



TPE par :  
BIETH Olivier  
KIEFFER Benoît

En classe de Première S1 au Collège Episcopal Saint-Etienne  
Année Scolaire 2004/2005

N.B.

Ce dossier n'est que la version papier de notre TPE. Son véritable support est l'Internet, et nous vous invitons donc à visiter le site :

[www.bobmarleyponge.free.fr](http://www.bobmarleyponge.free.fr) ,

afin de profiter de quelques animations et des liens hypertextes, notamment pour les termes figurant dans le lexique. Ce dernier se trouve en toute dernière page. Les termes y figurant sont écrits en rouge et soulignés.

Etant donné que ce dossier est une adaptation d'un site Internet, il peut résulter quelques erreurs de mise en page, bien que nous ayons fait tout notre possible pour adapter notre site à ce support.

Merci de votre compréhension.

# Accueil - Introduction

## Problématique:

Les constructeurs automobiles s'ingénient à concevoir de nouveaux types de moteurs, censés réduire leurs émissions polluantes. Quelles sont ces technologies et sont-elles réellement efficaces?



*Un pot d'échappement classique : source de pollution*

De nos jours, les émissions de CO<sub>2</sub> (dioxyde de carbone) dues aux transports représentent 20% des émissions mondiales totales. Ces chiffres ont fait prendre conscience aux constructeurs automobiles de la nécessité de concevoir de nouveaux types de motorisation, censés réduire ces émissions ainsi que celles d'autres gaz. De [nouvelles technologies](#) ont fait leur apparition, d'autres sont [en développement](#) et ne seront réellement utilisées que dans plusieurs années, d'autres encore restent pour l'instant des utopies d'ingénieurs... Quelles [technologies nous permettront demain de rouler "vert"](#)? Quelles sont les technologies déjà accessibles au grand public ou aux professionnels?

## I) Les évolutions de moteurs conventionnels

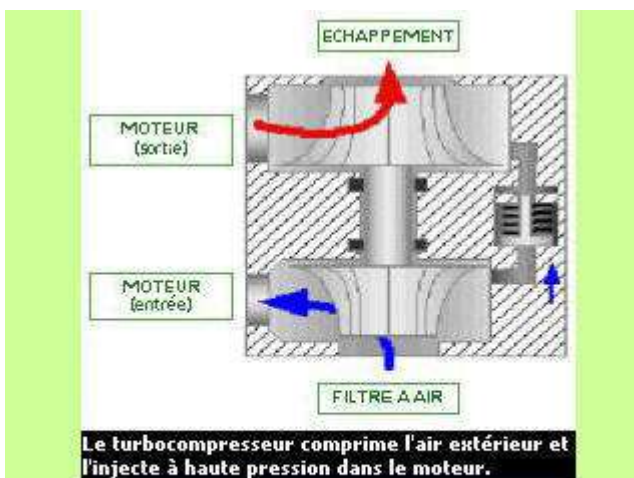
A l'heure actuelle, les principales technologies en vente sont des évolutions de moteurs classiques, fonctionnant à l'essence ou au Diesel. Certaines, telles que l'évolution HDi, le turbocompresseur ou certaines boîtes de vitesses, diminuent la consommation de carburant, tandis que d'autres, les pots catalytiques, les filtres à particules ou le biodiesel, réduisent directement la quantité de gaz émis. Ces petites évolutions ne permettent généralement pas une réduction de plus de 10 à 15% de la pollution due au fonctionnement des moteurs de moteur à essence.



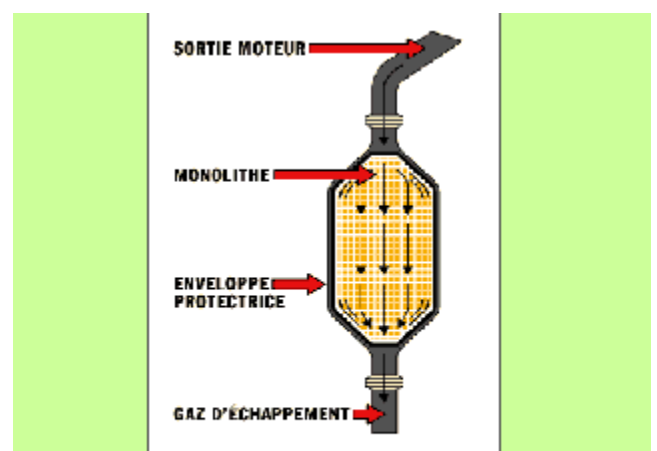
Voilà à quoi peut ressembler un [moteur hdi](#)



Le GPL commence à se généraliser dans les stations-service de France



[Le turbocompresseur](#) permet un meilleur rendement du moteur donc diminue sa consommation de carburant.



Une autre façon de rouler au diesel tout en protégeant l'environnement est [le pot catalytique](#).

## 1) Injection directe, Common Rail et Filtre à Particules



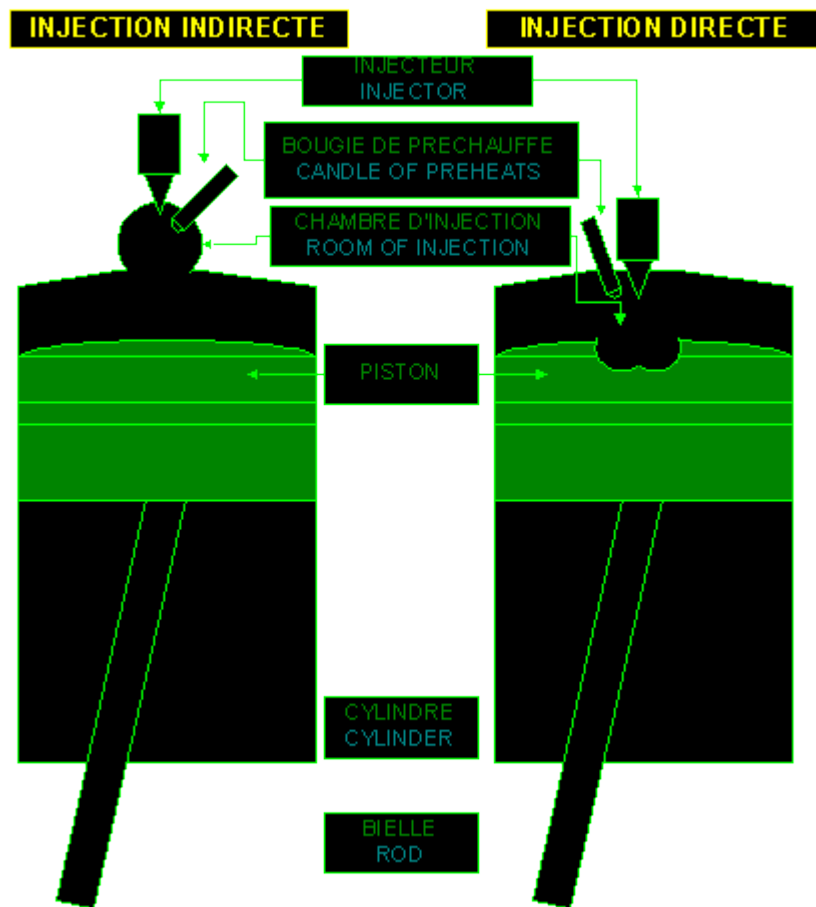
La guerre fait rage entre les adeptes du Diesel et ceux des motorisations fonctionnant à l'essence. Au centre de ce débat, il s'agit surtout d'agrément de conduite ou d'économie budgétaires. Très peu de gens se soucient véritablement de l'impact écologique que peut avoir chaque carburant des moteurs thermiques « classiques ». Pourtant, la combustion du gazole et celle de l'essence traditionnelle ne produisent pas les mêmes gaz, et les moteurs Diesel présentent des évolutions et des technologies réduisant les émissions nocives. Voyons ce qu'il en est exactement.

A première vue, le gazole présente bien des intérêts par rapport à l'essence : la consommation des moteurs est réduite, d'où un dégagement moindre de Gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). Cependant, les moteurs Diesel émettent plus de particules et d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), qui sont largement responsables des pics d'ozone qui surviennent dans nos villes en été.

### *La technologie d'injection directe, et à rampe commune*

De nos jours cependant, les moteurs Diesel connaissent de nombreuses évolutions, dont la principale est la technologie d'injection directe, (souvent couplée à une rampe commune (Common Rail)) dénommé HDi (High pressure Direct Injection) chez Peugeot-Citroën, dCi chez Renault, TDi (Turbo-Diesel à injection directe) dans le groupe Volkswagen ou encore CDI chez Mercedes. Toutes ces dénominations sont en fait des noms différents donnés à des

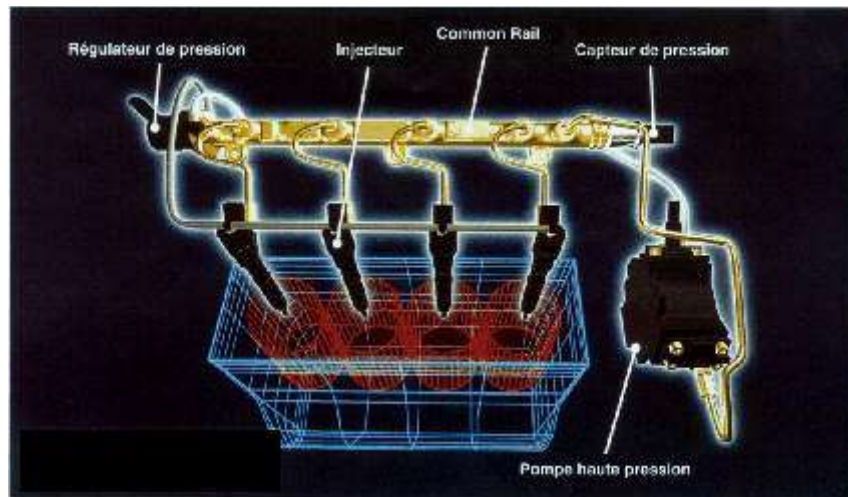
motorisations à injection directe, par opposition à l'injection indirecte des premiers moteurs Diesel.



Document : cybermecanique.free.fr

L'injection directe permet d'améliorer le mélange air/diesel et permet des économies de carburant tout en augmentant la puissance du moteur, mais nécessite un contrôle électronique.

Cette technologie d'injection directe est, de nos jours, généralement couplée à la technologie de rampe commune, ou Common Rail.



Document : cybermecanique.free.fr

Grâce à cette technologie, les injecteurs sont reliés à la pompe à carburant par un seul et même conduit. Entre autres résultats, le gazole est pulvérisé sous formes de fines gouttelettes, ce qui permet une meilleure combustion et la réduction du nombre d'impuretés imbrûlées. Petit inconvénient, ces types d'injection nécessitent un important dispositif électronique, dont on connaît les manques de fiabilité chroniques...

