

Quel avenir pour la voiture électrique? (EV et HEV)

Frédéric LIVET

SIMAP-ENSEEG-Grenoble

CNRS, UMR 5266, Domaine Universitaire, BP 75

38402 St Martin d'Hères Cedex, FRANCE

email:

frederic.livet@simap.grenoble-inp.fr



Les divers aspects du problème

Plan de l'exposé

1. L'importance du trafic automobile
2. Peut-on, doit-on supprimer l'automobile individuelle?
3. Caractériser les automobiles actuelles
4. L'électricité dans les automobiles?
5. Les problèmes de rendement
6. L'apparition des véhicules électriques
7. Quelles échéances?



Consommation des VI en France

Il y a 30.5 millions de véhicules individuels en France

Ils parcourent 13000 Km par an en moyenne

Ils consomment autour de 7.35 l par 100 Km

Kilométrage annuel autour de 0.4 TKm (0.4×10^{12} km)

La consommation en essence est autour de 29 millions de m³, ce qui correspond à 25 millions de tonnes de pétrole (dépend comment on compte les pertes de raffinage et de transport).

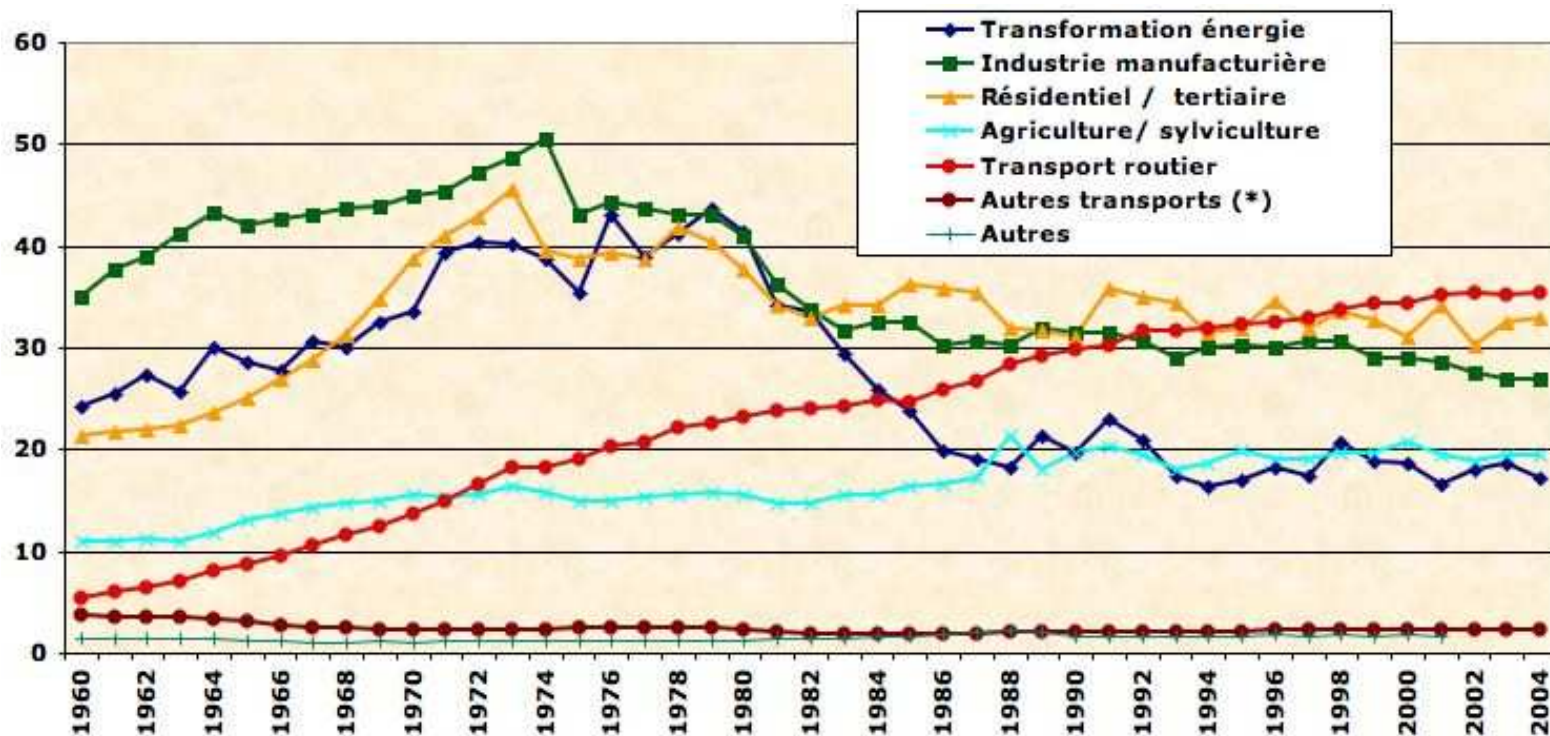
Le transport routier (camions) correspond à 18 millions de tonnes de pétrole et l'avion, bateau.. à 10. Depuis la décroissance de consommation induite par la mise en oeuvre du programme électronucléaire, les émissions de CO₂ françaises ont cessé de diminuer, essentiellement à cause des VI.

Si on estime l'énergie nécessaire à animer ces VI, on trouve de l'ordre de 300 TWh (avec 12 MWh pour une tonne de pétrole). Cela semble rendre déraisonnable la substitution du pétrole par l'électricité, car la production française est autour de 500 TWh. Il faut bien entendu tenir compte des rendements, mais cela nécessite une analyse des besoins d'une voiture.



