

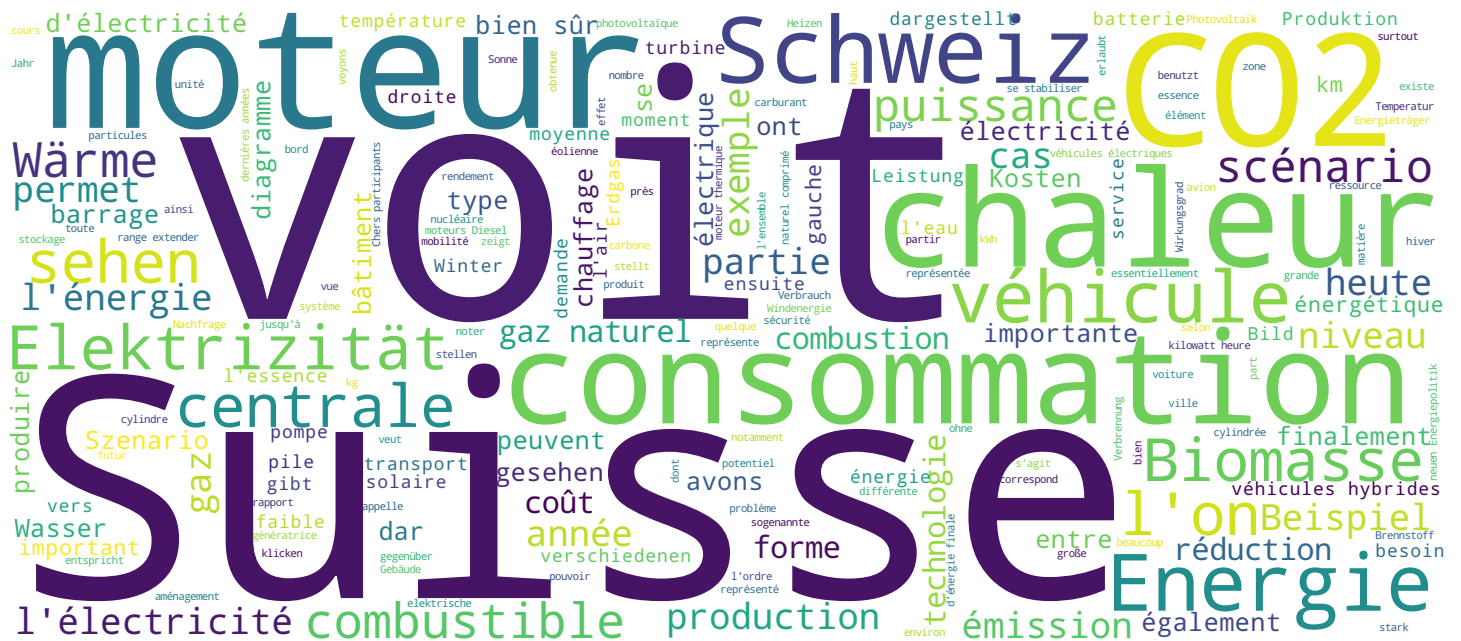
## L12: Les économies d'énergie dans les transports (individuels)

# Transition énergétique suisse: comprendre pour choisir



Prof D. Favrat

avec des contributions de Vincent Bolomey, F. Maréchal, F. Vuille, Ph. Gillet, V. Codina et A. Bolcs

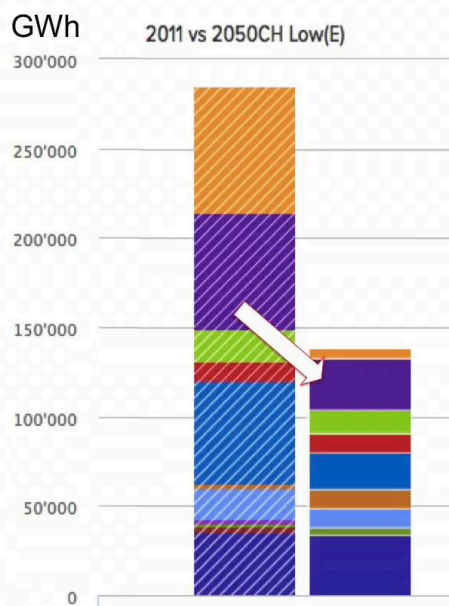


## Search MOOC



## Video





La transition énergétique suisse

Chers participants, nous avons vu que la mobilité, en particulier les transports utilisant des carburants représentait un des secteurs sur lesquels on comptait le plus en vue de réduire la consommation et les émissions dans les futures stratégies énergétiques. Il s'agit des éléments de la colonne violet que l'on voit dans le graphe ci-contre et qui montrent bien cette réduction de consommation. Regardons plus en détail ce qu'il en est des mesures d'économie d'énergie que l'on peut attendre du transport individuel.

Notes

Summary



0m 04s

# Economies d'énergie (transport individuel)

- Mobilité douce
- Covoiturage
- Partage de véhicules ou location (moins d'énergie grise)
- Transfert sur transport public
- Conduite écologique.....
- Choix de véhicules plus efficaces, moins lourds, moins puissants, tout en étant moins polluants

La transition énergétique suisse

Inutile de dire que les approches d'économies incluent des aspects de choix comportementaux comme le choix de la mobilité douce avec la marche ou le vélo, le covoiturage, le partage de véhicule ou la location qui requiert surtout moins d'énergie grise et permet aussi de jouer sur la complémentarité des modes de transport, rail, route notamment. Le transfert sur les transports publics bien sûr, et puis une conduite écologique qui permet déjà d'économiser une part non négligeable d'énergie finale et d'émissions. Enfin, mais très important, le choix de l'achat des véhicules plus efficaces, moins lourds, moins puissants, tout en étant moins polluants. Ce sont, in fine, les acheteurs de véhicules neufs qui définissent le parc automobile des futures 10 à 15 années.

