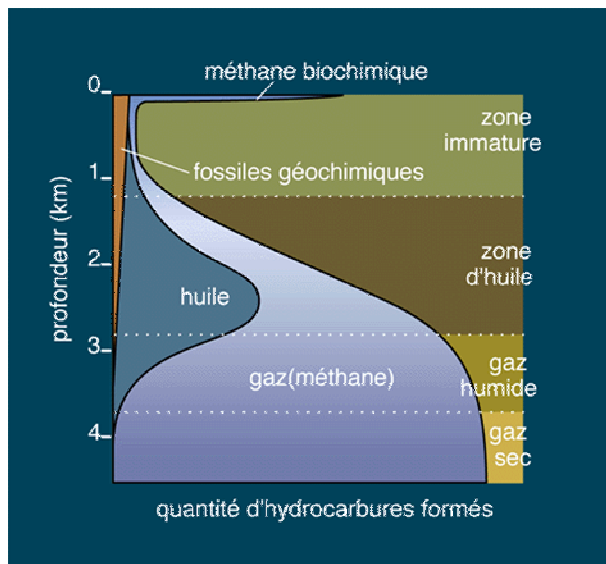


## Le pétrole

Flambée des prix du baril, naufrage de l' *Erika* , pollution atmosphérique, il est régulièrement accusé de tous les maux. Production et exploitation du pétrole devraient pourtant encore augmenter au cours des trente ans à venir. Portrait d'un incompris bien utile.



Depuis quand utilise-t-on du pétrole ?

« Allons ! Faisons des briques, cuisons-les au feu, et ils eurent des briques au lieu des pierres et le bitume leur servit de mortier. » Extraite de la Bible (Genèse, IX), cette phrase relate la construction de la tour de Babel. Le bitume, le gaz naturel et le pétrole font partie de la même famille de substances naturelles. Pétrole vient du latin médiéval *petroleum* , qui signifie « huile de pierre ». Il est connu depuis l'Antiquité : plusieurs civilisations du Moyen-Orient l'ont utilisé, ainsi que le gaz naturel, dans les cérémonies religieuses et en médecine pour soigner les maladies de la peau, la lèpre, les hémorragies, les maux de dents, les rhumatismes, les maladies respiratoires, etc. Il a également été utilisé dans l'art militaire. Les Chinois, les Birmans, puis les Romains ont fait appel au pétrole pour l'éclairage. Les Romains ont été les premiers à lubrifier les roues de leurs chars avec du pétrole. Quant au bitume, comme en témoigne l'extrait de la Bible, il sert depuis longtemps dans la fabrication des briques et pour assurer l'étanchéité des constructions et des bateaux.

Il y a plus de 2 000 ans, les Chinois creusaient déjà, à l'aide de bambous, des puits de mille mètres de profondeur dans le Chan Si pour y chercher « l'eau qui peut brûler » , le pétrole, et « l'air qui sent

*mauvais* », le gaz. Le forage du colonel Drake, qui, en 1859, a fait jaillir le pétrole en Pennsylvanie, a été retenu pour marquer l'entrée du pétrole dans l'ère industrielle.

Comment le pétrole se forme-t-il ?

Depuis le milieu du XIXe siècle et jusque peu après la Seconde Guerre mondiale, du pétrole artificiel a été fabriqué industriellement. Le principe était de faire cuire des schistes bitumineux (des roches sédimentaires) à une température de 500 °C, en l'absence d'oxygène. Les réactions physico-chimiques provoquées par ces hautes températures transforment la matière organique qui abonde dans ces roches en pétrole. Ce processus était semblable à la genèse naturelle du pétrole, dont le mécanisme était pourtant alors inconnu. Plusieurs théories coexistaient : Mendeleïev avait prêché pour une origine minérale, le pétrole se formant à partir d'oxyde de carbone et d'hydrogène, et Pasteur soutenait que le pétrole était un produit d'un métabolisme bactérien. Ce n'est qu'en 1937 que le chercheur russe Verdnasky émit l'hypothèse que le pétrole provient de la transformation de sédiments organiques sous l'action de la température et de la pression. L'observation, l'expérimentation et la modélisation semblent aujourd'hui confirmer cette théorie.

