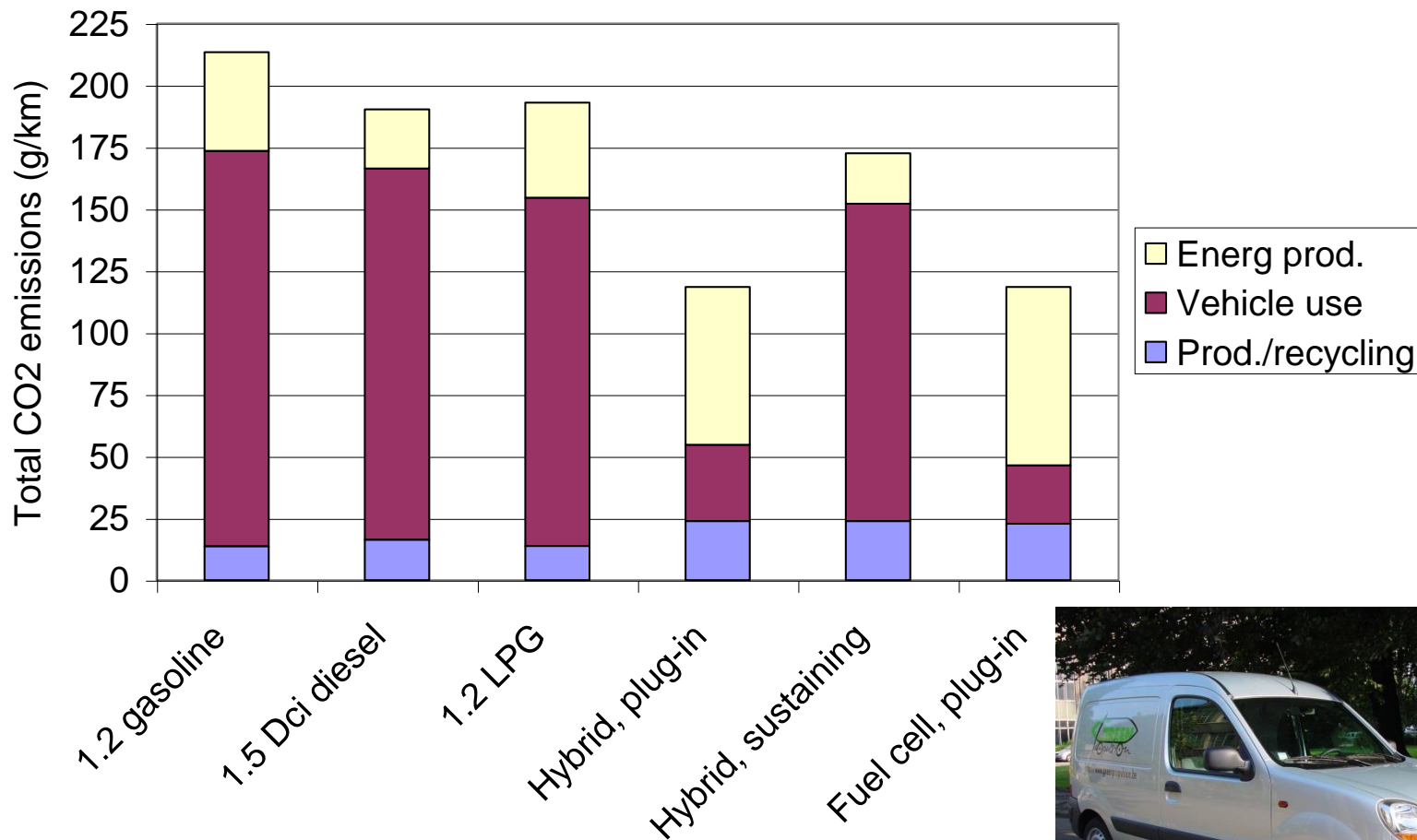


### DESAVANTAGES & PROBLEMES A RESOUDRE

- Équilibrage et bruit
- Sollicitations "anormales"
- Configurations inhabituelles (e.g. boxer)



