

Dossier « Les énergies fossiles »

(ce dossier est en ligne sur le site de *La main à la pâte* :

http://www.inrp.fr/lamap/?Page_Id=16&Action=2&Element_Id=366&DomainScienceType_Id=7)

Rédacteur

David WILGENBUS

La main à la pâte – Société française de physique

Table des matières

1	Introduction	3
2	Le charbon.....	3
2.1	Formation	3
2.2	Différentes étapes de la fermentation.....	4
2.3	Les différentes mines	4
2.4	Le coup de grisou	5
2.5	Transport	5
2.6	Réserves	5
2.7	Utilisation.....	5
3	Le gaz naturel.....	6
3.1	Formation	6
3.2	Prospection.....	6
3.3	Transport	7
3.4	Stockage	7
3.5	Réserves et développement	8
3.6	Propriétés du gaz naturel.....	8
3.7	Utilisations	9
3.8	La cogénération	9
3.9	La climatisation.....	10
3.10	Le GNV (gaz naturel pour véhicule).....	11
4	Le pétrole.....	11
4.1	Formation	11
4.2	Prospection.....	12
4.3	Transport	13
4.4	Raffinage	13
	La distillation.....	13
	Le craquage thermique	13
	Le craquage catalytique.....	14
4.5	Stockage et réserve.....	15
5	Les centrales thermiques à flamme (fioul, gaz naturel, charbon)	15
5.1	Fonctionnement.....	15
5.2	Les combustibles	16
5.3	Les fumées émises.....	16
5.4	Les gaz émis	17
5.5	Réduction des émissions de dioxyde de soufre.....	17
5.6	Réduction des émissions d'oxydes d'azote	17
5.7	Le rendement.....	18

1 Introduction

Les énergies fossiles résultent d'une accumulation d'énergie solaire captée par des **êtres vivants** pendant des millions d'années.

Elles regroupent trois sources d'énergie que l'on connaît bien :

- le charbon ;
- le gaz naturel ;
- le pétrole.

Ces énergies sont des énergies **non renouvelables**, contrairement aux énergies solaire, hydroélectrique, géothermique, éolienne... Elles sont donc épuisables.

Dès l'antiquité le pétrole, récupéré en surface, est utilisé pour de multiples usages : médecine, éclairage, étanchéité des bateaux au Moyen Orient. Les égyptiens l'emploient sous forme d'asphalte dans la conservation des momies et les Chinois l'utilisent pour chauffer leurs maisons, fabriquer des briques et cuire leurs aliments. Ils seront les premiers à creuser des puits de pétrole, parfois jusqu'à 1000 mètres de profondeur. Le gaz naturel est quant-à lui utilisé pour la cuisson des aliments.

C'est avec la révolution industrielle que l'utilisation de ces énergies fossiles s'intensifie. La houille, jusqu'alors utilisée pour la combustion (la machine à vapeur date de la fin du XVIIIème siècle), est distillée au XIXème siècle pour produire du coke et du gaz de houille qui brûle sans fumée et qui est alors utilisé pour l'éclairage, la cuisson ou la production d'eau chaude. Il est ensuite délaissé au profit du gaz naturel qui pollue bien moins. Le XIXème siècle voit aussi la naissance de l'industrie pétrolière, avec la ruée vers l'or noir. Le pétrole prend de l'importance avec l'avènement du moteur à explosion et devient l'égal du charbon.

Au XXe siècle, l'utilisation du pétrole se diversifie (paraffine, plastique, huile lubrifiante...) tandis que l'industrie du charbon recule. La crise pétrolière de 1973 incitera certains pays comme la France à se tourner vers d'autres formes d'énergie (nucléaire, hydroélectrique, solaire)...

2 Le charbon

Le charbon est un terme général qui regroupe essentiellement la houille et le lignite. Il représente 80 % des énergies fossiles disponibles. **C'est l'énergie fossile la plus abondante mais aussi la mieux répartie.**

2.1 Formation

Le charbon résulte de la décomposition de débris végétaux accumulés, il y a des centaines de millions d'années, dans des endroits marécageux, des lagunes et des deltas de fleuves. Les végétaux immergés morts se sont déposés au fond de l'eau, fond qui s'est ainsi recouvert de feuilles, de bois, de pollen, d'écorces, de spores, d'algues microscopiques...

Ces dépôts minéraux ont été à leur tour recouverts d'un dépôt d'argile qui les a protégés de l'air. La fermentation a alors pu commencer. C'est cette fermentation qui donnera plus tard la houille.

Pendant que les dépôts ont fermenté, du sable s'est accumulé sur l'argile, permettant à une nouvelle forêt de pousser. Puis le bassin s'est de nouveau enfoncé et une partie de la forêt a de

nouveau été immergée. Et ainsi de suite. De tels gisements de charbon peuvent atteindre une surface de 5000 km².



2.2 Différentes étapes de la fermentation

Au cours de la fermentation, les dépôts minéraux passent par différents stades :

- la tourbe ;
- le lignite ;
- la houille ;
- l'antracite.

La tourbe ne peut pas être qualifiée de charbon. Elle commence à peine à se carboniser c'est-à-dire qu'elle contient seulement 60 % de carbone. C'est donc un mauvais combustible.

Le lignite est un charbon fossile qui n'est pas encore arrivée à maturation. Elle a commencé à se former il y a 60 millions d'années environ et contient seulement 65 à 70 % de carbone. Elle brûle mal et produit peu de chaleur donc peu d'énergie.

La houille a commencé sa formation il y a 250 à 300 millions d'années. Elle contient entre 80 et 90 % de carbone. Comme elle contient plus de carbone que la lignite, c'est un meilleur combustible.

L'antracite est à peine plus âgé que la houille et contient un peu plus de carbone.

On trouve aussi, dans les gisements, du **graphite** (carbone pur qui sert, entre autre, à fabriquer les mines de crayon).

Quant au **coke**, ce n'est pas du vrai charbon. C'est un résidu de la distillation des charbons fossiles, de couleur gris argent. Dans les hauts fourneaux, il s'unit au minerai de fer pour donner de la fonte.

De même, le **charbon de bois** n'est pas naturel. C'est un charbon artificiel qui est obtenu par combustion incomplète de végétaux.

2.3 Les différentes mines

Il existe deux types d'exploitations :

- les mines souterraines ;
- et les mines à ciel ouvert.