Quant aux émissions de gaz, les chiffres parlent d'eux-mêmes :

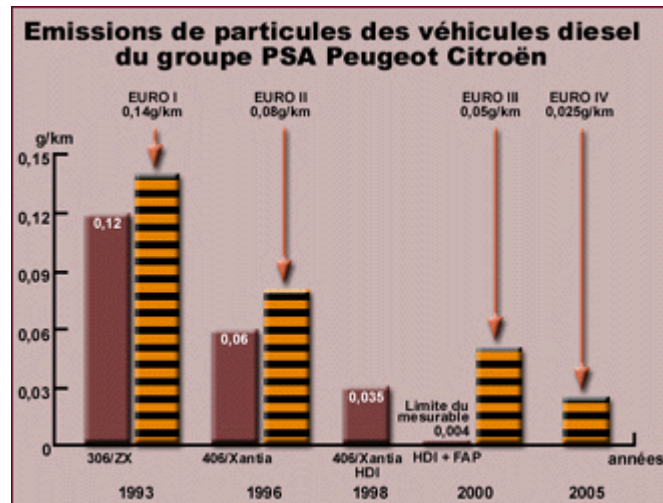
Ainsi :

-chez le groupe [PSA](#), les moteurs à essences émettent en moyenne 185 grammes de CO<sub>2</sub> par km, tandis que les moteurs diesels HDi n'en émettent en moyenne « que » 150 grammes par km. (chiffres du constructeur)

-chez Renault, les moteurs essences émettent 177 g/km en moyenne, tandis que les moteurs diesels dCi n'émettent que 157 g/km (grammes de CO<sub>2</sub>, toujours)

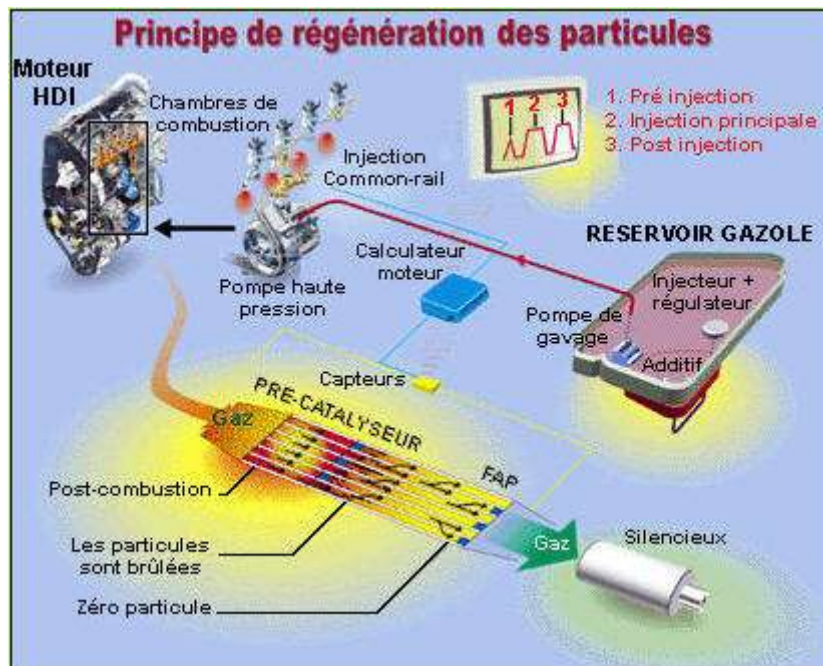
## *Le filtre à particules*

Le premier véhicule équipé de cette technologie fut la Peugeot 607. Cette technologie permet de réduire la quantité des particules émises par les moteurs diesels à la limite du mesurable.



Document : PSA

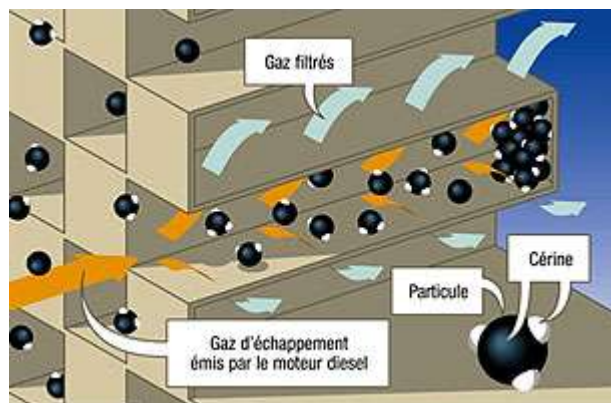
Le principe du filtre à particules est de stocker lesdites particules avant de les brûler.



Document : PSA

Ce filtre à particules est obligatoirement couplé à un système d'injection directe « Common Rail », car cette technologie apporte la flexibilité adéquate : en effet, le débit d'injection du carburant, ainsi que la pression d'injection sont mieux contrôlés. Ceci permet d'augmenter la température des gaz d'échappement, grâce entre autres à un système de post-combustion, ce qui est nécessaire, car la température doit être de 450°C au minimum pour que les particules brûlent, alors que les gaz d'échappement d'un moteur Diesel classique n'atteignent que 150 à 200 °C.

Cette température n'est atteinte que lors de la régénération du filtre, c'est-à-dire lorsque les particules stockées sont brûlées. Entre temps, elles sont séparées des gaz grâce au système décrit par le schéma ci-dessous :



Document : [www.rhodia-ec.com](http://www.rhodia-ec.com)

La cérine est un composé chimique ajouté au carburant, qui permet de réduire la température de combustion des particules de 550°C à 450°C.

La version du filtre à particules PSA qui équipe actuellement les nouveaux modèles nécessitent un entretien tous les 120 000 kilomètres, mais une nouvelle version en développement ne nécessitera plus d'entretien avant 200 000 kilomètres.

### ***Conclusion :***

Les évolutions successives des moteurs diesel, avec tout d'abord l'injection directe, puis le Common Rail, et enfin le Filtre à Particules, ont permis de réduire de façon significative les émissions de CO<sub>2</sub>, de NO<sub>x</sub> et de particules de ces moteurs diesels. Reste maintenant à en



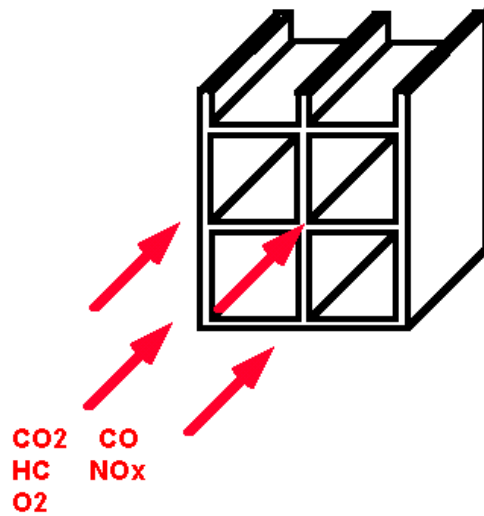
équiper tous les modèles, le Filtre à Particules équipant déjà les modèles Peugeot 807, 607, 406, 407, 206, et Citroën C8 et C5.



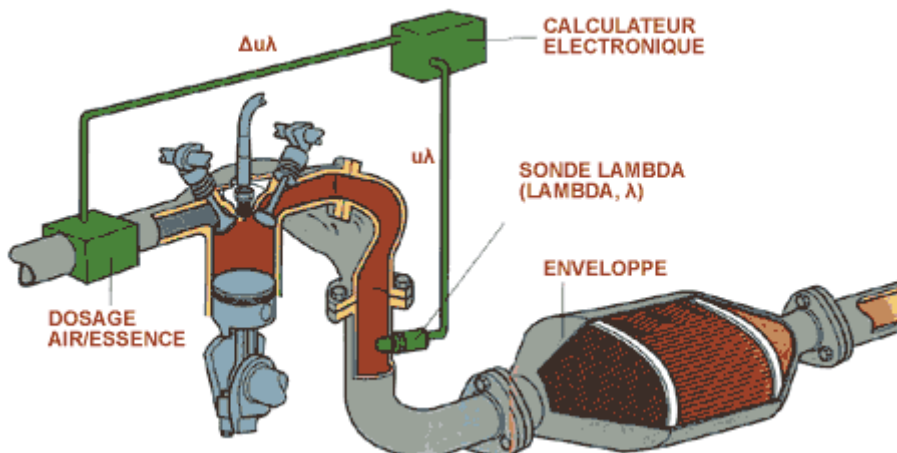
## 2) Les pots catalytiques

Le pot catalytique est un dispositif placé à la sortie du moteur ; il épure les gaz rejetés. En effet le moteur d'une voiture réalise une combustion partielle du carburant et donc rejette des composants chimiques non brûlés. En conduite « normale », il peut **catalyser** jusqu'à 99% des gaz nocifs émis par le moteur. Le revêtement du pot catalytique absorbe certains gaz : le monoxyde de carbone (CO), les hydrocarbures (HC) et les oxydes d'azote (NOx) contenus dans les gaz d'échappement et leur permet de réagir entre eux pour former du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), de l'eau (H<sub>2</sub>O) et de l'azote (N<sub>2</sub>). De plus, il est conçu de telle façon à ce que la surface en contact avec les gaz soit maximale : elle est de la superficie d'un terrain de football pour un pot catalytique normal.

CO<sub>2</sub> H<sub>2</sub>O  
N O<sub>2</sub>



Pour que le fonctionnement du catalyseur soit optimal, il doit avoir atteint une température interne de 400°C mais il commence à fonctionner à environ 250°C température atteinte au bout de 200 secondes après le démarrage en moyenne. Cette catalyse nécessite aussi un dosage très précis de l'essence par rapport à l'air : 14.7 grammes d'air sont nécessaires pour 1 gramme d'essence. Cette proportion est vérifiée et corrigé en temps réel grâce au calculateur électronique, à la sonde lambda et au module de dosage d'essence.



Ce catalyseur est composé de métaux précieux comme le platine, le palladium, le rhodium car tous ces métaux favorisent les réactions entre les gaz émis par le moteur. Le carburant utilisé dans le moteur ne doit pas contenir de plomb au risque d'encrasser le catalyseur, de le faire monter en température et donc de le détruire.

### **3) Les turbocompresseurs**

#### ***Un peu d'histoire***

L'histoire du turbocompresseur commence en 1902 quand Louis Renault dépose un brevet pour un dispositif « *augmentant la pression des gaz admis dans les cylindres des moteurs à explosion, consistant à intercaler un ventilateur ou un compresseur...* ». Il est suivi en 1905 par Albert Büchi qui brevète un « *compresseur centrifuge et turbine entraînée par les gaz d'échappement* ». Les premiers turbocompresseurs sont apparus dans l'aviation militaire pendant la Première Guerre Mondiale. Dans l'automobile, il faut attendre 1952 pour voir apparaître les premiers turbocompresseurs, équipant des voitures de courses uniquement. Les premières autos de série possédant des turbocompresseurs apparaissent dans les années 1970 et sont à mettre au compte de Renault, BMW et Porsche. Aujourd'hui, plus de 70 % des véhicules Diesel sont équipés de turbocompresseur, ainsi qu'un peu moins de 10 % des véhicules à essence.

