

L'Automobile face à ses contraintes Energie et Métaux



Nicolas Meilhan
Consultant Principal, Frost & Sullivan

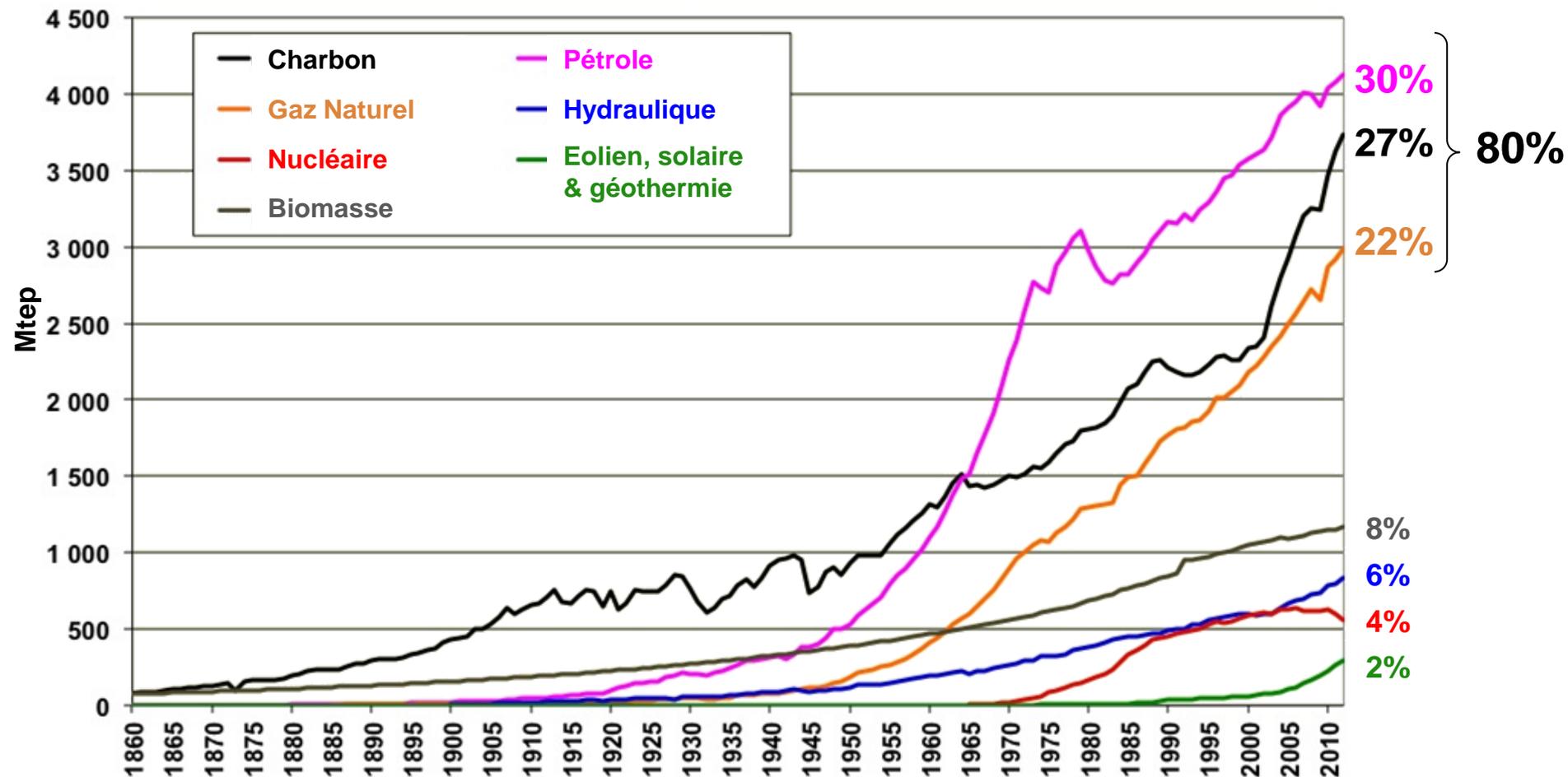
15 Septembre 2014

Quelle est l'énergie du passé?

Le pétrole reste la principale source d'énergie, mais le gaz et le charbon lui ont repris des parts de marché ces dernières années. La part des énergies fossiles dans la consommation d'énergie mondiale ne devrait baisser que très modestement de 80% en 2013 à 75% en 2040

Evolution de la consommation mondiale d'énergie primaire

- Millions de tonnes équivalent pétrole, 1860 à 2012 -



Sources: Shilling et al., 1977, et BP Statistical Review, 2013

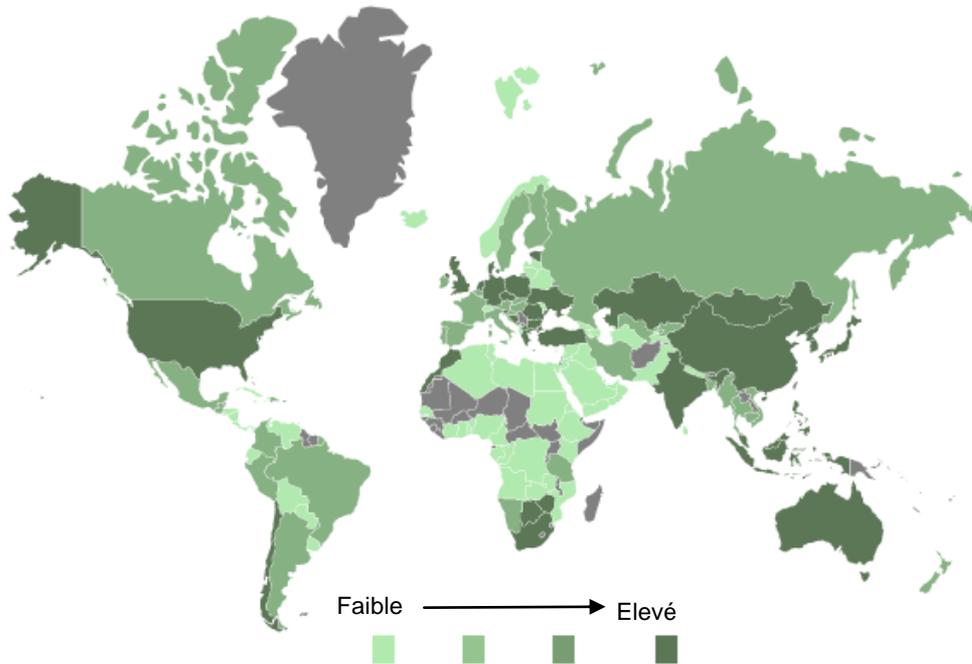
Et moi qui croyais que le charbon était une énergie du passé...

Le charbon a effectivement permis la révolution industrielle au 18^{ème} siècle. Mais c'est aussi l'énergie du futur – il devrait dépasser le pétrole et devenir la 1^{ère} source d'énergie d'ici 2015

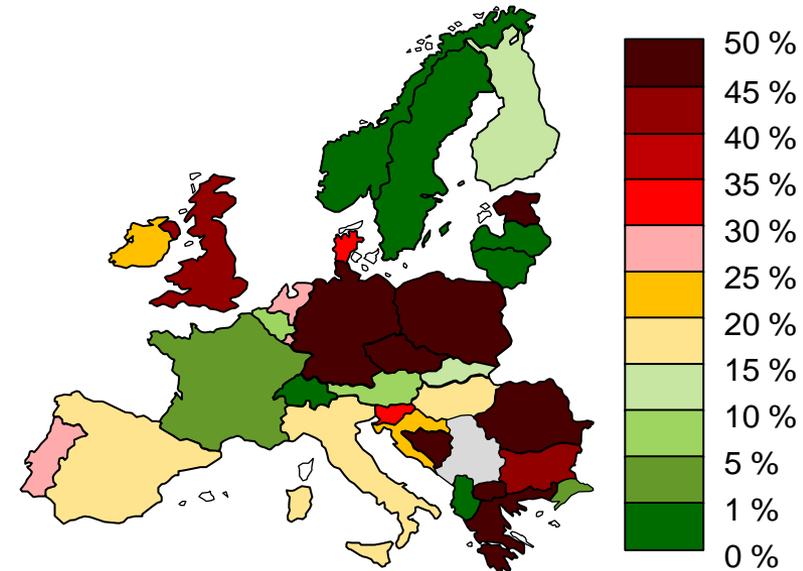
Production d'électricité à base de charbon