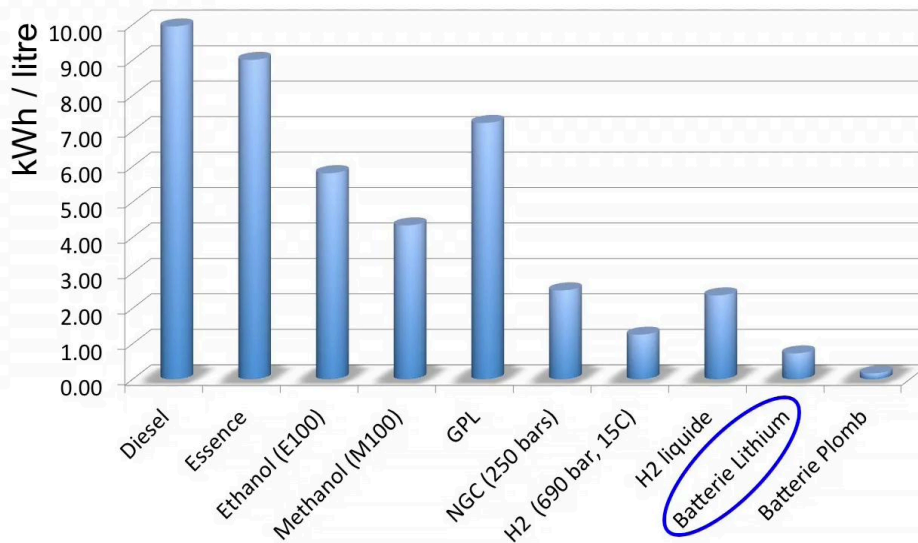
Notes

Summary



0m 42s

# Densité de stockage d'énergie à bord



La transition énergétique suisse

Un élément clé dans la concurrence des technologies d'entraînement des véhicules est le stockage d'énergie à bord, et dans une moindre mesure la rapidité de remplissage. Sur ce diagramme, on représente la densité d'énergie stockée en kWh / litre et en fonction des différents types d'énergie finale. Cela passe, tout à gauche, par les carburants conventionnels, Diesel et essence, et tout à droite avec les batteries conventionnelles qui sont des batteries au plomb. Entre deux, on va retrouver toute une série de carburants, dits alternatifs, parmi lesquels on retrouve l'éthanol et le méthanol qui peuvent être tirés de la biomasse ou de carburants synthétiques. On a le gaz de pétrole liquéfié, qui, lui, correspond à ce que l'on a dans nos bouteilles de camping-gaz, par exemple. On a également le gaz naturel comprimé qui, lui, représente une alternative intéressante aussi au niveau de l'abaissement des émissions. On a également l'hydrogène, qui est stocké ici à 690 bars pour avoir une capacité suffisante, ce qui est très difficile. L'hydrogène liquide à -250 °C, donc extrêmement difficile à stocker. Et finalement, bien sûr les batteries lithium, qui commencent à gagner du terrain en matière de véhicules.

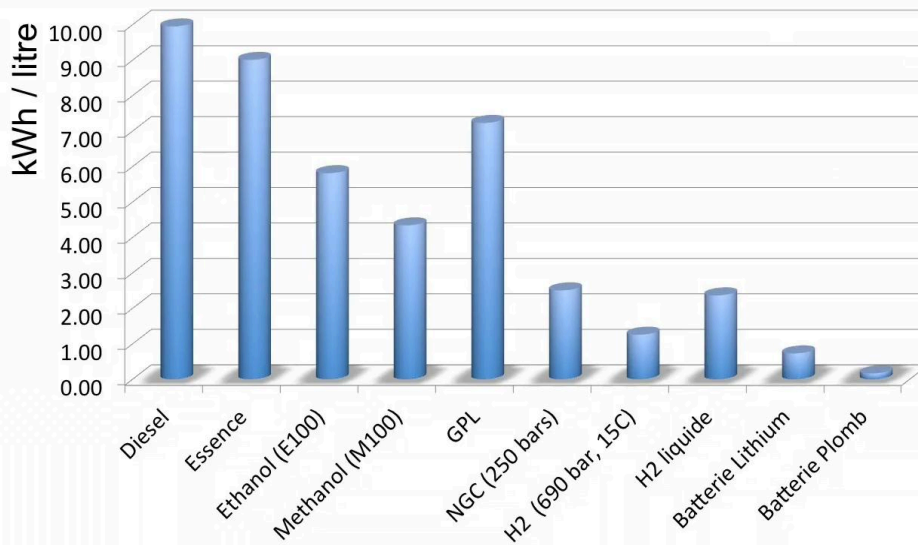
Notes

Summary



1m 43s

# Densité de stockage d'énergie à bord



La transition énergétique suisse

Alors qu'un certain nombre de ces nouveaux carburants nécessitent le développement d'un réseau spécifique de stations de distribution, l'éthanol et, d'une certaine manière, le méthanol, peuvent être mélangés avec les carburants conventionnels.

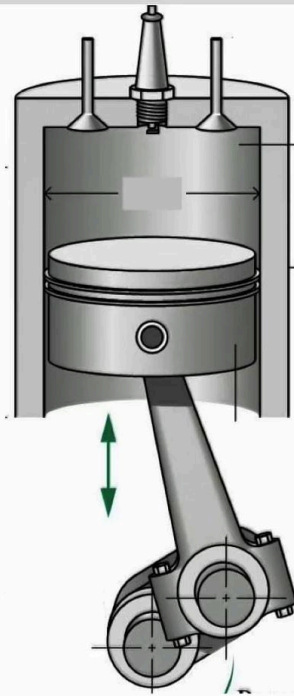
Notes

Summary

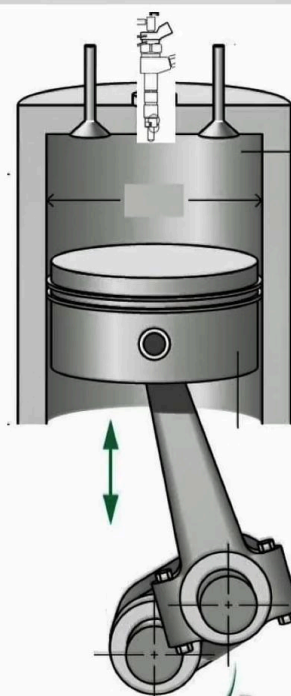


3m 31s

Moteurs  
à essence (2/3)  
+ catalyseur  
(NO<sub>x</sub>, CO, HC)



