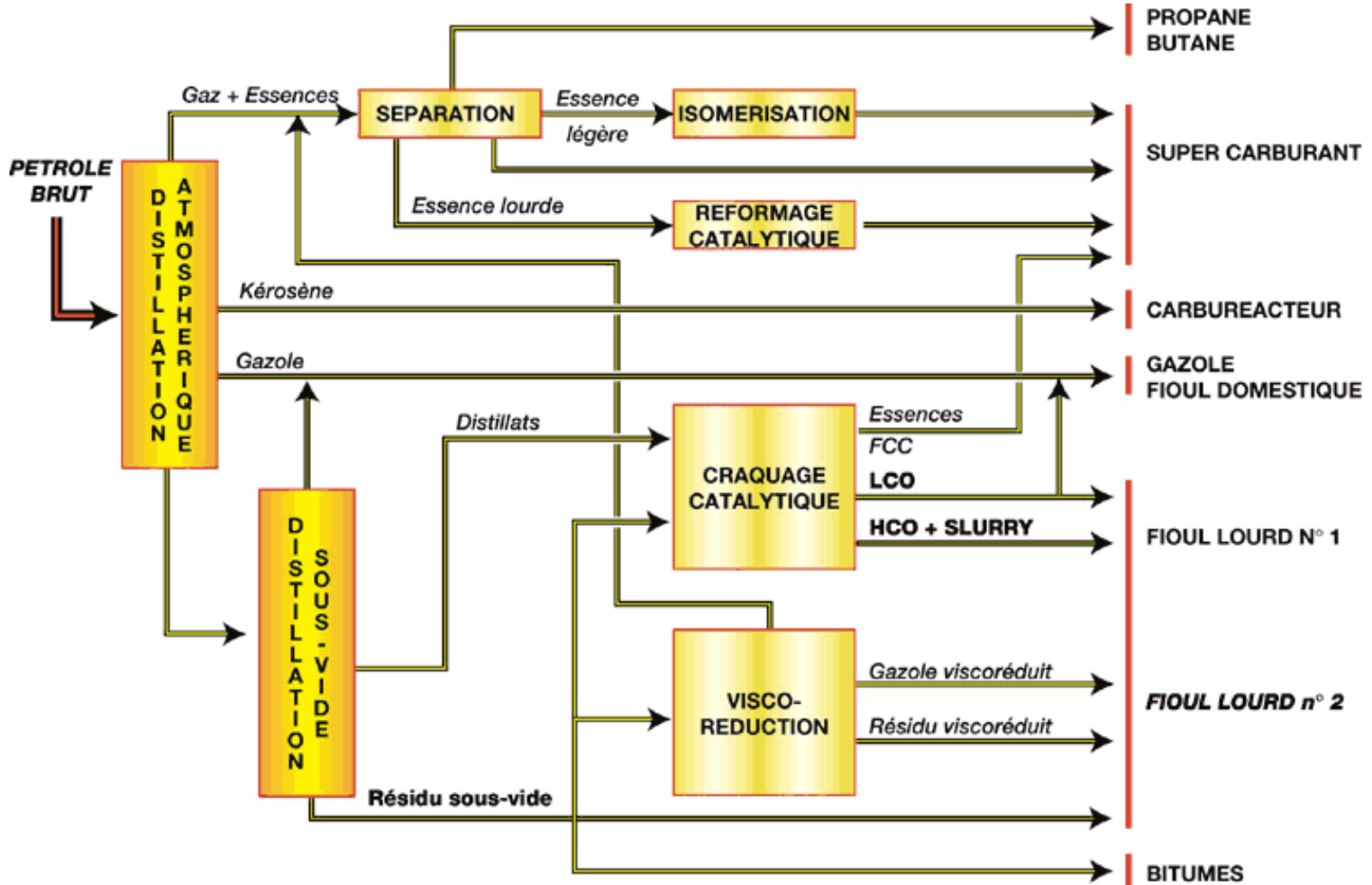


# CARBURANTS

Carburants solides ou primaires : bois, tourbe, charbon...  
 Carburants liquides : essence, gazole, fuel, kérosène...  
 Carburants gazeux : GPL, GNV, Hythane, hydrogène...



# Caractéristiques physico-chimiques des carburants

Familles chimiques :

- paraffines ou alcanes : chaînes linéaires (n- paraffines) ou chaînes ramifiées (iso-paraffines)
- oléfines ou alcènes
- naphènes ou cyclanes
- aromatiques

**Masse volumique** :  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) : dimensionnement des organes d'alimentation (injecteur, pompe).

| Carburants       | $\rho$ (kg.m <sup>-3</sup> ) à 15 °C |
|------------------|--------------------------------------|
| GPL              | 550 à 600                            |
| Super sans Plomb | 720 à 775                            |
| Gazole           | 820 à 845                            |

Augmentation de  $\rho$  :

- mélange appauvri
- augmentation de la quantité de particules émises

**Courbe de distillation** : évolution de la fraction distillée en volume en fonction de la température  
température pour laquelle 95 % du fuel est distillée : T95

**Point éclair ou point de flash** : température à laquelle les vapeurs émises par un composé brûlent spontanément au contact d'une flamme.

