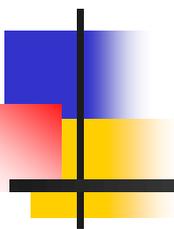


ELECTRIC, HYBRID, AND NON CONVENTIONAL
PROPULSION SYSTEMS -



Contexte

Pierre DUYSINX

LTAS – Automotive Engineering

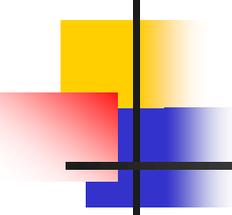
University of Liege

Academic year 2021-2022

Contexte



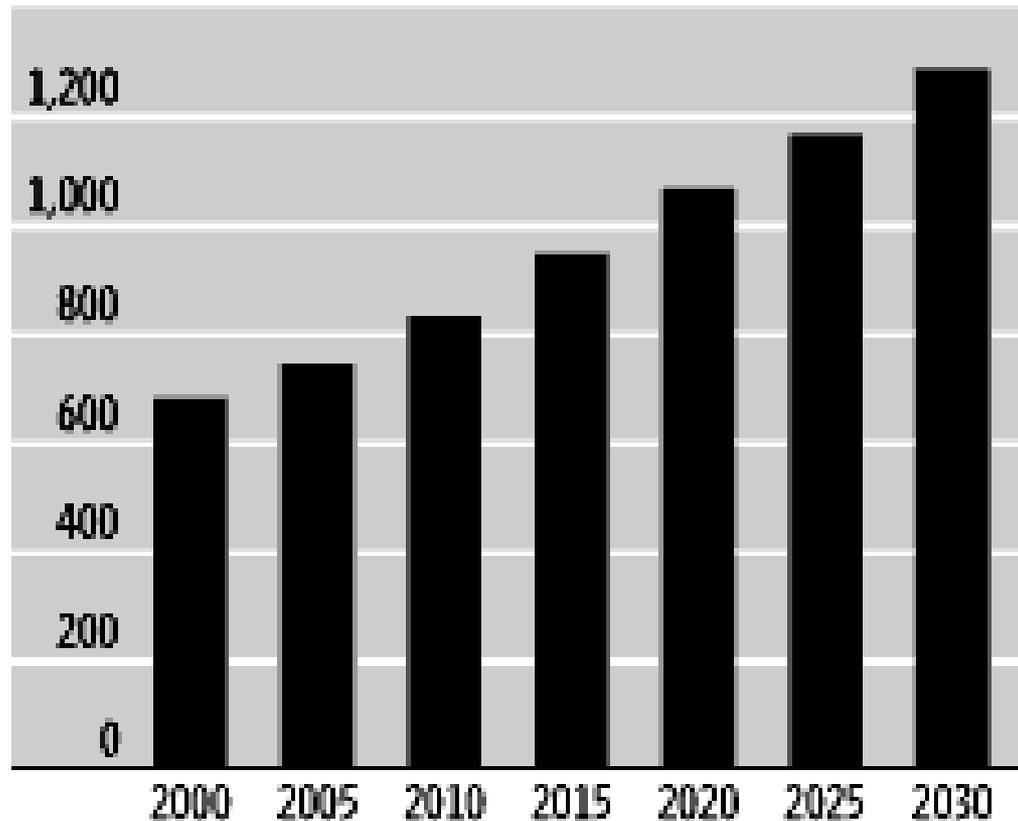
- « L'automobile, c'est la liberté »
 - Automobile a connu un développement remarquable depuis un siècle et surtout dans les dernières décennies
 - Automobile = composante essentielle de la vie économique:
 - mobilité des marchandises et des personnes
 - caractéristique des pays développés
 - condition / conséquence du développement
 - la croissance appelle plus de mobilité
 - Automobile = composante de notre vie sociale et de notre style de vie:
 - mobilité individuelle pour le travail, les loisirs
 - réponse à une aspiration profonde de liberté de déplacement



Contexte

- L'automobile est victime de son succès
 - Développement du trafic routier et augmentation du parc automobile
 - Croissance des trajets et des distances de déplacement
 - Congestion des grands centres urbains
 - Les transports routiers consomment 70 % pétrole de l'Union Européenne
- Question de la pérennité du secteur transport
 - Approvisionnement énergétique suffisant et à quel coût?
 - Pollution atmosphérique locale
 - Accroissement des émissions de gaz à effet de serre
 - Augmentation des nuisances sonores

Contexte : croissance du parc automobile

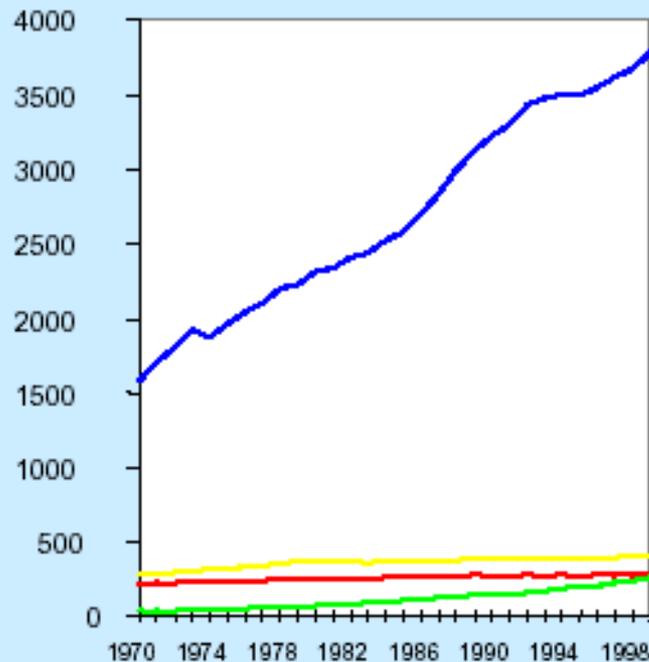


Vers le milliard de véhicule en circulation dans le monde...



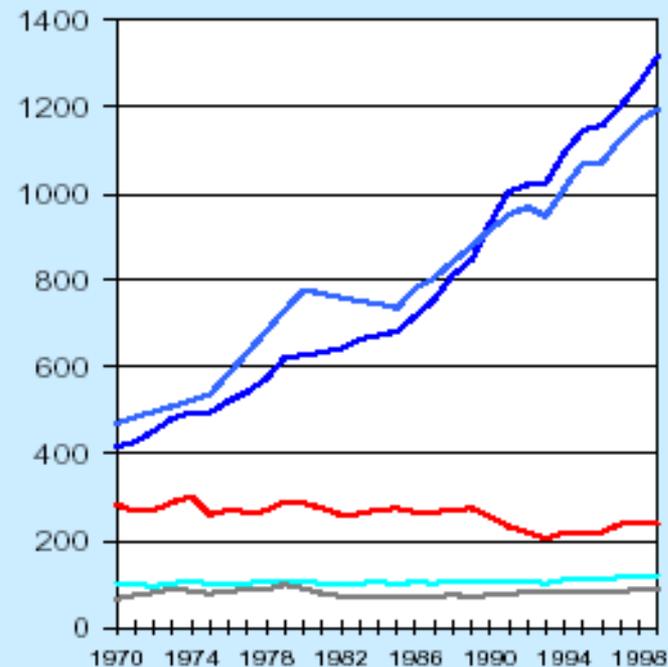
Croissance et domination de la route

Passagers (p) en milliards pkm



■ Voitures ou camions ■ Autobus
■ Air ■ Rail

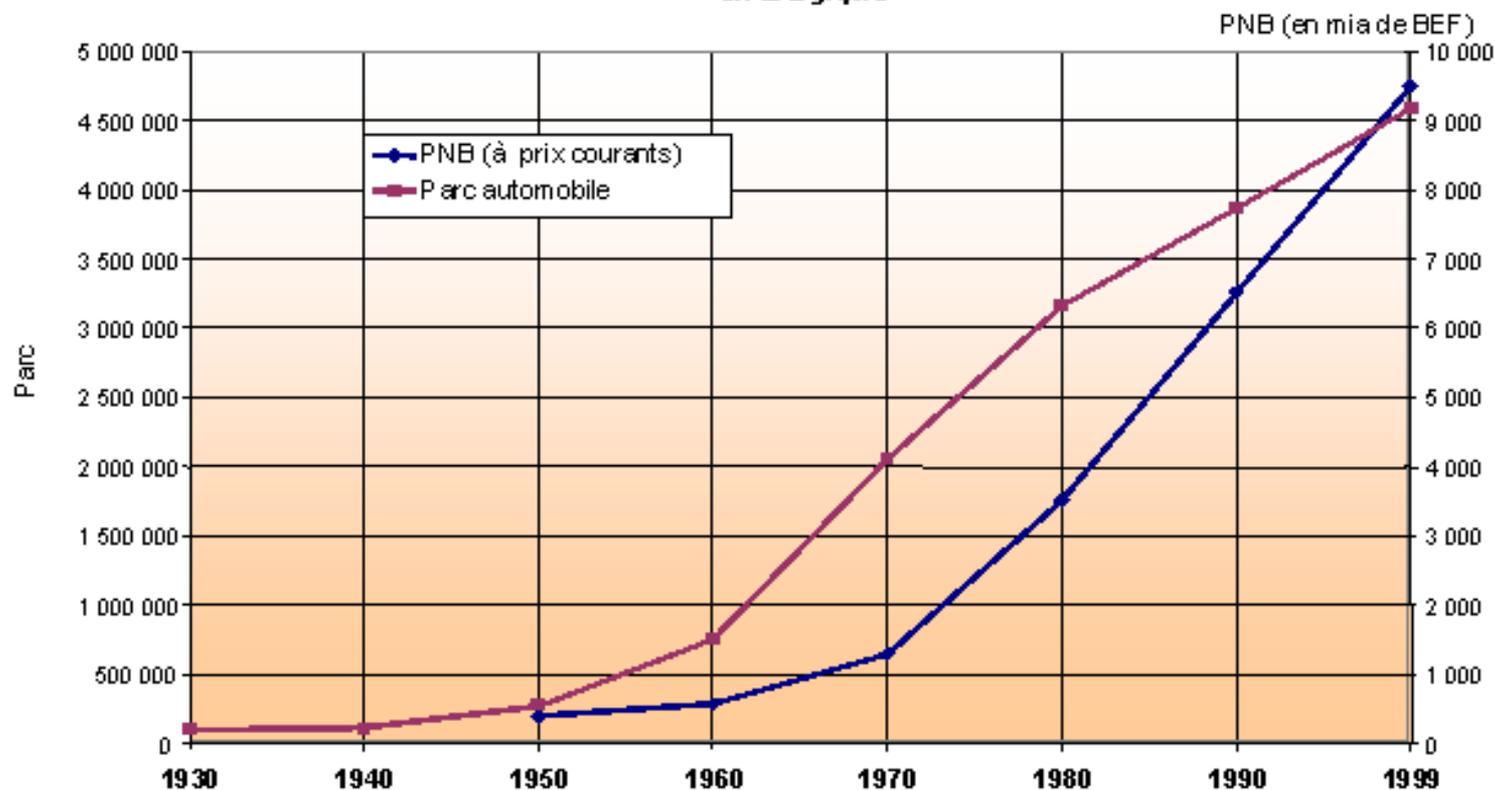
Marchandises en milliards tonnes/km



■ Voies navigables ■ Oléoduc
■ Maritime courte distance

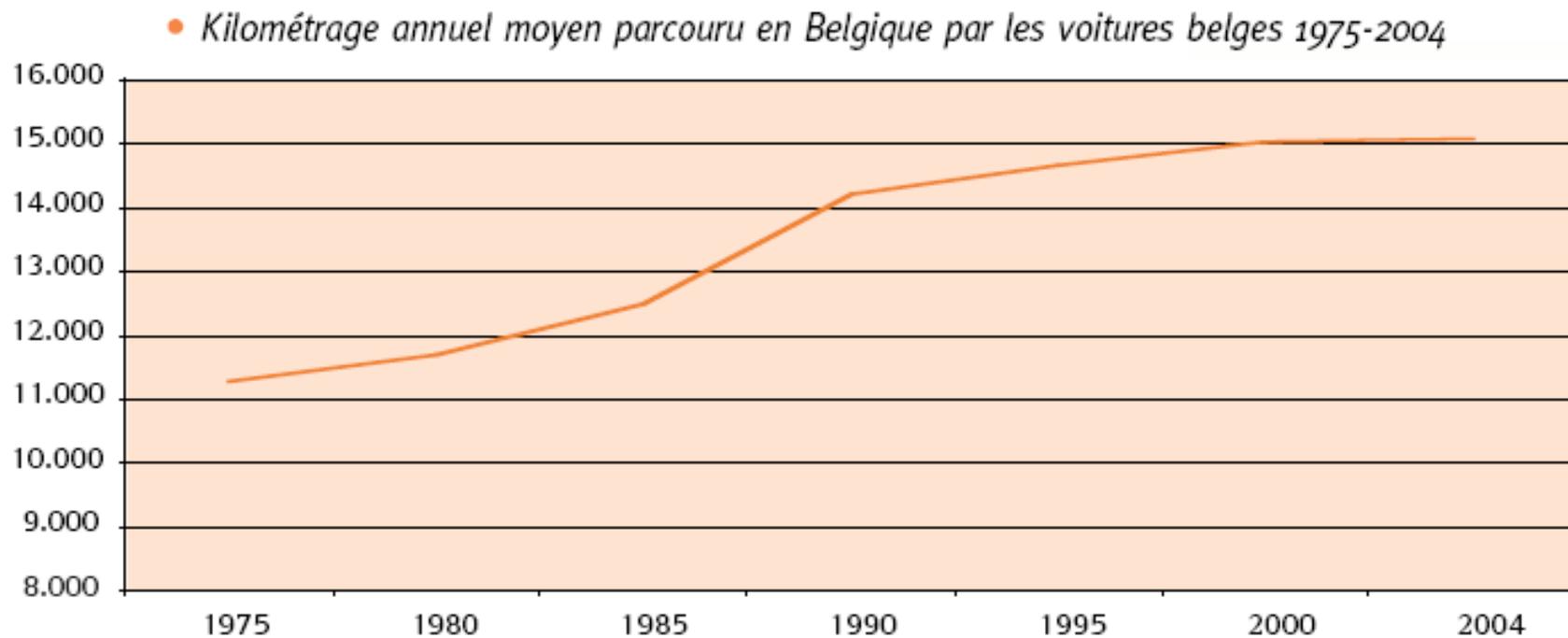
Contexte : croissance du parc automobile