Moteurs  
Diesel (1/3)  
+ filtre à particules



La transition énergétique suisse

En 2011, les véhicules étaient essentiellement équipés de moteurs à combustion à pistons fonctionnant pour 2/3 à l'essence, avec un catalyseur de dépollution, appelé un catalyseur 3 voies, et pour 1/3 fonctionnant avec du carburant Diesel dont un nombre croissant est équipé maintenant de filtre à particules. Les véhicules hybrides et électriques ne représentaient encore que moins de 1%. Tous les moteurs à combustion émettent des polluants, comprenant notamment des oxydes d'azote formés à haute température par oxydation partielle de molécules d'azote de l'air. Et en plus, ils émettent des imbrûlés. Dans les moteurs à essence, le mélange est souvent préparé avant d'entrer dans le cylindre et doit être comprimé avant que la bougie ne déclenche la combustion au point mort haut, c'est-à-dire au moment où le piston atteint la partie haute du cylindre. Malheureusement, une partie de ce mélange vient s'insérer entre les jeux qu'il y a entre les jeux qu'il y a entre le piston et le cylindre, et ce faisant, ce mélange-là est mal brûlé et forme ce qu'on appelle des hydrocarbures imbrûlés HC ou du CO, du monoxyde de carbone.

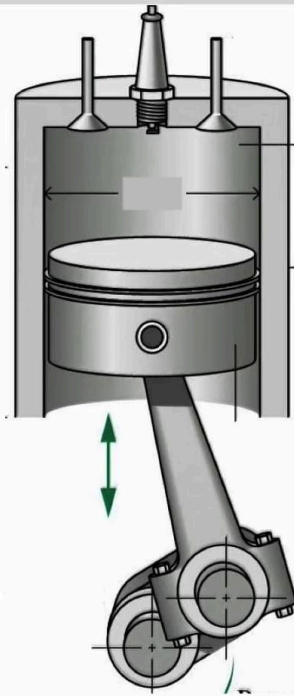
Notes

Summary

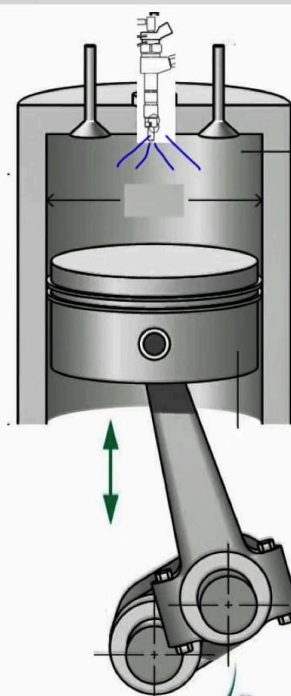




Moteurs  
à essence (2/3)  
+ catalyseur  
(NO<sub>x</sub>, CO, HC)



Moteurs  
Diesel (1/3)  
+ filtre à particules



La transition énergétique suisse

Dans les moteurs Diesel, c'est de l'air qui est comprimé, on n'a pas ce problème et on comprime jusqu'à ce que l'injecteur injecte du carburant et provoque à ce moment-là l'explosion. Ces moteurs Diesel sont plus performants mais émettent malheureusement des hydrocarbures imbrûlés sous forme de particules fines et ces particules sont cancérigènes. En plus des oxydes d'azote qui sont générés également et qui sont difficiles à combattre, les moteurs Diesel émettent ces particules et ceci fait que ces moteurs ne sont pas toujours bien considérés, notamment dans les villes où on envisage de les éliminer.

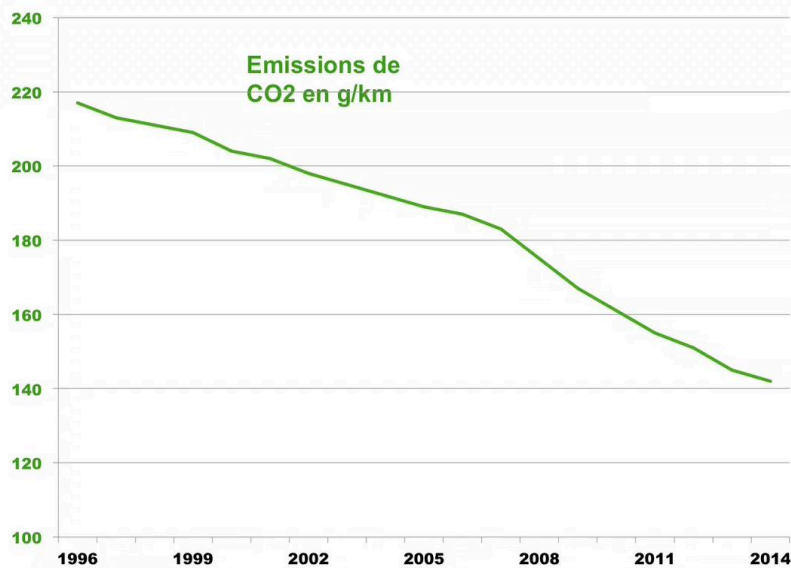
Notes

Summary



5m 19s

# Consommation et émissions



La transition énergétique suisse

Les moteurs s'améliorent constamment et les émissions de CO2 par km baissent d'année en année, comme on le voit avec cette courbe verte. Néanmoins, force est de constater que la consommation de carburant de l'ensemble des voitures en Suisse n'a cessé d'augmenter depuis l'avènement de la voiture en Suisse.