Dans les **mines souterraines**, les mineurs creusent des galeries à l'intérieur du sol jusqu'à la veine (aussi appelée filon) de charbon. L'accès aux veines à exploiter se fait :

- soit par puits et par galeries ;
- soit par descenderie (plan d'accès incliné et débouchant au jour).

Les **galeries** peuvent être directement creusées dans le filon (c'est le système à chambres et colonnes) ou bien enserrer le filon de manière circulaire. Dans le système à chambres et colonnes, le filon est abandonné avant d'être complètement épuisé. En effet, au fur et à mesure de l'exploitation, les colonnes s'amenuisent et la voûte risque alors de s'écrouler. Dans ces mines, la profondeur maximale des puits est généralement de 1000 à 1200 mètres. Le puits le plus profond se trouve en Inde, à Kolar et atteint plus de 3000 mètres de profondeur.

Dans les **mines à ciel ouvert**, l'exploitation se fait généralement entre 10 et 400 mètres de profondeur. Ces mines ressemblent à de grands amphithéâtres avec d'énormes gradins. Durant l'exploitation, les couches de terre recouvrant ou entourant le charbon sont décapées afin d'atteindre le filon. Ainsi, l'amphithéâtre s'élargit progressivement et devient de plus en plus profond.

2.4 Le coup de grisou

Le coup de grisou est l'accident lié à l'exploitation du charbon le plus connu. Le grisou est un gaz (composé essentiellement de méthane CH₄) contenu dans la houille. Il est inflammable dès qu'il est présent à plus de 6 % dans l'air. Une simple étincelle suffit alors; c'est l'explosion ou coup de grisou.

Le coup de grisou le plus meurtrier en France s'est produit en 1906 à Courrières. Il fit environ un millier de victimes.

2.5 Transport

Aux XVIII^e et XIX^e siècles, les usines se plaçaient généralement autour des bassins charbonniers afin d'éviter de longs transports. De nos jours, on transporte aisément le charbon par pipe-lines ou bien par voie fluviale, maritime ou ferroviaire.

Les **pipe-lines** sont l'équivalent des oléoducs pour le pétrole. Ils sont plutôt utilisés pour des transports sur de courtes distances. Pour être transporté ainsi, le charbon doit subir des modifications. En effet, le charbon se présente sous forme de blocs solides. Il est donc broyé sous forme de fines particules puis dilué dans une solution liquide.

Pour les longues distances, le charbon est transporté par **barges ou péniches**, par **trains** ou encore par **bateaux** sans être préalablement transformé.

2.6 Réserves

Les principaux pays riches en charbon sont situés en zones tempérées. Ce sont les Etats-Unis, la Belgique, la France (nord de la France), l'Allemagne, la Pologne, la Russie et la Chine. Les réserves exploitables de charbon correspondent à 10 000 milliards de tonnes soit sept fois plus que celles du gaz et du pétrole. Ces réserves sont suffisantes pour subvenir aux besoins pendant environ 300 ans.

2.7 Utilisation

De nos jours, le charbon est utilisé :

- pour obtenir un **substitut au gaz naturel**, GNS (gaz naturel de synthèse) : c'est la combustion directe du charbon dans la veine qui produit le GNS ;

- pour **produire du méthane** CH₄ : il est produit naturellement dans les veines par dégazage du charbon ;
- **en métallurgie** du fer et de l'acier (utilisation du coke pour l'obtention de fonte par exemple) ;
- et pour fabriquer des **carburants** et des fluides susceptibles d'être brûlés dans les chaudières (centrales thermiques par exemple) ou transformés par la **chimie** (vernis, savon, plastiques, solvants, tergal, explosifs, parfums, colorants, caoutchouc, cosmétique, lubrifiants, désinfectants, teintures, photographie, insecticides, goudrons, enduits, pharmacie ...)

3 Le gaz naturel

Le gaz naturel est le combustible fossile le moins polluant. Ce gaz n'a pas toujours été celui que l'on employait dans les foyers et l'industrie. Auparavant, on utilisait du gaz manufacturé, produit par distillation de la houille. Ce dernier fut remplacé par le gaz naturel car il était trop toxique et chargé de soufre.

3.1 Formation

Le gaz naturel s'est formé pendant des millions d'années à partir de la décomposition des matières organiques et végétales. Il est produit dans les mêmes poches que le pétrole.

On le trouve :

- **en gisement sec** accompagné parfois de gouttelettes de pétrole (celui-ci a fui ailleurs ou bien il ne s'est pas formé en quantité suffisante) ;
- ou **en gisement humide** c'est à dire associé au pétrole.

Le gaz brut, extrait du sous-sol, est chargé de propane, butane, gazoline naturelle et hydrogène sulfuré. Il est épuré pour obtenir du gaz naturel (composé d'environ 90 % de méthane). Il faut aussi souvent séparer les gouttes d'hydrocarbure liquide se trouvant en suspension dans le gaz. C'est le dégazolinage.

Le gaz ainsi obtenu est soit transporté par canalisations souterraines, les gazoducs, pour être utilisé directement, soit stocké dans des formations souterraines pour faire face à une éventuelle demande.

3.2 Prospection

La prospection est la recherche de gisements. Pour cela, on recherche les structures géologiques qui pourraient contenir éventuellement du gaz naturel.

La méthode généralement utilisée est une **méthode sismique** ; elle consiste à envoyer des ondes sonores depuis la surface (à l'aide d'un camion si on est sur un continent ou à l'aide d'un bateau si on se trouve en pleine mer). Ces ondes se réfléchissent sur les roches du sous-sol et sont recueillies en surface par le bateau ou par un second camion, enregistrées puis analysées. C'est l'analyse couche par couche qui permet de déterminer la nature du sous-sol donc les roches qui le composent. On peut ainsi supposer la présence éventuelle de gaz.

Il faut ensuite réaliser un forage pour s'assurer de sa présence. En pleine mer, on installe des plateformes de forage. Ces plateformes peuvent peser jusqu'à 50 000 tonnes soit environ 7 fois la masse de la Tour Eiffel et dépasser 200 mètres de hauteur.

On peut aussi supposer la présence du gaz naturel en réalisant un **carottage du sol**. Les carottes extraites renseignent sur la nature du sol, la hauteur des strates et les fossiles présents, paramètres qui conditionnent la présence du gaz naturel.