# DE L'UTILITE DE RECHARGER A LA PRISE

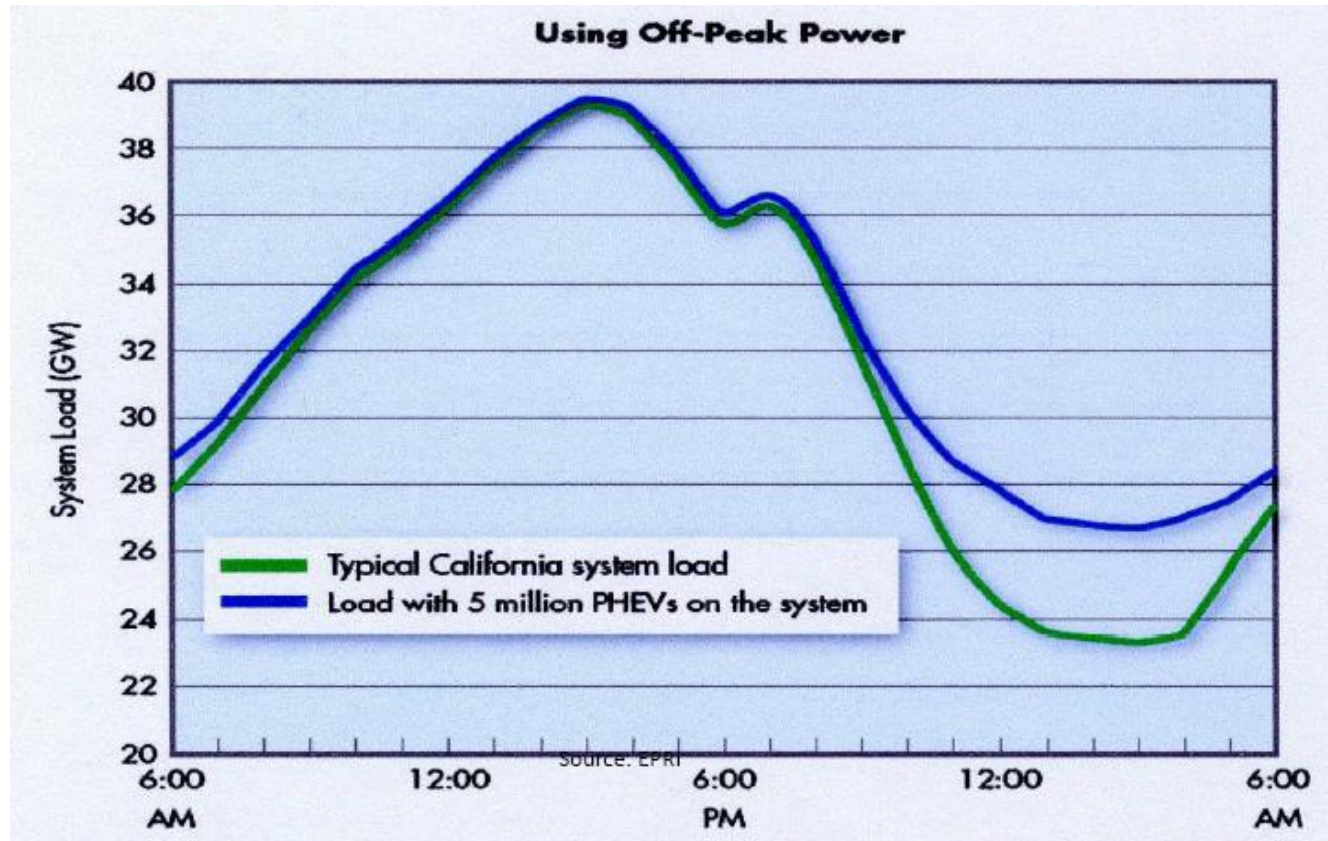


Renault Kangoo Hybrid  
Green Propulsion



Source: [www.greenpropulsion.be](http://www.greenpropulsion.be)

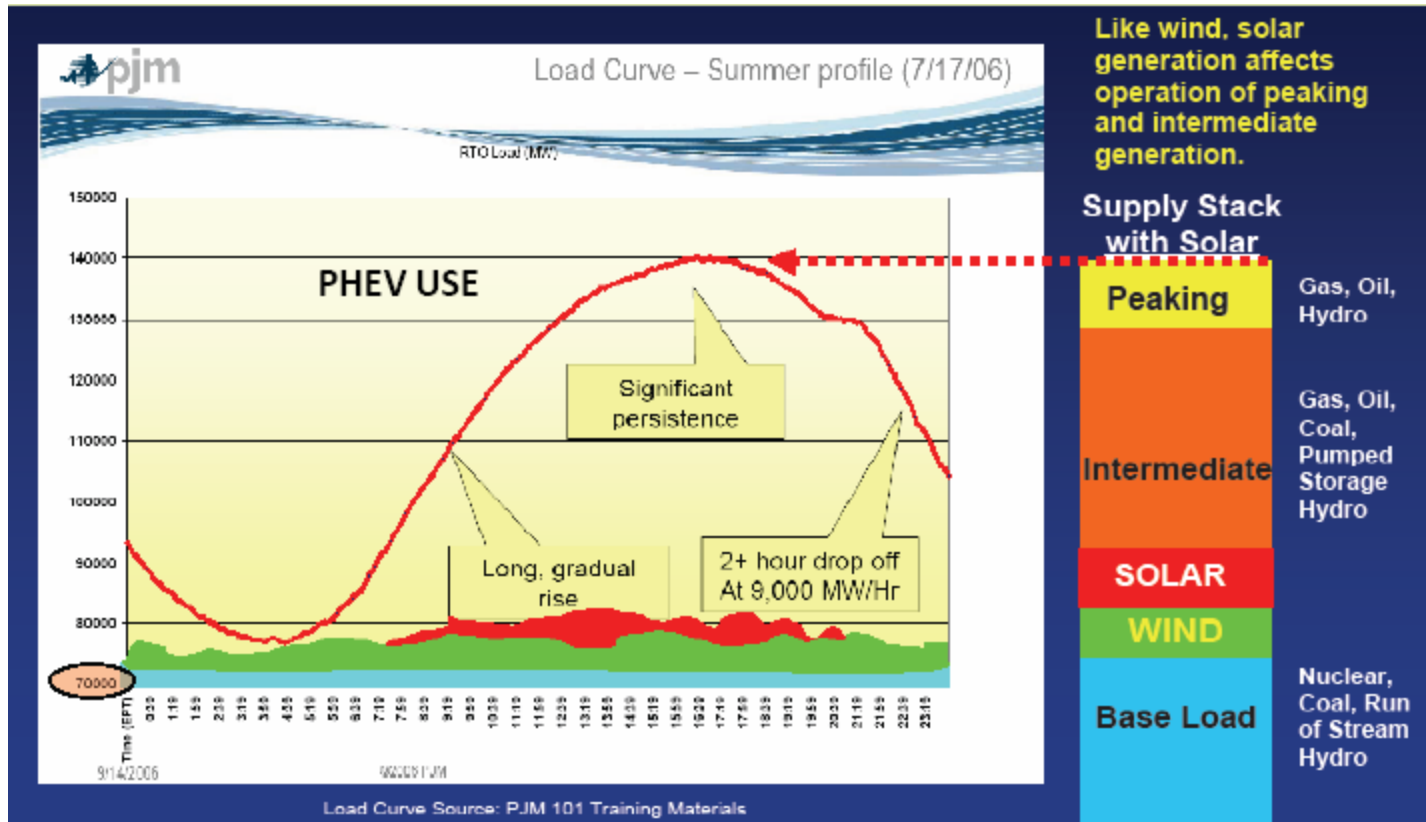
- Le courant de nuit est le carburant des véhicules électriques