Graphique a : Evolution du parc automobile et du produit national brut en Belgique

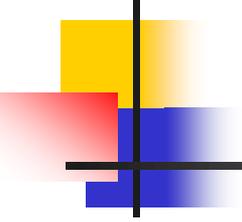


Evolution du parc automobile en Belgique (source FEBIAC)

Contexte : croissance du parc automobile



Evolution du kilométrage moyen en Belgique (source FEBIAC)



ÉTAT DE LA SITUATION ET ENJEUX

LE MONDE EST EN TRAIN DE CHANGER PROFONDEMENT ET RAPIDEMENT

Urbanisation



Individualisation des besoins de mobilité



Viellissement population



Changement climatique



Accident



Congestion



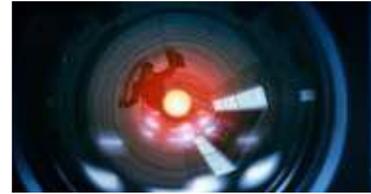
Criminalité



Air pollution



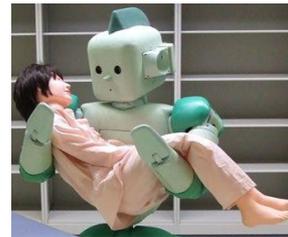
Intelligence Artificielle



Digitalisation



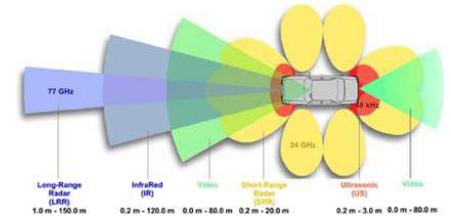
Santé & Bien-être



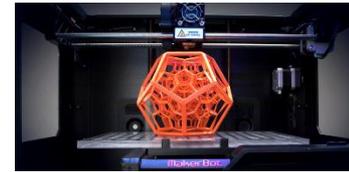
Prix de l'énergie



Capteurs et Big Data



3D printing



Connectivité



Ressources limitées



Déchets et recyclage



TENDANCES GLOBALES

- Facteurs d'accélération des **Technologies** et l'omniprésence du **Monde Digital** avec une importance grandissante de la **Santé**



PUISSANCE DE LA TECHNOLOGIE

- "Innovation to zero"
- Technologie ambiante
- Robotique et IA
- Miniaturisation
- Impression 3D...

MONDE DIGITAL & EVOLUTION DE CONSOMMATION

- Objets connectés
- Usage plutôt que possession
- Réalité virtuelle et augmentée
- Vers plus de sécurité

SANTE & BIEN ETRE

- Frontière de plus en plus fine entre vivant et non vivant
- Nouveaux problèmes de santé
- Population vieillissante
- Santé, bien-être
- E-santé

TENDANCES DU MONDE AUTOMOBILE

- Focus sur **Efficacité Energétique** et sur l'essor du **Monde Digital** avec un impact sur la **Mobilité**



EFFICACITE ENERGETIQUE

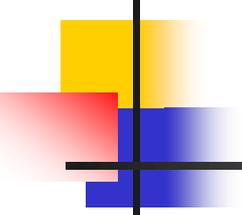
- Réduction des émissions
- Electrification de la propulsion
- Energie renouvelable
- VE comme acteur des smart grids
- Allègement du véhicule
- Recyclage

VOITURE CONNECTEE

- Big data
- Sécurité et services virtuels
- Navigation, services géo localisés
- Info divertissement
- Services de mobilité
- Paiement et e-commerce

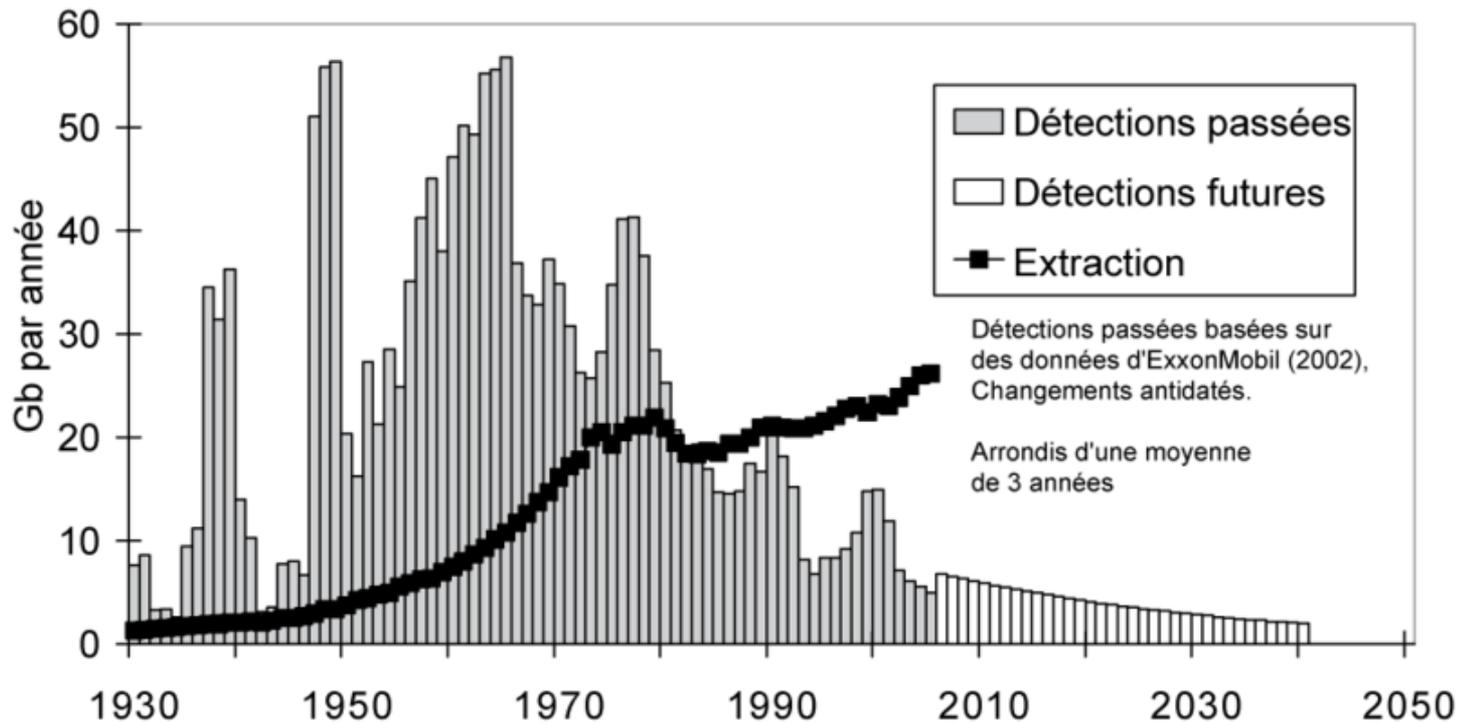
MOBILITE

- Mobilité multimodale
- Car sharing
- Car pooling
- Véhicules autonomes
- Eco systems intégrés de mobilité
- Zones de basse émission



LES DÉFIS DE L'AUTOMOBILE

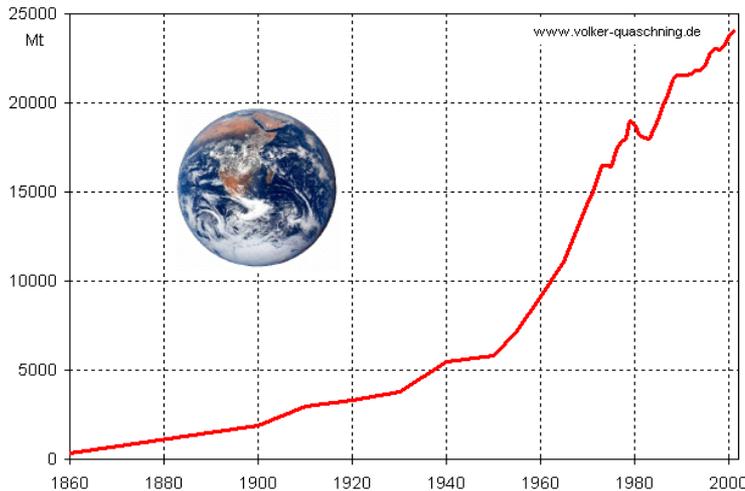
DÉPLÉTION DES RESSOURCES DE PÉTROLE



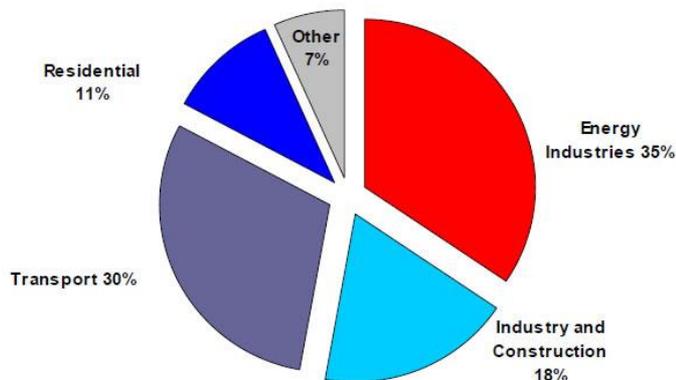
- Ressources en pétrole ~ 35 à 40 ans
- Réserves en pétrole ~ 60 ans

Source: fr.wikipedia.org

REDUCTION DES EMISSIONS DE CO₂

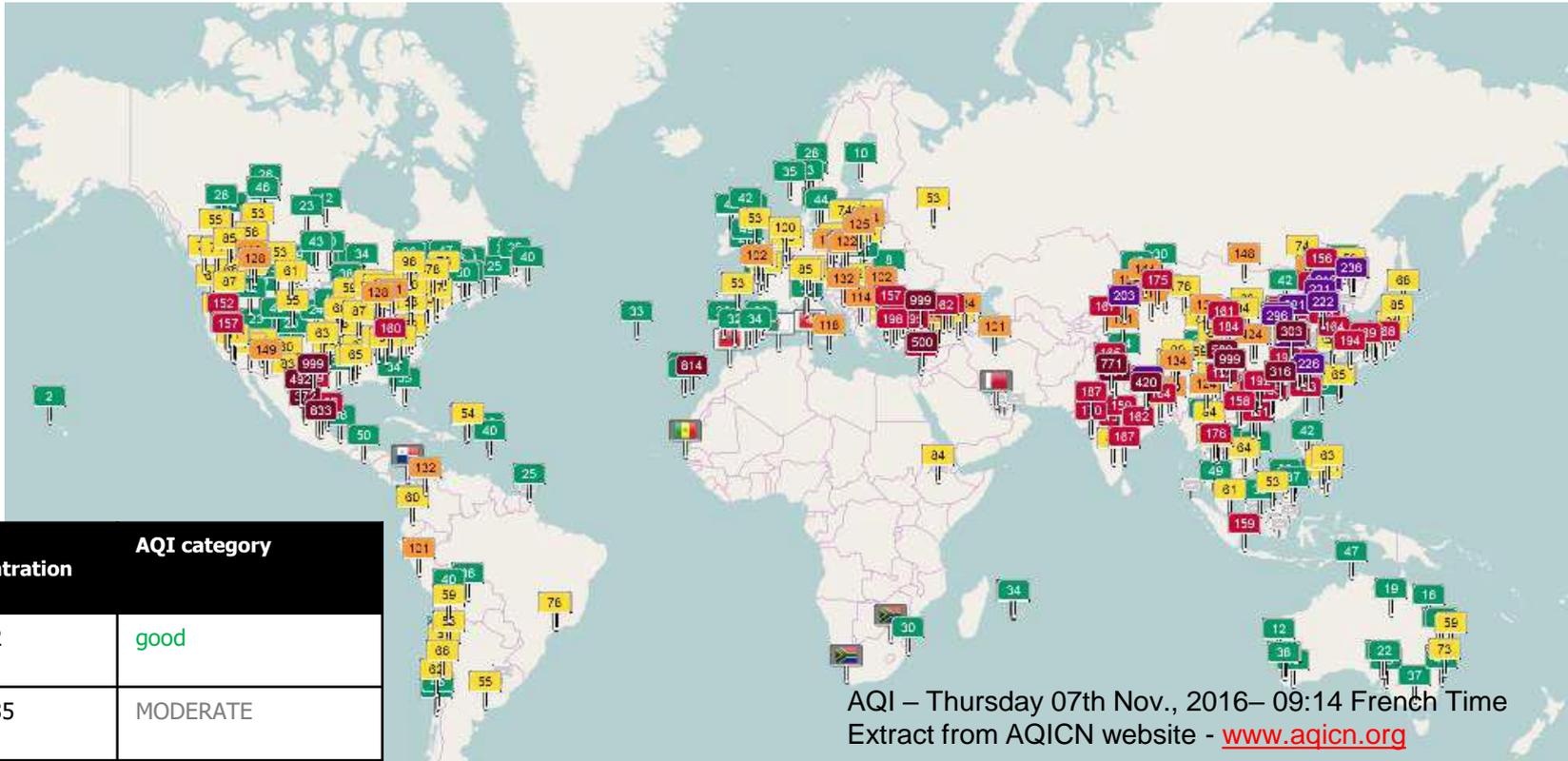


CO₂ emissions by sector in 2009



- Réchauffement climatique lié à l'activité humaine et l'usage de combustibles fossiles
- Le transport est un des acteurs majeurs des émissions de CO₂
- Réduction des émissions par 50% d'ici 2030 (ERTRAC):
 - Substitution du pétrole par des énergies avec un meilleur bilan carbone.
 - Améliorer l'efficacité énergétique de la motorisation
 - Réduction de la masse, mais antagonisme avec la sécurité et le confort
 - → 6% à 12% de CO₂ pour 10% de masse en moins!