Evolution Française

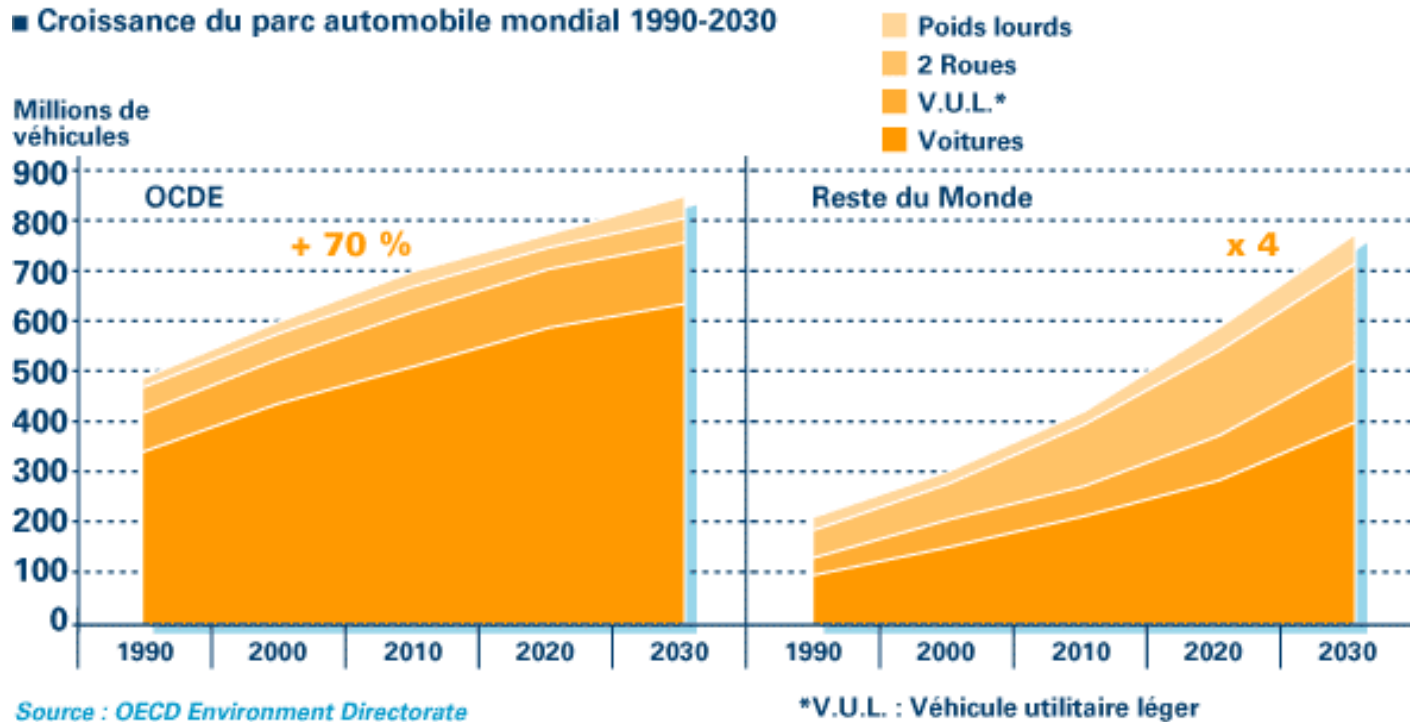
Figure typique trouvée sur le site de Jancovici (cela concerne les émissions de CO₂ en équivalent carbone):



On voit que rien ne semblait affecter cette tendance, d'où:

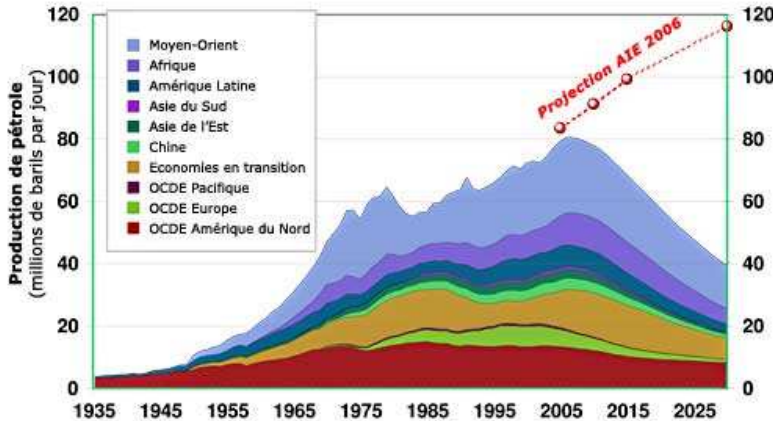
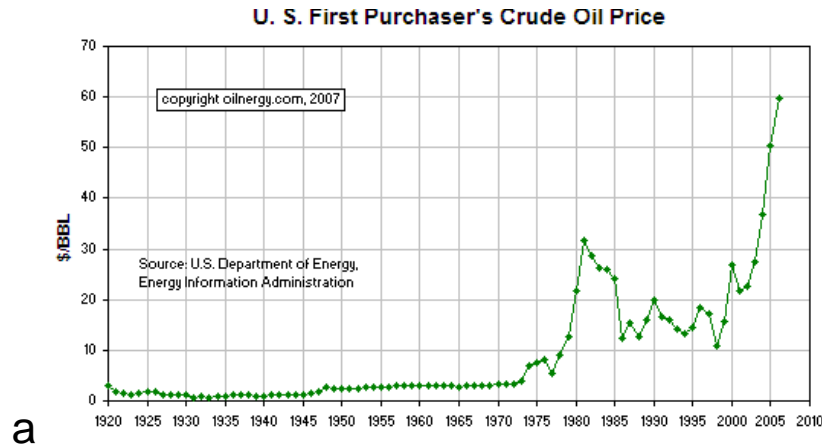
“ Par exemple, on ne note pas de diminution significative de la consommation d'essence entre 2007 et 2008, du moins à mi-année“ écrivait mon résumé, la veille d'une annonce de diminution de 10% à peu près de la consommation en Juin...

Evolution mondiale?



On trouve des estimations de l'augmentation prévisible du nombre de véhicules dans le monde qui montrent que même avec une stagnation/baisse de l'utilisation des VI dans notre région, la consommation a peu de chances de décroître dans les années à venir.

Le marché vient à notre secours!



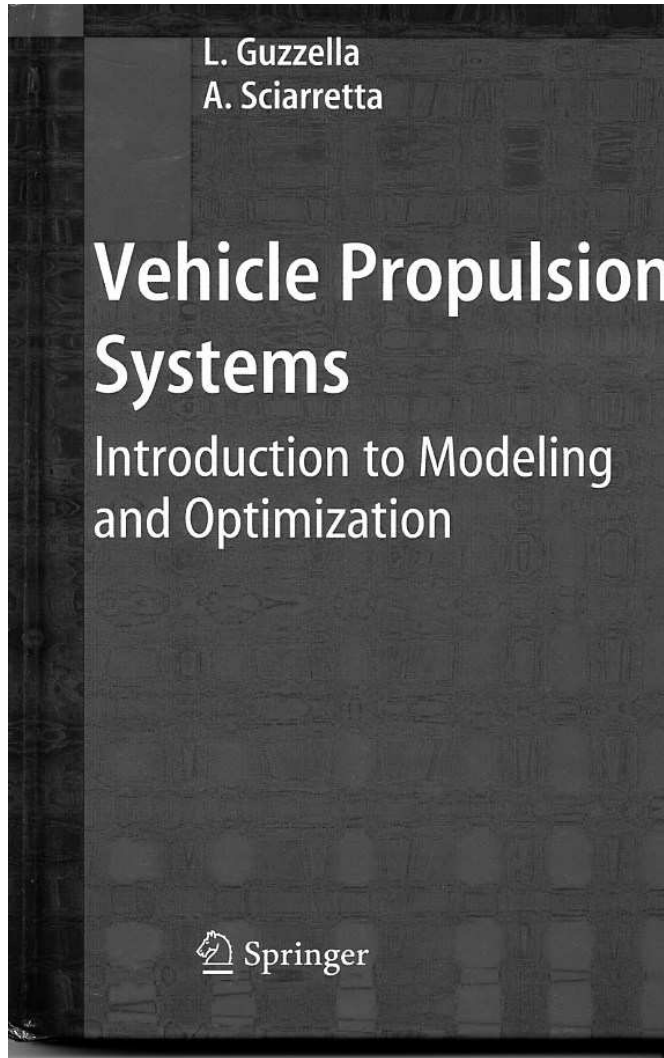
On connaît donc l'augmentation tendancielle du prix du pétrole, et j'ai ajouté pour faire plaisir aux tenants du "club de Rome" les extrapolation de production. Je me méfie de ça comme de la peste! Je ne pense pas que l'on doive expliquer l'augmentation des prix par la pénurie, mais par le besoin d'investissements lourds dans un pétrole coûteux à produire.

