

## PETROLE 1996

Le pétrole représente 40 % de la consommation mondiale d'énergie primaire. De plus c'est la principale matière première de la chimie organique.

**ORIGINE** : c'est un mélange de nombreux hydrocarbures provenant de la décomposition d'organismes marins vivant il y a plusieurs millions d'années. La composition du pétrole dépend du lieu d'où il est extrait : il y a actuellement une centaine de bruts différents sur le marché pétrolier. On distingue trois catégories d'hydrocarbures présents dans les fractions du brut distillant entre 20 et 200°C : les alcanes ou paraffines (18 à 65 %), les cycloalcanes ou naphtènes (25 à 90 %) et des composés aromatiques (jusqu'à 15 %). Il n'y a pas d'alcènes (oléfines) ni d'alcynes. D'autres éléments sont souvent présents dans le pétrole : le soufre, l'azote, des métaux. Il contient très peu d'oxygène. On nomme les pétroles en fonction de leur densité (d) par rapport à l'eau : légers si  $d < 0,8$  et lourds si  $d > 1$ .

**PRODUCTIONS** en 1996, en millions de tonnes (Mt) : Monde : 3 156.

Arabie Saoudite	390	Chine	156	Royaume-Uni	131
ex-URSS	351	Norvège	154	Émirats Arabes Unis	110
États-Unis	322	Venezuela	147	Nigéria	100
Iran	183	Mexique	142	Canada	91

- Entre 1991 et 1994 la production de l'ex-URSS a chuté d'un tiers. Elle se stabilise désormais.
- La Norvège et le Royaume-Uni produisent 90 % du pétrole de l'Europe de l'Ouest grâce aux gisements de la mer du Nord. La production européenne (313,7 Mt) a augmenté de 18 % entre 1993 et 1994. Elle a pratiquement été multipliée par 20 depuis 1973 (16,4 Mt) car l'exploitation des gisements off-shore n'était pas rentable avant le premier choc pétrolier.
- Les pays membres de l'OPEP totalisent 1 286 Mt soit 40,7 % de la production de 1996.

**Réserves** prouvées au 1/1/1997 : Monde : 139 000 Mt, dont OPEP : 77,4 %.

- Le rapport réserves prouvées sur production annuelle de 1996, montre que les réserves prouvées représentent 44 ans d'exploitation (au rythme de 1996), mais les prospections pétrolières et l'évolution des techniques de forage, permettent de découvrir de nouvelles réserves chaque année : les réserves prouvées au 1/1/1997 sont supérieures de 2 700 Mt à celles du 1/1/1994 malgré 3 ans d'exploitations. Les réserves ultimes sont aujourd'hui estimées à 215 000 Mt (ce qui représente 68 ans

d'exploitation au rythme actuel). Il est à noter qu'en 1978, les réserves prouvées ne représentaient que 28 ans de production.

**Transport** : dans le monde, au 31/12/1996, 3 055 navires pétroliers (tankers) de plus de 10 000 t de port, soit une capacité totale de 283,7 Mt. Chaque année, 40 % des hydrocarbures (bruts et raffinés) sont transportés par voie maritime, soit 1 400 Mt.

### **RAFFINAGE :**

Le raffinage a pour objet de séparer et d'améliorer les produits composants le pétrole de façon à répondre à la demande en différents produits pétroliers à partir de bruts de compositions variables. En particulier, il est nécessaire de transformer des produits lourds en produits légers pour alimenter le marché des carburants.

### **Distillation :**

Elle est effectuée après le dégazage, qui a lieu sur les lieux d'extraction, et le dessalage qui permet d'éliminer l'eau salée émulsionnée dans le pétrole qui pourrait endommager les installations de raffinage en formant HCl. Une première distillation sous pression atmosphérique entre 70°C et 370 à 380°C, permet de recueillir différentes fractions :

- à 70°C : une fraction légère dont on extrait par la suite du gaz (méthane, éthane, propane et butane) et une essence légère composée d'alcane en C5 et C6.
- entre 70°C et 220°C : deux fractions dites essence et naphta.
- puis une fraction kérosène qui sera transformée en carburéacteur et en divers solvants.
- puis une fraction gazole, destinée au carburant gazole et au fioul domestique.
- à 370 ou 380°C : on récupère en fond de colonne les résidus dits "atmosphériques".