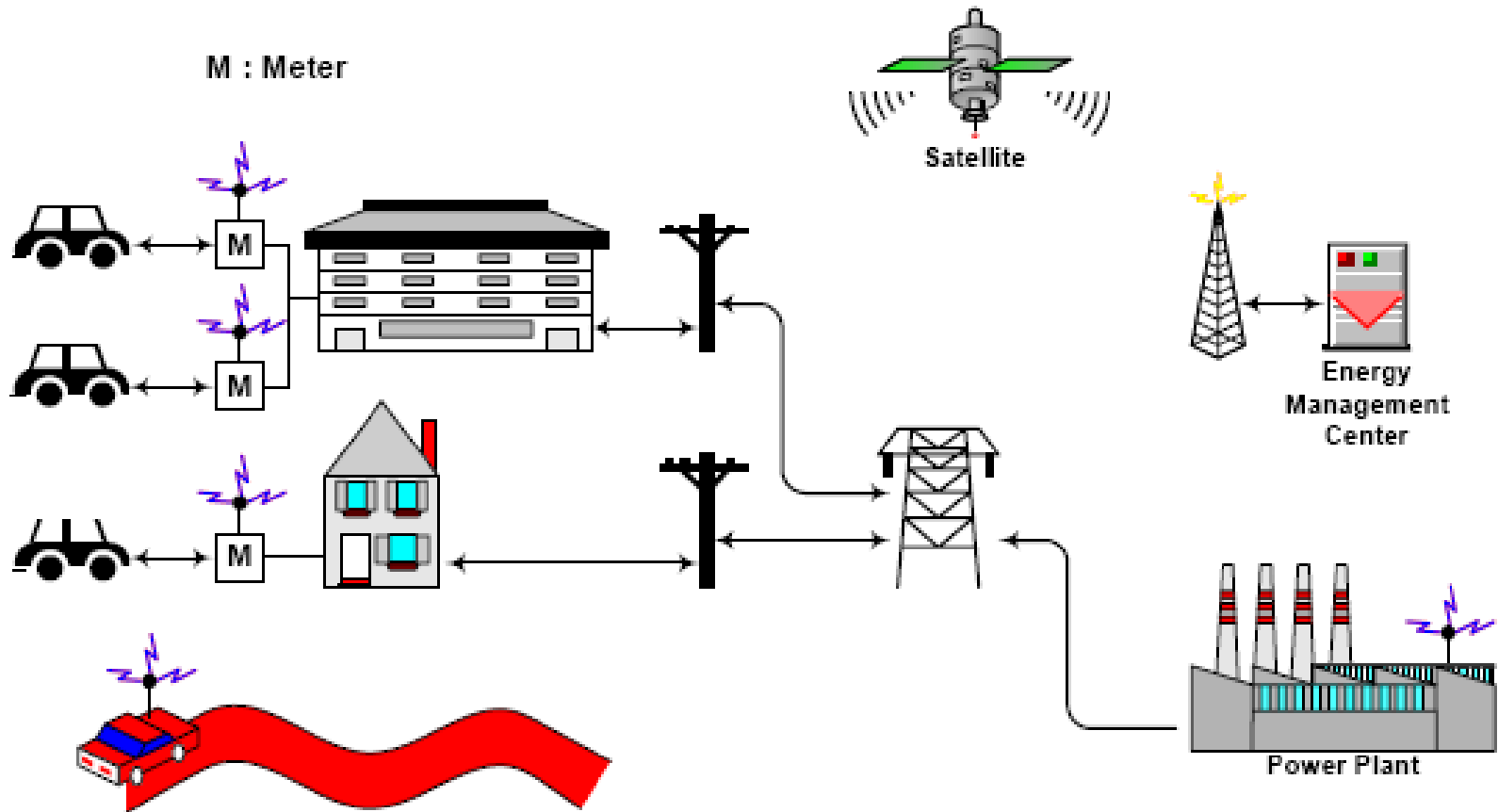
Thomas Schneider, Transportation Efficiency Through Electric Drives and the Power Grid, Capitol Hill Forum, Plug-in Hybrid Electric Vehicles: Towards Energy Independence, July 10, 2007.