- % de la production totale d'électricité en 2012-

Monde



Europe



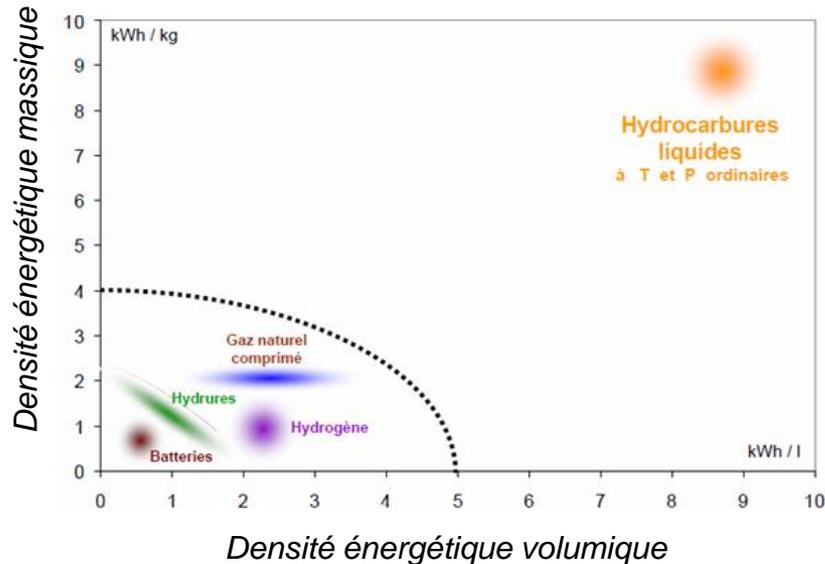
40% de l'électricité consommée dans le monde est produite à base de charbon

Source: Worldbank

Restera-t-il encore du pétrole en 2100?

La principale question est surtout de savoir pendant encore combien de temps disposerons-nous de pétrole peu cher pour faire tourner notre économie (et nos voitures..)

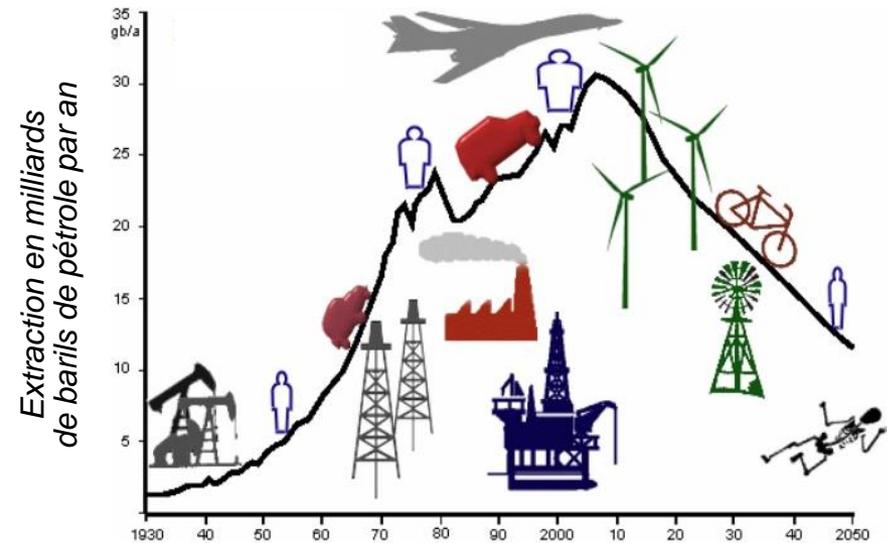
Densité énergétique des différentes énergies utilisées dans le transport



1kg de pétrole contient autant d'énergie que 100 kg de batteries

Evolution de l'extraction d'hydrocarbures liquides

- 1930 à 2050 -



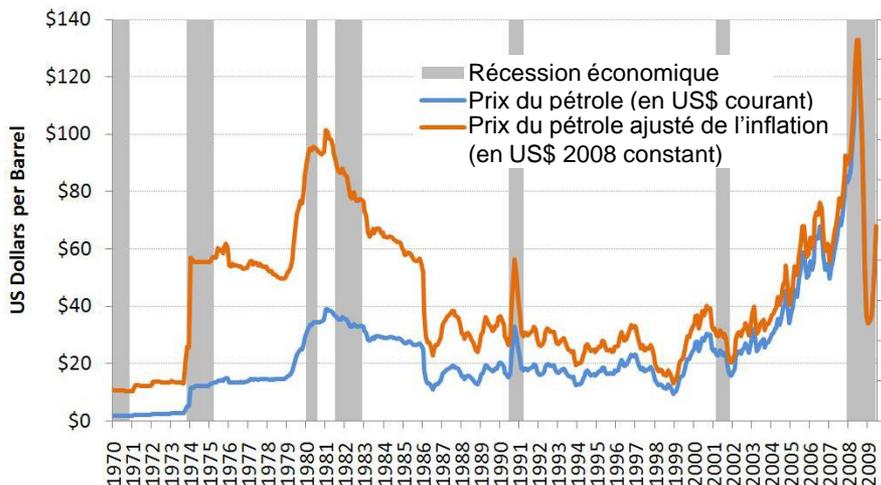
Ce n'est pas la taille du réservoir qui compte mais la taille du robinet

Source : Pierre-René Bauquis, Jean-Marie Bourdairé

Houston, we have a problem...

Certains champs de pétrole ont besoin d'un baril de pétrole à plus de 100\$ pour être rentables alors que la demande de pétrole se contracte à partir de 102\$ aux US et de 120\$ en Chine

Récessions économiques vs. prix du pétrole

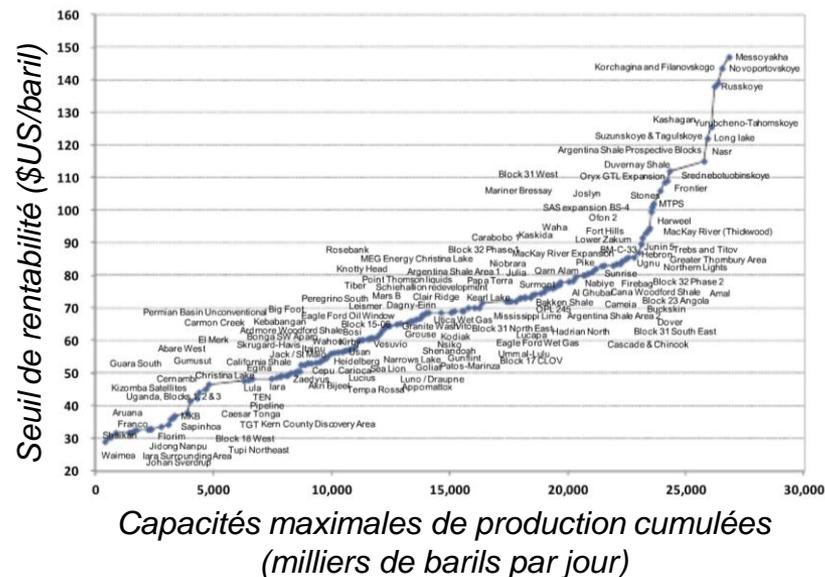


Quatre des cinq dernières grandes crises économiques mondiales ont été précédées par un choc pétrolier

