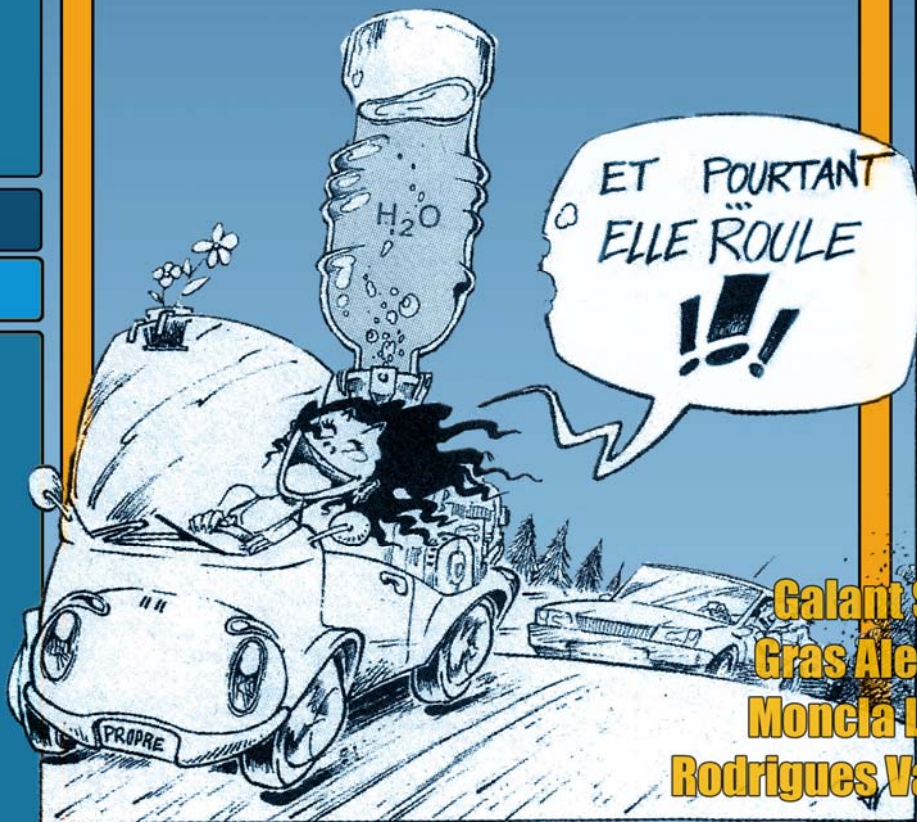


**THEMES: Développement durable  
Economie d'énergie**

**1ere S 6**

# L'hydrogène une alternative au pétrole ?

2004 - 2005



**Galant Sylvain  
Gras Alexandre  
Moncla Ludovic  
Rodrigues Vanessa**

# SOMMAIRE

INTRODUCTION .....	3
<b>I) PRINCIPE DES MOTEURS A HYDROGENE.....</b>	<b>4</b>
A) ELECTROLYSE DE L'EAU.....	4
1) <i>Principe de la réaction</i> .....	4
2) <i>Expérience</i> .....	5
B) MOTEUR PANTONE (PMC) .....	6
1) <i>Paul Pantone</i> .....	6
2) <i>Le système Pantone</i> .....	6
3) <i>La réaction</i> .....	9
4) <i>Avantages de ce système</i> .....	9
<b>II) LA PILE A COMBUSTIBLE : UNE INVENTION PROMETTEUSE.....</b>	<b>12</b>
A) PRINCIPE .....	12
B) UNE LIMITE DE LA PILE A COMBUSTIBLE : LE STOCKAGE DE L'HYDROGENE.....	13
1) <i>Stockage sous forme comprimée</i> .....	13
2) <i>Stockage sous forme liquide (cryogénique)</i> .....	13
<b>III CONSEQUENCES.....</b>	<b>15</b>
A) ENVIRONNEMENTALES .....	15
B) POLITIQUES ET ECONOMIQUES .....	16
CONCLUSION .....	17

## Annexes :

- Remerciements
- Bibliographie
- Synthèses personnelles

## INTRODUCTION

**D'ici 2015, l'offre de pétrole ne devrait plus pouvoir suivre la demande. Les spécialistes s'accordent à dire qu'un avenir sans crise pétrolière est peu probable. Quant aux réserves mondiales d'or noir, elles se situeraient à environ 150 milliards de tonnes (soit 1 à 1.2 milliards de barils). Cela correspond à une production d'une cinquantaine d'année au rythme actuel : le prix du baril atteindrait des niveaux jamais vus. Une fois l'ensemble des ressources pétrolifères épuisées, cette source d'énergie serait définitivement tarie.**

**Depuis plus de vingt ans des ingénieurs ont mis au point un système adaptable sur les moteurs, pour remplacer le pétrole et utiliser une énergie propre et économique. Ces systèmes fonctionnant à base d'hydrogène ont été breveté, et seraient une alternative au pétrole permettant de faire face à la pénurie qui aura lieu d'ici une cinquantaine d'années.**

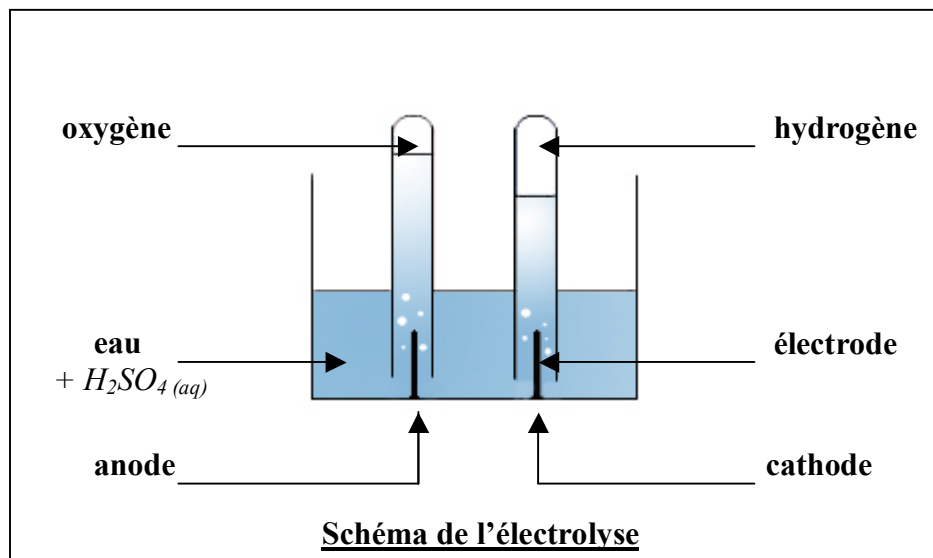
**Nous nous sommes alors intéressés plus spécifiquement à deux principes de production d'hydrogène, le processeur multi carburants GEET Pantone et la fabrication d'hydrogène par électrolyse de l'eau.**