**Viscosité :**

dynamique :  $\mu$  (Pa.s ou Po avec 1 Po = 0.1 Pa.s)

cinématique :  $\nu = \mu / \rho$  (m<sup>2</sup>/s ou St : 1 St = 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/s)

## **Teneur en aromatiques :**

avantage : augmente la résistance au cliquetis dans le cas de l'essence.

inconvénients : difficulté de séparer les différentes familles lors de la distillation, émissions de particules, de benzène, de composés aromatiques, de  $\text{NO}_x$  à l'échappement.

**Teneur en soufre :** au minimum pour limiter les émissions de composés soufrés, pour réduire la contribution du carburant aux émissions de particules, inhibiteur des systèmes de post-traitement.

## Pouvoir calorifique inférieur (PCI) :

|           | PCI massique (kJ/kg) à 25°C |
|-----------|-----------------------------|
| GPL       | 46000                       |
| Essence   | 42700                       |
| Gazole    | 42600                       |
| Ethane    | 47000                       |
| Méthanol  | 20000                       |
| Hydrogène | 121000                      |

# Essences et MAC

**Indice d'octane d'une essence** : mesure de la résistance au cliquetis, réalisée sur moteur CFR (Cooperative Fuel Research)

|                       |                    |
|-----------------------|--------------------|
| Indice d'octane = 0   | 100 % de n-heptane |
| Indice d'octane = 100 | 100 % d'iso-octane |

Alcanes linéaires à chaîne longue : très réactifs.

Alcanes à chaîne ramifiée : plus résistants.

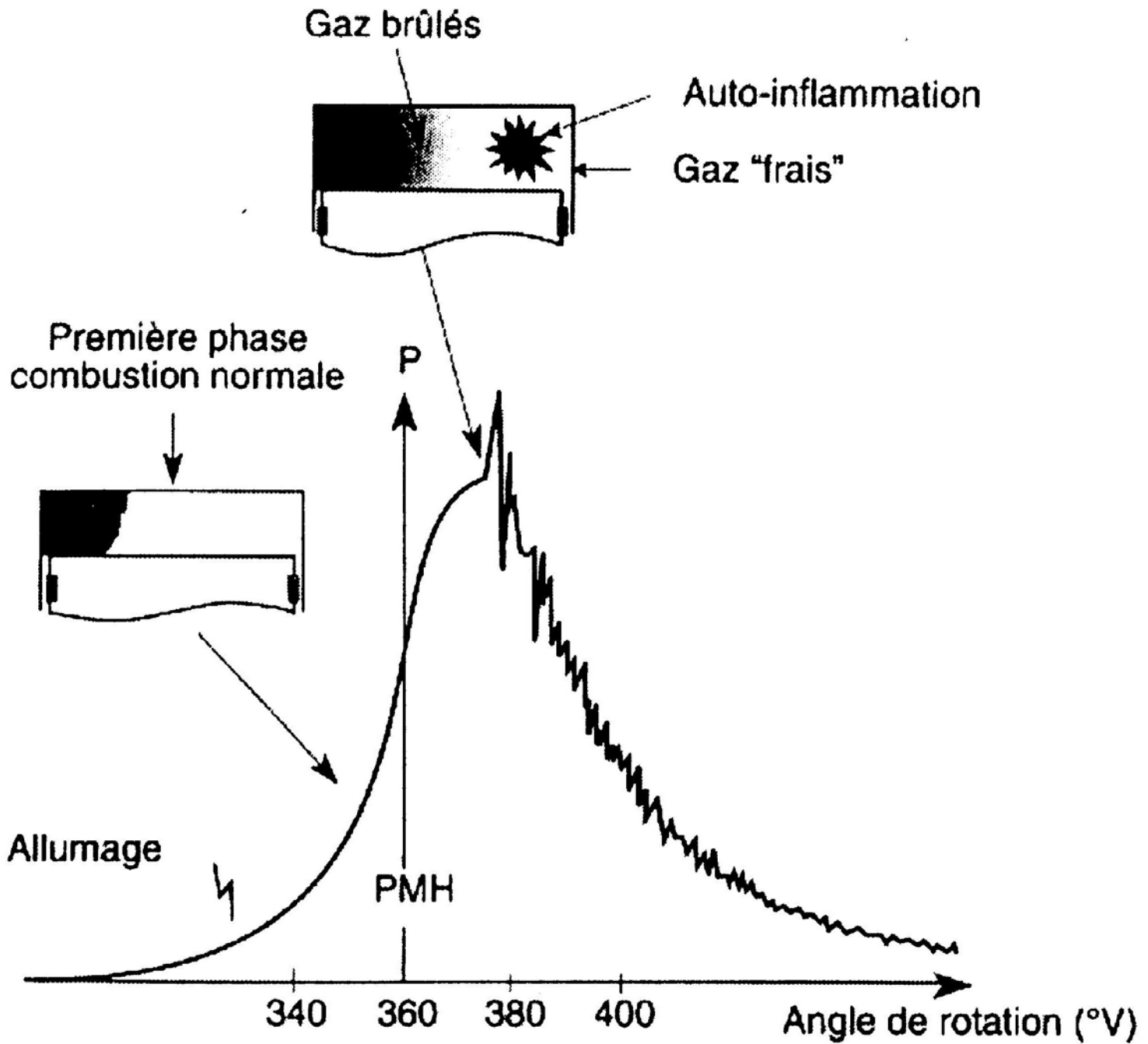
Alcènes : moins réactifs que leurs alcanes conjugués.