Source: Goldman Sach Research Estimates, Douglas-Westwood Associates

Seuil de rentabilité des champs pétroliers en cours de développement

- Top 360 des champs pétroliers -

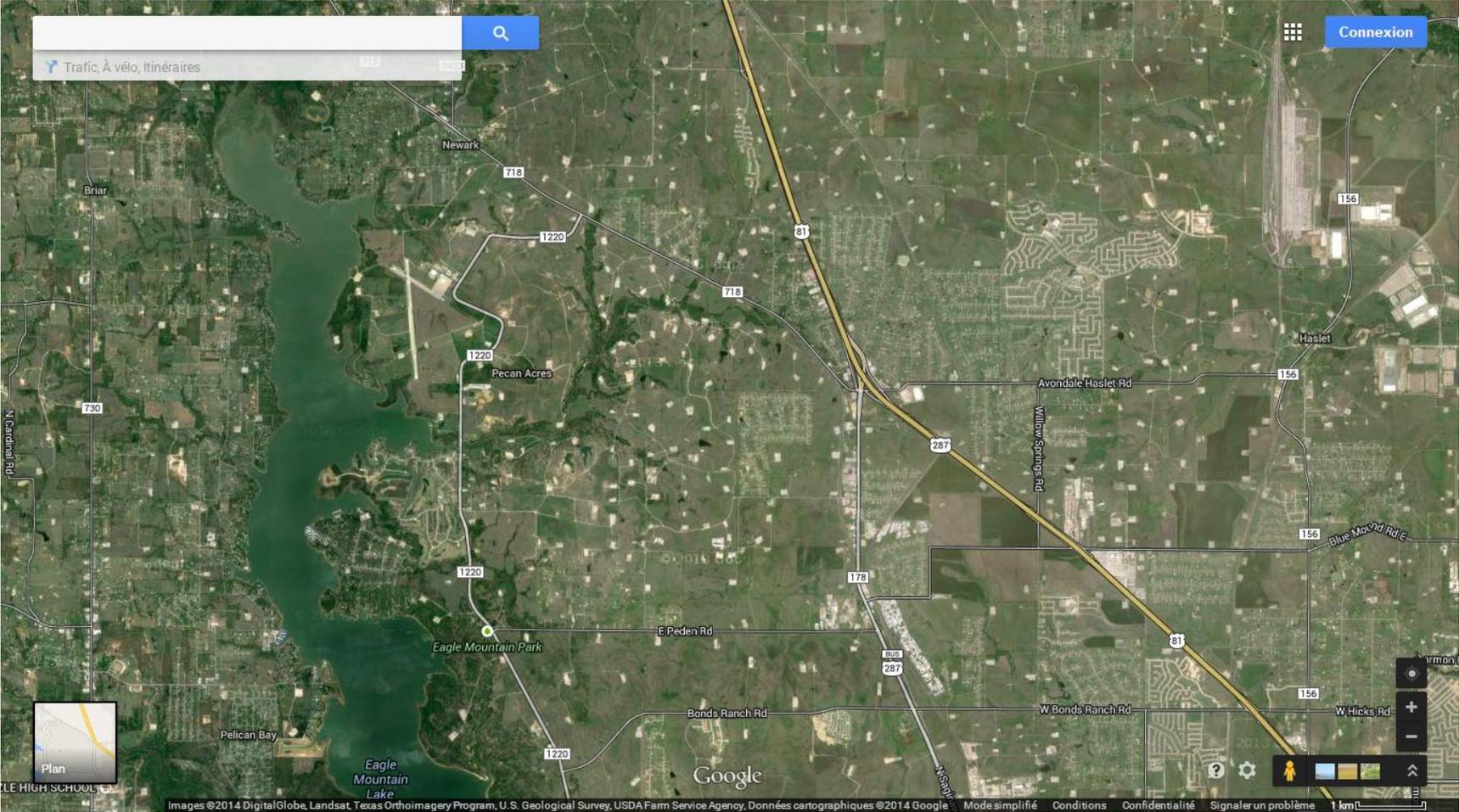


- Le pétrole de schiste américain coûte 80\$ / baril à produire
- Le champ pétrolier de Kashagan a besoin d'un pétrole à 125\$ /baril pour être rentable

La solution n'est-elle pas le gaz et le pétrole de schiste?

A court terme, peut-être aux Etats-Unis avec 40% de la consommation de gaz en 2013, à plus long terme probablement pas en Europe avec seulement 10% de la consommation de gaz en 2030

Vue aérienne d'un champ d'exploitation de gaz de schiste au Texas - Cliquez sur l'image -



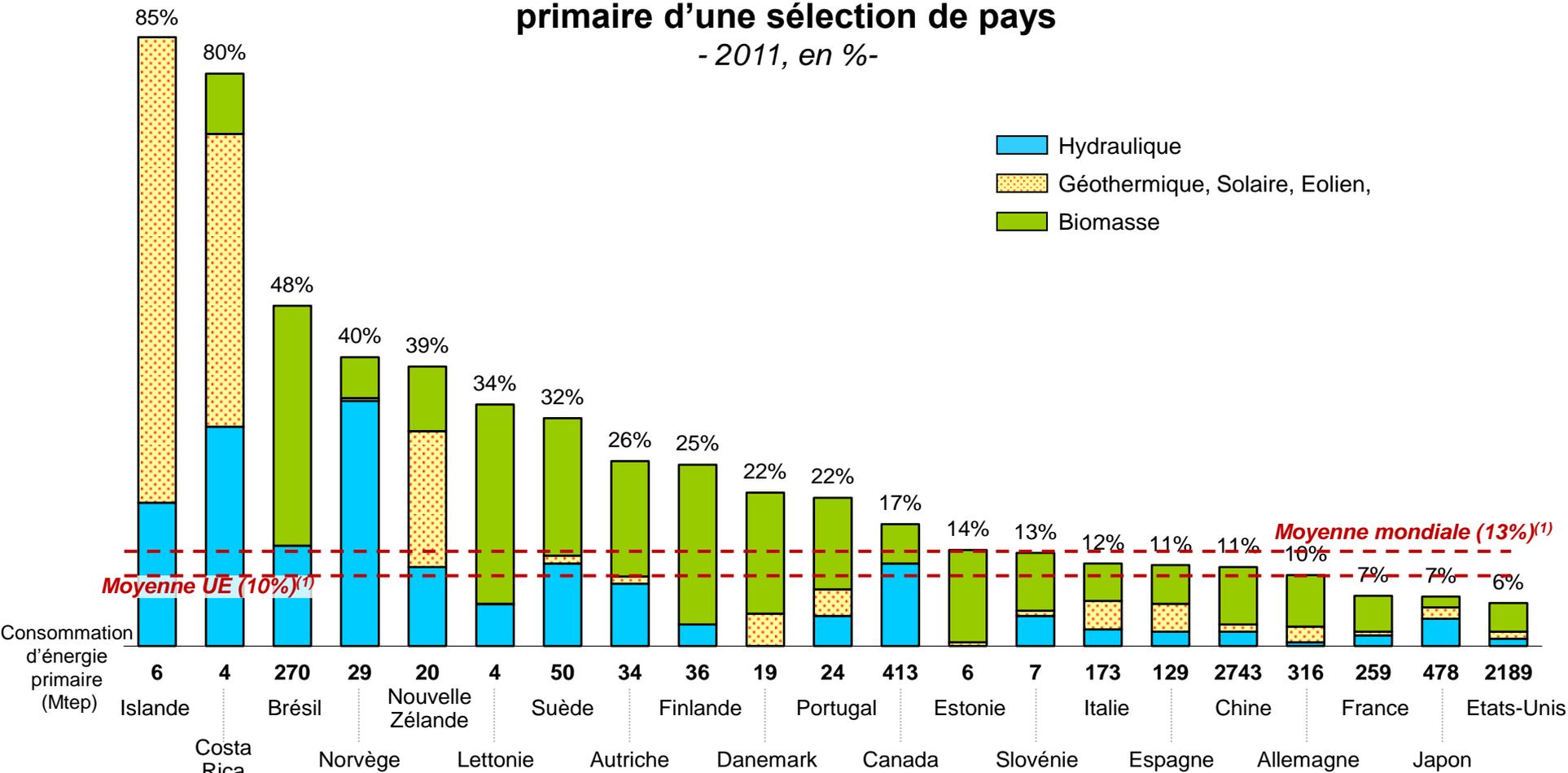
Source : Google maps: <https://goo.gl/maps/gE9Dp>

Ne peut-on pas avoir une énergie 100% renouvelable comme au Moyen-âge?