Dans la nature, le processus se déroule sur plusieurs dizaines de millions d'années. L'écorce terrestre constitue le « four » naturel : à des profondeurs de deux à dix kilomètres règnent des températures comprises entre 50 et 300 °C. La transformation s'opère sur une substance organique nommée kérogène, qui résulte d'une lente dégradation, par des bactéries anaérobies\*, de débris organiques. Les débris organiques proviennent de phytoplancton, de bactéries et parfois de plantes supérieures terrestres (le zooplancton et les animaux supérieurs ne jouent qu'un rôle mineur) qui se sont accumulés dans les sédiments argileux des fonds lacustres ou des mers fermées, puis qui ont été enfouis.

Dans le « four », le kérogène subit un craquage thermique : les grandes molécules organiques sont rompues en molécules plus petites d'hydrocarbures\* et, dans une moindre proportion, en diverses molécules complexes, dont le mélange est appelé pétrole. Il est plus juste de parler de pétroles au pluriel, dans la mesure où un pétrole est défini par sa composition, et que celle-ci est différente dans chaque gisement. Elle dépend de la nature du kérogène et des conditions de température qui ont accompagné sa formation : plus celles-ci sont sévères, plus les molécules formées sont petites.

Lorsqu'il reste moins de cinq atomes de carbone sur une molécule, on obtient du gaz naturel. Ainsi ce sont très souvent des mélanges de gaz et d'huile que l'on trouve dans les gisements de pétrole.

#### Comment trouve-t-on le pétrole ?

La répartition du pétrole à la surface du Globe est très irrégulière. Les bassins sédimentaires dans lesquels il a pu se former sont recensés, mais il est impossible de savoir *a priori* où les gisements se trouvent. Les régions abritant le plus de pétrole sont la province arabo-persique, le Venezuela, la Sibérie occidentale, le golfe du Mexique, la mer du Nord, le bassin nord de la mer Caspienne et le golfe de Guinée.

Les principales méthodes de prospection sont des méthodes géophysiques. Elles doivent tout particulièrement leur essor, au cours des années 1920 et 1930, à deux frères français : Conrad et Marcel Schlumberger. Leurs travaux sur la mesure des propriétés électriques des roches sont à la base de la démarche scientifique de prospection pétrolière.

Les deux guerres mondiales ont elles aussi contribué à l'exploration sismique moderne. La première par le développement, en Allemagne, de méthodes acoustiques capables de détecter l'artillerie ennemie et la seconde, par celui de méthodes de traitement du signal et de calculateurs numériques.

Les progrès technologiques ont permis de trouver du pétrole à des profondeurs toujours plus importantes : les puits les plus profonds atteignaient 1 800 mètres en 1918 et 3 000 mètres en 1930. Mais l'on s'accorde à dire que le facteur déterminant à cette époque était la chance !

Aujourd'hui, la « sismique-réflexion » permet de dresser une carte des structures du sous-sol. Elle consiste à provoquer un ébranlement de surface qui engendre des ondes acoustiques, puis à analyser les ondes réfléchies au contact de changements de structure géologique. La gravimétrie, qui mesure les variations du champ de pesanteur, est utilisée en complément.

Ces méthodes ne sont pas suffisantes pour déterminer précisément l'endroit où le forage doit être effectué. Les géologues croisent les « images » du sous-sol obtenues par les géophysiciens avec leurs connaissances sur l'histoire des bassins sédimentaires. En plus de leurs études d'affleurement, ils bénéficient, depuis la Première Guerre mondiale, durant laquelle sont apparues les techniques de surveillance aérienne, d'observations à grande

échelle, rendues plus importantes encore depuis le début de l'observation satellitaire.