LA POLLUTION DE L'AIR EST ET RESTE UN PROBLEME MONDIAL

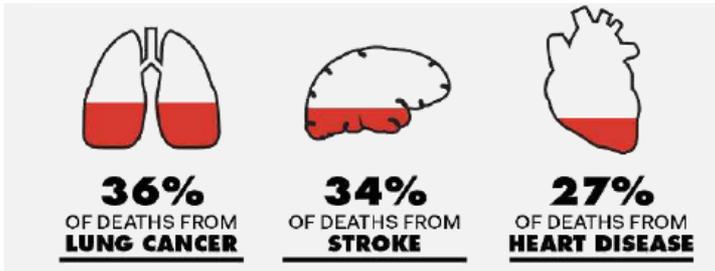


AQI	PM2.5 concentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$	AQI category
0 to 50	0 to 12	good
51 to 100	12 to 35	MODERATE
101 to 150	35 to 55	UNHEALTHY FOR SENSITIVE GROUPS
151 to 200	55 to 150	UNHEALTHY
201 to 300	150 to 250	VERY UNHEALTHY
300 to 500+	250 to 500	HAZARDOUS

La pollution de l'air est considérée par l'OMS comme "la seule et plus grande menace mondiale pour la santé," avec plus de 3 millions de morts par an.

LA POLLUTION DE L'AIR EST ET RESTE UN PROBLEME MONDIAL

- **Le tueur invisible:** Selon l'OMS, on considère la pollution atmosphérique comme "la plus grande et seule menace environnementale pour la santé" avec plus de trois millions de personnes décédés chaque année. C'est plus que le double du nombre de décès dans les accidents de la route chaque année.



- **Une priorité pour la Chine:** Plus de 50% des personnes interrogées en Chine placent la qualité de l'air dans l'endroit où ils vivent comme une préoccupation majeure et la qualifient de assez pauvre/ pauvre/ très pauvre (Europe 25% - USA 17%) **3 Chinois sur 4** cherchent de l'information sur les conditions environnementales de leur lieu de vie

POLLUTION LOCALISEE DANS LES CENTRES URBAINS



- Le transport contribue principalement aux émissions de NO_x et de CO
- Forte exposition des Européens aux pollutions locales: 80% des Européens vivent dans des villes
- La pollution sonore (bruit) devient également un problème important

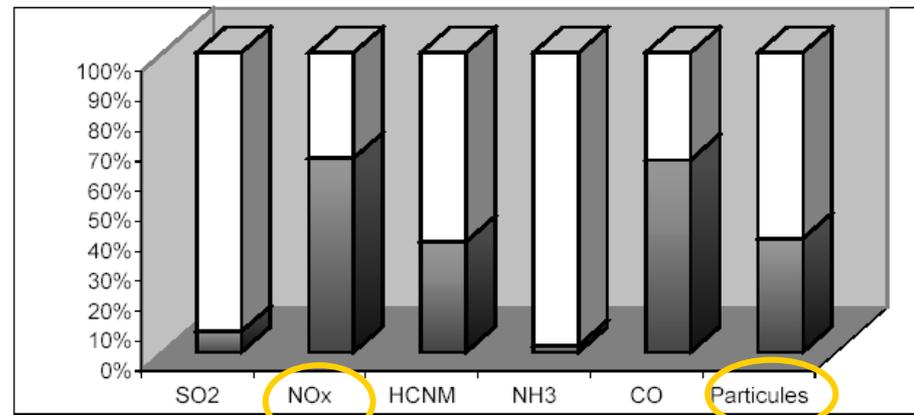


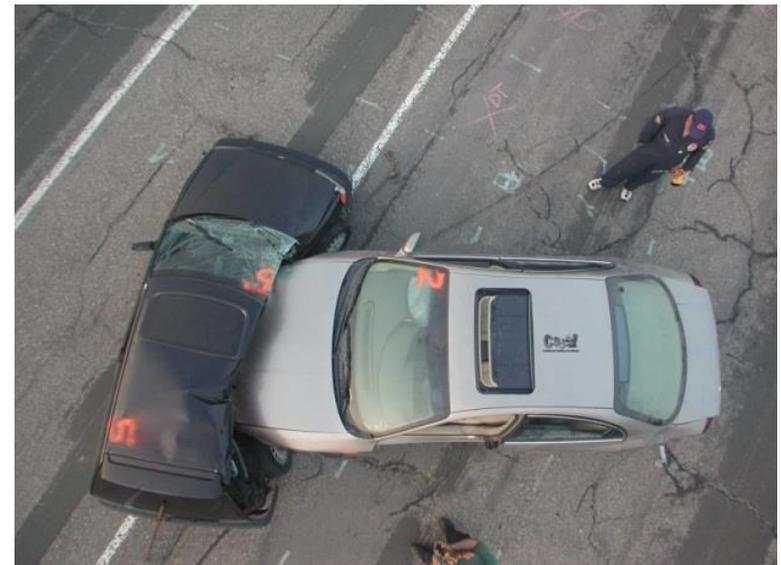
Figure 1 : en grisé, contribution des transports aux émissions globales de polluants en Europe (2001)

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

LA CONGESTION DU RESEAU ET LA SECURITE ROUTIERE

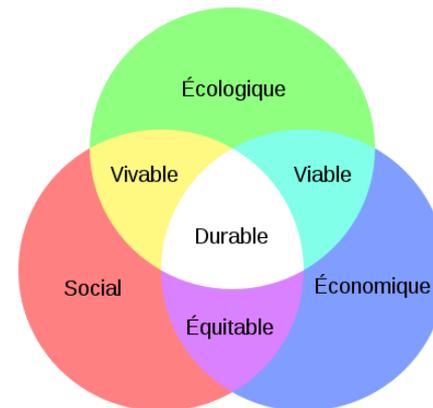
- La congestion du réseau
 - Zones urbaines, réseau transeuropéen
 - Coût: 1% PNB en 2010

- Sécurité routière
 - 41.000 morts par an sur les routes de l'UE
 - Coût: 2% du PIB
 - Objectif pour 2010 réduire le nombre de tués par 2.



LE DÉFI DE LA MOBILITÉ DURABLE

- Des **systemes de transport efficaces** sont très importants pour la prospérité de la société avec un impact important sur:
 - La croissance économique
 - La société
 - L'environnement



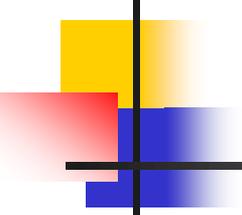
- Contributions essentielles de l'industrie Européenne à la lutte contre le réchauffement climatique et au défi énergétique:
 - **Plus grande efficacité énergétique des moteurs**, des véhicules et des systèmes de transport
 - Utilisation accrue des **moyens de transport alternatif et collectif**, spécialement en milieu urbain
 - Utilisation accrue des possibilités offertes par les **nouvelles technologies ICT** (V2I, V2V)

LES OBJECTIFS POUR L'EUROPE EN 2030

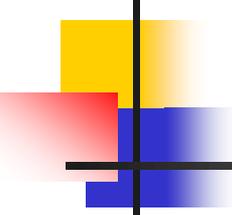
– 50% D'EFFICACITE EN PLUS

- La contribution principale de l'Industrie Automobile Européenne pour faire face au défis de l'environnement:
 - Améliorer l'efficacité énergétique des système de transports par 50%:
 - Augmenter l'efficacité énergétique des moteurs pour les véhicules et systèmes de transport
 - Meilleur usage et promotion des moyens de transports alternatifs et des transports en commun, en particulier dans les villes
 - Améliorer l'usage en utilisant les possibilités nouvelles offertes par les technologies de l'information (V2I, V2V)
 - Augmenter la part des énergies renouvelable dans les systèmes de transport
 - Bio carburants et gaz naturel
 - Sources d'énergie renouvelable via l'électricité verte dans les véhicules du même nom





ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX



Réduire la pollution locale

- Automobiles quasi toutes équipées de moteurs thermiques alimentés en carburants liquides issus du pétrole
- La combustion génère un certain nombre de polluants
 - monoxyde de carbone (CO)
 - oxydes d'azote (NO et NO₂)
 - hydrocarbures imbrûlés (HC)
 - particules de suie et d'imbrûlés (PM)
- Secteur transport =
 - premier contributeur pour CO et NOx
 - contributeur important pour HC et PM

Réduire la pollution locale

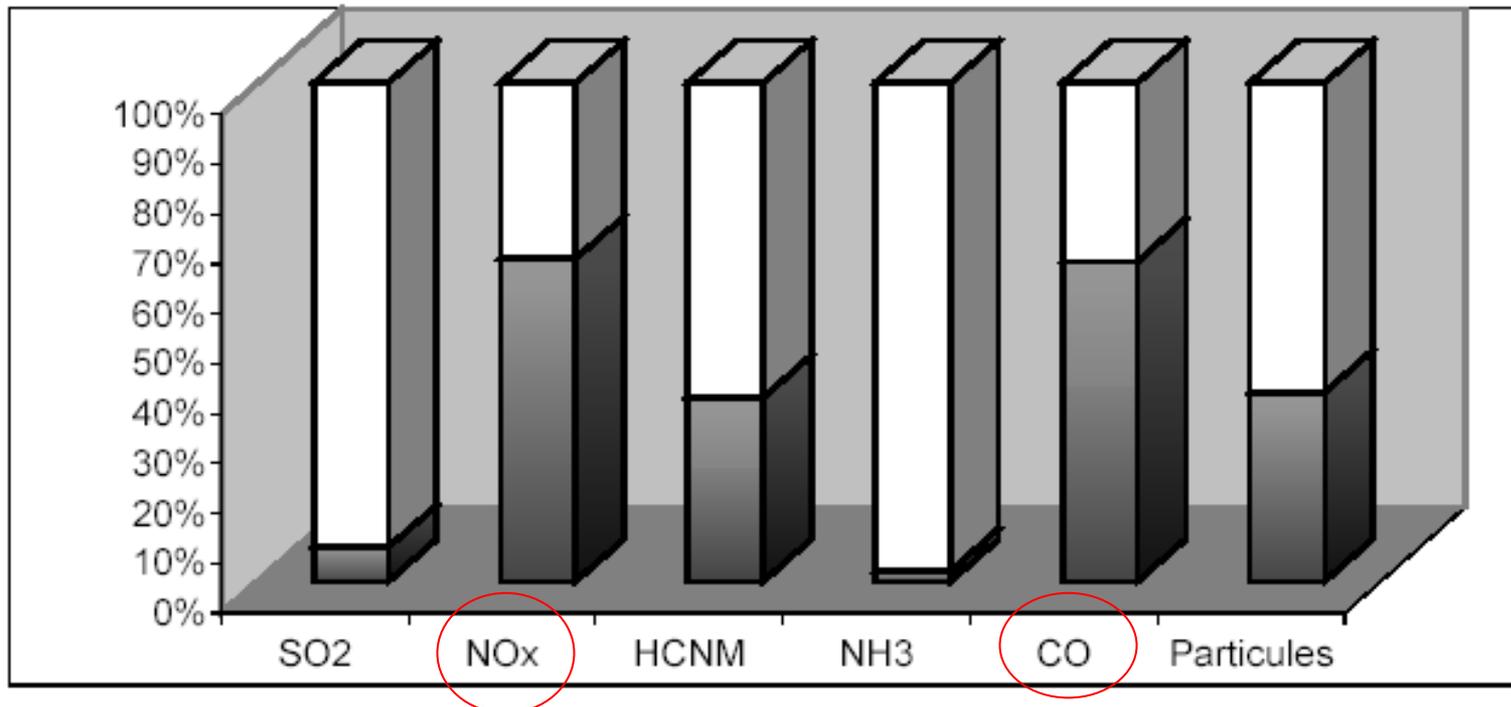
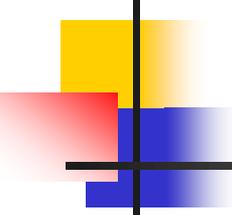