3.3 Transport

On dispose de deux moyens pour le transport du gaz naturel. On peut le transporter :

- **sous forme gazeuse par gazoduc** (conduites souterraines ou immergées) ;
- **ou sous forme liquéfiée par méthanier.**

Dans les *gazoducs*, le gaz naturel circule à haute pression à la vitesse de 30 km/h dans des canalisations pouvant atteindre 1,40 mètre de diamètre. Afin de détecter d'éventuelles fuites de gaz, on plante au dessus des conduites souterraines une végétation qui change d'aspect au contact du gaz.

Actuellement, le réseau mondial de gazoducs représente environ 900 000 km de canalisations. La France dispose du premier réseau de transport européen avec plus de 30 000 km de canalisations.

Ces gazoducs permettent d'apporter le gaz naturel directement aux habitations et aux industries. Après son extraction, le gaz est à une pression de 70 bars soit 35 fois celle d'un pneu. Pour pouvoir l'utiliser, on place sur le réseau des détendeurs qui ont pour rôle d'abaisser la pression jusqu' à 4 bars. Et cette pression va encore diminuer en arrivant chez le consommateur pour atteindre 20 mbar.

On peut aussi transporter le gaz naturel par *méthanier* si le lieu d'extraction et le lieu de consommation sont trop éloignés ou s'il n'existe pas de canalisation les reliant. Avec un méthanier, on peut transporter en un voyage la consommation d'une ville de 200 000 habitants.

Ce mode de transport est beaucoup plus compliqué que le précédent car pour pouvoir transporter le gaz naturel par bateau, il faut le liquéfier au port d'embarquement afin de réduire son volume. Pour cela, on utilise le procédé inventé par le physicien et chimiste anglais, Michael Faraday : on abaisse sa température à -160°C. Le gaz naturel alors à l'état liquide occupe un volume 600 fois plus petit. Après déchargement, on vaporise le gaz naturel liquéfié GNL et on le renvoie dans le réseau de gazoducs ou bien on le stocke.

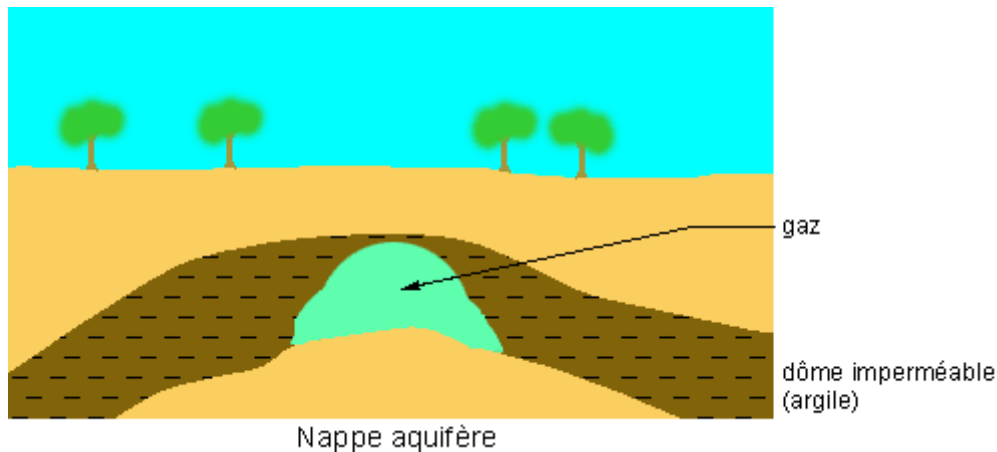
Actuellement, 25 % des échanges internationaux sont assurés par les méthaniers.

3.4 Stockage

Les réservoirs sont généralement remplis l'été pour faire face à l'augmentation de consommation l'hiver ou à une éventuelle impossibilité d'approvisionnement. La France possède 15 réservoirs de deux types :

- en nappe aquifère ;
- ou en couche de sel.

Une **nappe aquifère** est une réalisation artificielle d'un gisement de gaz dans une roche poreuse et perméable (calcaire ou grès) entre -300 et -1200 mètres. Cette roche est surmontée d'une couche de terrain imperméable (argile en général) afin de stopper l'ascension du gaz naturel. La forme des nappes est le plus souvent un dôme.



Le plus grand réservoir du monde est un réservoir en nappe aquifère. Il se trouve à Chémery, dans le Loir-et-Cher et a une capacité de 7 milliards de m³ soit plus que la quantité de gaz encore contenu dans le gisement de Lacq.

La seconde possibilité pour stocker le gaz naturel est le stockage en couche de sel. Pour cela, on réalise des cavités en forme de poire en dissolvant le sel du sous-sol par injection d'eau douce. Le gaz naturel est stocké sous pression élevée dans ces cavités.

3.5 Réserves et développement

Les réserves mondiales actuelles représentent plus de 70 ans de consommation au rythme actuel de consommation soit plus de 150 000 milliards de m³. De plus, chaque année, on trouve plus de gaz naturel que l'on en consomme.

Aujourd'hui, encore 3 % des quantités de gaz trouvées sont brûlées à la torche dans les pays pétroliers éloignés des grands centres de consommation, faute de débouché.

En France, le plus grand gisement est celui de Lacq avec plus de 5 milliards de m³. Sa contenance initiale était de 200 milliards de m³. Dans les années soixantes, il répondait à 30 % des besoins nationaux. Il est désormais quasiment épuisé. C'est pourquoi, la France importe environ 95 % du gaz naturel qu'elle consomme, principalement de Norvège, de Russie, d'Algérie et des Pays-Bas.

Le gaz naturel représente en France 14,7 % de la consommation énergétique et dessert près de 75 % de la population. Sa consommation est en constante progression dans le monde. En 2000, il représentait 24 % de l'énergie mondiale consommée contre 10 % en 1950.

3.6 Propriétés du gaz naturel

Le gaz naturel est un gaz incolore, inflammable et inodore quand on l'extrait du sous-sol. Afin de pouvoir le détecter en cas de fuite, on lui ajoute une odeur caractéristique.

C'est le combustible fossile le plus "propre". Sa combustion ne génère ni poussière, ni suie, ni fumée. Elle dégage du dioxyde de carbone CO₂, de la vapeur d'eau, un peu d'oxyde d'azote NO_x et très peu de dioxyde de soufre SO₂.