Donc le pétrole restera cher!

Dans le même temps, les techniques de batteries ont progressé



Un livre à lire



a

On trouve une excellente réflexion sur la propulsion de la voiture individuelle dans le livre “Vehicle propulsion Systems”, de L. Guzzella et A. Sciarretta, éditions de Springer.

Ce travail, fait à partir de séminaires tenus à ETH-Zurich date essentiellement de 2004 et permet une très intéressante discussion des évolutions récentes.

Je vais utiliser les analyses de ce livre pour poser les problèmes.



Qu'est ce qu'une auto?

Dans le livre de référence, on trouve un certain nombre de caractéristiques d'une voiture transportant des passagers:

1. **Autonomie, indépendance d'une source d'énergie fixe**
2. **Temps de recharge négligeable devant le temps de conduite entre deux recharges**
3. **Possibilité de transporter de une à six personnes et des bagages**
4. **Accélération de 10 à 15 secondes de 0 à 100 km/h, ou/et monter une rampe de 5% à la vitesse maximum autorisée**
5. **Et j'ajoute: avoir un bon rendement!**

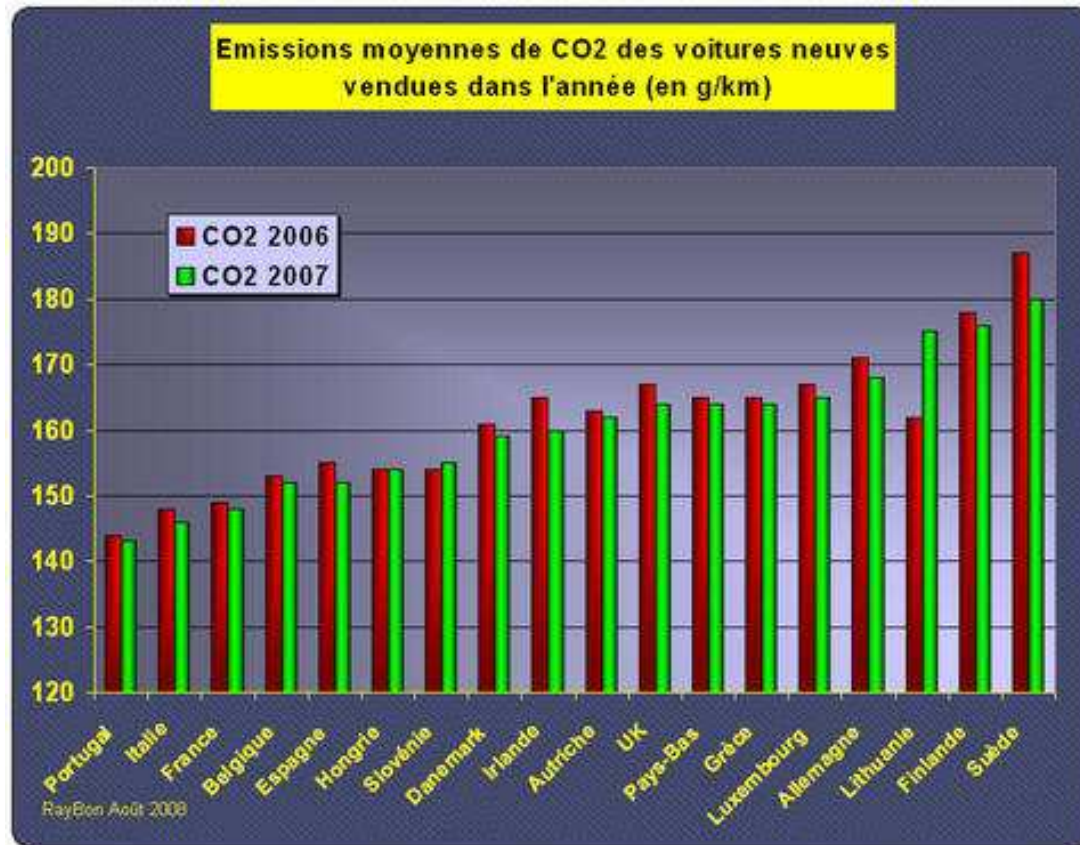
Bien entendu, toutes les VI ne sont pas équivalentes et les auteurs sont amenés à définir des segments très différents du marché:

SUV, Voiture familiale (VF), voiture "compacte" (VC) et voiture légère (VL). On suivra cette classification.

Est-ce cependant une description du VI idéal, ou une simple recension de l'existant?