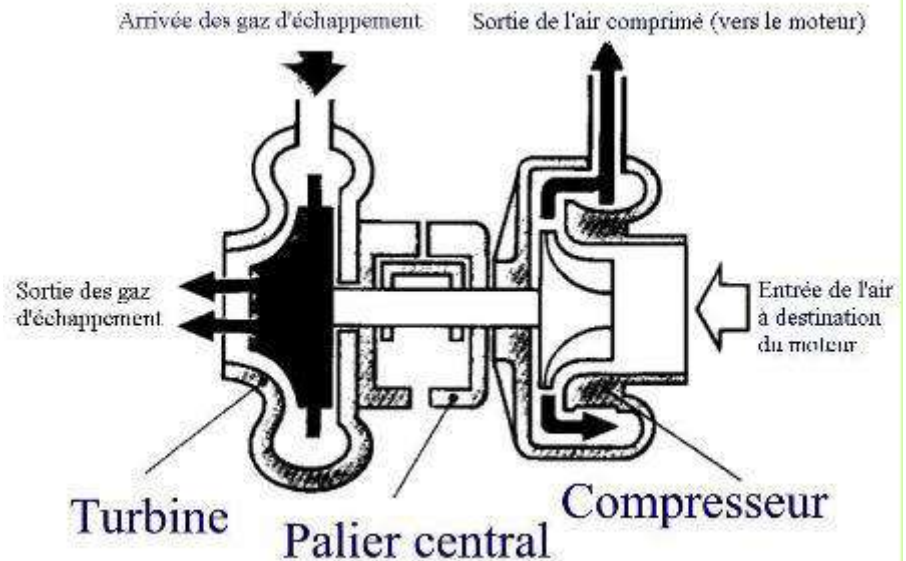
#### ***Rôle du turbocompresseur***

Pour fonctionner, un moteur thermique utilise un mélange air/carburant, ce rapport restant constant. Pour augmenter la puissance du moteur, il faut donc augmenter la quantité de mélange injectée dans le moteur. Le problème est que les cylindres du moteur ne sont jamais remplis à 100%, mais à 80 voire 85% dans le meilleur des cas. Le rôle du turbocompresseur est d'augmenter la pression du mélange air/carburant dans les cylindres afin de mieux les remplir et donc de gagner en efficacité et en puissance. Il s'agit en fait de suralimenter le moteur en comprimant l'air.

#### ***Fonctionnement***

Le turbocompresseur est composé de deux parties : d'un côté, une turbine, qui est entraînée par les gaz d'échappement provenant du moteur, et, de l'autre, un compresseur, relié par son axe à la turbine, qui est placé sur le conduit d'admission de l'air, c'est-à-dire avant le moteur.

Le turbocompresseur est également appelé *compresseur centrifuge* : en effet, la turbine entraîne l'axe, qui fait tourner le compresseur, qui, par effet de la force centrifuge, chasse l'air vers la périphérie et crée une dépression au centre, d'où l'augmentation de la pression de l'air dans le conduit.



### ***Inconvénients (maîtrisés) du turbocompresseur***

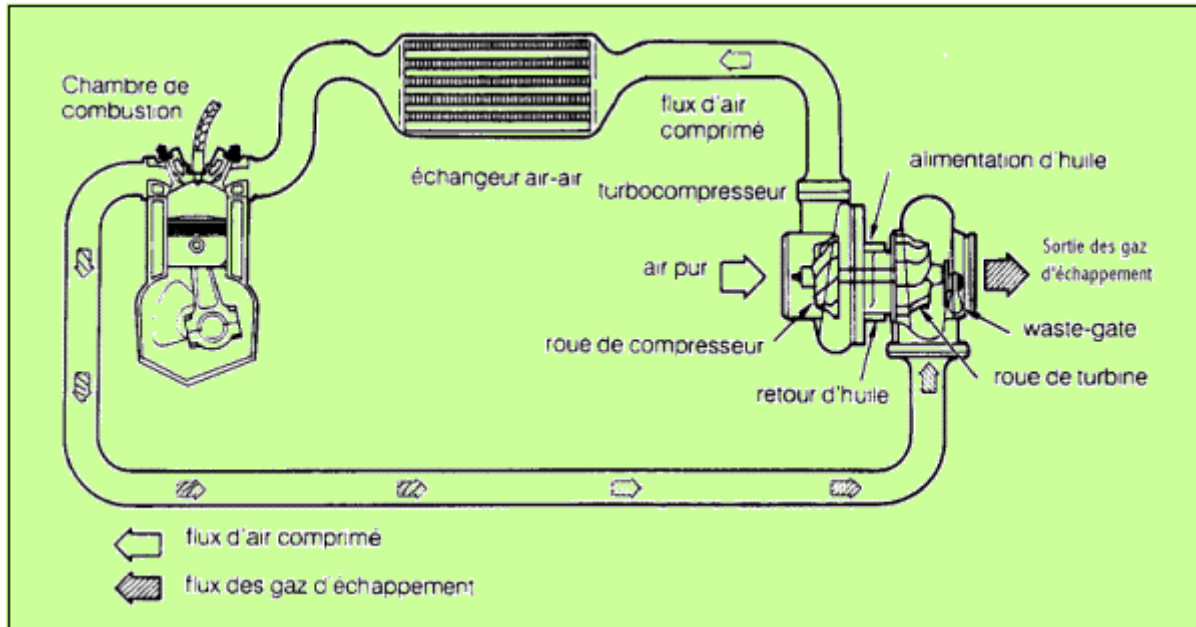
L'augmentation de la pression de l'air entraîne l'augmentation de la température de cet air. Il est donc nécessaire de monter un refroidisseur d'air, ou échangeur, entre le compresseur et les cylindres ; il existe des refroidisseurs de type air/air, et d'autres air/eau (voir la position de cet échangeur sur le schéma en bas de page). Dans le premier cas, l'air est refroidi par de l'air extérieur, et dans le second cas, il est refroidi par le système de refroidissement du moteur.

De plus, l'augmentation de la pression de l'air d'admission entraîne l'augmentation de la pression des gaz d'échappement, ceux-là même qui vont ensuite faire tourner la turbine. Ainsi, on rentre dans un cercle vicieux où la pression ne s'arrête plus d'augmenter, et le moteur finirait par exploser. Heureusement, un petit dispositif, dénommé « Waste Gate » (en français, soupape de décharge), permet d'éviter ce phénomène. Placé avant la turbine, il consiste en un ressort, qui, lorsque la pression devient trop forte, est repoussé et ouvre un conduit alternatif où peut s'échapper une partie des gaz sans passer par la turbine.

L'utilisation d'un turbocompresseur est à l'origine d'une forte augmentation de la température à plusieurs niveaux du moteur, d'où la nécessité d'utiliser une bonne huile de moteur. Il est également nécessaire de renforcer un grand nombre de pièces, car la pression peut augmenter de 10 à 20 bars entre un moteur non équipé et un moteur équipé d'un turbocompresseur.

### ***Conséquences de l'utilisation d'un turbocompresseur***

Grâce au turbocompresseur, le rendement du moteur est amélioré, avec une consommation moindre en carburant. Il en découle une diminution des émissions de gaz polluants. Comme le turbocompresseur nécessite peu d'entretien, et qu'il ne pèse pas très lourd, son usage est maintenant largement répandu.



#### 4) Le Gaz de Pétrole Liquéfié Carburant

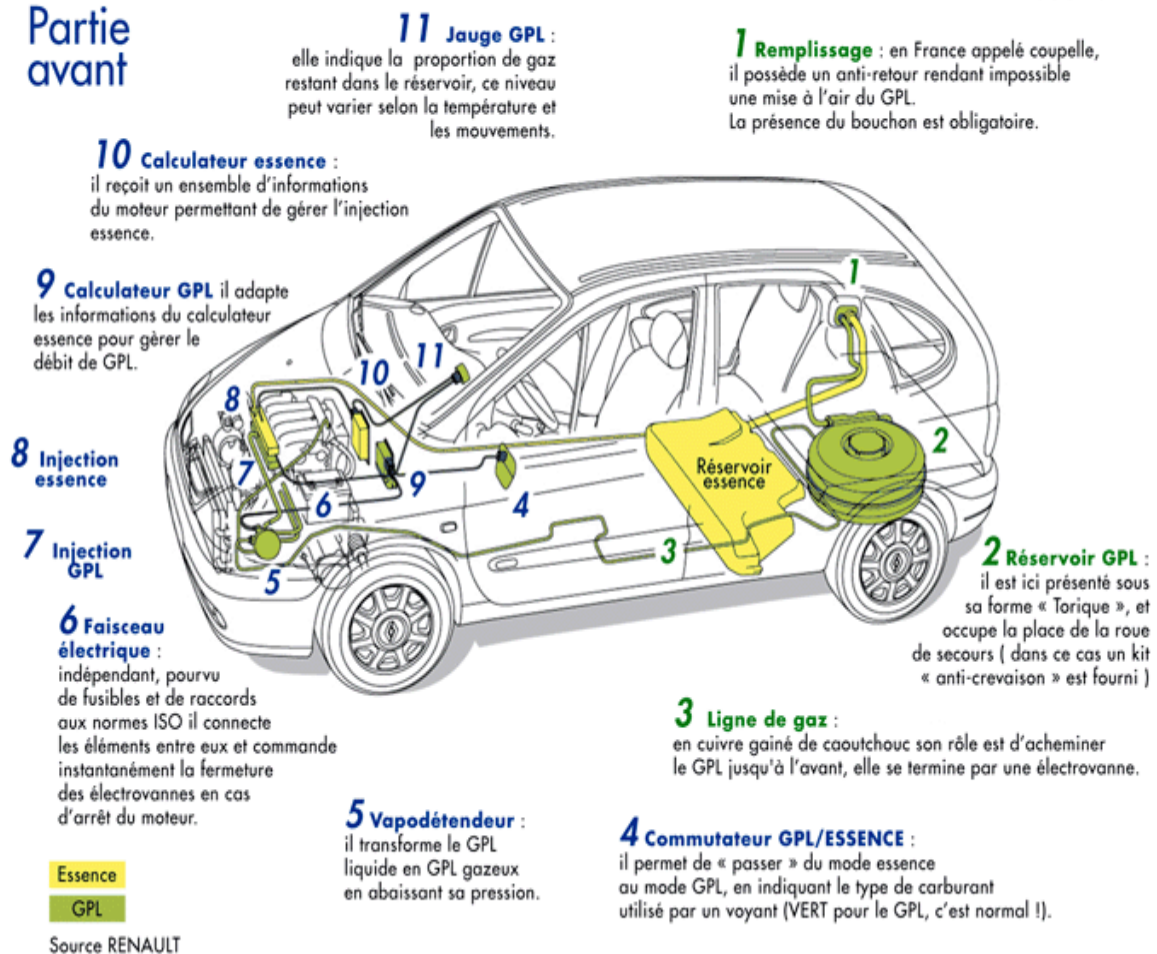
Le GPL est un mélange de 50% de propane ( $C_3H_8$ ) et de 50% de butane ( $C_4H_{10}$ ), issus du raffinage du pétrole ou de gisements naturels. Fin 2004, 180 000 véhicules roulaient au GPL-C en France, et de environ 1 800 stations-service en vendent (rien que dans le Bas-Rhin, on en compte 26). Il est possible d'acheter sa voiture directement équipée pour rouler au GPL, mais aussi de faire installer un kit, qui permettra d'utiliser à la fois de l'essence et du GPL.

#### *Composition d'un kit GPL*

# Shéma d'implantation d'un kit GPL

Partie  
arrière

Partie  
avant

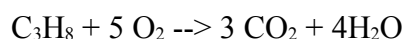


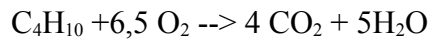
92

93

Comme on peut le voir sur ce schéma, le réservoir GPL est implanté en parallèle du réservoir essence, d'où l'appellation « bi-carburant ». Le GPL est stocké sous sa forme liquide, puis, par l'action du vapodétendeur, il est transformé en gaz. Il est ensuite mélangé avec l'air et injecté dans les cylindres du moteur.

La combustion du propane et du butane se fait selon ces équations :





Les hydrocarbures utilisés dans les carburants tels que l'essence ou le diesel possèdent entre 4 et 11 atomes de carbone, et leur combustion rejette donc plus de CO<sub>2</sub>. De plus, la combustion du GPL est complète, et il n'y a donc pas d'émissions de particules imbrûlées. Et comme le GPL ne contient ni plomb, ni benzène, ni soufre, contrairement à d'autres carburants, ses émissions sont encore une fois limitées, et le moteur ne s'encrasse pas : la longévité du moteur est donc elle aussi préservée !

