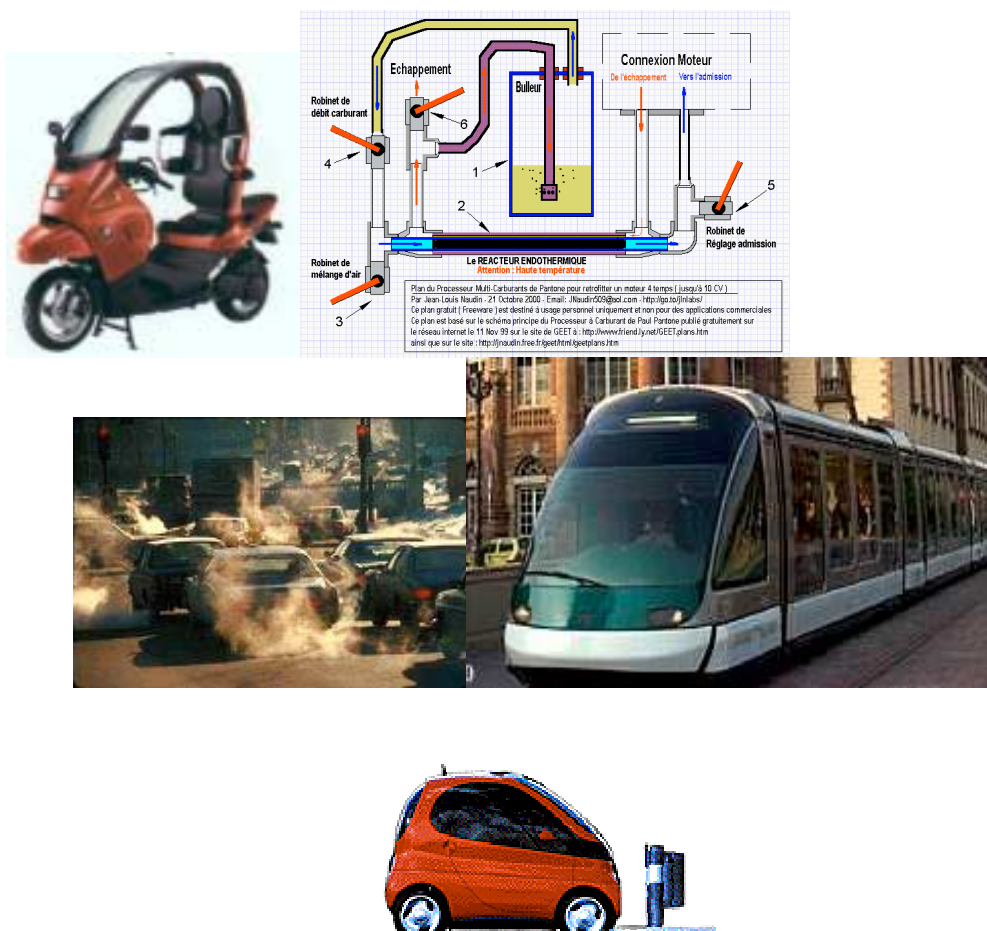


Projet de Recherche Technologique  
GM3-EI, Christophe Martz

*Nouvelles énergies pour les transports*  
*urbains*



### **Remerciements :**

*Je tiens à remercier les personnes suivantes que j'ai rencontrées pendant mon étude :*

- Mr Philippe Payement, Direction des Déplacements, CUS
- Mme Lobstein du SIRAC, CUS
- Mr Bruno Masson, thésard au BETA de Strasbourg
- Mr Ricardo Gomes, Technicien à la CTS

Et bien sur mes deux tuteurs M.Engel et M.Boussehain, professeurs à l'Ensis.

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| I) Introduction.                                                                                                       | 4  |
| II) Une mobilité urbaine difficile                                                                                     | 5  |
| 2.1) L'actuel alarmant : la voiture reine de la ville.                                                                 | 5  |
| 2.2) Le besoin énergétique bien trop satisfait en ville.                                                               | 8  |
| 2.2.1) La démarche calculatoire.                                                                                       | 8  |
| 2.2.2) Résultats et conclusions.                                                                                       | 9  |
| III) Les graves méfaits des transports urbains actuels                                                                 |    |
| 3.1) Une pollution régionale importante                                                                                | 10 |
| 3.1.1) Une utilisation des véhicules non judicieuse                                                                    | 10 |
| 3.1.2) Evaluation des rejets polluants à Strasbourg.                                                                   | 12 |
| a) Le nombre de km parcourus quotidiennement à Strasbourg.                                                             | 12 |
| b) Les rejets des véhicules                                                                                            | 12 |
| c) Résultats et conclusions                                                                                            | 12 |
| 3.1.3) Le cas « CO <sub>2</sub> »                                                                                      | 13 |
| 3.2) Le coût médico-social de cette pollution                                                                          | 14 |
| 3.2.1) Des organismes dynamiques de surveillance épidémiologique                                                       | 14 |
| 3.2.2) Effets sur la santé des principaux polluants issus des transports.                                              | 15 |
| 3.3) Autres nuisances diverses                                                                                         | 16 |
| IV) Les solutions existantes : réussites et limites.                                                                   |    |
| 4.1) Les transports urbains : des réseaux bien développés mais contraignants.                                          | 17 |
| 4.1.1) Des transports collectifs plus économes                                                                         | 17 |
| 4.1.2) Une mobilité à la portée de tous mais inégalement exploitée                                                     | 17 |
| 4.1.3) Quelques notions sur le financement et l'exploitation des transports en commun                                  | 18 |
| 4.1.4) Exemples de matériels de transport urbain                                                                       | 18 |
| 4.2) Les solutions organisationnelles et comportementales                                                              | 19 |
| 4.2.1) Les systèmes d'aide à l'exploitation et d'aide à l'information                                                  | 19 |
| 4.2.2) Les initiatives personnelles ou privées : covoiturage, car sharing                                              | 20 |
| 4.2.3) Un comportement citoyen à faire évoluer                                                                         | 21 |
| 4.2.3) Les solutions de crise                                                                                          | 21 |
| 4.3) Les 2 roues : une alternative sûre à la voiture en ville.                                                         | 22 |
| 4.4) Les alternatives énergétiques commercialisées.                                                                    | 24 |
| 4.4.1) Les véhicules électriques                                                                                       | 24 |
| 4.4.2) Les véhicules GNV/GPL                                                                                           | 28 |
| 4.4.3) Les véhicules hybrides                                                                                          | 30 |
| 4.4.4) Les carburants « verts »                                                                                        | 32 |
| 4.4.5) Les véhicules à air comprimé de G. Nègre en phase de précommercialisation.                                      | 33 |
| V) Des améliorations constantes et de sérieuses alternatives en développement .                                        |    |
| 5.1) Les recherches sur les moteurs à explosion classiques : une consommation et une pollution de plus en plus réduite | 34 |
| 5.1.1) Les limites absolues du moteur à combustion interne utilisant du pétrole.                                       | 34 |
| 5.2) Des recherches permanentes sur véhicules électriques                                                              | 36 |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.3) Les piles à combustible : une formidable technologie.              | 38 |
| 5.3.1) Technologies, principe de fonctionnement et notions énergétiques | 38 |
| 5.3.2) Exemples européens de véhicules à PAC.                           | 40 |
| 5.4) Quelques autres solutions intéressantes.                           | 41 |
| 5.4.1) La voiture à azote.                                              | 41 |
| 5.4.2) Le Split Cycle.                                                  | 31 |
| 5.4.3) La voiture à volants d'inertie                                   | 42 |
| 5.4.4) Récupération de l'énergie de freinage par un système Rexroth.    | 42 |
| 5.5) L'hydrogène, pétrole du 21 <sup>ème</sup> siècle ?                 | 42 |
| VI) Solutions pour un véhicule de ville.                                |    |
| 6.1) Cahier des charges d'un véhicule urbain                            | 43 |
| 6.2) La Water Fuel Cell de Stanley Meyer.                               | 46 |
| 6.2.1) Une découverte sensationnelle                                    | 46 |
| 6.2.2) L'énergie gratuite pour tous.                                    | 47 |
| 6.2.3) Des recherches fortement compromettantes et compromises.         | 47 |
| 6.3) Le procédé GEET de P. Pantone : une solution plus à notre portée   | 48 |
| 6.3.1) Principe de fonctionnement.                                      | 49 |
| 6.3.2) Des recherches plus approfondies à effectuer.                    | 50 |
| VII) Conclusion.                                                        | 51 |
| Bibliographie, Sites Internet                                           | 52 |
| Table des Annexes                                                       | 53 |

## INTRODUCTION

Les villes réunissent actuellement l'essentiel de l'activité humaine, c'est cette concentration d'activités donc d'emplois qui explique l'exode rural constant des 200 dernières années. Les campagnes se vident en donnant naissance à des concentrations urbaines de plus en plus étendues. De nombreux Instituts Géopolitique annoncent, avec raison, le développement d'immenses Mégalo-poles, regroupant plus de 20 Millions d'habitants, pour le siècle prochain. Cette tendance est plus caractéristique des pays industrialisés, où des champignons urbains se regroupent autour des vieilles villes, mais les pays en voie de développement connaissent depuis quelques dizaines d'années le même phénomène d'exode rural. Il se crée dans ces pays des agglomérations urbaines très étendues, basées sur le modèle espacé américain.

Les déserts ruraux contrastent avec l'activité débordante des pôles urbains. La population rurale vieillissante renforce encore cette désertification rurale. L'essor de l'Internet, via le télétravail, pourrait-il redonner vie à ces régions désertées ? Les concentrations de populations urbaines posent énormément de problèmes, nous nous limiterons à celui des transports.

Les activités urbaines nécessitent d'importants moyens de transport des populations, les centres des villes sont saturés aussi bien par les transports que par la population. Les habitations au centre villes sont chères et l'espace est insuffisant pour y habiter à proximité de son lieu de travail. Les populations migrent donc sur la périphérie du centre pour créer des banlieues, puis des couronnes à plusieurs dizaines de km du centre. La construction d'immenses pôles d'habitations denses à proximité des activités limiterait ce besoin de déplacement mais je doute qu'en France les cités dortoirs basées sur le modèle asiatique voient le jour, et heureusement !

La population urbaine doit donc se déplacer régulièrement et systématiquement de manière plus ou moins importante. Les problèmes engendrés par ces déplacements sont nombreux mais peuvent se résumer dans le mot saturation : saturation des voies de circulation et de l'air.

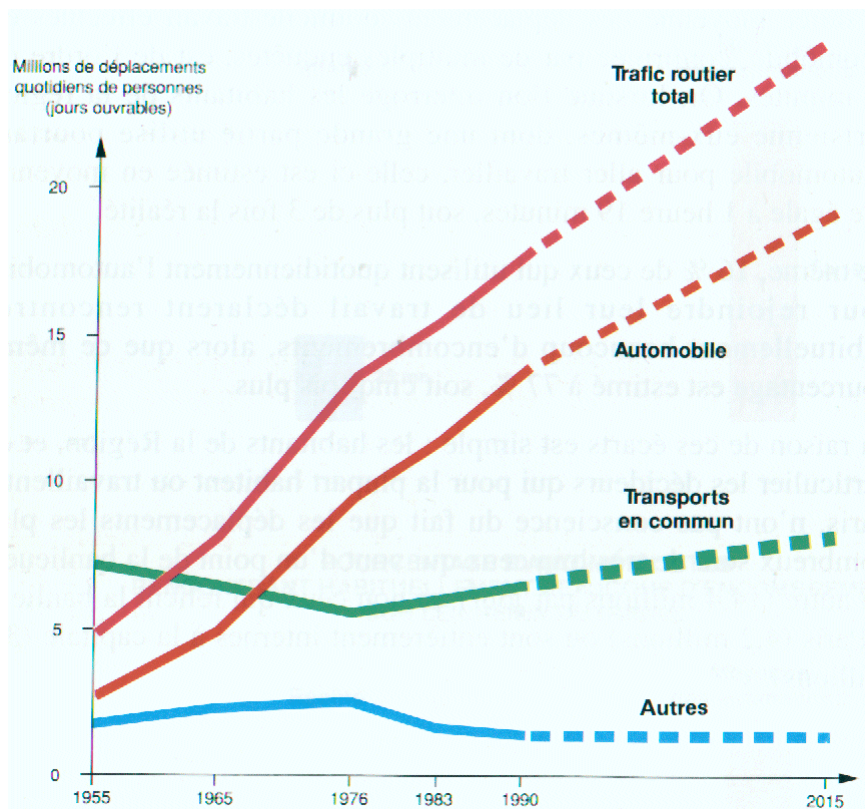
Cette étude porte sur cette saturation en essayant d'expliquer comment et pourquoi les déplacements urbains sont devenus si difficiles, nous nous pencherons sur les graves méfaits qu'ils engendrent. Nous verrons ainsi les dispositions prises par les politiques et les constructeurs. Puis nous exposerons les différentes solutions existantes et à venir qui se révèlent être très prometteuses, en gardant toujours à l'esprit qu'il faut concilier prix, rapidité et facilité.

## II) Une mobilité urbaine difficile

### 2.1) L'actuel alarmant : la voiture reine de la ville.

La voiture est le moyen de transport plébiscité par les Français pour leurs déplacements d'une manière générale mais aussi pour tous leurs déplacements urbains. Ainsi le sondage SOFRES (*en Annexe 1*) réalisé en 1992, fait **apparaître à quel point l'automobile est devenue le mode de transport essentiel de l'ensemble de la société française**. Contrairement à ce qui est parfois avancé, cet engouement n'a rien d'irrationnel ; les Français, avec bon sens, ont mesuré les avantages qui s'attachent à la possession et à l'usage de la voiture, facteur de gain de temps (le plus souvent), de liberté, de confort, de découverte, en un mot de qualité de vie

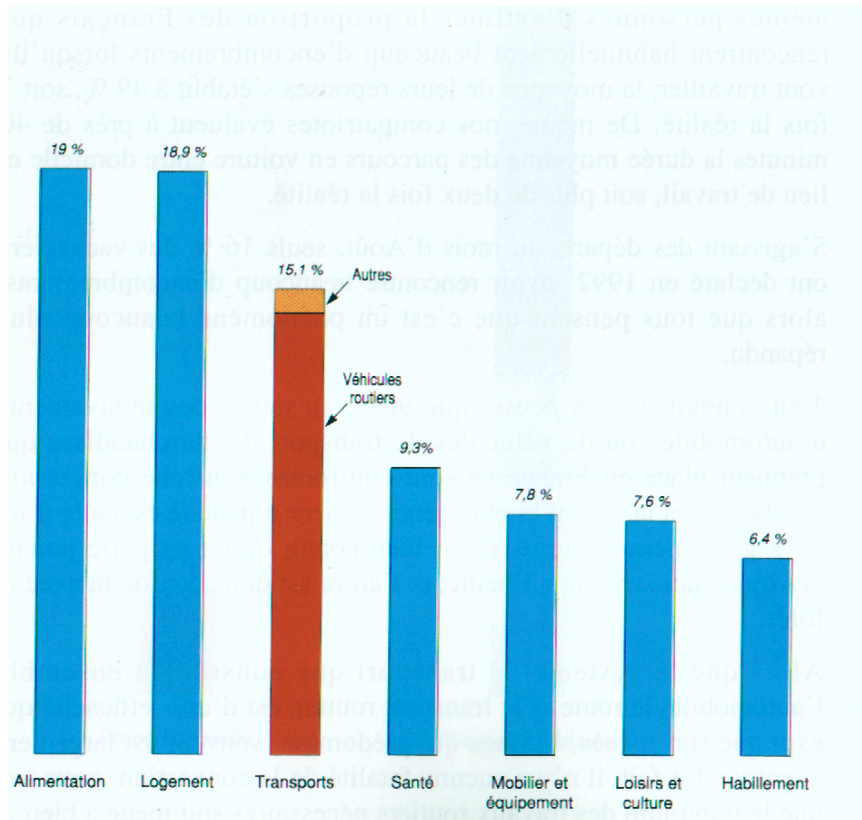
Malheureusement les véhicules actuels sont inadaptés aux transports urbains : masse, consommation et puissance (donc pollution) sont exorbitantes même pour les véhicules dits «de ville » (Clio, Saxo...) dont la charge utile représente au grand maximum 20% de la masse globale ! En ville, 80% des véhicules sont occupés par leur seul conducteur...confort (chaleur, musique) semblent plus importants pour les Français que les problèmes de pollution et d'encombrement actuels. Même l'augmentation des prix des carburants ne fait pas changer nos habitudes. De plus, de plus en plus de foyers possèdent plusieurs véhicules, souvent signe extérieur de réussite sociale : la voiture est devenu un véritable art de vivre



L'utilisation de l'automobile croît bien plus vite que celle des transports en commun. (source : *Les Transports en France*, C.Gérondeau)



Mais les dépenses des transports, donc à priori, de l'automobile, dont le coût global revient bien plus cher que tout autre moyen de transport conventionnel, n'est pas négligeable et se place, pour une famille moyenne au-dessus des coûts de santé. Ces dépenses sont essentiellement consacrées à l'acquisition et au fonctionnement des automobiles. L'utilisation de plusieurs véhicules par foyer et le renouvellement permanent du parc automobile augmentent ces dépenses.



Le budget des transports représente 15% du budget moyen des français juste après l'alimentation et le logement. La part des transport routier est largement majoritaire (source :Les Transports en France, C.Gérondeau)

Le fait que les ménages soient prêts à dépenser une part si importante pour l'automobile traduit l'attachement qu'ont les utilisateurs à leur véhicule qui leur rend néanmoins de nombreux services. L'Etat l'a bien compris et utilise cette nécessité de l'automobile depuis longtemps, en taxant, par exemple, les carburants à hauteur de 80%. Les gouvernements ont donc tout intérêt à favoriser l'utilisation de l'automobile qui rapporte chaque année près de 350 Milliards (*détail en Annexe 2*) . Les liens forts qui existent entre les grands pétroliers et constructeurs français et le gouvernement français renforcent encore cette obligation du « *tout automobile* ». Ne dis-t-on pas que : *Quand Renault tousse la France s'enrhume* ?

Néanmoins les constructeurs automobiles, heureusement soumis à des normes de plus en plus contraignantes, ont accompli des efforts considérables en matière de dépollution. Ainsi comme le montre les documents suivants, les émissions et la pollution urbaine diminuent depuis plus de 25 ans mais l'augmentation constante, avec le niveau de vie, du parc automobile congestionne les voies de circulation et malgré les diminutions de certains polluants spécifiques très dangereux (sur lesquels se basent les constructeurs automobile dans un souci d'image de marque) les taux de CO2, de Nox et d'ozone sont toujours élevés et posent les nombreux problèmes que nous verrons par la suite.

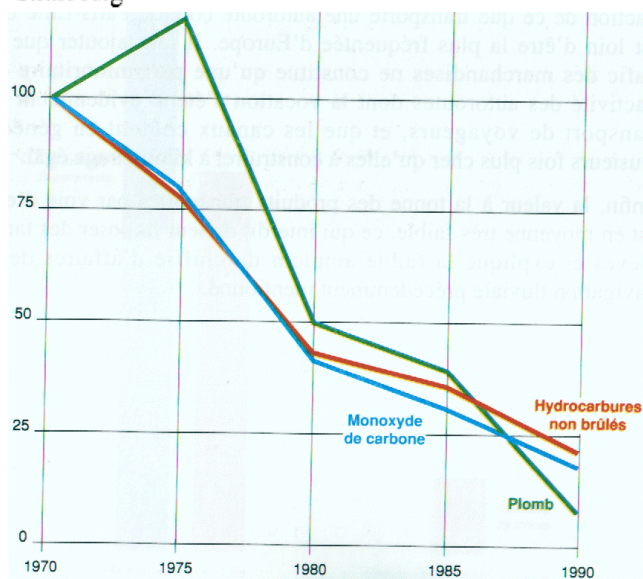


Fig 3 a) Diminution des émissions polluantes des véhicules neufs, indice 100 en 1970.

Fig 3.b) et Fig 3.c) Diminution des plus dangereux polluants issus de la combustion d'hydrocarbures. Le plomb est responsable de nombreuses maladies et l'acide sulfurique des destructrices pluies acides.