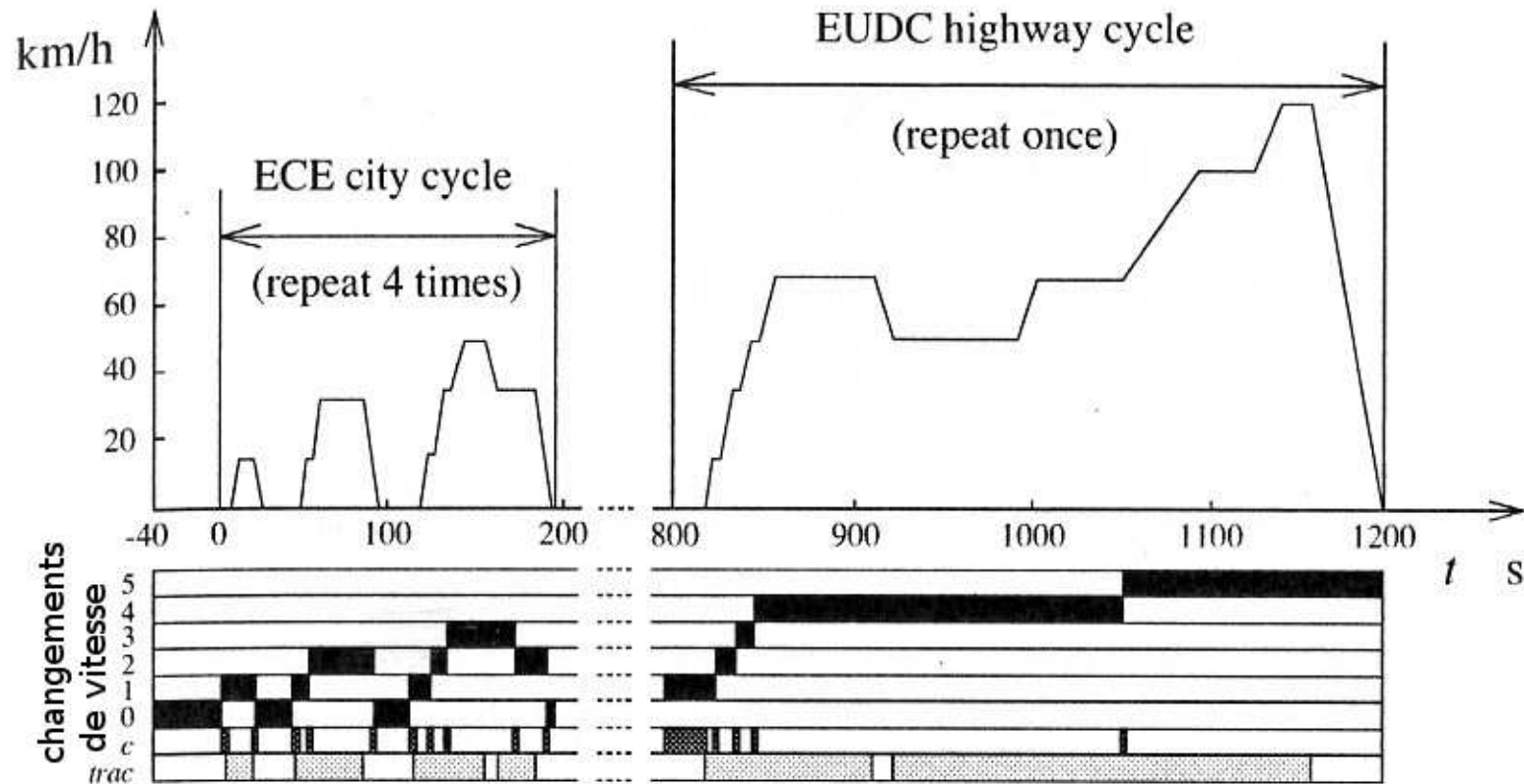


Etat des émissions type



On voit les variations entre les pays des émissions des voitures neuves. L'UE veut imposer 120 g/Km comme norme, dont 10 seraient amenés par les progrès en pneumatiques. Protestations allemandes (S. Gabriel!) et les indus estiment à 15 Geuros les investissements nécessaires... ce qui est rien: 95 GEuros, 150000 travailleurs, 15% de l'industrie française.

Trajet normalisé Europe



Soit à parcourir 11.4 Km en 20 minutes, 34 Km/h.

Cela schématise un trajet urbain typique. Il y a l'équivalent aux USA, et on s'en sert pour estimer les consommations. A partir d'un modèle de VI, on peut en déduire l'énergie nécessaire au fonctionnement du VI.

Les besoins en énergie

Les forces qui s'exercent sur une voiture de masse m se déplaçant à une vitesse v compennent diverses contributions:

1. Celle exercée par la pente (α) de la route:

$$F_p = mg\alpha$$

2. Celle due au roulement (c_r , frottement des pneus):

$$F_r = c_r mg$$

3. Celle due au frottement aérodynamique (k et S sont dus à la forme et la surface des VI, a est la masse volumique de l'air: 1.3 Kg/m^3):

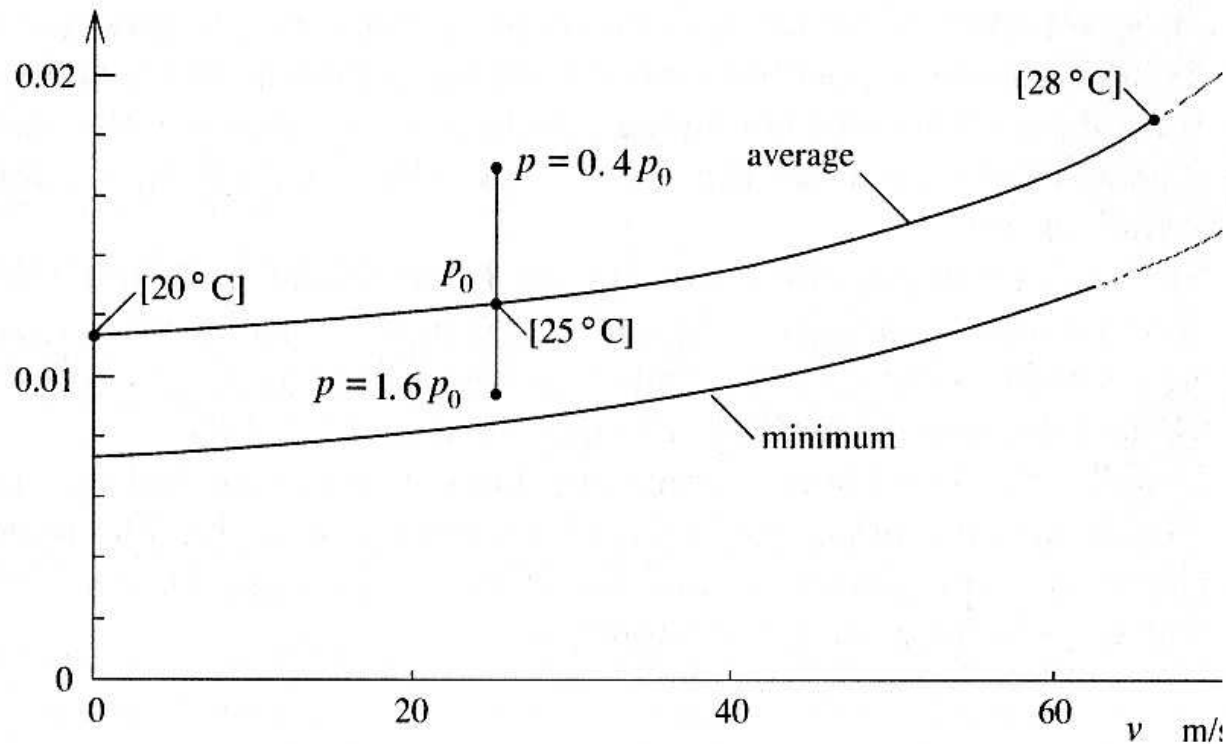
$$F_a = 1/2kaSv^2$$

Si on veut obtenir la puissance, il faut encore multiplier par v .



Le frottement de roulement

c_r est de l'ordre de un pour cent. Mais il dépend de la vitesse, du pneu, de la température, du gonflage, et aussi du type de véhicule: il est plus fort sur les véhicules plus lourds.



A l'heure actuelle, un gros effort est fourni par les fabricants de pneumatiques pour diminuer ce facteur. On espère gagner 10-20%.

La puissance maximum nécessaire

A grande vitesse, l'aérodynamique est dominante, ce qui fait que la vitesse maxi d'une voiture en plat s'écrit à partir de la formule:

$$v_{max} \simeq (2P_{max}/(kaS))^{1/3}$$

Ce qui fait qu'un (bon) citoyen français doit aller en Allemagne pour savoir de quoi son véhicule est capable: une Twingo bas de gamme dépasse les 160 km/h!

Raison: les besoins en accélération. Ils se calculent d'abord en se donnant un temps (t_0) pour atteindre 100 km/h (v_0). On s'aperçoit que la formule qui donne l'énergie cinétique nécessaire et donc la puissance P_{max} :

$$P_{max}t_0 = 1/2mv_0^2$$

doit être doublée, essentiellement à cause des changements de vitesse, et on obtient:

$$P_{max} \simeq mv_0^2/t_0$$

C'est la principale cause de la grande puissance des moteurs thermiques des VI.