Aromatiques : très résistants à l'auto-inflammation.

RON : Research Octane Number

MON : Motor Octane Number

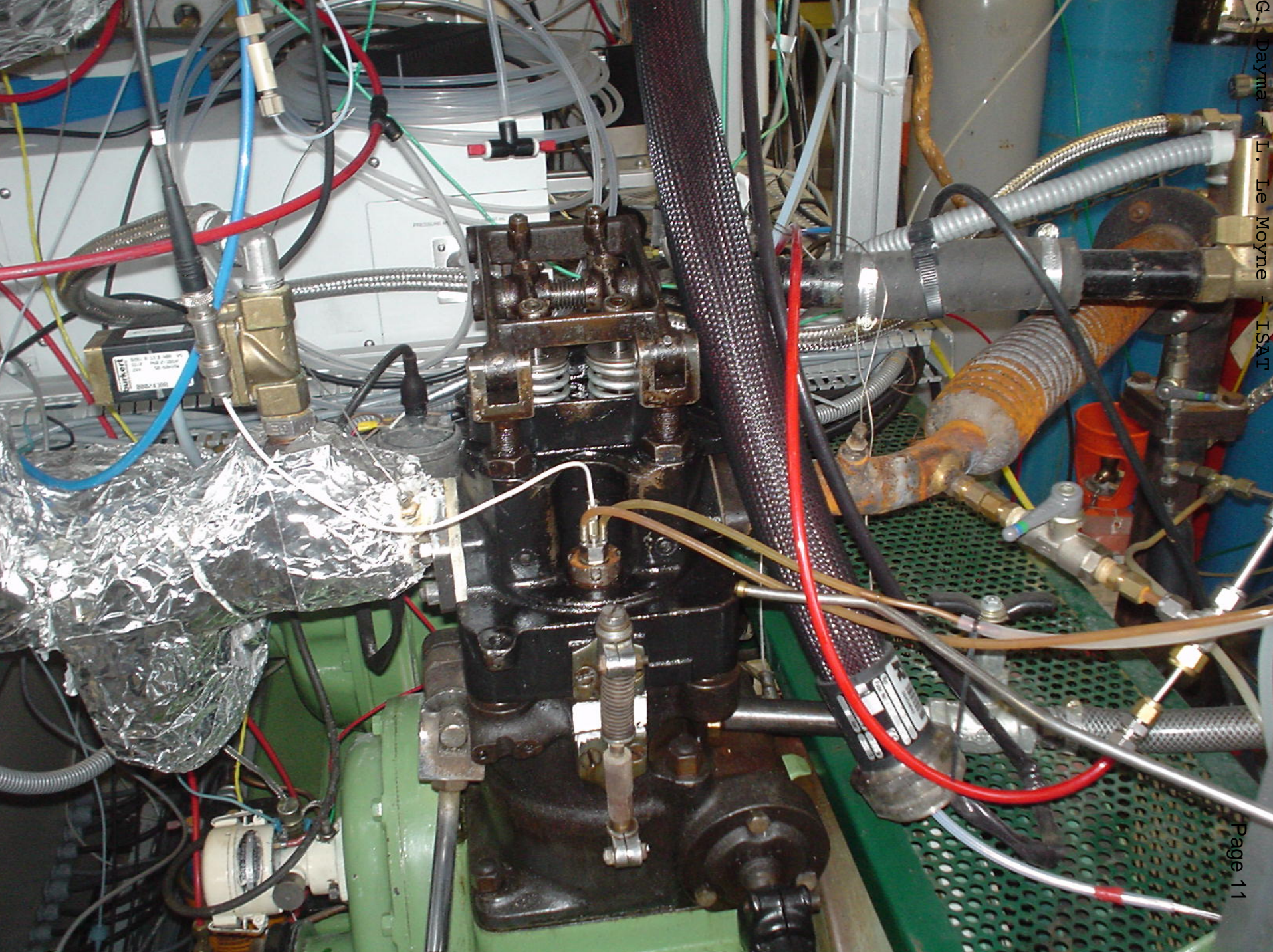




| <b>Paramètres de fonctionnement</b>           | <b>Méthode "Recherche" ou F1 (RON)</b> | <b>Méthode "Moteur" ou F2 (MON)</b>                    |
|---|--|--|
| Vitesse de rotation (tr/min)                  | 600 ± 6                                | 900 ± 9  |
| Avance à l'allumage (°V)                      | 13 "                                   | variable (14 à 26)                                     |
| Température de l'air admis (°C)               | 28,3* à 1 bar                          | 38,0 ± 2,8   |
| Température du mélange carburé (°C)           | non précisée                           | 149,0 ± 1,1  |
| Température du fluide de refroidissement (°C) |  | 100,0 ± 1,5  |