Pour une production d'énergie équivalente, il dégage :

- deux fois moins d'oxyde d'azote que le fioul et le charbon ;
- 30 % de moins de dioxyde de carbone que le fioul lourd (fioul non catalysé) ;
- et 45 % de moins de dioxyde de carbone que le charbon.

3.7 Utilisations

Le gaz naturel est présent quotidiennement. Il est utilisé :

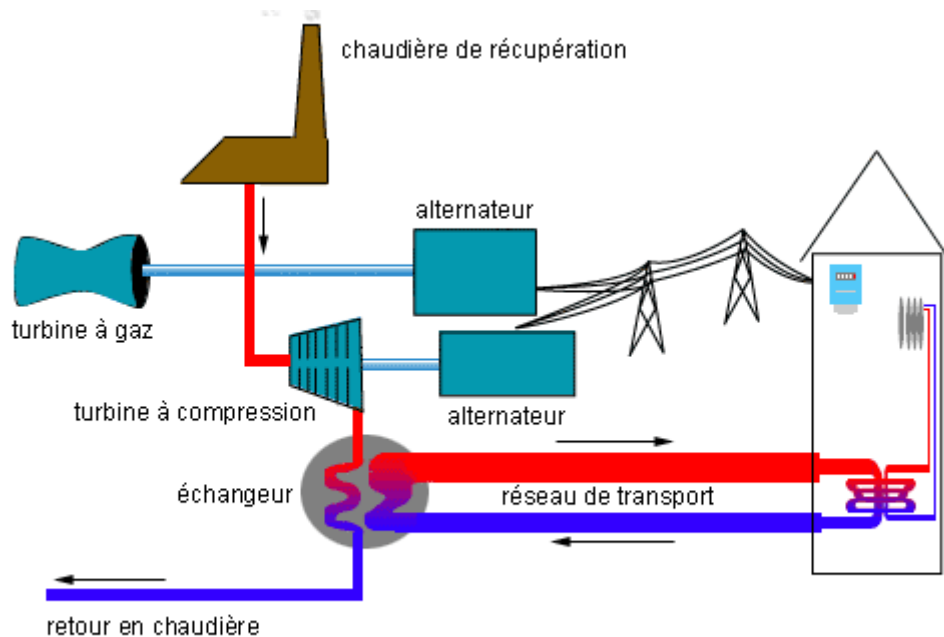
- dans la **cuisson** : cuisinière, cuisine de restaurant, cantine scolaire, four, four de boulangerie, table de cuisson ;
- pour faire **chauffer l'eau** : l'eau est chauffée par un chauffe-eau au gaz naturel ;
- pour **se chauffer** : l'eau qui circule dans les radiateurs est chauffée par une chaudière au gaz naturel (actuellement, un français sur deux est chauffé au gaz naturel dans son habitation principale) ;
- pour **produire de la chaleur** : séchage des peintures dans l'industrie automobile, chauffage des bains de teinture pour le textile, thermoformage des plastiques, chauffage du verre, des métaux ...
- pour **climatiser** : bureaux, centres commerciaux, hôtellerie de chaîne ;
- dans la **cogénération** : chauffage de l'eau des piscines, chauffages des hôpitaux, chauffage des serres, papeterie, agroalimentaire...
- pour les **transports avec le GNV** (Gaz Naturel pour Véhicule) : transport collectif (bus), bennes à ordures...
- pour **produire de l'électricité** dans les centrales thermiques à flamme.

Il y a trois nouvelles utilisations du gaz naturel : la cogénération, la climatisation et le GNV.

3.8 La cogénération

La cogénération est la production simultanée d'énergie mécanique et de chaleur à partir d'un combustible tel que le gaz naturel. L'énergie mécanique produite peut être utilisée pour produire de l'électricité ou pour entraîner des machines tournantes.

Dans une centrale thermique à flamme, c'est la vapeur d'eau sous pression qui produit l'électricité en entraînant des turbines. Cette vapeur d'eau doit être refroidie afin de continuer son cycle. Pour cela, on utilise généralement un circuit de refroidissement qui dissipe et donc perd la chaleur. Avec la cogénération, on utilise cette chaleur pour le chauffage urbain, par exemple. Le circuit de refroidissement est composé de longs tuyaux qui rejoignent les habitations. Il y a alors échange de chaleur entre ces tuyaux et le circuit de chauffage des habitations. Après cet échange, l'eau du circuit de refroidissement retourne à la centrale thermique où elle est à nouveau réchauffée puis repart vers les habitations et ainsi de suite.



Utilisation de la chaleur et de l'électricité

La cogénération permet d'exploiter au maximum le potentiel énergétique du combustible. Son rendement est de 80 à 90 % contre environ 45 % pour une utilisation classique. De plus, elle permet de diminuer la quantité de gaz à effet de serre par quantité d'énergie utilisée.

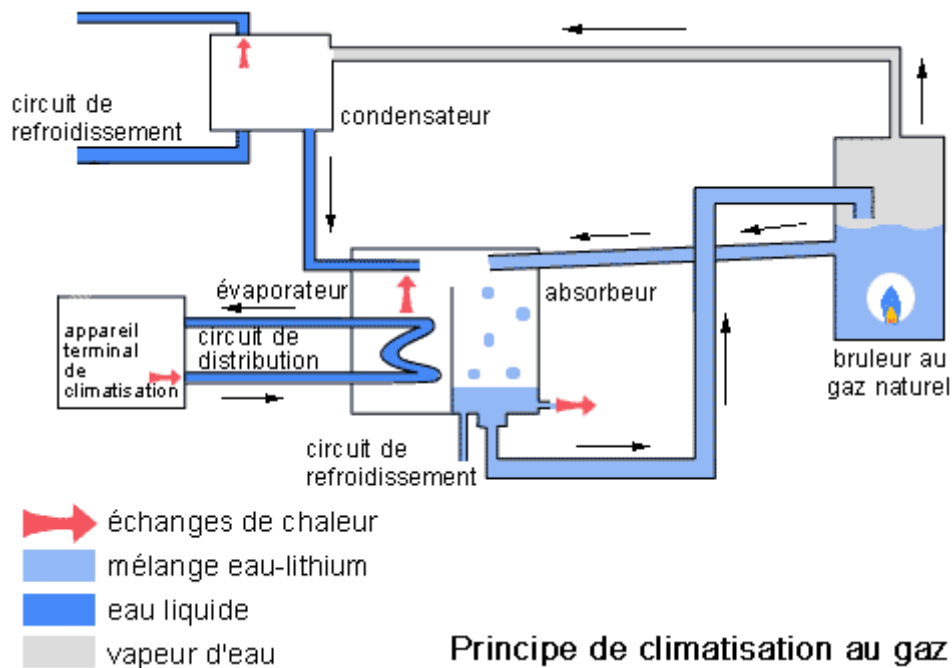
3.9 La climatisation

La climatisation au gaz naturel équipe des bâtiments tels que les bureaux, les hôtels, les hôpitaux, les salles de spectacles... Le principe de la climatisation au gaz naturel peut paraître surprenant puisqu'on utilise une flamme pour produire du froid.