Les pays gâtés par la nature - forêts, montagnes ou géothermie - pourront s'en rapprocher ; pour les autres, ce sera plus compliqué à moins d'une baisse significative de la consommation

Part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie primaire d'une sélection de pays

- 2011, en %-



Note: (1) Based on IEA conversion ratios, 16% by applying 33% conversion factor
 Sources: Eurostat, IEA, Frost & Sullivan analysis

Quelle est la véritable énergie du futur alors?

Celle que nous ne consommerons pas!

| Secteur | kep / personne en 1995 | kep / personne Meilleure techno ⁽¹⁾ | Commentaires |
|-------------------------|------------------------------|---|---|
| Logement | | | |
| Chauffage | 740 | 300 | • Isolation thermique |
| Cuisine | 35 | 25 | • Meilleur électroménager |
| Autres | 70 | 35 | • Veille |
| Tertiaire | | | |
| Chauffage | 415 | 200 | • Isolation thermique |
| Usages spécifiques | 90 | 50 | • Veille |
| Nourriture | | | |
| | 360 | 250 | • 50% d'économies sur la réfrigération et la cuisson |
| Industrie | | | |
| Produits intermédiaires | 625 | 450 | • Recyclages, éco-process |
| Equipements | 150 | 130 | |
| Transports | | | |
| De personnes | 490 | 250 | • Voitures à 4 litres / 100 km |
| De biens | 315 | 200 | • Réduction de la puissance des camions, fret ferroviaire |
| Total | 3290 | 1890 | |

- Presque 50% d'économie d'énergie possible sans impact significatif sur notre niveau de vie...ce n'est sans doute pas assez mais c'est déjà un bon début!
- Mais remplacer l'ensemble des équipements existants prendra énormément de temps – pour le parc de voitures, il faut compter entre 10 et 15 ans au moins

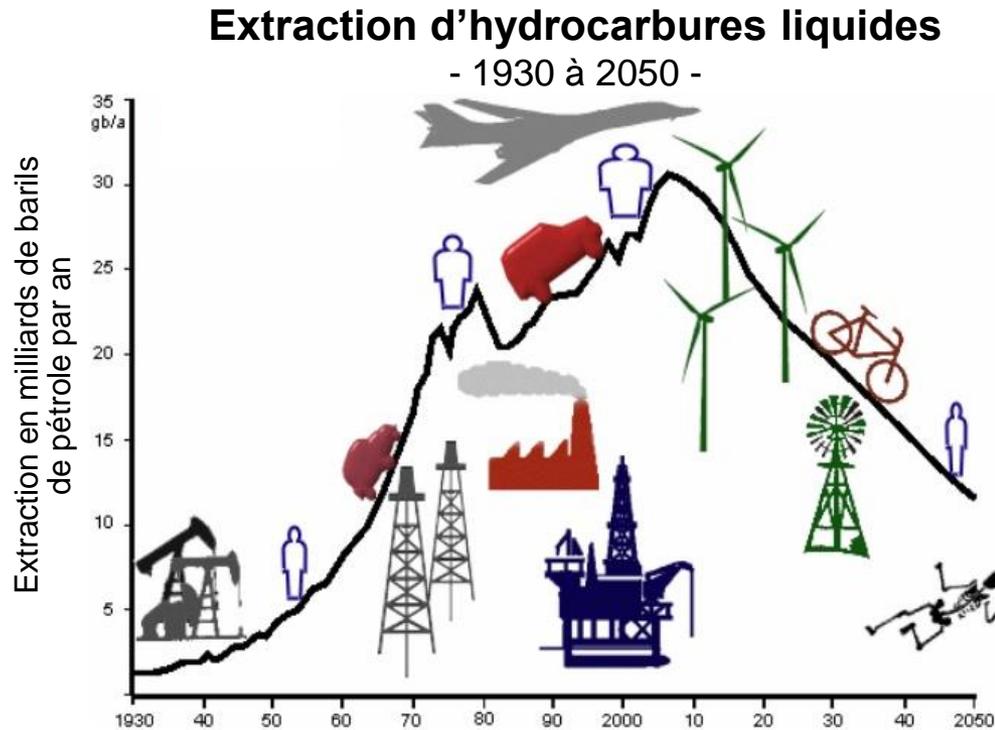
Eteindre nos équipements électriques au lieu de les laisser "veiller" ... 5 à 6 TWh en France - presque un réacteur nucléaire!

Note : kep = kilo d'équivalent pétrole; meilleure technologie disponible en 1995

Source: Bernard Multon, ENS Cachan ; Commissariat au plan

Le vélo pour tous, c'est pour quand?

Pas forcément pour tout de suite, mais si l'on ne réduit pas significativement la consommation d'énergie des voitures, cela risque d'être pour très bientôt



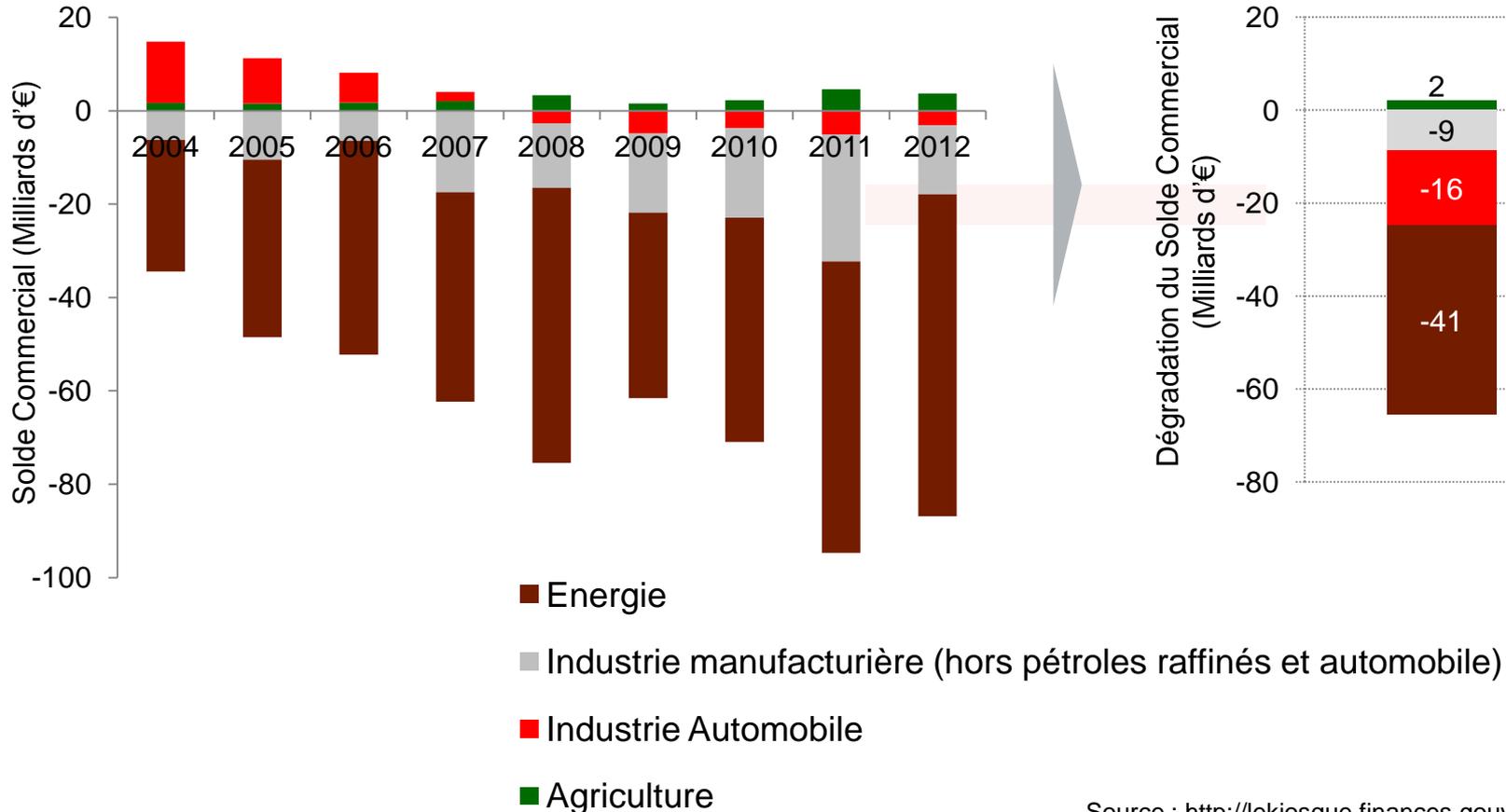
- Les véhicules très peu voraces en pétrole et économiquement très accessibles (pas cher donc simple techniquement cf Logan) ont de l'avenir
- Au Japon, 40% des voitures vendues en 2012 - 2 millions en tout - étaient de Kei-cars – mini voitures de 3,5m et 660 cc maximum