# I) Principe des moteurs à hydrogène

## A) Electrolyse de l'eau

### 1) Principe de la réaction

L'électrolyse de l'eau consiste à faire passer un courant électrique continu dans de l'eau (préalablement acidifiée) pour dissocier la molécule d'eau afin de produire du dihydrogène et du dioxygène. Cette méthode de fabrication de l'hydrogène est la plus propre.



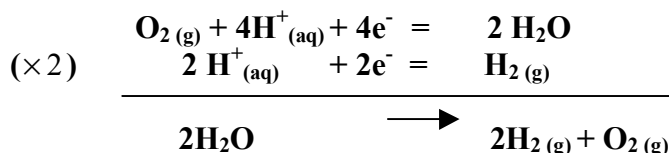
L'électrolyse de l'eau est une réaction d'oxydoréduction :

Une réaction d'oxydoréduction est une réaction chimique qui met en jeu deux couples d'oxydants et de réducteurs qui échangent le même nombre d'électrons.

Dans le cas de l'électrolyse de l'eau, les couples d'oxydants et de réducteurs sont :



**L'équation chimique de l'oxydoréduction est donc la suivante:**



Après la réaction, nous obtenons deux fois plus de dihydrogène que de dioxygène. Le comburant dioxygène ( $O_2$ ), nécessaire à la combustion, et le dihydrogène ( $H_2$ ), qui sert ici de carburant, sont recueillis directement au niveau des électrodes et sont ensuite injectés dans le moteur. Le moteur fonctionne ensuite selon le même principe qu'un moteur à explosion classique.

## 2) Expérience

Nous avons réalisé l'expérience au laboratoire du lycée à l'aide d'électrodes en platine (matériau le mieux adapté : confère. tableau ci-dessous).

Des études comparatives sur différents métaux permettent d'établir le tableau suivant :

Cuivre	Non utilisable, gros dépôt bleu dans l'eau
Aluminium	Non utilisable, dépôt blanc dans l'eau
Carbone	Utilisable mais se fragmente au bout de quelques heures
Fer	Non utilisable, gros dépôt couleur rouille dans l'eau
Acier	Non utilisable, gros dépôt couleur rouille dans l'eau
Acier galvanisé	Non utilisable, gros dépôt couleur rouille et bleu dans l'eau
Inox	Convient bien mais présente particules couleur rouille en suspension dans l'eau après plusieurs heures.
Platine	Convient très bien, pas de dépôts ; très résistant

Cependant, les produits issus de cette réaction ne sont pas suffisamment. Pourtant, il existe des théories qui viseraient à faire vibrer les molécules d'eau à des fréquences spécifiques (610 Hz, 630 Hz, 923hz, 1280hz, 24000hz, 42800hz ou 48000hz), afin de séparer la molécule d'eau plus facilement et en utilisant donc moins d'énergie, ce qui devrait augmenter le rendement.

Ne possédant pas les moyens techniques de réaliser un moteur fonctionnant selon ce principe, nous nous sommes plutôt intéressés au processeur multi carburants GEET Pantone.

## B) Moteur Pantone (PMC)

### 1) Paul Pantone



Paul Pantone, ingénieur électricien de formation, a débuté ses recherches en 1979, et après près de 350 essais infructueux, il découvrit le procédé tel qu'il est décrit dans son brevet. En 1994, il fonda, avec sa femme, la société GEET fabriquant des groupes électrogènes modifiés et effectuant toutes sortes d'amélioration sur le système.

Il résume son idéologie en ces trois points :

« - Que nous puissions vivre dans un monde en paix débarrassé des rejets dus au développement technique dont les rejets souillent l'eau, l'air et le sol et qui nous a amenés aux frontières de notre auto destruction  
- Que les gens s'entraident  
- Que règne l'abondance... »

Cet état d'esprit explique pourquoi Pantone n'a pas hésité à diffuser les plans de son invention sur l'Internet.