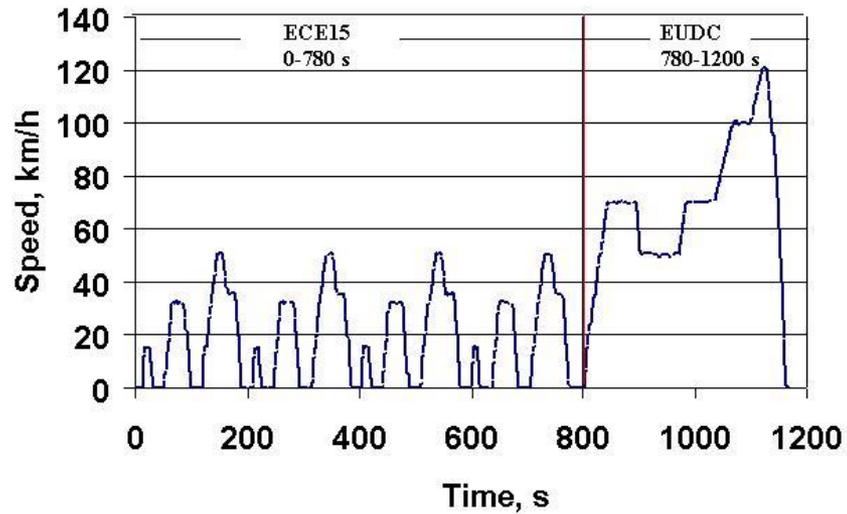
Figure 1 : en grisé, contribution des transports aux émissions globales de polluants en Europe (2001)



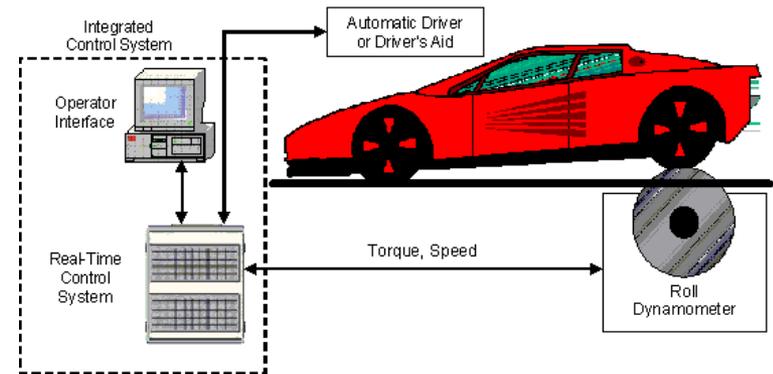
Réduire la pollution locale

- 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!

Cycle européen

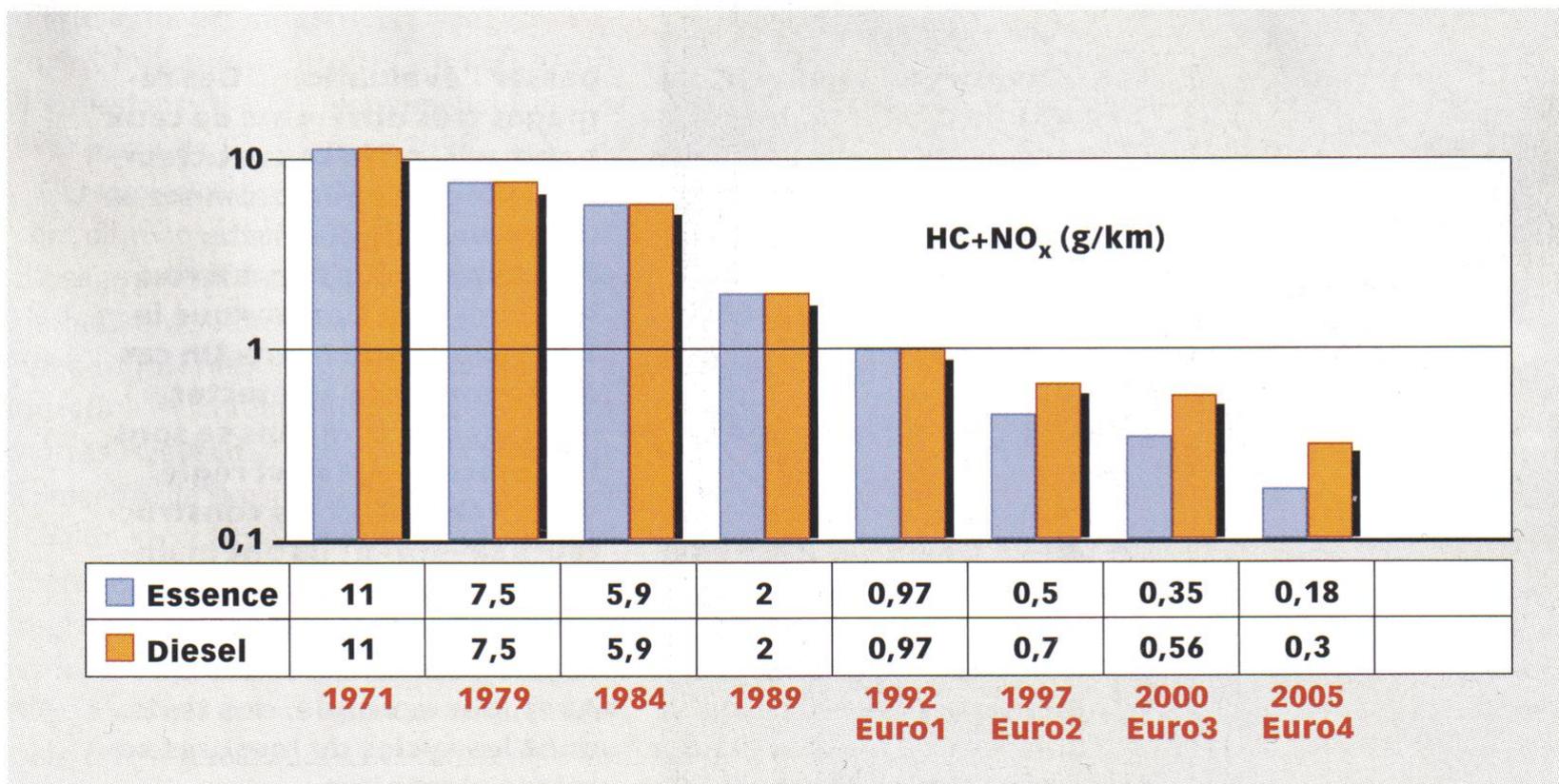


Nouveau cycle européen (1996)

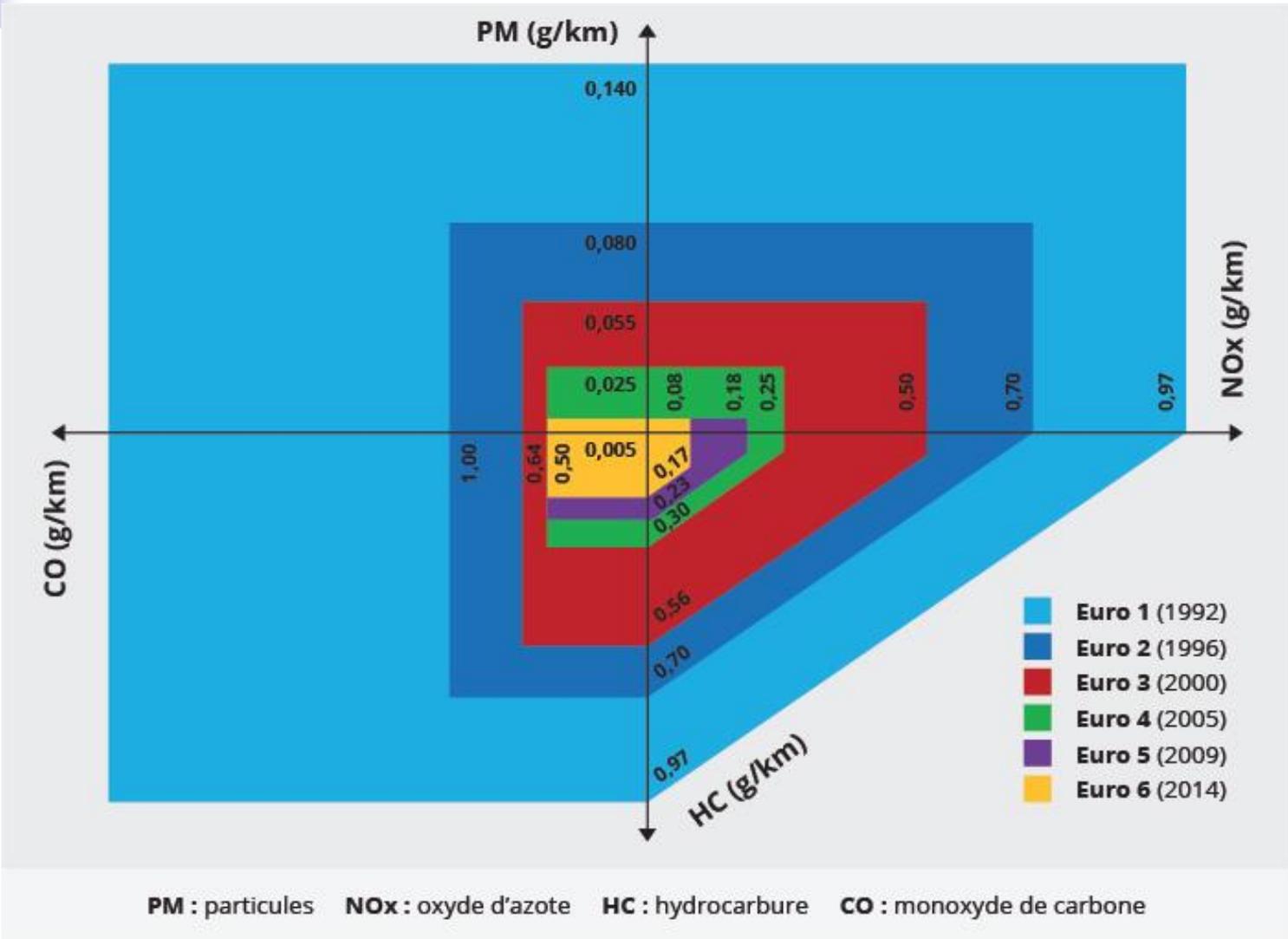


Abaissement des émissions en Europe

>> 1971- 2005 : DES NORMES ANTIPOLLUTION TOUJOURS PLUS STRICTES

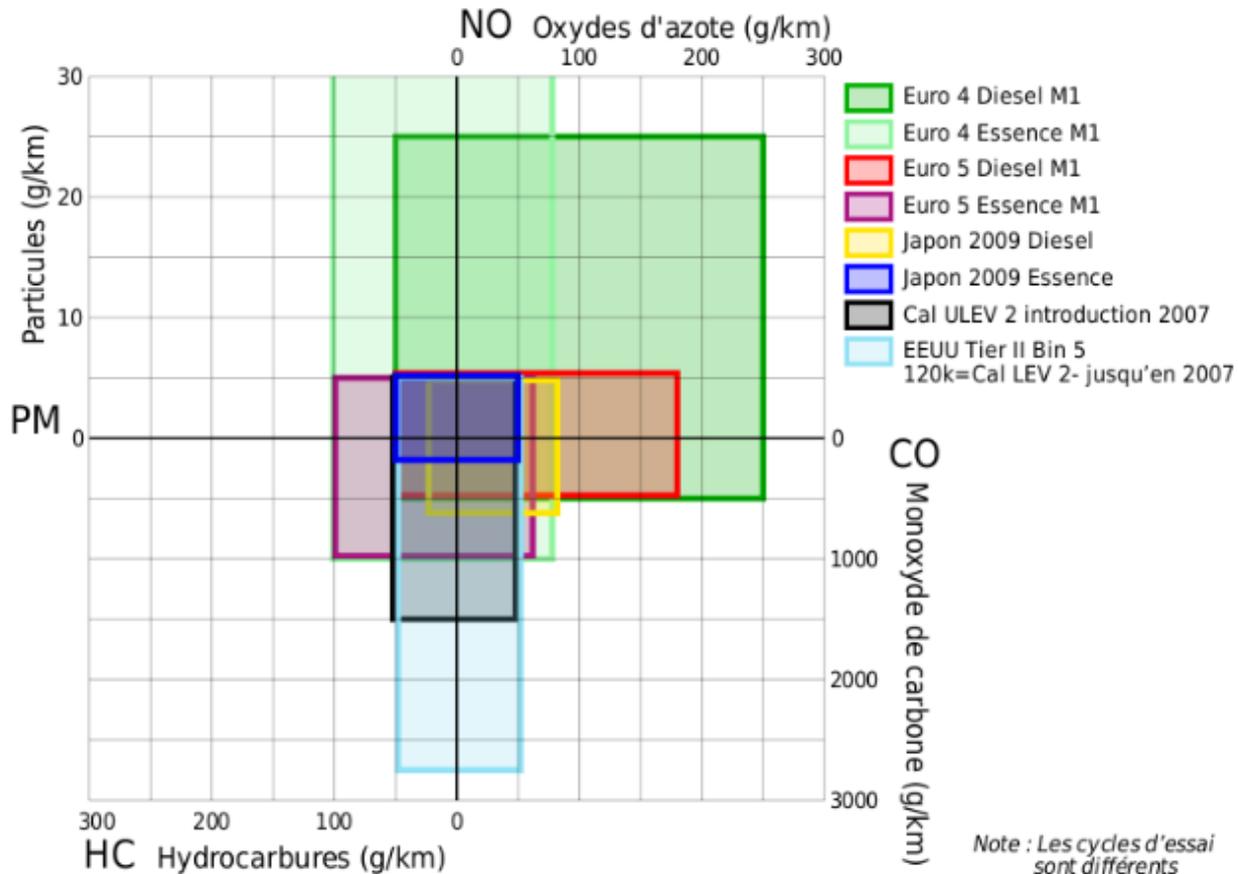


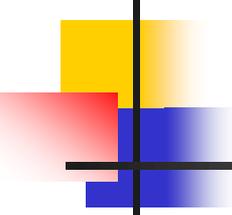
Emissions en Europe, USA et Japon



Emissions en Europe, USA et Japon

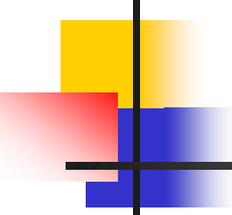
Comparaison des valeurs limites d'émissions des voitures dans l'Union Européenne, au Japon et aux États-Unis