Les géochimistes évaluent quant à eux la quantité et la composition probables de pétrole dans la structure. Des modèles numériques de la formation du pétrole au cours de l'évolution des bassins sédimentaires ont été développés au fur et à mesure des progrès de l'informatique. Enfin, des modèles virtuels en trois dimensions des réservoirs sont aujourd'hui disponibles sur Internet.

Environ 30 000 gisements ont été répertoriés jusqu'à présent, mais 60 % des réserves se trouvent dans 1 % d'entre eux. En Arabie saoudite, Ghawar, le plus grand gisement du monde, contient quinze milliards de tonnes de pétrole.

#### Comment extrait-on le pétrole d'un gisement ?

Les gisements exploités se trouvent à des profondeurs variant entre 100 mètres et 7 000 mètres. La plupart demeurent « on-shore », c'est-à-dire dans des bassins dont la surface est désormais émergée. En 1897, la California Liquid Asphalt voyait s'épuiser le gisement qu'elle exploitait à Summerland, en Californie. Après avoir foré de plus en plus près du rivage pour suivre la nappe, c'est tout naturellement qu'elle a réalisé le premier forage sous-marin. Actuellement, on exploite des gisements « off-shore », c'est-à-dire dont la surface du bassin est à moins de 200 mètres de profondeur comme en mer du Nord ; des gisements « deep off-shore » comme au large de l'Angola ou au Brésil où la profondeur atteint 1 000 mètres ; et bientôt peut-être des gisements « ultra deep off-shore », dont la surface du bassin serait comprise entre 1 000 mètres et 2 000 mètres de profondeur d'eau.

Au début du XXe siècle, la technique de forage dite Rotary, où un trépan en rotation creuse les roches, a remplacé le forage traditionnel par percussion. Cette technique a connu un développement significatif en 1909 avec l'invention du trépan conique, puis en 1952 avec l'apparition d'un matériau ultrarésistant : le carbure de tungstène. Les forages en mer sont réalisés soit à partir d'installations fixes, les plates-formes, soit, depuis le développement du positionnement par satellite, à partir de bateaux à positionnement dynamique dans le cas des « deep off-shore ».

Si la pression dans le gisement est suffisante, le pétrole jaillit de lui-même à la surface. Autrement on procède à un pompage. Pour entretenir la pression du pétrole, on injecte dans le réservoir de l'eau ou du gaz. Pour les pétroles très denses et visqueux, on

utilise des procédés de récupération dits « thermiques ». L'un d'eux consiste par exemple à injecter de la vapeur d'eau dans le gisement, ce qui a pour effet de réchauffer le pétrole, et donc d'en diminuer la viscosité.

#### A quoi le pétrole nous sert-il ?

Brut\*, à quelques rares exceptions près, le pétrole ne sert à rien. En revanche, ses dérivés vont du gaz jusqu'au fioul lourd des centrales thermiques et des installations industrielles, en passant par l'essence automobile, le gazole et le fioul domestique. En poussant sa transformation encore plus loin, le pétrole sert à la fabrication de diverses matières plastiques ou de molécules d'intérêt pharmaceutique. Le point commun entre tous ces produits ? Ils sont constitués de molécules à squelette carboné. Le pétrole n'est finalement rien d'autre qu'une immense source d'hydrocarbures.

Selon sa provenance, il est composé en proportions diverses de molécules de différentes tailles. Pour chaque application, il est nécessaire d'isoler la fraction de molécules de taille adéquate.

La séparation des fractions s'opère dans les tours de distillation des raffineries. Au cours des dernières années, la demande en produits légers a considérablement augmenté pour satisfaire, entre autres, les besoins croissants en carburants automobiles. Aussi, pour adapter l'offre à la demande, il ne suffit pas de séparer les fractions : des étapes de craquage supplémentaires sont nécessaires pour « casser » les grosses molécules en molécules plus petites.