| Température de l'huile (°C)                   |  | 57,0 ± 8,5   |
| Pression d'huile (mPa)                        |  | 0,17 à 0,20  |
| Échelle de viscosité de l'huile               |  | SAE 30   |
| Écartement des électrodes de bougie (mm)      |  | 0,51 ± 0,13  |
| Écartement des vis platinées (mm)             |  | 0,51   |
| Jeu aux soupapes (mm)                         |  | 0,20 ± 0,03  |
| Humidité de l'air (g d'eau/kg d'air)          |  | 3,6 à 7,1  |
| Diamètre du venturi (mm)                      |  | 14,3   |
| Richesse**                                    |  | Ajustée pour obtenir l'intensité maximale de cliquetis |

\* Modification de réglage prévues en fonction de la pression atmosphérique.

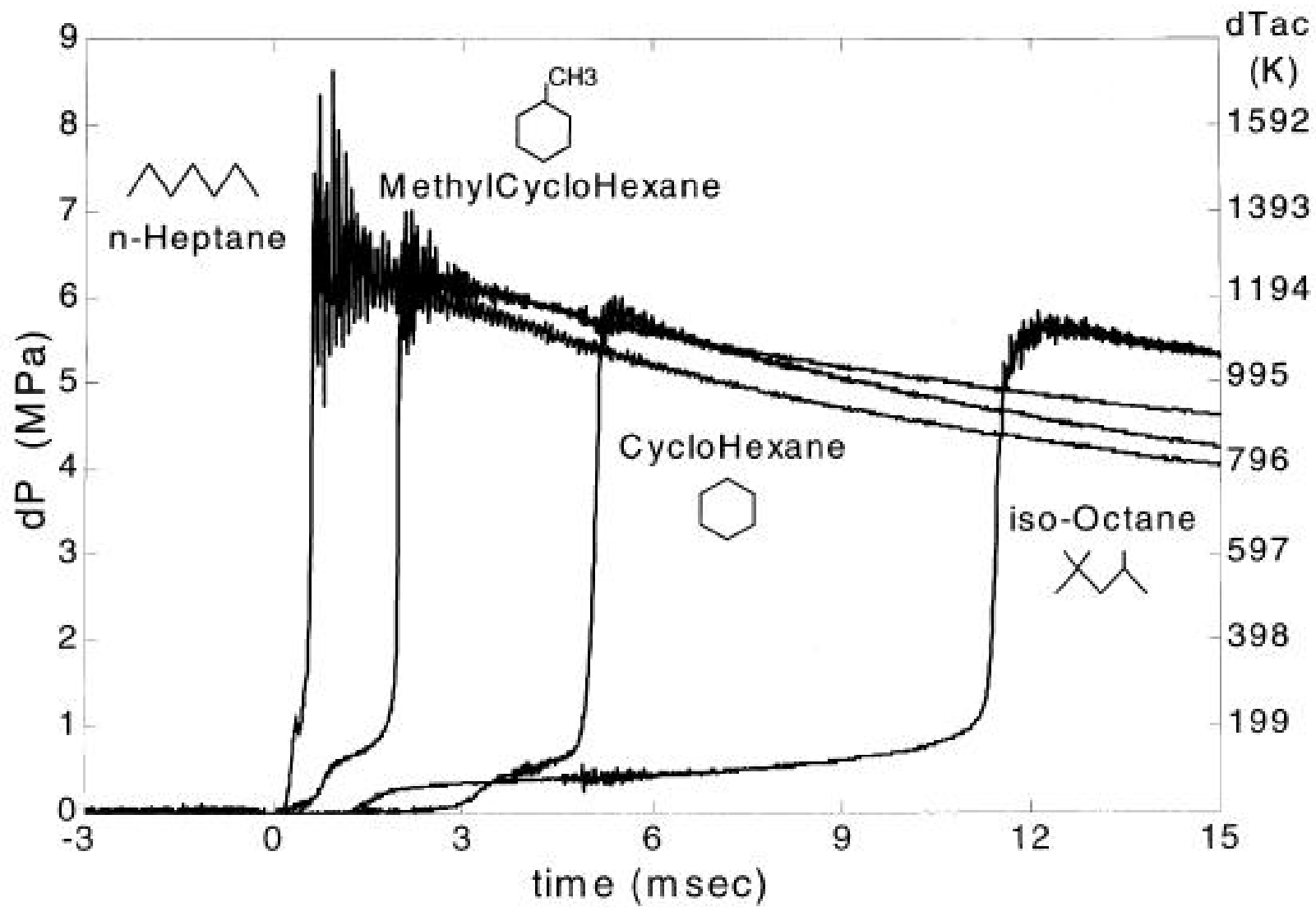
\*\* La richesse adoptée est généralement comprise entre 0,7 et 1,7.