Ces résidus distillés sous pression réduite entre 70°C et 350°C donnent :

- à 70°C : le gazole lourd, destiné à être craqué pour donner des essences.
- des fractions intermédiaires ou fiouls lourds destinées aux bateaux et aux usines électriques.
- à 350°C : des résidus, dont on tire les bitumes.

**Capacités mondiales de distillation** : fin 1996 en million de tonnes/an. Monde: 3 803.

Amérique du Nord	864 (22,7 %)	Amérique Latine	372 (9,8 %)
Extrême-Orient	814 (21,4 %)	Proche et Moyen Orient	270 (7,1 %)
Europe Occidentale	704 (18,5 %)	Afrique	145 (3,8 %)
Europe Orientale et	632 (16,6 %)		

ex-URSS	(%)		
---------	-----	--	--

- La capacité de distillation est aussi appelée capacité de raffinage.
- Les raffineries sont situées dans les pays les plus développés et non dans les pays producteurs.
- La capacité mondiale de distillation a baissé de 1980 (ou elle atteignait son record avec 4 116 Mt) à 1986. Depuis 1994, elle augmente à nouveau, sous l'impulsion de l'Extrême Orient (+ 93 Mt entre 1994 et 1996).

### Craquage :

Le craquage consiste à casser les chaînes carbonées des hydrocarbures de la charge pour obtenir des produits plus légers. On distingue :

- Le craquage catalytique des gazoles lourds qui a lieu à 480°C-500°C en présence d'un catalyseur (zéolithe, avec des substitutions cationiques de terres rares, maintenu au sein d'une matrice silice-aluminium amorphe). Il permet d'obtenir de l'essence (40 à 60 % de la masse initiale) ayant un indice d'octane supérieur à 90, du gazole et des sous-produits dont un gaz riche en alcènes (propène, butène) que l'on distillera par la suite et du coke qu'il faut brûler car c'est un poison du catalyseur. Les principales réactions sont les suivantes :

Type de réaction	Exemples
alcane $\longrightarrow$ alcane + alcène	$C_6H_{14} \longrightarrow C_3H_8 + C_3H_6$
alcène $\longrightarrow$ 2 alcènes	$C_6H_{12} \longrightarrow C_3H_6 + C_3H_6$
alkylaromatique $\longrightarrow$ benzène + alcène	$\Phi C_5H_{11} \longrightarrow \Phi H + C_5H_{10}$
alkylaromatique $\longrightarrow$ arylalcène + alcane	$FC_5H_{11} \longrightarrow FC_2H_3 + C_3H_8$
cycloalcane $\longrightarrow$ 2 alcènes	$C_8H_{16} \longrightarrow 2 C_4H_4$
cycloalcane $\longrightarrow$ cyclohexane + 2 alcènes	$C_{10}H_{20} \longrightarrow C_6H_{12} + 2 C_2H_4$

L'apparition d'un carbocation comme intermédiaire réactionnel permet en outre un grand nombre d'isomérisations.

- L'hydrocraquage des gazoles lourds qui a lieu à 350°C-450°C sous une pression de 100 à 200 bar de H<sub>2</sub>, en présence d'un catalyseur bifonctionnel (Pt ou Ni pour l'hydrogénation, zéolithe pour le craquage). Les produits intermédiaires étant hydrogénés au cours du craquage, on n'obtient pas d'alcène, de diène, de coke, et moins d'aromatiques que dans la charge. On extrait une essence à faible indice d'octane, du kérosène, du gazole et du fioul domestique. Cette technique impose une désulfuration préalable de la charge pour éviter d'empoisonner le catalyseur d'hydrogénation.