Ces diminutions sont surtout liées à la diminution de la consommation spécifique, suite aux chocs pétrolier, et par de nombreuses améliorations technologiques favorisant la combustion et traitant les gaz d'échappement (standardisation de l'injection et du catalyseur)  
(source : Les Transports en France, C.Gérondeau)

← fig 3.a

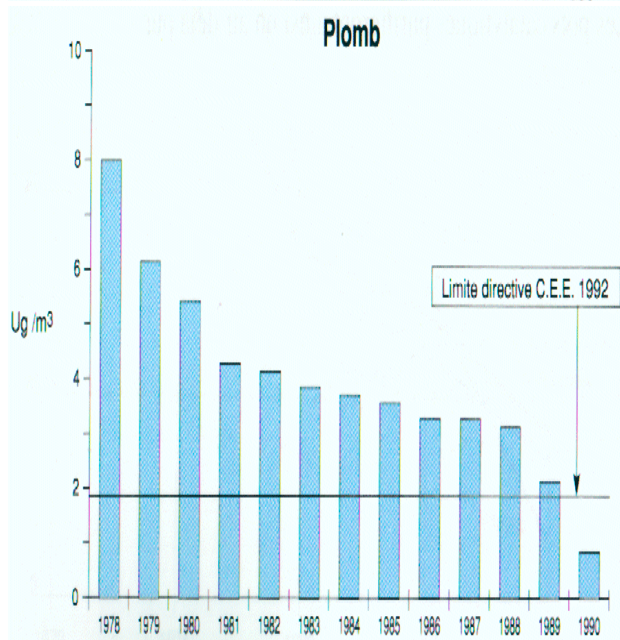


Fig 3.b

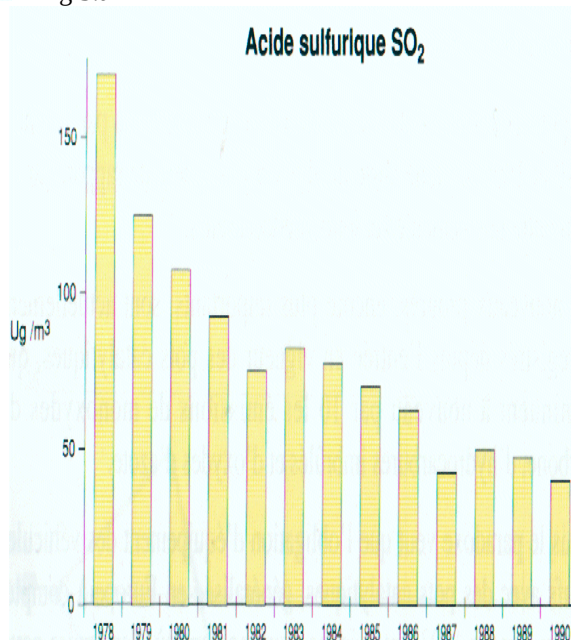


Fig 3.c

L'automobile classique reste donc, souvent par obligation, la reine des transports urbains. Une automobile **lourde et surpuissante** et qui, **basée sur la combustion des hydrocarbures**, restera **toujours polluante**, et ceci malgré les efforts énormes des constructeurs. La notion de polluant est délicate à définir précisément, d'une manière générale nous pouvons dire qu'il s'agit d'un excès d'un composé de nature diverse (chimique, visuel, sonore..) dans un environnement que ce dernier n'arrive pas à résorber de lui-même. La pollution atmosphérique est bien sur la pollution concernée ici, bien que la fabrication et surtout l'entretien des véhicules routiers engendrent d'autre pollution (huile et divers composants d'entretien, filtres divers en particulier)

Elle congestionne les villes par son encombrement et ses pollutions, c'est réellement déplorable car des solutions alternatives viables économiquement (avec subvention pour certaines) existent et même si elles sont souvent plus contraignantes pour l'utilisateur elles se révèlent souvent plus économiques à long terme. De plus le comportement de l'utilisateur et du conducteur comptent pour beaucoup dans cette congestion, quoi qu'il en soit la puissance des véhicules, même dits « de ville » est bien trop élevée ; estimons par le calcul les besoins réels d'un véhicule 100% urbain.



## 2.2) Le besoin énergétique bien trop satisfait en ville.

Les véhicules actuels, même ceux dits de ville sont surpuissants et lourds : en ville ils sont utilisés à moins de 10% au moyen de leur puissance nominale. Nous avons estimé la puissance réelle nécessaire à un véhicule urbain et périurbain.

### 2.2.1) Démarche calculatoire.

Nous partons de la formule de résistance à l'avancement d'un véhicule terrestre :

$$R_v = \frac{1}{2} \rho S C_x V^2 + \sum f_r P_r + P_t g \alpha + m \gamma$$

**1<sup>er</sup> terme** : traînée qui correspond à la force aérodynamique s'opposant à l'avancement, elle dépend de la masse volumique du milieu dans lequel évolue le véhicule, de la surface et du  $C_x$  du véhicule. Elle est proportionnelle au carré de la vitesse, on peut donc prévoir qu'elle devient vite prédominante.

$\rho$  : masse volumique du milieu environnant, l'air ici ( $[kg/m^3]$ )

$S$  : surface projetée du véhicule ( $[m^2]$ )

$C_x$  : coefficient aérodynamique dans le sens d'avancement (SI)

$V$  : vitesse d'avancement du véhicule ( $[m/s]$ )

**2<sup>ème</sup> terme** : frottement au niveau des roues, dépend du diamètre de roulement, de l'écrasement de la roue (du pneu). Nous l'approximons à 15 daN par tonne de charge.

$f_r$  : coefficient de frottement à chaque roue (SI)

$P_r$  : charge sur chaque roue

**3<sup>ème</sup> terme** : influence de la pente du terrain, nous considérerons ce terme nul : si une ville est accidentée la puissance du véhicule devra donc être augmentée en conséquence mais le véhicule sera alors surpuissant lors des descentes.

$P$  : poids du véhicule ( $[N]$ )

$\alpha$  : pente ( $^\circ$ )

**4<sup>ème</sup> terme** : Effort d'inertie dépend de la masse globale du véhicule et de l'accélération instantanée.

$m$  : masse du véhicule ( $[kg]$ )

$\gamma$  : accélération du véhicule dans le sens de déplacement ( $[m/s^2]$ )

**La puissance instantanée nécessaire à l'avancement du véhicule est donnée par :**

$$P_v = R_v \times V$$

Nous définissons alors un modèle mathématique dont les paramètres sont les suivants :

- La masse volumique de l'air  $\rho$  fixée à 1.29
- la masse totale du véhicule :  $m$
- la vitesse maximale :  $V_{max}$
- la durée d'accélération de l'arrêt à la vitesse maximale :  $da$

Nous faisons aussi l'hypothèse d'une accélération linéairement décroissante : elle est maximale à l'arrêt et tend vers 0 à la vitesse maximale.

En effet un modèle à accélération moyenne constante nous donnait des résultats de puissance trop élevés par rapport à la réalité, et ne correspondait pas vraiment au comportement des véhicules.

Ce modèle linéaire se rapproche plus de la réalité mais majore toujours les résultats. Un modèle d'exponentielle décroissante aurait donné, selon nous, des résultats plus réalistes mais ce modèle n'a été établi que pour donner des ordres de grandeur de puissance.

### 2.2.2) Résultats et exploitation

Nous obtenons les résultats suivants :

- puissance en fonction de la vitesse pour les autres paramètres fixés
- puissance en fonction du poids à vitesse maximale fixée.

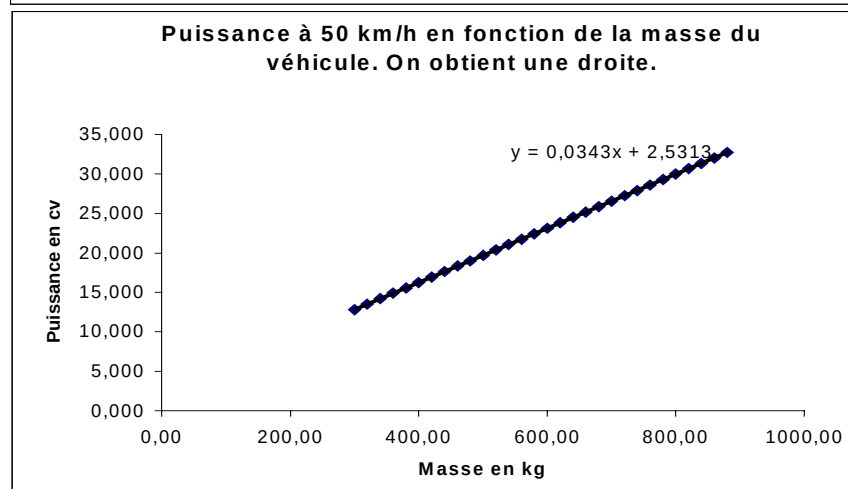
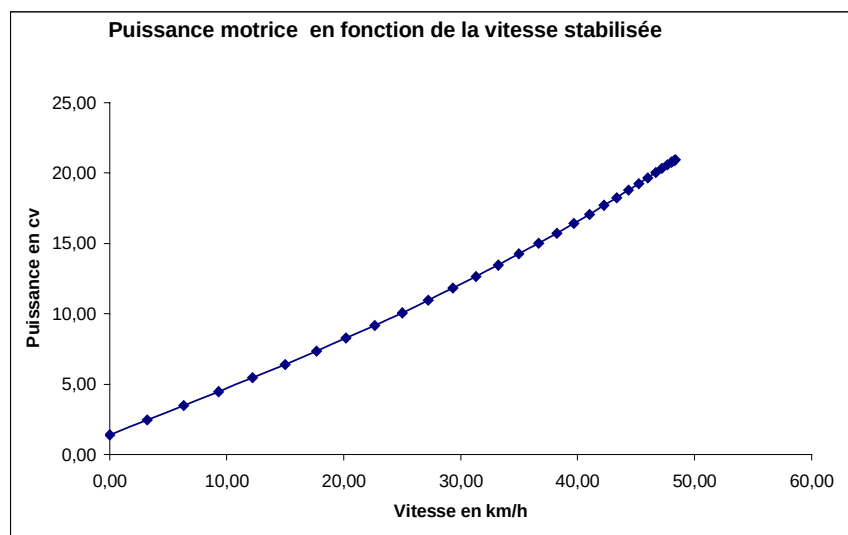
#### Paramètres fixés :

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| Cx                                 | 0,900 |
| Surface frontale (m <sup>2</sup> ) | 2,000 |

|             |        |
|-------------|--------|
| Masse [kg]  | 500,00 |
| Vmax [km/h] | 50,00  |
| Ta [s]      | 8,00   |

Le Cx est assez élevé du fait de la vitesse assez faible et du véhicule : les frottements à vitesse maximale ne prédomineront pas

La distance d'accélération est alors de 50 m : on arrive à la vitesse maximale entre 2



feux rouges.

Nous obtenons alors une puissance de 20 CV, d'après les constructeurs cette puissance est majorée et permet d'atteindre plus que 50 km/h ce qui permettrait une bonne réserve de puissance, et rien n'empêcherait le bridage momentané du véhicule. Les documents Excel sont disponibles *en annexe3*.

**Conclusions** : une puissance de 15 CV est donc suffisante en ville pour un véhicule particulier dont la masse globale ne dépasse pas 500 kg. Pour un véhicule de 1000kg ou plus (dans le cas de véhicules utilitaires de livraison par exemple) la puissance varie *linéairement* pour nos paramètres fixés selon l'équation :

$$\text{Puissance à 50km/h} = 0.0343 \times \text{Masse} + 2.5313$$

Le pourcentage de puissance maximale utilisée en ville par les voitures actuellement sur le marché est donc dérisoire : il varie de 10% à 20% suivant la puissance du véhicule.

En moyenne sur toute la durée du trajet, en comptant les différents arrêts, on descend largement en dessous des 10%, la surpuissance des véhicules qui circulent en ville engendre surconsommation, pollution et encombrement, en effet qui dit puissance dit masse donc volume.

Voyons les méfaits des transports urbains en expliquant comment les villes en sont arrivées là.

### III) Les graves méfaits des transports urbains actuels

La voiture est le moyen de transport plébiscité par les Français, les villes n'échappent pas à la règle et la congestion des véhicules particuliers posent de nombreux problèmes de saturation. Analysons les nuisances qu'apporte cette saturation.

#### 3.1) Une pollution urbaine importante mais en diminution.

##### 3.1.1) Une utilisation des véhicules non judicieuse

Les études menées conjointement par l'INRETS en France, le TÜV Rheinland en Allemagne et le TRL en grande Bretagne montrent qu'une fois sur deux les européens prennent leur voiture pour faire moins de 3 km, une fois sur quatre pour faire moins de 1 km et une fois sur huit moins de 500 m, recherche d'une place de stationnement comprise ! Ces petits trajets, généralement en ville moteur froid, engendrent une consommation forte et une pollution forte, le pot catalytique n'ayant aucune utilité à froid.

On peut évaluer qu'en France les trajets en voiture < 1 km consomment 0,7 Mtep/an et émettent 0,4 Mt/an de polluants divers (CO, COV, NOx). Ceux inférieurs à 3 km consomment 2,5 Mtep/an et émettent de l'ordre de 1,1 Mt/an de polluants divers.

C'est à dire que tous ces trajets, courts, pourraient être facilement remplacés par le vélo ou même la marche à pieds. C'est réellement aberrant que le citoyen moyen prenne sa voiture pour aller au Tabac ou à la boulangerie de son quartier...il y a donc un réel problème de fond de mentalité et de comportement. Sur le plan de la pollution et des encombrements, il y a autant à gagner à **changer les mentalités** qu'à développer de nouvelles technologies de transport moins polluantes.

L'OCDE fait la distinction entre 3 pollutions : la pollution locale, la pollution régionale et la pollution mondiale. Chacune est définie à un niveau différent :

-la pollution locale est la pollution d'une pièce ou d'un garage. *Exemple : la pollution au CO d'un local à cause d'une chaudière mal réglée.*

-la pollution régionale est pollution limitée à une région plus ou moins étendue. *Exemple : la pollution des grandes agglomérations*

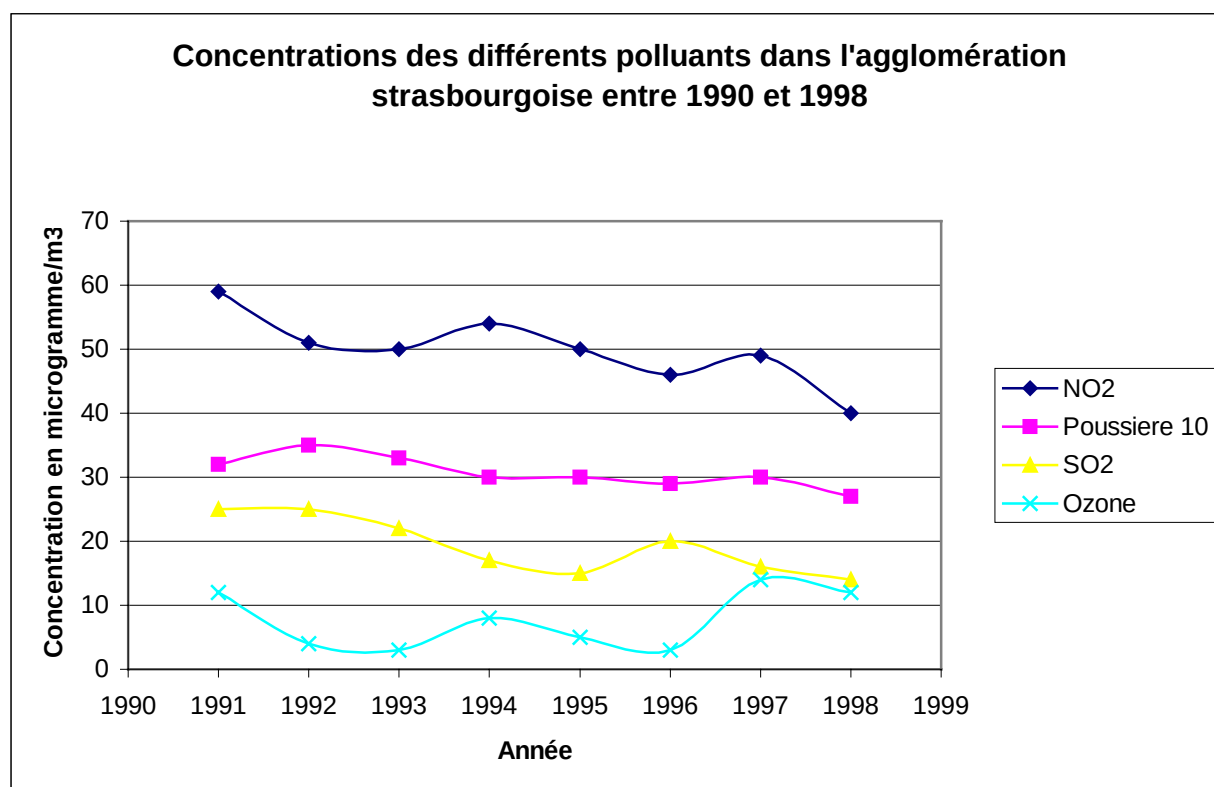
-la pollution globale est la pollution au niveau mondial, tout le globe est touché.  
Exemple l'augmentation du pourcentage de CO<sub>2</sub> influence la température moyenne du globe.

Bien sûr ces pollutions ne sont pas indépendantes et un niveau inférieur influe gravement sur son niveau supérieur. Nous nous intéresserons essentiellement à la pollution urbaine causée par les transports mais nous n'oublierons pas les graves conséquences sur notre planète qu'engendre l'activité humaine.

**Les transports sont responsables en France (Source CITEPA - données 1999; émissions nationales de l'année 1996)**

- de 14% des émissions de SO<sub>2</sub> (essence sulfurée)
- de 75% des émissions de Nox (combustion d'hydrocarbure)
- de 42% de COV (composé organique volatil)
- de 36% des émissions de CO<sub>2</sub> (produit de toute combustion)
- de 60% du CO (combustion incomplète)
- de 41% des particules (diesel essentiellement)

Les données complètes sont disponibles en Annexe 4. Mais comme nous l'avons déjà précisé la pollution globale des villes baisse depuis 10 ans grâce aux recherches des constructeurs automobile dont l'objectif est pour 2005 de diviser au minimum par 40 pour les émissions des véhicules neufs par rapport au véhicules des années 1970 (grâce à l'injection directe essence et au procédé HDI sur les Diesel). Le graphique ci-dessous montre la diminution des différents polluants à Strasbourg.



Note : on désigne par Poussière 10 les particules de diamètre <10 µm

Seule l'ozone n'a pas diminué de manière systématique : sa formation est favorisée par des températures élevées, les étés étant de plus en plus chauds les pics à l'ozone à Strasbourg sont malheureusement fréquents.

Nous nous sommes alors intéressés au rejets quotidiens effectifs dans l'atmosphère strasbourgeoise par rapport au nombre de km parcourus.

### 3.1.2) Evaluation des rejets polluants à Strasbourg.

Nous avons déterminé les rejets polluants effectifs à Strasbourg. Pour cela il nous fallait : -le nombre de kilomètres parcourus quotidiennement dans l'agglomération strasbourgeoise

-et les rejets moyens par km des véhicules.

#### *a) Le nombre de km parcourus quotidiennement à Strasbourg.*

Nous nous sommes servis des documents fournis par les organismes de mesures du trafic : le SIRAC (un SAE sur lequel nous reviendrons) pour les voies de circulations relative à la CUS et la DDE pour les autoroutes périphériques.

En effet pour des raisons juridiques et administratives, les routes communales ne sont pas au même statut que les routes départementales et nationales, les organismes de mesures ne sont donc pas les mêmes. Ceci même si les autoroutes passent à l'intérieur de la CUS.

Nous avons donc des documents qui indiquent, par tronçon autoroutier ou avenue, le nombre de véhicules passés quotidiennement. Mais il fallait aussi se fixer des limites, nous ne nous sommes, par manque d'informations et par difficultés calculatoires, limité au centre et aux grandes artères : c'est à dire aux endroits les plus pollués. Les chiffres seront donc des estimations qu'il faudra **majorer de 10 à 20%**.

#### *b) Les rejets des véhicules.*

Nous nous sommes basés sur les chiffres suivants :

*Emissions en g/km d'une Renault Clio modèle 1999 ayant parcouru 3000km*

| Motorisation | CO  | CO2 | Nox  | Hydrocarbures | Particules |
|--------------|-----|-----|------|---------------|------------|
| Essence      | 1.5 | 164 | 0.28 | 0.24          | Néant      |
| Diesel       | 0.7 | 167 | 0.7  | 0.1           | 0.085      |

En considérant le parc automobile strasbourgeois constitué de 40% de véhicules Diesel. Tous les véhicules n'étant pas aussi légers et récents que la Clio, nous majorerons ces chiffres de 30%.

#### *c) Les résultats.*

**La somme globale des km parcourus quotidiennement proche de l'agglomération Strasbourgeoise est de :**

**1 616 443,8 Km**

Soit environ 2 Millions de km compte tenu des diverses approximations!

**Pollution quotidienne sur l'agglomération :**

|           | CO                | CO2               | Nox               | Hydrocarbures      | Particules         |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| en Tonnes | <b>1,90740373</b> | <b>267,036522</b> | <b>0,72416684</b> | <b>0,297425667</b> | <b>0,054959091</b> |

Ces rejets sont à majorer d'environ 30% du fait de chiffres basés sur une Clio, peu polluante

*Nous pouvons aussi facilement calculer la consommation d'essence quotidienne*



En prenant une consommation moyenne de 10L/100km nous obtenons : 161 644 L soit 161 m<sup>3</sup> soit plus de 5 camions citernes de 30 000 litres consommés chaque jour sur Strasbourg.