Notes

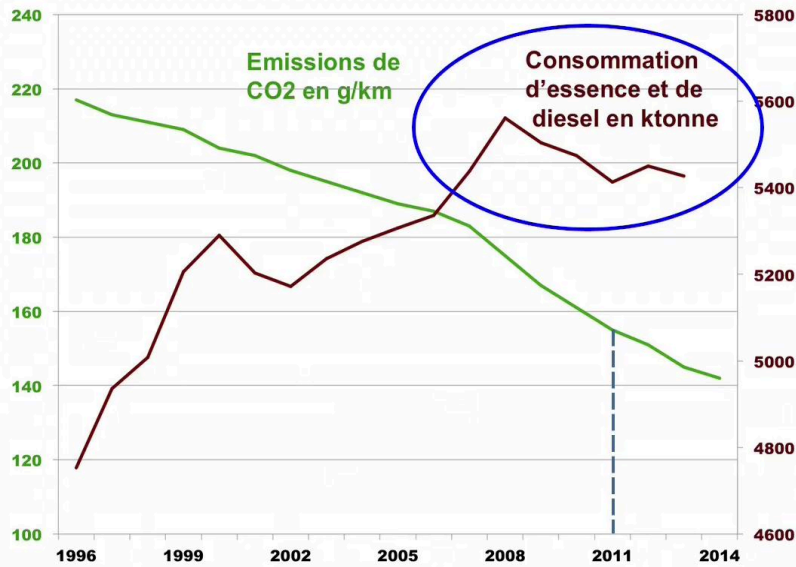
Summary



6m 05s



# Consommation et émissions



La transition énergétique suisse

On le voit avec cette courbe rouge pour les 20 dernières années. La consommation et les émissions globales n'ont commencé à se stabiliser qu'au cours des 5 dernières années car le nombre de km parcourus a sans cesse augmenté. En bref, tous les progrès techniques ont été éliminés par une demande accrue de service de mobilité et donc une consommation qui n'a pas diminué comme on le souhaiterait. La moyenne des véhicules importés en 2011 émettaient un peu plus de 150g de CO2/km, à savoir 15 kg de CO2 tous les 100 km.

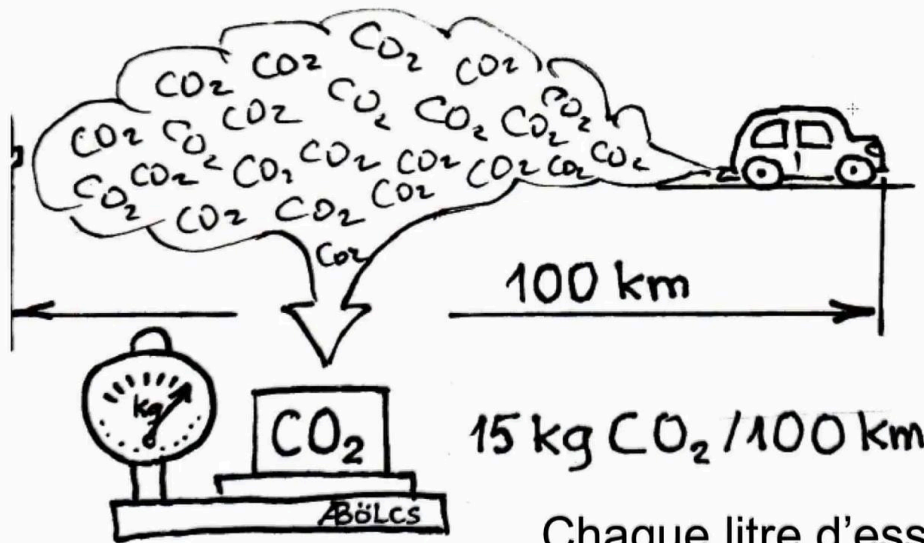
Notes

Summary



6m 27s

# L'atmosphère comme poubelle gratuite



15 kg CO<sub>2</sub> / 100 km

Chaque litre d'essence  
produit environ 2.4 kg de CO<sub>2</sub>

La transition énergétique suisse

Si on stockait le CO<sub>2</sub> à bord, cela reviendrait à ajouter une grosse valise tous les 100 km. En fait, chaque fois qu'on fait le plein de 40 litres, on va émettre près de 100 kg de CO<sub>2</sub> avec le parc de véhicules actuels. Ceci tient au fait que le carbone du carburant se combine avec l'oxygène de l'air, formant le CO<sub>2</sub> qui est une molécule relativement lourde. Comme on a considéré l'atmosphère comme une poubelle gratuite jusqu'à maintenant, peu de personnes en ont vraiment pris conscience. En fait, c'est seulement depuis quelques années qu'on commence à exiger des constructeurs qu'ils baissent la moyenne des émissions de CO<sub>2</sub> de leurs véhicules. Il est piquant de noter qu'alors qu'on a déjà plus eu le droit de construire des maisons mal isolées depuis environ 50 ans, on a toujours le droit de mettre en service des véhicules sans limite d'efficacité par rapport au service fourni.

Notes

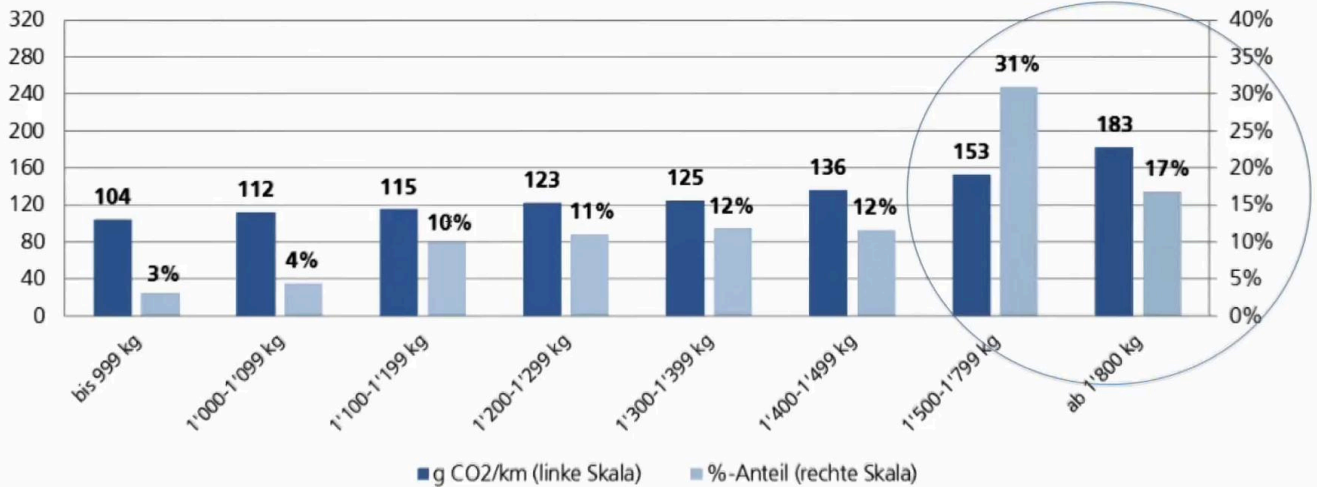
Summary



# Emissions de CO<sub>2</sub> en fonction du poids à vide (2014)

g<sub>CO2</sub>/km

% des autos  
achetées



Source: "Energieverbrauch und Energieeffizienz der neuen Personenwagen" 2014, OFEN 11 juin 2015

