

# ANNEXE 4

## LES THÉORIES SUR L'ORIGINE DU PÉTROLE

### 4.1 Les théories abiotiques

Ces théories se basent sur l'existence d'hydrocarbures dans le manteau. Elles postulent que lors de leur remontée vers la croûte terrestre, avec les conditions variables de la pression  $P$  et de la température  $T$ , ils se seraient transformés en GN et pétrole. Les hydrocarbures du manteau proviendraient des espèces chimiques présentes au moment de la formation de la Terre et du reste du système solaire, il y a plus de 4,6 milliards d'années<sup>[1]</sup>. D'après l'étude des atmosphères des autres planètes, de la matière interstellaire et d'après les théories les mieux établies sur la formation de l'Univers, la matière originelle contenait beaucoup de molécules hydrocarbonées,  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $NH_3$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $CHN...$  formant avec d'autres ( $He$ ,  $N_2$ ,  $Ne$ ,  $Ar...$ ) un gaz primaire. La composition chimique actuelle de l'Univers contiendrait en masse 70% d' $H$  et 0,01 à 0,02% de  $C$ . Lors de l'accrétion de la matière pour former les planètes, ces molécules, du fait de leur faible poids, ont migré vers la périphérie, voire diffusé dans l'espace pour les plus légères ( $H_2$ ,  $He$ ,  $CH_4$ ). En outre, dans le cas des planètes les plus proches du soleil comme la Terre, des éruptions solaires violentes auraient soufflé leur atmosphère primaire. L'atmosphère se serait reformée par dégazage progressif du sous-sol des molécules plus lourdes. Ceci explique la différence d'atmosphères, en composition et quantité, entre les planètes telluriques et les autres (de Jupiter jusqu'à Pluton). Les premières ont une atmosphère peu importante et composée surtout de molécules gazeuses comme  $CO_2$  et  $N_2$  qui ont diffusé moins vite vers la périphérie et l'espace. La Terre présente la particularité d'avoir  $O_2$  du fait de la vie. Même si une très grande partie des espèces hydrocarbonées ont été emportées dans l'espace, les théories abiotiques estiment qu'il en est resté suffisamment dans le manteau pour que ce dernier puisse continuer à émettre du méthane (par le volcanisme, les dorsales océaniques, les failles internes...) et peut-être des molécules plus complexes comme le pétrole.

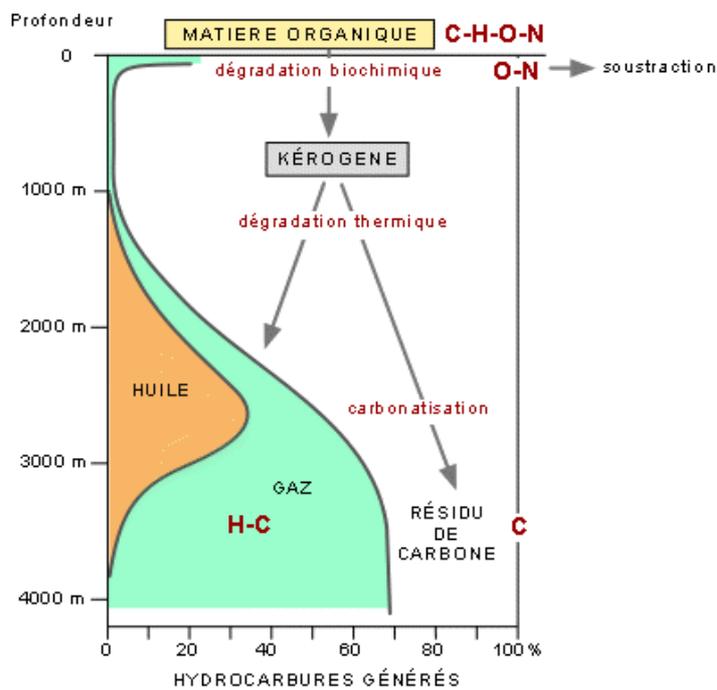
A ce niveau de connaissance, il existe différentes théories abiotiques, certaines d'ailleurs ne prétendant pas expliquer les champs de pétrole et de GN<sup>[2]</sup>. L'astrophysicien T. Gold a défendu dans les années 80 une version qui expliquait les gisements actuels et prédisait même qu'ils ne représentaient qu'une petite partie du potentiel réel. Le méthane, en provenance du manteau, se serait en partie synthétisé en pétrole. Ce dernier se serait accumulé dans les roches issues du magma du manteau et solidifiées dans la croûte, ou roches ignées (ce sont surtout des roches granitiques ou plutoniques qui n'atteignent pas la surface de la croûte). Une petite partie alimenterait les roches sédimentaires par des failles. La formation des bassins sédimentaires ne joue donc aucun rôle. Des expériences de laboratoire ont montré que  $CH_4$  est stable aux conditions régnant dans le manteau à plus de 100 km de la surface.