Puissance nécessaire

On peut donner des estimations pour les divers véhicules type:

Vehicule	SUV	VF	VC	VL
m (kg)	2000	1500	1000	750
c_r	0.017	0.013	0.012	0.008
kS (m ²)	1.2	0.7	0.6	0.4
P_0 (kW)	11.3	7.1	5.0	3.2
P_{max} (kW)	155	115	77	57
P_{90} (kW)	21.	12.2	9.	5.6
P_{130} (kW)	49.	29.	22.5	14.

La valeur P_0 estime la puissance moyenne nécessaire au cycle urbain européen, P_{max} correspond au problème de l'accélération, les deux dernières lignes correspondent à la puissance nécessaire pour rouler à 90 km/h (25 m/s) et 130 km/h (36 m/s).



relief?

En outre, si on veut pouvoir monter des pentes de $\alpha_l = 5\%$ à la vitesse limitée (130 Km/h, soit $v_l = 36$ m/s), on trouve une autre limite, qui correspond au profil et aux limitations de autoroutes françaises:

$$P'_{max} \simeq 0.05mgv_l$$

$P'_{max} = 18$ Kw pour un VI de une tonne, mais ça se rajoute à la puissance nécessaire à cette vitesse (ici 22.5 Kw, donc 40 kW au total). Cela devient à peu près deux fois plus faible que la première estimation P_{max} .

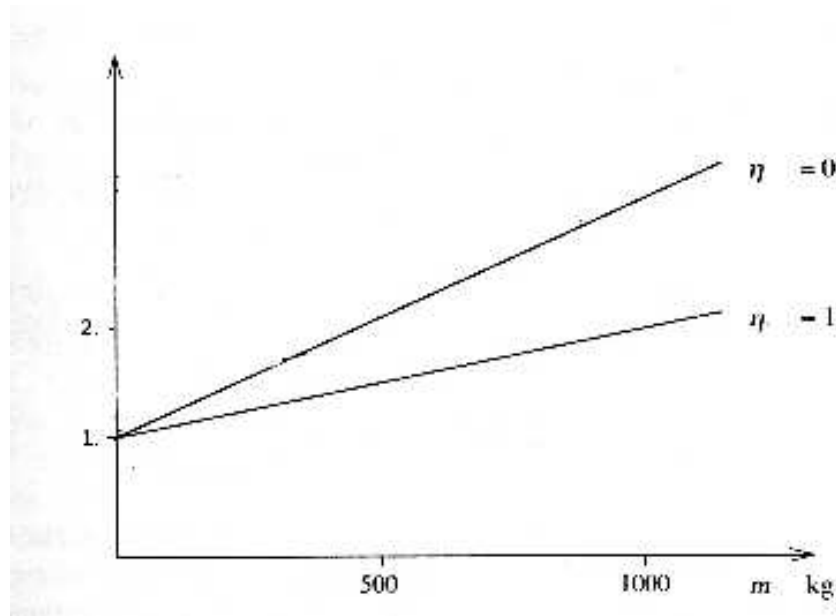
Sur 100 km, on trouve qu'il faut 9.5 kWh pour un VL en trajet urbain, 6 kWh à 90 km/h et 11. kWh à 130 km/h. Cela ne tient pas compte de problèmes de rendement des moteurs thermiques, mais c'est indispensable pour estimer les besoins en électricité:

Vehicule	SUV	VF	VC	VL
E_0 (100 km, kWh)	33.5	21.	15.	9.5
E_{90} (100 km, kWh)	23.	13.5	10.	6.2
E_{130} (100 km, kWh)	38.	22.	17.	11



Récupération?

Dans le cas d'une voiture électrique avec batterie, on peut récupérer une partie (η) de l'énergie de montée à la descente. De plus, on peut se livrer à une estimation de l'énergie que l'on peut économiser par récupération sur cycle urbain.



On voit sur cette figure la variation pour un véhicule aux caractéristiques aérodynamiques “VL” de l'énergie consommée en cycle urbain, en fonction du poids, et de η . Pour un η raisonnable (0.8 à 0.9), on diminue les besoins en énergie de 20-30%.

Quid de la VE là dedans?

On trouve dans le livre cité (p. 58) l'affirmation que je traduis ainsi:

“Quelques VI apparus sur le marché ces dernières années ont été équipées de systèmes électriques...Le composant clé est la batterie, usuellement au plomb ou Ni-Cd, bien que du nouveau (p. ex. lithium-ion) ait été déjà testé. La densité d'énergie va de 30 à 65 Wh/Kg, la vitesse maximum est inférieure à 100 Km/h et l'autonomie ...peut atteindre 100 km sur les modèles les plus récents...ils consomment typiquement 15-30 Kwh/100Km, ce qui veut dire que leur rendement global est entre 40% et 50%”.

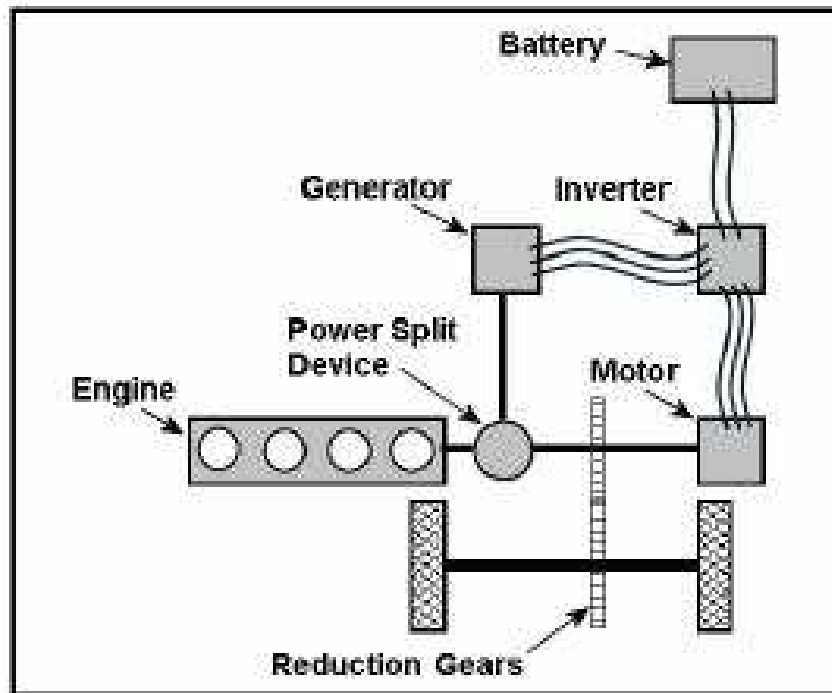
On est surpris qu'un livre publié en 2005 contienne de telles contrevérités. On remarque que les citations utilisées dans ce paragraphe datent d'avant 2001, époque de pétrole peu cher et où tous les experts attendaient des miracles de l'hydrogène...

Les batteries ont fait des progrès depuis!

