

INTRODUCTION

Le pétrole est un combustible fossile dont la formation date d'environ 20 à 350 millions d'années. Aussi appelé « huile » ou « pétrole brut », il provient de la décomposition d'organismes marins (principalement de plancton) accumulés dans des bassins sédimentaires, au fond des océans, des lacs et des deltas.

La transformation de la matière organique en pétrole s'échelonne sur des dizaines de millions d'années, en passant par une substance intermédiaire appelée kérogène. Le pétrole produit peut ensuite se trouver piégé dans des formations géologiques particulières, appelées « roches-réservoirs » constituant les gisements pétrolifères « conventionnels » exploités de nos jours.

De la matière organique au pétrole

L'accumulation de matière organique dans les sédiments

La matière organique est issue d'êtres vivants (plancton, végétaux, animaux, etc.). Composée pour l'essentiel de carbone, d'hydrogène, d'azote et d'oxygène, elle forme ce que l'on appelle « la biomasse ». Cette biomasse est généralement détruite par des bactéries mais une faible partie (moins de 1 %) se dépose au fond de milieux aquatiques.

Dans cet environnement pauvre en oxygène, la matière organique est en partie préservée. Elle se mélange ensuite à des matières minérales (particules d'argiles ou sables fins), créant ainsi des boues de sédimentation. Celles-ci

s'accumulent par couches successives sur des dizaines voire des centaines de mètres.

La formation du kérogène

Au début de la sédimentation jusqu'à une profondeur d'environ 1 000 mètres sous le plancher océanique, la matière organique contenue dans les boues de sédimentation subit une transformation sous l'action de bactéries anaérobies (vivant en milieu privé d'oxygène). Elles en extraient l'oxygène et l'azote, aboutissant à la formation de kérogène. Il s'agit d'un composé solide disséminé sous la forme de filets au sein des sédiments, contenant surtout du carbone et de l'hydrogène.

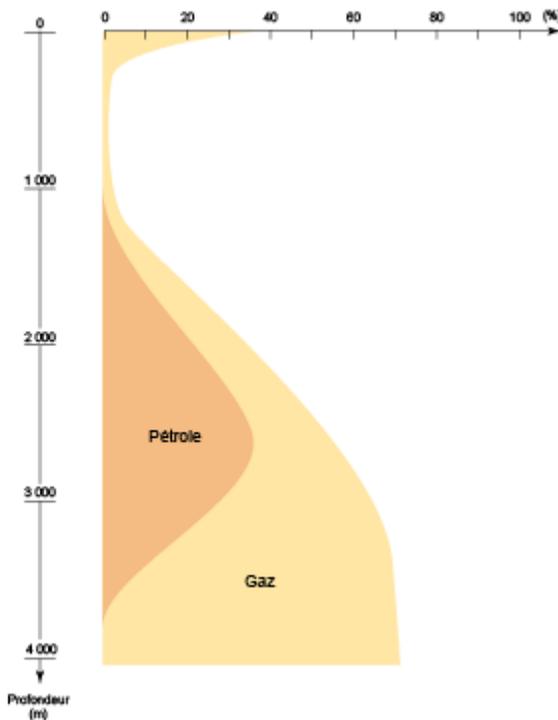
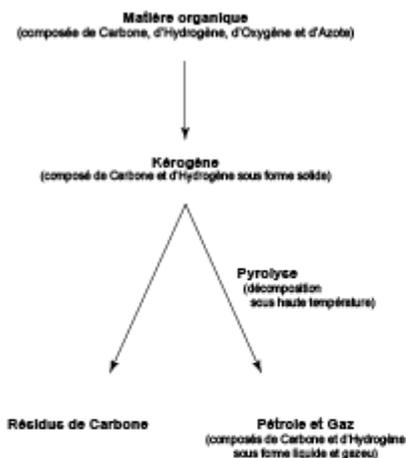
La maturation du kérogène en pétrole

Par leurs propres masses et à la suite de leur couverture par de nouveaux dépôts, les couches sédimentaires s'enfoncent naturellement dans la croûte terrestre. Au cours de ce phénomène et au-delà de 1 000 mètres de profondeur sous le plancher océanique, les résidus minéraux des boues de sédimentation se solidifient en une roche relativement imperméable. Appelée « roche-mère », cette formation piège le kérogène.