« En France, on n'a pas de pétrole, mais on a des idées »

85% de la dégradation de 65 Mrds d'€ du solde commercial français entre 2004 et 2012 est due à l'augmentation des importations d'énergies fossiles et au déclin de notre industrie automobile

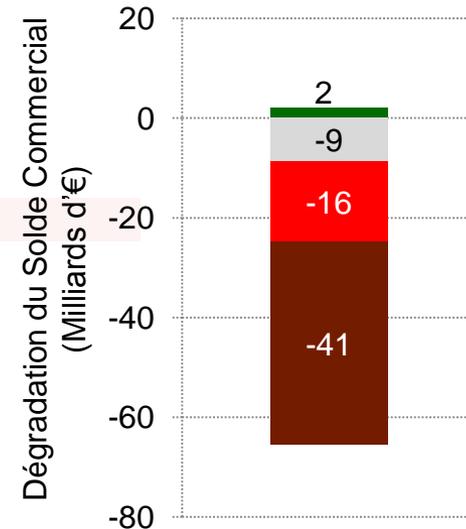
Evolution du solde commercial par produit de 2004 à 2012

- Mrds d'€ -



Dégradation du solde commercial entre 2004 et 2012 par produit

- Mrds d'€ -

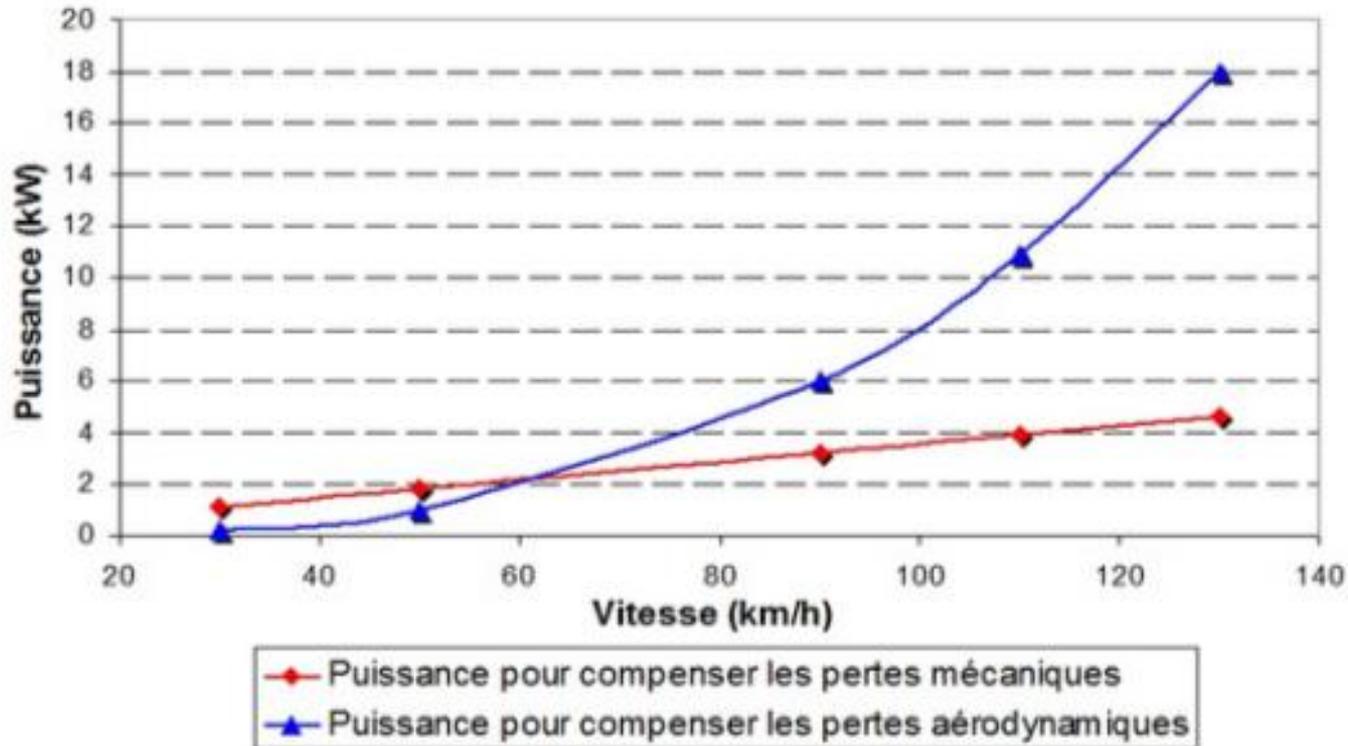


Source : <http://lekiosque.finances.gouv.fr>

Qu'est-ce qui consomme de l'énergie dans notre voiture?

A moins de 60 km/h, c'est le poids qui a le plus d'impact sur la consommation d'énergie.
A plus de 60 km/h, en dehors des villes, c'est l'aérodynamisme

Puissance nécessaire pour vaincre les forces de frottement mécanique et aérodynamique, en ordre de grandeur



Au delà des frottements, c'est la variation de vitesse qui nécessite de l'énergie
→ les accélérations, qui reviennent à faire acquérir une énergie cinétique à une masse