Les documents exploités sont disponibles en Annexe5 :

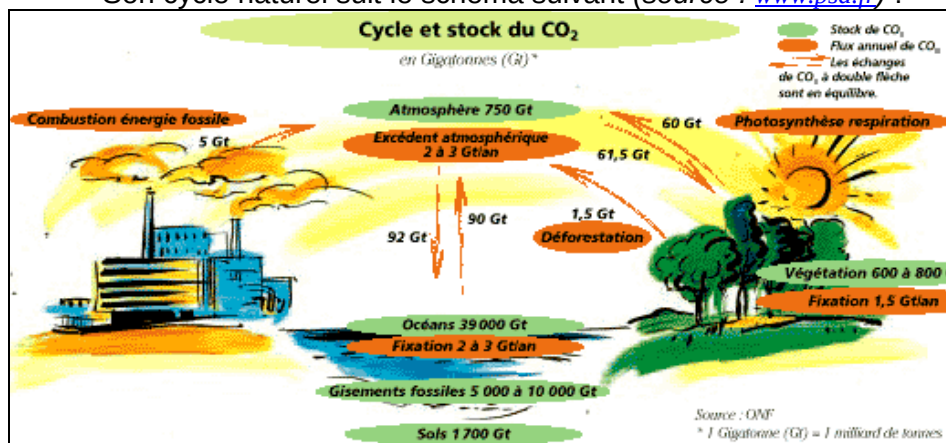
- circulation urbaine et périurbaine du SIRAC
- comptages autoroutiers de la DDE
- tableaux récapitulatifs Excel

Note : les véhicules du monde ne sont pas égaux devant la pollution, ainsi pour le CO<sub>2</sub>, les véhicules européens rejettent en moyenne 186 g/km, japonais 191 g/km et 260 g/km aux Etats-Unis. La norme européenne attendue en 2008 sera de 140g/km.

### 3.1.3) Le cas « CO<sub>2</sub> »

Les transports représentent 36% des émissions de CO<sub>2</sub>, dues à l'activité humaine ou industriel. Et si ce gaz n'est pas dangereux pour l'homme, il l'est pour notre planète : il contribue grandement à l'effet de serre ; le CO<sub>2</sub> étant le gaz à effet de serre le plus répandu sur terre.

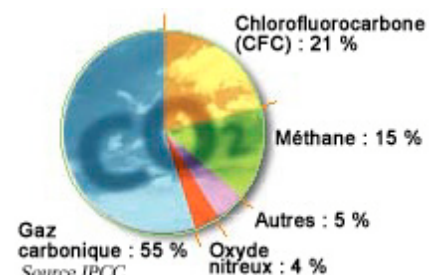
Son cycle naturel suit le schéma suivant (source : [www.psa.fr](http://www.psa.fr)) :



Le CO<sub>2</sub> étant un gaz naturellement issu de toute combustion, il a toujours existé sur terre. Mais l'activité humaine a créé un excédant atmosphérique de 2 à 3 Gigatonnes. C'est cette quantité qui constitue la pollution au CO<sub>2</sub>

De tous les gaz à effet de serre, le CO<sub>2</sub> est le plus dangereux compte tenu de la concentration à laquelle on le retrouve dans l'atmosphère. Depuis les années 50, la concentration dans l'atmosphère du CO<sub>2</sub> a augmenté de 15 % et depuis 250 ans elle a augmenté de 30%.

Le réchauffement de la planète ne peut être nié et il a eu, a ou aura pour conséquence les graves effets suivants :



- a) augmentation des températures moyennes sur la planète avec les graves conséquences que cela peut avoir. Ce dérèglement climatique aboutit à
- de nombreuses tempêtes, exceptionnelles par leur intensité ou leur fréquences (liées souvent aux phénomènes el niño et la niña)
  - des inondations (ou sécheresses) : encore en Bretagne ces dernières semaines.

- b) Fontes des glaces : au rythme d'augmentation actuel des températures, 95% de la masse des glaciers alpins aura fondu en 2100 (92% du glacier du mont Kenya a déjà disparu). Pour la première fois cette année (Eté 2000) on a observé de l'eau liquide au pôle Nord.
- c) Disparition de nombreuses espèces, sensibles aux températures (insectes) mais surtout dont l'écosystème ou la chaîne alimentaire est menacée par les changements climatiques.
- d) 92 Millions d'humains potentiellement victimes d'une élévation de 50 cm du niveau des océans. (chaîne alimentaire rompue, delta inondés..)

Voilà le triste destin des 100 prochaines années de la planète, en espérant que les nombreuses tempêtes qui traduisent, en somme, la maladie de notre terre feront enfin comprendre à l'humanité entière qu'elle est entrain de détruire sa planète. Et de ne plus rejeter la faute sur son voisin : ce sont les efforts combinés ( énergétiquement mais aussi solidairement par rapport aux pays en voies de développement) de tout le Monde qui sauveront notre planète.

Ainsi, malgré les efforts de dépollution des constructeurs la pollution est donc toujours bel et bien présente dans les centres urbains, voyons les conséquences de cette pollution sur la population des villes.

### 3.2) Le coût médico-social de cette pollution

Une récente enquête a révélé que les morts prématurés de la pollution urbaine à Londres étaient de 385 pour l'année 1999 alors que les morts par accident de la circulation de 250. Ce sont d'abord les personnes âgées et les enfants malades qui sont les plus touchés mais personne ne peut estimer l'influence de la pollution urbaine sur l'espérance de vie. Respirer des gaz d'échappement et des poussières quelques heures par jour est sans doute aussi cancérigène que l'amiante. Mais il est vrai que les filtres des voies d'aération des voitures particulières sont très performants, l'automobiliste ne se rend pas vraiment compte de cette pollution qu'il cause.

#### 3.2.1) Des organismes dynamiques de surveillance épidémiologique

Depuis une dizaine d'années les préoccupations des habitants vis à vis des risques liés à l'environnement et leur prise en compte par les pouvoirs publics se sont considérablement développés. Le 1<sup>er</sup> Juillet 98 le gouvernement a adopté une loi visant à renforcer la veille et la sécurité sanitaire afin d'évaluer les risques et prendre, le cas échéant, des mesures afin de protéger les populations. Ainsi il a été créé l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) qui poursuit les missions de Réseau National de la Santé Publique (RNSP).

Dans le domaine de la pollution atmosphérique, celui qui nous intéresse, la France a développé un dispositif de surveillance épidémiologique permettant d'évaluer et de surveiller *l'impact de la pollution atmosphérique urbaine sur la santé de la population*. De nombreuses études sont réalisées mettant en corrélation les pics de pollution et les hospitalisations, dans le but d'estimer le coût pour la société de cette pollution.

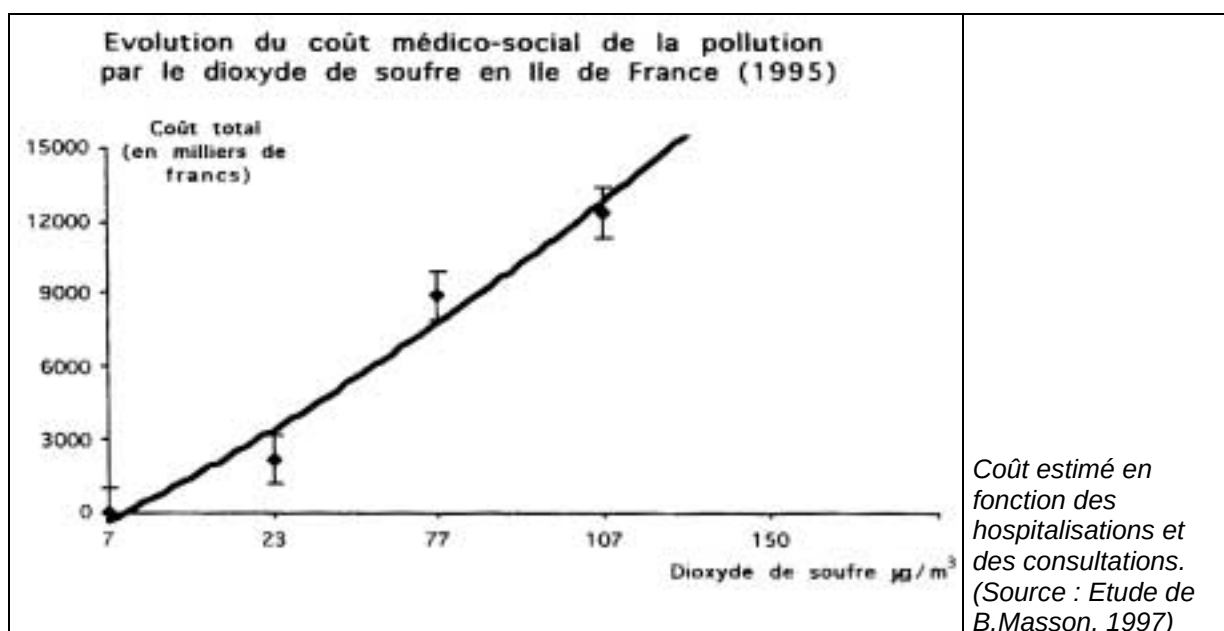
J'ai rencontré Mr Bruno Masson, du Béta (Bureau d'étude techniques appliquée ) à l'ENSPS, qui fait actuellement une thèse sur l'étude globale des coûts de la pollution pour la société. Ses études sortaient largement du sujet étudié ici.

Nous avons néanmoins joint en annexe 6 :

- 2 courbes types d'impact de la pollution sur la santé
- le livret « Surveillance épidémiologique Aie & Santé », rapport de mars 1999 qui établit un bilan entre pollution et hospitalisations de manière plus détaillée.

- La conclusion intéressante d'un rapport épidémiologique

Voici, ci-dessous, à titre indicatif la courbe du coût social des fumées noires.



Ces études ont surtout pour but de sensibiliser les pouvoirs publics et la population, lorsqu'elles sont diffusées, quant aux coûts de la pollution : afin de leur faire prendre des mesures préventives et une politique plus écologique d'une manière générale.

Dressons maintenant le tableau des risques liés à la pollution.

3.2.2) Effets sur la santé des principaux polluants issus des transports.

Voici les effets sur la santé des principaux polluants issus des transports que l'on rencontre à forte concentration en ville

| Polluants       | Pathologies                                             |                                                                                     |                                                                                                                                                                                             |
|-----------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | Aiguë                                                   | Chronique                                                                           | Evolutive                                                                                                                                                                                   |
| SO <sub>2</sub> | *Toux<br>*Irritations oculaires<br>*écoulements nasales | *perturbation de la fonction pulmonaire<br>*asthme<br>*bronchite chronique          | *perturbation de la fonction pulmonaire<br>*excès de mortalité (troubles respiratoires et cardio-vasculaires)<br>*décès par asthme et bronchite chronique<br>*excès de mortalité par grippe |
| Nox             | *Irritations oculaires<br>*Toux<br>*Gênes thoracique    | *crises d'asthme<br>*infections respiratoire<br>*sensibilité des bronches augmentée | *vieillissement prématuré des poumons                                                                                                                                                       |

|            |                                                                                                                         |                                                                                                         |                                                                                  |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
|            | *Migraines                                                                                                              | *hyperreactivité bronchique                                                                             |                                                                                  |
| Co         | *Céphalées, vertiges<br>*fatigue<br>*troubles oculaires<br>auditif, de l'odorat,<br>de la mémoire<br>*mort à haute dose | *troubles cardio-vasculaires<br>*favorisation du cholestérol<br>*aggravation des angines<br>de poitrine |                                                                                  |
| Ozone      | *irritations des yeux<br>*toux<br>*coryza<br>*maux de tête                                                              |                                                                                                         |                                                                                  |
| Plomb      | *fatigue<br>*troubles du sommeil<br>*douleur abdomen<br>*constipation                                                   | *anémies<br>*hypertension<br>*insuffisance rénale                                                       | *saturnisme<br>*affectation de la<br>croissance et du<br>système nerveux         |
| Particules |                                                                                                                         | *irritation des bronches<br>*baisse de la fonction<br>Pulmonaire<br>*développement du fœtus<br>Affecté  | *augmentation des<br>décès par maladies<br>respiratoires<br>*cancer de la vessie |

*En Annexe 6b : Un tableau récapitulatif des polluants plus spécifiques*

### 3.3) Autres nuisances diverses

La pollution est sans doute la conséquence la plus grave de la congestion des transports urbains. Mais il existe d'autres conséquences sur la population urbaine :

- le bruit : les transports urbains sont toujours trop bruyants. Klaxons dans les embouteillages, bruit de roulement, bruit d'échappement des transports en commun ou des frottement rail-roues des tramway (crissement insupportable sur certaines courbes du tramway strasbourgeois). Ces bruits influent grandement sur le stress et le confort du citadin.
- le stress : l'automobiliste, bloqué dans des encombrements, sera plus stressé, ce stress pourra engendrer une baisse de la productivité au travail.
  - Ce stress augmentera les accélérations du conducteur donc la pollution.
  - Ce stress augmentera les chances d'accidents de la circulation : énervé le conducteur sera moins attentif.
- pollution visuelle : longtemps les transports en commun n'ont pas été dessinés pour s'accorder à la ville et à l'environnement urbain. Aujourd'hui c'est différent et le design a une part importante dans la conception des nouveaux transports urbains.

## IV) Les solutions existantes : réussites et limites.

### 4.1) Les transports urbains : des réseaux bien développés mais contraignants.

(Pour plus de détails sur les transports en commun existants voir l'annexe 7 :  
Matériels de transports urbain)

Les transports en commun existent depuis plus de 100 ans : la première rame de métro parisien a été ouverte en juillet 1905. Depuis longtemps, les autorités publiques ou l'initiative privée ont donc bien compris qu'il fallait mettre en place des réseaux structurés de déplacement. Ces réseaux contribuent au développement de l'urbanisation et à l'amélioration de la qualité de vie urbaine.

Les transports urbains contribuent donc au dynamisme économique de la ville mais aussi à la solidarité sociale et à la qualité de vie citadine. Ils sont un des acteurs importants de nos villes et constituent donc un enjeu politique fort.

Nous allons voir les différents avantages et inconvénients des transports en commun pour ensuite présenter les différents types existants.

#### 4.1.1) Des transports collectifs plus économes.

Le principal avantage des transports collectifs provient de leur charge utile plus élevée que des voitures particulières, ainsi, pour un même trajet, l'utilisation d'un autobus par rapport à l'automobile:

- consommara 3 fois moins d'énergie,
- polluera en moyenne 10 fois moins,
- utilisera 4 fois moins d'espace,

De plus le coût des « dommages » causés par les transports en commun (environnement, santé et économie) est de 20 à 40 fois moins important que celui des automobiles. De même le coût des infrastructures est moins élevé : une ligne de tramway ou de métro coûtera de 4 à 6 fois moins qu'une voie routière de *même débit*.

Les transports en commun sont donc économes sur les points suivants :

- économie d'énergie par km-passager parcouru
- économie de place occupée donc...
- ..économie de temps. (décongestion)
- économie d'énervements et de stress
- finalement toutes ces économies créent une économie d'argent.

Malheureusement l'utilisation des transports en commun reste contraignante et ils ne sont utilisés que par une certaine partie de la population

#### 4.1.2) Une mobilité à la portée de tous mais inégalement exploitée

Les réseaux de transports en commun sont développés pour toucher une majorité, si ce n'est la totalité, de la population urbaine. Les zones à forte densité de population sont généralement et à juste titre celles équipées en priorité, mais d'une manière générale les transports en commun sont utilisés par manque de moyen matériel et financier.

En effet ce sont les citoyens ne disposant pas de voiture particulière ou d'autre moyen de transport plus pratique (vélo par exemple) qui utilisent en majorité les transports



en commun. Personnes en situation précaire, personnes âgées et les jeunes constituent l'essentiel des clients des transports en commun, du moins sur Strasbourg. La situation est différente dans les grandes villes où le métro permet une rapidité de déplacement inégalée.

#### 4.1.3) Quelques notions sur le financement et l'exploitation des transports en commun

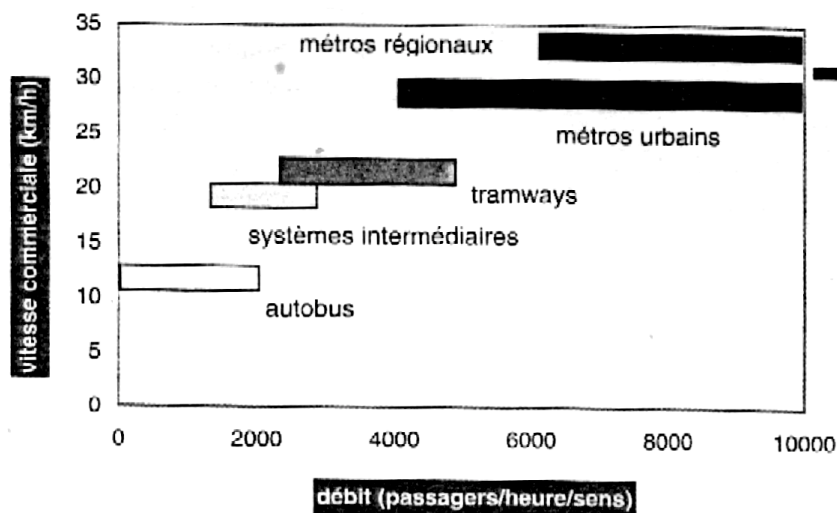
Les transports collectifs sont financés par les collectivités locales (36%) les usagers (23%), l'Etat (2%) et les entreprises et les administrations locales (39%) sous forme d'une taxe locale : le « versement transport ». L'Etat participe aux infrastructures de 15 à 20%.

Les transports en commun sont donc fortement subventionnés ! Le coût du titre de transport (déjà élevé dans certaines villes et pour certains budgets) ne représente donc environ que  $\frac{1}{4}$  du coût global du transport. Il est alors normal que les transports en commun soient plus « économiques » que les véhicules particuliers : les collectivités subventionnent l'utilisation des transports publics et taxent l'utilisation de la voiture particulière. Une étude comparative sur les coûts « réels » au km serait intéressante. On peut notamment citer l'exemple du bus fonctionnant, pendant les heures creuses avec 2 ou 3 personnes à son bord. Pollue-t-il alors encore 10 fois moins que l'automobile ? Au heures de pointe, bien chargés, les transports en commun sont donc intéressants, mais où est la limite de cette rentabilité par rapport au transport individuel motorisé : le vélo constituant dans tous les cas de figure une meilleure solution écologique que les transports en commun.

#### 4.1.4) Exemples de matériels de transport urbain

Nous ne dresserons pas une liste exhaustive des transports en commun existants le fascicule en *annexe 7 : Matériels de transport urbain* le fait très bien. Nous nous intéresserons seulement aux capacités des différents types de véhicules et à certains modèles assez originaux.

#### **Une large palette de matériels répondant à tous les besoins**



Classification des transports en commun suivant leur débit en p/h/s (passagers/heure/Sens) et leur vitesse commerciale moyenne.

A noter que les fréquences de passages et le nombre d'arrêts influent sur ces paramètres.  
(source : *Matériels de transports urbain*)

D'un point de vue énergétique les bus Diesel sont maintenant remplacés systématiquement (lors du renouvellement du parc) par des bus GNV (ou GPL dans certains cas plus rares) mais leur utilisation n'est pas encore optimisée aux zones les plus polluées, citons, par exemple, la ligne GNV qui effectue le trajet extra-urbain Strasbourg-Entzheim. Et surtout les coûts de l'installation d'une station de compression et d'approvisionnement en

GNV/GPL restent élevés coûteuse, mais nous reviendrons sur ces coûts auxiliaires dans le chapitre GNV/GPL. Certaines villes optent pour des trolley bus – électriques/air comprimé – d'autres pour des bus 100% électriques. De nombreuses recherches sont en cours, notamment pour améliorer la capacité des batteries, nous y reviendrons par la suite.

### *Quelques types de transports originaux : les transports hectométriques*

Pour les transports urbains sur faibles distances ou sur des trajets ou les transports conventionnels ne peuvent circuler, une gamme de « *transports hectométriques* », souvent gratuits, s'est développée et spécifiquement pour un lieu donné.

Ces transports hectométriques sont destinés à des flux de voyageurs relativement importants sur une distance maximale de 2 km : liaison entre 2 gares, transport de passagers dans les aéroports, liaison entre 2 centres d'activités.

Nous citerons par exemple :

- les systèmes de cabines automatiques à câble ou les funiculaires : distances assez importantes, terrains accidentés, vitesses élevées (20 à 40km/h). Débits de 3000 à 6000 p/h/s. Exemple : funiculaire de la butte Montmartre ou cabines à câble, SK de Soulé (Villepinte, région parisienne)

- les navettes automatiques qui circulent alternativement ou selon une boucle. Fréquence rapide et débit assez important du fait de la faible distance parcourue. Par exemple : la serpentine de Lausanne : filoguidée, à faible vitesse et en libre service.