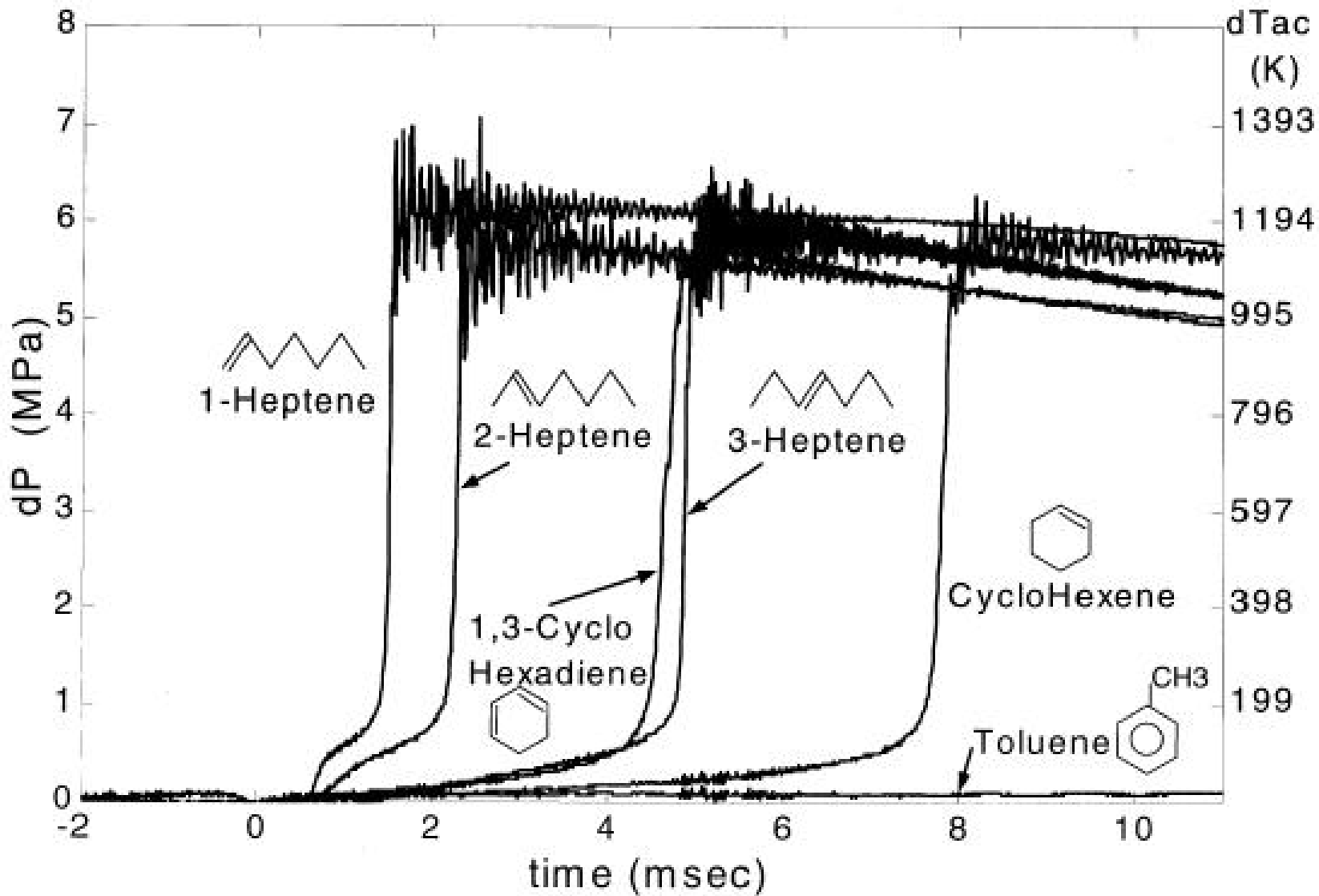


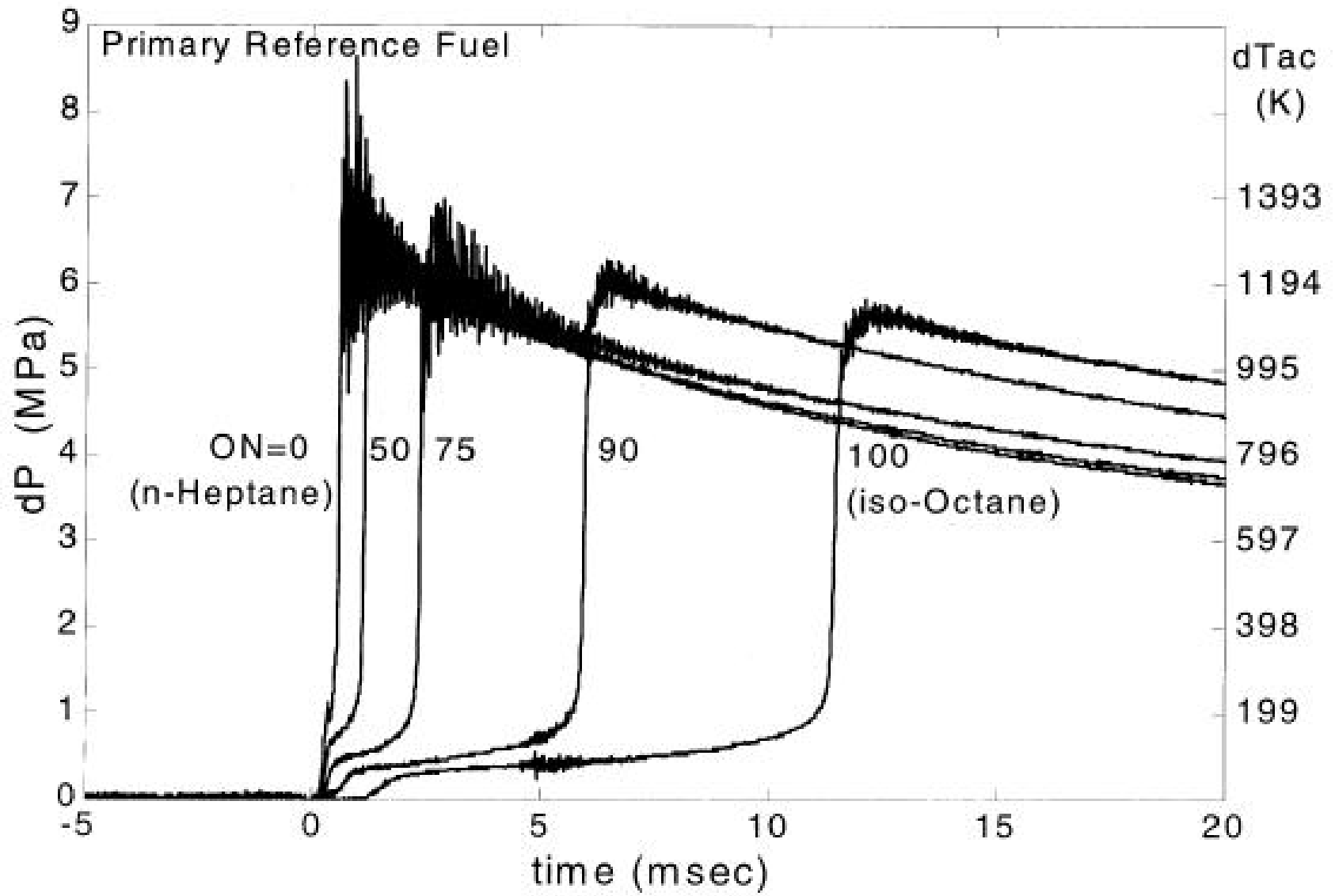
|   | 2000       | 2005                     | World Wide Fuel Charter |
|---|------------|--------------------------|-------------------------|
| Aromatiques<br>C <sub>6</sub> à C <sub>11</sub>       | < 42 % vol | < 35 % vol               | <35 % vol               |
| Oléfines (alcènes)<br>C <sub>4</sub> à C <sub>9</sub> | < 18 % vol | < 18 % vol               | < 10 % vol              |
| Benzène   | < 1% vol   | < 1 % vol                | < 1 % vol               |
| Soufre  | 150 ppm    | 50 ppm<br>10 ppm en 2009 | 5-10 ppm                |
| Teneur en plomb                                       | < 0.005    | <0.005                   |                         |
| Pression de vapeur                                    | 45-90 kPa  |                          |                         |
| RON/MON   | 95/85      | 95/85                    | 95/85                   |
| Densité   | 720-775    |                          | 715-770                 |

Teneur en oléfines et aromatiques corrélée avec la valeur du MON  
Indispensable pour optimiser le moteur ( $\varepsilon$ , avance à l'allumage...).

|                 |     |
|-----------------|-----|
| Indice d'octane |     |
| n-Octane        | -10 |
| n-Heptane       | 0   |
| 2-Méthylheptane | 23  |
| n-Hexane        | 25  |
| 2-Méthylhexane  | 44  |
| 1-Heptène       | 60  |
| n-Pentane       | 62  |
| 1-Pentène       | 84  |
| n-Butane        | 91  |
| Cyclohexane     | 97  |
| iso-Octane      | 100 |
| Benzène         | 101 |
| E85 Ethanol     | 105 |
| Méthane         | 107 |
| Ethane          | 108 |
| Toluène         | 114 |
| Hydrogène       | 130 |