Une théorie plus récente est partie de l'observation d'émissions de méthane près des dorsales océaniques. Ce méthane résulte de la réaction de l'eau de mer avec des matériaux carbonés du manteau. Le manteau possède en effet du carbone, ce que montre l'existence de diamant, cristal de carbone, dans des roches provenant du manteau (le diamant nécessite aussi de fortes pressions pour se former). Quelques géologues suggèrent un mécanisme hydrothermal analogue sous les continents. L'eau y aurait pu être amenée par subduction d'une plaque océanique. D'autres théories, à l'inverse, envisagent

des réactions entre la matière organique carbonée et des matériaux hydrogénés du manteau.

A la différence de la théorie organique, il n'existe donc pas (ou pas encore ?) une théorie unifiée qui justifierait une origine complètement abiotique aux hydrocarbures naturels exploités par l'homme. Le débat ne porte pas sur l'existence de molécules hydrocarbonées qui n'aient pas été transformées par un cycle biologique sur terre. La plupart des scientifiques pensent que de telles molécules existent. Mais très peu sont convaincus que ces molécules aient pu former directement ou par synthèse chimique le pétrole voire le charbon que nous connaissons.

## 4.2 La théorie organique



**Figure 4-1** : diagramme décrivant schématiquement la transformation de la matière organique en pétrole, GN, charbon au cours de son enfouissement dans la croûte terrestre à travers les âges géologiques. © P-A Bourque Uni. Laval Québec.

La théorie organique explique l'origine du pétrole à partir de l'enfouissement progressif de roches sédimentaires contenant des débris organiques d'origine surtout marine ou lacustre (planctons, algues...). Ces roches se sont trouvées suffisamment enfouies et ont été suffisamment scellées pour que la matière organique en son sein se transforme en pétrole, en GN et aussi en houille sous l'action de la pression P et de la température T à ces profondeurs. Ces roches sont appelées roches-mères ou roches-sources. Malgré leur forte imperméabilité, elles ont libéré pétrole et GN qui se sont en partie accumulés dans des roches poreuses ou fissurées, ou roches-réservoirs.

De nombreuses observations appuient cette théorie :

- les différents types de roche, au cours de la formation et de la migration du pétrole, ont été trouvés avec leur contenu organique ;
- la roche-mère se trouve toujours dans un bassin sédimentaire. Elle a, en général, alimenté des roches sédimentaires plus poreuses. Quelques roches ignées ou métamorphiques suffisamment poreuses et proches ont pu recueillir du pétrole (cas de

champs vietnamiens au large des côtes. Leurs roches-réservoirs datent des temps précambriens, il y a plus d'un milliard d'années, alors que les roches-mères au dessus datent de l'époque miocène, il y a plus de 10 millions d'années). Par la tectonique de la lithosphère et le jeu de failles résultant, elles ont pu être connecté avec la roche-mère ;

- la théorie très récente (années 60 et 70) de la tectonique des plaques s'intègre très bien dans le schéma. Elle permet d'expliquer la formation de pièges (plissements, failles), la formation des bassins sédimentaires (ouverture de l'Atlantique Sud, formation de montagnes sources des débris d'érosion des sédiments...)

- pétrole et GN sont étroitement associés au charbon. Or par la présence de plantes fossiles l'origine organique du charbon n'a jamais été mise en doute. Le charbon provient surtout de dépôts denses d'organismes biologiques continentaux (plantes) de rapport H/C plus faible que pour les organismes marins ou lacustres, plus riches en H (à cause de l'eau ?)