En effet, on chauffe, à l'aide du gaz naturel, une solution d'eau et de bromure de lithium. L'eau se vaporise et est envoyée vers un condensateur sous l'effet de la pression (70 mbar au dessus de la pression atmosphérique). Celle régnant dans l'absorbeur est de 7 mbar au dessus de la pression atmosphérique. Par conséquent, cette différence de pression entre le générateur et l'absorbeur crée un courant d'air du générateur vers l'absorbeur qui entraîne les particules de bromure de lithium vers l'absorbeur.

La vapeur d'eau arrive au condensateur où elle redevient liquide par échange de chaleur avec un circuit de refroidissement (tour ou circuit d'eau) puis rejoint l'évaporateur en passant par une fente. Cette fente a pour effet de diminuer la pression. Ainsi l'eau atteint l'évaporateur avec une pression de 7 mbars.

Dans l'évaporateur, l'eau capte la chaleur du circuit de distribution et se vaporise tandis que l'eau du circuit de distribution se refroidit. Cette vapeur d'eau est alors absorbée par les particules de bromure de lithium. Ce mélange eau-bromure de lithium est refroidi par le circuit de refroidissement et réinjectée dans le générateur.



On peut aussi utiliser comme fluide réfrigérant un mélange ammoniac/eau. Dans ce mélange, c'est l'ammoniac qui circule dans le circuit via le condenseur et l'évaporateur et qui est récupéré dans l'absorbeur par l'eau.

3.10 Le GNV (gaz naturel pour véhicule)

Le GNV est un cousin du GPL (gaz de pétrole liquéfié qui est en fait du butane). Le GNV est du gaz naturel stocké dans les véhicules sous forme gazeuse à une pression minimale de 200 bars. Cette pression élevée permet de réduire le volume occupé par le gaz donc de stocker plus de gaz dans un même volume et de faciliter l'arrivée du gaz au moteur. Il sert de carburant au même titre que l'essence ou le gazole.

L'avantage de l'utilisation du gaz naturel comme carburant est qu'il produit moins de gaz à effet de serre; par exemple, les émissions de CO₂ sont réduites de 25 % par rapport aux véhicules à essence et de 10 % par rapport aux véhicules diesel. L'inconvénient de ce carburant est le danger lié à la forte pression de stockage du gaz.

4 Le pétrole

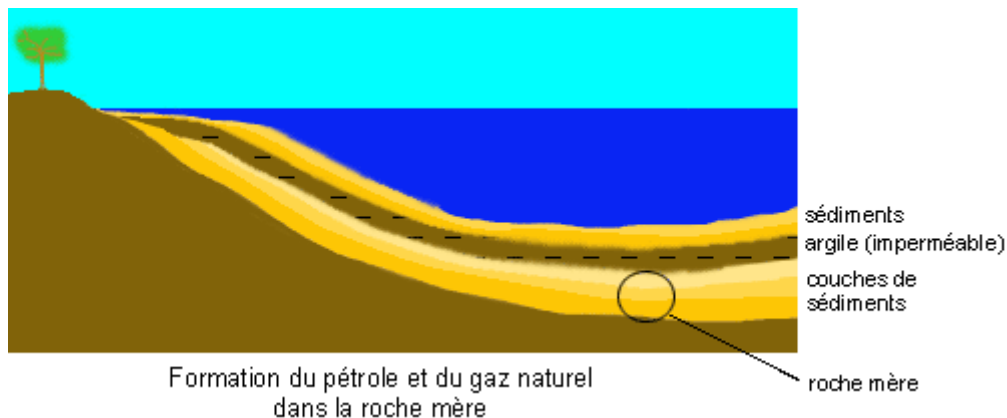
Le pétrole tient son nom du latin "petra" qui signifie pierre et "oleum", huile. C'est une huile minérale naturelle très foncée et plus dense que l'eau douce.

4.1 Formation

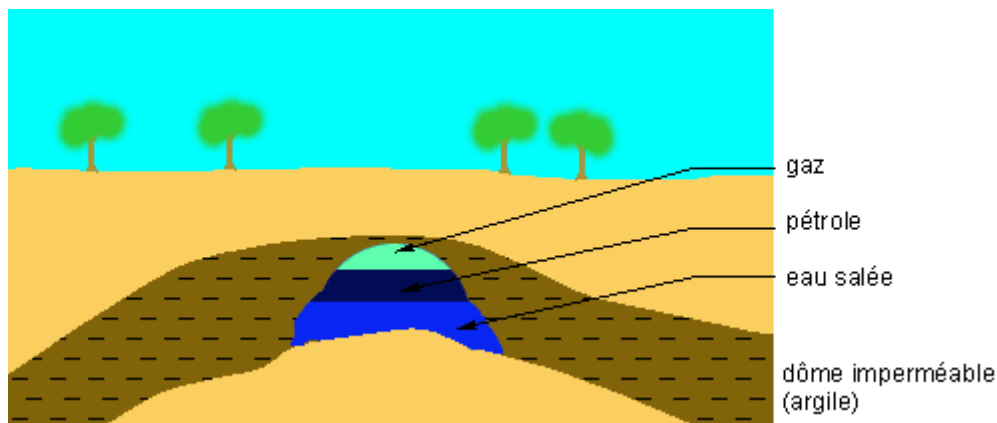
Le pétrole que nous utilisons actuellement est le résultat d'une lente dégradation au fond des océans du plancton (sédiments organiques et minéraux). Elle a débuté il y a des dizaines voire des centaines de millions d'années.