Source : Gregory Launay - www.gnesg.com

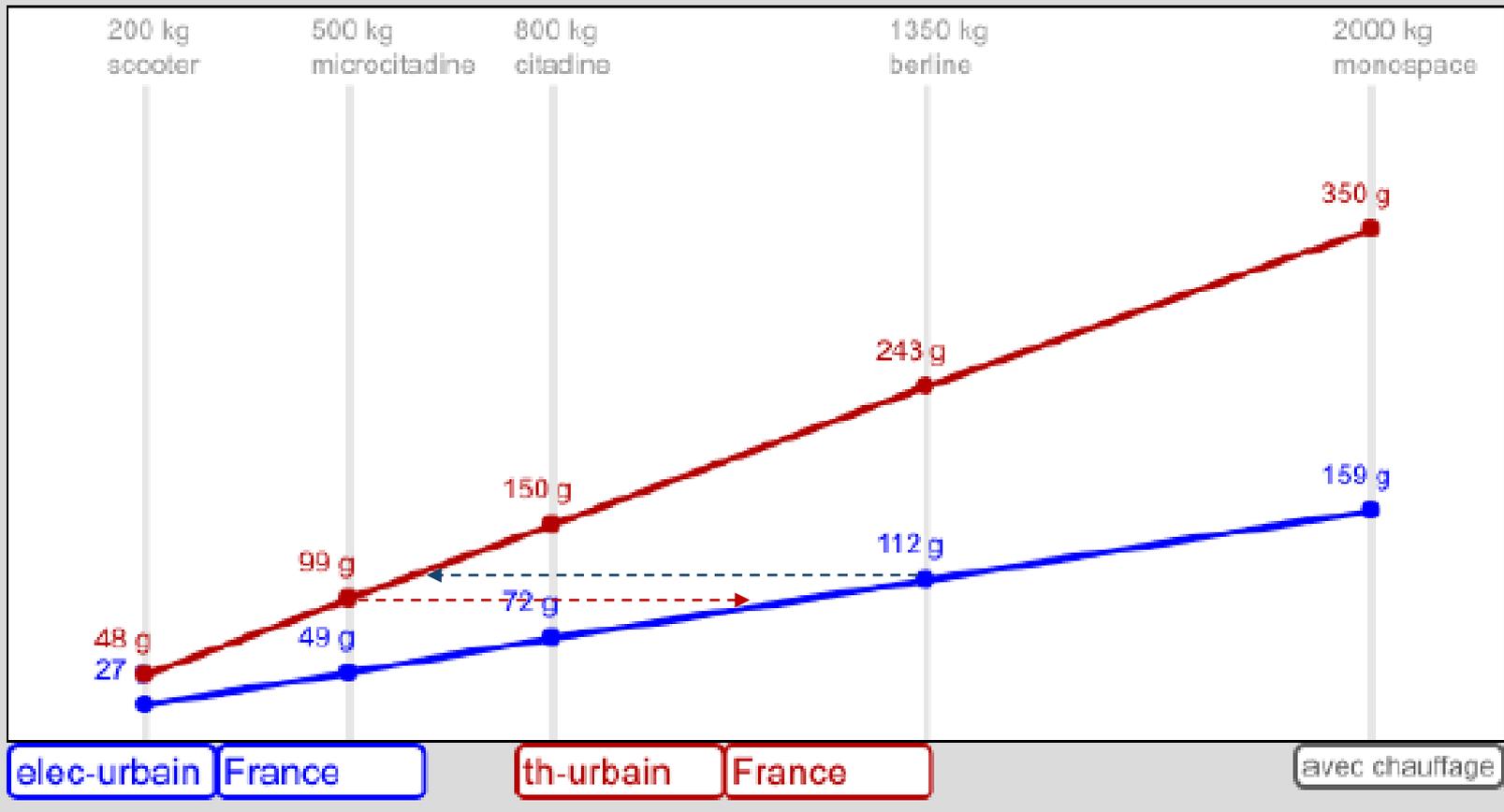
Comment réduire efficacement la consommation d'énergie des voitures?

Et si on réduisait significativement la taille (et le poids) de nos voitures?

Emissions totales de CO2

- Voiture thermique vs. voiture électrique, France-

Emissions gCO2/km (CO2 trajet + CO2 gris)



Source: CEA

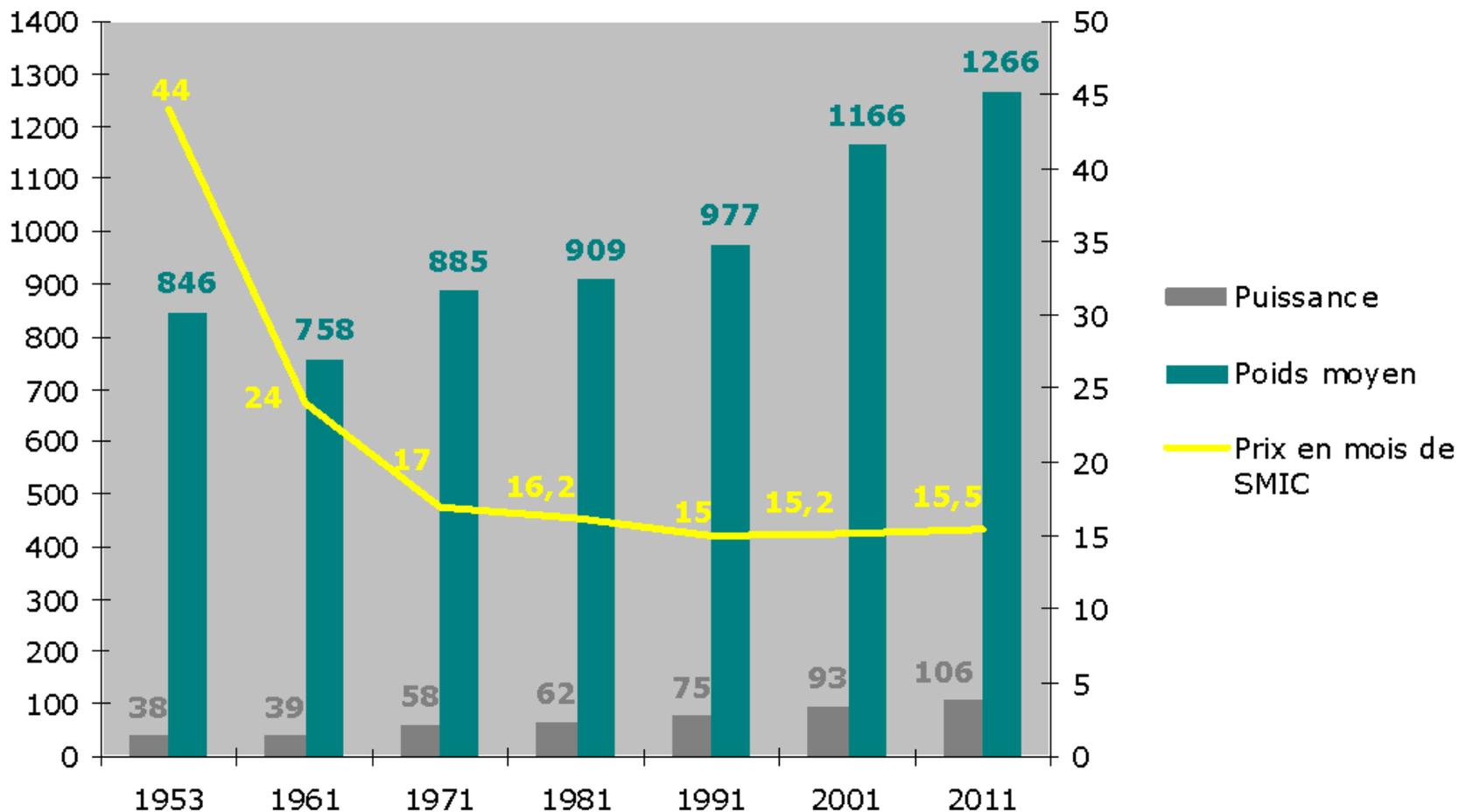
L'évolution du poids de nos voitures depuis 50 ans

→ +10 kg de plus par an, 500 kg en tout!