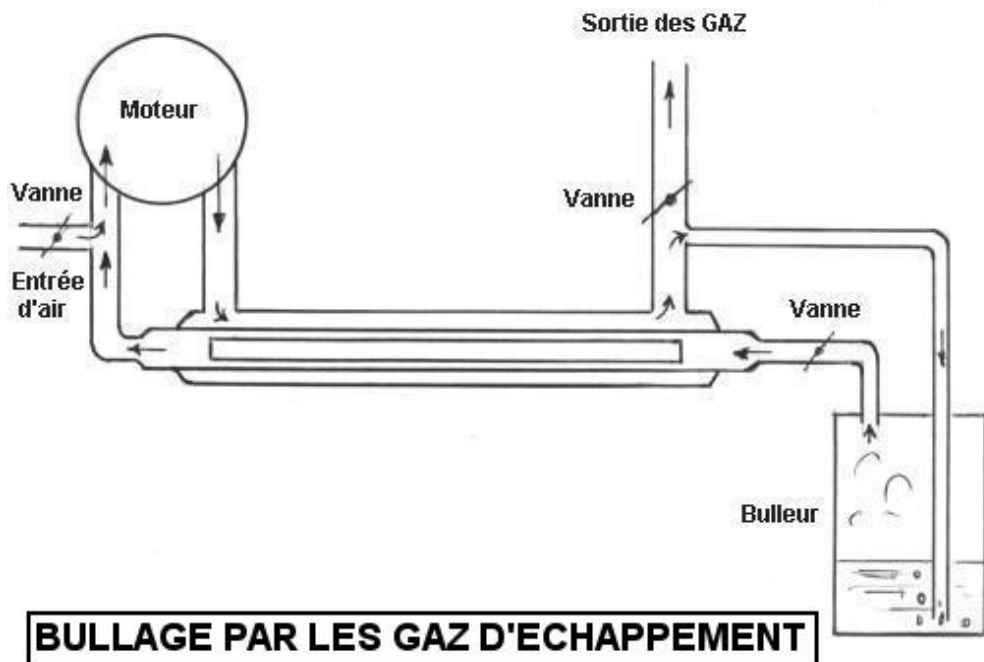
### 2) Le système Pantone

Le système s'applique pour tous moteurs thermiques (moteurs de tondeuse et motoculteur 4 temps, moteurs de voiture et camion à essence ou diesel, groupe électrogène, chaudière de chauffage central à fuel, ...). Le but est d'utiliser un carburant contenant 25% d'hydrocarbures, même beaucoup plus épais que l'essence (gasoil, huiles végétales ou de récupération, de vidange, et même pétrole brut) et 75% d'eau (eau de pluie, de puits, du robinet ou bien provenant tout simplement du système d'épuration de vos eaux grises et vannes, ...). En fait, ce n'est pas l'eau qui est intéressante, mais l'hydrogène qu'elle contient.

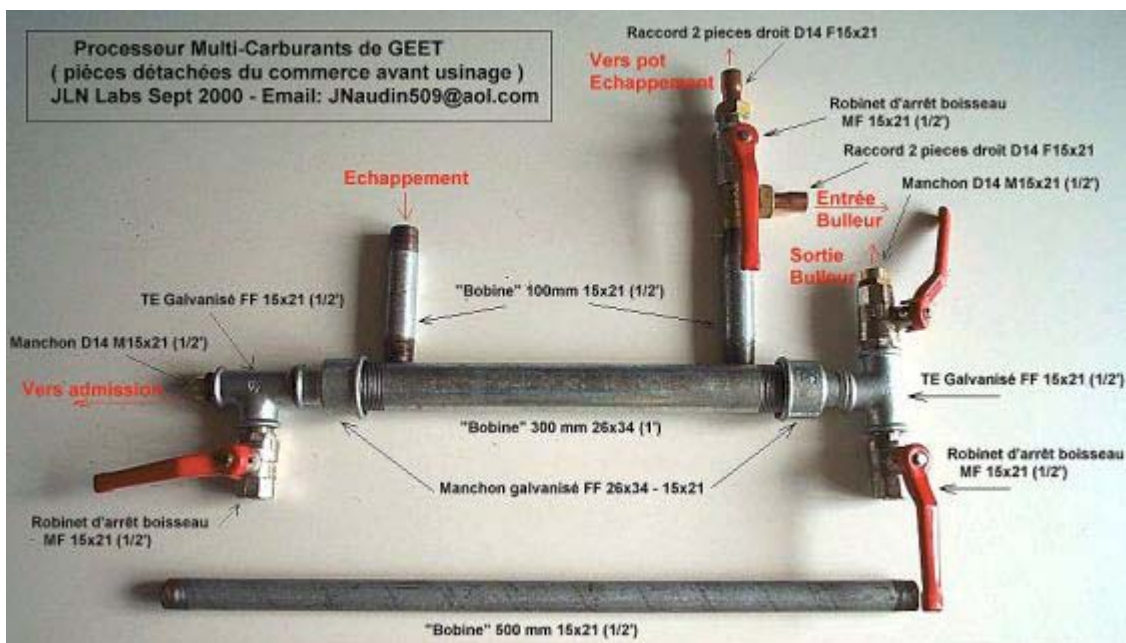
Ce système consiste, à la base, à remplacer le carburateur par un réacteur, dont les dimensions varient selon le type de moteur. Il est constitué d'une tige en acier (diamètre : 14 mm) positionnée au centre d'un tube en acier (diamètre : 16 mm), laissant autour du barreau un espace libre d'un mm. L'ensemble est relié à la sortie du moteur (échappement). Une dérivation de l'échappement plonge dans un petit réservoir (bulleur) pour en faire buller le contenu, afin de produire un gaz qui va alimenter le réacteur, dont la sortie est connectée à l'admission d'air.

En fait, le montage original de Paul Pantone opère comme une micro raffinerie, l'eau se décomposant au contact du carbone de l'hydrocarbure, le moteur se trouverait alimenté par un gaz composé d'hydrogène, d'oxyde de carbone et d'azote.

Voici les plans d'un dispositif similaire à celui de Paul Pantone que nous avons intégré sur un moteur de tondeuse :



Source : [http://quanthomme.free.fr/pantone/pagedavid/PageM\\_David1.htm](http://quanthomme.free.fr/pantone/pagedavid/PageM_David1.htm)