- 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

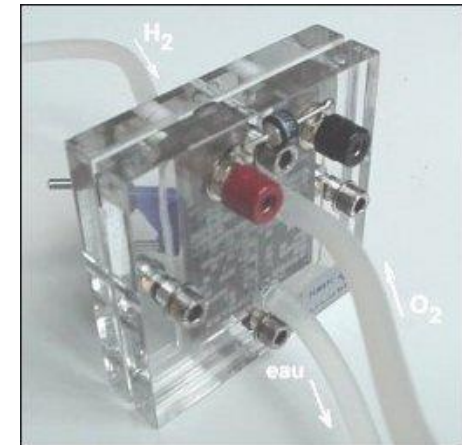
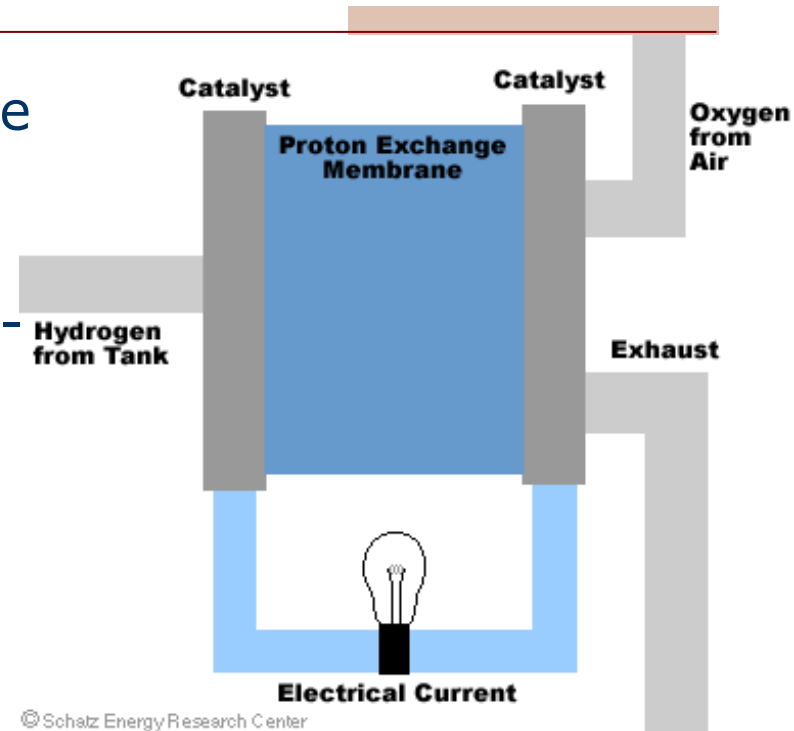
# LE VÉHICULE À PILE À COMBUSTIBLE

## Le futur



# PILES A COMBUSTIBLE: C'EST QUOI?

- 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 ( $\sim 50\%$ )
- Coût des électrodes: métaux précieux



# PILES A COMBUSTIBLE



**Saut technologique:**  
Les piles à combustibles  
ont gagné le Shell Eco  
Marathon 2005 (Nogaro,  
France)

- Première victoire d'un véhicule à pile à combustible (PAC-Car2) avec 3836 km/ litre d'essence (equiv)