- Les escaliers et tapis roulants : trafic piétons intense (9000 à 13000 p/h/s) sur de très courtes distances : gares, grands magasins, métro. On les appelle les trottoirs roulants mais pour des raisons d'entretien, ils se situent rarement en extérieur.

Finalement les transports en commun sont donc soit gratuits pour faciliter les flux importants de personnes soit payants mais alors plébiscité par les personnes n'ayant pas les moyens d'avoir d'autre moyen de transport...supprimons tous les transports en commun et voyons l'évolution des transports en vélo et de la pollution...

### 4.2) Les solutions organisationnelles et comportementales.

Pour faciliter le déplacement des transports en commun et la circulation urbaine en général les services publics ont mis en place des systèmes d'aide à l'exploitation (SAE) et d'aide à l'information (SAI)

4.2.1) Les systèmes d'aide à l'exploitation (SAE), exemple du SIRAC, et les systèmes d'aide à l'information (SAI).

Les équipements d'exploitation ont pour but d'aider l'exploitant à gérer son réseau en optimisant son service par la connaissance des conditions de circulation.

- Les SAE aident le déplacement des transports urbains. Pour les transports en commun, ils assurent, par exemple, leur priorité aux carrefours. C'est le système ActiBus à Strasbourg : un circuit électronique embarqué dans les bus communique avec les feux tricolores et assure le feu vert au bus. D'une manière plus générale, ils assurent la surveillance du réseau par un poste central. C'est le rôle du SIRAC dans la CUS : grâce à une centaine de caméras il contrôle la fluidité du trafic et en cas de problème prend les dispositions nécessaires pour relancer la circulation. Il permet aussi, par exemple, en contrôlant les feux rouges de faciliter l'arrivée des secours sur les lieux d'un accident. Le Sirac ne contrôlant pas le trafic du Tram, ce dernier risque de ralentir l'intervention des

secours. Concernant la régulation du trafic certains carrefours, par groupe de 2 ou 3, s'auto régulent grâce à des capteurs radar anticipant l'arrivée des automobiles.

-Les SAI permettent d'informer les voyageurs en temps réel sur les horaires, les temps d'attente et les éventuelles perturbations.

Ces 2 systèmes, même si ils sont coûteux à mettre en place, ont des effets directs sur l'exploitation, les SAE peuvent baisser le coût des transport jusqu'à 5% en augmentant la régularité et les vitesses commerciales. Et grâce aux SAI le client est informé de manière fiable et rapide, ce qui tend à le fidéliser.

Les transports urbains ont longtemps constitué la meilleure alternative à la voiture en ville, néanmoins l'augmentation constante du parc automobile pose de nouveaux problème de congestion. De solutions alternatives se créent peu à peu montrant limites et réussites.

#### 4.2.2) Les initiatives personnelles ou privées : Covoiturage, Car sharing.

Constatant que 80% des voitures sont utilisées en ville avec pour seul occupant leur conducteurs, des habitants et des associations ont réfléchi à des solutions organisationnelles :

-Le covoiturage : c'est une solution organisationnelle originale, souvent non officielle, elle permet entre voisins ou collègue de n'utiliser qu'un seul véhicule. Le cas idéal, des voisins collègues, est quasiment impossible. Cette solution est efficace les matins, mais la variation des horaires (ou des activités) les soirs la complique, sans parler des conflits entre voisins et collègues et le fait d'être liée à une tierce personne. Mais d'une manière globale cette solution ne permet que d'augmenter la charge utile du véhicule, l'usage d'un véhicule plus léger (bi ou triplace) rendrait cette solution obsolète.

Certaines grandes villes (Singapour, San Francisco..) *n'autorisent l'accès* à leur centre qu'aux véhicules ayant au moins trois personnes à leur bord ! C'est triste à dire mais c'est encore une fois la répression qui semble être la « meilleure » solution. La ville de Chicago impose aux entreprises d'organiser des covoiturages systématiques.

-Le Car sharing : solution développée par des clubs ou des associations 1901. Elle permet d'acheter à temps partiel des véhicules différents. Suivant ses besoins, on utilisera un ou l'autre modèle. Cela permet de réduire le parc automobile global, donc les encombrements et les émissions polluantes et de profiter de plusieurs types de voiture. Mais cela pose des contraintes d'utilisation assez élevées (horaire à respecter, personne n'est vraiment propriétaire, entretien à organiser..)

Cette solution est déjà lancée en Suisse et en Allemagne (association Mobicity en Suisse), et est en cours de développement à Strasbourg. L'association « Autotrement » réunit déjà plus de 300 membres à Schiltigheim et sera opérationnelle d'ici 2 ans.

*Nous avons néanmoins pensé à d'autres solutions qui permettraient :*

-de fluidifier la circulation en doublant par exemple les voies de circulation (très peu probable). En effet, les centres urbains ont été conçus lorsque la voiture n'existait pas. Les parking intra-urbains ne constituent pas une solution à la diminution de la circulation. Par contre les nouveaux parking extra-urbain récemment créés par la Cus qui forcent les utilisateurs à utiliser les transport en commun et à laisser leur voiture en périphérie sont bien plus efficaces.

-de décaler l'utilisation des voies de circulation par une réorganisation des horaires de travail, exactement comme les zones pour les vacances scolaires...bien sur pour des notions économiques c'est irréalisable !

-de réduire les émissions par un changement des mentalités des citoyens en faisant comprendre par d'imposantes campagnes publicitaires que faire 1 km à pied n'est pas impossible, que le vélo n'est pas si dangereux que ça et que ce sont plus de 2 millions de km qui sont parcourus chaque jour à Strasbourg par les automobiles.

#### 4.2.3) Un comportement citoyen à faire évoluer.

Comme nous l'avons déjà précisé les transports en voiture en ville brillent par leur brièveté : une fois sur 4 une voiture parcourt moins de 1 km, une fois sur 2 elle fait 3,5 km. Elle consomme et pollue alors 3 fois plus que sur la route et s'use aussi beaucoup plus vite. C'est donc un réel problème de comportement des utilisateurs qui ne peuvent plus se passer de leur voiture, tout a été réuni pour créer une « dépendance forte » du Français vis à vis de sa voiture.

Et s'ils ne comprennent pas tous seuls les ravages qu'ils provoquent sur l'environnement et donc sur la santé future de leurs propres enfants, il faudra leur montrer par différentes campagnes médiatiques, en avançant par exemple l'argument : « On triple le prix d'une baguette en allant la chercher à 500m en voiture ».

En outre un changement de comportement du conducteur au volant permettrait aussi d'améliorer la qualité de l'air. Une conduite agressive caractérisée par des accélérations et des freinages brusques entraîne un accroissement de la consommation de 20%, voir même dans les pires des cas de 40% en ville, et d'autant les pollutions résultantes. Une conduite mal adaptée peut donc engendrer une surconsommation de 3L/100km en ville.

Par contre, le respect des limitations de vitesse aboutit à des gains d'environ 3.5% sur la consommation et le CO<sub>2</sub>, 4.5% sur les Nox, 7.5% sur les particules et 1.5% sur le CO.

De plus, la standardisation de la climatisation entraîne aussi une grave augmentation de la consommation de l'ordre de 20%, soit globalement sur une année une surconsommation de 7%. Utilisées surtout en été, période favorable aux pics d'ozone, les climatisations augmentent de façon significative la pollution urbaine. Un entretien courant de son véhicule (réglage carburation, vérification du pot et des différents niveaux..) contribue à ne pas augmenter bêtement les rejets de son véhicule. L'utilisation des véhicules les plus récents est aussi favorable à la dépollution, le renouvellement naturel du parc contribue à ce phénomène et l'utilisation des pastilles vertes de l'état permet de distinguer les véhicules les moins polluants (sur le papier). Il faudrait néanmoins vérifier si ces pastilles vertes, garantissant à leur propriétaire la propreté de leur véhicule, ne tendent pas justement à favoriser la circulation urbaine de ces véhicules. En effet leur propriétaire pourrait se dire « J'ai la pastille verte, j'ai donc une voiture propre qui ne pollue pas ». C'est évidemment faux.

De nombreuses études sur les transports urbains aboutissent à la conclusion ;

**« Après avoir cherché pendant une année, nous nous sommes aperçus que la seule solution était que chacun prenne enfin conscience des problèmes d'environnement et modifie son comportement »**

(tiré de : Grenoble, une ville qui nous transporte )

*Annexe 8 : Comment puis-je contribuer à la lutte contre la pollution de l'air ? Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.*

#### 4.2.4) Les solutions de crise.

Durant les pics de pollution urbaine où les seuils de pollution définis par les instituts de recherche épidémiologique sont dépassés, le gouvernement prend des mesures de crises visant à réduire rapidement ces taux. Ce sont les fameux jours de circulation alternée ou seuls les numérotations d'immatriculation pairs ou impairs sont autorisés à circuler. Durant ces jours, la pollution chute alors largement, qu'en est-il de l'efficacité



professionnelle (retards, productivité..) ? Si elle est conservée ou baisse seulement légèrement cette mesure devrait être permanente : cela prouve que les Français peuvent s'organiser...à condition que cela leur soit imposé ! Souvenons-nous des grèves générales des transports fin 1999, les Français ont également développé d'eux même le covoiturage et ont optimisé leurs moyens de déplacement, de même lors des blocages des raffineries début septembre 2000. Nous avons donc un fort potentiel d'organisation en France pourquoi n'est-il utilisé que lors des périodes difficiles ?

#### 4.3) Les 2 roues : une alternative sûre à la voiture en ville.

Souvent considérés comme dangereux en ville, les 2 roues, motorisés ou non, sont plutôt peu utilisés. Ils permettraient de réduire considérablement les encombrements et la pollution urbaine.

Dangereux car moins visibles, plus mobiles et souvent, il faut l'avouer, plus rapides que les voitures, les 2 roues, surprennent souvent l'automobiliste, peut-être pas assez attentif. Des pistes cyclables sont souvent bien développées (surtout dans la CUS) mais le climat et l'effort rebute souvent les utilisateurs...Mais des vélos avec assistance électrique sont en cours de développement et de précommercialisation : ce ne sont pas des vélos équipés d'un moteur auxiliaire (style Solex) mais d'un système qui permet de réduire le couple appliqué au pédalier donc de réduire les efforts de l'utilisateur. Etant donné que la propulsion n'est pas activée lorsque l'utilisateur ne pédale pas, ces vélos ne sont pas classés dans les 2 roues motorisés, donc ne sont pas soumis (heureusement) au port du casque obligatoire.



*Vélo à assistance électrique de la gamme Th!nk. : aide au démarrage et récupération de l'énergie de freinage via un alternateur/moteur électrique*

Malheureusement le prix relativement élevé de ces vélos, de 8000 à 10000 frs soit le prix d'une bonne voiture d'occasion, fera rebuter plus d'un citoyen conscient des dégâts causés par les voitures. C'est ici que les collectivités pourraient apporter aides et subventions !

Les scooters, savant mélange entre le vélo et la voiture, destinés à une utilisation 100% urbaine, sont apparus en Italie juste avant la guerre. Ils permettaient à moindre frais, c'est à dire pour une majorité de la population, de se déplacer aussi aisément qu'en voiture. Aujourd'hui le scooter est un moyen de déplacement formidable pour les déplacements urbains, malheureusement il n'offre pas la protection d'une voiture : le conducteur est exposé

aux intempéries et n'importe quelle collision est synonyme de chute. De plus le port du casque, obligatoire, limite aussi l'utilisation des scooter en ville : il faut, généralement porter son casque toute la journée. Le constructeur BMW a bien compris ce problème de manque de protection et a lancé en 2000 sur le marché son scooter CityOne (C1) qui est pensé pour une *protection totale de l'utilisateur*.



Différentes photographies montrant la technologie du C1 qui est entièrement basée pour la protection de son pilote : structure d'œuf, nombreux accessoires de sécurité passive et active.  
(Source : prospectus publicitaires)

Citons ses principaux avantages :

- protection contre les intempéries par une structure fermée.
- sécurité passive du niveau d'une petite voiture urbaine.
- sécurité active du niveau de conception BMW : ABS en option, fourche anti-plongée..
- non obligation du port du casque.
- moteur 4Temps 4 soupapes à injection électronique directe couplé à un pot catalysé 4 voies (pot catalytique les plus performants actuellement)
- 15 CV permettant des bonnes accélérations pour un poids de 180kg.

BMW est donc le précurseur d'un nouveau type de véhicule urbain alliant les avantages de protection d'une automobile et de la mobilité d'un 2 roues. Malheureusement son prix de vente est élevé, les modèles de base sont vendus 40 000 frs, c'est le prix d'une petite voiture ! Mais c'est un véhicule BMW et il semblerait donc que le constructeur veuille garder un certain élitisme de ses clients.

Pour plus d'information concernant le C1 et le design des petits véhicules urbains voir l'Annexe 8 : Etude de design sur le C1

N'oublions pas non plus les grandes sœurs des scooter : les motos. Elles permettent un trafic plus fluide mais les rejets des motos sont souvent bien plus importants qu'un véhicule automobile même si leur consommation est plus faible. Une récente étude canadienne a montré que la plus grosse Harley Davidson (1340cm3) polluait sur une moyenne des polluants autant que 22 Honda civic !

Malgré toutes ces solutions alternatives, la population reste fidèle à sa voiture, les constructeurs se penchent alors sur des solutions énergétiques plus propres.

### Une solution originale pour lutter contre la pollution.

Partant du fait que les transports en commun seront toujours déficitaires et que la communauté devra rembourser ce déficit pour chaque passager transporté, pourquoi ne pas



*reverser cette somme aux citoyens conscients des problèmes d'environnement utilisant leur vélo ? C'est à dire par une rémunération à définir (fixe ou variable ?) au km parcouru. Un cycliste polluera et encombrera dans tous les cas moins qu'un passager de transports en commun.*

*Beaucoup de monde à qui nous avons exposé cette idée furent conquis mais la CUS ne peut pas juridiquement financer un moyen de transport privé. Et quand nous avons proposé une rémunération par affichages publicitaires sur le vélo (dépendant des km parcourus) on nous a répliqué que la pub était déjà trop présente à Strasbourg..un mois plus tard, nous avons appris qu'une petite société rémunérait à raison de 100 frs / semaine l'affichage publicitaire sur la lunette arrière des automobiles !!! Voilà donc une bonne mesure d'anti-pollution et de de décongestion ; le budget essence d'un véhicule circulant en ville est d'environ 100 frs /semaine...l'utilisateur voit son essence payée par la pub, c'est sûr que dans ce cas, il hésitera entre la voiture et un autre moyen de transport...et voilà une belle pollution supplémentaire payée par la pub !*

#### 4.4) Les solutions alternatives énergétiques commercialisés.

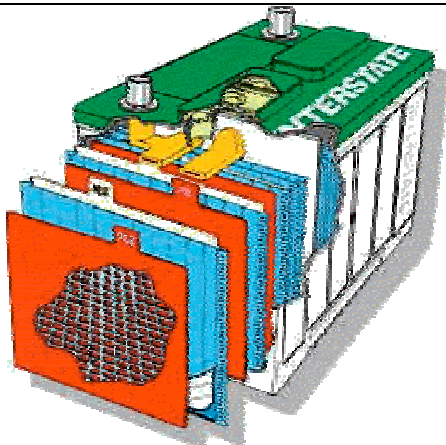
##### 4.4.1) Les véhicules électriques

La solution la plus évidente pour réduire la pollution urbaine est de supprimer une fois pour toute l'émanation de gaz polluants : c'est à dire en propulsant le véhicule électriquement. L'idée est loin d'être neuve : en 1881 le physicien Gustave Trouvé a l'idée d'électrifier un tricycle et la « Pourquoi Pas », un véhicule électrique, détiendra longtemps le record de vitesse au début du siècle. Mais d'un rapport puissance/masse ne pouvant rivaliser avec les moteurs à hydrocarbures, il est vite abandonné pour le grand public et ne reviendra sur le devant de la scène que lors des années 1960. Aujourd'hui les véhicules électriques constituent la meilleure alternative contre les émissions polluantes directes dans les centres urbains.

La principale limite de ces véhicules est le poids et la capacité des batteries alimentant le moteur à moteur continu, asynchrone ou synchrone, bobiné ou à aimant permanents suivant la technologie utilisée. Tous les véhicules électriques sont asservis électroniquement afin de commander en puissance le moteur suivant la commande du conducteur et étaient les premiers à réellement récupérer une partie de l'énergie de freinage (moteur qui devient alternateur). Etablissons un bref résumé sur les technologies utilisées.

Les batteries sont le cœur de tous véhicules électrique : c'est elle qui fournissent toute l'énergie.

Les batteries au plomb, polluantes (fabrication, recyclage) et lourdes, affichaient un rapport massique maximal de 30 Wh/kg, aujourd'hui le nickel-cadium a remplacé le plomb et la capacité est passée à 55 Wh/kg les recherches actuelles se tournent vers les batteries aux lithium-ion doublant encore l'énergie massique et permettant une autonomie de l'ordre de 200km, c'est à dire une autonomie idéale pour la ville. Mais quels sont les prix réel de ces batteries et leur impact sur l'environnement ? De plus les conditions de fonctionnement influent grandement la durée de vie, déjà limitée, de certaines batteries. Ainsi les batteries au Plomb ne doivent jamais dépasser une certaine limite de décharge et être recharger le plus souvent possible, à l'inverse les batteries au nickel-cadium doivent être entièrement déchargées avant la recharge pour leur assurer une meilleure durée de vie. Ces 2 types de batterie ne sont donc pas vraiment adaptés aux transports : les batteries plomb sont bien trop lourdes et la gestion de la décharge complète des batteries nickel-cadium, sans gâchis d'énergie est bien délicate.



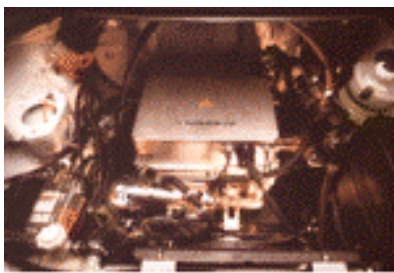
#### ← Accumulateur au plomb

Les piles au plomb sont constituées d'une série de plaques contenant du plomb spongieux, entre lesquelles sont interposées des plaques de bioxyde de plomb, dont l'ensemble est plongé dans une solution d'acide sulfurique.

Les plaques de couleur rouge représentent les plaques de plomb alors que les plaques de bioxyde de plomb sont représentées en bleu. La batterie est formée de six cellules composées chacune de deux plaques (Pb et PbO<sub>2</sub>). Un tel arrangement donne 12 volts (2 volts par cellule). Une voiture électrique peut nécessiter jusqu'à 12 de ces batteries

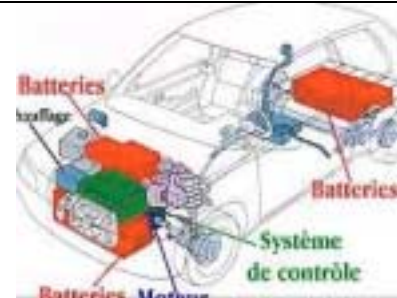
#### Le moteur série →

Le moteur à excitation magnétique série développe un couple élevé tout en maintenant une haute vitesse de rotation. Ces caractéristiques à elles seules justifient son emploi dans les applications qui nécessitent une grande traction. Les véhicules électriques, utilisent ce type de moteur pour leur système de propulsion.



Moteur d'une Scénic électrique  
© Renault

*Vue du moteur de la mégane Scénic électrique*



Agencement

*Des composants dans une voiture électrique*

Si les recherches pour améliorer la capacité massique des batteries sont nombreuses (nous reviendrons dessus dans le chapitre suivant), c'est la Pile à Combustible (PAC) qui constitue le meilleur espoir d'alimentation des véhicules électriques. Nous reviendrons sur les PAC plus tard, disons simplement qu'elles sont basées sur l'électrolyse inverse de l'eau : elles produisent du courant, de l'eau et de la chaleur par dissociation de l'Hydrogène.

De nombreux constructeurs commercialisent néanmoins des véhicules 100% électriques mais leur prix élevé rebute encore les particuliers qui ne sont pas prêts à investir 20% de plus (par rapport à un véhicule thermique de même classe) pour un véhicule qu'ils ne peuvent utiliser quasiment qu'en ville. Ce surcoût vient du fait que la totalité des véhicules électriques actuellement commercialisés sont basés sur les véhicules thermiques : ce ne sont que des adaptations, leur poids est le même (ou même souvent plus élevé) que la version thermique. Heureusement des petits véhicules électriques seront commercialisés d'ici peu mais tous les constructeurs se tournent, à juste titre, vers les véhicules hybrides, permettant l'utilisation de l'électricité en ville (ou en dessous d'une certaine vitesse) et d'un moteur thermique autrement.