A l'échelle mondiale, 52 % du pétrole sont destinés aux carburants, et 35 % à des combustibles pour le chauffage domestique, l'autoconsommation des raffineries, la production d'électricité, etc. Dans les 13 % restants, 6 % servent à des usages non énergétiques divers : lubrifiants, bitumes routiers et produits d'étanchéité par exemple. Le reste est destiné à la fabrication des charges pétrochimiques à partir desquelles seront produits les intermédiaires de synthèse. Il s'agit de molécules simples (éthylène, propylène, butadiènes, xylène...) qui constituent, entre autres, le point de départ de la fabrication des plastiques et des molécules complexes de certains médicaments.

#### En quoi le pétrole est-il toxique ?

Le pétrole contient des milliards de molécules dont des molécules cancérigènes telles que le benzène ou des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Des études toxicologiques montrent cependant qu'elles ne sont dangereuses qu'en cas de forte

exposition pendant de nombreuses années. L'usage répété des solvants pour nettoyer des objets contaminés par les goudrons peut en revanche faciliter la pénétration de ces molécules dans la peau. C'est pourquoi il est recommandé aux nettoyeurs de marées noires de porter des gants. Le risque *via* la consommation de coquillages ou de poissons contaminés existe, mais il est négligeable pour la simple raison que le mauvais goût de tels produits en dissuade la consommation bien avant le seuil de toxicité. Cela n'est cependant plus vrai si les molécules toxiques sont métabolisées par les organismes marins. Il est du ressort de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA) de définir les quantités tolérables. Le grand danger d'un événement tel qu'une marée noire est en fait l'engluement et l'asphyxie des animaux qui s'y trouvent piégés, ainsi que la privation d'oxygène pour les micro-organismes qui peuplent les sols.

Si le pétrole brut est un produit peu dangereux en soi, la combustion de certains de ses dérivés libère toute une variété de produits toxiques et polluants. La mise au point de carburants propres et de catalyseurs a toutefois permis de limiter considérablement ces rejets au cours des dernières années.

Le gaz carbonique issu de la combustion du pétrole pose par ailleurs des questions d'ordre environnemental. La combustion d'une tonne de pétrole en produit près de trois tonnes. Ce sont donc environ dix milliards de tonnes de gaz carbonique provenant du pétrole qui sont expulsés chaque année dans l'atmosphère.

#### Comment combattre une marée noire ?

Il n'existe pas de méthode réellement efficace. Actuellement, on peut dire que la meilleure est de les éviter ! Lorsqu'une marée noire se produit, le pétrole reste près de la surface : non miscible dans l'eau, il est également de densité inférieure et donc ne coule pas. Les hydrocarbures les plus légers s'évaporent dans l'atmosphère, tandis qu'une autre partie est progressivement consommée par des bactéries. Le ramassage en mer des autres fractions est préférable, mais souvent difficile en raison des conditions atmosphériques. A condition d'intervenir quasi immédiatement, deux méthodes complémentaires peuvent être utilisées : l'usage de produits biodégradables qui fragmentent la nappe, et celui de produits minéraux denses qui, en s'associant au pétrole, le font couler. Mais la plus grande partie du pétrole ne peut être ainsi éliminée.

Le résidu est oxydé par l'oxygène de l'air et partiellement polymérisé. Des goudrons bruns et visqueux se forment alors, semblables à ceux résultant de l'altération d'un gisement de pétrole porté à la surface. Ils durcissent avec le temps et forment des galets de plus en plus solides et parfois difficiles à distinguer à première vue des galets ordinaires. L'érosion naturelle par l'eau finit par les faire disparaître, mais ce processus prend plusieurs années. Les procédés chimiques sont des remèdes pires que le mal. En effet, leurs effets toxicologiques sont plus importants que ceux du pétrole. Des savons et huiles biodégradables existent, mais sont extrêmement coûteux.

La pollution par le pétrole ne se limite pas aux marées noires, ni aux effets du nettoyage des cuves des pétroliers en mer (le « dégazage »). Une partie provient également de nombreuses petites pollutions : nettoyage en mer des cuves de bateaux autres que les pétroliers, cuves à mazout des particuliers mal entretenues, fuites de pompes à essence, vidanges sauvages, etc. Cependant, aucune étude n'a permis jusqu'à présent de quantifier cette pollution diffuse.