### *Autres avantages du GPL-C*

Le GPL est également intéressant car le butane et le propane peuvent facilement se liquéfier, en augmentant légèrement la pression ou en diminuant la température. Ainsi, le transport se trouve facilité et les réservoirs implantés dans les automobiles peuvent contenir entre 40 et 150 litres de GPL, ce qui confère une bonne autonomie, contrairement à d'autres énergies propres comme l'électricité.

Enfin, un des derniers atouts non négligeables du GPL est son faible prix à la pompe : bien qu'un moteur au GPL consomme environ 15% de litres de plus qu'un moteur à essence, cette surconsommation est largement compensée par le prix ultra-compétitif du GPL (jusqu'à 30% moins cher que l'essence !)

### *Qu'est ce qui empêche alors le développement du GPL ?*

Le GPL, à température ambiante et pression atmosphérique, se présente sous forme gazeuse. Pour être stocké, il est comprimé et/ou refroidi. Dans son état gazeux, le GPL est incolore et inodore, et présente une forte explosivité lorsqu'il est en contact avec l'air. De plus, à l'état liquide, le volume occupé par le GPL augmente de 0.25% lorsque la température augmente de 1°C. Ce genre de phénomènes effraye les gens, qui croisent aussi à l'entrée des parkings souterrains des panneaux indiquant « Interdit aux véhicules GPL non munis d'une soupape ».

Pourtant, la parade contre les phénomènes physiques existe : les réservoirs sont résistants et munis de soupape anti-retour, qui supprime les risques de fuite, et les réservoirs sont équipés de dispositifs limitant leur remplissage à 80% de leur volume maximale. Au final, l'utilisation du GPL ne fait courir absolument aucun risque aux utilisateurs ! Et les panneaux aux entrées de parkings n'interdisent pas l'accès aux véhicules GPL, mais seulement aux plus vieux, tous les nouveaux modèles étant équipés de ces soupapes. Ainsi, les réticences du grand public à s'équiper du GPL sont pour l'instant issues d'amalgame et de confusions, souvent entretenues par les sociétés gérantes de certains parkings, dont les panneaux peu précis laissent à penser que le GPL est dangereux. Mais il faut savoir que si cela était vrai à l'avènement du GPL, il n'en est aujourd'hui plus rien.

Le GPL est donc une bonne solution de lutte contre la pollution atmosphérique, en attendant l'arrivée de carburants totalement propres.



## II) Les moteurs hybrides

### 1) Citroën « Stop & Start »

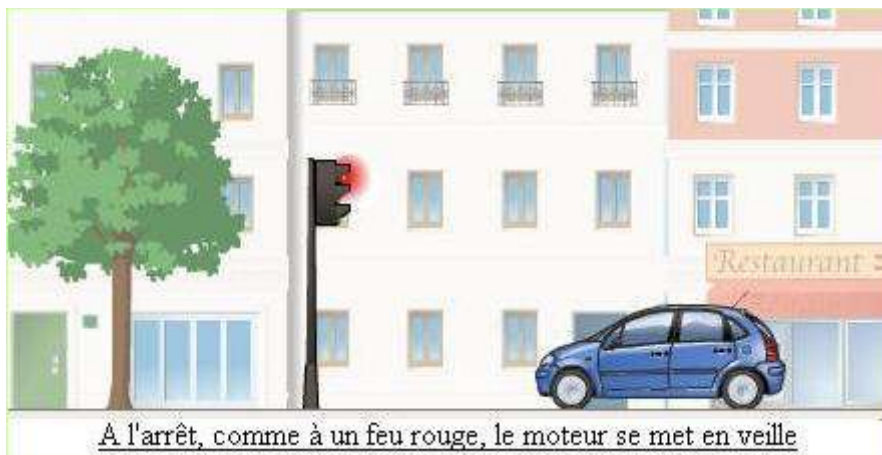


Commercialisé au deuxième semestre 2004, le système Stop & Start est une technologie du groupe PSA. Elle n'équipe pour l'instant que la Citroën C3, avec une motorisation à essence, mais devrait équiper bientôt d'autres modèles de la gamme, dont la Peugeot 1007, ainsi que des modèles Diesel. Le système Stop & Start se présente en fait comme une sorte de moteur hybride essence/électricité, mais, contrairement à la Prius (voir la partie consacrée à ce modèles), la partie électrique de ce moteur ne s'enclenche que dans certains cas.

#### *Principe général*

Lorsque le moteur d'une voiture est en marche, il consomme du carburant et émet donc des gaz polluant, et ce même lorsque le véhicule n'avance pas. D'ailleurs, lorsque le véhicule roule au ralenti, il consomme jusqu'à 15% de carburant en plus. Le principe du système Stop & Start est de mettre le moteur en veille automatiquement lorsque la vitesse du véhicule est plus basse que 6 km.h<sup>-1</sup>, puis de le relancer automatiquement lorsque l'utilisateur souhaite repartir, sans que le conducteur ait besoin de s'en occuper. Cette technologie se veut

totale­ment transparente pour l'utilisateur. Le but recherché est, bien sûr, de réaliser des économies de carburant et donc de limiter les émissions de gaz polluants, mais aussi de limiter les nuisances sonores en milieu urbain et de rendre la conduite en ville plus agréable, en éliminant les vibrations du moteur à l'arrêt.



A l'arrêt, comme à un feu rouge, le moteur se met en veille

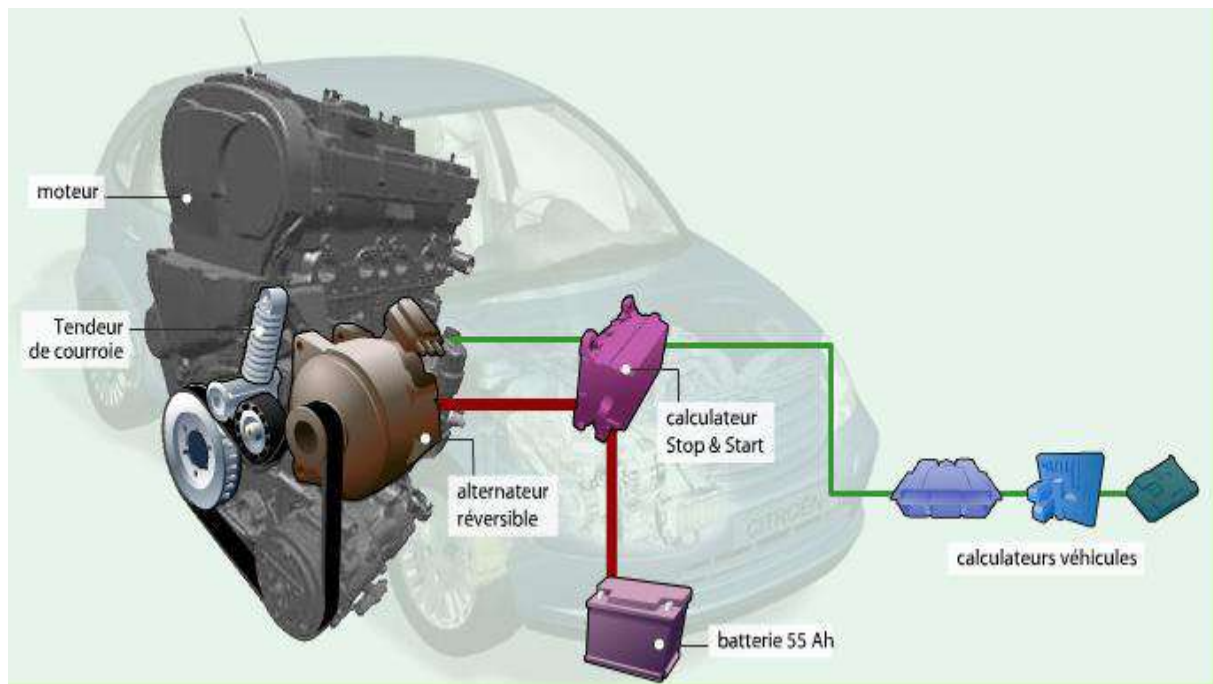
## ***Description et fonctionnement***

Le système Stop & Start se compose de deux éléments principaux : un alternateur réversible et un calculateur spécifique, ce dernier étant alimenté par une puissante batterie. Dans un véhicule classique, l'alternateur est une pièce entraînée par le moteur qui permet de fournir l'électricité nécessaire au bon fonctionnement du véhicule (tableau de bord, divers instruments électroniques de contrôle...).

L'alternateur réversible occupe cette fonction, mais sert en plus de démarreur. Après le démarrage, il redevient un alternateur classique. Cette double fonction permet de réduire le temps de démarrage de 800 millisecondes à 400 millisecondes, condition nécessaire pour que le redémarrage reste transparent et que le système ne soit pas gênant pour le conducteur.

Le calculateur gère l'alternateur et fait le lien entre ce dernier et les autres systèmes de gestion électronique du véhicule, principalement ceux du moteur (qui contrôlent l'injection, par exemple).

Le fonctionnement du Stop & Start est relativement simple : il s'active automatiquement après le démarrage, lorsque le véhicule atteint une vitesse de 10 km.h<sup>-1</sup>. Ensuite, il s'occupe de mettre en veille le moteur lorsque le conducteur freine et atteint une vitesse inférieure à 6 km.h<sup>-1</sup>. Le moteur reste en veille tant que la pédale de frein est actionnée, même légèrement, et redémarre lorsqu'elle ne l'est plus. Tout ceci se fait en totale transparence, sans aucune intervention du conducteur. Lors de manœuvres, telles que le stationnement, le système se désactive de lui-même, afin d'éviter des coupures de moteurs intempestives.



### ***Apports pour l'environnement et limites de la technologie Stop and Start***

C'est une évidence, cette technologie n'est utile que pour des usagers circulant beaucoup en milieu urbain où, il est possible d'économiser jusqu'à 10 % de carburant ! Les personnes qui utilisent leur auto uniquement pour de longs trajets sur autoroute n'utiliseront par contre que très peu le Stop & Start, si ce n'est aux gares de péages... Bien sûr, l'utilité de la technologie en ville est grande : réduction des gaz d'échappement, et du bruit des véhicules à l'arrêt. Il s'agit donc d'une avancée sympathique, même si l'utilisation des transports en

communs, du vélo et de la marche reste pour l'instant plus efficace pour les personnes n'ayant pas de problèmes de motricité.

## 2) Toyota Prius

Ce sigle pourrait bien devenir plus célèbre que les TDi ou HDi actuels !



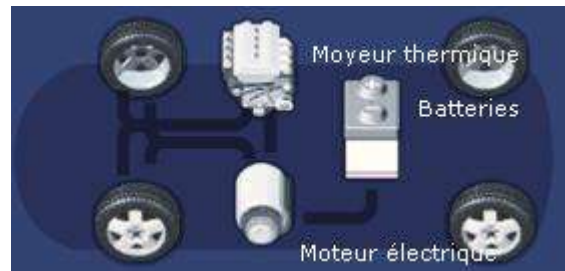
La Toyota Prius II se présente comme le modèle hybride le plus abouti à ce jour. Elle succède à la Toyota Prius I, commercialisée en 1997, qui était déjà un véhicule hybride, mais moins performant. Elue voiture de l'année 2005, elle est une avancée majeure dans le monde de l'automobile. Plébiscitée par la presse spécialisée et par le grand public, elle n'est néanmoins produite qu'en quantité limitée et ne sera vendue qu'à 2500 exemplaires en France en 2005. Son succès est dû à sa motorisation, baptisée « Hybrid Synergy Drive ». Voyons les particularités de cette dernière et ce qu'elle apporte à notre environnement.