La e-com de Toyota

Les constructeurs ont enfin compris que l'adaptation 100% électrique sur les véhicules classiques n'était pas possible. Voici 2 exemples de véhicule 100% électrique, 100% urbain (ou périurbain) : l'e-com de Toyota et l'Hypermini de Nissan dont les performances et les caractéristiques justifient une utilisation 100% citadine



La Hypermini EV de Nissan

### Le cas Smart

La France avait aussi sa micro-voiture de ville : c'était la Smart, qui à l'origine était destinée à être un véhicule 100% électrique. L'alliance Mercedes-Swatch s'est rompue lorsque Mercedes a décidé que la Smart ne serait pas électrique, idée défendue par Swatch, qui pensait mettre sur le marché un petit véhicule modulable idéal pour la circulation urbaine. Swatch a retiré ses capitaux et les Smart vendues actuellement sont donc des véhicules thermiques Mercedes à part entière mais à moteurs 3 cylindres .

On peut s'interroger quand à ce refus de Mercedes : c'est un des premiers constructeurs à faire des recherches réellement innovantes concernant l'environnement. On peut citer le moteur brûlant de l'hydrogène pur pendant les années 80 ou le développement des PAC utilisant du méthanol (le 1<sup>er</sup> véhicule à PAC performant, au monde, était une Classe A).

Quoi qu'il en soit, la Smart reste un échec en France, alors qu'en Italie, pays du scooter, c'est un réel succès bien que les prix soient similaires dans les 2 pays. L'étroitesse et la complexité des villes italiennes seraient une des explication de ce succès mais ce n'est pas la seule, alors : Question de mentalité ou mauvaise gestion marketing ?

### Le réseau Liselec : un exemple de gestion de véhicules urbains.

C'est un service de location sur abonnement de véhicules électriques implanté, pour l'instant, à La Rochelle. Ce service est constitué d'une flotte de véhicules électriques répartis autour de stations situées à travers la ville. La personne abonnée accède à Liselec grâce à un "pass" qui lui a été remis et qui permet de prendre une voiture puis de la restituer. La location se fait par abonnement, temps et km parcourus par l'utilisateur. Utilisant dans un premier temps des véhicules adaptés, Peugeot a néanmoins développé le premier véhicule 100% électrique et 100% urbain : la Tulip.



La tulip : le micro-car français électrique du réseau Liselec (caractéristiques complètes en annexe 10 a)



Développée en 1995, on peut néanmoins se demander pourquoi la Tulip n'a pas été diffusée en dehors des réseaux Liselec. Elle présente en particulier un recharge possible par induction : plus besoin de branchement, le véhicule se recharge par Flux induit sur une place de parking spécifique.

Un appel d'offre a été lancé pour la ville de Strasbourg : le coût d'exploitation s'est révélé largement déficitaire à hauteur de 30 Millions de Frs sur 10 ans et une location

inacceptable à 50frs les 20min. Il semblerait que La Rochelle ait des liens fort avec EDF et qu'elle soit surtout considérée comme une ville pilote expérimentale.

En dehors d'une notion de dépollution, discutable, le réseau Lisélec est aussi, et avant tout, une solution organisationnelle de gestion de véhicule. Si le transport électrique revient cher, pourquoi ne pas adapter, tout simplement, ce système à des mirco-car même thermiques mais dépollués au maximum et dont les caractéristiques sont adaptées à la circulation 100% urbaine.

*Le réseau Liselec et la Tulip sont présentés plus en détail en Annexe 10a)*

#### Le cas du solaire.

Nous avons aussi pensé aux véhicules solaires mais les faibles rendements (de 8 à 15%) des piles photovoltaïques et leur coût élevé au kW ne permet pas leur utilisation pour un véhicule quotidien : une surface immense devrait être nécessaire. Sans parler des variations d'ensoleillement, et si cette technologie « pourrait » être utilisé dans certains pays, elle est impensable au delà d'une certaine latitude.

Par contre, elle pourrait être utilisée de manière fixe pour recharger les batteries à l'arrêt (sur le véhicules ou sur des bornes fixe).

Bilan énergétique d'une cellule photovoltaïque, les pertes proviennent de:

- l'énergie perdue par réflexion (~10%)
- l'énergie transmise par absorption incomplète des photons (~20%)
- l'énergie cédée sous forme thermique(~25%)
- l'énergie cédée par rayonnement de corps noir (~25%)

Il reste donc de 8 à 15 % d'énergie utile, les piles présentent un rendement de 15% étant excessivement chères (40 000 frs par kW)

*Le bilan énergétique complet, avec les causes exactes des pertes, d'une pile photovoltaïque est présenté en Annexe 10 b).*

#### Les limites des véhicules 100% électriques.

Les véhicules 100% électriques sont encore trop chers par rapport aux apports qu'ils fournissent à cause du coût de batteries performantes. Ils sont alors souvent utilisés en location pour des besoins ponctuels ou par les collectivités locales comme véhicules utilitaires.

Néanmoins, si ils ne rejettent pas directement des gaz polluants, on ne peut pas les classer dans la catégorie des véhicules 100% propres. En effet, le moyen de production de l'électricité qu'ils utilisent est à prendre en compte, et si en France, le nucléaire participe à 80% de la production électrique, ce n'est pas le cas dans d'autres pays, notamment aux USA, ou une grande partie de l'électricité est produite par le pétrole ou pire, le charbon. Dans la plupart des cas cette production se fait sans cogénération, donc avec un rendement avoisinant les 30%, la pollution globale est donc juste déplacée.

L'autre source de pollution des véhicules électriques provient des batteries :

-fabrication : composés chimiques dangereux, moyens de production de ces produits ?

-durée de vie limitée a un certain nombre de cycles de charge (1000 pour une batterie plomb)

-recyclage de ces batteries à surveiller de près (normes).

Un véhicule électrique n'est donc pas aussi propre qu'il n'y paraît, d'autres solutions alternatives existent heureusement.

#### 4.4.2) Les véhicules GNV/GPL

Une autre solution visant à réduire la pollution sont les véhicules alimentés au GPL (Gaz de pétrole liquéfié) ou au GNV (Gaz Naturel de Ville ou de Véhicule). La combustion du gaz étant bien plus « propre » que celle des hydrocarbures, les rejets toxiques sont diminués. Néanmoins le cycle discontinu des moteurs 4 temps ne permet pas une combustion aussi totale et propre que celle d'une cuisinière gaz par exemple et leur combustion libère toujours une quantité non négligeable de CO<sub>2</sub>. La réduction est de 30% maximum par rapport à la combustion des hydrocarbures.

Tableau récapitulatif des rejets GPL et GNV (gr/km) sur un véhicule ayant parcouru 3000 km

| Motorisation | CO   | CO <sub>2</sub> | Nox  | Hydrocarbures | Particules |
|--------------|------|-----------------|------|---------------|------------|
| Essence      | 1.5  | 164             | 0.28 | 0.24          | Néant      |
| Diesel       | 0.7  | 167             | 0.7  | 0.1           | 0.085      |
| GPL          | 0.3  | 145             | 0.06 | 0.08          | Néant      |
| GNV          | 0.57 | 121             | 0.04 | 0.04          | Néant      |

Le GPL, fabriqué par les pétroliers est, on le comprend, le plus répandu de ces 2 carburants alternatifs. Voyons plus en détails les technologies associées.

|                                         | GPL                                                                                                                                                         | GNV                                                         |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| <b>Composition</b>                      | mélange de butane (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> ) et de propane (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ), pas de plomb, ni de benzène et quasiment pas de soufre. | Méthane (CH <sub>4</sub> ) pur.                             |
| <b>Fournisseur/Fabriquant/Obtention</b> | Grand pétroliers, issu du raffinage ou lors de l'extraction du pétrole                                                                                      | Gaz de France, c'est du gaz naturel.                        |
| <b>Stockage dans le véhicule</b>        | Sous forme liquide de 8 à 10 bar                                                                                                                            | Sous forme gazeuse à au moins 200 bars                      |
| <b>Distribution</b>                     | Stations services                                                                                                                                           | Stations GNV spécifiques                                    |
| <b>Avantages</b>                        | Stockage plus facile, coût de pompage réduit                                                                                                                | Réserves plus importantes, indépendance face aux pétroliers |
| <b>Inconvénients</b>                    | Produit à partir du pétrole → réserves limitées                                                                                                             | Stockage à haute pression, coûts de compression élevés      |

Caractéristiques du méthane par rapport à l'essence.

|                          | Densité | Conditions d'inflammation | Température d'auto-inflammation |
|--------------------------|---------|---------------------------|---------------------------------|
| <b>Essence (Vapeurs)</b> | 4       | 4.4%                      | 255°C                           |
| <b>Gaz Naturel</b>       | 0.55    | 10%                       | 650°C                           |

Ces différences fondamentales aboutissent à des différences technologiques entre un moteur au gaz et essence.

La motorisation GPL est généralement adaptée sur les véhicules essence existant : on adapte un second réservoir indépendant et la motorisation gaz est activée en dessous d'une certaine vitesse par la commutation automatique. Le principal problème réside lors de cette commutation, c'est à ce moment que le véhicule pollue le plus, et nous avons lu (Ca



m'intéresse, Novembre 2000 ) que les véhicules GPL adaptés, c'est à dire, n'étant pas conçus, à la base, pour fonctionner au gaz, pollueraient plus que les véhicules essence.

Les kits de transformation essence → bi-carburant essence GNV ou GPL sont pour des véhicules particuliers au même prix : environ 10 000 frs. Mais étant donné que le GNV n'est pas encore disponible pour les particuliers (le sera-t-il un jour ?) ce ne sont que les transformations vers un GPL qui sont possibles. Et paradoxalement, le GNV est plus adapté à la ville : Il est particulièrement utilisable par les bus urbains et la majorité des constructeurs de poids lourds développent des modèles au gaz car la transformation Diesel → GNV est assez facile. Le GNV présente plusieurs avantages :

- très bon indice d'octane permettant un taux de compression augmenté (>22), donc un meilleur rendement thermodynamique et finalement une meilleure puissance pour une même cylindrée. D'où la nécessité de redessiner une chambre de compression. Les véhicules adaptés ne présentent pas cet avantage (non négligeable).

- combustion moins détonnante que le diesel donc diminution des cliquetis engendrant des vibrations et par conséquent amélioration de l'agrément de conduite.

- diminution notable de la pollution par rapport au diesel.

- facilement adaptable sur une base diesel. Les modifications sont les suivantes : intégration d'un allumage commandé, développement d'une cartographie d'allumage spécifique et augmentation du taux de compression (déjà élevé sur les diesel : de 18 à 22).

- coût d'exploitation inférieur au gazole, mais cela ne dépend que de notions fiscales très fluctuantes.

- sécurité accrue contrairement aux opinions :

- réservoir résistant à 700 bars, 30G de décélération, vanne manuelle d'isolation, fusible thermique.

- Limiteur de débit, 2 clapets anti-retour et gainage ventilé (contre l'accumulation de poche de gaz)

- pas de nécessité d'enrichissement au démarrage.

- enfin la durée de vie des moteurs est améliorée : la combustion plus propre diminue l'encrassement et l'huile est moins dégradée car le mélange est plus homogène que dans un moteur diesel (phase gaz-gaz).

Donc, s'il n'existe pas de véhicule neuf au GPL seul, les véhicules au GNV seuls seront, et c'est tant mieux, beaucoup plus courants. La CUS ne renouvelle ses Bus diesel que avec des bus GNV, à raison de 16 par an ils sont au nombre de 48 actuellement soit environ 10% du parc.

*L'annexe 11 a) présente différents modèles de bus GNV commercialisés*

*L'alimentation GNV : attention aux coûts de compression !*

*(voir Annexe 11 b) : Devis d'une station d'alimentation GNV)*

Le GNV nécessite une compression jusqu'à 200 bars, cette compression, électrique, n'est pas gratuite et représente sans doute l'inconvénient majeur de l'utilisation du GNV. Elle dépend :

- du coût d'investissement de la station de compression. (Par ex. : la petite station montée à Strasbourg pour 4 Clio GNV coûte 70 000frs)

- du coût de compression comprenant l'électricité et l'entretien.

2 modes de remplissage sont disponibles :

-mode lent : afin de diminuer le coût de compression, la compression est effectuée lentement pendant plusieurs heures, de préférence en heures de tarification creuses (nuits). Le véhicule est rempli directement ou bien l'on passe par un réservoir tampon. C'est la solution utilisée à Strasbourg pour alimenter les bus.

-mode rapide : compression en « temps réel », c'est à dire lors du plein. Le coût de compression est alors élevé et peut doubler le prix du carburant...Mais elle offre la même rapidité que les réseaux de distribution d'hydrocarbures.

Finalement le coût d'exploitation de véhicule GNV dépend du coût de l'énergie brute, électricité et gaz, et de sa fiscalité. Il faut néanmoins préciser que l'utilisation de gaz dans les véhicules n'est pas encore « possible » pour beaucoup de personnes qui considèrent le réservoir (à tort) comme une bombe...pourtant les nombreuses sécurités évoquées plus haut rendent une voiture gaz aussi sécurisée qu'un véhicule classique. Aucun réservoir n'a explosé spontanément et les seuls accidents l'ont été sur les premiers modèles transformés.

### L'alimentation GPL : la France en retard !

Les quantités de GPL raffinés ne sont pas énormes et ne pourraient couvrir qu'une faible proportion du parc automobile. En France le réseau compte près de 1100 stations, *dont très peu dans les agglomérations*, et il existe un retard à l'équipement, mais surtout concernant les véhicules, comme le montre le tableau page suivante.

*Le poids du GPL dans le monde.*

|                 | Nombre de véhicules GPL<br>(en milliers) | Nombre de stations service<br>délivrant du GPL |
|-----------------|------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Allemagne       | 3                                        | 97                                             |
| Australie       | 490                                      | 3200                                           |
| Belgique        | 35                                       | 556                                            |
| Canada          | 135                                      | 3500                                           |
| Espagne         | 13                                       | 60                                             |
| Etats-Unis      | 271                                      | 3500                                           |
| France          | 120                                      | 1100                                           |
| Grande-Bretagne | 1.5                                      | 100                                            |
| Italie          | 1100                                     | 1702                                           |
| Japon           | 300                                      | 1722                                           |
| Mexique         | 175                                      | 1000                                           |
| Pays-Bas        | 362                                      | 2200                                           |
| Turquie         | 10                                       | 60                                             |

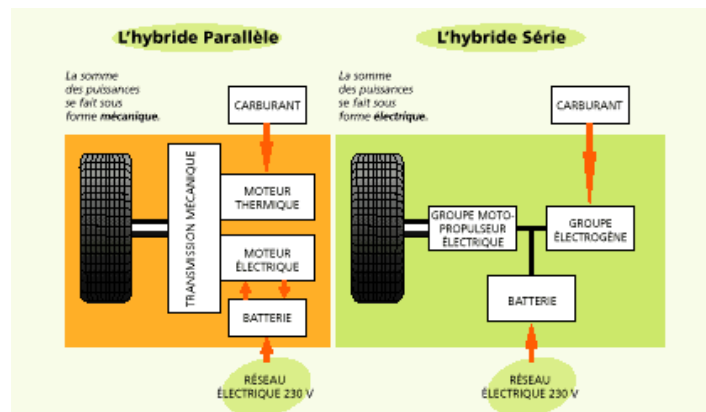
Source : Comité français du Butane et du Propane, chiffres 1997. \* Chiffres 1998

Bien que la France, se place honorablement dans les pays européens, il existe un réel retard au niveau du nombre de véhicules. Mais finalement, les avantages de dépollution du GPL sont assez limités vu la quantité de CO<sub>2</sub> rejetée. On peut néanmoins remarquer la performance d'équipement de l'Italie.

### 4.4.3) Les véhicules hybrides

Ils associent 2 technologies énergétiquement complémentaires : généralement l'électricité, pour ses émissions nulles en villes, et un moteur plus puissant thermique (essence, diesel ou GPL mais pas encore de GNV) pour les trajets extra-urbains. On peut considérer que c'est une évolution de la bicarburant.

Il existe 2 sortes de véhicule hybride : les hybrides séries et les hybrides parallèles.



Sur un hybride série, la propulsion est intégralement électrique. La puissance est transmise aux roues par un moteur électrique, lui-même alimenté par un générateur d'électricité embarqué et une batterie. Le générateur est constitué d'un moteur thermique et d'un alternateur.

Sur route, c'est le générateur qui fournit l'énergie au moteur électrique. La batterie peut fournir un supplément de puissance ponctuel si nécessaire. La charge de la batterie est assurée soit par récupération d'une partie de l'énergie produite par le groupe électrogène, via l'alternateur, soit par branchement sur le réseau électrique, comme pour les Peugeot 106 et Citroën Saxo électriques.

Un hybride parallèle possède une double propulsion électrique et thermique. La puissance est entièrement transmise aux roues par une transmission mécanique. Cette puissance est fournie soit par le moteur thermique, soit par le moteur électrique, soit encore par les deux moteurs simultanément.

*Les avantages d'un véhicules hybrides sont nombreux :*

- utilisation de n'importe quel carburant (hydrocarbures, gaz...) et moteur possible (alternatifs, turbine..)
- performances et autonomie similaires à celles d'un véhicule classique.
- pollution directe nulle en mode électrique.
- possibilité de récupérer l'énergie de freinage en rechargeant les batteries.
- consommation globale réduite

Mais ils sont plus lourds (20%) et plus coûteux (40% du fait de la double motorisation) que les véhicules classiques.

Un micro- véhicule hybride : le démarreur/alternateur Dynalto de Citroën.

Le système Dynalto, présenté en première mondiale au Salon de Genève en 1998 sur une Citroën Xsara, permet jusqu'à 20 % de gain de consommation en usage urbain et une réduction significative des émissions polluantes. Dynalto intègre le démarreur et l'alternateur dans un seul ensemble, situé dans le groupe moto-propulseur à la place du volant moteur. C'est un exemple d'hybride parallèle.

Le système Dynalto permet de démarrer instantanément, en un dixième de seconde, alors que certains moteurs ont des temps de démarrage jugés trop longs (jusqu'à 3 secondes).



Il dispose d'une fonction "Stop and Go" qui coupe l'alimentation du moteur en essence au-delà d'un arrêt supérieur à deux secondes au feu rouge, par exemple. Le redémarrage est instantané : il suffit que le conducteur enclenche sa vitesse et accélère normalement.

Exemple d'une fiche signalétique d'une voiture hybride à base du procédé Système Hybride Toyota, présenté en Annexe 12

#### Fiche signalétique :

- Prix de vente de base : 150 000 FF environ
- Consommation moyenne : 5,7 l/100 km
- 8 CV fiscaux
- Vitesse maxi : 160 km/h
- Moteur thermique: 1.5L VVTi- 16V- DOHC 1497cc (53kw –72cv)
- Moteur électrique: 33kw (45cv)
- Coffre de 390 litres
- Disponible à partir du 31/03/2001
- Possibilité de la commander et de la payer On-Line sur le site de Toyota.fr

#### 4.4.4) Les carburants « verts »

Ce sont les carburants issus de procédés naturels, aussi appelés les « biocarburants ». Le plus développé, le Diester, est fabriqué à partir de Colza ou d'autres plantes oléagineuses. Il ne faut pas confondre carburant vert et carburant « propre » : les carburants verts dégagent toujours des gaz de combustion, un carburant « propre » non.



Le Diester est aujourd'hui surtout produit à partir d'huile de colza et de tournesol.

Il est produit à base de colza et de tournesol et permet, mélangé au gazole une réduction significative des pollutions émises, on parle alors de Diesel Vert. Sa production et sa transformation ont un impact nul sur l'effet de serre. Mais on peut se demander si une intensification de sa culture ne va pas affecter les sols et les eaux.

Utilisé mélangé au gazole un rapport allant de 5% à 100% mais il permet de réduire les émissions polluantes de manière optimale à 30%, c'est la proportion utilisée par les véhicules de la CUS. Il est possible qu'un mélange à 5% voit le jour pour les particuliers mais pas plus pour des limites de production de Diester.

La culture pour le Diester constitue aussi une aubaine financière pour les paysans déjà en difficulté, ce carburant a donc 2 rôles : un rôle écologique et un rôle économico-social.

Le biométhane constitue un autre carburant vert, il est issu de la fermentation de déchets organiques qui donne un biogaz qui contient de 40 à 70% de méthane et de 30 à 40% de CO<sub>2</sub>. Seul le méthane est utilisable, un traitement est donc nécessaire. C'est sans doute le seul carburant 100% vert et vraiment inépuisable puisque liée à l'activité animale. Le reformage du méthane permettrait de créer facilement de l'hydrogène, un carburant propre, lui. Mais la récupération de ces gaz de fermentation n'est pas encore vraiment industrialisée et le méthane étant un gaz contribuant aussi largement (15%) à l'effet de serre cette récupération d'une énergie « gratuite » ne serait que bénéfique.