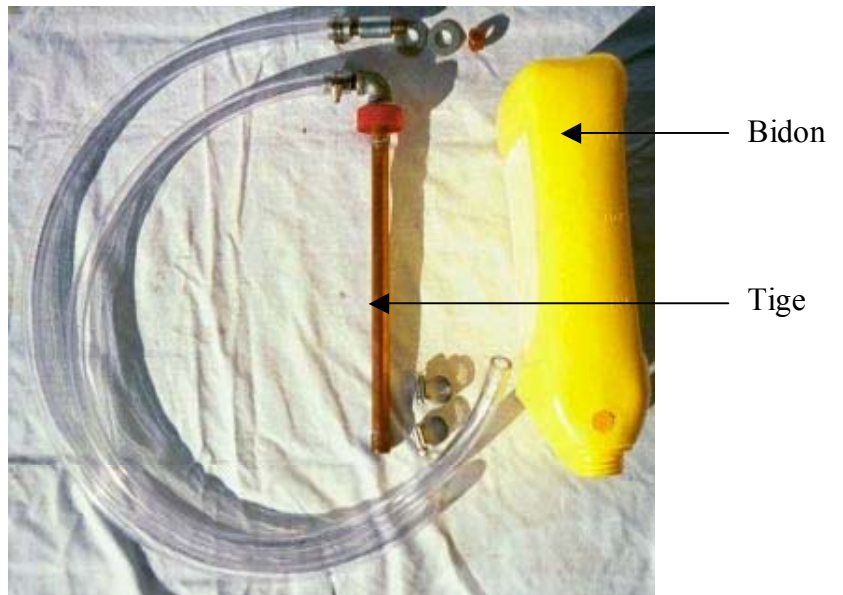


Source : <http://quanthomme.free.fr/pantone/PMC5.htm>



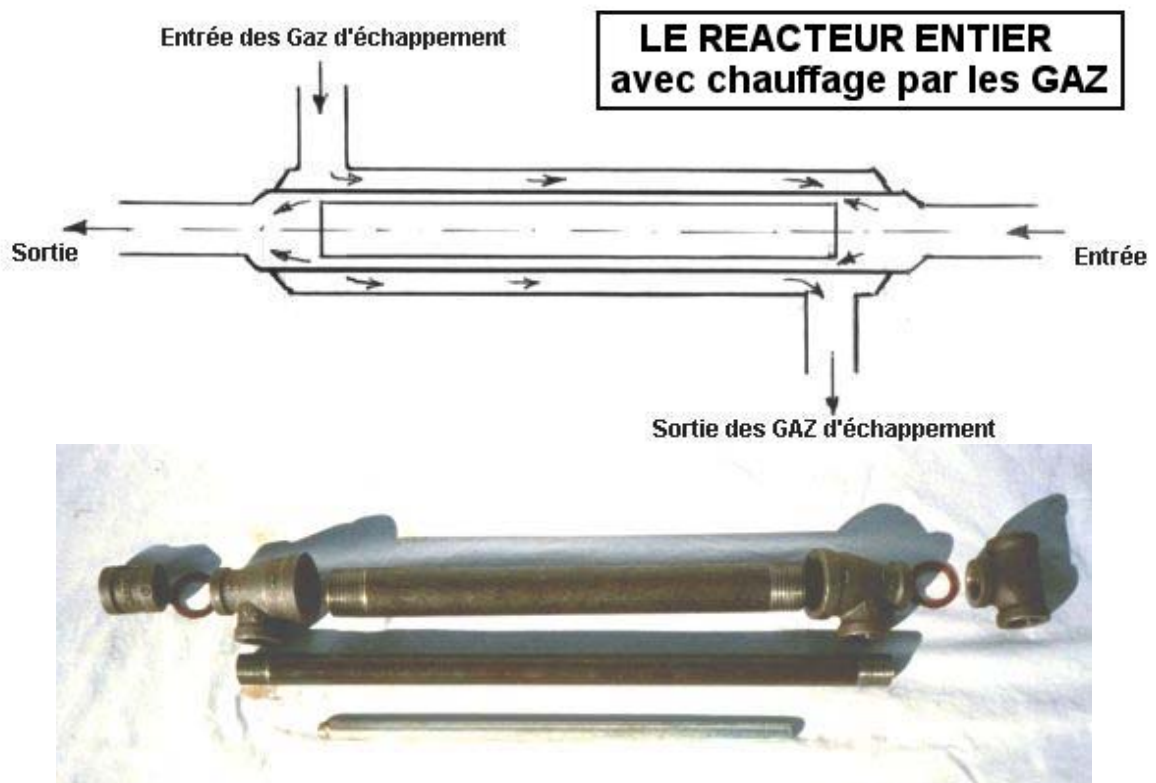
### Le bulleur :

Dans le bulleur (un simple bidon d'antigel), un tube en cuivre (tige) percé à l'extrémité vient plonger dans le mélange. La dépression qui a lieu dans le réacteur provoque des remous. L'air va alors se charger en vapeur, puis être injectée dans le réacteur. Nous avons donc à faire plus à une volatilisation mécanique qu'à une évaporation thermique.



### Le réacteur :

Le réacteur est composé de 2 tubes concentriques et d'une tige métallique insérée dans le plus petit des 2 tubes. Dans le tube intérieur (chambre à pyrolyse) circulent les gaz d'admission à contre courant des gaz d'échappement circulant dans le tube extérieur. Les gaz d'admission circulent donc dans un espace annulaire créé entre la paroi intérieure du plus petit tube et de la tige métallique. Les gaz d'échappement circulent aussi dans un espace annulaire.



Source : [http://quanthomme.free.fr/pantone/pagedavid/PageM\\_David1.htm](http://quanthomme.free.fr/pantone/pagedavid/PageM_David1.htm)



### 3) La réaction

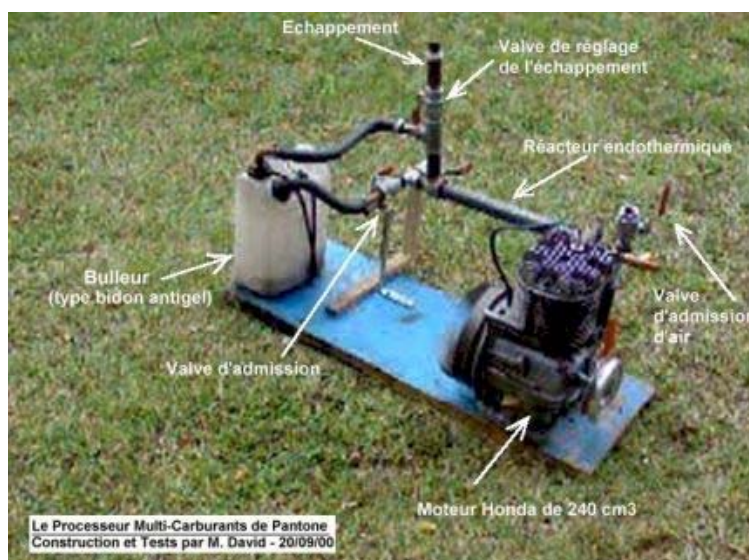
Bien que même que l'on ne sache expliquer la réaction qui a lieu dans le réacteur, on possède tout de même quelques informations : en effet les gaz d'échappement provenant du moteur circulent par la partie extérieure du réacteur avec une forte énergie cinétique. Cela contribue à porter à très haute température la tige d'acier (servant d'accumulateur de chaleur) contenue dans la chambre à pyrolyse. Les gaz traversent le réacteur et pénètrent ensuite dans le bulleur contenant le mélange eau/carburant. Les vapeurs du mélange sont aspirées fortement par le vide créé par l'admission et poussées par la pression provenant de l'échappement. L'énergie cinétique des vapeurs est augmentée considérablement par la réduction du diamètre dans la chambre à pyrolyse.

L'effet combiné de la haute température et de cette énergie cinétique accrue provoque la décomposition des molécules contenues dans le mélange eau/carburant. Cette transformation du mélange eau/carburant vaporisé crée de l'hydrogène. Ce dernier mélangé au carburant génère un hydrocarbure à haut rendement.