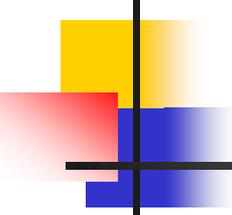
Réduire la pollution locale

- Progrès technologiques:
 - Amélioration de la qualité des carburants: teneur en benzène, composés aromatiques, en soufre
 - Éviter la formation de polluants:
 - Pilotage électronique du moteur, de l'injection, de l'allumage et de l'alimentation en air
 - Injection directe haute pression pour les moteurs diesel
 - Amélioration de la combustion
 - Systèmes de post-traitement catalytique des polluants. Catalyse dite 3 voies permet la réduction simultanée du CO, NOx et HC avec 99% d'efficacité



Réduire les émissions de CO₂

- Pendant une dizaine d'années, la réduction de la consommation moyenne des véhicules s'est faite en Europe par une diésélisation des véhicules neufs (environ 45%)
 - recourt à l'injection directe (+15% de rendement)
 - downsizing grâce à la turbo suralimentation
- Cette tendance va se poursuivre partiellement, mais elle plafonne.
- On ne peut éviter de nouveaux développements technologiques pour atteindre les objectifs à plus longs termes

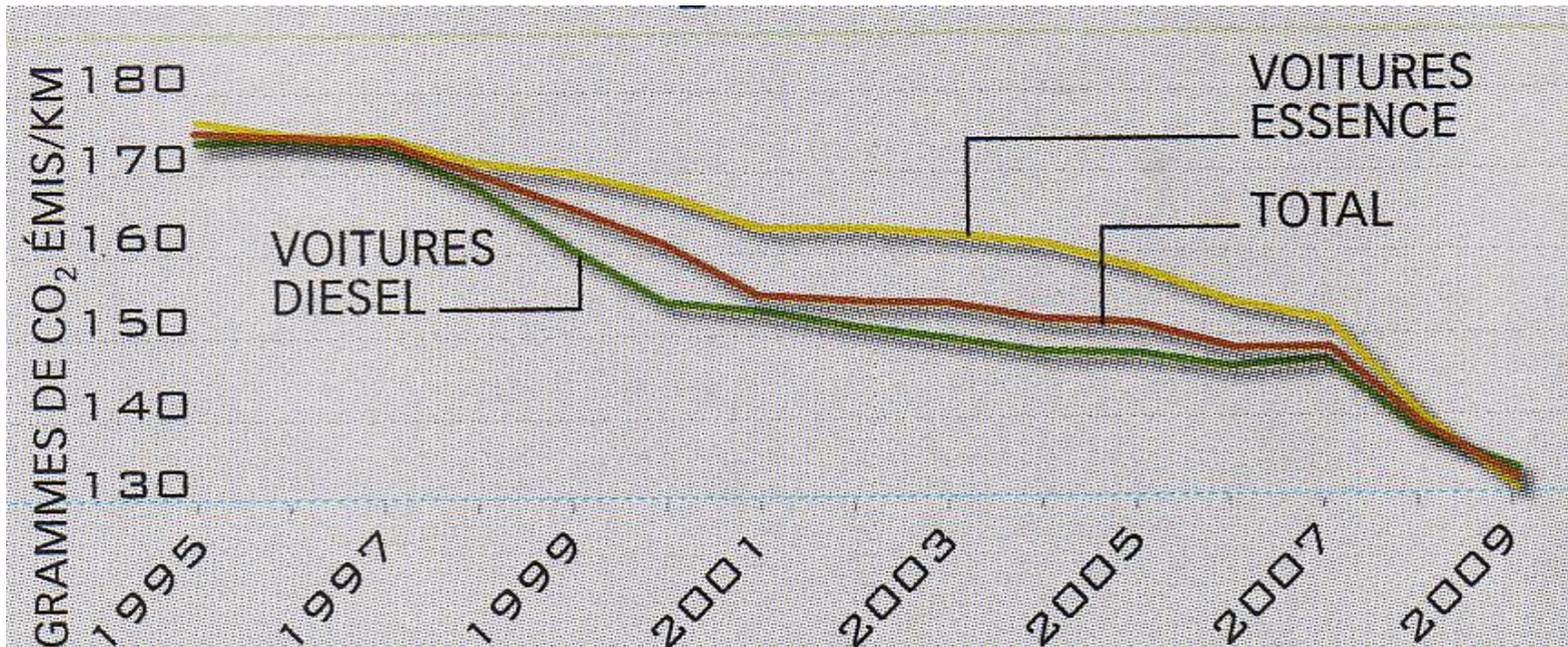


Réduire les émissions de CO₂

- CO₂ est un des gaz à effet de serre impliqués dans le processus de réchauffement climatique
- Augmentation des émissions de CO₂ = indicateur d'une croissance de la consommation
- Protocole de Kyoto: la Communauté Européenne doit réduire ses émissions de CO₂ de 8% entre 1990 et 2012
- Dans ce contexte: l'ACEA (Association des Constructeurs automobiles) s'engage volontairement à réduire les émissions moyennes des véhicules commercialisés à
 - 140 g/km en 2008
 - 120 g/km en 2012

ECHEC!

Réduire les émissions de CO₂



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

Réduire les émissions de CO₂

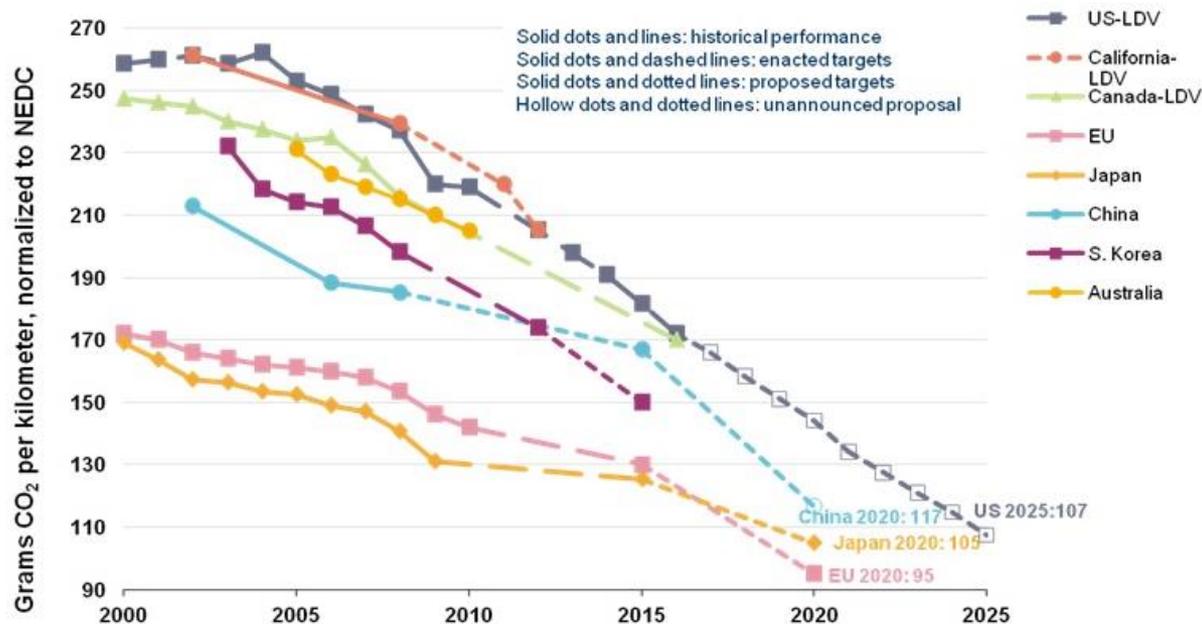


■ Contrainte de la Communauté Européenne

- 2012: moyenne de la flotte vendue < 130 g CO₂/km (65% des véhicules les moins polluants)
- 2015: moyenne de la flotte vendue < 130 g CO₂/km (100% des véhicules)
- 2020: **moyenne de 95 g CO₂/km**

Pression des réglementations sur les émissions de CO₂

- Les objectifs de réduction des émissions de CO₂ de flotte convergent vers des objectifs contraignants



[1] China's target reflects gasoline fleet scenario. If including other fuel types, the target will be lower.
 [2] US and Canada light-duty vehicles include light-commercial vehicles.

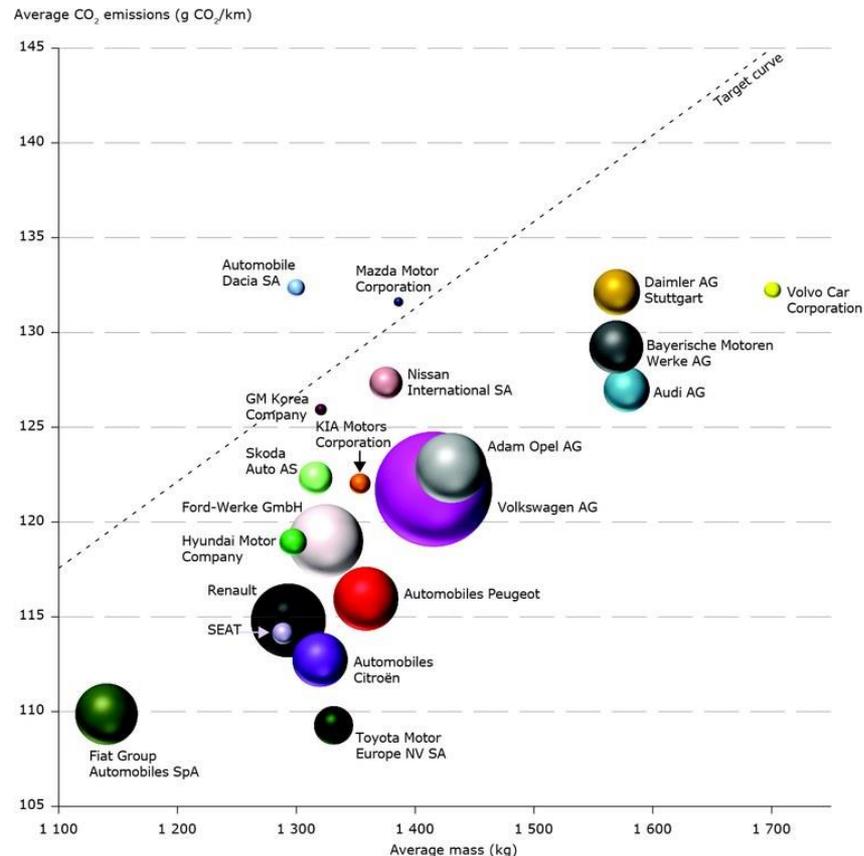
Source: ICCT

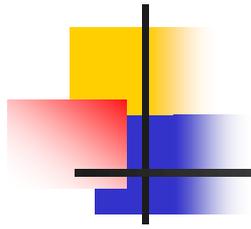
Remark: Recalculation in ICCT July 2012 report indicates level of 93g for passenger cars only for the US in 2025. EU's targets are comparatively more stringent. Vehicle definitions are different in the US and EU, and not directly comparable.

Pression des réglementations sur les émissions de CO₂

- Les objectifs de flotte mettent la pression sur tous les constructeurs et particulièrement sur les premiums.

Distance to 2012 target by individual manufacturers in 2011 (only manufacturers registering >100 000 vehicles in Europe).