#### 4.4.5) Les véhicules à air comprimé de G. Nègre en phase de précommercialisation.

L'ingénieur motoriste français Guy Nègre, à l'origine de nombreux brevets notamment en Formule1, étudie un moteur à air comprimé depuis une dizaine d'années. Non seulement il a conçu le moteur mais aussi le véhicule urbain l'utilisant. Stockant 300 Litres d'air comprimé à 300 bars, ces véhicules ont une autonomie de 200 km et se rechargent soit en 4h sur le secteur (compresseur électrique intégré) ou soit quasiment instantanément sur un réseau haute pression. Les avantages sont évidents : pollution atmosphérique nulle et coût très réduit du plein (10 F pour 200 km d'après le constructeur).

Néanmoins la pollution existe toujours indirectement (électricité) et le coût des pleins deviendraient bien plus élevés si la compression des 300 L à 300 bars était instantanée ont retrouve les mêmes problèmes de coût de compression que pour le GNV. Mais ici l'énergie de freinage est récupérée, l'autonomie de ce véhicule est donc meilleurs à faible vitesse et arrêts fréquent qu'en trajet continu. C'est donc tout naturellement qu'elle se destine à un usage 100% urbain.



La voiture a Air comprimé de G.Nègre baptisé TOP : Taxi zéro Pollution

Ces voitures seront vendues environ 70 000 F HT, elles sont donc plutôt destinées aux communautés mais personne ne pourra empêcher le consommateur écologique (et économe) de se procurer ce véhicule.

Nous avons récupéré les brevets d'invention de ce moteur, il faut le dire assez révolutionnaire : l'injection de l'air comprimé se fait à volume constant (double bielle) et peut fonctionner en Bi- voir Tri carburation.

Malheureusement, ces véhicules ne semble pas vraiment intéresser les responsables français, il est vrai que Mr Guy Nègre est connu comme étant un homme aigri, il faut dire qu'il s'est vivement opposés aux grands constructeurs automobiles français qui ne doivent finalement plus trop l'apprécier. Est-ce une raison pour repousser un véhicule si révolutionnaire vis à vis de la pollution ? Quoiqu'il en soit, l'entreprise de l'inventeur-ingénieur à déjà de juteux contrats avec la ville de Mexico et de New-York.

*Les annexes 13 a) et b) sont relatives à ce moteur : article de journal et 1<sup>ère</sup> page du brevet d'invention déposé concernant l'alimentation du moteur.*

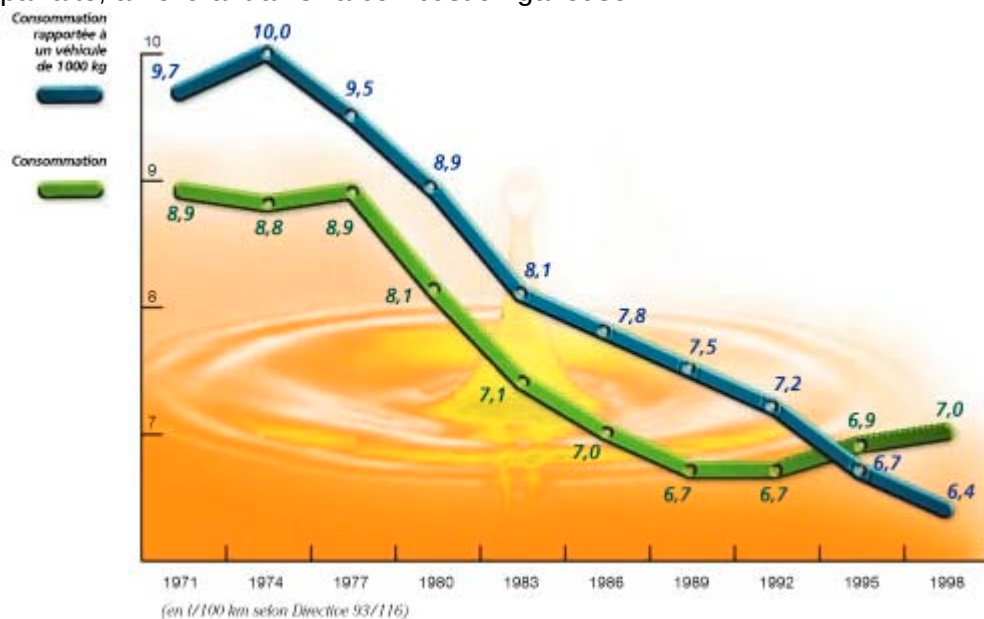
Nous venons donc de présenter les différentes alternatives existantes au moteur à pétrole, certaines s'imposent petit à petit, d'autres nécessitent encore des avancées significatives pour pouvoir vraiment s'imposer. Mais chaque année des progrès spectaculaires sont fait dans certains domaines énergétiques, voici les progrès les plus intéressants concernant les transports.



## V) Des améliorations constantes et de sérieuses alternatives en développement .

### 5.1) Les recherches sur les moteurs à explosion classiques : une consommation et une pollution de plus en plus réduite

Les progrès des constructeurs d'automobiles classique sont constants et visent d'abord à diminuer la consommation puis à diminuer les émissions. La diminution de la consommation se fait par une meilleure combustion du mélange gazeux selon une multitude de paramètres. Les progrès en électronique et l'arrivée de l'injection électronique et de l'avance variable cartographiée ont considérablement contribué à cette diminution. Les améliorations apportées sur les systèmes d'injection (Hdi, injection directe, injection directe essence...) permettent d'homogénéiser le mélange air-carburant de façon quasiment parfaite, améliorant ainsi la combustion gazeuse.



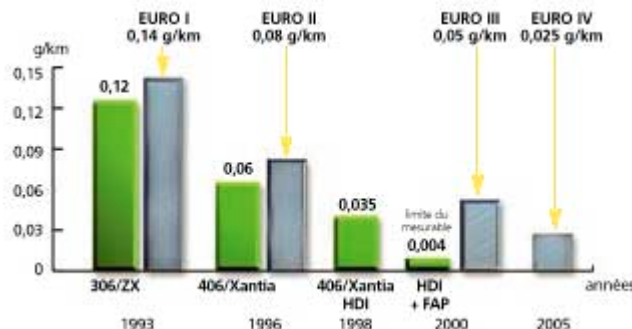
La masse des véhicules ayant aussi augmenté (moteur plus propre, climatisation..) la consommation a été reportée à un véhicule de 1000 kg

(Consommation en L/100km)

(source : [www.psa.fr](http://www.psa.fr))

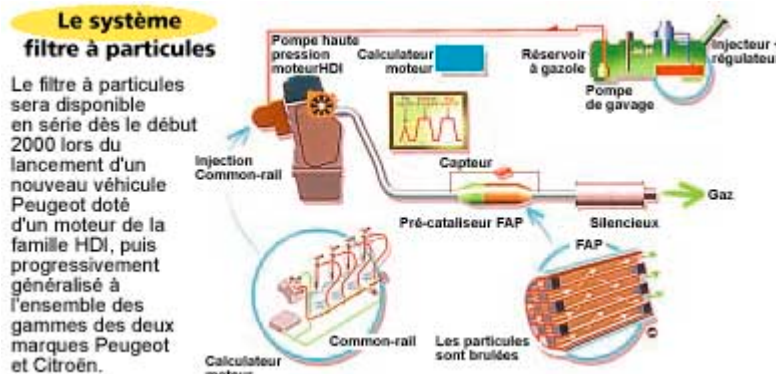
### Un exemple de dépollution moderne : le filtre à particules

Concernant la pollution examinons, par exemple, les filtres à particules développés pour les derniers moteurs diesels. Associé au moteur HDI (Injection Directe Haute pression), le filtre à particule fonctionne en liaison avec le calculateur d'injection et réduit les particules émises à la limite du mesurable, il permet alors enfin, l'utilisation de pots catalytiques sur les moteurs diesel (impossible auparavant pour des raisons d'encrassement). Un schéma, page suivante, illustre cette technologie.



Evolution des émissions de particules suivant les normes

(source : [www.psa.fr](http://www.psa.fr))



*Le filtre à particule est régénéré par brûlage des particules grâce à une post combustion commandée électroniquement.*

### 5.1.1) Les limites absolues du moteur à combustion interne utilisant du pétrole.

Malgré tous les efforts des constructeurs, et même si les moteurs d'aujourd'hui n'ont rien à voir au niveau de la pollution avec ceux d'il y a 20 ans, le moteur thermique qui brûle des hydrocarbures ne sera jamais « propre » et heureusement que les normes, de plus en plus exigeantes, forcent les constructeurs à dépolluer leurs moteurs.

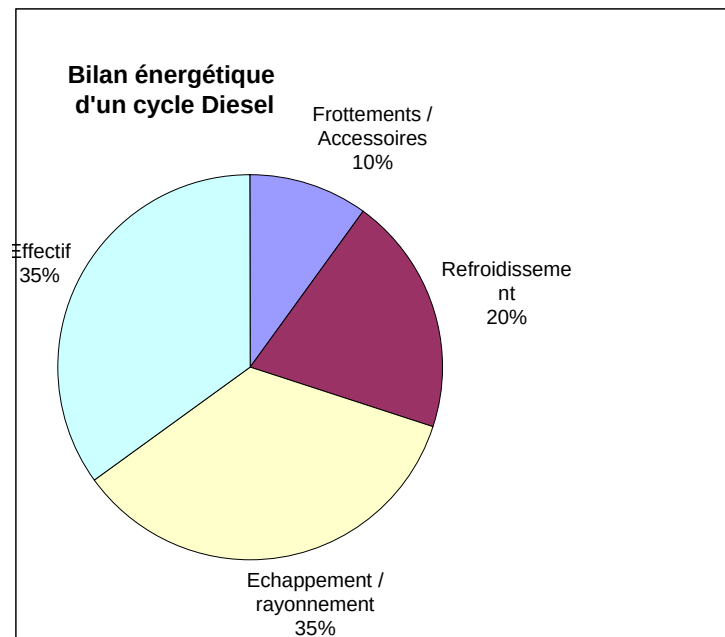
Les moteurs à essence et diesel sont basés sur des cycles thermodynamiques et leur rendement effectif est limité par le rendement de ces cycles. Les millions « d'heures ingénieurs » de recherches ne pourraient jamais améliorer ces rendements de cycles théoriques. Les efforts sont essentiellement portés sur l'amélioration des rendements de combustion (chimie) et mécanique (frottements, matériaux) ainsi que sur l'amélioration de la pénétration dans l'air (Cx, S.).

Ainsi l'injection directe essence a amélioré le rendement global 3 à 5% (35% environ) et la consommation 15 à 20%. Mais, d'une manière générale, plus on avance dans une technologie, plus les coûts de recherche deviennent importants par rapport aux gains effectifs, sauf exception (découverte exceptionnelle).

*Note : on peut remarquer aussi que le rendement thermodynamique d'un cycle Diesel étant plus élevé que celui d'un cycle Essence (B. de Rochas), le rendement global d'un cycle diesel est et sera toujours plus élevé qu'un cycle essence. Ceci explique les énormes efforts de dépollution sur les Diesels.*

Le diagramme suivant présente le bilan énergétique d'un cycle Diesel actuel. On peut néanmoins se demander pourquoi aucune étude n'a jamais été faite pour essayer récupérer à des fins utiles les 40% de pertes à l'échappement et les 25% de refroidissement, en faisant, par exemple, évaporer de l'eau activant une turbine à vapeur.

*Les pertes par échappement et refroidissement sont, potentiellement, récupérables.*



Il faut aussi préciser que les réserves de pétrole ne sont pas inépuisables et estimées à une bonne cinquantaine d'années. Mais l'ensemble des recherches sur les moteurs à pétrole ne seront pas gâchées vu que des carburants de substitution existent comme nous l'avons déjà expliqué. Mais le plus noble d'entre tous serait l'hydrogène.

Mercedes a déjà réalisé des moteurs à explosion utilisant de l'hydrogène pur, les seuls produits étant de la chaleur et de la vapeur d'eau. Néanmoins l'hydrogène est encore coûteux à produire et n'est pas encore accepté psychologiquement mais des solutions très intéressantes existent déjà, et une production de masse ferait évidemment chuter les coûts. En outre l'hydrogène pourrait être utilisé pour bien d'autres applications, telles que les piles à combustible.

## 5.2) Des recherches permanentes sur véhicules électriques

Le véhicule électrique est un vrai catalyseur de la recherche sur les batteries afin d'augmenter l'énergie massique et leur durée de vie.

*L'annexe 14 présente les différentes technologies résumées ici.*

Les différentes technologies de batteries « classiques », c'est à dire basées sur une réaction d'oxydoréduction où seuls les composés chimiques changent, sont présentées dans les tableaux suivants : Batteries au plomb, Nickel-Cadmium, Nickel-métal hydrure, et lithium-ion.

### Caractéristiques des batteries utilisées actuellement en propulsion électrique

|                                 | Ni-Cd                                                                             | Ni-MH                                                                             | Li-Ion                                                                             |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|                                 |  |  |  |
| <b>Poids (kg)</b>               | 280                                                                               | 260                                                                               | 225                                                                                |
| <b>Energie massique (Wh/kg)</b> | 55                                                                                | 70                                                                                | 150                                                                                |
| <b>Autonomie (km)</b>           | 100                                                                               | 130                                                                               | 200                                                                                |
| <b>Vitesse maximale (km/h)</b>  | 95                                                                                | 110                                                                               | 120                                                                                |
| <b>Production</b>               | actuelle                                                                          | 2000                                                                              | 2005                                                                               |
| <b>Maintenance</b>              | minimum                                                                           | -                                                                                 | -                                                                                  |

### Masse des batteries suivant l'autonomie, on voit que les batteries Plomb et nickel-cadium sont largement trop lourdes pour un véhicule urbain

|                  | Plomb                       | Ni-Cd                       | Ni-MH                       | Li-Ion                      |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                  | 35 Wh/kg                    | 50 Wh/kg                    | 70 Wh/kg                    | 150 Wh/kg                   |
|                  |                             |                             |                             |                             |
| <b>Autonomie</b> | <b>Masse de la batterie</b> | <b>Masse de la batterie</b> | <b>Masse de la batterie</b> | <b>Masse de la batterie</b> |
| <b>80 km</b>     | 350                         | 220                         | 146                         | 80                          |
| <b>100 km</b>    | 500                         | 300                         | 191                         | 100                         |
| <b>150 km</b>    | 1100                        | 545                         | 325                         | 162                         |
| <b>200 km</b>    | 2700                        | 940                         | 500                         | 232                         |

### Une formidable batterie : la batterie Zinc-Air.

Basé sur l'oxydation du électrode de zinc par l'oxygène de l'air la batterie Zinc air pourrait arriver à des énergies massiques de l'ordre de *180 kWh/kg*, soit plus de 1000x la capacité des meilleures batteries actuelles, il faudra néanmoins résoudre les problèmes de solubilité de l'électrode (créant des dendrites dans le zinc puis des courts circuits).

Les batteries sont donc en constante évolution mais leur coûts restent trop élevés, leurs performances énergétiques encore et leur durée de vie (20 recharges pour la batterie Zinc-Air) sont encore trop faibles. On peut alors se demander quel est l'impact sur l'environnement de la fabrication et du recyclage des batteries : les électrolytes employés sont de plus en plus performants mais ne le sont-ils pas au dépend de l'environnement ?

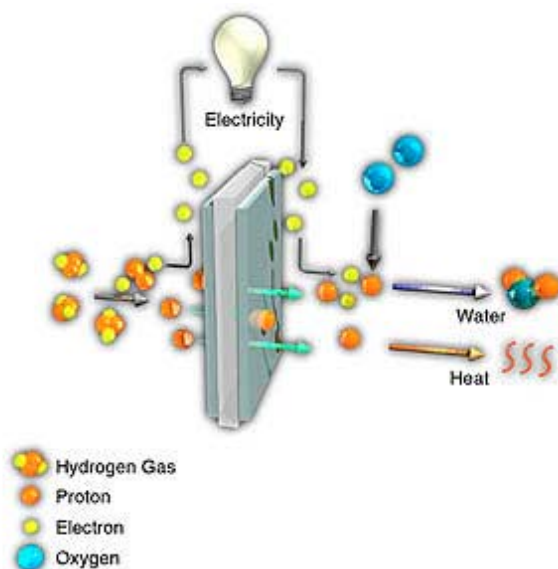
Il fallait alors trouver une solution pour produire l'électricité à l'intérieur de la voiture : c'est chose faite avec le formidable espoir que constituent les Piles à Combustible.

### 5.3) Les piles à combustible : une formidable technologie.

#### 5.3.1) Technologies, principe de fonctionnement et notions énergétiques

Une pile à combustible (PAC) est un générateur qui convertit directement l'énergie *interne d'un combustible* en énergie électrique, en utilisant un procédé électrochimique contrôlé (au lieu d'une réaction thermique de combustion, dont le travail mécanique est ensuite converti en électricité). Les rendements théoriques attendus sont très élevés, et les sous produits très peu polluants. Ce qui fait des PAC en font une alternative très probable au moteur thermique (essence, diesel), pour la plupart de ses applications.

Elle met en jeu, sans les mélanger un combustible (hydrogène, méthanol, monoxyde de carbone ...) et un comburant (généralement de l'oxygène pris dans l'air). Suivant la puissance nécessaire, elle est composée d'un plus ou moins grand nombre d'assemblage de cellules élémentaires, qui comportent une chambre cathodique (alimentée en comburant) et une chambre anodique (alimentée en combustible), séparées par deux électrodes (qui canalisent les électrons), et un électrolyte intermédiaire, solide ou liquide suivant le type de pile.



*Cellule élémentaire d'une PAC MEP*

Une pile à combustible sépare les électrons des atomes d'hydrogène qui se recombinent avec l'oxygène de l'air pour former de l'eau pure, qui est le seul produit (avec la chaleur) de cette réaction dans le cas d'utilisation d'hydrogène pur.

L'utilisation de l'hydrogène pur pose encore quelques problèmes (techniques mais aussi psychologiques), de nombreuses piles sont donc alimentées par des combustibles fossiles (gaz ou liquide) dont on extrait l'hydrogène dans un reformeur.

La réaction d'une cellule élémentaire (ou cœur de pile) est exactement l'inverse de la réaction d'électrolyse de l'eau. Les composants de base du cœur sont : les plaques bipolaires, les électrodes et l'électrolyte

*Le fonctionnement détaillé du cœur et les réactions aux électrodes d'une PAC sont en Annexe 15 a)*

Les rendements des différentes piles sur le PCI du carburant sont environ :

- de 40% électrique
- de 40% thermique (pertes) récupérable pour production de chaleur mais pas d'électricité (sauf pour les piles hautes température couplées à une turbine)
- soit un rendement global de 80 à 90% ( en cogénération)

Les PAC sont au début de leur développement, les 40% de pertes dégagées sous formes thermiques risquent d'être réduites dans l'avenir afin d'augmenter le rendement électrique.



Il existe plusieurs type de piles, suivant leur électrolyte et électrodes et elles sont classées en 2 catégories. Leurs caractéristiques de fonctionnement et leur électrolytiques influent directement sur les applications possibles.

### Les différents types de piles

|                           | Famille                        | Température   | Electrolyte                                                                | Combustible                                                                        | Puissance      | Marché                                                                                 |
|---------------------------|--------------------------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Piles basses températures | Alcaline (AFC)                 | 60 à 90 °C    | KOH (35 à 50 %)                                                            | Hydrogène (oxydant sans CO <sub>2</sub> )                                          | 1,5 à 15 kW    | Transports, espace                                                                     |
|                           | À électrolyte polymère (PEMFC) | 50 à 80 °C    | Membrane polymère échangeuse d'ions                                        | Hydrogène, gaz naturel, méthanol, essence                                          | 100 W à 250 kW | Transports, centrales électriques, unités portables, propulsion de sous-marins, espace |
|                           | À acide phosphorique (PAFC)    | 160 à 220 °C  | Acide phosphorique concentré liquide                                       | Hydrogène, gaz naturel, gaz de pétrole liquéfié, distillat léger                   | 50 à 250 kW    | Transports, cogénération, centrales électriques                                        |
| Piles hautes températures | À carbonates fondus (MCFC)     | 620 à 660 °C  | Sels de Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> et Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | Hydrogène, gaz naturel, gaz dérivé du charbon, gazole, kérosène, propane, méthanol | 250 kW à 2 MW  | Centrales électriques                                                                  |
|                           | À oxydes solides (SOFC)        | 800 à 1000 °C | Oxyde de zirconium stabilisé avec dioxyde d'yttrium                        | Hydrogène, gaz naturel, gaz dérivé du charbon, gazole, kérosène                    | 1 à 100 kW     | Centrales électriques                                                                  |

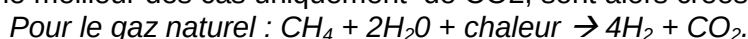
Source H Power

Plus de détails en Annexe 15 b)

Aujourd'hui, la PEMFC, dont les puissances correspondent aux besoins des transports, est la pile la plus utilisée pour les véhicules du fait de l'absence d'électrolytique liquide et une température de fonctionnement réduite (< 80°C).