Ce plancton s'est déposé par couche, entraînant la formation de strates. Ces strates de plancton, qui sont le siège de la formation du pétrole (mais aussi du gaz naturel), sont souvent séparés par une épaisseur de dépôt argileux qui constitue alors une roche imperméable. La strate dans laquelle va avoir lieu la dégradation du plancton est appelée roche mère. La roche mère est donc en quelque sorte une éponge dans laquelle se forme, après fossilisation

des sédiments, du pétrole et du gaz naturel bruts. L'eau de mer qui était dans les sédiments n'est pas modifiée et reste dans la roche mère.



Le pétrole, le gaz et l'eau de mer vont ensuite remonter, par pression lithostatique (pression exercée par le poids des couches supérieures), le long d'une fracturation jusqu'à ce qu'ils rencontrent une roche imperméable (argile en général). L'eau de mer est plus dense que le pétrole et le pétrole est plus dense que le gaz ; c'est pourquoi l'eau de mer est située sous le pétrole qui est lui même situé sous le gaz.



Ils vont ainsi rester coincés dans une strate appelée roche magasin ou réservoir (du fait de son rôle) jusqu'à ce que l'homme les trouve et les exploite.

Depuis le début de la formation de ces gisements, il y a plusieurs millions d'années, les océans se sont retirés par endroits, laissant ainsi certains d'entre eux dans des terres émergées. C'est le cas du Bassin Parisien par exemple. En général, un gisement s'étale sur quelques mètres à plusieurs centaines de mètres en hauteur et peut atteindre plusieurs dizaines de kilomètres en longueur (c'est le cas au Moyen-Orient).

Un gisement peut aussi comprendre plusieurs champs pétrolifères, c'est-à-dire plusieurs accumulations de pétrole et de gaz naturel séparées par des couches de roches imperméables. Toutefois, la majeure partie du pétrole et du gaz naturel ne rencontre jamais de roche imperméable et remonte librement à la surface de la terre ou au fond des océans.

4.2 Prospection

La prospection du pétrole est la recherche de gisement de pétrole. Elle s'effectue comme pour le gaz naturel par une **étude sismique** le plus souvent. Par cette étude, on déduit la nature des

roches composant le sous-sol et ainsi, on a une idée sur la possibilité de présence de pétrole (et à fortiori de gaz naturel). Pour vérifier cette existence, on effectue un forage.

On peut aussi supposer la présence du pétrole en réalisant un **carottage du sol**. Les carottes extraites renseignent sur la nature du sol, la hauteur des strates et les fossiles présents, paramètres qui conditionnent la présence de pétrole.

4.3 Transport

Une fois extrait des gisements, le pétrole est transporté par oléoducs ou par pétroliers.

Les **oléoducs ou pipelines** sont des tuyaux de diamètres assez importants dans lesquels le pétrole circule jusqu'aux grands centres de consommation. C'est l'équivalent des gazoducs pour le gaz naturel.

Les **pétroliers ou tankers** sont utilisés pour transporter le pétrole par voie maritime. C'est l'équivalent des méthaniers pour le gaz naturel. Le premier navire utilisé pour transporter du pétrole était un bâtiment allemand en 1886.

Pour le livrer aux utilisateurs, on dispose de différents moyens. Pour les petites quantités (fuel pour chauffage des particuliers, carburants des stations-service), le pétrole est transporté par camions-citernes. Contrairement aux gazoducs, les oléoducs ne vont généralement pas directement aux points de consommation. Ce sont des camions qui assurent cette livraison.

Le pétrole est transporté par oléoducs, caboteurs (bateaux qui naviguent le long des côtes et spécialement entre les ports d'un même pays), wagons-citernes et gros camions-citernes pour livrer les gros consommateurs tels que les usines, les aéroports, les centrales thermiques...

4.4 Raffinage

Le pétrole brut est un mélange de milliers d'hydrocarbures et de résidus d'eau et de solides. Le raffinage consiste à :

- extraire l'eau et les solides du pétrole brut ;
- et à séparer et traiter les hydrocarbures.

Il se fait en trois étapes : la distillation, le craquage thermique et le craquage catalytique.

La distillation

C'est la première étape du raffinage. Cette étape permet de **séparer le pétrole brut en "coupes d'hydrocarbures"**. En effet, le pétrole brut est composé de différents hydrocarbures aux propriétés assez voisines pour que l'on puisse leur donner la même utilisation (kérosène, asphalte, bitume...).

Pour cela, on chauffe le pétrole brut à une température inférieure à celle de l'ébullition de l'eau et à celle de vaporisation des solides mais supérieure à celles d'évaporation des hydrocarbures. Ainsi, l'eau salée et les solides restent en bas de la cuve de distillation tandis que les hydrocarbures se vaporisent et se séparent en différentes couches (chaque couche est caractéristique d'une température d'évaporation donc d'un hydrocarbure).

Le craquage thermique

Le craquage thermique n'est pas apparu dès le début de l'exploitation du pétrole. Il fut inventé en 1925 par un français, Emile Houdry. Il consiste à chauffer sous pression et à des températures élevées les résidus lourds (hydrocarbures composés de grosses molécules du pétrole brut). Son exploitation industrielle ne commença qu'en 1936.

Le but de cette étape est de **fournir plus de carburant** à partir du pétrole. En effet, l'industrie automobile crée rapidement des besoins et il faut trouver des sources d'approvisionnement au plus vite. Avec ce procédé de craquage thermique, on peut transformer certains résidus lourds de la distillation en produits plus légers comme l'essence ou le gazole.