La roche-mère subit également un enfouissement. Le kérogène est donc soumis à des pressions et des températures géothermiques de plus en plus élevées, augmentant d'environ 3°C tous les 100 mètres. À une température supérieure à 60°C, ce qui correspond à un enfouissement d'environ 1 500 à 2 000 mètres, le kérogène subit un craquage thermique, appelé également « pyrolyse ». Cette transformation chimique élimine l'azote et l'oxygène résiduels pour laisser de l'eau, du CO₂ et des hydrocarbures, molécules exclusivement composées de carbone et d'hydrogène. Le mélange d'hydrocarbures liquides est appelé pétrole brut.

Des hydrocarbures sous forme gazeuse (méthane) sont également générés lors de la transformation du kérogène. La proportion de gaz au sein de la roche-mère s'avère d'autant plus élevée que la durée et la température de transformation du kérogène sont importantes :

- entre 60° et 120°C (entre 2 000 à 3 000 mètres de profondeur), le kérogène produit principalement du pétrole et une faible quantité de gaz ;
- à partir de 120°C (soit 3 000 mètres), la production de pétrole à partir du kérogène devient insignifiante. Les hydrocarbures liquides présents dans la roche-mère sont à leur tour transformés en molécules de gaz sous l'effet de la température et de la pression ;
- au-delà de 150°C (soit un enfouissement supérieur à 4 000 mètres), il ne se forme plus que du gaz.



Types d'hydrocarbures générés à partir du kérogène en fonction de la profondeur d'enfouissement (©Connaissance des Énergies, d'après le département de géologie de l'université Laval)

Le cas des schistes bitumineux

Lorsque la roche-mère n'est pas suffisamment enfouie, le kérogène qu'elle contient ne subit pas de pyrolyse. Appelé schiste bitumineux, il s'agit d'un combustible fossile arrêté au stade d'« avant-pétrole » dans le processus de maturation du kérogène.

Par un procédé industriel, les schistes bitumineux peuvent être transformés en pétrole en subissant une pyrolyse (à 500° C pour accélérer la maturation du kérogène).

Formation des gisements de pétrole

Le pétrole est une matière première facilement exploitable lorsqu'il se concentre dans un réservoir par des phénomènes de migration.

Migration primaire

Le pétrole brut est initialement contenu dans la roche-mère, compacte et imperméable. Par un mécanisme encore mal élucidé (certainement lié à une augmentation de pression dans la roche-mère au cours de son enfouissement) l'eau, le pétrole et le gaz issus du kérogène peuvent être expulsés de leur formation d'origine, migrant alors éventuellement vers une future roche-réservoir.