- La viscoréduction qui est un craquage thermique à 470°C-480°C permettant de réduire la viscosité des résidus de distillation. On obtient ainsi des fiouls lourds qui, après avoir été mélangés avec du gazole (pour réduire à nouveau la viscosité), correspondront aux normes. Sans cette opération, la quantité de gazole à ajouter serait très importante.

- La cokéfaction qui est un autre craquage thermique permettant d'obtenir du coke, des distillats liquides recyclables et du gaz de craquage. On favorise aujourd'hui la fabrication des distillats par rapport à celle du coke. Pour l'utilisation du coke de pétrole, voir le chapitre : carbone.

### **Reformage :**

Le reformage a pour but de transformer une coupe pétrolière à faible indice d'octane (naphta) en une essence à indice d'octane élevé. Pour cela, il est nécessaire d'isomériser des alcanes linéaires en alcanes ramifiés et d'augmenter la teneur en composés aromatiques par déshydrogénation des cycloalcanes ou déshydrocyclisation des alcanes. Cette opération est effectuée de façon catalytique et se rapproche beaucoup du reformage catalytique développé dans la pétrochimie en vue de produire des composés aromatiques et en particulier du benzène (voir le chapitre "benzène, toluène, xylènes").

### **SITUATION FRANÇAISE :** en 1996.

L'industrie française du pétrole emploie plus de 116 000 personnes, dont 65 % pour le transport, le stockage et le négoce ; et 25 % pour le raffinage et la distribution.

La facture pétrolière représente 67,2 milliards de F.

Les taxes sur les produits pétroliers (79,8 % sur le supercarburant, 78,3 % sur le supercarburant sans plomb et 67,6 % sur le gazole) ont rapporté à l'état 182 milliards de francs.

### **Production française :**

En 1996, la France a produit 2,120 Mt de pétrole brut. La production est en baisse depuis qu'elle a atteint son maximum en 1988 avec 3,355 Mt. Cette production est répartie entre le Bassin Parisien et l'Aquitaine (voir carte).

### **Production des groupes français à l'étranger :** 78,7 Mt en 1996.

Elf Aquitaine : 39,8 Mt

Total : 38,9 Mt

- Les principaux gisements d'Elf Aquitaine sont situés au Gabon (21 % de la production 1996 du groupe), au Royaume-Uni (18 %), au Nigéria (15 %), en Norvège (14 %), au Congo (12 %) et en Angola (10 %).

- Le groupe Total exploite essentiellement des gisements au Moyen-Orient (38 % de la production 1996 du groupe).

**Importations** : en millions de tonnes et ( ) % des importations, en 1996. Total : 78,9 en provenance de :

Arabie saoudite	18,2 (21,9 %)	Nigeria	8,2 (9,9 %)
Norvège	14,8 (17,8 %)	ex-URSS	7,7 (9,2 %)
Royaume-Uni	12,7 (15,3 %)	Algérie	3,1 (3,8 %)
Iran	8,3 ( 9,9 %)	Syrie	2,5 (3,0 %)

### Transport du pétrole brut :

La France importe son brut par pétroliers dont 15 français (3,8 Mt de port) immatriculés aux Kerguelen. Il arrive dans des terminaux pétroliers dont les principaux sont donnés ci-dessous avec la quantité d'hydrocarbures liquides déchargés en 1990, exprimée en millions de tonnes :

Marseille-Fos (13)	56,7	Bordeaux (33)	4,0
Le Havre-Antifer (76)	31,0	Rouen (76)	3,6
Nantes-St Nazaire (44)	13,8	Autres	7,2
Dunkerque (59)	7,9		

Au total (pétrole brut et raffiné) près de 150 millions de tonnes de produits pétroliers transitent (à 95 %) par les ports de : Marseille-Fos, Le Havre, Nantes-Saint Nazaire, Rouen et Bordeaux dont ils assurent en moyenne, 60 % de l'activité.