Retenons comme ordre de grandeur qu'on peut faire fonctionner un VI (VL et VC) avec 10 KWh mécaniques aux 100 Km, si on limite la vitesse vers 100 km/h, et que l'on peut rester inférieur à 20 KW, exceptés les SUV



La Prius de Toyota



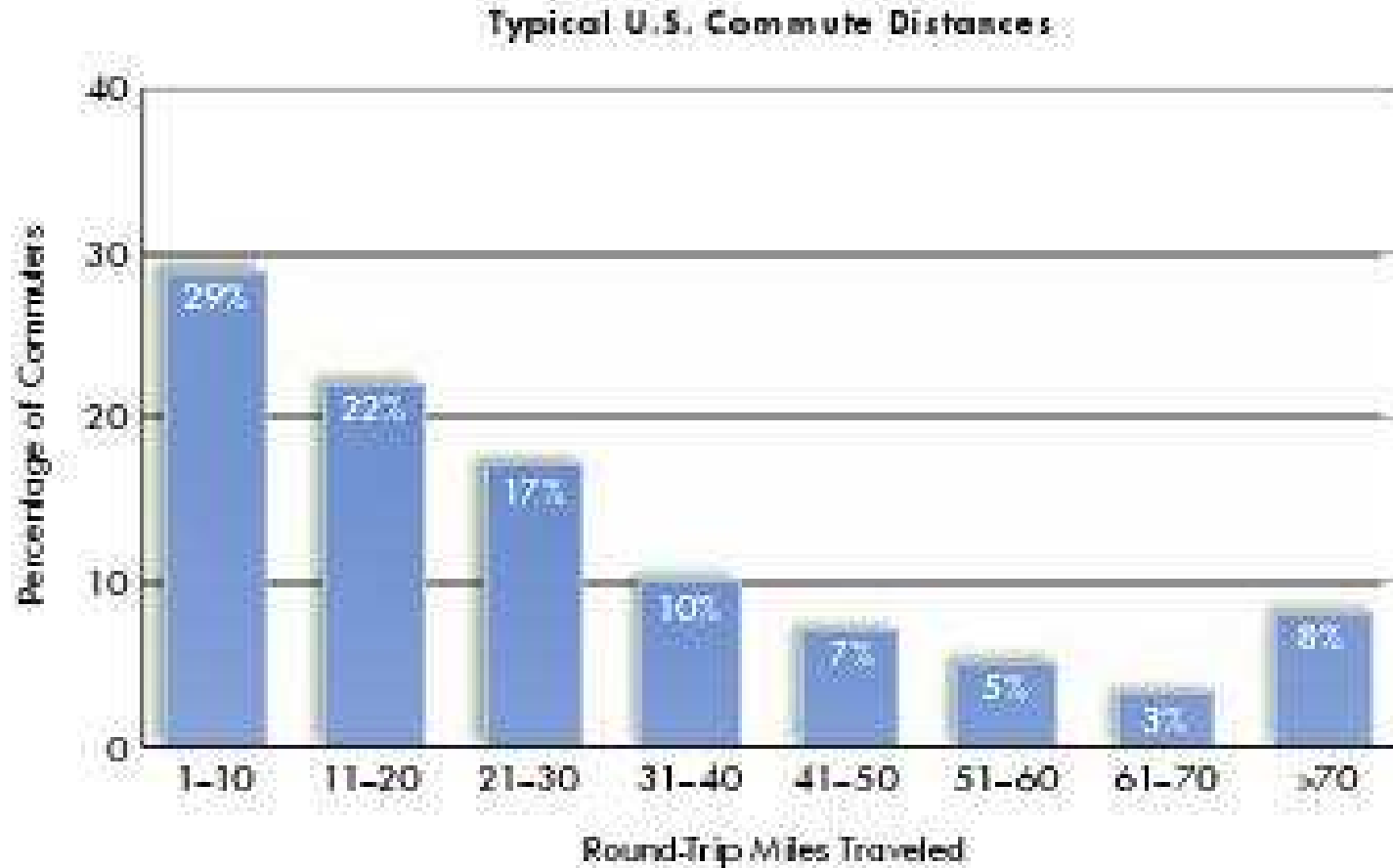
a

La Prius est une voiture thermique assistée par l'électrique quand le rendement du moteur thermique est mauvais. Mais c'est une très intelligente option faite il y a 10 ans alors que les batteries avaient encore beaucoup de problèmes. On estime qu'en trajet urbain l'économie de 25% sur les VI essence. Gros succès aux USA, mais peu de progrès vis à vis du diesel.

Noter: moteur électrique de 50 Kw, et un invertisseur très efficace (98%), batterie NiMH de 1.6 KWh! Se vend si bien que la production est arrêtée car la production de batteries ne suit pas!

Distribution des trajets quotidiens

Comme exemple, j'ai trouvé une estimation américaine de la distribution des trajets quotidiens:



Performances des batteries

Il y a cinq critères pour les batteries:

-la quantité d'énergie stockée par unité de poids, énergie spécifique, en Watt-heure/Kilogramme (Wh/Kg). Valeurs raisonnables:

Plomb: 30 Wh/Kg, NiCd: 40 Wh/Kg, NiMh de 60 à 80 Wh/Kg, Li-métal de 150 à 200 Wh/Kg

-la puissance instantanée qu'elles peuvent fournir. C'est aussi la puissance instantanée qu'elles peuvent encaisser sur un freinage et aussi la durée de leur recharge.

-Le prix d'achat en dollar par Watt-heure de capacité (\$/Wh). Les Li tournent autour de 0.7-0.5 \$/Wh.

-Le nombre de cycles de charge-décharge possibles.

-La faisabilité, les problèmes de sécurité, le recyclage..


On s'intéresse beaucoup aux LiFePO_4 , car, bien que 100-120 kWh/kg, on a des recharges en 20 minutes, une grosse puissance continue: 3C, une faible dangerosité et plus de 2000 cycles de charges/décharges



Mise en perspective

On trouve des ordres de grandeur typiques, peut-être un peu optimistes:

«SYSTEMES » BATTERIE

 Energie	kWh
 Poids	kg
 Autonomie	km/cycle
 Prix	k.€
	€/km (1)

Plomb	Ni-Cd	Ni-MH	Li-Po
11	12	18	28
458	246	303	245
67	87	118	200
2	6	6,5	6
0,08	0,02	0,03	0,02

Batterie d'encombrement réduit (# 180 litres)
pouvant se loger dans un véhicule de 800 kg (2)

(1) Compte tenu des durées de vie respectives des batteries plomb (300 cycles) Ni-Cd (2000), Ni-MH (1500) et Li-Po (1000).

(2) Véhicule pesant 800 kg hors batteries et ayant une consommation spécifique de 0,135 Wh par tonne et par kilomètre.

(source: P. Rivault, Heuliez, Forum hydro-Quebec, 2003)



Le marché des batteries

Il existe aujourd'hui une grande quantité de modèles de batteries qui répondent à des besoins divers.

La production de chacun des trois grands constructeurs asiatiques de batteries Li pour ordinateurs est de 3 unités par seconde, 7 jours sur 7. Cela fait plus de 200 millions d'unités par an. Il se construit des usines partout, mais essentiellement en Asie.

L'Union Européenne (7 ième PECRD) n'a aucun budget prévu pour cette recherche, et par hostilité à la perspective de faire fonctionner les voitures à l'électricité nucléaire, ne s'intéresse qu'à l'hydrogène (qui lui permettrait de stocker l'électricité intermittente des renouvelables). Or l'hydrogène, outre son prix et les très gros obstacles techniques ne peut avoir qu'un rendement faible (25% sur le cycle électricité-électrolyse-roues).