***Hybrid Synergy Drive ou HSD*** (Plus ou moins « propulsion hybride à synergie » en français)

L'intérêt de cette motorisation spécifique pour l'instant à la Prius II est d'être constituée d'un moteur électrique, suppléé par un moteur à essence classique. Ainsi, le moteur électrique est utilisé en priorité, et le moteur à essence n'est utilisé qu'en cas de besoin, lorsque les batteries électriques sont vides, ou lorsque le moteur électrique ne fournit plus assez de puissance. Le plus simple pour comprendre le principe du HSD est d'étudier son

comportement lors de différentes phases de conduite, après avoir vu de quels éléments est composée cette motorisation hybride :

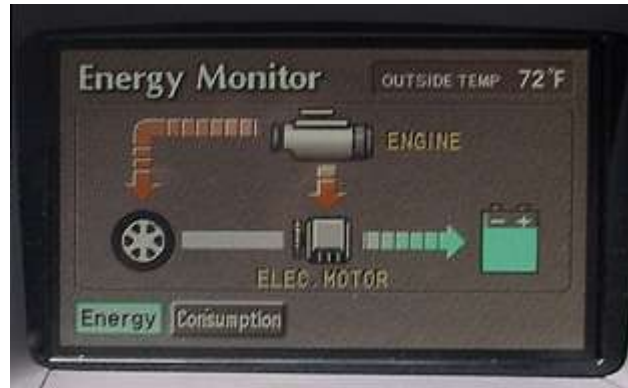
### Composition du HSD :



Le *Hybrid Synergy Drive* est composé de deux moteurs, un électrique et un à essence. Ils sont tous deux conçus pour fonctionner en synergie, c'est-à-dire qu'ils peuvent fournir simultanément de l'énergie aux roues. Le moteur électrique comporte un générateur, qui peut être entraîné par le moteur thermique pour créer de l'électricité, soit pour recharger les batteries, soit pour faire fonctionner le moteur électrique, voire même les deux en même temps.

Le moteur électrique de la Prius II est le plus performant au monde, et sa puissance lui permet d'être la première source d'énergie motrice du véhicule, et pas seulement à vitesse réduite.

### Comportement du HSD pendant les différentes phases de conduite :



L'ordinateur de bord de la Prius II peut montrer comment est produite l'énergie motrice en temps réel

1) Au démarrage et à petite vitesse

Lorsque le conducteur se met en route, et tant qu'il reste à petite vitesse (en ville par exemple), seul le moteur électrique est utilisé. Ainsi, la consommation de carburant est nulle, les émissions polluantes également, et la voiture est quasiment silencieuse. Si les batteries sont vides, le moteur à essence fournit de l'énergie au moteur électrique qui fait alors office de générateur pour recharger les batteries.

2) A vitesse moyenne

En marche normale, le moteur électrique et le moteur thermique fonctionnent en synergie. Le moteur thermique, en plus de fournir de l'énergie aux roues, fournit de l'électricité au moteur électrique, qui peut ainsi faire en plus office de générateur recharger les batteries. L'utilisation combinée des deux moteurs permet une réduction significative de la consommation en carburant ainsi que les émissions polluantes, tout en développant la même puissance qu'une voiture de la même catégorie.

3) Lors d'une accélération brusque

Comme lors de la marche normale, les deux moteurs fonctionnent en synergie, sauf que le générateur ne remplit pas les batteries. Au contraire, ces dernières fournissent de l'énergie supplémentaire au moteur électrique. Grâce à la puissance combinée des deux moteurs, la Prius II fait tout de même la performance de passer de 0 à 100 km.h-1 en 11 secondes, ce qui est très correct pour une voiture familiale.

4) Lors d'un freinage

Lorsqu'une voiture classique freine ou décélère, l'énergie cinétique qu'elle avait emmagasinée est perdue. Dans la Prius II, cette énergie est récupérée et transmise au moteur électrique, qui, à la manière d'un générateur, peut alors recharger les batteries.

#### 5) A l'arrêt

A l'arrêt, le moteur de la Prius II se coupe automatiquement, comme avec le système Stop & Start de Citroën. Ainsi, le moteur ne consomme rien et n'émet aucune pollution.

Grâce à cet ingénieux système, la recharge des batteries pendant que la voiture roule supprime la nécessité de brancher la voiture chez soi, comme pour les véhicules totalement électriques. L'utilisation du moteur électrique lors de déplacements courts à faible vitesse permet une réduction de la pollution atmosphérique et sonore en milieu urbain.

Au final, la Toyota Prius II ne consomme que 4,2 à 6 litres d'essences pour 100 kilomètres selon les conditions de circulation, et ne rejette que 104 grammes de CO<sub>2</sub> par kilomètre. Ce dernier chiffre est comparable aux émissions d'une voiture de petite taille, et pourtant la Prius II est une berline familiale ! Sur une année (c'est-à-dire environ 20 000 kilomètres), elle rejette une tonne de CO<sub>2</sub> de moins que ses concurrents (qui en rejettent environ trois tonnes).

### ***Autres avantages de la Prius II, et quelques petits désagréments***

La Prius II n'est pas qu'un simple prototype, mais c'est bel et bien une voiture familiale, comparable à une Renault Laguna ou à une Peugeot 407 ! Ainsi, son utilisation ne se limite pas aux courts trajets urbains, mais il est largement envisageable de partir en vacances avec ! Elle offre par exemple un coffre de 408 litres, et son comportement sur route ainsi que sa manoeuvrabilité sont dans la moyenne des autres véhicules du même segment. Son prix reste lui raisonnable vu son confort, même s'il ne sera pas à la portée de toutes les bourses (il faut compter 25 000 euros pour la version la moins chère).

Par contre, l'usage de batterie impose de ne pas laisser la Prius II plus de trois semaines sans rouler. De plus, la Prius II affiche ses limites au-dessus de 100 km/h, et plus encore au-

dessus de la limite des 130 km/h. Certains y verront peut-être un désavantage, mais au moins, cela incite à une conduite relaxée et plus sûre.



La Prius II offre un coffre d'une capacité de 408 litres !





Son design risque par contre d'en rebuter certains.

### 3) BMW 745h



La BMW 745h utilise l'hydrogène comme carburant.

Depuis une vingtaine d'année, les ingénieurs de BMW cherchent à développer un nouveau carburant, qui n'émet pas de CO<sub>2</sub> lors de sa combustion, et qui puisse exister en quantité illimitée. Très vite, ils se sont penchés vers le dihydrogène. L'évocation de cette molécule fait tout de suite penser à la pile à combustible (voir partie consacrée à la pile à combustible), et l'on se dit que BMW, comme certains de ses concurrents, travaille sur le développement de cette technologie. Pourtant il n'en est rien. En effet, le groupe BMW est très attaché aux moteurs thermiques de conception traditionnelle, et cherche donc seulement à remplacer le gazole ou l'essence, tout en gardant un système de moteur à explosion. Leurs avancées se concrétisent sous la forme de la BMW 745h. Le groupe BMW pense pouvoir commercialiser les premières voitures fonctionnant avec de l'hydrogène dans 5 ans.

## ***Pourquoi le dihydrogène?***

Pour BMW, le carburant de demain doit répondre à deux critères : il ne doit pas pouvoir créer de dioxyde de carbone, et doit être disponible en quantité illimitée. Le dihydrogène permet de répondre à ceux contraintes.

En effet, le dihydrogène H<sub>2</sub> ne possède pas d'atomes de carbones, donc une réaction de combustion, avec du dioxygène O<sub>2</sub> pour comburant, ne peut pas créer d'oxyde de carbone CO<sub>x</sub>, puisque les éléments d'une réaction chimique se conservent. De plus, on évite tous les problèmes liés aux hydrocarbures, telles que les particules imbrûlées (voir partir injection directe, Common Rail et FAP).

La deuxième contrainte peut se traduire différemment : en fait, un composé chimique se trouve en quantité illimitée s'il peut s'intégrer dans un cycle écologique. Cela signifie que le produit de départ et le produit d'arrivée doivent être le même. Le dihydrogène peut être utilisé de cette façon : on peut l'obtenir par électrolyse de l'eau (qui est donc le produit de départ), puis sa combustion avec de l'oxygène redonne de l'eau : la boucle est bouclée ! Ainsi, l'eau ne devient pas une énergie fossile, comme l'est le pétrole ou le gaz naturel, et on peut l'utiliser à l'infini !

Par ailleurs, le dihydrogène possède un potentiel énergétique supérieur aux autres carburants, c'est-à-dire qu'avec la même masse brûlée, la combustion du dihydrogène libère plus d'énergie.

## ***Comment les ingénieurs BMW veulent-ils utiliser le dihydrogène?***

Le dihydrogène peut être utilisé de deux façons : dans une pile à combustible, il sert à créer un courant électrique, qui alimente un moteur électrique (plus de détails [ici](#)...) ; sur la BMW 745h, le dihydrogène est utilisé comme un simple carburant, comme le gazole ou l'essence.

BMW justifie ce choix de différentes façons :

Tout d'abord, l'utilisation du dihydrogène comme carburant permet de créer des modèles bivalents, c'est-à-dire pouvant fonctionner avec plusieurs carburants simultanément. Ainsi, les modèles équipés gagnent en autonomie et peuvent rouler même en l'absence de stations de distribution d'hydrogène. Bien sûr, il est nécessaire de procéder à quelques arrangements au niveau du moteur, pour qu'il puisse accepter un gaz. Il a été nécessaire de créer de nouvelles valves et des systèmes de contrôle électronique de la pression. Par contre, il n'est plus nécessaire d'installer des pompes à carburant, car le dihydrogène est stocké en légère surpression dans ses réservoirs. Pour l'instant, le gaz est mélangé à l'air avant les cylindres, comme dans un moteur classique à injection indirecte, mais les ingénieurs travaillent actuellement pour permettre l'injection directe du gaz dans les cylindres.



Gros plan sur les goulots des deux réservoirs de la 745h et sur le bouton qui permet de basculer de l'un à l'autre.

L'utilisation de dihydrogène comme carburant permet aussi de transformer directement l'énergie créée en énergie motrice, sans passer par de l'énergie électrique ; l'utilisation de l'hydrogène dans une pile à combustibles nécessite en effet qu'une partie de l'énergie créée soit utilisée pour les systèmes électriques à bord, sans compter qu'une partie de l'énergie est perdue par effet Joule.

BMW reste également fidèle au moteur à combustion car il procure plus de dynamisme, de puissance et de confort, qui sont des valeurs revendiquées par la marque bavaroise.

## ***Conclusion***

En utilisant le dihydrogène comme carburant, les ingénieurs de BMW révolutionnent le moteur à explosion. L'utilisation de moteurs bivalents avec du gazole ou de l'essence permet une transition en douceur vers des solutions où les énergies fossiles deviennent obsolètes, tout en réduisant fortement les émissions de gaz polluants. Plus tard, l'utilisation de moteurs monovalents supprimera toute trace de CO<sub>2</sub> dans les gaz d'échappement, mais pour l'heure, ces moteurs n'ont pas encore atteint la puissance des moteurs actuels. Leur marge de progression reste cependant très importante.