### 4) Avantages de ce système

- Elimination de 99% des rejets de la pollution générés par le moteur
- Augmentation l'autonomie de votre moteur jusqu'à 300%
- Dépollution de notre environnement en réutilisant nos déchets
- Augmentation de la durée de vie des moteurs par 10
- Suppression de tous les carburateurs et pots catalytiques, dont ces derniers sont loin d'être aussi efficaces comme on veut nous le faire croire
- Réduction considérable de sa facture de transport
- Réduction de l'exploitation des ressources naturelles
- Réduction des risques de pollution de nos océans (Erika en Bretagne et les autres...)
- Augmentation du rendement énergétique (confère explication ci-dessous)

**Pour un exemple plus concret du moteur voici un dispositif monté sur un moteur de tondeuse :**



Source : <http://quanthomme.free.fr/pantone/PMC5.htm>

- **Pour voir ce moteur fonctionner : voir le cd-rom ci-joint dans la rubrique « vidéos »**

Un moteur, qu'il soit à explosion (essence, gaz) ou à combustion interne (diesel), brûle dans tout les cas un mélange carburant/comburant, c'est-à-dire un carburant quelconque mélangé avec de l'air contenant l'oxygène qui est le comburant. Mais un litre de ce mélange parfait (air/carburant) contient potentiellement plus ou moins d'énergie selon le carburant choisi.

On établit alors le tableau comparatif suivants de l'énergie (calories) dégagée pour 1 litre de mélanges tonnants différents :

**Pouvoir calorifique de 1 litre de mélange tonnant  
constitué de différents carburants :  
(à la température ambiante de 10 à 15°C)**

Le mélange tonnant	Contient (calories)
Air + essence pulvérisée	0.768
Air + butane	0.843
Air + propane	0.845
Air + méthane	0.760
Air + gaz de houille	0.715
Air + acétylène	0.990
Air + oxyde de carbone	0.870
<b>Air + hydrogène</b>	<b>0.880</b>
Air + gaz de gazogène	0.590
Air + alcool	0.800
Air + gas-oil routier	0.600
Air + fuel de chauffage	0.570

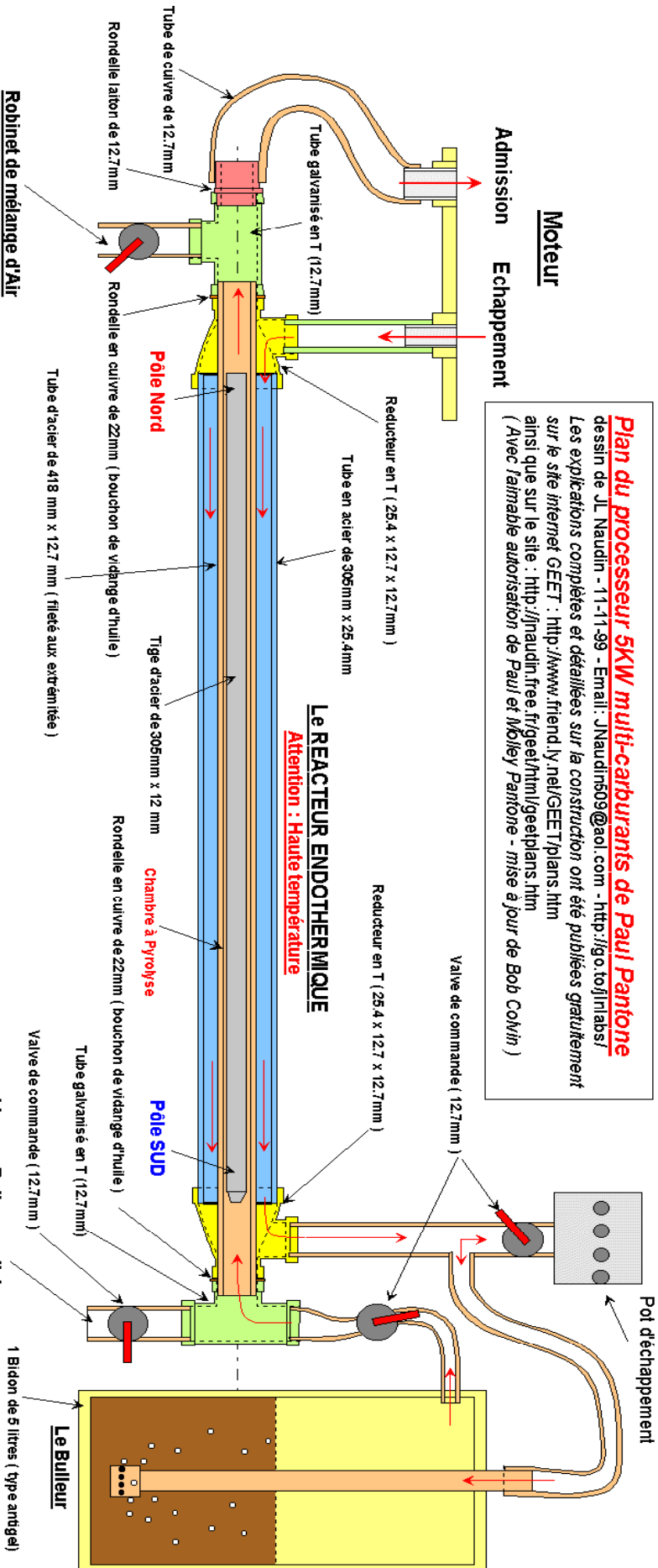
Ces chiffres sont théoriques, ils correspondent à une combustion totale du carburant sans excès ni manque d'air, soit un mélange en proportions parfaites (proportions stoechiométriques). Cependant, nous pouvons noter que le mélange [air + hydrogène] contiendrait plus d'énergie que les autres mélanges (mis à part avec l'acétylène).