La transition énergétique suisse

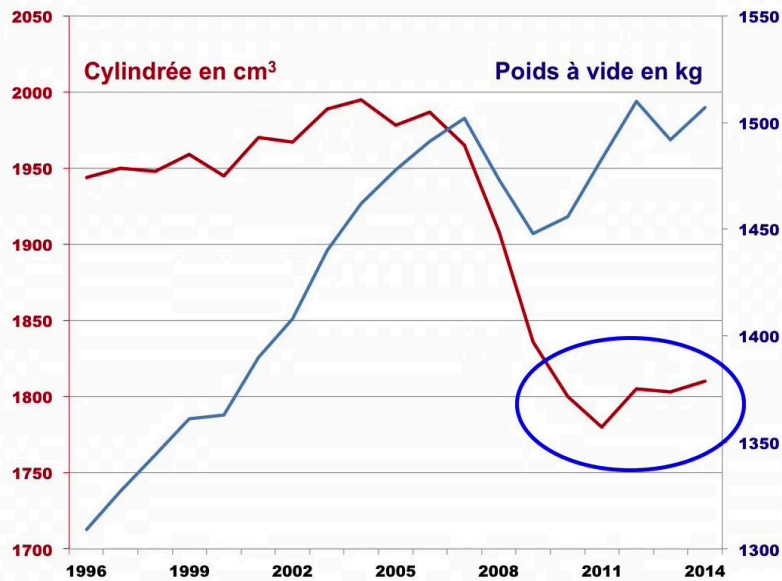
Ce graphique montre en bleu foncé les émissions de CO<sub>2</sub> par catégorie de gammes de poids de véhicules. Et en bleu clair, on voit le pourcentage de véhicules immatriculés en Suisse dans cette catégorie. Comme on le voit avec les deux dernières catégories, près de la moitié, 48% en fait, des véhicules mis en service en Suisse pèsent plus de 1 500 kg et émettent plus de 150g de CO<sub>2</sub> par km. A noter que d'ici fin 2015, la moyenne devrait atteindre 130g par km pour correspondre aux réglementations européennes et devrait tomber à 90g en 2020. Or, le poids d'un véhicule influence directement sa puissance et sa consommation, quel que soit le type de motorisation.

Notes

Summary



# Poids des véhicules



La transition énergétique suisse

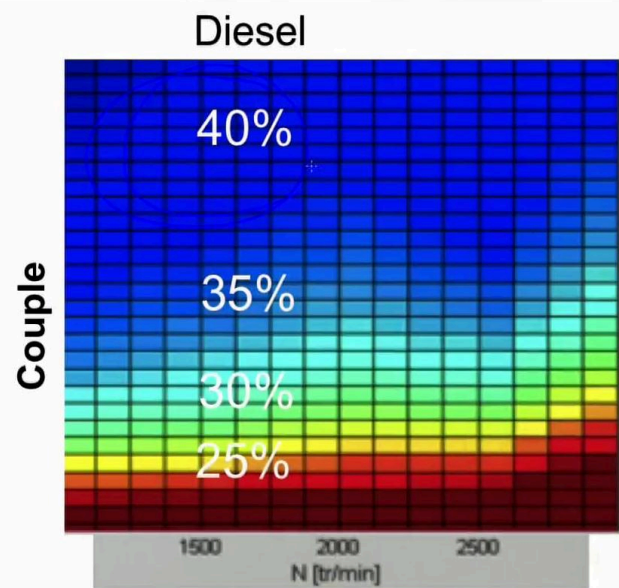
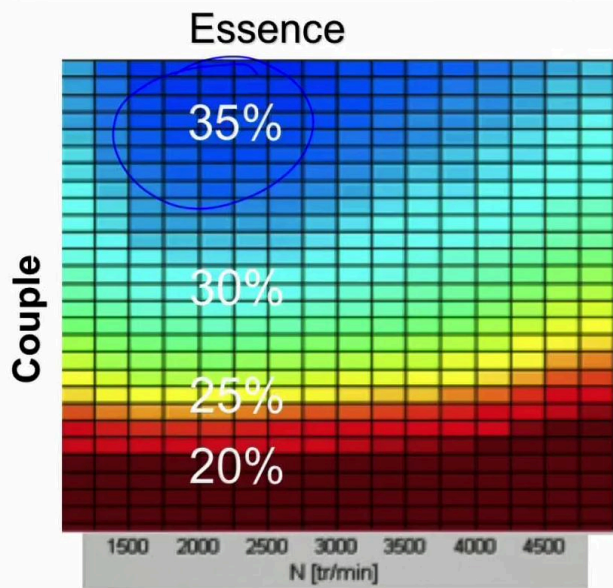
Malgré les progrès réalisés en termes de matériaux, le poids des véhicules importés en Suisse a constamment augmenté jusqu'en 2008, pour se stabiliser récemment autour de 1 500 kg, qui est encore un chiffre très élevé. Allant dans le sens d'une réduction des consommations malgré tout, la taille des moteurs s'est réduite pour se stabiliser autour de 1 800 cm<sup>3</sup> de cylindrée.

Notes

Summary



# Rendements de moteurs



$$\text{Puissance} = \text{Couple} \times \text{Vitesse de rotation}$$

La transition énergétique suisse

En fait, les caractéristiques des moteurs correspondent à ces plages colorées sur ces deux diagrammes, à gauche pour l'essence et à droite pour le Diesel. Les meilleurs rendements s'obtiennent en haut à haut couple moteur.