**GTAS**

- 3 PAC dans le top 10

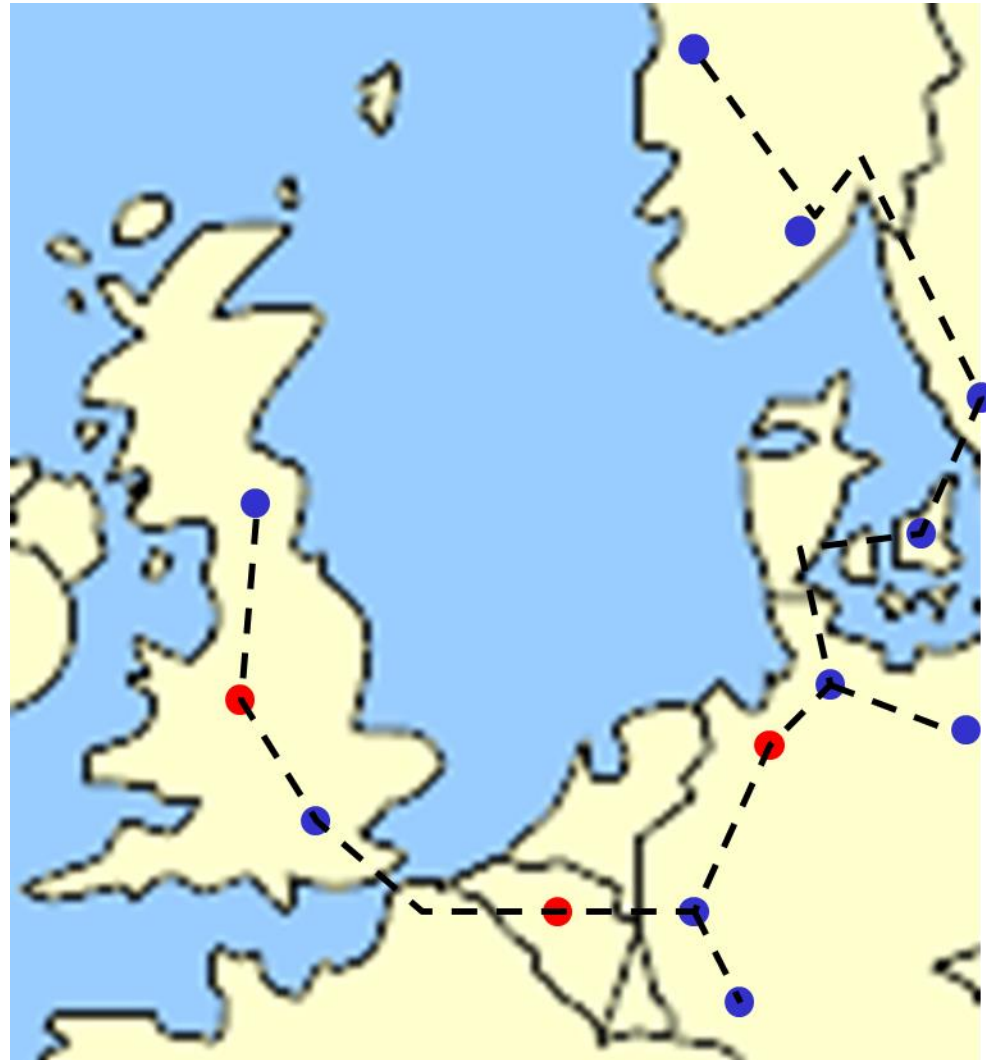
## PROJET SWARM

- Déploiement de 100 voitures dans trois régions
- Utilisation de véhicules pré-commerciaux, peu chers (pas les Daimler à 1 M€)
- Régions sélectionnées :
  - West Midlands: Birmingham, Nottingham, Coventry
  - Fédération Wallonie (Liège) Bruxelles
  - Weser-Ems: Wilhelmshaven, Oldenburg, Bremen
- Trois stations de recharge par région
- Véhicules à disposition de particuliers, de collectivités, en location ou usage partagé



# PROJET SWARM

- « Closing the Gaps »
- Sites et projets existants:
  - Scottish network
  - London
  - Cologne
  - (Frankfurt)
  - Hamburg
  - Berlin
  - Copenhagen / Scandinavia



# PROJET SWARM: LES VEHICULES

- Véhicules passagers
- Légers et efficaces
- Peu coûteux

## RiverSimple



H<sub>2</sub>O e-mobile  
*elano*  
(based on MicroCar)



## MicroCab

## ■ Véhicules

- 30 par « site »
- Wallonie-Bruxelles : elano
- Micro car urbain (similaire au concept zen car )



## ■ H<sub>2</sub>O e-mobile « elano »

- Hybrides pile à combustible / batterie
- Autonomie : 250–350 km
- $V_{max}$  : 120 km/h

## ■ Stations de remplissage

- Partenaire: Air Liquide
- Réservoirs
- A terme: couplé au solaire ou à l'éolien



- Stations incluses dans des containers
- Transportables/ relocalisables
  - Type A: 700 bar, remplissage rapide
  - Type B: 350 bar, remplissage lent ou rapide
- Coût de l'hydrogène <10 €/kg

# Eco driving



- L'éco conduite est un style de conduite qui permet de réduire à la fois:
  - La consommation de carburant
  - Les émissions de CO2 et de polluants
  - Le risque d'accident
- L'éco conduite est un style de conduite qui exploite pleinement le potentiel des nouvelles technologies de motorisation
- L'éco conduite amène à des gains de consommation de l'ordre de 5 à 10%
- L'éco conduite s'applique à tous les véhicules: voitures, motos, véhicules utilitaires légers ou lourds (bus, camions)

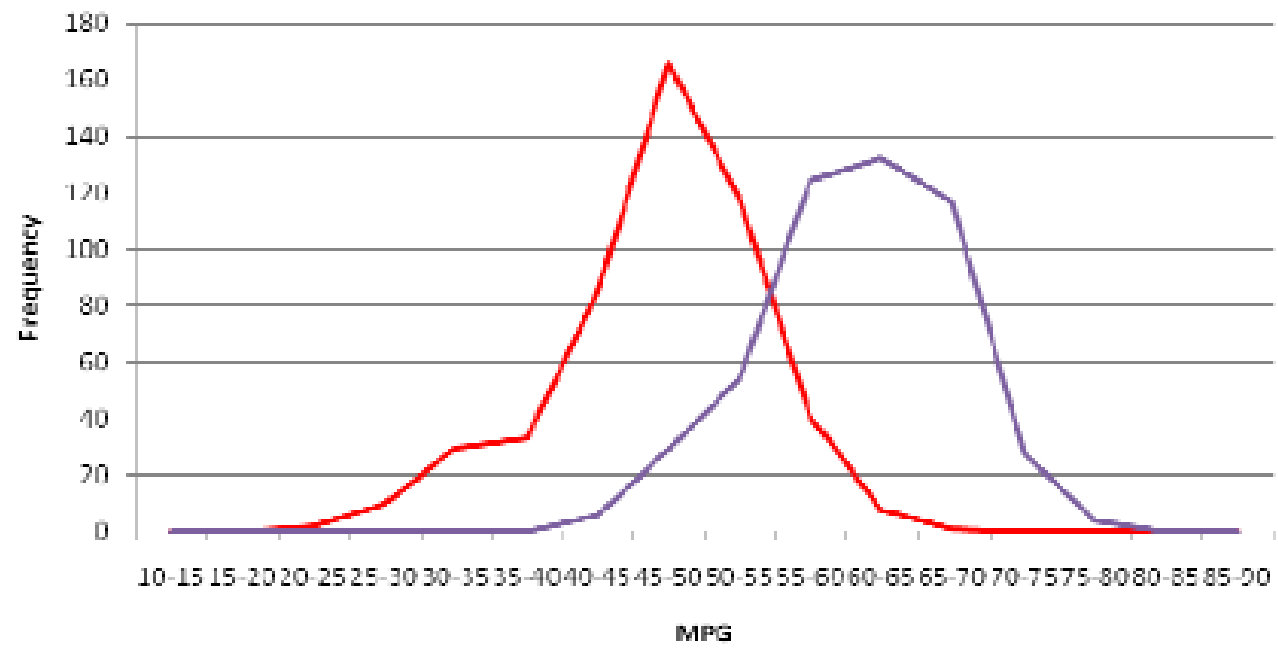


- Les dix règles de base de l'éco conduite:
  1. Ralentir, contrôler sa vitesse et utiliser les rapports de boîte supérieur
  2. Accélérer et freiner progressivement
  3. Eviter de faire tourner le moteur au ralenti
  4. Vérifier la pression des pneumatiques
  5. Faire l'entretien périodique du véhicule
  6. Réduire la masse du véhicule dès que possible
  7. Utiliser parcimonieusement le chauffage et l'air conditionné
  8. Fermer les fenêtres à haute vitesse
  9. Utiliser les qualités d'huile adéquates
  10. Combiner ses voyages. Eviter les petits trajets