- Vous pouvez retrouver sur le cd-rom l'intégralité du dossier de construction du moteur Pantone dans la rubrique « construction »

## Moteur

Admission Echappement

**Plan du processeur 5KW multi-carburants de Paul Pantone**  
 dessin de J.L. Naudin -11-11-99 - Email : JNaudin509@aol.com - <http://go.to/jlnabs/>  
 Les explications complètes et détaillées sur la construction ont été publiées gratuitement  
 sur le site internet GEET : <http://www.friend.ly.net/GEET/plans.htm>  
 ainsi que sur le site : <http://jlnaudin.free.fr/geet/html/geetplans.htm>  
 ( Avec l'aimable autorisation de Paul et Mollie Pantone - mise à jour de Bob Coklin )



**RODAGE :** Une période de rodage de 20 minutes est nécessaire, pendant cette période de rodage, l'axe du réacteur doit être placé dans l'axe magnétique terrestre Nord-Sud ( Echappement côté moteur vers le Nord magnétique, et le côté Bulleur vers le Sud ) afin de magnétiser la tige d'acier du réacteur.

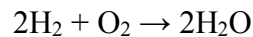
**Vers un Bulleur auxiliaire pour les carburants non hydrocarbures**

## II) La pile à combustible : une invention prometteuse

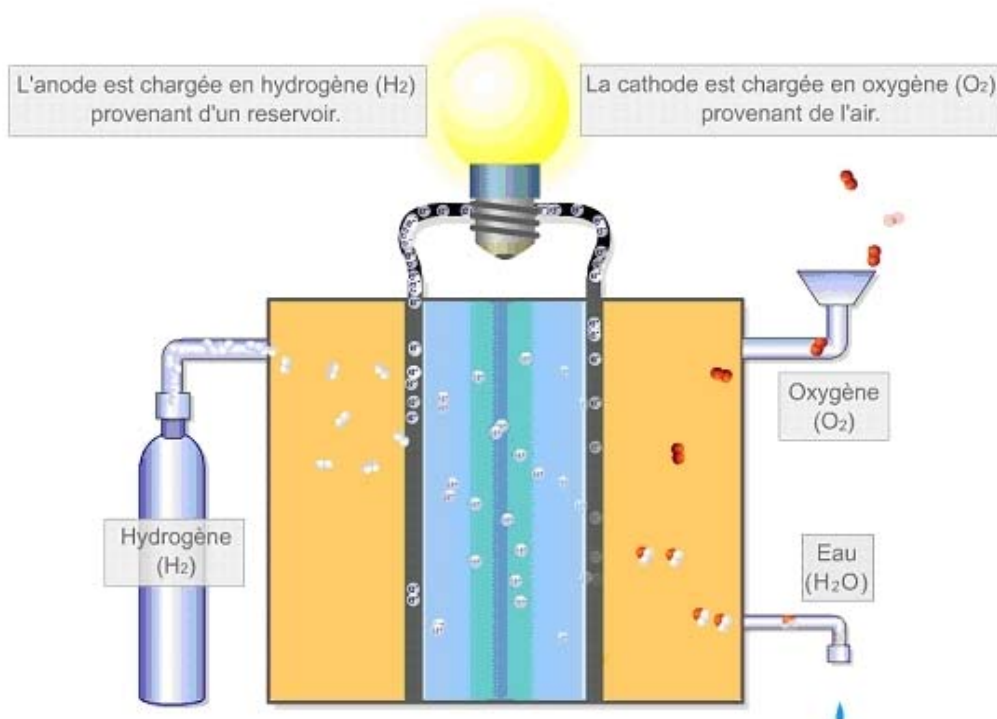
Il existe actuellement des systèmes propres qui pourraient répondre aux problèmes posés par l'utilisation des hydrocarbures. Ces systèmes, bien qu'étant très écologiques, sont peu répandus chez les particuliers mais ont certainement un avenir prometteur. Les recherches scientifiques dans ce domaine sont importantes et en constante évolution.

### A) Principe

Le principe de la pile à combustible a été démontré par le Gallois William Grove, en 1839 : il est généralement décrit comme l'inverse de celui de l'électrolyse. Plus précisément, il s'agit d'une combustion électrochimique et contrôlée d'hydrogène et d'oxygène, avec production simultanée d'électricité, d'eau et de chaleur, selon une réaction chimique globale universellement connue :



Cette réaction s'opère au sein d'une structure essentiellement composée de deux électrodes (l'anode et la cathode) séparées par un électrolyte; elle peut intervenir dans une large gamme de températures, de 70 à 1 000 °C (*figure*). Selon le niveau de température retenu, la nature de l'électrolyte et des électrodes, les réactions chimiques intermédiaires mises en jeu varient mais le principe général est inchangé.



### Principe d'une pile à combustible

- Pour voir ce dessin en animation : voir le cd-rom ci-joint dans la rubrique « animation pile »

Cette pile à combustible est déjà utilisée pour faire fonctionner des minibus, notamment en Islande ou dans certains états des Etats-Unis. A titre d'exemple, en France, un prototype d'une voiture équipée de ce système a été fabriqué. Certains constructeurs automobiles (Nissan, Toyota) s'intéressent à cette nouvelle technologie, car ils sont conscients qu'il existe là un nouveau marché.

Remarque : Des micro piles à combustibles de l'épaisseur d'une feuille de papier sont en cours d'élaboration, et remplaceraient peut être les piles salines d'aujourd'hui.

## B) Une limite de la pile à combustible : le stockage de l'hydrogène

Le principal inconvénient de la pile à combustible est le stockage de l'hydrogène, qui constitue un explosif puissant. Il existe de multiples modes de stockage de l'hydrogène mais les formes comprimée et liquide sont actuellement les plus utilisées.

### 1) Stockage sous forme comprimée

Le stockage sous forme comprimée est l'un des plus utilisés actuellement (Nissan, Daimler Chrysler): la pression va de 200-350 à 700 bars. Des stations services existent déjà : notamment celles de Munich, Chicago, Détroit ou Hambourg.

**Réservoir:** Le dihydrogène peut être stocké dans des bouteilles de 10 L jusqu'à des réservoirs de 10.000 m<sup>3</sup>. Les bouteilles commercialisées actuellement permettent des pressions jusqu'à 350 bars. Il existe des réservoirs sphériques ou cylindriques: les premiers sont peu adaptés aux applications automobiles pour des raisons de place, les seconds rendent une adaptation de la géométrie du véhicule nécessaire. Thiokol a développé des réservoirs elliptiques pour réduire le volume. Le réservoir est fait de métal très résistant à la corrosion, souvent de l'aluminium renforcé par des fibres en carbone (pour des raisons de poids).