Le brut est ensuite acheminé vers les raffineries par oléoduc (ou pipeline). Les principaux sont (voir carte) :

- "Pipeline Sud Européen" (Exxon (22 %), Shell (20,3 %), Elf Aquitaine (14,2 %), Total (12,8 %)) :
- Lavéra (13)-Fos (13)-Strasbourg (67)-Karlsruhe (Allemagne) : 782 km, 10 stations de pompage, diamètre : 86 cm, ouvert en 1962.
- Fos (13)-Lyon (69) : 260 km, 2 stations de pompage, diamètre : 61 cm, ouvert en 1971.
- Fos (13)-Strasbourg (67) : 714 km, 7 stations de pompage, diamètre : 102 cm, ouvert en 1972.

En 1996, 22,4 Mt de brut ont été transportés. En 1989, pour 25,07 Mt les destinations ont été les suivantes :

Allemagne	13,12 Mt	Lyonnais	4,47 Mt
-----------	----------	----------	---------

Est	4,48 Mt	Suisse	3,00 Mt
-----	---------	--------	---------

- "Pipeline de l'Ile de France" (Elf Aquitaine) : Le Havre (76)-Grandpuits (77) : 260 km, 5 stations de pompage, diamètre : 58 cm, ouvert en 1986 : 3,24 Mt en 1993.
- "Pipeline Parentis-Bec d'Ambès" : 165 km, diamètre de 15 à 40 cm. Utilisé pour le transport du brut entre d'une part les puits de production et d'autre part le port d'Ambès (33) et les installations pétrochimiques de la région de Bordeaux (33).
- Pipeline Vic Bihl-Lacq (64), Pécorade (40)-Lacq et Lacq-Le Boucau (64) : 167 km, diamètre de 15 à 30 cm. Utilisé pour le transport du brut entre les puits de production et le port du Boucau (64).

**Capacités françaises de distillation** : au 1/1/1997 en milliers de tonnes par an, par opérateur, et localisation des raffineries (voir carte) : France : 93 181.

Total RD	29 128	Gonfreville l'Orcher (76), Mardyck (59), La Mède (13), Reichstett (67)
Elf Aquitaine	20 496	Donges (44), Feyzin (69), Grandpuits (77), Reichstett (67)
Shell	20 220	Petit-Couronne (76), Berre (13), Reichstett (67)
Esso SAF	13 153	Port-Jérôme (76), Fos (13)
BP France	11 065	Lavéra (13), Reichstett (67)
Mobil Oil France	3 404	Notre Dame de Gravenchon (76), Reichstett (67)

- La capacité française de distillation est actuellement la moitié de ce qu'elle était en 1978, mais elle a augmenté de près de 10 Mt entre le 1/1/1994 et le 1/1/1997. En 1996, 84,2 Mt ont été traitées dont 82,3 Mt importées.
- Capacités : en 1997, en Mt, selon les procédés : craquage catalytique : 19,1, reformage : 11,1, viscoréduction : 8,2, isomérisation : 2,4, alkylation : 0,9.
- La raffinerie de Reichstett est partagée par Shell (65 %), BP France (12 %), Elf Aquitaine (10 %), Total RD (8 %) et Mobil Oil France (5 %).

## UTILISATIONS :

**Consommations** : en 1996, en millions de tonnes.

États-Unis : 831

Japon : 274

Ex-URSS : 196 (355 en 1992, 271 en 1993)

Europe Occidentale : 669

Consommations en Europe Occidentale, en 1996, en millions de tonnes :

Allemagne	137	Espagne	54
Italie	94	Pays-Bas	36
France	86	Belgique et Luxembourg	30
Royaume-Uni	83		

**Secteurs d'utilisation** : en France, en 1996, en millions de tonnes. Sur un total de 85,8.

Gazole	23,5	Fioul lourd	5,1
Fioul domestique	17,3	Carburacteur	4,9
Pétrochimie	10,7	Bitumes	3,0
Super sans plomb	8,4	Gaz liquéfiés	3,1
Super plombé	6,6	Coke de pétrole	1,5
		Lubrifiants	0,8

- Le super sans plomb est désormais plus utilisé que le super plombé.