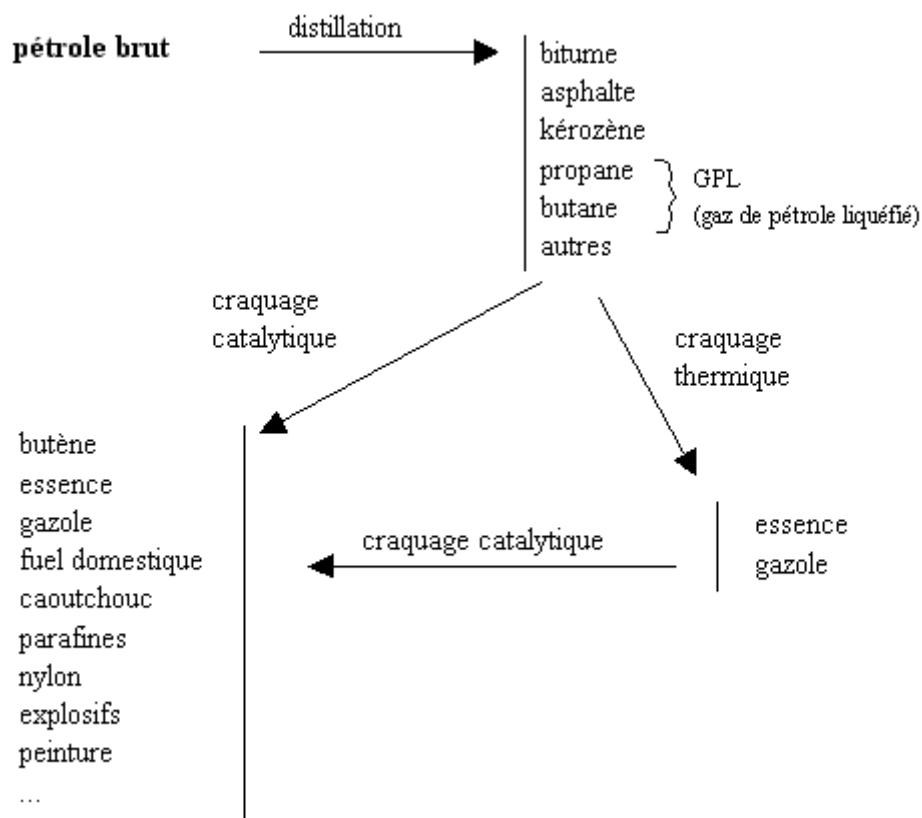
Le craquage catalytique

Le craquage catalytique fut inventé en 1949. Il s'effectue à haute température (500°C) et à l'aide d'un catalyseur (substance qui déclenche la réaction par sa présence). Il consiste également à "casser" en petites molécules les produits lourds afin d'obtenir des produits légers tels que :

- des gaz (le butène par exemple) ;
- de l'essence ;
- du gazole.

Grâce à ce craquage, on **améliore la qualité de l'essence** et on obtient des caractéristiques supérieures (carburant pour moteurs antidétonation et produits chimiques particuliers).

Des opérations similaires (alkylation, isomérisation, refomation catalytique) conduisent à la fabrication des matières premières de la pétrochimie : alcools, détergents, caoutchouc synthétique, glycérides, engrais, solvants, nylon, plastiques, paraffines, peintures, polyesters, styrène, polystyrène, teintures, matériaux isolants, explosifs, additifs alimentaires, substrats destinés à la fabrication des médicaments...



4.5 Stockage et réserve

Le stockage permet d'assurer la régularité de l'approvisionnement des consommateurs en dépit des variations saisonnières. Le pétrole n'est pas stocké en sous sol comme le gaz naturel mais en surface, dans des réservoirs spécifiques.

Quant aux réserves actuelles de pétrole prouvées, elles sont relativement minimes étant donné que l'on consomme plus que ce que l'on découvre. En effet, elles seraient de 50 milliards de tonnes environ, ce qui correspond à une autonomie de 50 ans, au rythme de consommation actuelle.

5 Les centrales thermiques à flamme (fioul, gaz naturel, charbon)

Les centrales thermiques à flamme sont aussi appelées centrales thermiques classiques. **Elles utilisent comme combustible le fioul, le gaz naturel et le charbon.** Elles représentent, en Europe, 40 % de l'équipement et fournissent actuellement le complément nécessaire pour ajuster la production à la consommation. Elles servent également en cas de vagues de froid ou en cas de demande inattendue de consommation. En cas d'urgence, douze minutes suffisent pour commencer à produire de l'électricité pour les plus performantes.

En 1973, ces centrales assuraient 55 % de la production française d'électricité. Suite au choc pétrolier de cette même année, le gouvernement d'alors a décidé d'accélérer la conversion du parc des centrales électriques au nucléaire. Actuellement, les centrales thermiques classiques n'assurent plus que 8 % de la production française d'électricité.

5.1 Fonctionnement

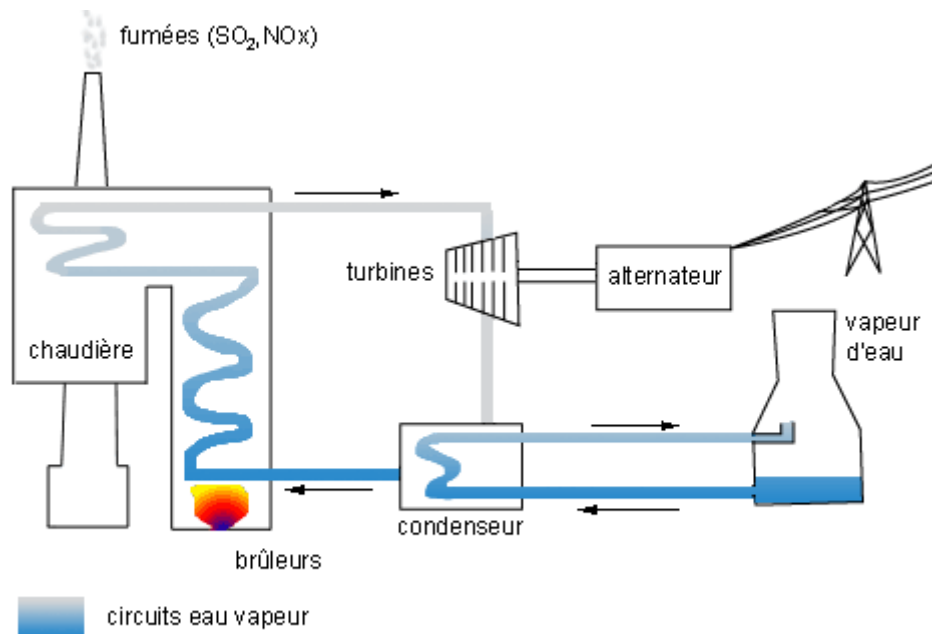
Les centrales thermiques classiques produisent de l'électricité en entraînant des turbines à l'aide de vapeur d'eau sous pression. Tout d'abord, un combustible est brûlé dans les brûleurs de la chaudière. La température au niveau de ces brûleurs est de 1500°C environ. Cette combustion produit de la chaleur qui a pour conséquence :

- d'**augmenter la pression** à 170 bars environ (pression régnant dans la chaudière) ;
- de **vaporiser l'eau** circulant dans le circuit autour de 560°C (du fait de la pression élevée, la température d'ébullition de l'eau n'est plus à 100°C mais autour de 560°C).