- Eco conduite = win-win pour la société, l'environnement et les économies: **une nouvelle culture de conduite**



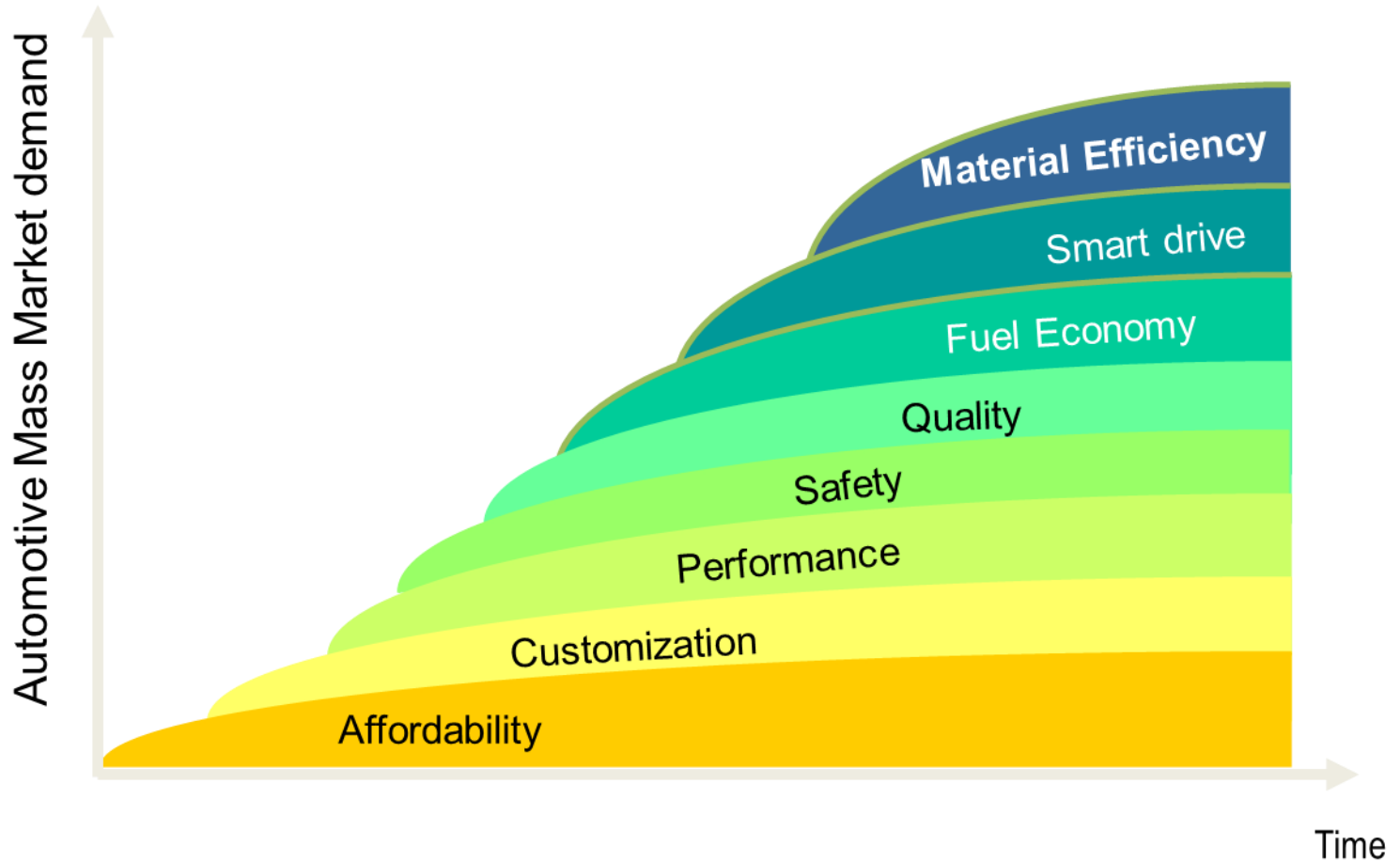
# ECO CONDUITE



# Le prochain défi: l'allègement des véhicules



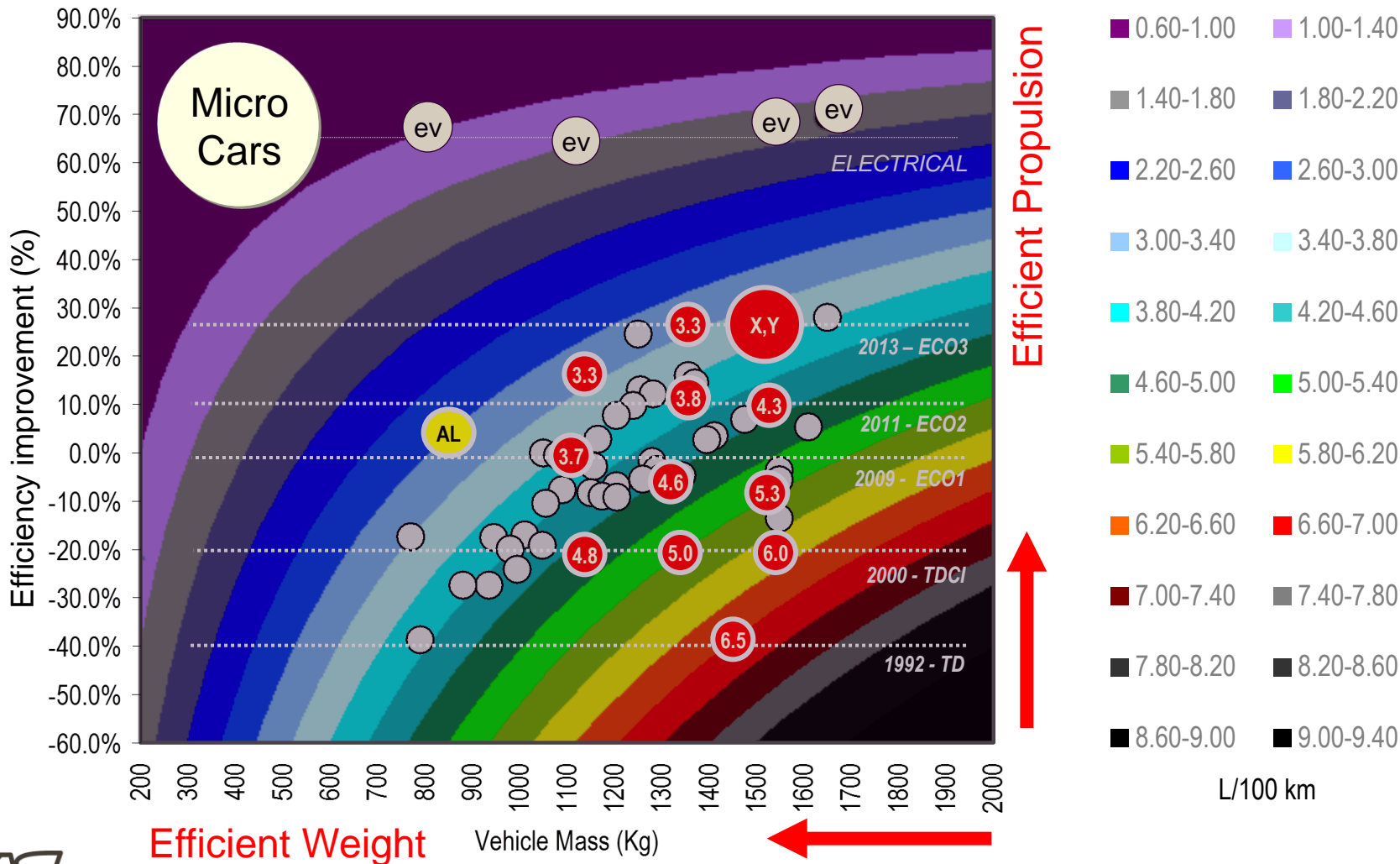
# Le prochain défi: l'efficacité du matériau



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



# 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

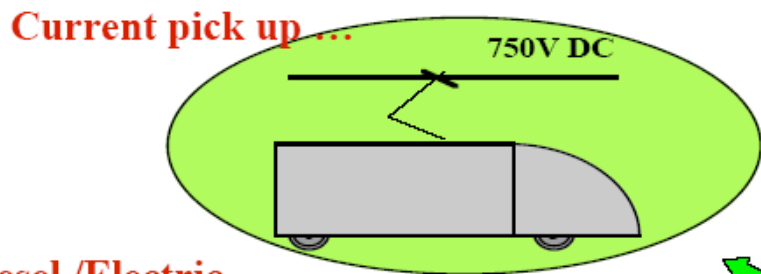
# Conclusions et Perspectives



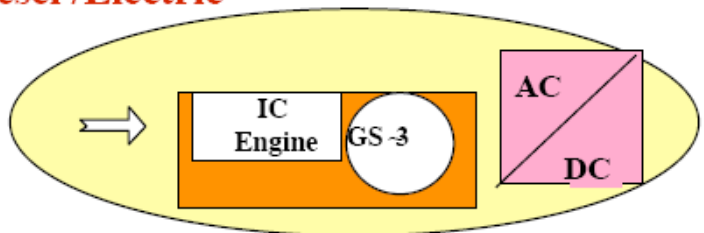
- L'automobile
  - fait partie de notre vie
  - doit faire face à des défis majeurs à l'aube du 21<sup>ème</sup> siècle
- Nouveaux développements à court et moyen termes
  - Améliorer les moteurs à combustion interne
- En circulation urbaine le **véhicule électrique** constitue une réponse à l'amélioration 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.