# Gazole et moteur Diesel

**Indice de cétane d'un gazole** : mesure la facilité d'inflammation, réalisée sur moteur CFR équipé d'une chambre de combustion Diesel.

|                        |                                       |
|------------------------|---------------------------------------|
| Indice de cétane = 0   | $\alpha$ -méthylnaphtalène            |
| Indice de cétane = 15  | 2,2,4,4,6,8,8-heptaméthylnonane (HMN) |
| Indice de cétane = 100 | n-cétane ou n-hexadécane              |

$$IC = X (\% \text{ vol.}) \text{ n-cétane} + (100 - X) (\% \text{ vol.}) \alpha\text{-méthylnaphtalène}$$

|                                  | 2000       | 2005                             | World Wide Fuel Charter |
|----------------------------------|------------|----------------------------------|-------------------------|
| Soufre                           | 350 ppm    | 50 ppm en 2008<br>10 ppm en 2009 | 5-10 ppm                |
| Teneur en poly-aromatiques       | <11 % mass | <11 % mass ?                     | < 2 % mass              |
| Concentration maxi en aromatique | -          | -                                | <15 % mass              |
| Indice de cétane                 | > 51       | >51                              | >55                     |

Avec le développement de l'injection directe haute pression, augmentation de l'IC : faible réduction des émissions de NO<sub>x</sub>, réduction importante des émissions de CO et HC, réduction des fractions solubles des particules, augmentation des fractions insolubles.

# Carburants alternatifs

Au niveau actuel de consommation annuelle :

- **40 ans de réserves prouvées de pétrole** + 40 ans de "réserves ultimes" prouvées (hydrocarbures de moins bonne qualité)
- **60 ans de gaz**
- **2 siècles de charbon**

## **Limitation de l'utilisation des hydrocarbures :**

- non raréfaction des ressources (consommation mondiale annuelle : 10 Gtep soit 1,7 tep/an par habitant (avec 1 tep = 12000 kWh)  
En France : 3,2 tep/an par habitant  
Aux USA : 7,5 tep/an par habitant  
Dans les PVD : 0,5 tep/an par habitant
- respect des engagements de Kyoto.

---

Engagements annoncés à Kyoto (1997) : ramener en 2010 les émissions mondiales quelques % en dessous du niveau de 1990.

Pour la réduction des émissions, trois leviers :

- le progrès technologique, qui permet de réduire les émissions unitaires : l'efficacité énergétique,
- les économies d'énergie,
- la substitution au niveau des sources d'énergie primaire : les énergies renouvelables.

**GPL : gaz de pétrole liquéfié** (coupe C3-C4) : produit intermédiaire entre le gaz naturel et le pétrole brut.

Adaptation des moteurs à allumage commandé avec un système d'alimentation et un réservoir spécifique. Réduction des émissions de polluants classiques à l'échappement avec un gain spectaculaire pour les rejets de CO.

**GNV : gaz naturel pour véhicules** (98 % méthane) : les réserves gazières estimées à 150 milliards de tep sont du même ordre de grandeur que celles du pétrole.

### **2 formes possibles de stockage :**

sous forme gazeuse (à  $T_{amb}$  et  $P=200$  bar) : GNC (gaz naturel comprimé) : filière moins coûteuse et plus aisée à mettre en œuvre développée en France.

sous forme liquide : à température cryogénique ( $-161$  °C) et à  $P_{atm}$  : GNL (gaz naturel liquéfié).

Hydrocarbures émis constitués d'au moins 90 % de méthane.

Comparaison GNV – carburants classiques sur l'effet de serre : + de méthane mais – de CO<sub>2</sub>. Réduction de 25 % d'émissions de gaz à effet de serre avec GNV par rapport à l'essence.

**Méthanol et MTBE** (MéthyITertioButylEther) : 3 % de méthanol dans essence de façon banalisée depuis 1985.

**Biocarburants** : obtenus à partir d'une matière première végétale (biomasse)

- Ethanol et ETBE (EthylTertioButylEther) pour moteur essence
- Huiles végétales et EMHV (ester méthylique d'huile végétale) pour moteur Diesel.

Débouchés non alimentaires mais énergétiques pour la PAC : blé, maïs, betterave, canne à sucre conduisant à l'éthanol et colza, tournesol transformé en huile puis en ester.

**Bilan environnemental de l'éthanol positif** : réduction des émissions de CO et HC, légère augmentation des émissions de NO<sub>x</sub>.

Exemple du Brésil : plus de 85 % des véhicules utilisent de l'éthanol seul ou en mélange.