L'hydrogène est fourni au cœur de pile directement stocké sous forme gazeuse à haute pression (200 à 700 bars) ou liquide dans un réservoir cryogénique (-253°C). Mes ces types de stockage sont soit délicats (maintient à basse température, la liquéfaction « coûtant » 30% du PCI hydrogène liquéfié) soit coûteux (coûts de compression élevés) et les constructeurs ont choisi de produire l'hydrogène à bord du véhicule par reformage d'hydrocarbure ou de gaz naturel.

Des rejets, dans le meilleur des cas uniquement de CO<sub>2</sub>, sont alors créés :



*Note : la chaleur est issue de la chaleur de réaction du cœur de pile qui s'auto-entretien. Pour les piles basses températures, l'amorce se fait par chauffage électrique qui est suffisant (batteries)*

De plus le stockage et distribution de l'hydrogène posent encore des problèmes psychologiques (à priori négatif des utilisateurs face au stockage d'hydrogène) et techniques (diffusion de l'hydrogène dans les métaux)

### Moyens actuels de production de l'hydrogène :

Le coût de 4frs/kg par reformage à comparer aux coûts de :

- 5 à 7 frs/kg par purification des produit pétrolier (huiles..)
- 25 frs/kg par électrolyse mais pouvant être largement réduit en utilisant les énergies renouvelables lors des heures de faible demande (hydro-électricité essentiellement, dont le potentiel énergétique quasiment constant )

*Note : Un craquage thermique de l'ammoniac (à environ 600 °C) suffit aussi à produire de l'hydrogène. Il semblerait que cela soit un des système les moins coûteux mais qu'en est-il du coût de production de l'ammoniac (coût économique et environnemental) et des rejets en Nox ?*

*Connaissant le PCI de l'hydrogène (190 000 kJ/kg) on peut comparer différents coûts énergétiques.*

Coût d'un kWh électrique, essence et d'hydrogène:

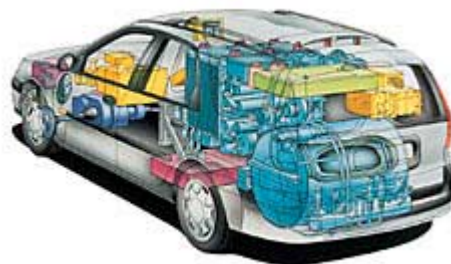
| Electrique                   | Essence                                           | Hydrogène                                                   |
|------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Environ 0.3 frs + abonnement | 1.33 frs suivant le cours du pétrole et les taxes | 0.47 frs par électrolyse<br>0.09 frs par reformage chimique |

*Note : Ces coûts ne seront significatifs que lorsque cette énergie comprise dans la matière sera transformée en énergie utilisable. Le coût énergétique de l'hydrogène est déjà bien plus bas que celui de l'essence, mais encore une fois, ceci est liée à des notions fiscales : l'hydrogène n'est l'objet, pour l'instant, d'aucune taxation. Sur le Fioul, on obtient un coût de 0.2 à 0.3 frs/kWh suivant le cours du brut.*

5.3.2) Exemples européens de véhicules à PAC.



Programme Hydro-gène développé par Peugeot. Ce véhicule utilise de l'hydrogène sous haute pression.



Projet Fever, réunissant plusieurs grandes entreprises européennes (Volvo, air liquide..).

Ces véhicules présentent une autonomie de l'ordre de 500 km pour une dizaine de kg d'hydrogène embarqués (correspondant énergétiquement à environ 30 L d'essence), mais le prix, le poids des PAC et leur encombrement sont encore trop élevés même sans l'utilisation d'un reformeur. Mais les recherches sont rapides et le prix des composants d'une PAC sont en constante baisse (divisés par 100 entre 1995 et 2000).

L'ensemble des constructeurs estime pouvoir mettre sur le marché une voiture à base de PAC utilisant du méthanol et produisant de l'hydrogène par reformage d'ici 2005-2010.

*L'annexe 15 d) présente différents projets d'alliance européen.*

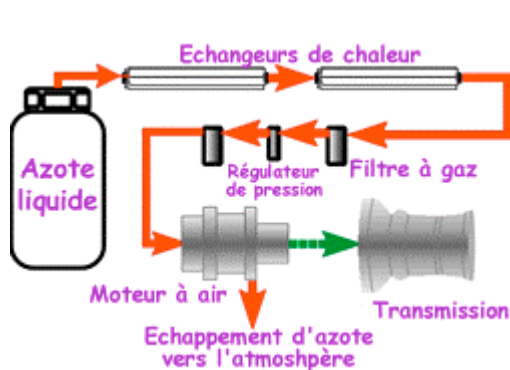
## 5.4) Quelques autres solutions intéressantes.

### 5.4.1) La voiture à azote.

Un physicien du Texas a conçu une voiture propulsée par de l'azote liquide, qui est converti en gaz par la chaleur de l'air ambiant. Carlos Ordonez, professeur de physique à l'université du Texas du Nord développe depuis huit ans ce projet. Dans la CoolCar, l'azote devenu gazeux actionne un moteur à air qui propulse l'automobile. Pour le moment, le prototype existant atteint une vitesse maximale de 70 km/h. Son réservoir de 180 litres ne lui permet de parcourir qu'une trentaine de kilomètres. Malgré ces résultats, les industriels de l'automobile semblent très intéressés par cette innovation.

Autre avantage, le cycle de production de carburant beaucoup moins polluant que d'autres : les usines fabriqueront l'azote liquide directement avec l'air ambiant et il ne faudra que quelques minutes pour faire le plein du véhicule à air au lieu de plusieurs heures pour recharger les batteries électriques.

Le concepteur s'est lancé dans la conception d'un engin pouvant atteindre 200 km/h et parcourir 400 km avec un seul plein qui pourra être commercialisé dès 2003 pour environ 90 000 F.



#### *Fonctionnement :*

L'azote est stocké dans un réservoir cryogénique composé de deux enveloppes séparées par du vide. En évitant ainsi tout échange de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur du réservoir, l'azote reste à l'état liquide, à  $-125^{\circ}\text{C}$ .

Pour actionner le moteur, le réservoir est équipé d'une pompe électrique qui met l'azote sous pression (entre 30 et 40 bars) et l'envoie vers l'échangeur. En passant dans l'échangeur, un tuyau sur lequel un ventilateur souffle de l'air ambiant, l'azote se réchauffe et devient gazeux.

Dès lors, la pression de l'azote à l'intérieur de l'échangeur est suffisante pour engendrer une force capable d'actionner le piston à l'intérieur du cylindre. Poussé de bas en haut par l'expansion du gaz, le piston - par le biais d'un vilebrequin - transmet un mouvement de rotation à l'arbre de transmission qui fait tourner les roues.

*Ce dispositif présente l'inconvénient de devoir stocker l'azote liquide à  $-125^{\circ}\text{C}$ , il faudrait aussi quantifier le coût de l'azote liquide. Si il est gratuit, car provenant de l'air, les coûts de traitement ne le sont pas.*

### 5.4.2) Le Split Cycle.

Ce moteur circulaire est une évolution du moteur rotatif Wankel. Dans le système du Split Cycle l'intermédiaire entre le piston et l'arbre n'est plus une bielle montée sur un vilebrequin mais une petite roue à six crans appelée "roue de Genève". Lorsque le piston est repoussé par l'expansion des gaz, il appuie sur l'un des crans de la roue qui elle-même fait tourner un disque central solidaire de l'arbre de sortie. Le résultat est une consommation qui pourrait être baissée jusqu'à 20% de moins qu'avec un moteur classique. Le volume et la masse d'un moteur classique augmentent avec le nombre de cylindres disposés en ligne

généralement. Sur le Split Cycle, les cylindres sont plus petits et montés radialement autour d'un disque central. C'est un peu une évolution des moteurs en étoile d'aviation. Le moteur occupe donc un volume quasi constant qu'il ait 2 ou 48 cylindres. Quant à la masse, elle ne dépasse pas 45 kilos pour le 6 litres soit le 1/7 de celle d'un moteur classique de cylindrée identique. Enfin, le grand nombre d'explosions permettrait de mieux répartir le travail exercé sur les pistons lors du cycle et donc d'obtenir un couple élevé en sortie, autrement dit une *conduite très souple*.

Les inconvénients sont les suivants :une cinématique très compliquée, une étanchéité et une fiabilité à améliorer et une intégration du moteur à repenser, et surtout des moyens de « production moteur » à changer radicalement.

#### 5.4.3)La voiture à volants d'inertie

Jack Bitterly, de la firme américaine Flywheel Systems, a imaginé une voiture électrique où le courant est stocké non pas dans des batteries, mais dans des "volants d'inertie". Le principe de ces derniers est connu depuis longtemps : *stocker l'énergie dans un disque qui tourne très rapidement autour de son axe*. Mais Jack Bitterly l'a amélioré : son système consiste en un ensemble de 16 disques en fibres de carbone connectés à un moteur-générateur électrique, qui sert à lancer les disques par le secteur. Une fois que l'on roule, le moteur utilise l'électricité qui a été stockée dans les disques. Celle-ci vient également de la récupération de l'énergie perdue chaque fois que l'on freine, captée grâce à une dynamo reliée au moteur. L'autonomie est de 300 à 425 km.

Nous avons récupéré un brevet d'invention concernant ce processus qui semble très complexe. *Référence située en Annexe 15 bis*

#### 5.4.4)La récupération de l'énergie de freinage par un système Rexroth. (Voir Annexe 15 bis.)

Ce système permet de récupérer l'énergie de freinage via un circuit hydraulique compressant un fluide incompressible dans un accumulateur. Au démarrage le compresseur hydraulique devient un moteur hydraulique récupérant l'énergie de compression. Ce système permet de récupérer, au pertes de charge près, l'intégralité de l'énergie de freinage, diminuant d'autant la nécessité d'utiliser un moteur thermique puissant. Le moteur thermique est alors là pour seulement compenser les pertes de charge dans le circuit et les pertes aérodynamiques. Ce système a été adapté à de vieux bus polonais qui ne développaient plus assez de puissance, et les résultats sont impressionnants. Pourquoi aucun pays occidental n'a pas développé un système similaire pour diminuer la pollution urbaine ?

Néanmoins, un tel équipement coûte cher : le moteur/compresseur vaut à lui seul 80 000 FF et la transformation complète près de 200 000 FF. En combien de temps cela peut-il être amorti ?

#### 5.5)L'hydrogène, pétrole du 21<sup>ème</sup> siècle ?

Le pétrole a été l'énergie du 20<sup>ème</sup> siècle, l'hydrogène sera-t-elle celle du 21<sup>ème</sup> siècle ? Nous savons que les réserves de pétrole s'épuisent, il aura fallu 400 Millions d'années pour former les réserves terrestres de pétrole et 250 ans à l'humanité pour les épuiser.

Nous avons vu que l'utilisation de l'hydrogène pur dans les PAC ou comme carburant directement brûlé dans un moteur à explosion ne produisait que 2 produits : de l'eau et de la chaleur. D'un pouvoir calorifique 4 fois supérieur aux hydrocarbures, l'hydrogène semble



être le carburant propre par excellence car non polluant et inépuisable (90% des atomes de l'univers et 75% de la masse).

Mais il pose encore des problèmes de production et de stockage : l'électrolyse, premier moyen de production de l'hydrogène, de l'eau est très consommatrice de courant et présente un rendement de 30% .De plus, l'hydrogène étant plus beaucoup plus léger que l'air, il est très encombrant et nécessite des moyens de stockage encombrants, lourds et complexes (stocké à basse température ou sous forte pression).

L'utilisation des sources d'énergie renouvelables (solaires, éoliennes ou hydroélectriques) semble être la meilleure solution à long terme pour la production de l'hydrogène, lorsque le reformage des produits pétroliers ne sera plus possible. Mais dans ce cas, le stockage et la distribution de l'énergie sous forme d'hydrogène devront être entièrement repensés : en effet l'hydrogène se diffusant dans les métaux, il ne sera, par exemple, pas possible d'utiliser les conduites actuelles de gaz.

Trouver un moyen de production rapide et efficace de l'hydrogène directement sur son lieu d'utilisation semble donc être un défi à relever pour les ingénieurs et chercheurs des prochaines décennies. Ils devront sans doute s'inspirer des remarquables travaux du regretté Stanley Meyer et de sa Water Fuel Cell.

Nous avons vu les différentes recherches en énergétique effectuées actuellement sur les nouveaux moyens de propulsion. Voyons plus en détail le cahier des charges d'un véhicule 100% urbain, ainsi que 2 procédés énergétiques révolutionnaires pouvant améliorer voir résoudre les problèmes de pollution urbaine mais aussi globale.

## VI) Solutions pour un véhicule de ville.

Ce dernier chapitre propose des solutions techniques pour la ville, en n'oubliant pas que la gestion des véhicules et le comportement des utilisateurs gardent une importance fondamentale pour la mobilité urbaine.

### 6.1) Cahier des charges d'un véhicule urbain personnel

Voici le cahier des charges établi lors de l'Analyse Fonctionnelle.

*Le reste de l'Analyse Fonctionnelle est disponible en Annexe 16.*

#### Fonctions principales

**FP1 : Déplacer l'utilisateur rapidement d'un point à l'autre de la ville de manière indépendante.**

| Critère d'appréciation       | Niveau  | Flexibilité | Limite d'acceptabilité | Observations                                                                                      |
|------------------------------|---------|-------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Chargement du véhicule en kg | 250-300 | F2          | 350                    | >50% de la masse totale du véhicule. 3 personnes.                                                 |
| Autonomie en km              | 200-300 | F2          | 150                    | Pour charge moyenne, parcours exclusivement urbain, assez élevé à cause de l'aspect psychologique |
| Vitesse maxi. En km/h        | 60      | F1          | 70                     | Vitesse de dépassement en ville                                                                   |
|                              |         |             |                        |                                                                                                   |



## FP2 : Réduire au maximum les rejets atmosphériques conformément aux normes.

| Critère d'appréciation   | Niveau                             | Flexibilité | Limite d'acceptabilité    | Observations                   |
|--------------------------|------------------------------------|-------------|---------------------------|--------------------------------|
| Rejets en gr/km parcouru | Quantités de CO, CO2 NOX, imbrûlés | F0          | 20% des normes en vigueur | Vers un véhicule zero-émission |

## FP3 : Garantir un niveau de sécurité élevé aux utilisateurs

| Critère d'appréciation                                                                 | Niveau                        | Flexibilité | Limite d'acceptabilité | Observations                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sécurité active : utilisateur sécurisé pendant le fonctionnement normal                | Utilisation normale sécurisée | F0          | -                      | Normes de freinage, ABS, instrument et équipement de sécurité classique (phares, voyants...). Système de récupération de l'énergie de freinage. |
| Sécurité passive : garantir le moins de blessures possibles aux usagers en cas de choc | Choc frontal à 70km/h         | F0          | -                      | Ceintures de sécurité, déformation des matériaux.                                                                                               |

### Les fonctions contraintes

#### FC1 : Etre conforme à la législation des transports en vigueur

| Critère d'appréciation                 | Niveau                  | Flexibilité | Limite d'acceptabilité | Observations                                                                          |
|----------------------------------------|-------------------------|-------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Homologation par le service des mines. | Suivant véhicule        | F0          | -                      | Homologation du véhicule obligatoire pour pouvoir circuler sur le territoire français |
| Permis obligatoire                     | A ou B de plus de 2 ans | F0          | -                      | Suivant la conception du véhicule. Il sera classé moto légère ou voiture              |

#### FC2 : S'adapter à l'environnement urbain

| Critère d'appréciation | Niveau                     | Flexibilité | Limite d'acceptabilité | Observations                                                                    |
|------------------------|----------------------------|-------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Visuel                 | Gamme de couleur à définir | F2          | -                      | Couleurs ne choquant pas les piétons, tout en étant visible de loin (sécurité)  |
| Sonore                 | <60 dB                     | F1          | + ou - 3dB             | Réduire la pollution sonore mais qu'il soit encore audible (sécurité)           |
| Dimensions             | A définir                  | F2          | -                      | Dimensions réduites pour améliorer la circulation et faciliter le stationnement |

|  |  |  |  |                                               |
|--|--|--|--|-----------------------------------------------|
|  |  |  |  | (attention aux problèmes du code de la route) |
|--|--|--|--|-----------------------------------------------|

### FC3 : Transformer l'énergie disponible en énergie de déplacement du véhicule

| Critère d'appréciation | Niveau    | Flexibilité | Limite d'acceptabilité | Observations                                                                                         |
|------------------------|-----------|-------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Puissance en kW        | 15        | F1          | 10%                    | Déterminé par calcul, expérimentations nécessaires.                                                  |
| Energie embarquée en J | 120 MJ    | F1          | 10%                    | Déterminé par calcul, expérimentations nécessaires. Récupération de l'énergie de freinage.           |
| Energie utilisée       | A définir | F3          | -                      | Hydrogène, gaz naturel (GNV) ou volant à inertie sont les énergies retenues par ordre de préférence. |

### FC4 : Etre ergonomique, être utilisable par le conducteur moyen.

| Critère d'appréciation    | Niveau                         | Flexibilité | Limite d'acceptabilité | Observations                                                                                |
|---------------------------|--------------------------------|-------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Emplacement du conducteur | Adapté aux tailles moyennes    | F1          | -                      | Toutes les commandes doivent être accessibles                                               |
| Coffre, Espace utile      | Adapté aux besoins journaliers | F1          | -                      | Quelques centaines de litres, permettant de stocker les affaires quotidiennes des passagers |
| Design                    | Adapté à la mode actuelle      | F3          | -                      | Très subjectif, étude de design nécessaire.                                                 |

### FC5 : Etre conforme aux normes en vigueur

| Critère d'appréciation                                    | Niveau     | Flexibilité | Limite d'acceptabilité | Observations                                                   |
|-----------------------------------------------------------|------------|-------------|------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Normes en vigueur<br>Construction, utilisation, recyclage | NF,NFX,NFE | F0          | -                      | Etre conforme à toutes les normes sur les véhicules en vigueur |

### FC6 : Réduire les émissions au maximum (vers un zéro-pollution ) plus que le demandent les normes

| Critère d'appréciation | Niveau            | Flexibilité | Limite d'acceptabilité | Observations                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------|-------------------|-------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rejets polluants       | Réduit au maximum | F1          | -                      | Prendre en compte les rejets directs (utilisation) et indirects (construction et recyclage), une voiture électrique pollue différemment qu'une voiture thermique compte tenu de la fabrication, de la recharge et du recyclage des batteries. |

### FC7 : S'adapter aux voies de circulation urbaines

| Critère d'appréciation | Niveau | Flexibilité | Limite d'acceptabilité | Observations |
|------------------------|--------|-------------|------------------------|--------------|
|------------------------|--------|-------------|------------------------|--------------|

|                                    |   |    |   |                                                                                                          |
|------------------------------------|---|----|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vitesse, taille, rayon de braquage | - | F1 | - | Pouvoir circuler correctement sur les voies de circulation urbaines internes et externes (périphérique). |
|------------------------------------|---|----|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|

L'hydrogène, comme nous l'avons déjà précisé, se révèle être la source énergétique la plus propre connue actuellement, mais pour des problèmes de stockage entre autres, il nécessite d'être créée directement à l'utilisation, après quelques recherches sur la production d'hydrogène, nous sommes tombé sur un appareil exceptionnel : la Water Fuel Cell de Stanley Meyer.

## 6.2)La Water Fuel Cell de Stanley Meyer.

L'essentiel des informations de ce chapitre proviennent du site :

<http://www.multimania.com/quanthomme/WFCMeyer.htm#Inventeur>

Pour de plus amples informations nous vous invitons vivement à le visiter.

### 6.2.1)Une découverte sensationnelle

Ingénieur en électricité possédant d'une grande expérience, Stanley travaillait sur la fusion de l'hydrogène à température ambiante. Talentueux homme d'affaire, ses entreprises lui ont permis de financer lui même son travail scientifique, reconnu et récompensé par des organismes nationaux et internationaux, et a été élu inventeur de l'année dans le Who'Who américain de 1993.

Ses travaux sur l'invention qu'il baptisa la Water Fuel Cell (WFC) soit pile à combustible à Eau sont remarquables à plus d'un titre. Son dispositif permet de dissocier les molécules d'eau en hydrogène avec une efficacité jamais atteinte auparavant. Alors que l'électrolyse classique affiche un rendement de 30% et nécessite un fort courant et de l'eau distillée, la WFC se contente d'eau du robinet, d'un faible courant et d'une haute tension continue pulsée (à environ 50 MHz) pour une efficacité annoncée de 300%. L'énergie équivalente sur le PCI de l'hydrogène dégagé serait 3 fois supérieure à la puissance électrique absorbée. De nombreux scientifiques doutent, avec raison, du sérieux et de la fiabilité du procédé.