**Avantages:** on bénéficie de la maîtrise de la technologie et de la rapidité du remplissage.

**Inconvénients:** cette technique souffre encore de multiples inconvénients :

- une faible densité volumétrique,
- la nécessité de réservoirs résistants aux chocs et adaptés aux véhicules pour les applications automobiles,
- et surtout une technologie à améliorer pour les hautes pressions avec l'adaptation de tous les auxiliaires : valves, capteurs, détendeurs.

### 2) Stockage sous forme liquide (cryogénique)

Dans cette méthode, l'hydrogène est stocké sous forme liquide à **-253°C**.

**Réservoir:** le réservoir a souvent une double paroi, avec entre les deux un espace sous vide (pour éviter les pertes thermiques par convection) ou avec des super isolants ou rempli d'air liquide (Linde Gas). Il est en acier mais on tente d'utiliser des matériaux composites.

**Avantages:** le réservoir nécessite peu de place, d'où le choix de BMW, Opel et Daimler Chrysler pour ce type de stockage. Le remplissage est une technologie maîtrisée avec des stations services spécialisées comme celles de Munich.

**Inconvénients:** au vu de la faible température, les pertes thermiques sont inévitables de même que l'évaporation d'une partie de l'hydrogène (on appelle ce phénomène le « boil off »). Néanmoins, les progrès techniques ont permis de réduire ce boil off à 1% d'évaporation par jour.

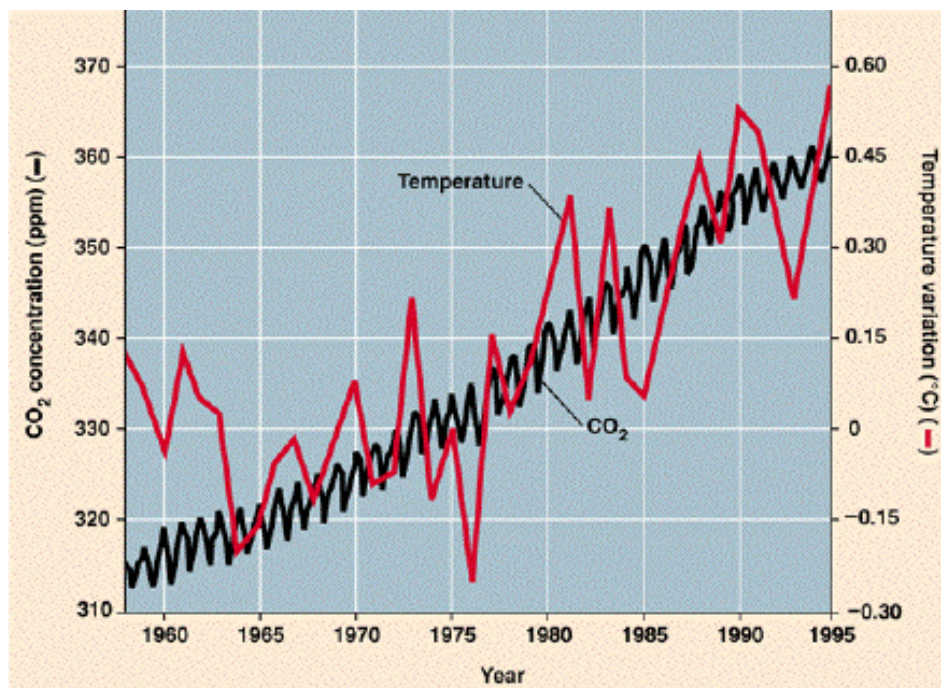
D'autres modes de stockage sont également étudiés. L'évaluation des performances des différents moyens prend en compte surtout la quantité volumétrique et les conditions générales de stockage et de déstockage de l'hydrogène (efficacité, vitesse, appareils annexes nécessaires..). A ceci s'ajoute les critères déterminants de la sécurité et du coût.



## III Conséquences

### A) Environnementales

On connaît les répercussions qu'ont de nos jours les rejets de CO<sub>2</sub> et autres gaz polluants qui sont issus de la combustion des hydrocarbures. Si les quantités de CO<sub>2</sub> rejetées suivent la tendance actuelle, d'importants dérèglements climatiques irréversibles sont à envisager. La mise au point d'une adaptation d'un système similaire au principe de celui de M. Paul Pantone serait un progrès pour l'écologie (au niveau de la pollution atmosphérique). Le rejet de CO<sub>2</sub> étant pratiquement nul. En effet, on constate que la température moyenne de l'air au niveau du sol a augmenté de 0,6°C environ depuis le début du siècle, et que les records de chaleur sont tous concentrés dans les années récentes. Les analyses historiques de la température montrent une hausse brutale de la température moyenne à partir des années 1850, soit quelques décennies après le début de la 1ère révolution industrielle et la combustion massive de charbon.