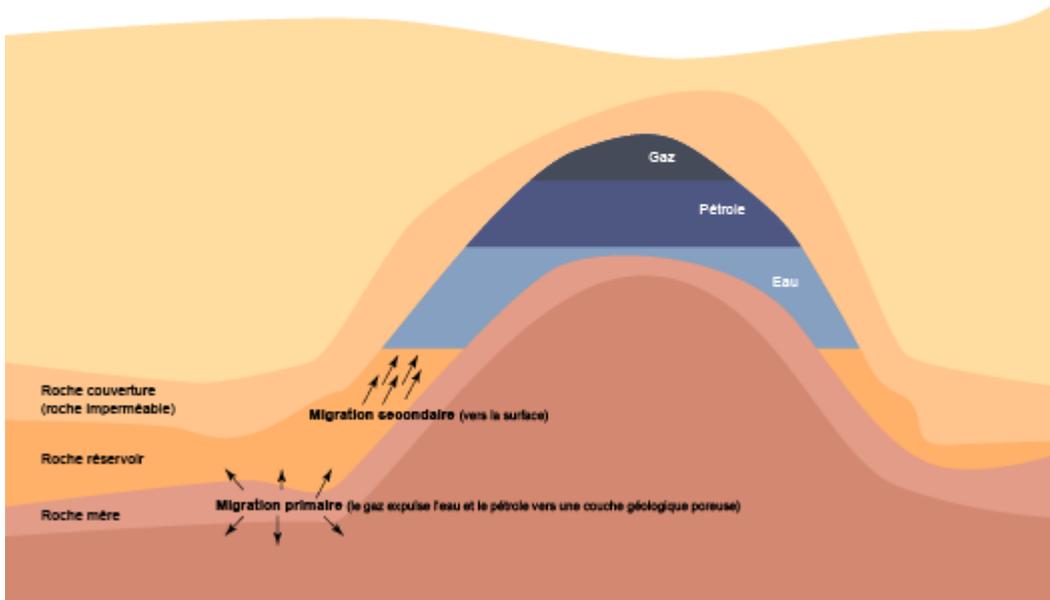
Migration secondaire

De faible densité, le pétrole expulsé (mêlé à de l'eau et du gaz dissous) a tendance à remonter jusqu'à la surface de la Terre. Il s'échappe très lentement à travers les couches sédimentaires perméables qui jouxtent la roche-mère :

- en général, la migration secondaire du pétrole n'est pas arrêtée par un obstacle. Le pétrole finit par atteindre les premiers mètres du sol, où il est dégradé en bitumes sous l'action de bactéries. Les combustibles fossiles produits sont alors des pétroles dits « lourds » ou « extra-lourds » et des sables bitumineux. Ils peuvent être utilisés comme des

indices de surface pour détecter un bassin sédimentaire susceptible de contenir du pétrole, lors de prospections réalisées par l'industrie pétrolière ;

- parfois, la migration du pétrole brut vers la surface est empêchée par une formation géologique imperméable, comme une couche de sel par exemple, appelée « roche-couverture » (également qualifiée de « roche imperméable »). Une accumulation de pétrole associé à de l'eau et du gaz se forme dans la couche perméable sous-jacente créant ainsi une roche-réservoir en dessous de la roche-couverture. Dans ce réservoir poreux, le gaz s'accumule au-dessus du pétrole brut, lequel se retrouve au-dessus de l'eau en raison des densités respectives de ces produits (le gaz naturel est plus léger que le pétrole, lui-même plus léger que l'eau).



Migrations primaire et secondaire du pétrole conduisant à la formation d'un gisement (©Connaissance des Énergies)

Seule une partie du pétrole brut est concentrée dans les roches-réservoirs. En effet, 10 à 40% des hydrocarbures restent piégés dans la roche-mère, de manière disséminée. Le pétrole de roche-mère est alors plus connu sous le nom d'« huile de schiste » ou de « pétrole de schiste ». Moins facile à extraire que le pétrole sous forme de gisements, il requiert des techniques d'exploitation particulières comme la fracturation hydraulique (des techniques alternatives sont également à l'étude).

Les différents « pièges à pétrole »

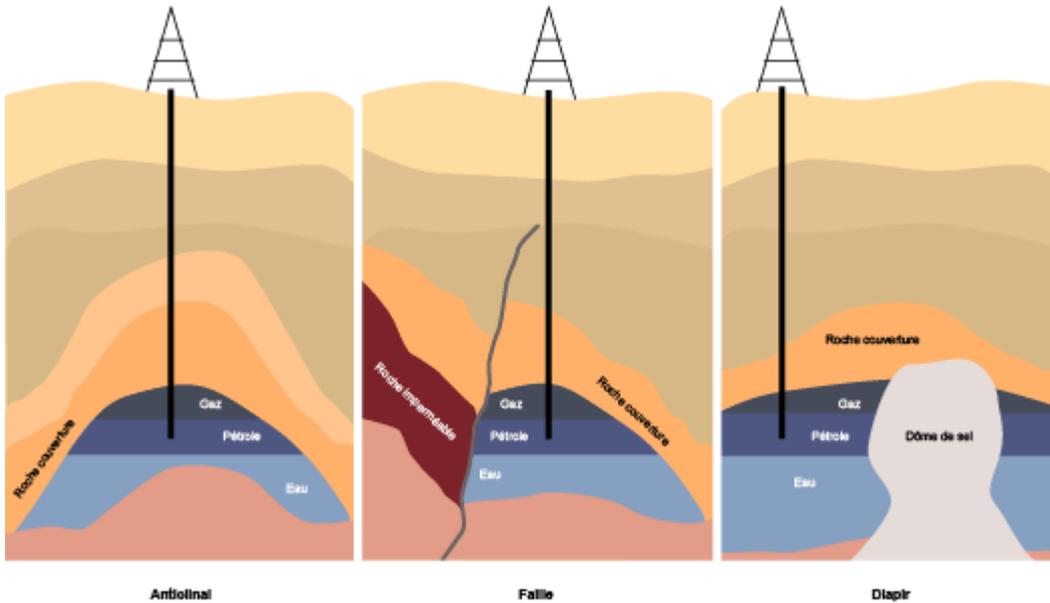
L'ensemble roche-réservoir/roche-couverture forme une structure dite de « piège à pétrole ». Plusieurs types de pièges sont décrits, principalement en fonction de la déformation des roches au cours de phénomènes géologiques.