Mais il ne s'agit pas d'une électrolyse classique : pas d'électrolyte, pas d'usure, à priori des électrodes, et ni d'énergie dissipée en chaleur. L'énergie « créée » par le système proviendrait d'une résonance à l'intérieur de la molécule d'eau cassant très facilement les liaisons covalentes entre les atomes. C'est l'oscillation de la molécule qui jouerait le rôle de « créateur » d'énergie. Selon Meyer, on a accès à un ZPE : Zero Point Energy. Point d'excitation de l'atome qui libère une énergie « interne ». Nous ne sommes pas en mesure d'expliquer précisément ce phénomène pour l'instant et des recherches approfondies seraient essentielles.

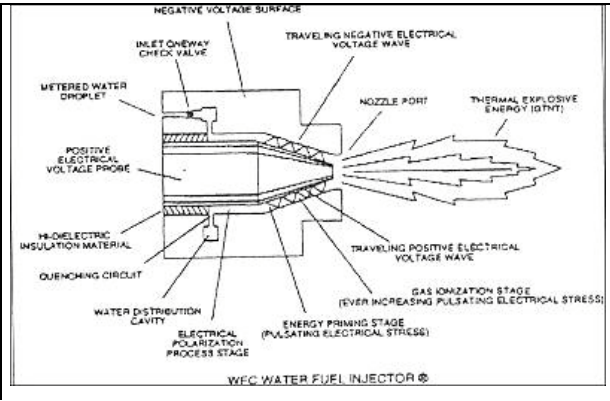
Après avoir découvert ce principe, S. Meyer, l'a poussé beaucoup plus loin en créant un kit WFC pour l'automobile :

**« Pour l'automobile, un kit W.F.C. se compose d'injecteurs contrôlés par microprocesseurs et que l'on peut installer en moins d'une heure en les vissant dans les trous des bougies. Dans le cas des diesels, des avions et des gros générateurs de courant actuels, des adaptateurs similaires remplaceraient les injecteurs de carburant comme pour les brûleurs industriels. Des outils de soudure fonctionnant avec l'eau sont déjà vendus par plusieurs autres compagnies (Gaz de Brown probablement).**

**Pour un coût estimé à \$1500, le procédé de Meyer n'est pas cher comparé à celui (\$25.000) nécessité par l'adaptation des véhicules à PAC- hydrogène. Cette dernière, basée sur une membrane à échange de protons n'est donc pas une technologie convenable pour les pays en voie de développement. De plus, il n'existe pas encore d'industrie qui fabriquent ces PAC à grande échelle. »**



**La voiture à « Eau » : dissociant la molécule d'eau, brûlant l'hydrogène et émettant un nuage de vapeur...d'eau**



**L'injecteur à eau : la dissociation de la molécule d'eau est faite juste avant l'injection.**

Nous vous incitons, encore une fois, à visiter le site donné plus haut pour plus de détails concernant le fonctionnement.

### 6.2.2) L'énergie gratuite pour tous.

Les enjeux d'une telle découverte sont immenses, il permettrait l'accès à l'énergie gratuite pour toute l'humanité. Il suffirait de disposer d'une certaine quantité d'eau pour amorcer le moteur qui tournerait indéfiniment si l'on condense l'eau issue de la combustion de l'hydrogène. Cela voudrait dire que S. Meyer est le père de l'énergie perpétuelle. Ce qui laisse sceptiques une immense majorité de scientifiques et chercheurs. Selon certains calculs concernant les ZPE, l'énergie contenue dans un litre d'eau, soit un kilogramme, serait de 193 kWh à comparer à la dizaine de kWh contenue dans un kilogramme d'hydrocarbures. (Sources de calcul : 2.5 Millions de BTU par Gallon d'eau (3.78 l))

L'eau représente une source potentielle d'énergie extraordinaire quasiment incroyable ! Mais qui aurait cru, au siècle dernier dégager autant d'énergie avec le peu de masse de combustible nucléaire ?

De nombreux scientifiques ont recréé avec succès les expériences de Meyer :

**-Dr. T. Nagypal, Professeur à l'Université de Vienne, et Ingénieur consultant dans l'Industrie : " mais votre théorie fonctionne...l'efficacité est de 300 % "...**

**-Roy Azevedo, Peter Graneau et Charles Millet de l'Université Northeastern, ainsi que Neal Graneau du Collège Royal de Londres ont intitulé leur rapport: "De puissantes explosions de plasma -eau". Ils y confirment des résultats semblables en utilisant un voltage pulsant de 30 à 40 kilovolts.**

Pour ne citer que les chercheurs les plus proches de nous.

### 6.2.3) Des recherches fortement compromettantes et compromises.

L'accès à une forme aussi « facile et gratuite » d'énergie gratuite ne peut, malheureusement, pas être acceptée par les possesseurs d'une énergie payante. Nous avons réfléchi quant à la valeur de l'argent, il peut être converti en 3 choses fondamentales sur terre : la matière, l'information, et l'énergie. Les 2 premières ne pouvant exister sans une forme d'énergie, quelle qu'elle soit, l'argent se convertit donc en énergie. C'est donc l'énergie qui fait bouger notre planète. Et l'énergie maîtresse de notre époque est bien évidemment le pétrole, c'est donc, naturellement que S. Meyer s'exposait directement à un empire

considérable. Les Emirats Arabes Unis, conscients de la « gravité » de sa découverte, lui ont offert 1000 Millions de dollars pour qu'il arrête ses recherches et leur vende ses brevets. Ayant refusé à plusieurs reprises, au nom de la science, S. Meyer mourait en mars 1998 d'une mort suspecte après avoir mangé dans un restaurant...l'enquête ne fût jamais classée.

Les recherches de S. Meyer, n'ont, depuis, pas évoluées, et les brevets d'invention, n'étant pas des plus clairs, de nombreux essais (et un peu de chance ) sont nécessaires avant d'arriver à reproduire une WFC. Il n'empêche que cela devrait être passionnant.

Concernant la WFC, nous avons contacté Jean Pierre Lentin, journaliste scientifique indépendant spécialiste des systèmes à eau et nous reçu la réponse suivante :

**« Très franchement, et bien que j'aie fait autrefois l'éloge de Stanley Meyer, cette piste me semble une impasse. Meyer est mort il y a 2 ans, sa paranoïa et son obsession du secret laissent de sérieux doutes quant à l'efficacité réelle de son système. Son frère devait soi-disant poursuivre les recherches mais on n'a aucune nouvelle depuis. »**

J.P. Lentin, journaliste scientifique (auteur de "Ces ondes qui tuent, ces ondes qui soignent" Ed. Albin Michel), Mail du 9/01/01  
envoyé à C.Martz en réponse d'une recherche de Projet de Fin  
d'Etude sur la WFC

C'est une réponse assez pessimiste mais pourquoi alors l'US Air Force et la Nasa ont été les 2 seules organisations à prendre réellement S. Meyer au sérieux ?

Quoiqu'il en soit cette invention mérite que l'on s'y attarde, quitte à tomber sur une réalité bien différente de celle qu'affirmait son inventeur. Mais si cela fonctionne et que cette invention est répandue, un nouvel ordre économique mondial verrait le jour. Il est important que la transition d'une économie "tout pétrole" vers une économie "tout hydrogène" se fasse de la manière la plus douce possible....le procédé de P.Pantone semble présenter une excellente solution de transition.

### 6.3)Le procédé multicarburants de P.Pantone : une solution plus à notre portée

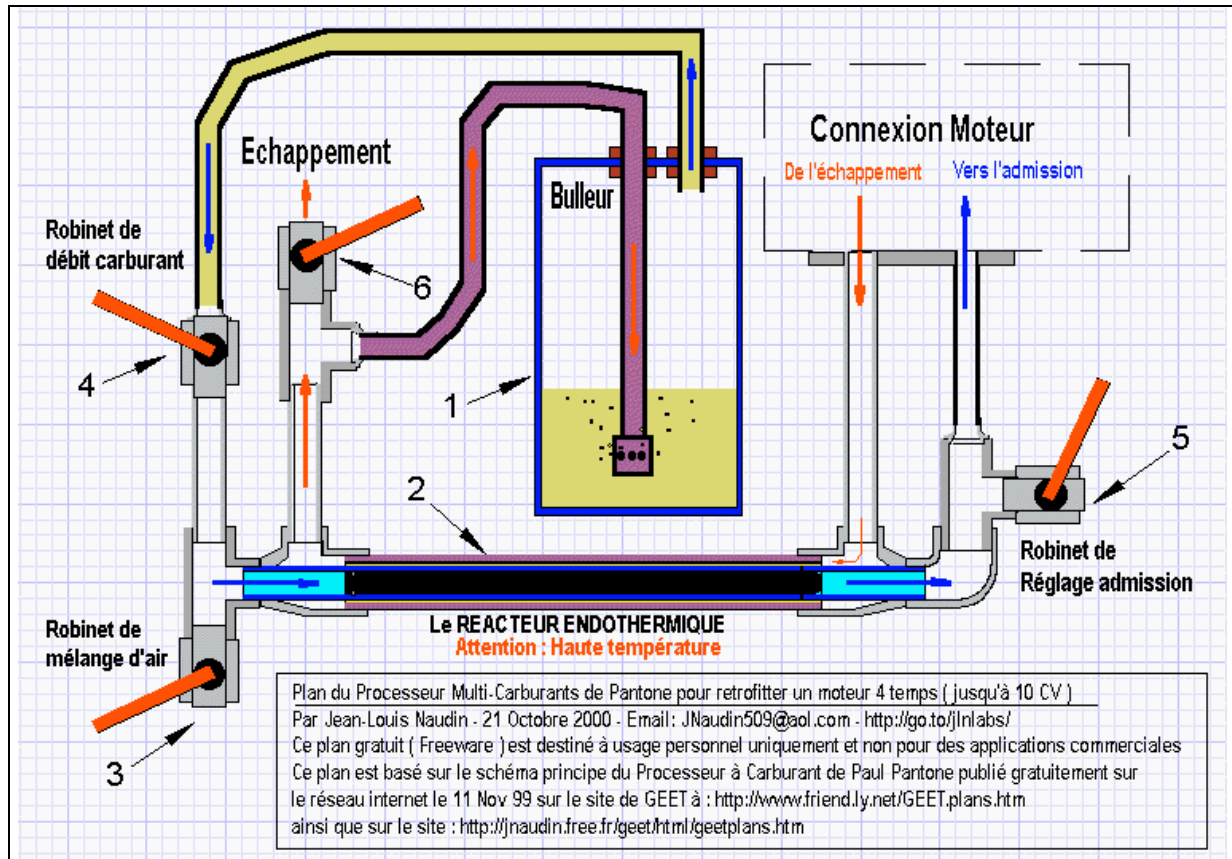
Le monde n'est pas encore près pour la accepter la WFC, nous nous sommes penchés sur d'autres systèmes intéressants vis à vis de la dépollution et avons découvert le Procédé multicarburants de P.Pantone, dont les plans sont disponibles librement sur le net pour des petits moteurs à usage privés.

Selon les premières informations dont nous disposons (donc à prendre au conditionnel, seule une étude pourrait confirmer ou infirmer ces informations) :

*C'est un procédé permettant de faire fonctionner un moteur thermique (4 temps ou 2 Temps.) dont le carburant contient 75% d'eau et 25% d'hydrocarbures (essence, fuel, alcool). Ce système, remplaçant le carburateur permet une importante réduction de la pollution des gaz d'échappement à hauteur d'environ 85% (sur quel polluant ?). Le principe réside dans un réacteur à « plasma à réaction endothermique ».*



6.3.1) Principe de fonctionnement (pour le schéma agrandi se reporter à l'Annexe 17)



Les gaz d'échappements réchauffent les gaz d'admission dans le réacteur endothermique et agitent le mélange eau/HC grâce à un « bulleur » plongé dans le réservoir, ou le conduit d'aspiration aspire le mélange sous forme gazeuse à la sortie du réservoir. Il semblerait qu'il y ait un reformage de l'hydrocarbure et/ou extraction des atomes d'hydrogène de l'eau au niveau du réacteur.

Pas moins de 4 vannes commandent la puissance mais la simplicité de conception du système est flagrante et des premiers essais selon des sources Internet faisaient état à chaud (c'est à dire lorsque le mélange est optimum 75% H<sub>2</sub>O-25% HC ) d'un rendement sur le PCI Essence de l'ordre de 70%...

Comme nous l'avons vu lors de l'étude des limites des moteurs à pétrole, le rendement d'un moteur alternatif est limité par le rendement thermodynamique de son cycle qui est toujours inférieur à 70%, cela prouve bien que de l'hydrogène est extrait de l'eau.

La simplicité de ce principe et son adaptabilité à coûts très réduits, mérite une étude plus approfondie. Un tel système permettrait, en effet, de réduire à coût assez faible la pollution urbaine. Néanmoins, il faudrait mener une étude approfondie pour répondre à diverses questions.

### 6.3.2) Des recherches plus approfondies à effectuer.

Une étude approfondie permettrait de répondre aux questions suivantes :

- Quelles sont exactement les différents échanges ?
- A quoi sert la barre aimantée dans le catalyseur. ?
- Quel est le rendement effectif réel ? Et la consommation spécifique d'HC ?
- Quelles sont les influences exactes des différentes manettes sur la puissance. ?
- Par quels moyens pourrait on optimiser ce dispositif qui semble bien sommaire ?
- Comment influe le % d'eau sur la puissance ?
- Quels sont les rejets exacts ?
- Comment adapter ce système sur des plus gros moteurs, des multicylindres ?
- ....

C'est à cet ensemble de questions que devra répondre une étude plus approfondie. Cette étude sera, sans doute, scindée en 2 parties :

- une pré-étude théorique touchant à des domaines variés tels que la chimie, la thermodynamique, le magnétisme, voir la physique moléculaire.
- une étude pratique visant à vérifier puis à optimiser le processus (asservissement des vannes par exemple)

Cette étude pourrait constituer le sujet d'un PFE très intéressant avec des débouchées industrielles considérables.

## CONCLUSION

Les récents progrès des transports notamment en matière de dépollution ont permis de diminuer grandement la pollution urbaine, néanmoins l'augmentation constante du parc automobile liée à l'augmentation de la masse des véhicules nuance cette diminution.

La forte dépendance des Français vis à vis de leur voiture, véritable art de vivre, est à l'origine de la congestion des centres urbains. Leur décongestion ne se fera pas sans changer les comportements d'utilisation des véhicules. Car si les progrès sont très prometteurs, ils ne sont pas miraculeux et c'est à chacun de prendre conscience des coûts, écologiques et économiques, qu'il engendre en utilisant sa voiture de manière *systématique et irréfléchie*.

La CUS doit montrer au grand public les méfaits de l'automobile en ville et sur l'environnement. Le protocole de Kyoto a estimé, selon le « principe de précaution », le coût de la tonne de CO<sub>2</sub> rejeté dans l'atmosphère à 20 \$. A raison de 300 tonnes quotidiennes rejetées sur Strasbourg, nous obtenons un coût de la pollution, seulement sur le CO<sub>2</sub>, de près de 15 Millions de francs par an.

Si cette mesure, préventive, ne suffisait pas, il faudrait rentrer dans une gestion incitative permanente, non pas en interdisant totalement les pollueurs mais en favorisant les non-pollueurs. Ce favoritisme pourrait être fiscal pour ceux, par exemple, qui utilisent des véhicules « adaptés à la ville ».

La notion de « Pollueurs payeurs » devra peu à peu évoluer vers celle de « Non-pollueurs payés », selon nous, bien plus efficace. Si l'on ne peut pas faire comprendre aux gens directement, payons les pour qu'ils comprennent avant de poser, d'une façon répressive, des interdictions.

Ce ne sont sûrement pas les opérations ponctuelles d'interdiction d'utilisation de l'automobile qui vont changer les mentalités...mais avouons que c'est un début.

Quoiqu'il en soit les constructeurs, bien que sur la bonne voie, ont encore des efforts à faire pour enfin développer une petite voiture de ville et surtout la commercialiser à un prix qui corresponde aux besoins qu'elle satisfera, quitte à inclure la location d'une berline pendant les vacances.

La mobilité urbaine n'est donc pas un phénomène simple mais les autorités, techniques et politiques, ont d'ores et déjà tiré la sonnette d'alarme.

## Bibliographie, Sites Internet

*Tous les sites visités pour cette étude ne sont pas référencés ici, seuls ceux ayant participé directement à l'élaboration de ce rapport le sont.*

Bibliographie.

### **Les transports en France,**

C. Géraudeau (édition épuisée)

### **L'énergie pour le monde de demain : Le temps de l'action.**

Déclaration 2000 du CME. Editions du CME.

### **L'hydrogène Liquide. Propriétés, Production et Applications.**

Institut National du Froid. 1965

### Généralités

<http://www.environnement.gouv.fr/actua/cominfos/dosdir/DIRPPR/air/>

<http://www.automobileclub.org/budget/annexes/index10.html>

### Véhicules électriques

<http://www.biosfera.fr/biosfera.dir/elec.dir/liselec.dir/lise1.htm>

<http://fr.biz.yahoo.com/000925/45/nm1v.html>

<http://archives.infinet.net/textecomplet/2000/10/20001026-095757.html>

### GNV/GPL

<http://www.citeweb.net/carbu/>

<http://www.lausanne.ch/lsinfo/preavis/1998/MUNI024P.htm>

<http://www.transbus.org/gx317.htm>

### Véhicules Hybrides

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

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

[http://www.toyota.be/toyota\\_befr\\_new/z/z01\\_26\\_01\\_01.html](http://www.toyota.be/toyota_befr_new/z/z01_26_01_01.html)

### Moteur à Air comprimé

<http://www.zeropollution.com/zeropollution/francais.html>

### Technologie Peugeot (Hdi, Filtre à particule)

<http://www.psa.fr/indexBBF.html>

### Technologie sur les Batteries actuelles

<http://www.predit.prd.fr/02-PREDIT/01/publication/Docs/pro3152.htm>

### Piles à combustible

<http://shiva.istia.univ-angers.fr/~magueur/schema-pile.htm>

Devoir effectué pour Mr. Hermal dans le cadre d'une étude énergétique de cogénération.

<http://www.psa.fr/indexBBF.html>

### D'autres solutions intéressantes

<http://www.home.ch/~spaw9727/eco-voitures.html>

### La WFC

<http://www.multimania.com/quanthomme/WFCMeyer.htm#Inventeur>

Le procédé de P.Pantone

<http://jmrob.free.fr/system-d.html>

## **Annexes :**

### **Une mobilité urbaine difficile**

Annexe 1 : Sondage SOFRES, les Français et la voiture

Annexe 2 : Les recettes de l'Etat français sur les transports en 1999

Annexe 3 : Estimation de la puissance d'un véhicule urbain (documents Excel)

### **Les méfaits des transports urbains**

Annexe 4 : -a) La pollution de l'air en France

-b) Ville et voiture : y'a de l'eau dans le gaz

Annexe 5 : La circulation strasbourgeoise (Documents du SIRAC et de la DDE) + les exploitations sous Excel

Annexe 6 : -2 courbes types d'impact de la pollution sur la santé,

-un livret « Surveillance épidémiologique Aie & Santé », rapport de mars 1999

-la conclusion intéressante d'un rapport épidémiologique

-Effets pathologiques liées à des polluants spécifiques

### **Les solutions existantes réussites et limites**

Annexe 7 : Matériels de transport urbain, L'Offre française, Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement.

Annexe 8 : Comment puis-je contribuer à la lutte contre la pollution de l'air ? Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.

Annexe 9 : Etude de design sur le C1 (Effectuée en cours de Design, GM3EI, pour Mr. Ayrault)

Annexe 10 : -a) Le réseau Liselec et la Tulip de Peugeot (1<sup>ère</sup> voiture française 100% urbaine)

-b) Bilan énergétique d'une pile photovoltaïque.

Annexe 11 : -a) Différents modèles de bus GNV

-b) Devis d'une station d'alimentation GNV

Annexe 12 : Le Système Hybride Toyota (SHT)

Annexe 13 : -a) Article sur le véhicule à air comprimé tiré de La Provence »

-b) Première page du brevet d'invention sur le moteur à air comprimé.

### **Des améliorations constantes et de sérieuses alternatives en développement .**

Annexe 14 : les batteries à haute énergie. L'avenir appartient au lithium.

Annexe 15 : -a) Fonctionnement du cœur d'une pile à combustible

-b) Les différents types de piles

-c) Le marché des PAC

-d) Cinq cents kilomètres à zéro émission : exemple de partenariats européens.

Annexe 15 bis) Récupération de l'énergie de freinage par un système Rexroth et références de brevets d'invention concernant les volants à inertie.

### **Solutions pour un véhicule de ville.**

Annexe 16 : Éléments d'analyse fonctionnelle

Annexe 17 : Le procédé multicarburants P. Pantone.

Annexe 18 : Planning prévisionnel de Gant