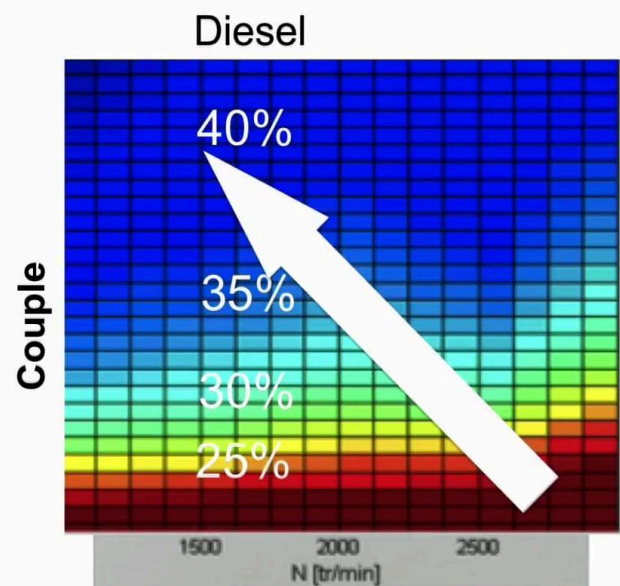
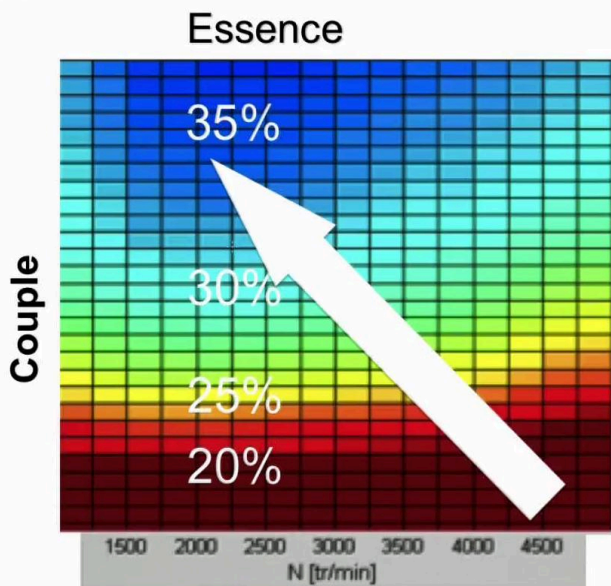
Notes

Summary



10m 01s

# Rendements de moteurs



$$\text{Puissance} = \text{Couple} \times \text{Vitesse de rotation}$$

La transition énergétique suisse

Mais comme la puissance est obtenue par multiplication du couple par la vitesse de rotation du moteur, on économise du carburant, pour une puissance demandée donnée en roulant à faible vitesse de rotation, le sens de la flèche, mais à haut couple pour une même puissance donnée. Cela fait partie des recommandations de conduite écologique que de rester au maximum proche des zones bleu foncé où on a un fort couple de moteur.

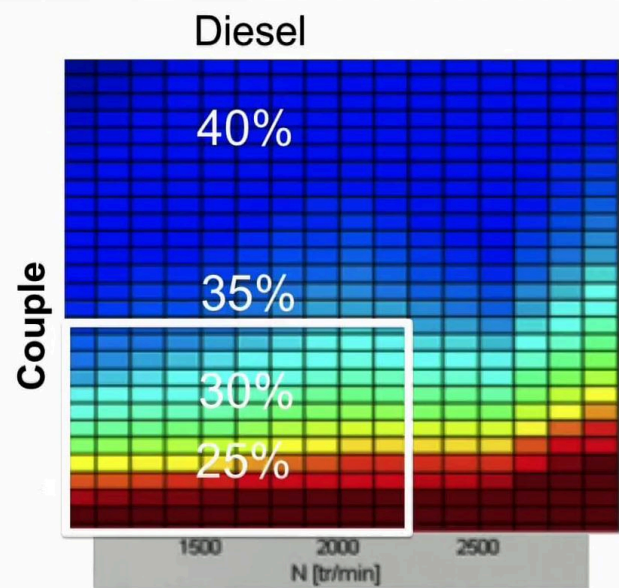
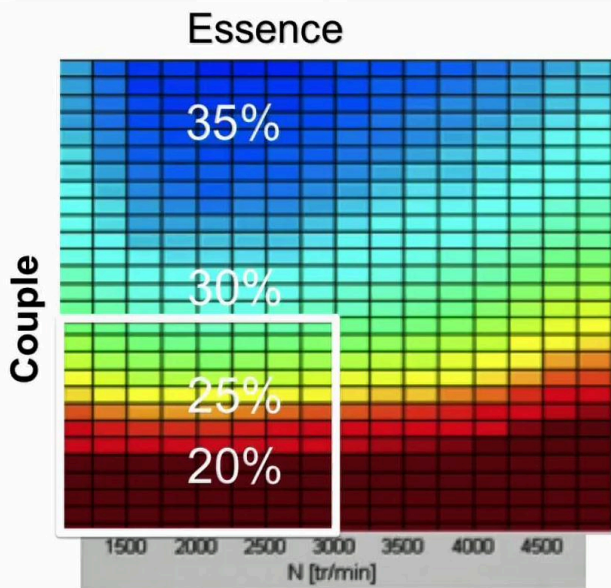
Notes

Summary





# Rendements de moteurs



$$\text{Puissance} = \text{Couple} \times \text{Vitesse de rotation}$$

La transition énergétique suisse

En fait, la puissance est surtout là pour obtenir une accélération donnée mais après, le moteur travaille seulement dans des zones marquées par le cadre blanc ici, pour l'essence et ceci pour le Diesel. Ça veut dire que l'on travaille essentiellement à bas rendement de moteur, à faible charge, lorsqu'on roule à faible vitesse, notamment en ville. C'est ce qui explique que le rendement moyen des véhicules à moteur à combustion mesuré sur route, est si particulièrement bas, puisqu'on le mesure entre 10 et 20% selon les types de trajet.