Quel est le vrai prix du pétrole ?

Les coûts techniques de production du pétrole sont très variables. Les plus faibles sont obtenus dans les gisements géants et supergéants du Moyen-Orient : jusqu'à 0,5 dollar du baril\*. Dans les gisements de mer du Nord situés en off-shore profond, le prix de production du pétrole se situe entre 8 et 12 dollars. Dans ce coût technique, la part la plus importante revient au forage.

Le prix auquel se vend le pétrole est un prix de marché, qui, en Europe, se négocie à Londres, par référence à un brut de composition connue produit en mer du Nord : le Brent. Ce prix suit une loi de l'offre et de la demande dont les grands acteurs sont les pays producteurs, représentés par leurs compagnies nationales, les grands pays consommateurs, et les grandes compagnies internationales. Les compagnies internationales ont en réalité peu de poids, car elles ne contrôlent que 18 % environ de la production mondiale. Les principaux pays producteurs, à l'exception des Etats-Unis, de la Russie, du Mexique, de la Norvège et du Royaume-Uni, sont organisés en un cartel : l'organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP). L'OPEP détient plus des trois quarts des réserves « prouvées », et peut donc aisément réguler l'offre. La mauvaise anticipation du ralentissement de la demande provoquée par la crise asiatique, conjuguée à des difficultés de coordination des membres de l'OPEP qui ont mis une

quantité considérable de pétrole sur le marché, a entraîné, en 1999, une chute des prix jusqu'à environ 10 dollars le baril. Depuis, en un an, après un programme de réduction de l'offre, le prix du baril a été multiplié par trois.

Y aura-t-il encore du pétrole en 2050 ?

Le pétrole est une ressource renouvelable : il se forme en permanence dans les bassins sédimentaires. Seulement, le rythme de consommation actuel, 3,5 milliards de tonnes par an, est environ dix mille fois supérieur au rythme de renouvellement.

Le pétrole que nous consommons s'est formé, pour l'essentiel, entre le début de l'ère primaire et la fin du tertiaire (soit environ 500 à 5 millions d'années avant notre ère). On estime la quantité déjà sortie de terre à quelque 110 milliards de tonnes. L'évaluation du volume qui pourra être extrait dans le futur est un exercice fort incertain. D'une part, il est difficile d'estimer les quantités d'huile dans les gisements identifiés et, d'autre part, les réserves (c'est-à-dire la part qui pourra réellement être extraite) dépendent du taux de récupération. Il ne dépassait pas en moyenne 20 % il y a une vingtaine d'années et est actuellement d'environ 35 %. Il pourra encore être augmenté dans le futur, mais au moyen de techniques coûteuses, peut-être incompatibles avec le prix de vente du pétrole.

Les estimations des réserves restant à découvrir varient du simple au triple selon les experts ! L'une d'entre elles, menée par l'Institut français du pétrole, fait état de 145 milliards de tonnes de réserves « prouvées » (chiffre multiplié par deux depuis le début des années 1980), 80 à 100 milliards de tonnes de réserves « à découvrir », et de 140 milliards de tonnes provenant du progrès des techniques de récupération. Si l'augmentation de la consommation annuelle se maintient, ces ressources pourraient être épuisées vers 2060. Mais les experts « pessimistes » estiment les réserves moitiées inférieures aux chiffres que nous avons avancés.

Le scénario le plus souvent décrit pour le XXI<sup>e</sup> siècle est le suivant : la production de pétrole devrait croître à un rythme moyen d'environ 1,5 % l'an jusque vers 2020 ou 2030. Elle serait alors d'environ cinq milliards de tonnes par an. Elle décroîtrait ensuite jusqu'à moins d'un milliard de tonnes par an à la fin du siècle, le pétrole étant progressivement remplacé par d'autres sources d'énergie : nucléaire, solaire ou fossiles, comme le gaz naturel ou le charbon.

Mathieu Nowak