→ Plus grandes, plus confortables, plus sûres

Evolution de la puissance, du poids et du prix du véhicule particulier

- 1953 à 2011, France -

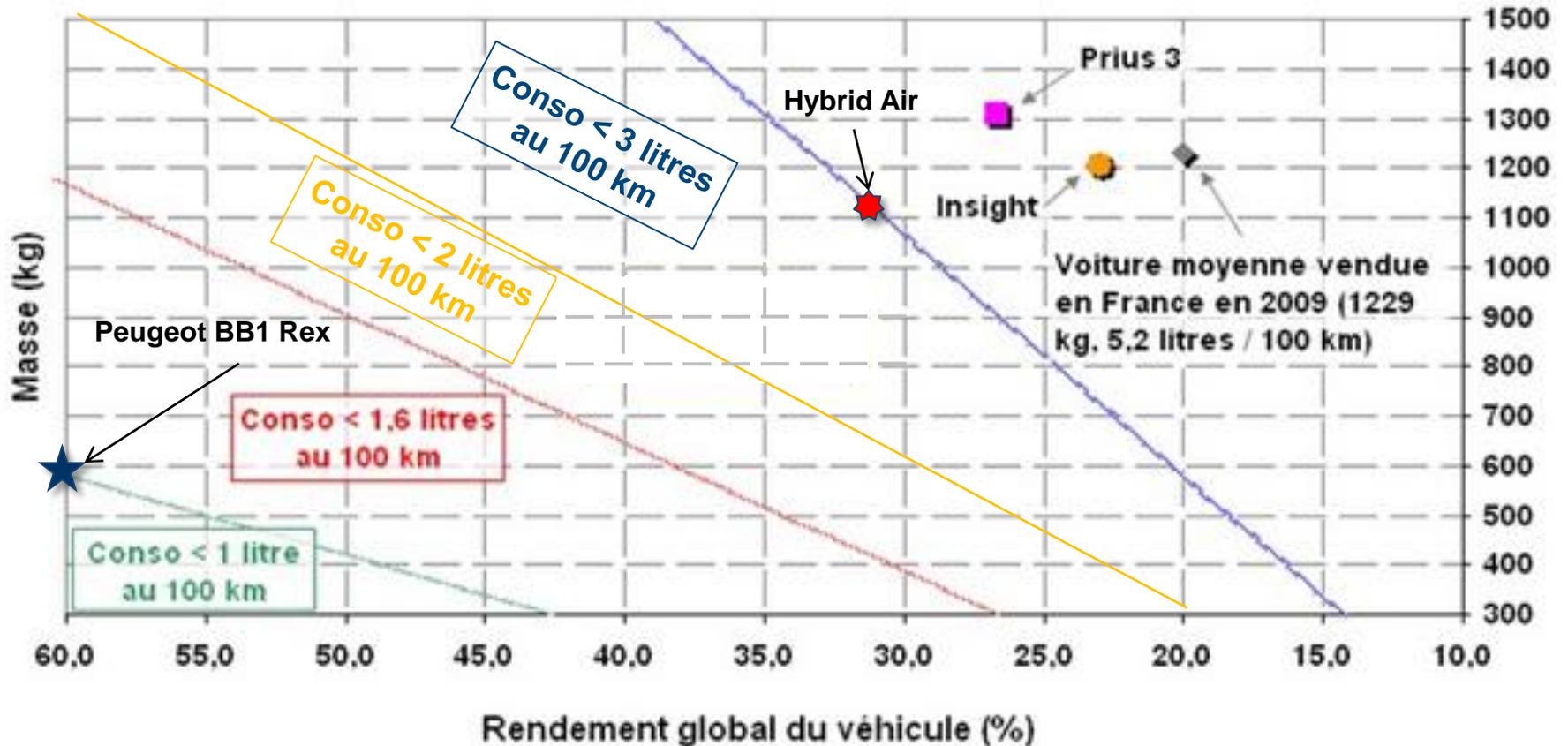


Source : L'Argus

1 L au 100 km – impossible?

Une voiture électrique à prolongateur d'autonomie de 600 kg consommerait 1L/100 km

Consommation d'une voiture en fonction de son poids et de son rendement



Source : Gregory Launay - www.gnesg.com

Equipée d'un prolongateur d'autonomie, la Peugeot BB1 se rapproche très fortement de la voiture urbaine du futur avec une consommation de 1L/100 km et une autonomie totale de 300 km, équivalente à celle d'un scooter

BB1 en chiffres



- 4 places
- Longueur = 2,5 m
- Largeur = 1,6m
- V Max– 90 km/h
- Autonomie – 120 km
- 600 kg dont 100 kg de batteries

| Caractéristiques techniques | BB1 électrique | BB1 électrique avec prolongateur d'autonomie |
|--|------------------|--|
| Poids | 600 kg | 565 kg |
| Puissance et Couple du moteur | 15 kW 320 N.m | |
| Taille de la batterie | 12 kWh | 3 kWh |
| Poids de la batterie | 100 kg | 25 kg * |
| Prix de la batterie | € 4,800 | € 1,200 ** |
| Autonomie électrique | 120 km | 30 km |
| Consommation électrique | 10 kWh/100km | |
| Autonomie totale | 120 km | 300 km |
| Prolongateur d'autonomie: type, cylindrée et puissance | - | 2 cylindre, 0.25 L 15 kW |
| Taille du réservoir | - | 10 L |
| Poids du prolongateur d'autonomie | - | 40 kg |
| Coût du prolongateur d'autonomie | - | 3,500 € |
| Prix du véhicule | 14,800 € | 14,700 € |

* Poids de la batterie= 8.5 kg/kWh ** Prix de la batterie = 400€/kWh

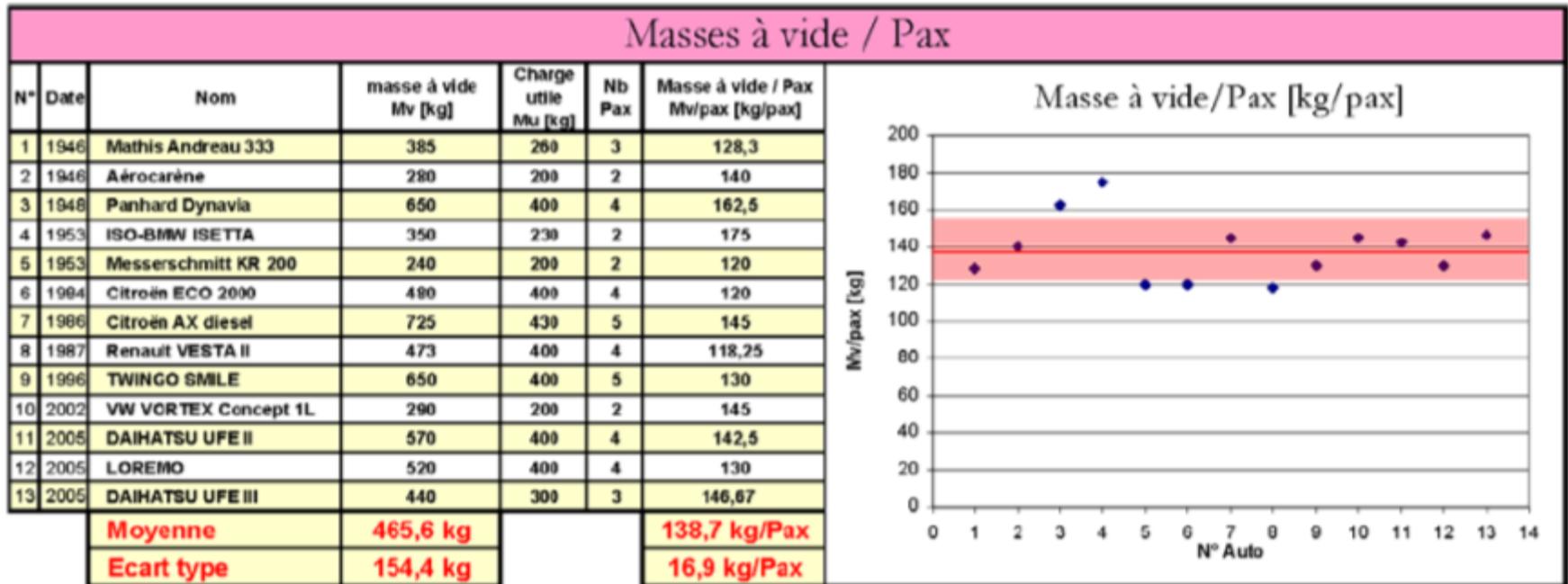
A quoi ressemblera la voiture du futur dans un monde contraint en énergie?

→ 4 places, une masse à vide de 600 kg, une motorisation hybride

Spécifications techniques de la voiture du future

- Véhicule 4 places
- Masse à vide de 600 kg (150 kg/pax)
- Motorisation hybride
- Consommation ≈ 1,5 litre aux 100 km sur route* à 90 km/h
- Consommation < 1 litre aux 100 km sur trajet urbain à 50 km/h

Des exemples à suivre



Source : Matthieu BARREAU & Laurent BOUTIN , Réflexions sur l'énergétique des véhicules routiers

La Mathis Andreau 333 (1946) est un très bon exemple de voiture frugale en énergie que nous pourrions suivre!