Pièges structuraux

- Le plus courant est le piège **anticlinal**, structure où les roches ont été plissées en forme de voûte par les mouvements terrestres. Pour le géologue, la présence d'un anticlinal est un indice en faveur de la présence de gisements. En effet, environ 80% des gisements de pétrole sont de ce type.
- Lors de la création d'une **faille**, un bloc terrestre peut également glisser vers le haut ou vers le bas au niveau de la cassure. Une couche imperméable peut alors venir obstruer une couche perméable et arrêter le pétrole dans sa migration.

Pièges stratigraphiques

- Les **dômes de sel (appelés diapirs)** sont des masses de sel formées en profondeur qui remontent sous l'effet de la température et de la pression. En s'élevant, elles traversent des couches perméables et subdivisent les réserves de pétrole. En surplombant les roches-réservoirs, les dômes de sel imperméables constituent des roches-couvertures.



Les principaux types de pièges à pétrole (©Connaissance des Énergies)

Les mouvements terrestres sont susceptibles de modifier les gisements formés. Le pétrole peut être enfoui plus profondément : il subit alors à nouveau un craquage thermique et donne alors un gisement de gaz naturel. Les gisements de pétrole peuvent également fuir. Dans cette situation, le pétrole migre vers la surface ou vers un autre piège.

Classification du pétrole

Tout processus de formation est unique : un gisement de pétrole contient un mélange d'hydrocarbures qui le caractérise selon l'histoire géologique de la zone où il s'est développé.

La provenance géographique est donc un des critères de classification du pétrole (Golfe Persique, mer du Nord, Venezuela, Nigéria, etc.). Toutefois, pour établir des comparaisons entre différents sites, d'autres critères existent.

Les plus importants sont les mesures de la viscosité et de la teneur en soufre du pétrole brut.

- Selon la viscosité, quatre types de gisements sont définis (léger, moyen, lourd ou extra-lourd et bitume). Plus le pétrole brut est visqueux, plus il est « lourd » :
- **les gisements de pétrole léger** : l'aspect du pétrole brut se rapproche de celui du gazole. Les gisements sahariens présentent cette caractéristique ;
- **les gisements de pétrole moyen** : la viscosité du pétrole brut est intermédiaire entre le pétrole léger et le pétrole lourd. Il s'agit par exemple des gisements du Moyen-Orient ;
- **les gisements de pétrole lourd ou extra-lourd** : le pétrole brut ne coule pratiquement pas à température ambiante. Les gisements d'Amérique du sud en sont un exemple ;
- **les gisements de bitume** : le pétrole brut est très visqueux voire solide à température ambiante. Les principales réserves de ce type se trouvent au Canada.

Cette propriété est importante pour déterminer la rentabilité de l'exploitation. En effet, un pétrole peu visqueux ou léger est plus facile à extraire et à traiter qu'un pétrole lourd.

- La teneur en soufre distingue le pétrole brut soit en doux (faible teneur en soufre) soit en sulfuré dans le cas contraire. Des gisements de pétrole doux sont notamment trouvés en Afrique, ceux de pétrole sulfuré en Amérique du Nord.