Notes

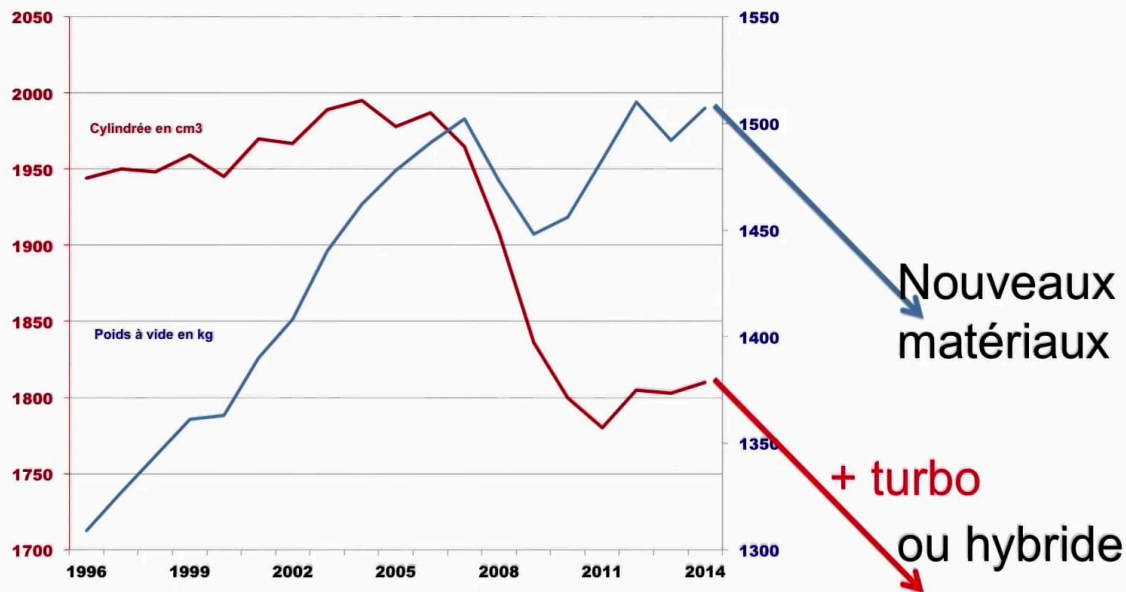
Summary



11m 05s



# Vers une efficacité plus grande



La transition énergétique suisse

Pour économiser l'énergie dans le futur, on va vers une réduction du poids grâce, notamment, aux nouveaux matériaux comme les aciers à haute résistance qui sont plus légers. On va aussi vers une réduction de la cylindrée des moteurs, moins de cylindres et de plus petit diamètre, la puissance sera alors obtenue par de nouveaux turbos, des compresseurs souvent entraînés électriquement, qui vont permettre d'augmenter la pression d'aspiration dans les cylindres et donc d'injecter plus de carburant et de produire plus de puissance mais seulement dans les phases d'accélération sans pénaliser tout le moteur à faible charge. Un recours accru également aux tractions hybrides est d'avenir, combinant notamment moteur thermique et moteur électrique.

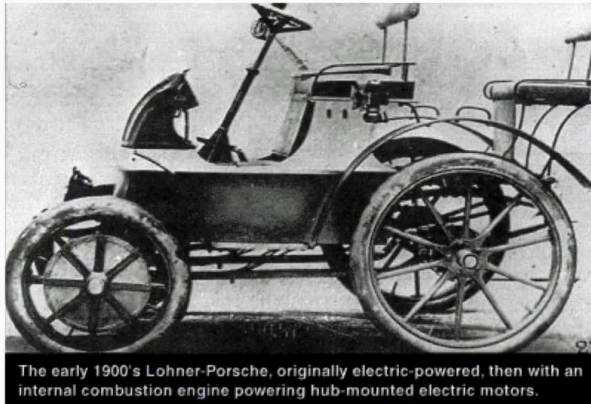
Notes

Summary



11m 49s

# Les véhicules hybrides



La transition énergétique suisse

Parlons un peu plus des véhicules hybrides. En principe, le fait d'aller d'un point A à un point B requiert très peu d'énergie si on peut récupérer l'énergie cinétique en cas de freinage et potentielle quand on change d'altitude. Vaincre les frottements des roulements, des pneus et de l'air ne requiert qu'une fraction de l'énergie que l'on consomme. Récupérer l'énergie de freinage pour l'utiliser en cas d'accélération, tel est un des avantages des véhicules hybrides tout comme des véhicules électriques, d'ailleurs. On distingue 2 types de véhicules hybrides : les hybrides parallèles et les hybrides série. Dans les hybrides parallèles, on peut simultanément utiliser l'énergie mécanique du moteur à combustion avec l'énergie électrique stockée dans la batterie. Dans les hybrides série, le moteur thermique entraîne une génératrice et la traction est exercée seulement avec des moteurs électriques. Le concept d'hybride n'est pas nouveau puisqu'au début du 20ème siècle, Porsche avait déjà sorti une automobile hybride série ici à gauche avec un moteur à combustion interne à essence et il avait équipé son véhicule d'une génératrice qui générerait l'électricité qui entraînait les moteurs électriques directement dans les roues.