La seule compagnie française (SAFT) a été vendue par ALCATEL à un fonds de pension. Le prix restera autour de 0.3-0.5 Euros/Wh, car d'énormes investissements sont nécessaires. Mais les Chinois nous vendront-ils des batteries alors qu'ils se lancent dans la production de voitures?

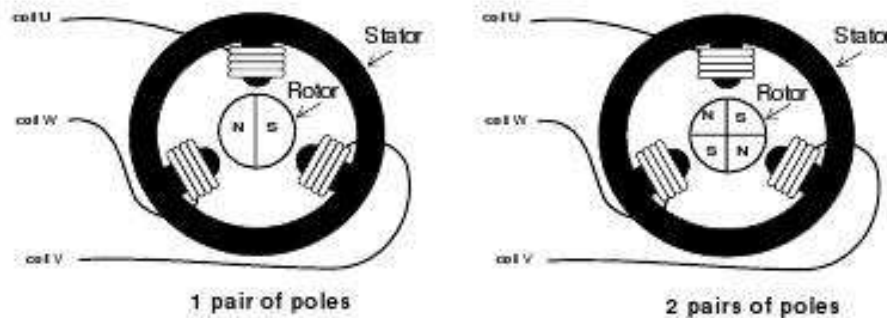


Les progrès des moteurs électriques

Deux facteurs principaux:

Les aimants permanents type FeNdB, qui permettent de les mettre dans le rotor: plus de balais et pertes associées et

Les commutateurs électroniques de puissance, qui permettent un contrôle très fin du couple et de la puissance des moteurs à tout régime.



a

Le moteur a un rotor qui a $2n$ pôles (n peut dépasser 10) avec n aimants permanents et des bobines magnétiques dans le stator. Des sondes à effet hall mesurent la position du rotor et cela permet à l'électronique de puissance d'envoyer le courant nécessaire pour faire tourner le moteur, au régime et au couple désiré.

Avantages du moteur électrique



'a

Les moteurs “brushless” ont un excellent rendement indépendamment du couple. Cela rend inutile embrayage, changements de vitesse, et on peut même les mettre dans l’axe de la roue. Ici, le stator est à l’intérieur et le rotor à l’extérieur. Le couple peut être très élevé, mais le moteur est un peu lourd: 10 Kg pour 8 Kw et un couple de 300 Nm. D’un côté, il faut reprendre les suspensions, de l’autre on reporte tous les problèmes de changement de vitesse, différentiel, ABS...sur la programmation!



Estimer le rendement et les besoins

A partir d'une installation générant de l'électricité, on doit faire intervenir;

-L'efficacité du transport (lignes, transfos HT):

0.92-0.94

-L'efficacité de la transformation alternatif-continu régulé:

0.9

-L'efficacité de la batterie (lithium, pertes résistives):

0.9-0.95

-L'efficacité des moteurs (type brushless avec sonde Hall)

0.9

Le résultat est un rendement global de l'ordre de 67%.

Si on estime qu'il faut 10Kwh pour faire 100 Km avec un véhicule raisonnable, il faut donc compter 60 TWh (soit 5 EPR) pour couvrir les 0.4 TKm des VI en France. Cela représente 12% de la production et, si on remplace la moitié du parc auto en 12 ans, seulement 0.5% d'augmentation annuelle de la production électrique.



Critiquer les informations erronées?

Comme exemple, il y a un article sur un site antivoiture:

<http://carfree.free.fr/index.php/2008/07/01/voiture-electrique-mythe-technologique-et-arnaque-ecologique>
dont je cite :

“Selon Jean-Marc Jancovici, l’absence de pollution de la voiture électrique est une vue de l’esprit: l’électricité ne peut se produire de manière totalement propre, et la voiture électrique pollue exactement comme la centrale électrique qui a fait l’électricité. Dans la plupart des pays du monde, l’électricité est produite à partir d’hydrocarbures (pétrole, gaz, charbon), et les émissions de CO₂ (gaz à effet de serre) sur l’ensemble du cycle sont supérieures ou égales à ce qui est engendré en consommant directement du pétrole. En France, où l’énergie électrique est majoritairement produite à partir du nucléaire, Jean-Marc Jancovici a également pu calculer que pour faire rouler l’ensemble du parc automobile français à l’électrique, il serait nécessaire d’augmenter d’environ 50% le parc de centrales en France”...

On peut donc répondre à ces “arguments” que ce n’est que 12% de l’électricité produite en France et que, même produite avec des hydrocarbures dans des centrales hybrides à haut rendement (55-60 %) et transféré à des voitures électriques, le rendement global est proche de 40%, bien meilleur que dans les moteurs thermiques, où il tourne autour de 20%. Par exemple, il suffit de 10 millions de tonnes de pétrole pour produire les 60 TWhe nécessaires.



Estimer le poids et le prix

On peut essayer de comparer un électrique et un thermique:

Il semble qu'on puisse mettre des moteurs dans l'axe de la roue, et c'est l'électronique qui générerait l'ABS, le différentiel, le couple: ces moteurs ont un très bon rendement à tout régime et à tout couple.

D'un côté, on peut penser éliminer le moteur, le changement de vitesse, l'embrayage, le différentiel et le réservoir. Cela peut vite représenter 200 Kg.

De l'autre, on rajoute 1.2 Kg/kw de moteur électrique et 10 Kg/KWh de batterie. Pour une autonomie de 200 Km, ça représente 250 Kg.

Ca ne fait pas une très grosse différence en poids, mais les constructeurs ont souvent fait l'erreur de proposer une version électrique de leur véhicule thermique, ce qui n'est pas optimum.

Pour le prix de fabrication, il sera encore longtemps (?) plus cher de substituer l'électrique au thermique à cause des batteries. Elles tournent autour de 10000 \$ pour 20 KWh. Mais elles vont tourner sur plus de 1000 recharges, soit 200000 Km, soit 10000 litres d'essence....

On ne sait pas bien quel entretien sera nécessaire. De toutes façons, c'est une mutation industrielle majeure.