## III) Les technologies de demain

### 1) Les moteurs électriques

Le moteur électrique utilisé dans des voitures n'en est pas à ses débuts. En effet, la première voiture à dépasser les 100 km/h, la "*Jamais contente*", accueillait un moteur électrique et ce en 1899. On ne voit dès lors pas pourquoi cette technologie prometteuse fut abandonnée. Il y a quelques années, le groupe [PSA](#) a mis sur le marché des modèle mus par cette énergie; résultat : le plus gros échec commercial de l'industrie automobile européenne de ces 20 dernières années! Leurs problèmes : une autonomie ridicule d'une centaine de kilomètres, et une vitesse de pointe d'environ 100 km/h. Depuis cette mauvaise expérience, les grands constructeurs ne se risquent plus à mettre en vente ce genre de véhicule. Pourtant, grâce aux nouvelles technologies d'accumulateurs de moteurs et de châssis, les possibilités sont grandes.

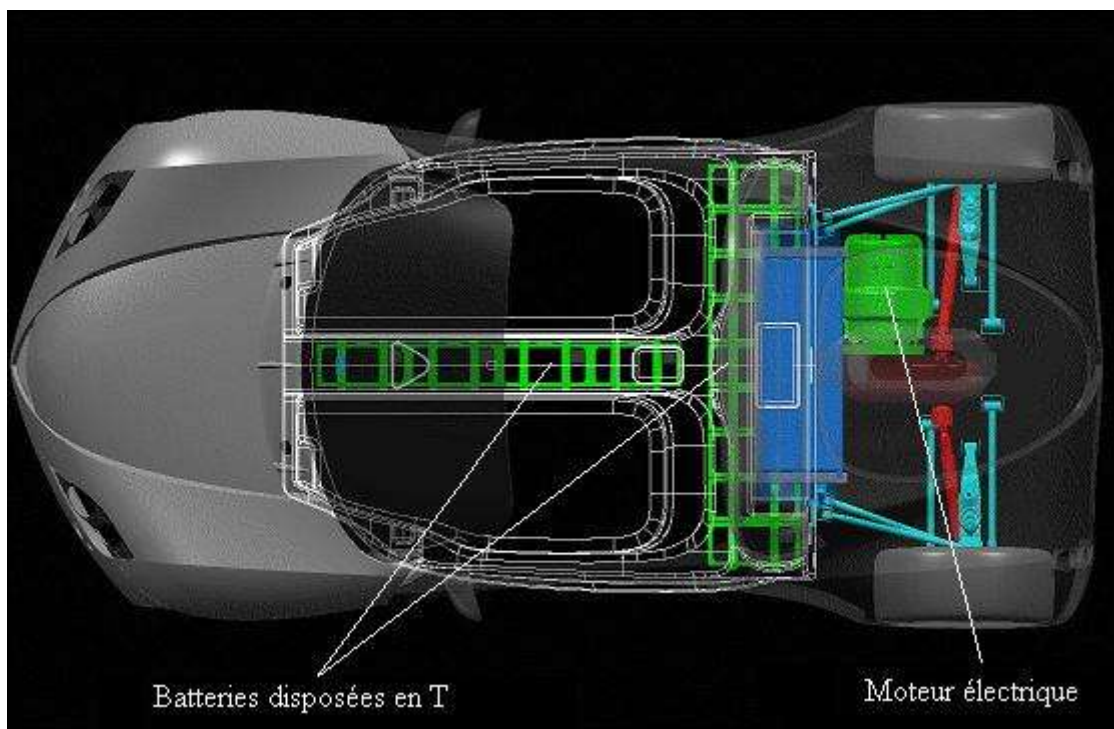


Deux Peugeot 106 électrique, véritable flop commercial pour le groupe [PSA](#).

## *Les différentes sortes de voitures à moteur électrique*

### Les voitures tirant l'énergie motrice d'une batterie :

Leur principal défaut est l'autonomie de la voiture : les batteries étaient, jusqu'à ces dernières années, lourdes et accusaient de faible densité d'énergie massique et densité de puissance massique. Mais depuis l'arrivée de nouvelles batteries comme les Lithium-Ion ou les Lithium Métal Polymère, des voitures conçues spécifiquement pour cette motorisation voient le jour.



Exemple de conception autour de la motorisation et des batteries électrique (Venturi Fetish).

Ceci permet de tirer un meilleur rendement de ces dernières car la répartition des masses y est plus adaptée. Certains projets comme la Venturi Fetish voient le jour et d'autres comme la Bluecar sont en cours de développement. Ces voitures non polluantes (à l'utilisation mais pas forcément à la fabrication de l'énergie), ne sont pas dénuées d'avantages par rapport aux voitures classiques :

- il est possible de les utiliser sans boîte de vitesse car leur moteur a une très grande plage de fonctionnement (de 0 à 14 000 tr/mn pour la Venturi),
- le couple est disponible à tout moment contrairement aux voitures à moteur thermique,
- le moteur électrique a aussi un meilleur rendement que le moteur thermique,

- les nuisances sonores sont bien moindres jusqu'à 50 km/h (vitesse à laquelle les nuisances sonores sont principalement causées par les pneumatiques),
- les propriétaires peuvent recharger leur voiture directement chez eux et n'ont plus besoin d'aller à la station service.



La Venturi Fetish, une sportive exclusive, a des performances dignes des plus grandes; reste le problème du coût : 540 000 euros TTC (principalement du aux batteries Lithium-Ion).



La Bluecar sera peut-être la voiture de ville de demain; reste à faire aboutir le projet.

**Les voitures tirant l'énergie motrice d'une autre source :**

Il existe deux possibilités :

-Le moteur peut être alimenté par des cellules photovoltaïques en général placées sur la carrosserie de la voiture. Ce système est pour l'instant réservé à des prototypes réalisés pour faire une performance mais pas dans le but d'une commercialisation éventuelle. De plus dans l'état actuel des choses, le soleil est nécessaire pour un rendement correct des capteurs solaires.



La carrosserie de ces prototypes est recouverte d'un maximum de cellules photovoltaïques.

-Une autre solution est la pile à combustible (ou PAC); en effet elle fabrique de l'électricité qui alimente un moteur électrique. Le fonctionnement de la PAC est décrit [ici](#).

Pour conclure, les voitures électriques ont sans doute un avenir très prometteur devant elles mais elles ne permettent une réelle diminution de la pollution qu'à condition d'être alimentées par de l'électricité produite de manière écologique. Nous avons vu avec la Venturi Fetish qu'elles peuvent être aussi performantes que des voitures de sport mais aussi avec la Bluecar qu'elles pourront servir de voiture de ville. Dans quelques années, quand le coût des nouvelles technologies d'accumulateur aura baissé, la voiture à moteur électrique pourrait bien détrôner la voiture à moteur thermique.





## 2) Les moteurs au gaz naturel

### *Le Gaz Naturel Véhicules*



Vous pouvez croiser cette voiture roulant au gaz naturel dans les rues de Strasbourg.

Le Gaz Naturel Véhicules (ou GNV) est un nouveau carburant pouvant alimenter les moteurs de nos automobiles. Dans le monde, on compte déjà presque 4 millions de véhicules fonctionnant au GNV, dont 2 millions rien qu'au Brésil et en Argentine, et environ 7300 stations-service proposant du gaz naturel. En France, en décembre 2003, on comptait 7100 voitures en circulation pour 102 stations équipées (chiffres [www.iangv.org](http://www.iangv.org)). En Europe, le pays le mieux équipé est l'Italie, avec 420 000 véhicules, et des pays comme la Suisse ou l'Allemagne appliquent une politique très active en faveur du GNV. Ainsi, la Suisse dispose d'un réseau de distribution de GNV par canalisations, qui approvisionnent directement les stations-service, ce qui permet d'éviter la pollution due au transport par la route.

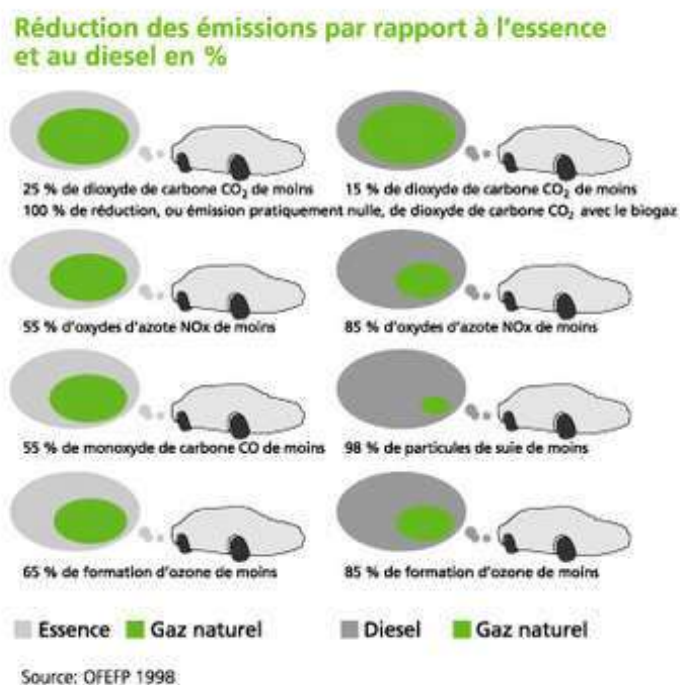
### *Composition du GNV et pollution à l'usage*

Le Gaz Naturel Véhicules est composé à 97 % de méthane CH<sub>4</sub>. Il s'est formé pendant des milliers d'années dans des roches sédimentaires, sur le même principe que le pétrole. On peut également créer du GNV en faisant fermenter de la biomasse, puis en traitant le produit obtenu. Biogaz et gaz naturel ont les mêmes propriétés et peuvent être utilisés de la même manière.

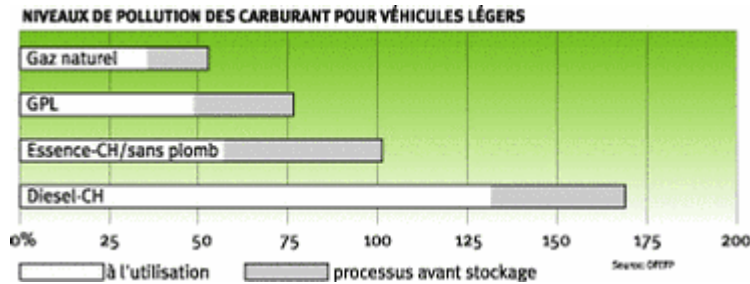
L'intérêt du GNV est d'être composé essentiellement de méthane. En effet, la combustion de carburant dans un moteur à explosion se fait selon cette équation :

$C_nH_{2n+2} + (1.5n+0.5) O_2 \rightarrow nCO_2 + (n+1) H_2O$  (L'équation a été simplifiée : des molécules de diazote N<sub>2</sub> sont également nécessaires, mais on les retrouve en même quantité avant et après la réaction de combustion, et on note également l'apparition d'oxydes d'azote, de monoxyde de carbone, et, dans un moteur diesel, le rejet de particules imbrûlées.)

Le méthane étant composé d'un seul carbone, on a donc n = 1, c'est-à-dire le minimum possible pour que cette réaction ait lieu. Le GNV est donc l'**hydrocarbure** le moins polluant à l'usage, ses émissions de CO<sub>2</sub> sont limitées. Par rapport à un carburant classique, on note une réduction notable de la quantité de tous les gaz émis :



De plus, le GNV ne nécessite que très peu de transformations, d'où une réduction de la pollution au stade de la fabrication par rapport aux carburants classiques, et peut être transportés dans des canalisations, ce qui permet d'éviter le transport routier (et donc polluant, à moins que le poids lourd soit lui-même équipé de technologie non polluantes...). On observe donc encore une réduction significative de la pollution due à ce carburant de demain (de demain matin, même).