**PISTES
POUR
REDUIRE LA CONSOMMATION
ET
LA POLLUTION**

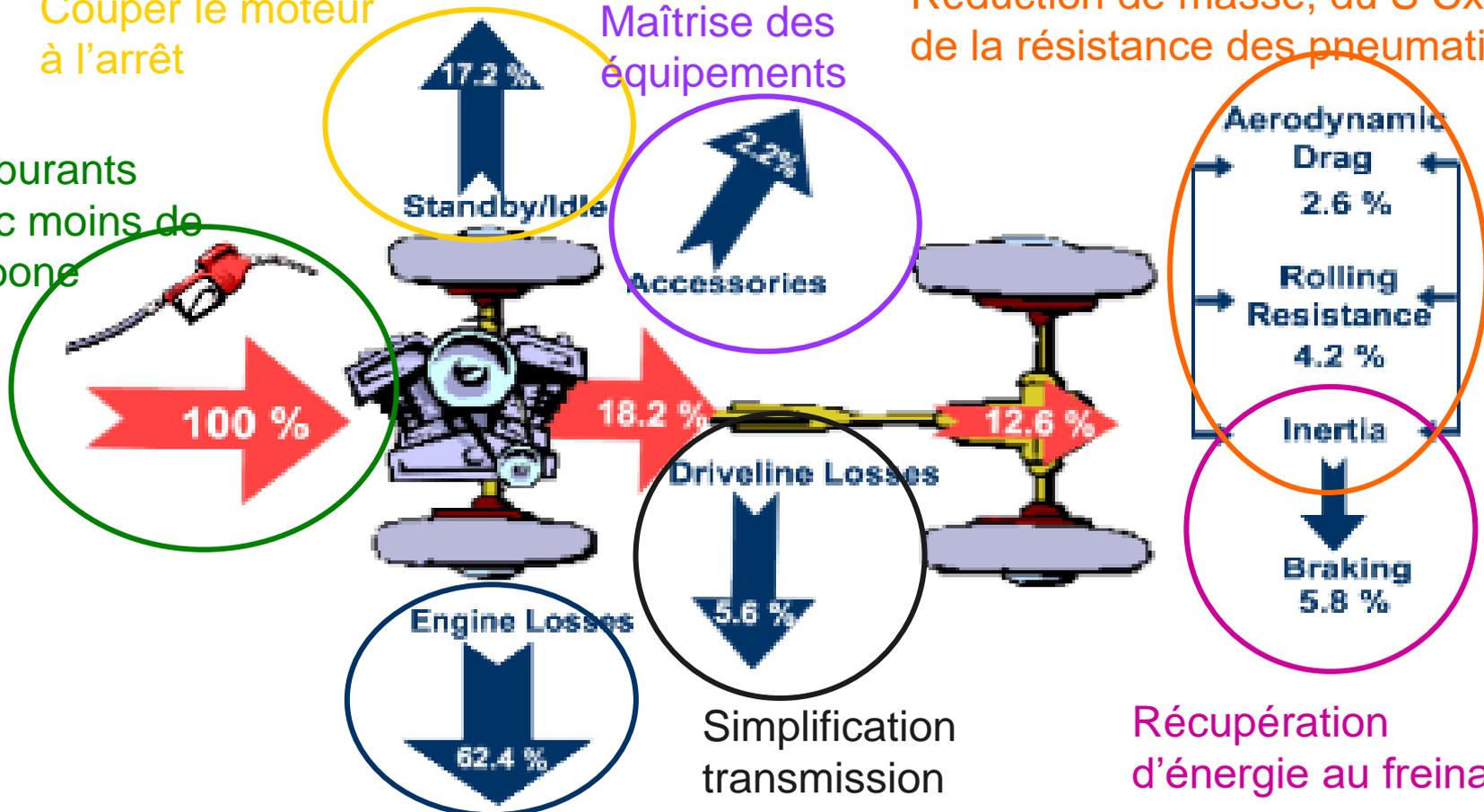
Réduire les émissions de CO₂

Couper le moteur à l'arrêt

Maîtrise des équipements

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

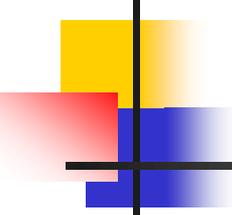
Carburants avec moins de carbone



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

Récupération d'énergie au freinage

source: www.nrel.org



Réduire les émissions de CO₂

- Pour atteindre les objectifs de Kyoto, nécessité de placer l'effort principal sur des nouveaux développements technologiques
- Différentes actions possibles pour réduire la consommation:
 - le **rendement du moteur** (action la plus directe)
 - la **réduction de masse**, mais en opposition avec la demande d'un plus grand confort, d'une plus grande sécurité et des voitures de plus haut de gamme
 - la **réduction des frottements internes** du moteur
 - augmentation du couple spécifique: réduction de la cylindre à performances égales, c'est-à-dire le downsizing
 - réduction de la **traînée aérodynamique**
 - évolution de la **transmission**

Réduire les émissions de CO₂

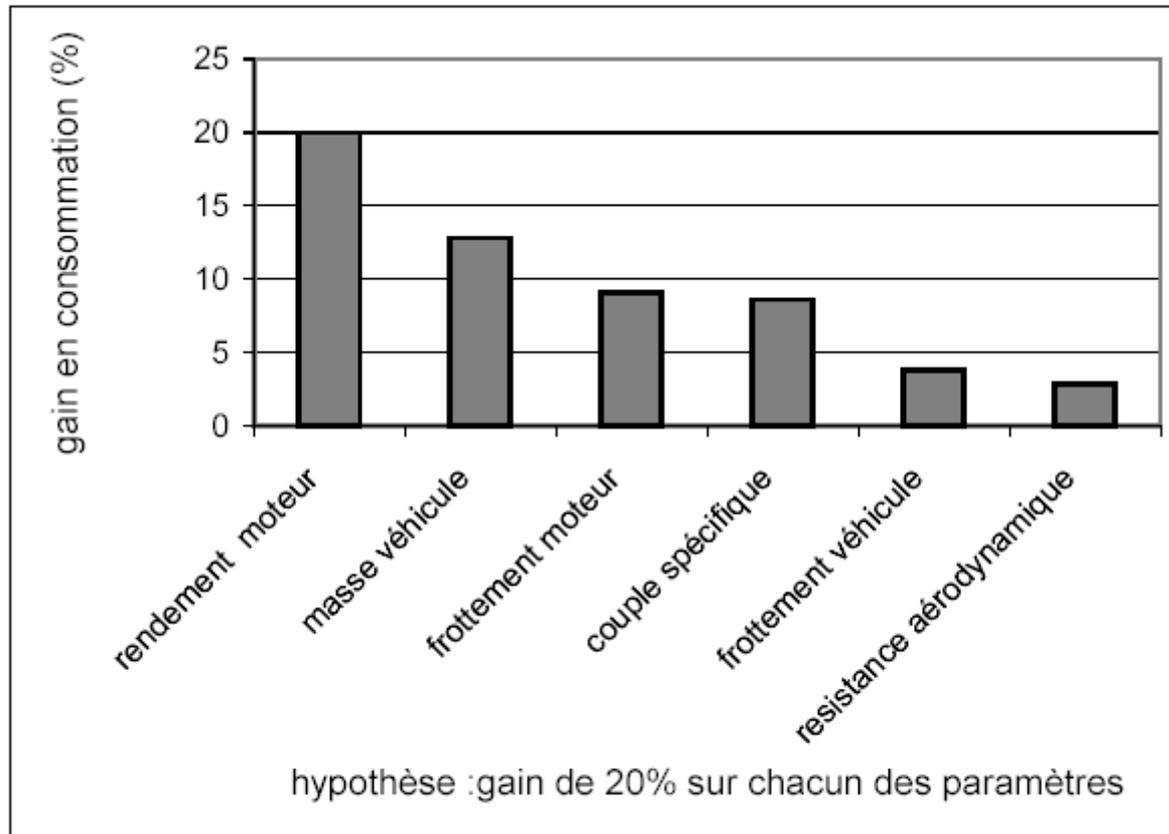
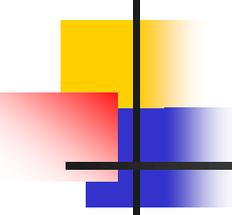
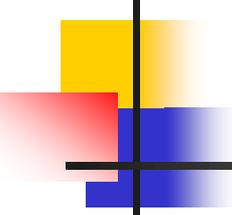


Figure 5 : Principales voies de réduction de la consommation des véhicules automobiles : impact d'une amélioration de 20% de chacun des principaux paramètres.



Amélioration de la motorisation

- Voies principales:
 - Utilisation de carburants à faible teneur en carbone ou carburants ayant un cycle de vie conduisant à des émissions réduites
 - Gaz naturel (CH_4)
 - Motorisations alternatives, notamment électriques
 - Nouvelles générations de stockage de l'électricité: batteries, supercapacités, volant d'inertie...
 - Nouvelles machines électriques
 - Motorisations hybrides ou électrifiées
 - Véhicules hybrides électriques
 - Véhicules hybrides hydrauliques, pneumatiques...
 - Autres principes de conversion de l'énergie chimique: la pile à combustible

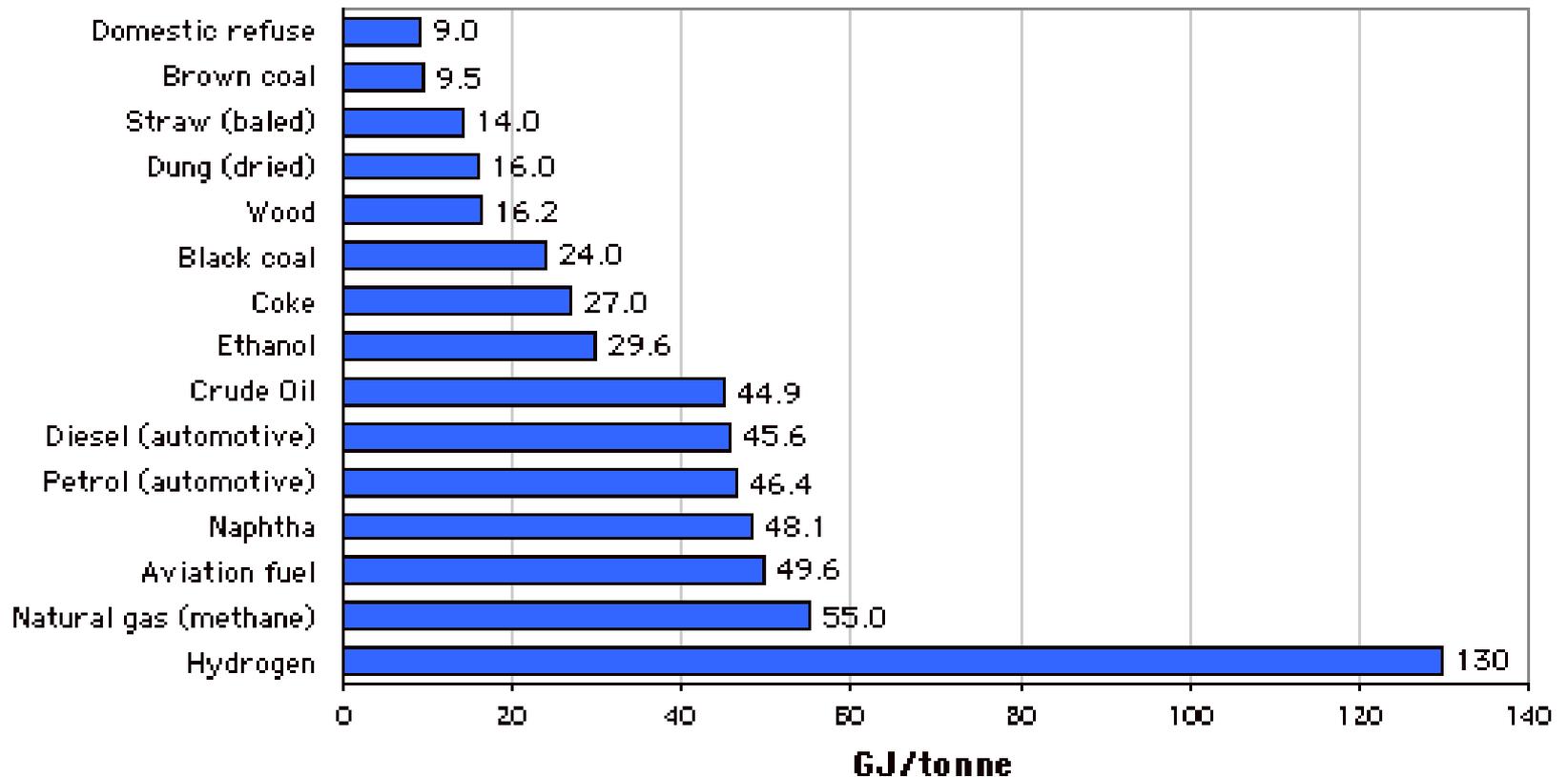


Nouveaux systèmes de propulsion

- Les **NOUVEAUX SYSTÈMES DE PROPULSION** sont basés sur les mêmes idées de base:
 - Arrêter le moteur si à l'arrêt: 8% gain de CO₂
 - Récupération d'énergie au freinage : 13% de CO₂
 - Downsizing du moteur : 30% CO₂ de gain
 - Hybridation complète: 45% CO₂ de gain
- **MAIS** on doit également jouer sur **D'AUTRES LEVIERS**:
 - Structure légères : aluminium, matériaux composites, formes et profils optimisés de la structure
 - Pneus à bas coefficient de résistance au roulement
 - Amélioration des performances aérodynamiques (C_x, surface frontale)
- **CARBURANTS** avec moins de carbone
 - H₂, CH₄.