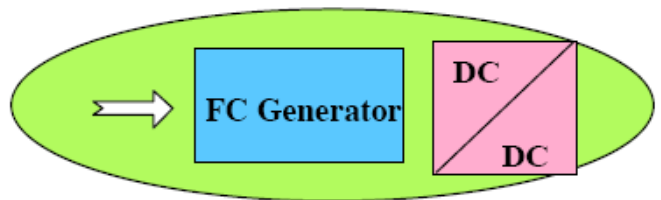




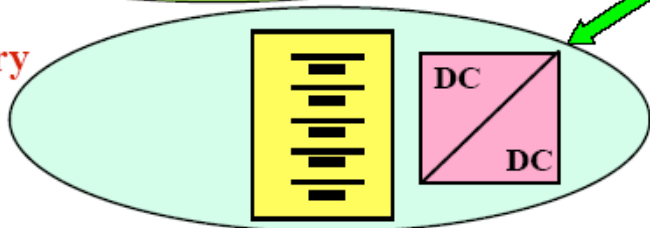
Diesel /Electric



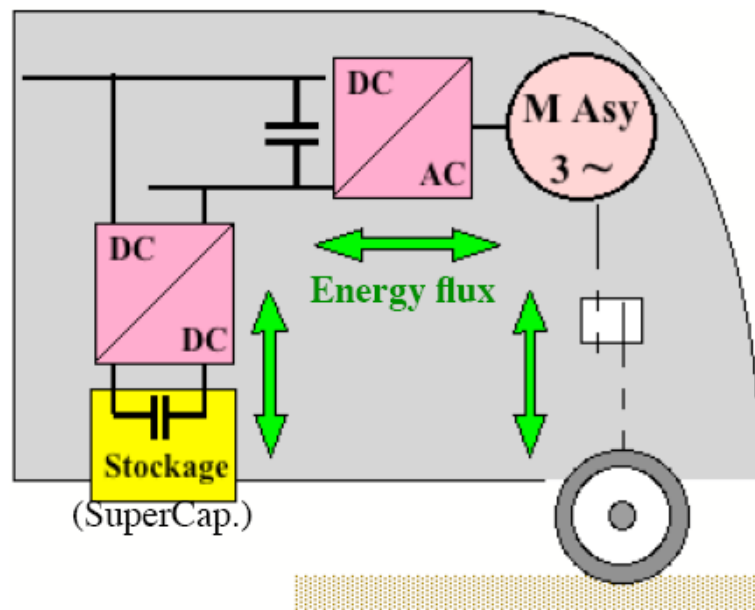
H2



Battery



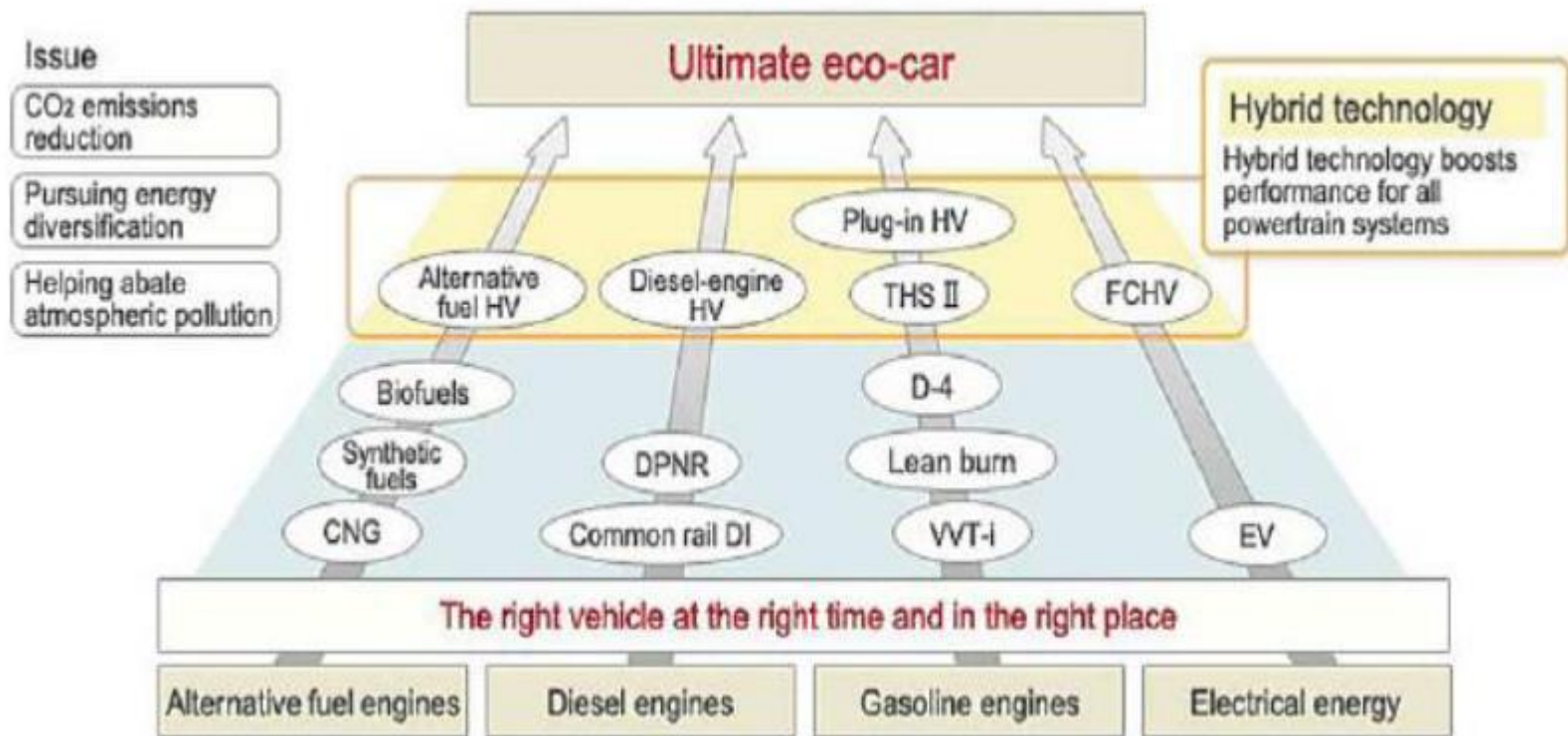
Basic structure  
traction - regenerative braking  
with buffer energy storage



# Véhicules multi sources



- 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
  - Adaptés à la circulation urbaine



Renault Twizy



Personnal Mobility Concept de  
Toyota

# CONCLUSIONS

- En tout état de cause, le passage aux véhicules moins polluants 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