Efficacité pour réduire les émissions

Investissement 1 G€ dans :	Puissance MW et prod.élec./an (TWh)	Energie fossile primaire évitée (Mtep/an)	CO ₂ évité (Mt CO ₂ /an)	Valeur du CO ₂ évité (au prix du 22 mai 08 du marché carbone)
Éolien remplaçant des CCG (cycles combinés à gaz)	800 (2,1)	0,33	0,85	22,6 M€
Éolien remplaçant le mix électrique français	800 (2,1)	0,03	0,08	2,1 M€
Isolation de 100.000 logements réduisant de 200 à 100 kWh/m ² .an (10.000 € par 100 m ²) ¹		France 0,067	0,17	4,6 M€
		Allemagne 0,106	0,27	7,3 M€
Nucléaire	475 (7,5)	1,2	3,1	82,5 M€

On peut se livrer à un grossier calcul:

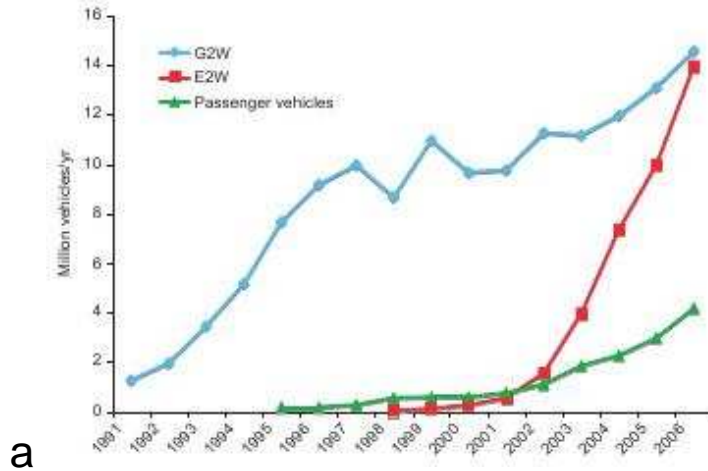
Si un VE amène (?) un surcoût de 5000 Euros

On peut remplacer 0.7 % du parc français (200 mille véhicules),
soit une économie de 0.2 Mt pétrole par an et 0.6 Mt de CO₂.

Ca paraît bien plus efficace que des isolations!

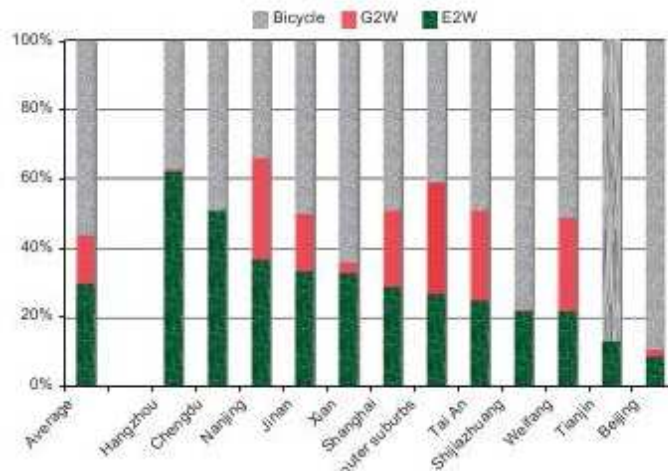


Qu'est ce qui se passe?



Il est de mode d'affirmer que le développement de la Chine se fait en ignorant les problèmes d'environnement. Or beaucoup de villes ont banni les deux roues à moteur thermique, et cela s'accompagne d'un développement très rapide des deux-roues électriques (courbe rouge).

L'industrie des batteries se développe en conséquence.



Source: Weinert, J., et al., *The future of electric two-wheelers and electric vehicles in China*. *Energy Policy* (2008)

Les premières VE?

Yadea



Incalcu



Shiwei



a

	Company		
	Yadea 3-wheel EV	Incalcu EV	Shiwei EV
Cost (\$USD)	2600– 7900	2600– 5300	3800
Range (km)		80– 120	100– 150
Speed (km/h)	45 ± 10%	45	45– 60
Power (kW)		3	3
Dimensions (<i>l,w,h</i>) (m)	2.9 × 1.3 × 1.7	3.1 × 1.6 × 1.5	
Weight (kg)	400	650	750
Battery	VRLA	VRLA, 48 V, 9 kWh	VRLA, 48 V (120Ah, 12 V modules)

Les petites voitures chères à nos collègues sont déjà là! Je ne sais si ça se vendra bien, car les Chinois aiment les belles voitures!



Un exemple?



a

lire: <http://www.byd.com/about/about.asp?show=about>

La société BYD, premier constructeur d'accumulateurs de puissance au monde, a racheté un fabricant de voiture et a produit déjà plus de 100000 VE en 2007 et annonce une voiture hybride rechargeable qui utilise ses propres batteries LiFePO_4 . Caractéristiques:

e-autonomie: 100 km

moteur 1 litre 50Kw

moteur électrique: 50 Kw

batterie: 10 Kwh

temps de recharge à 50%: <20 minutes

nombre de recharges; >2000!

prix: 14000 \$



Un rêve américain?

Saturni Vue Greenline SUV



Ford Escape Hybrid SUV



Chevrolet Volt Concept Car



Des opinions variées...

Carlos Ghosn, le président de Renault-Nissan, estime le potentiel commercial des voitures électriques à 10 millions d'unités par an. Son groupe devrait se lancer dans la production de masse à partir de 2012.(affirmé lors d'un colloque organisé à l'Insead).

De plus en plus de constructeurs estiment que l'auto électrique est une alternative prometteuse aux véhicules traditionnels actuels. Parmi eux : le constructeur allemand Volkswagen. Le patron du Groupe Volkswagen Martin Winterkorn a affirmé au journal allemand "Bild-Zeitung" que l'avenir appartenait à la voiture électrique face aux exigences environnementales des normes anti-pollution et à la hausse du prix du pétrole, même si dans les prochaines années, nous n'allons pas passer outre le moteur essence et Diesel.

Ironiquement, tandis que le Blogue auto citait le président de ZENN Motor pas plus tard qu'hier, affirmant que les voitures électriques allaient pouvoir circuler sur les autoroutes dès l'automne 2009, il semble que la haute direction de Volkswagen, elle, soit en désaccord. Selon le directeur de la recherche pour Volkswagen AG, Jürgen Lehold, ça pourrait prendre encore entre vingt et vingt-cinq ans avant que les voitures électriques ne deviennent une solution d'engergure [cad 10% du parc].

Je ne voudrais pas être constructeur automobile!



Les alliances

LES ALLIANCES AUTOUR DES SYSTEMES BATTERIES				
Constructeur Automobile	%	Filiale	%	Spécialiste batteries
MITSUBISHI MOTORS	15% →	Lithium Energy Japan	← 34%	Mitsubishi
			← 51%	GS-YUASA
PEUGEOT-CITROEN	←			
TOYOTA	60% →	Panasonic EV Industry	← 40%	MATSUSHITA
NISSAN-RENAULT	51% →	Automotive Energy Supply	← 42%	NEC
			← 7%	NEC Tokin
GM	←			Hitachi Vehicle Energy
HONDA	←			Sanyo Electric
VOLKSWAGEN	←			
FORD	←			Johnson Controls-Saft
DAIMLER	←			
BMW		??		Continental allié à ENAX
HYUNDAI	←			LG Chemicals
SAMSUNG	50% →	SB Limotive	← 50%	Robert Bosch
CHRYSLER		très en retard		Divers américains

RB le 22/09/2008



Quelques références

“Vehicle propulsion Systems”, de L. Guzzella et A. Sciarretta, éditions de Springer.

Si vous avez accès aux bibliographies professionnelles, les études de moteurs “brushless”, de régulateurs datent des années '90, les progrès sur les batteries se concrétisent au début du 20 ième siècle et le travail sur l'ensemble des dispositifs, les programmes informatiques.. d'une VE qui ne soit pas une simple adaptation des voitures à moteur thermique se fait en ce moment.

Un autre exemple avec des descriptions très intéressantes:

http://www.mitsubishi-motors.com/corporate/about_us/technology/environment/e/miev.html