Cette mesure est utilisée pour la phase de raffinage du pétrole, une faible teneur en soufre la favorisant.

La prospection du pétrole et du gaz

La prospection du pétrole et du gaz nécessite des connaissances en géographie, en géologie et en géophysique. Le pétrole brut est présent, en

général, dans des formations géologiques particulières, telles que les anticlinaux, les pièges de faille et les dômes de sel, que l'on trouve sous divers types de terrains et dans des climats très divers. Après avoir choisi une zone intéressante, on procède à de nombreux levés géophysiques et à des mesures afin d'obtenir une évaluation précise des formations souterraines et, notamment, aux levés suivants:

Levés magnétométriques. Des magnétomètres suspendus à des avions mesurent les variations du champ magnétique terrestre afin de localiser les formations de roches sédimentaires dont le magnétisme est généralement inférieur à celui d'autres roches.

Levés photogrammétriques aériens . Des photographies prises d'avion et avec des appareils spéciaux permettent d'obtenir des vues de la Terre en trois dimensions, qui sont utilisées pour localiser les formations terrestres susceptibles de recéler des gisements de pétrole et de gaz.

Levés gravimétriques . Comme la présence d'énormes masses de roche dense augmente la force de la pesanteur, on utilise des gravimètres qui permettent d'obtenir des données sur les formations sous-jacentes en mesurant les infimes variations de la pesanteur.

Levés sismiques . Les études sismiques fournissent des informations sur les caractéristiques générales de la structure souterraine (voir figure 75.5). On obtient les mesures à partir d'ondes de choc produites par l'explosion de charges placées dans des trous de petit diamètre, à l'aide d'appareils sur terre et dans l'eau qui produisent des vibrations ou des percussions, et par des décharges sous-marines d'air comprimé. Le temps qui s'écoule entre le début de l'onde de choc et le retour de l'écho sert à déterminer la profondeur des couches réfléchissantes. L'utilisation des ordinateurs à grande puissance pour produire des images en trois dimensions améliore considérablement l'évaluation des résultats des essais sismiques.

Figure 75.5 Opérations sismiques en Arabie saoudite

Levés radiographiques . La radiographie consiste à utiliser des ondes radio pour obtenir des informations semblables à celles fournies par les levés sismiques.

Levés stratigraphiques . L'échantillonnage stratigraphique consiste à analyser des carottes de roches souterraines afin d'y rechercher des traces de gaz et de pétrole. Une longueur de roche cylindrique, appelée carotte, est découpée par un trépan creux et poussée vers le haut dans un tube (carottier) attaché au trépan. Le carottier est ramené à la surface et la carotte est retirée pour être analysée.

Lorsque les levés et les mesures indiquent la présence de formations ou de strates susceptibles de contenir du pétrole, on effectue des sondages d'exploration pour déterminer s'il y a ou non du pétrole ou du gaz et, dans l'affirmative, si celui-ci est extractible et exploitable en quantités commercialement viables.

NOTES ET REFERENCES

BROCORENS P., Pic du Pétrole et Pic du Gaz, Service de Chimie des Matériaux Nouveaux (UMH), février 2007- Encyclopédie Universalis-

WAUTELET M., Vivement 2050 ! Comment nous vivrons (peut-être) demain, L'Harmattan, Paris, 2007- WILGENBUS D., Les énergies fossiles, La main à la pâte, Société française de physique, 2001- <http://www.aspo.be->

[http://www.fossil.energy.gov/education/energylessons/oil/-](http://www.fossil.energy.gov/education/energylessons/oil/)

http://www.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/intro.pt/planete_terre.html-

<http://informazout.avalonnet.com-> [http://www.ping.be/at_home/-](http://www.ping.be/at_home/)

<http://www.sololiya.fr-> <http://www.wikipedia.orgp.> 2: P.-A. Bourque et Université Laval, 1 997-2004 ;p. 3 (hg): U.S. Department of Energy ;p. 3 (bg): LawrenceLivermore National L