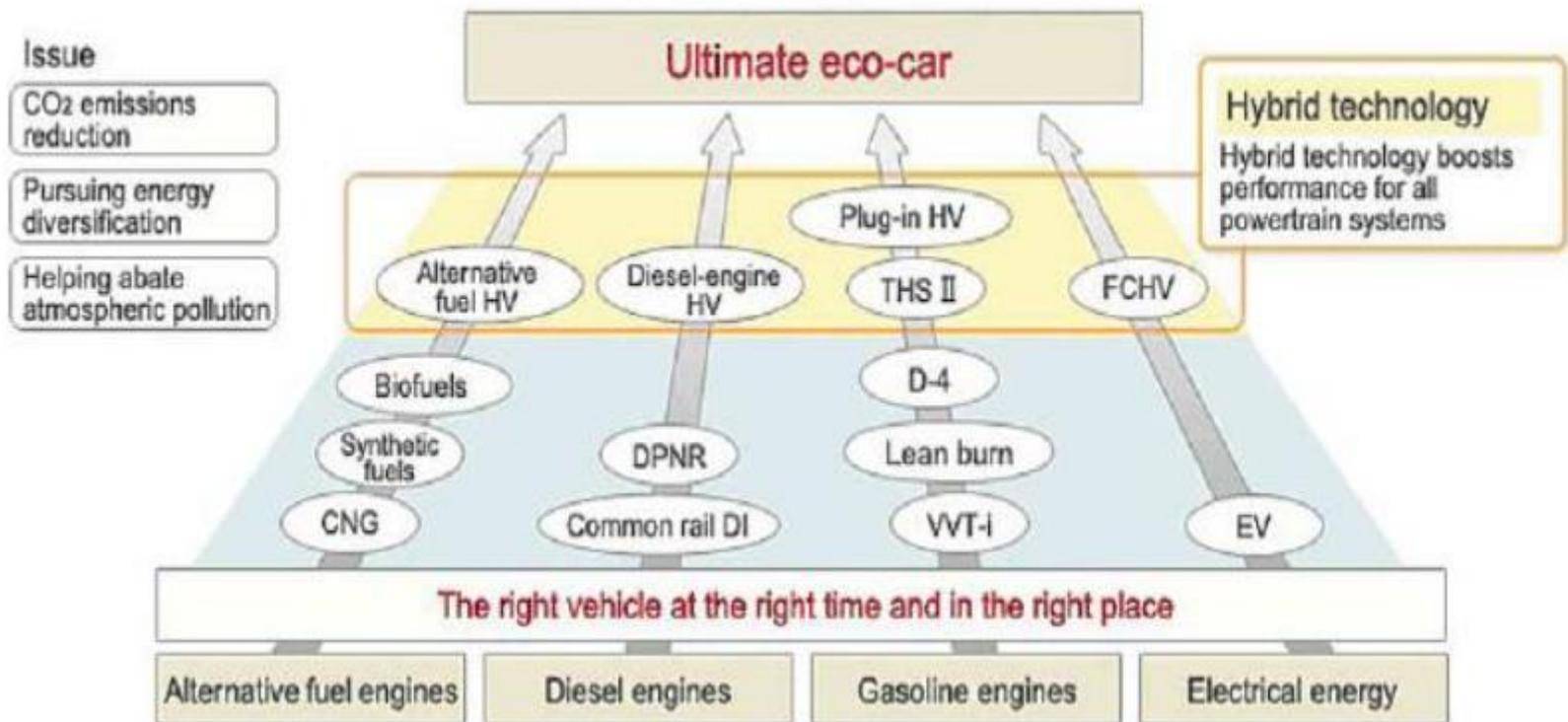
Le choix du carburant

- Valeur énergétique des carburants



Réduire les émissions: la feuille de route des constructeurs

- La feuille de route des constructeurs (ici Toyota) pour la réduction des émissions de CO₂.

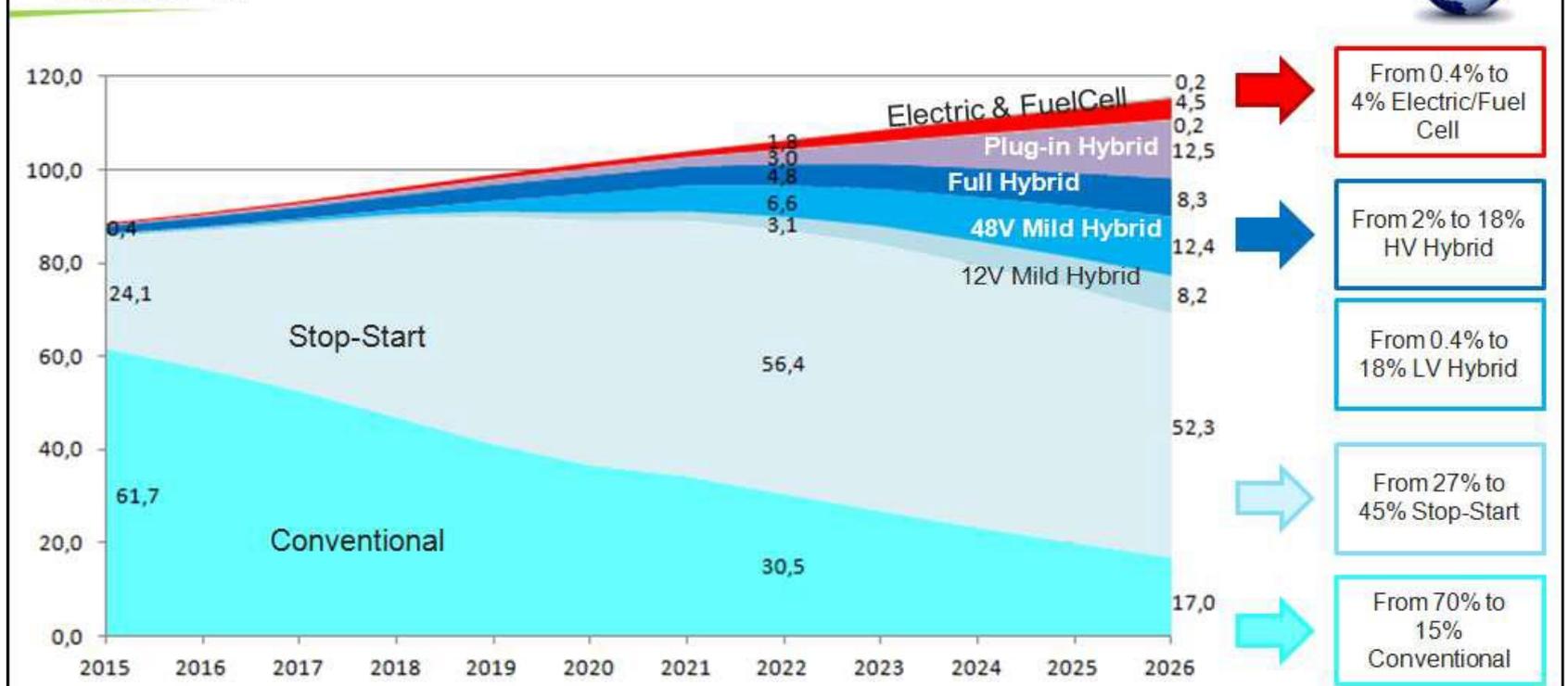


Un glissement dans les technologies

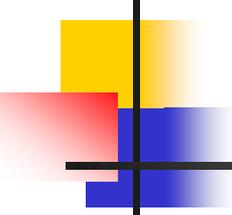


Electrification – Worldwide

Vehicles <6T

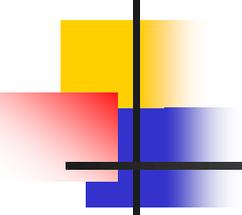


Source: VALEO



Un glissement dans les technologies

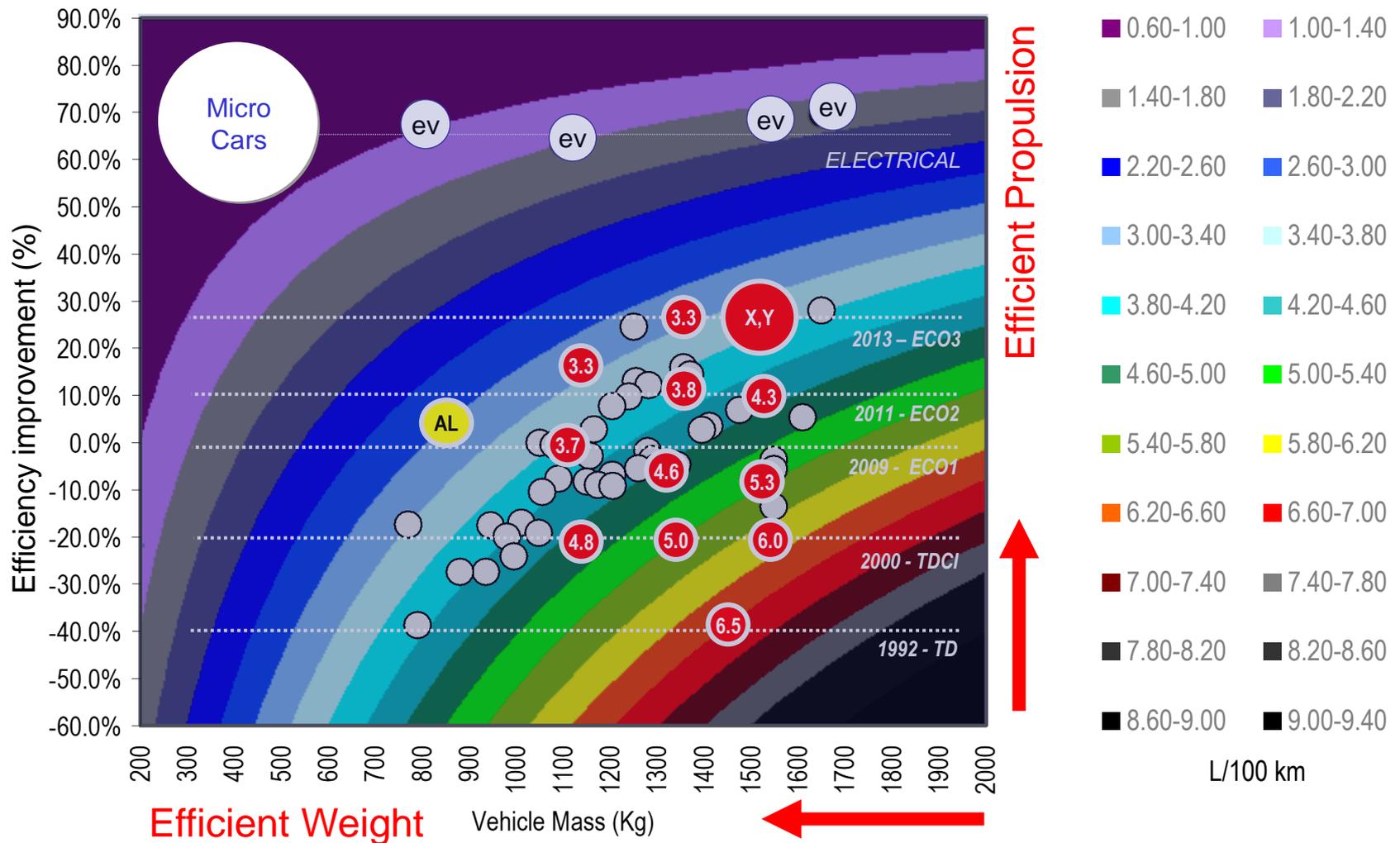
- CHANGEMENTS DANS LES SYSTEMES DE PROPULSION
 - **Diesel** chute mais reste dans les véhicules destinés au longs courriers et les véhicules à bas coût
 - Le **CNG** et le **LNG** fournissent une alternative crédible spécialement dans les véhicules qui ont besoin d'autonomie.
 - Les **véhicules électriques EV** gagnent du terrain mais restent axés sur les applications urbaines et sont dans l'attente de nouvelles batteries
 - Les **véhicules Plug-In Hybrid** sont le choix qui va s'imposer pour le segment premium pour passer les tests d'émission avec un coût acceptable
 - L'**hydrogène et la pile à combustible** en embuscade pour augmenter l'autonomie des véhicules électriques et zéro émissions



Le prochain défi: l'allègement des véhicules



Economie de carburant vs masse du véhicule

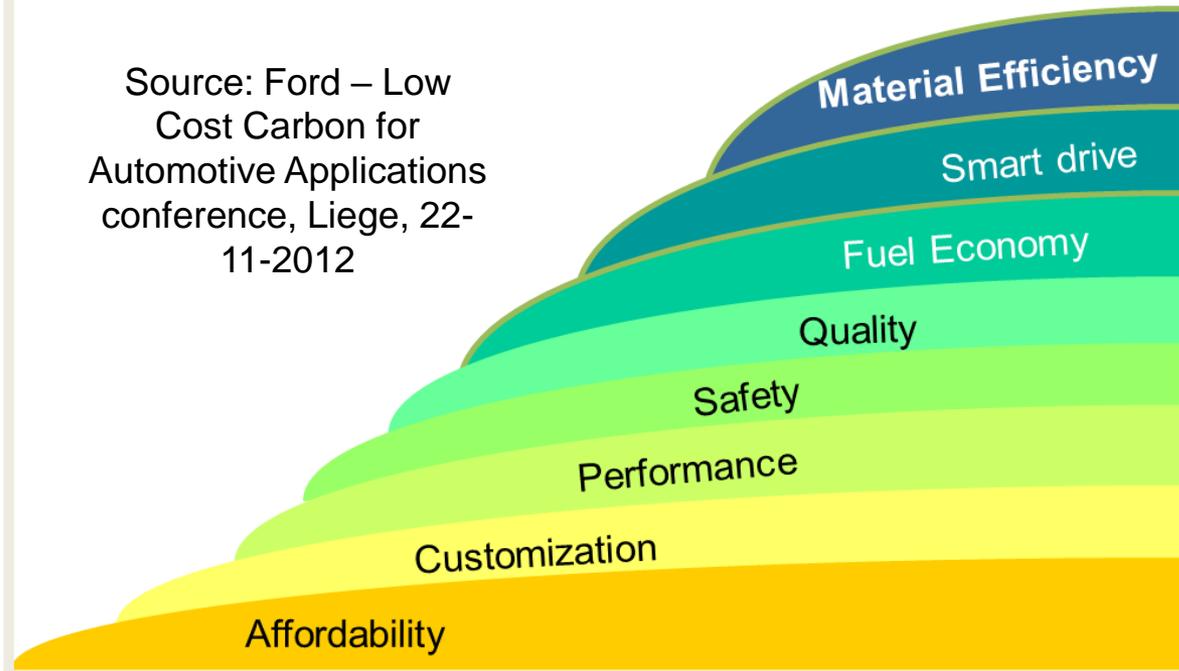


Les défis dans l'industrie automobile

Automotive Mass Market demand

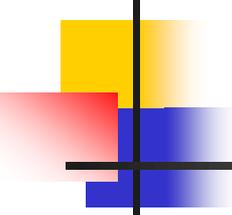


Source: Ford – Low Cost Carbon for Automotive Applications conference, Liege, 22-11-2012