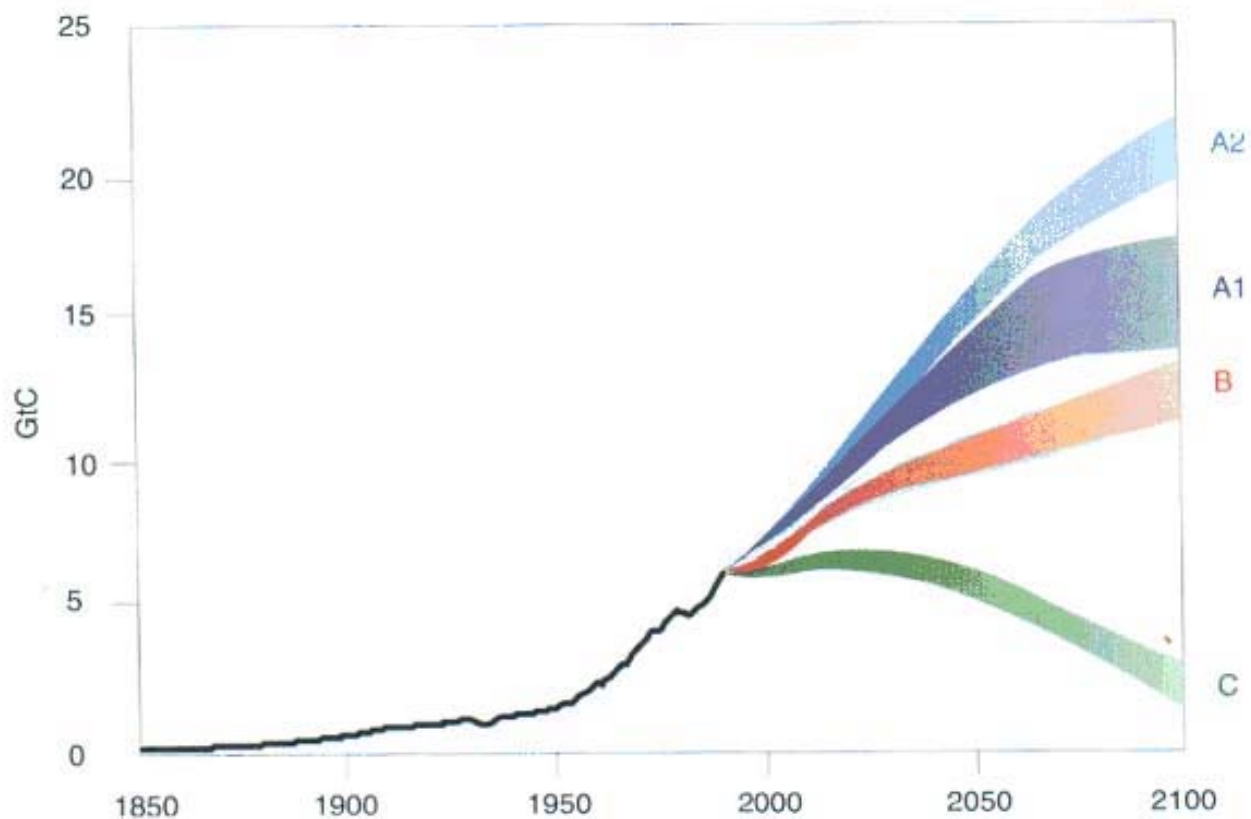
#### Evolution de la température et de la concentration en CO<sub>2</sub> depuis 1960

Bien que l'on ne pourrait pas totalement faire redescendre le taux de CO<sub>2</sub>, les alternatives au pétrole que nous avons décrites ralentiraient le phénomène de réchauffement de la planète en réduisant les émanations de CO<sub>2</sub>. Il faut aussi penser que l'activité industrielle joue également un rôle important dans la pollution de notre atmosphère et que l'adaptation d'un système écologique uniquement sur les moyens de transports ne serait pas suffisante. Cependant, ces procédés représenteraient une grande évolution.

Nous pouvons être amenés à nous demander si des moteurs fonctionnant selon ces principes resteraient inoffensifs pour l'environnement. En effet, ces moteurs ne rejettent que de l'eau (mis à part le moteur Pantone avec un faible dégagement de gaz polluant). Or, nous savons que la vapeur d'eau contribue autant, voire plus à l'effet de serre que le dioxyde de carbone. De plus, on peut se demander si le taux d'humidité ne serait pas accru accélérant ainsi le phénomène d'érosion, ou encore modifier les climats. Le cycle de l'eau pourrait être perturbé avec une part de la quantité d'eau sous sa forme gazeuse (nuages) plus importante que la normale. Ainsi, cela donnerait lieu à des précipitations plus importantes et plus fréquentes, augmentant le risque d'inondations.

Voici le graphique de 5 scénarios possibles par rapport à l'émission de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère :

- A correspond à une forte croissance .
- B correspond à la référence actuelle.
- C correspond à une réponse écologique



Source : *l'énergie pour le monde demain*, édition du CME

## B) Politiques et économiques

Aujourd'hui plus que jamais, les consommateurs, dans leur grande majorité sont excédés de la dépendance polluante et coûteuse aux produits pétroliers.

Les modèles que nous avons décrits (l'électrolyse et le moteur pantone) seraient très économiques pour les utilisateurs du fait qu'ils consomment de l'eau (et un peu d'hydrocarbures dans le cas du moteur Pantone) afin de produire eux-mêmes l'hydrogène nécessaire au fonctionnement du moteur.

En ce qui concerne l'utilisation d'hydrogène à la place du pétrole (pile à combustible), le problème principal réside en son coût élevé.

De plus en plus, des politiques sont mises en place pour favoriser la transition vers l'hydrogène, dans certains pays ou états, comme en Californie, où le gouverneur a décidé d'introduire dans les années qui viennent environ 150 stations à hydrogène. D'autres pays, le Japon, le Mexique ou encore l'Islande, se sont lancés activement dans la recherche.



**Evolution du prix du baril de pétrole depuis 1994**

En revanche, pour l'Etat, il s'agirait d'une perte d'un marché important. Il faut savoir que les taxes sur le pétrole représentent 80 % du prix à la pompe : l'enjeu économique est donc considérable. C'est pour cela que des systèmes comme le moteur Pantone ou un moteur produisant l'hydrogène grâce à l'électrolyse de l'eau ne verront probablement jamais le jour à grande échelle.

Les compagnies pétrolières exercent elles aussi une forte pression pour empêcher la diffusion de ces systèmes. Notons ce qui s'est passé récemment aux USA avec Stanley Meyer, mort en 1999 dans de douteuses circonstances. En effet, ce dernier venait de mettre au point une voiture fonctionnant à l'hydrogène par électrolyse de l'eau ; sa voiture était prête à être commercialisée.

## CONCLUSION

Les statistiques montrent bien que l'évolution du pétrole s'oriente vers une pénurie, ainsi depuis quelques années les ingénieurs et techniciens cherchent des solutions pour répondre aux besoins d'une société qui consomme de plus en plus d'hydrocarbures. Cette tendance affirme la nécessité de trouver une énergie qui puisse amoindrir les problèmes liés à la consommation de celui-ci comme le rejet de CO<sub>2</sub> (gaz à effet de serre).

D'une part le procédé Pantone atteint les objectifs de non pollution et d'économie ; il constituerait donc un système très prometteur pour remplacer les moteurs déjà existant mais reste cependant un projet marginal. D'autre part, la pile à combustible semble une alternative beaucoup plus concrète et réalisable à l'échelle de notre société. Des voitures hybrides à pile à combustible existent déjà.

A l'ère des nouvelles énergies et des recherches pour le développement durable, l'hydrogène reste la valeur la plus probable pour remplacer le pétrole en tant que carburant.