(Attention, ce graphique montre ce qu'il en est en Suisse, et peut différer par rapport à la France, moins avancée en matière de protection de l'environnement)

## *Equiper son véhicule et rendement d'un moteur au GNV*

Il existe deux types de véhicules fonctionnant au GNV :

- les modèles monovalents, qui ne possèdent que des réservoirs de gaz et aucun d'essence ou de gazole (ou au maximum un réservoir de 15 litres de secours)
- les modèles bivalents, qui possèdent des réservoirs de gaz et d'essence ou de gazole.

Un moteur à gaz naturel fonctionne selon le même principe qu'un moteur à essence ou diesel. Ainsi, un moteur monovalent optimisé pour le GNV et acheté comme tel aura un rendement égal à celui d'un moteur à essence. Un moteur à essence converti au GNV ou un moteur bivalent aura un rendement légèrement inférieur (jusqu'à 8%).

Les véhicules à gaz naturel peuvent parcourir généralement entre 200 et 500 kilomètres. Les véhicules bivalents peuvent atteindre jusqu'à 1000 kilomètres sans être ravitaillés en carburant.

### ***Autres avantages du Gaz Naturel Véhicules***

- Le méthane étant un gaz stable, de faible densité et possédant une température d'auto inflammation élevée, son stockage ne pose aucun -problème de sécurité, et est même plus sûr que celui du diesel ou de l'essence. De plus, lors du plein, il n'y a aucune perte, et pas d'émissions nocives pour la santé.

- Le méthane ne contient aucun additif ni aucune substance cancérigène.

- Le gaz naturel ne nécessite que très peu de transformations pour devenir du GNV, son coût est donc plus faible que celui des autres carburants. De plus, les utilisateurs souhaitant s'équiper peuvent bénéficier de nombreuses aides et défiscalisation. Au final, le gaz naturel permet de réelles économies.

- La combustion du gaz naturel est plus lente que celle des autres hydrocarbures. Elle permet une réduction significative des vibrations et par conséquent du volume sonore des moteurs.

### ***Le gaz naturel dans les transports en communs***



De nos jours, le GNV est surtout utilisé dans les transports communs. Au niveau du Bas-Rhin et de la Communauté Urbaine de Strasbourg, on retrouve ainsi trois cars du Réseau 67 roulant au gaz naturel, ainsi que 50 bus de la Compagnie des Transports Strasbourgeois circulant en ville. La CTS s'est fixé d'acheter 4 nouveaux bus roulant au gaz naturel par an.

De nombreuses autres villes françaises sont équipées en bus au gaz naturel : on compte pour l'instant plus de 1200 bus équipés, et plusieurs villes (Colmar, Montpellier) prévoient déjà de remplacer tout leur parc par des bus gaz naturel.





Ce car du Réseau 67 et ce bus de la CTS roulent au gaz naturel.

### *A Strasbourg*

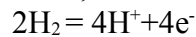
Pour les particuliers, une station-service pour le gaz naturel a été ouverte par Gaz de Strasbourg rue du Doubs à la Meinau depuis janvier 2001. Une deuxième est actuellement en projet.

### **3) Les moteurs à hydrogène ou à pile à combustible**

Aujourd'hui, les constructeurs automobiles, dans leur course pour créer la voiture qui ne pollue pas, s'intéressent très sérieusement à une technologie : la pile à combustible. En effet, les moteurs fonctionnant avec cette pile n'ont besoin pour leur fonctionnement que d'hydrogène et d'oxygène et leur seul rejet est de l'eau sous forme gazeuse! A première vue, cette alternative paraît être parfaite; mais est-elle vraiment moins polluante que les moteurs diesels ou à essence?

## Principe de fonctionnement

La pile à combustible est constituée de deux **électrodes** (une anode et une cathode), séparées par un **électrolyte**. Pour fonctionner, elle nécessite un apport de dihydrogène (**combustible**) et de dioxygène (**comburant**). Le dihydrogène passe par l'anode où il est oxydé; après dissociation, il se forme des ions  $H^+$  et des électrons :



Les électrons ne pouvant pas passer l'électrolyte, ils passent donc par un circuit annexe sur lequel est placé un dispositif électrique utilisateur (dans la cas d'une voiture, un moteur électrique). Arrivé à la cathode, le dioxygène de l'air se combine avec les ions hydrogène et les électrons qui rejoignent le circuit; il se forme de l'eau :

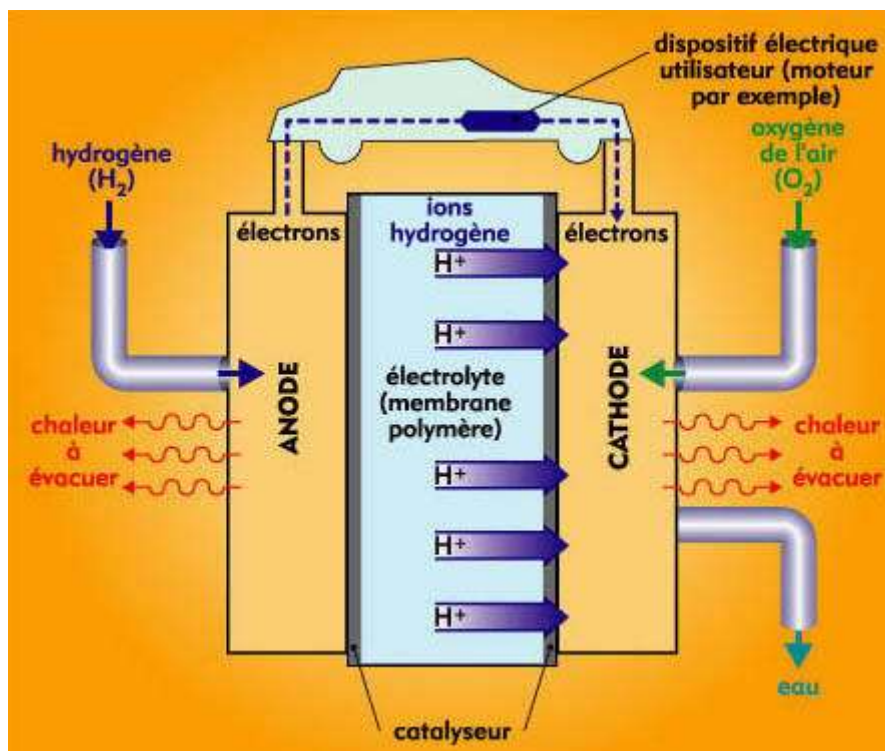
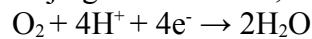


Schéma récapitulatif du fonctionnement d'une pile à combustible.  
(Cliquez sur l'image pour voir l'animation).

Cette réaction est **exothermique** : elle crée de la chaleur qui peut elle aussi être utilisée par la voiture (système de chauffage, ...).



Les voitures à pile à combustible fonctionnent donc grâce à un moteur électrique qui est alimenté par les électrons produits par la réaction d'hydrolyse inverse.



Une Opel Zafira équipée d'une pile à combustible a effectué un marathon de 10 000 km à travers l'Europe (son autonomie étant d'environ 400 km avec un seul plein).

### ***Inconvénients et points négatifs***

Le principal problème de la pile à combustible réside dans la fabrication de l'hydrogène nécessaire à son fonctionnement. En effet, celle-ci nécessite de l'électricité; or si la fabrication de cette électricité ne suit pas des procédés écologiques, la pollution est engendrée en amont du véhicule mais est toujours importante. La solution serait donc de développer les centrales hydroélectriques, photovoltaïques et les éoliennes (qui ne serviraient pas forcément qu'à la fabrication de cet hydrogène) et qui elle utilisent l'énergie renouvelable de la nature.

L'autre problème majeur de la pile à combustible est la chaleur qu'elle produit. Pour développer cette technologie, les industriels vont devoir trouver un moyen de l'utiliser ou de l'évacuer.

Un autre point négatif est la dangerosité de l'hydrogène gazeux : il est très explosif et doit donc être stocker rigoureusement dans la voiture. Une solution est d'utiliser un gaz contenant de l'hydrogène et d'ajouter un reformeur embarqué à la voiture. De cette façon, il n'y a plus besoin de stocker du dihydrogène pur.

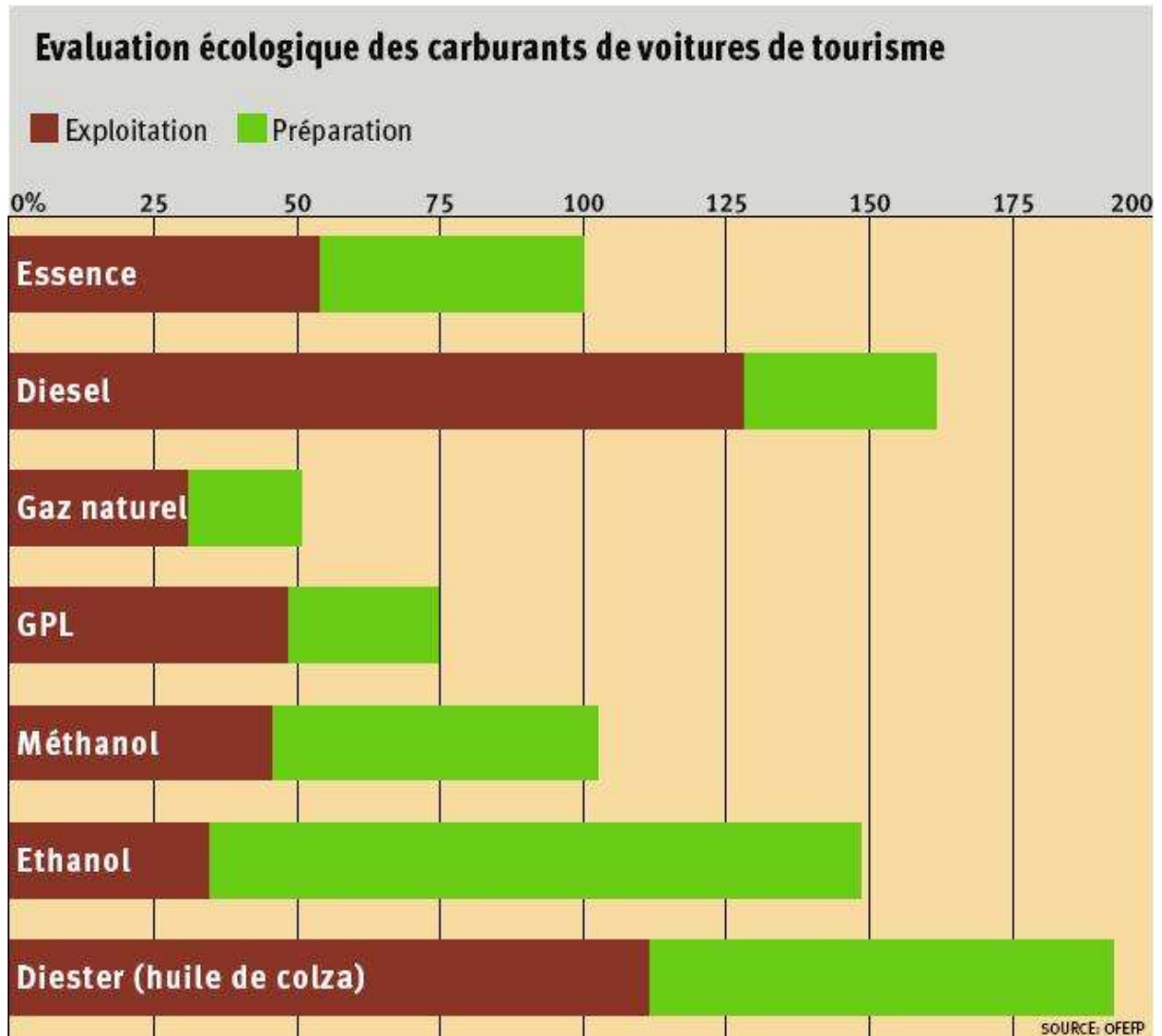
## *Récapitulons!*

La pile à combustible est à l'image d'une centrale électrique embarquée ou d'une batterie : elle permet, à partir d'une réaction d'hydrolyse inverse entre du dihydrogène ( $H_2$ ) et du dioxygène ( $O_2$ ), de créer de l'électricité qui fait fonctionner un moteur électrique normal. Cette réaction ne créant que de l'eau, les rejets de cette voiture ne sont pas polluants. De plus, le rendement énergétique d'une PAC couplée à un moteur électrique est meilleur que celui d'un moteur thermique traditionnel (jusqu'à 50% pour la PAC contre seulement 21% à 27% pour les moteurs thermiques). Reste à créer un réseau de fabrication propre de dihydrogène, un autre de distribution de ce dihydrogène, à abaisser les coûts de fabrication de ce type de pile et à apprendre à mieux les utiliser (utiliser la chaleur produite, trouver une technique de stockage de l'hydrogène moins dangereuse).