Cette vapeur entraîne alors successivement trois turbines qui entraînent à leur tour un alternateur. C'est cet alternateur qui produit l'électricité. Du fait de ce passage dans les turbines, la pression de la vapeur d'eau a diminué jusqu'à 50 mbars environ.

La vapeur passe ensuite dans un condenseur où elle est refroidie pour redevenir liquide. Le condenseur est un circuit d'eau très souvent reliée à une tour de refroidissement. La vapeur d'eau échange de sa chaleur avec l'eau du circuit de refroidissement et redevient liquide tandis que l'eau du circuit de refroidissement passe dans la tour de refroidissement où elle est refroidie par des courants d'air ascendant puis repart vers le condenseur. On peut aussi utiliser ce circuit de refroidissement pour faire de la cogénération.

Il y a donc deux circuits fermés : le circuit de refroidissement et le circuit de circulation qui actionne les turbines.



Chaudière thermique à flamme

5.2 Les combustibles

Il existe trois types de combustible :

- solide : le charbon ;
- liquide : le fioul ;
- gazeux : gaz naturel ou gaz des hauts fourneaux (gaz qui sort par l'ouverture supérieure des hauts fourneaux au cours de la fusion de la fonte).

Chaque chaudière ne peut en utiliser qu'un seul car chaque combustible exige un brûleur particulier.

Dans les chaudières utilisant le **charbon**, il faut d'abord transformer celui-ci en fines particules dans un broyeur, puis mélanger ces particules à de l'air réchauffé avant d'introduire le tout sous pression dans le brûleur.

Pour le **fioul**, il faut le liquéfier en le chauffant avant de l'injecter dans les brûleurs car il est trop visqueux pour être utilisé tel quel.

Quant au **gaz**, aucun traitement n'est nécessaire. Il est directement envoyé dans les brûleurs. Jusqu'en 1979, le fioul était le principal combustible utilisé dans les centrales thermiques à flamme mais les deux chocs pétroliers lui ont valu sa destitution au profit du charbon. Actuellement, en puissance installée (puissance que peuvent développer les centrales), le charbon représente 48,3 %, le fioul, 46 % et le gaz, 5,7 %.

5.3 Les fumées émises

La combustion dans la **chaudière à charbon** produit des cendres. Elles sont récupérées à plus de 99 % dans des dépoussiéreurs électrostatiques et sont utilisées dans la fabrication des ciments et des revêtements routiers ou encore comme adjuvant dans les bétons pour les améliorer.

5.4 Les gaz émis

La combustion dans la chaudière produit des gaz qui sont rejetés dans l'atmosphère. Parmi ces gaz, on trouve de la vapeur d'eau, du dioxyde de carbone CO₂, du dioxyde de soufre SO₂, des oxydes d'azote NO_x ...

NOM	CAUSES	EFFETS
Gaz carbonique CO ₂	combustion respiration...	effet de serre
monoxyde de carbone CO	chaudière mal réglée moteurs à essence et à gazole...	maladie cardio-vasculaire intoxication mortelle si aération insuffisante
Oxydes d'azote NO _x	secteur du transport centrales thermique à flamme (3 % des émissions de NO _x) : combustion du charbon et du fioul	effet de serre pluies acides pollution photochimique (ozone...)
Dioxyde de soufre SO ₂	secteurs des transports, industriel, agricole, tertiaire, résidentiel centrales thermiques à flamme (7 % des émissions de SO ₂) : combustion du charbon et du fioul	pluies acides irritation respiratoire

Le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote étant nocifs et entre autre responsables des pluies acides, ils sont retraités afin de réduire leur émission.

5.5 Réduction des émissions de dioxyde de soufre

Les centrales françaises disposent de trois techniques pour réduire les émissions de dioxyde de soufre dans l'atmosphère.

La première méthode, dont le rendement est de 90 %, consiste à laver les gaz par **désulfurisation**. Avant d'atteindre la cheminée, les fumées sont refroidies puis lavées dans un brouillard d'eau saturée en calcaire qui forme, par réaction, du gypse, communément appelé pierre à plâtre (le gypse est d'ailleurs revendu aux industries plâtrière). Les gaz ainsi lavés sont alors réchauffés et renvoyés à la cheminée. Ils ne contiennent plus que 10 % du dioxyde de soufre initial.

La seconde méthode, dont le rendement est de 50 %, consiste à **injecter du calcaire ou de la chaux dans le foyer de la chaudière**. Le soufre réagit pour former du sulfate de calcium qui est capturé par les dépoussiéreurs électrostatiques avec les cendres volantes.

La troisième méthode concerne uniquement les centrales fonctionnant au fioul. Elle consiste à **diminuer la teneur en soufre du fioul**. En général, le fioul contient 3 % de soufre. Après traitement, il en contient moins de 1 %. Les rejets de dioxyde de soufre sont donc divisés par trois par rapport à un fioul non traité.

5.6 Réduction des émissions d'oxydes d'azote

Pour réduire les émissions des oxydes d'azote, on peut effectuer :

- une dénitrification primaire ;
- ou bien une dénitrification avale.

Lors d'une **dénitrification primaire**, on étage la combustion et on réduit la température de flamme. Au départ, on abaisse la température de flamme en réduisant la quantité d'air amenée aux brûleurs et, uniquement pour les chaudières fonctionnant au fioul, en réduisant la taille des gouttelettes de combustible par mélange à des gouttelettes d'eau.

Ainsi, on retarde la combustion. Pour achever et étager la combustion, on réinjecte de l'air chaud plus haut dans la flamme.

La **dénitrification avale** est une dénitrification qui a lieu en aval de la chambre de combustion. Elle a pour rôle de décomposer les oxydes d'azote NO_x en azote N et en oxygène O.

5.7 Le rendement

Au début du XX^e siècle, le rendement des centrales thermiques à flamme était de 13 %. Après la seconde guerre mondiale, il atteint 38 %. Cette progression continue et à la fin des années 80, il est de 45 %.

Le recours au thermique devrait probablement augmenter dans les années à venir puisque le coût du charbon tend à diminuer, le rendement tend à augmenter et les émissions de fumées sont constamment réduites.