3 roues, 3 personnes, 385 kg à vide, 3 mètre 40, 3.5 Litres / 100 km, désignée il y a 2 x 33ans

MATHIS ANDREAU 333 (1946)

Description

| | |
|------------------|---|
| Dimensions | 3,400 m x 1,740 m x 1,425 m (L x l x h) Voie 1,5 m ; Empattement 2,3 m |
| Sièges | 3 |
| GMP | Bicylindre 4 temps 700 cm ³ Refroidi par liquide |
| Puissance | 15 cv à 3000 t/min |
| Boite de vitesse | 4 vitesses |

Performances

| | |
|--------------------------------------|---|
| Masse à vide [kg] | 385 kg |
| Charge utile [kg] | 260 kg |
| Cx _p [-] | 0,22 |
| Sf [m ²] | 1,887 m ² |
| Sr.Cx _p [m ²] | 0,41 m ² |
| Vitesse max | 105 km/h |
| Consommation | 3,5 Litres/100 km |
| Vitesse moyenne [km/h] | 40 50 60 70 |
| Litres aux 100 km | 1,95 2,08 2,3 2,45 |
| Autonomie | Environ 500 km (réservoir de 18 litres) |

Source : Matthieu BARREAU & Laurent BOUTIN ,
Réflexions sur l'énergétique des véhicules routiers



Une photo particulièrement rare : La Mathis-Andreau 333 à la pompe !



Jean ANDREAU (l'homme au béret) devant son œuvre : la Mathis-Andreau 333

Des petites voitures, c'est déjà mieux que des tanks de 2.2 t comme la Tesla S
...et c'est encore mieux quand on monte à plusieurs dedans (covoiturage) ou qu'on se la prête entre voisins (autopartage entre particuliers)!

4 possibilités pour résoudre nos problèmes de saturation d'infrastructures

Plus de routes



Des voitures plus petites



Plus de personnes par voiture



Moins de voitures



Quel est le moyen de transport le plus efficace?

Que ce soit d'un point de vue énergétique ou d'emprise au sol, le bus, le 2 roues et le vélo sont les moyens de transports les plus efficaces dans des espaces limités et contraints



Voiture

1,4 t 10 m² 1,3 personne
 → >1000 kg & 7.7 m² par personne



Quadricycle

500 kg 3 m² 1 personne
 → 500 kg & 3 m² par personne



Bus

12 t 42 m² 30 personnes
 → 430 kg & 1.4 m² par personne



Scooter

125 kg 2 m² 1 personne
 → 125 kg & 2 m² par personne



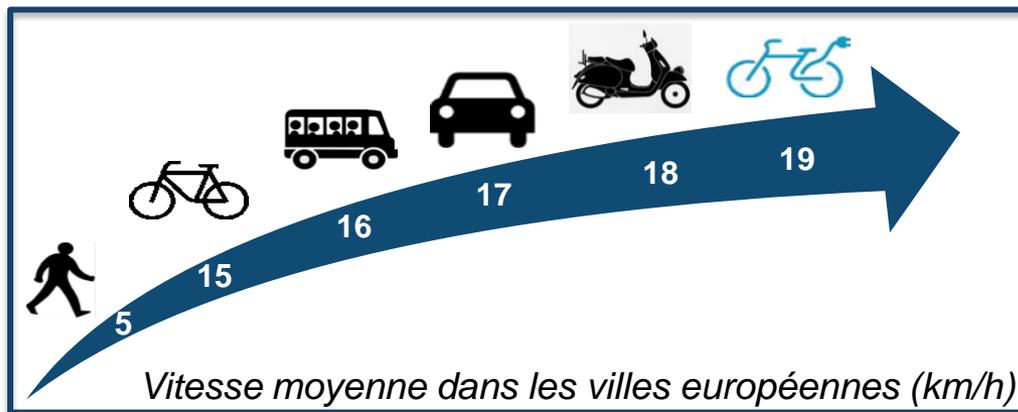
Vélo électrique

20 kg 1 m² 1 personne
 → 20 kg & 1 m² par personne



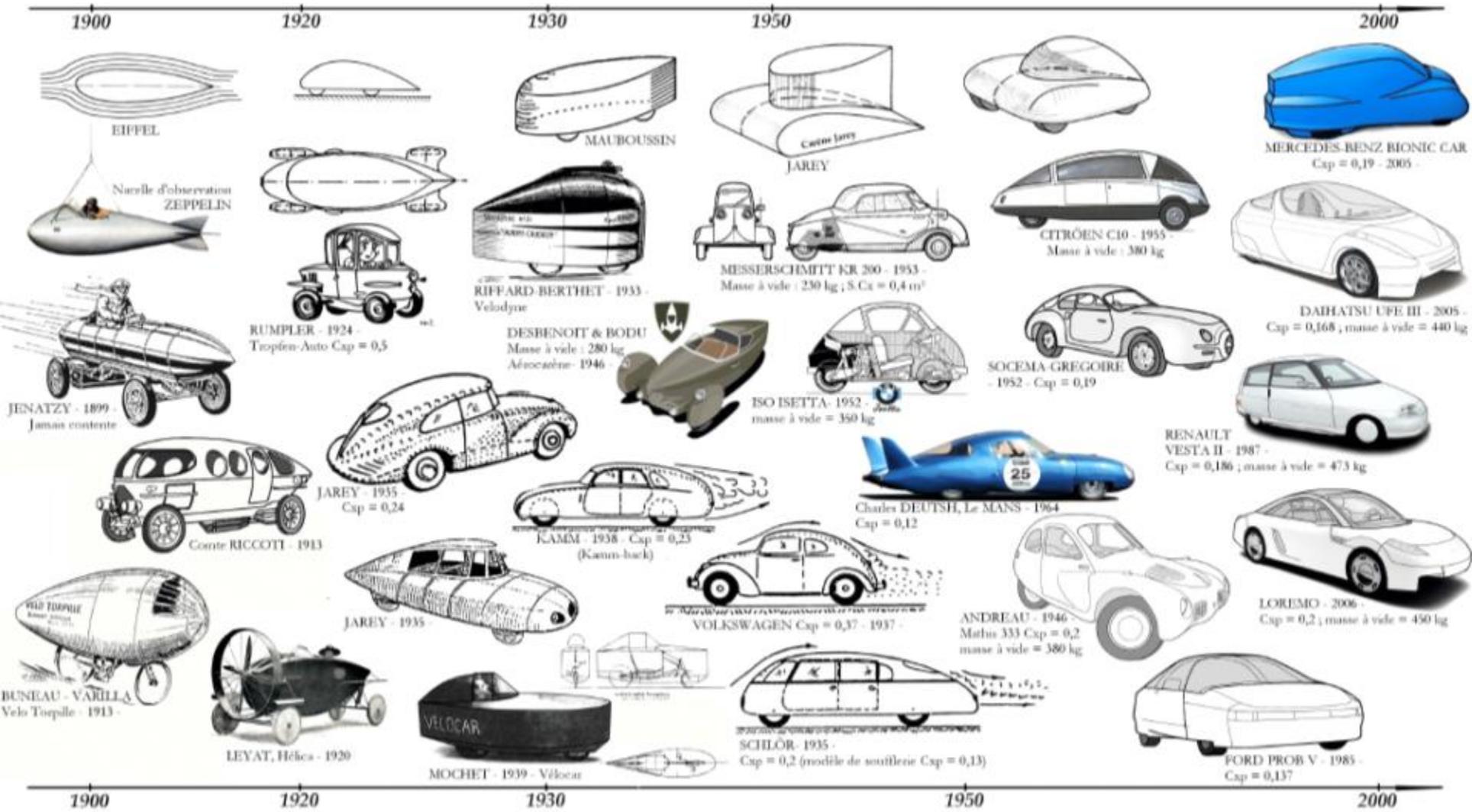
Vélo

10 kg 1 m² 1 personne
 → 10 kg & 1 m² par personne



Source: Frost & Sullivan, PREDIT, 6t - Bureau de Recherche.

Small is Beautiful & Light is Right!



Source : Matthieu BARREAU & Laurent BOUTIN , Réflexions sur l'énergétique des véhicules routiers