**Les carburants automobiles** (essence et gazole).

Marché français : en 1996, en millions de m<sup>3</sup> : ensemble : 19,86 pour 17 974 points de vente (en 20 ans disparition de 30 000 points de vente).

Raffineurs : 10,03 (50,5 %)

Grandes surfaces : 9,83 (49,5 %)

Indice d'octane : définition.

Déterminé en laboratoire, dans un moteur expérimental, il mesure la résistance des carburants à l'auto-allumage et caractérise donc les propriétés antidétonantes des essences. Il est gradué sur une échelle de référence établie par rapport à un mélange, en proportions variables, de 2 hydrocarbures pris comme étalons : 0 pour l'heptane linéaire, 100 pour le 2,2,4-triméthylpentane (ou isooctane). On distingue l'indice IOR (Indice d'Octane Recherche, en anglais RON) mesuré dans des conditions de faible vitesse et en accélération, de l'indice IOM (Indice d'Octane Moteur, en anglais MON) mesuré à grande vitesse. En général, les indices sont donnés en IOR (RON). Les essences n'ont pas, en général, un indice d'octane suffisant, il faut ajouter des additifs. Toutefois, les producteurs de carburants utilisent, de plus en plus, des techniques de raffinage (reformage catalytique, alkylation, isomérisation) qui permettent d'élever l'indice d'octane.

### L'essence "plombée" :

De 1920 à 1975, les additifs utilisés ont été exclusivement des composés du plomb : plomb tétraméthyle et surtout plomb tétraéthyle ( $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{CH}_2)_4$ ), à des teneurs, en constante diminution, de 0,6 à 0,1 g/litre d'essence. Dans le monde occidental, la consommation de Pb dans ce secteur a atteint son maximum en 1972 : 370 000 t. En 1988, elle était de 96 000 t, elle est prévue nulle en 2000. Le plomb présente l'inconvénient d'être un poison pour les catalyseurs à base de platine utilisés dans les pots d'échappement pour diminuer la pollution par les gaz d'échappement des véhicules automobiles.

### L'essence sans plomb :

Le super sans plomb supplante, de plus en plus, le super avec plomb. Sa part est aux États-Unis et au Japon de 100 %, dans l'Union européenne de 66 %, en France de 56 % (34 % en 1992).

Les additifs utilisés peuvent être synthétisés à partir de produits chimiques de base : c'est le cas du MTBE, additif le plus employé, ou obtenus à partir de produits agricoles, on parle alors de biocarburants. Du benzène est également ajouté en vue d'améliorer l'indice d'octane mais à cause de sa forte toxicité (voir le chapitre " benzène, toluène, xylènes ") sa teneur est légalement limitée à 5 % ; cette valeur est couramment approchée dans les essences sans plomb.

- MTBE (méthyltertiobutyléther :  $\text{C}_4\text{H}_9\text{-O-CH}_3$ ) : il est produit par synthèse à partir d'isobutylène et de méthanol. Son indice RON est de 118 et sa teneur dans l'essence peut atteindre 10 % (un ajout de 10 % dans l'essence permet d'augmenter l'indice d'octane de 2 à 2,6 points). Les capacités mondiales de production sont de 18,7 millions de t/an dont 9 millions aux États-Unis. Le n°1 mondial est la société Arco Chemical, 3 millions de t/an dans 5 usines dont 2 en Europe (Fos-sur-Mer, 550 000 t/an et Rotterdam). Elf Aquitaine produit du MTBE à Feyzin (69) : 60 000 t/an.

- Ethanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) : produit principalement par fermentation de sucres extraits de produits agricoles (betterave, canne à sucre, maïs, blé...). Un hectare de betterave donne 5 à 6 t d'alcool/an. Il doit être totalement déshydraté et son coût est élevé (il faut 0,9 tep d'énergie pour produire 1 tep d'éthanol), son indice RON est de 120.