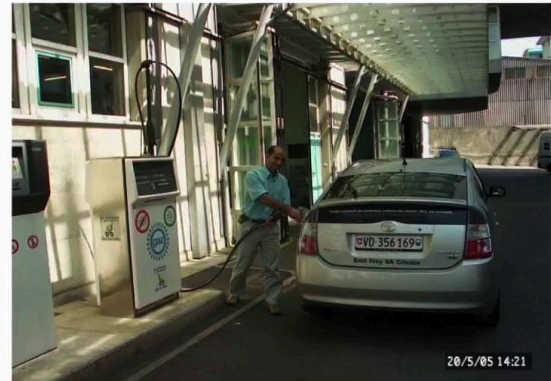
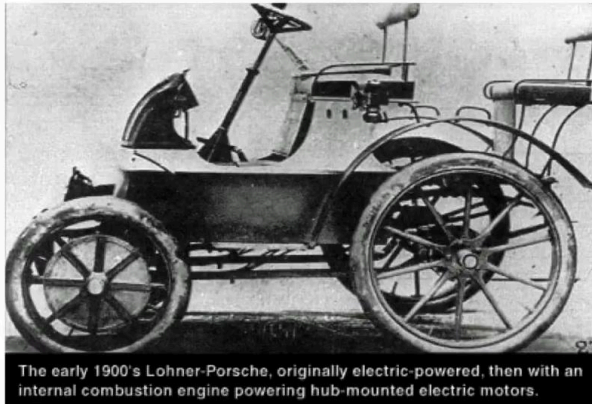
Notes

Summary



12m 42s

# Les véhicules hybrides



La transition énergétique suisse

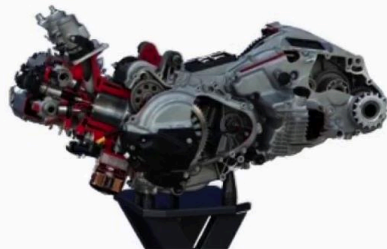
La photo de droite montre un de mes anciens collaborateurs rechargeant une voiture hybride parallèle. Dans ce cas, il fait la charge au gaz naturel comprimé car le moteur thermique de ce véhicule a été converti pour tourner aussi, soit à l'essence, soit au gaz naturel comprimé, ce qui permet encore de réduire davantage les émissions de gaz à effet de serre. En jouant sur les interactions avec la batterie, les concepts hybrides permettent également de toujours se placer dans une plage à meilleur rendement de moteur.

Notes

Summary



# Les autos électriques avec "range extender"



La transition énergétique suisse

Pour des raisons évoquées plus haut, le problème du stockage de l'électricité à bord reste un des inconvénients majeurs des véhicules électriques, en limitant notamment leur autonomie. Toutefois, il existe une possibilité de rajouter un prolongateur d'autonomie, « *range extender* » en anglais, qui est un moteur avec génératrice qui est là pour produire de l'électricité en cas de besoin ou en cas de trajet qui dépasserait l'autonomie prévue. La question de la concurrence entre véhicule électrique avec "range extender" ou véhicule hybride série remplaçant le moteur par une pile à combustible et ayant un stockage d'hydrogène à bord, reste entière. L'avantage de cette dernière option est la pollution plus faible attendue mais avec les inconvénients de la nécessité de créer un nouveau réseau de stations délivrant de l'hydrogène et aussi la gestion d'un carburant, l'hydrogène, qui a une plage d'inflammabilité plus élevée, ce qui pourrait induire des problèmes de sécurité.

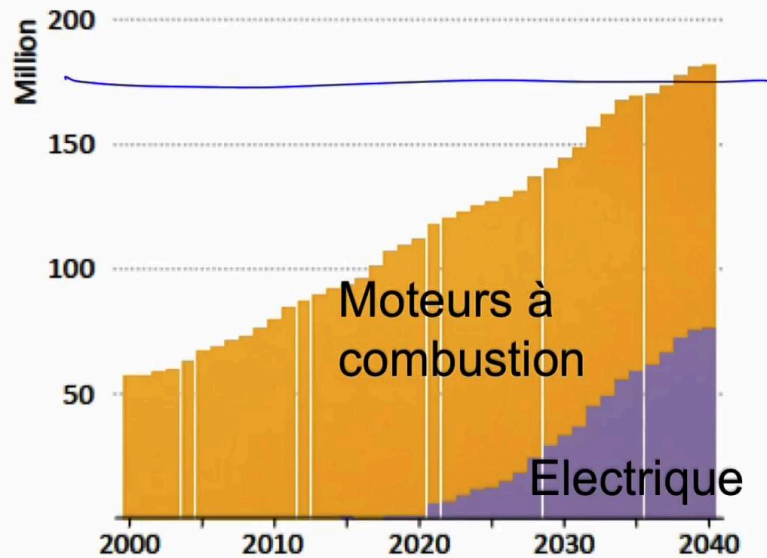
Notes

Summary



14m 55s

# Tendances mondiales



IEA WEO2015 special report

La transition énergétique suisse

Au niveau mondial, l'agence internationale de l'énergie IEA prévoit toujours une part très importante des motorisations avec moteurs à combustion ou hybrides non rechargeables comme on le voit avec cette plage jaune ici sur ce diagramme qui va de 2000 à 2040. Les véhicules électriques et hybrides rechargeables ne commencent à percer de façon significative que vers la fin de cette décennie et l'IEA prévoit une part importante de bio-carburants d'ici 2040. À noter aussi le chiffre impressionnant du nombre de véhicules par année que l'on prévoit de livrer au monde d'ici 2040 avec quelque 180 millions de voitures.

Notes

Summary

16m 05s







- L'efficacité énergétique par kilomètre parcouru augmente constamment, donc les émissions par kilomètre diminuent
- Malheureusement, le nombre de kilomètres parcourus augmente et la consommation globale peine à se stabiliser
- Les économies d'énergie passent par:
  - des véhicules plus légers avec une cylindrée plus faible
  - des véhicules hybrides, idéalement rechargeables
  - des véhicules électriques probablement avec «range extender»

**Les économies d'énergie prévues dans les scénarios de la Confédération sont réalistes**

La transition énergétique suisse

En résumé, les objectifs en matière d'économie d'énergie dans les transports individuels sont très ambitieux et ceci bien avant les années 2035 et 2050. Même si les effets des améliorations techniques ont été jusqu'à maintenant effacés par des demandes supplémentaires en termes de km parcourus, de confort et de sécurité, il existe de nombreuses perspectives d'amélioration technique, même des technologies existantes qui devraient permettre de répondre à la réduction de la demande en carburant prévue dans les scénarios 2035 et 2050. Parmi ces améliorations, on a vu, des véhicules plus légers, avec une cylindrée plus faible, des véhicules hybrides, idéalement rechargeables, des véhicules électriques, probablement avec range extenders. En définitive, les économies d'énergie prévues dans les scénarios de la Confédération sont probablement réalistes.

Notes

Summary



17m 05s