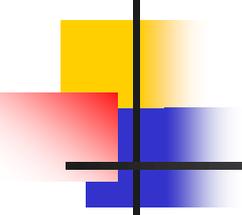
Time





Matériaux pour l'automobile

- 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



Le changement de mode de consommation de mobilité

Modification du mode de consommation de mobilité

Ownership



Personal mobile living space



Traditional Car Market

Autonomous Driving



Mobility on Demand



Manual Driving

Mobility Providers

Service

Car Manufacturers

Concept de mobilité personnelle

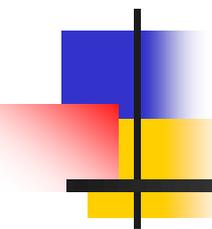
- Vision de plus petits véhicules très mobiles et très intelligents
 - Motorisation électrique
 - Batteries ou pile à combustible
 - Matériaux légers
 - Adapté à la circulation urbaine



Renault Twizy

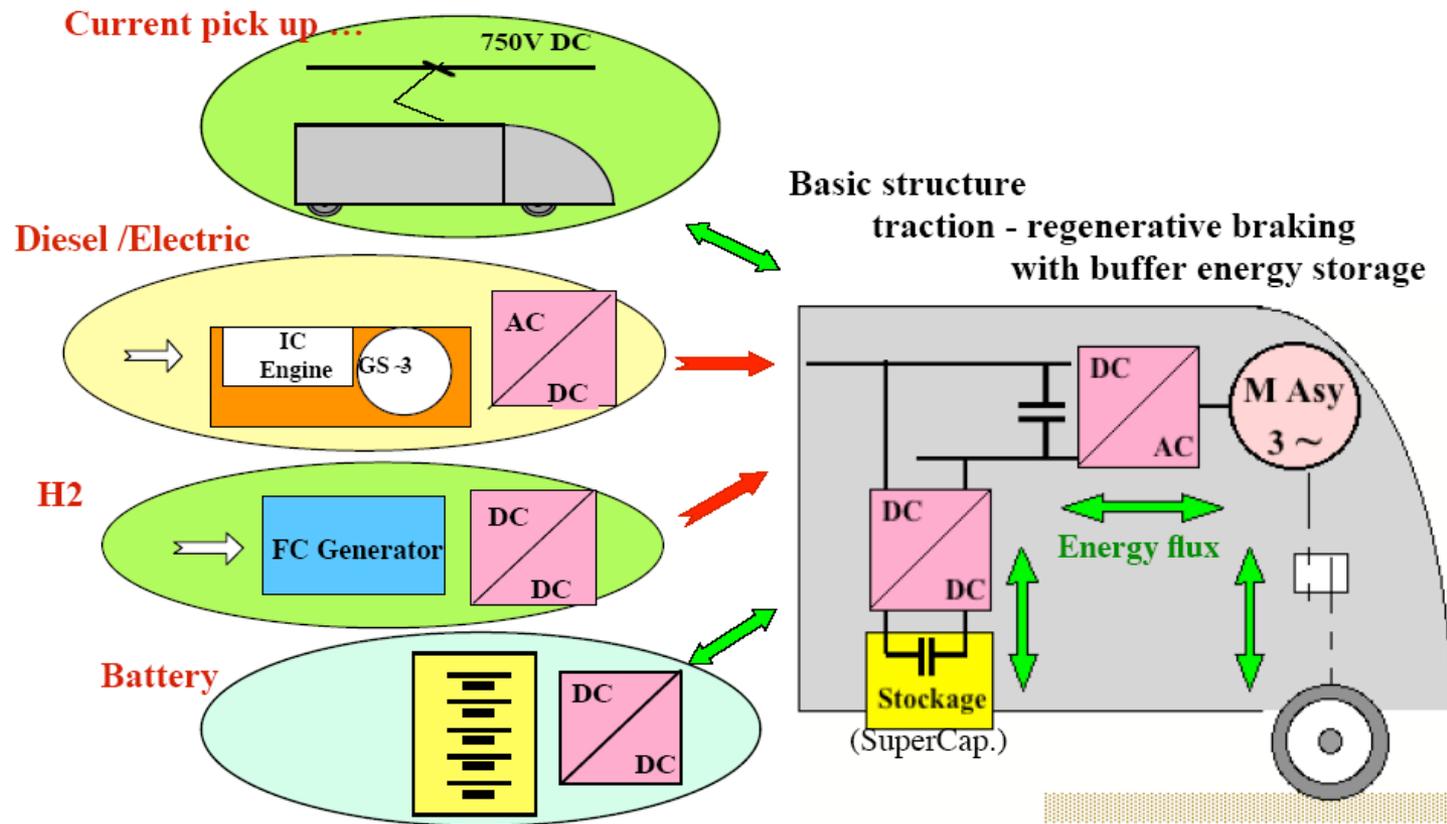


Personnal Mobility Concept de
Toyota



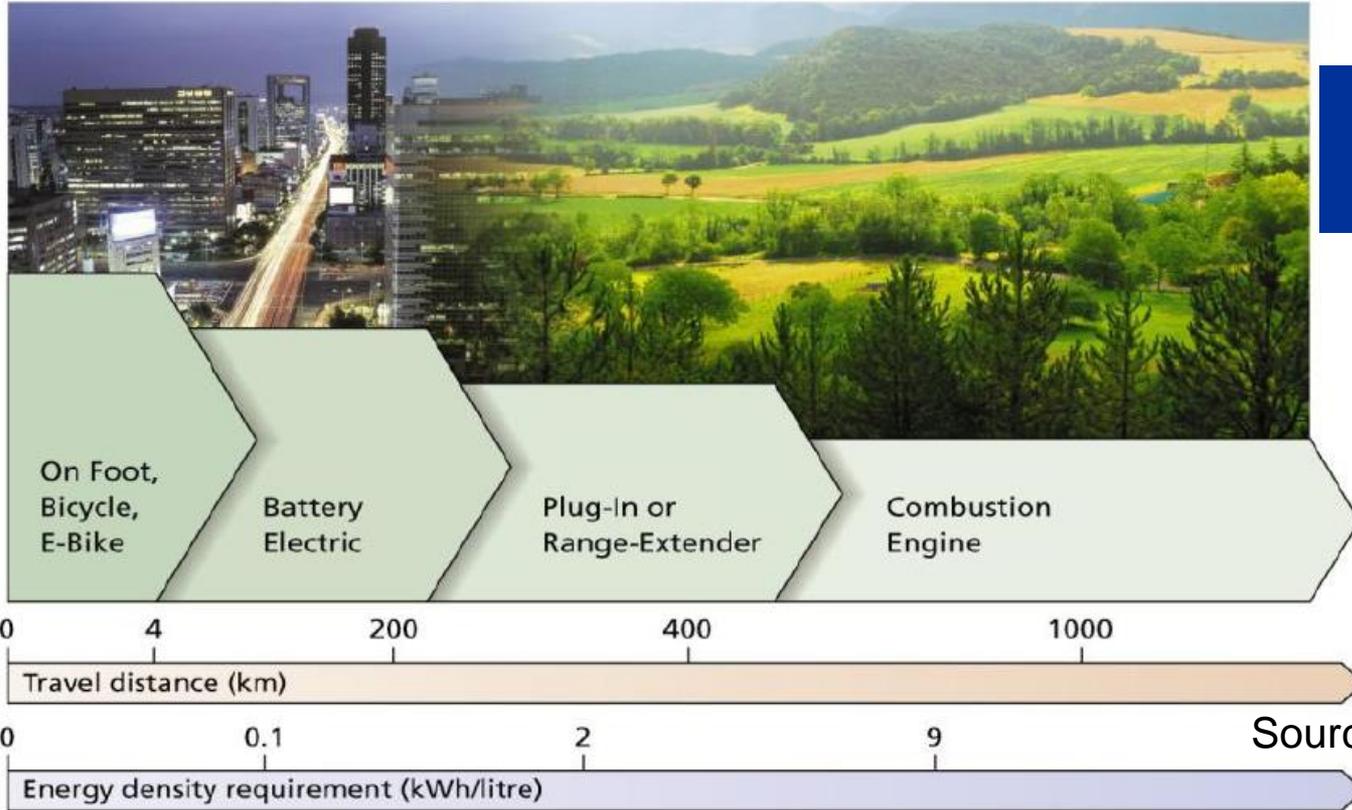
Conclusions

Le moteur du futur



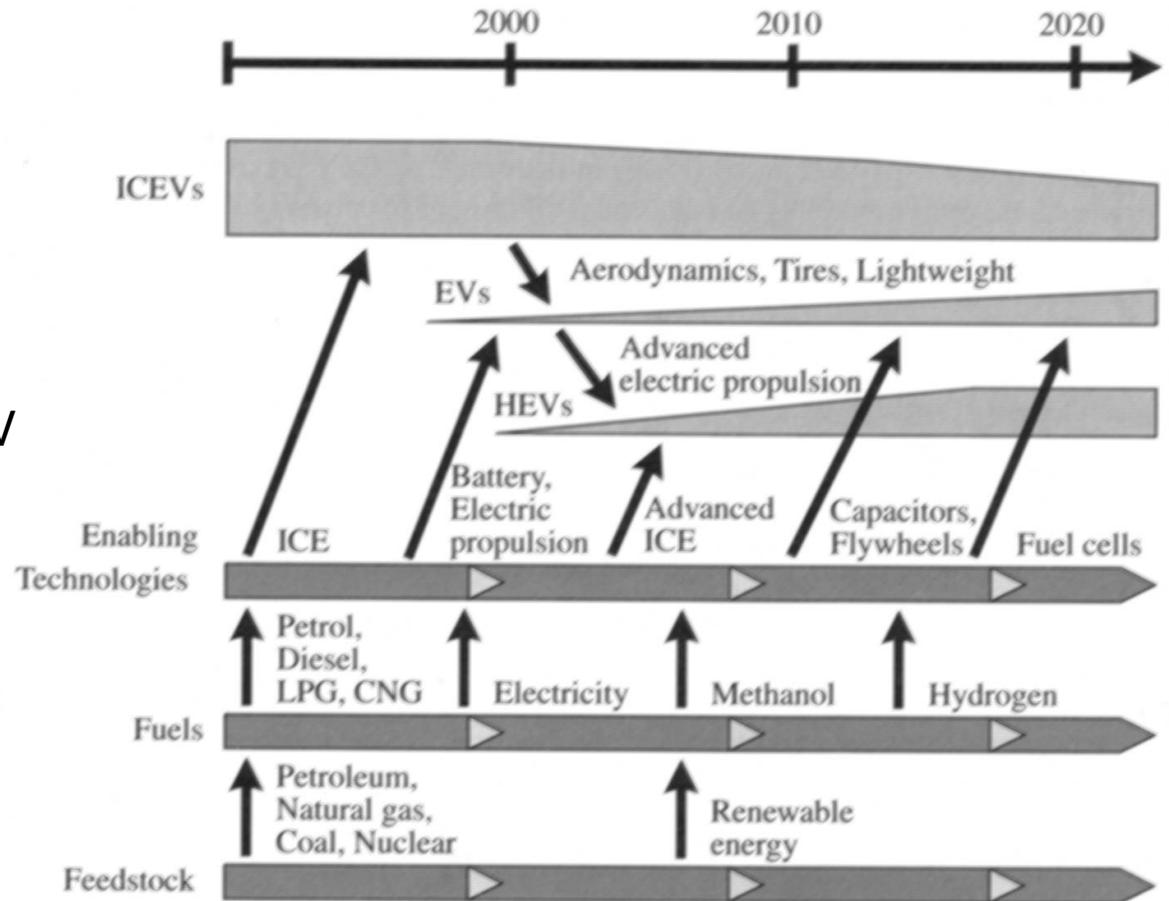
Véhicules multi sources

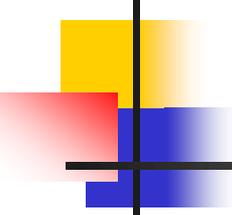
LES OBJECTIFS POUR L'EUROPE EN 2030 – 50% D'EFFICACITE EN PLUS



Échéances prévisibles pour l'application des nouvelles technologies

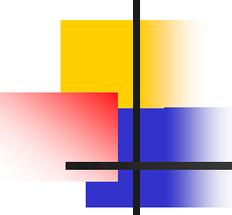
Chang & Chau:
Développement des
tendances en EV et HEV





Conclusions

- 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
- Recherche et développement pour le moyen et long termes
 - Véhicules hybrides électriques (5 à 10 ans)
 - Piles à combustible (10 à 15 ans?)
- Le pétrole et les moteurs à pistons ne pourront être remplacés que **par plusieurs solutions alternatives (carburants et systèmes de propulsion)**, chacun étant le mieux adapté dans une niche.



Références

- Livret Blanc de la DG Énergie et Transport de la Commission de la CE sur la « Politique européenne des transports à l'horizon 2010 : l'heure des choix » disponible sur le site http://europa.eu.int/comm/energy_transport/fr/lb_fr.html
- Ph. Pinchon. « Futures évolutions des motorisations dans l'automobile ». L'automobile du futur: les technologies de l'IFP. 6 mai 2004.
- Vlacic L. Parent M. & Harashima F. : « Intelligent Vehicle Technologies ». Butterworth Heinemann, 2001.
- CC Chan & KT Chau Modern Electric Vehicle technology. Oxford Science Publication, 2001.
- CM Jefferson & RH Barnard. Hybrid Vehicle Propulsion. WIT Press. 2002.
- Energy Technology and Fuel Economy. US Department of Energy. www.fueleconomy.gov/
- FEBIAC: www.febiac.be