Peugeot a conçu cette voiture de pompier fonctionnant grâce à une pile à combustible; l'originalité de ce concept est qu'à partir de borohydrure de sodium (très proche du sel) la voiture crée le dihydrogène dont elle a besoin et de cette façon ne le stocke pas sous forme gazeuse.

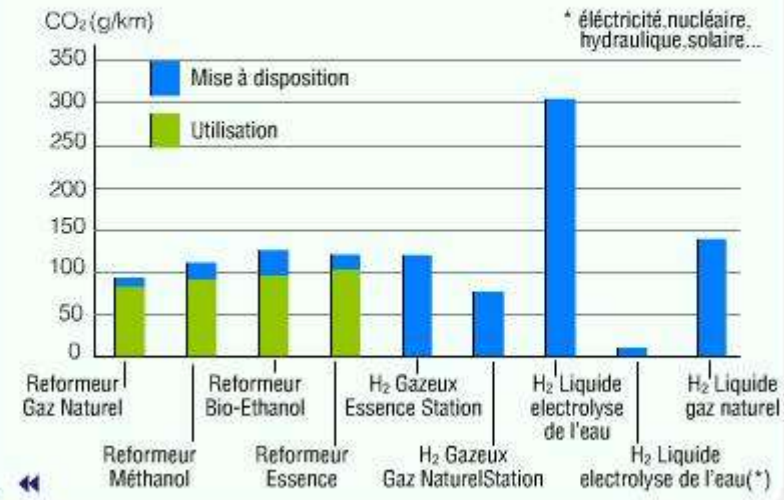
## IV) Tableau Comparatif



Sur ce graphique, on voit la pollution engendrée par les différents carburants automobiles (la pollution engendrée par l'essence étant équivalente à 100%). Les diesel est particulièrement mal placé mais cela s'entend sans filtre à particule ni technologie d'injection directe. On remarque que le pollution engendrée par certains carburants pourrait être bien moindre si leur fabrication était améliorée.

L'hydrogène est issu de l'électrolyse de l'eau ou du reformage (réaction chimique qui casse les molécules) d'hydrocarbures ou d'alcool contenant des atomes d'hydrogène. L'hydrogène peut être produit à bord ou à l'extérieur du véhicule. Si l'on considère le cycle complet " du puits à la roue ", la majorité des filières bénéficie d'un bilan CO<sub>2</sub> entre 90 et 120 g / km.

**Impact sur l'effet de serre des différentes filières PAC**  
(en équivalent g CO<sub>2</sub>/km)



Grâce à ce graphique, on mesure l'importance du cycle de fabrication pour un carburant dans son "rendement" écologique. On voit que la pollution due à l'hydrogène ne dépend que de sa fabrication: par électrolyse, le carburant n'est totalement propre que si l'électricité nécessaire est produite de façon propre.

## Conclusion générale

En ce début de troisième millénaire, les solutions existent pour réduire les émissions de gaz polluants, avec en première ligne le dioxyde de carbone. Si certaines sont déjà largement répandues et à la portée de tout le monde, comme les évolutions des moteurs Diesel ou le GPL, dont les coûts d'installations sont rapidement amortis, d'autres nécessitent encore quelques années, voire dizaine d'années, avant de faire leur apparition dans la voiture de Monsieur tout le monde. Ce sont d'ailleurs ces dernières qui représentent un avenir avec une pollution nulle. Mais les longues années de recherches nécessaires au développement de ces nouvelles technologies se heurtent également à des problèmes politiques et financiers, notamment en raison du lobby pétrolier mondial.

Ainsi, bien que la pollution due à un véhicule automobile moyen ait été largement réduite, et qu'elle puisse encore l'être, elle reste trop grande, et l'augmentation du marché automobile mondial, avec l'arrivée de pays émergents tels que la Chine, ne laisse rien présager de bon. Mais sommes-nous pour autant condamnés à polluer, sous prétexte qu'aucune technologie n'est encore totalement propre ?

**La meilleure façon de contrer la pollution automobile : adopter un comportement écologique !**

Saviez-vous que conduire de façon souple ou en utilisant le principe Eco-Drive<sup>®</sup> suisse, la consommation peut être réduite de 30% ? Et pensez-vous que la quantité de CO<sub>2</sub> émise par un cycliste pendant son effort est supérieure à celle d'une Smart ? Non, pour l'instant, pour ceux qui n'ont pas les moyens de s'offrir une Venturi Fetish (c'est-à-dire sans doute 99% de la population française), la solution de la marche à pied et des transports en communs est encore la meilleure, et ceux qui ne peuvent se passer de leur voiture devrait penser au covoiturage, sans compter qu'il existe de nombreuses façons de réduire sa consommation sans dépenser un centime (au contraire, on ne peut qu'en gagner !). Et, bien sûr, les 4X4 de luxe (BMW X3 et X5, VW Touareg...) sont à proscrire...

Il faut également considérer que d'autres éléments de la voiture peuvent être améliorés pour permettre une réduction de la pollution : par exemple, 1 plein sur 5 est perdu à cause des frottements au niveau des pneus, et rouler avec des barres sur le toit augmente la consommation de 7,5 % !

Pour conclure, toutes les technologies que nous avons présentées sont efficaces dans leur lutte contre la pollution, mais il faudra encore attendre avant de pouvoir rouler sans polluer du tout, et en attendant, il faut changer nos habitudes de déplacement.

## Remerciements

Nous tenons à remercier :

Anne Laforgue, de la société Venturi, qui a répondu à nos mails et qui nous a envoyé quantité d'informations sur la Fetish.

Thierry, trésorier de l'association A2E de l'INSA, qui nous a sympathiquement accueillis et expliqué le but de l'association (à savoir participer à l'Eco Marathon Shell)

Monsieur Sutter et Madame Kloos.

## Contact

Pour tout renseignement vous pouvez m'envoyer un e-mail à l'adresse suivante :

[bobmarleyponge@free.fr](mailto:bobmarleyponge@free.fr)

## Bibliographie

MOUSTACCHI Alfred, PAYAN Jean-Jacques, L'automobile, avenir d'une centenaire, collection Dominos, éditions Flammarion, 1999

BABILLON Christian, REYNAUD Jean, Le véhicule automobile, éditions Press, Marseille 2002

MEMETEAU Hubert, Technologie fonctionnelle de l'automobile - 1. Le moteur et ses auxiliaires, éditions DUNOD, Paris 2002

Le Petit Larousse Illustré 2002

Encyclopédie Universalis

*Différents journaux*

Phosphore n° 285 mars 2005

Science et Vie 1048 janvier 2005

L'essentiel de l'auto n°46 janvier/février 2005

Action auto moto n°120 mars 2005

*Sites de constructeurs autos*

Sites du groupe PSA et de Peugeot et Citroën

[www.psa-peugeot-citroen.com](http://www.psa-peugeot-citroen.com)

[www.peugeot.fr](http://www.peugeot.fr)

[www.citroen.fr](http://www.citroen.fr)

<http://www.developpement-durable.psa.fr/>

Sites de Renault

[www.renault.fr](http://www.renault.fr)

<http://www.developpement-durable.renault.com/>

Site de Toyota

[www.toyota.fr](http://www.toyota.fr)

Site de Venturi

<http://www.venturi.fr>

Document exposant le principe de fonctionnement de la BMW 745h (en anglais)

Magazine for the associates of the BMW Group, *Hydrogen Future*.

Sites d'association écologiques ou de groupes liés à l'Etat plutôt généralistes

Site de l'Ademe (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)

[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

Site de l'IFP (Institut français du pétrole)

[www.ifp.fr](http://www.ifp.fr)

Site de l'Office de l'efficacité énergétique du Canada sur les carburants

<http://oee.nrcan.gc.ca/transports/personnel/carburants.cfm?attr=8>

Sites sur le Gaz Naturel Véhicules

Sites suisses



<http://www.vehiculeagaz.ch/index.php?id=fr>

<http://www.gaz-naturel.ch/>

Site du Gaz de Strasbourg

[http://www.gaz-de-strasbourg.fr/gaz\\_gnv.htm](http://www.gaz-de-strasbourg.fr/gaz_gnv.htm)

*Animation de la pile à combustible*

<http://www.cea.fr>

*Sites sur le GPL*

Site du Comité Français du Butane et du Propane

[http://www.cfbp.fr/index.dyn.php3?p\\_idref=2](http://www.cfbp.fr/index.dyn.php3?p_idref=2)

Site de Gepel, rattaché à Butagaz

[www.gepel.fr](http://www.gepel.fr)

*Sites divers*

<http://www.caradisiac.com>

<http://www.histomobile.com>

<http://perso.ksurf.net/pollution2002/>

<http://www.moteurnature.com/>

<http://www.clean-auto.com/>

<http://cybermecanique.free.fr/>

<http://www.hpturbo.fr/>

# Lexique

Catalyser : action d'accélérer la vitesse d'une réaction chimique sans pour autant en changer les particularités.

Comburant : substance qui se combine avec un combustible, dans une réaction de combustion.

Combustible : substance gazeuse, liquide ou solide, dont on utilise la combustion comme source de chaleur. Les combustibles sont caractérisés par leur pouvoir calorifique, qui est égal à la chaleur de la combustion mise en jeu.

Densité d'énergie massique : quantité d'énergie stockée par unité de masse (ou de volume) d'un accumulateur.

Densité de puissance massique : représente la puissance (énergie électrique fournie par unité de temps) que peut délivrer l'unité de masse de l'accumulateur.

Électrolyte : matériau qui bloque le passage des électrons

Exothermique : se dit d'une réaction, chimique ou nucléaire, qui dégage de la chaleur.

Hydrocarbure : composé formé d'atomes de carbone et d'hydrogène. Le pétrole et le gaz naturel sont des hydrocarbures.

Particules : elles sont constituées de micro sphérules de carbone, sur lesquelles se sont adsorbés et condensés des hydrocarbures provenant du carburant et du lubrifiant, de l'eau et des sulfates sont également présents en surface.

PSA : Peugeot-Citroën