Toutefois des pays l'ont utilisé à grande échelle. Le Brésil a lancé, en 1975, le programme Proalcool, destiné à remplacer l'essence par l'éthanol tiré de la canne à sucre. En 1993, sur 11 millions de véhicules particuliers, 6 millions roulaient à l'éthanol pur et 5 millions avec un mélange éthanol-essence avec au moins 22 % d'éthanol. Depuis, dans ce pays, l'emploi du méthanol a fortement diminué. En France la production d'éthanol destiné à l'essence a été de 346 000 hL, en 1993, sa teneur dans l'essence peut atteindre 5 %.

- ETBE (éthyltertiobutyléther :  $\text{C}_4\text{H}_9\text{-O-C}_2\text{H}_5$ ) : c'est un composé de nature proche du MTBE, le méthanol étant remplacé par l'éthanol. Son indice RON est de 118 et, en

France, sa teneur dans l'essence peut atteindre 15 %. En France, fabrication par Elf Aquitaine à Feyzin (69) et Total (50 000 t/an/usine), à Gonfreville l'Orcher (76) et Mardyck (59).

- Ester méthylique : obtenu à partir d'huile de colza et de méthanol. Un hectare donne 3 t de colza, 1,27 t d'huile et 1,17 t d'ester. Appelé Diester, il est produit (20 000 t/an), en France, depuis 1993, par la société Robbe, à Venette (60). Il est utilisé (88 500 hL, en 1993, en France) en substitution (5 %) du gazole dans les moteurs diesel, principalement dans des véhicules communaux.

### **CRISES PÉTROLIÈRES :**

Le marché du pétrole fut pendant longtemps sous le contrôle des grandes compagnies pétrolières qui maintenaient un prix constant (en dollars constants le prix baissait). Les pays producteurs n'avaient ni le contrôle de la production, ni celui des prix, de plus les royalties et les impôts prélevés ne leur permettaient pas de se développer. Après deux baisses du prix du baril (1956 et 1959) cinq pays producteurs se regroupèrent, en 1960, au sein de l'Organisation des Pays Producteurs de Pétrole (OPEP) qui compte aujourd'hui 12 pays membres (Iran, Irak, Koweït, Arabie Saoudite, Venezuela, Qatar, Indonésie, Libye, Émirats Arabes Unis, Algérie, Nigeria, Gabon) après le retrait, au 01-01-93, de l'Équateur. L'OPEP se donnait pour but d'augmenter les revenus pétroliers des membres, de contrôler progressivement le marché et d'unifier les politiques pétrolières au moyen de quotas de production. Jusqu'en 1970, aucun de ces buts ne fut atteint car la production pétrolière était très supérieure à la demande, mais en 1970 la demande dépassa l'offre, ce qui permit des hausses modérées jusqu'en 1973 portant sur les impôts et sur les prix, de façon à compenser l'inflation et la dévaluation du dollar. En 1973, l'OPEP menaça d'embargo les pays qui soutenaient Israël dans la guerre du Kippour, puis augmenta les prix de 70 % en octobre 1973, puis de plus de 100 % en décembre 1973 : le baril d'Arabian Light était passé de 2,9 \$ à 11,6 \$ en sept mois. Pendant les quatre années qui suivirent, l'OPEP n'augmenta que modérément les prix du brut par peur d'un changement de politique énergétique dans les pays industrialisés, mais fin 1978, la crise iranienne, puis la guerre Iran-Irak qui détruisit des installations pétrolières mirent fin au risque de surproduction, et les pays producteurs firent subir 8 hausses du prix entre 1978 et 1981. Le prix de l'Arabian Light atteignait 34 \$ en 1981. Par la suite, le prix du baril baissa régulièrement, malgré une hausse brutale mais éphémère durant la guerre du golf, pour atteindre aujourd'hui, en dollars constants, des cours proches de ceux d'avant le premier choc pétrolier.