**Pour les huiles végétales et les esters** : taux d'incorporation de l'EMC dans le gazole fixé à 5 % depuis 1994, bilan positif des émissions de polluants :

- absence d'émissions d'anhydrides sulfureux ou sulfurique (pas de composés soufrés dans ces biocarburants).
- bilan CO<sub>2</sub> équilibré.
- réduction des émissions de CO.
- diminution des fumées, des HC et des particules car présence d'oxygène dans les huiles végétales et les esters.
- augmentation des émissions de NO<sub>x</sub>.
- augmentation des émissions d'aldéhydes avec l'emploi d'huile de colza.
- réduction des HAP.

| <b>Caractéristique</b>                           | <b>Huile de colza</b>                           | <b>EMC</b>                                     | <b>Gazole</b> |
|--|---|--|---------------|
| $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) à 20 °C              | 917,3   | 877,6  | 835           |
| $\nu$ (mm <sup>2</sup> /s) à 20 °C               | 72,35   | 6,60   | 5,1           |
| à 80 °C  | 11,60   | 2,14   |               |
| PCI (kJ/kg)                                      | 39091   | 39593  | 43116         |
| Indice de cétane                                 | 36,4  | 51,9   | 54            |
| Distillation (°C)                                |   |  |               |
| Température initiale                             | 160   | 303  | 163           |
| 10 %   | 256   | 328  | 204           |
| 50 %   | Craquage  | 334  | 271           |
| 90 %   |   | 340  | 343           |
| Température finale                               |   | 350  | 370           |
| Pourcentage recueilli en fin de distillation (%) | 18  | 95   | 98            |
| M (g/mol)  | 880,46  | 293,7  |               |
| Formule brute moyenne                            | C <sub>57</sub> H <sub>100</sub> O <sub>6</sub> | C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub> |               |



# Emissions globales de CO<sub>2</sub> «du puits à la roue » par des moteurs fonctionnant avec des énergies conventionnelles et alternatives

| Energie                            | Origine   | Moteur             | CO <sub>2</sub><br>g/kWh | Rendement<br>véhicule<br>kWh/km | CO <sub>2</sub><br>g/km | CO <sub>2</sub><br>g/km<br>relatif |
|------------------------------------|---|--------------------|--------------------------|---------------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| Gazole                             | Pétrole   | Diesel             | 308                      | 0,54                            | 166                     | 1,00                               |
| Gazole Fisher<br>Tropsch (FT)      | Gaz naturel   | Diesel             | 376                      | 0,54                            | 203                     | 1,22                               |
| DME                                | Gaz naturel   | Diesel             | 318                      | 0,54                            | 172                     | 1,03                               |
| EMHV                               | Oléagineux  | Diesel             | 410/201*                 | 0,54                            | 221/108*                | 1,3/0,6*                           |
| Essence                            | Pétrole   | Allum com          | 327                      | 0,66                            | 216                     | 1,30                               |
| ETBE                               | Blé, betterave +<br>Pétrole                           | Allum com          | 408/278*                 | 0,66                            | 269/183*                | 1,6/1,1*                           |
| Ethanol                            | Blé, betterave  | Allum com          | 530/169*                 | 0,66                            | 350/111*                | 2,1/0,7*                           |
| Gaz naturel                        | Gaz naturel   | Allum com          | 224                      | 0,66                            | 148                     | 0,89                               |
| GPL                                | Pétrole + GN  | Allum com          | 276                      | 0,66                            | 182                     | 1,10                               |
| Hydrogène<br>comprimé              | Electricité de<br>France (nucléaire<br>+ hydraulique) | Pile à combustible | 151                      | 0,4                             | 60**                    | 0,36                               |
| Hydrogène<br>comprimé              | Gaz naturel +<br>électricité Europe                   | Pile à combustible | 388                      | 0,4                             | 155**                   | 0,93                               |
| Hydrogène liquide<br>(cryogénique) | Gaz naturel +<br>électricité Europe                   | Pile à combustible | 627                      | 0,4                             | 251**                   | 1,51                               |

\*valeurs espérées en tenant compte de progrès importants à venir au niveau de la consommation, des technologies d'injection et des nouveaux modes de combustion. \*\*CO<sub>2</sub> dégagé lors la production de l'hydrogène.

Parmi les carburants de substitution les plus étudiés : carburants oxygénés (alcool, éther, carbonates, acétates, glycols et esters) réduisant considérablement les émissions de particules et de  $\text{NO}_x$  (modification des propriétés d'injection et de la qualité du mélange air/carburant).

**Emulsion eau/gazole** : l'Aquazole™ : réduction des émissions de particules,  $\text{NO}_x$  et de la consommation de gazole.

**DiMéthyl Ether (DME)** : carburant gazeux, obtenu par synthèse à partir de gaz naturel ou de charbon, utilisé dans un moteur diesel conventionnel, forte réduction de la grande majorité des polluants réglementés et opacité des gaz d'échappement nulle.

## Points négatifs

- coût
- impact environnemental limité