- les rapports isotopiques des éléments C et H semblent indiquer une origine organique plutôt qu'abiotique. L'isotope C13 est moins abondant dans les organismes biologiques ou d'origine biologique que dans les molécules primaires. CH<sub>4</sub> abiotique aurait une signature isotopique particulière qu'on ne retrouve pas ou très peu dans les champs de GN<sup>[2]</sup> ;

- les principaux éléments (C, H, oxygène O et azote N) présents dans le pétrole sont aussi ceux des organismes biologiques. Une grande partie de O a été transformée par des bactéries en CO<sub>2</sub> ou H<sub>2</sub>O, progressivement expulsés lors de l'enfouissement. De même pour une partie de N (donnant N<sub>2</sub> et des oxydes d'azote). Le soufre S proviendrait de sels de sulfate dissous dans la mer présente alors ;

- La présence de molécules caractéristiques d'une origine biologique a été constatée dans tous les gisements de pétrole (porphyrine dérivée de la chlorophylle...)<sup>[3]</sup>. Ces molécules, appelées fossiles géochimiques ou biomarqueurs, se retrouvent presque inchangées dans des organismes biologiques (plancton, algues marines ou lacustres, bactéries, plantes...). Elles permettent d'associer roches-mères et roches-réservoirs. Elles caractérisent le pétrole d'une roche-mère en indiquant sa principale origine biologique et de là son environnement (par ex. algue d'eau douce caractéristique d'un lac). Elles permettent même de situer le début de l'enfouissement de la matière organique ; suivant les âges géologiques les espèces dominantes ont changé. Les plantes ne sont apparues qu'au début de la période carbonifère (360 à 285 millions d'années) et sont devenues majoritaires il y a plus de 100 millions d'années. Ces données se recoupent bien avec l'étude de la formation des différentes roches d'un bassin ;

- la présence de pétrole en dessous d'une certaine profondeur (vers 3 à 5 km, en fonction des conditions locales de T) est de plus en plus faible. Les conditions thermodynamiques de ces profondeurs – T trop élevé et P trop faible – provoquent sa dégradation progressive en méthane ;

- le méthane émis lors de la remontée magmatique peut même avoir une origine organique. Le magma réagit avec des roches sédimentaires contenant de la matière organique ;

- Il est un fait que des gisements de GN aux EUd'A contiennent jusqu'à 8% d'He. Cette espèce gazeuse, de par son inertie chimique, ne peut subir de transformation biologique. Elle pourrait provenir du gaz primaire et justifier l'origine abiotique du méthane présent. He résulte beaucoup plus probablement des désintégrations alpha des atomes radioactifs contenus dans la croûte terrestre continentale, U235, U238, Th232 (ainsi que d'autres disparus) et de leurs descendants. Ces désintégrations ont lieu depuis la naissance de la Terre. La particule alpha produite n'est autre que le noyau d'He ;

- La présence d'O<sub>2</sub> sur la Terre est due principalement à l'apparition d'organismes biologiques et à l'enfouissement d'une petite partie de leurs cadavres sans oxydation. En effet à l'origine O était présent seulement sous forme de molécules plus stables comme CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O et quelques oxydes métalliques et métalloïdiques, molécules qu'on retrouve sur les autres planètes (surtout CO<sub>2</sub> plus lourd et donc moins diffusant). L'apparition de la vie a permis la dissociation par photosynthèse du CO<sub>2</sub> et de H<sub>2</sub>O et la production de O<sub>2</sub>. En contrepartie elle a créé des stocks de matériaux hydrocarbonés sous forme réduite. En utilisant le fait que les éléments se conservent (il s'agit de réactions chimiques), on peut estimer leurs quantités à partir des quantités de O<sub>2</sub> présentes dans l'atmosphère et dans les oxydes solides de la croûte. En négligeant la contribution massique de H, J. Labeyrie<sup>[1]</sup> estime que de l'ordre de 1000 téra tonnes de C sont enfouies dans la croûte terrestre (tera=10<sup>12</sup>). Une petite partie a pu former des accumulations exploitables par l'homme. Les quantités de pétrole, de GN et de charbon déjà extraits ou extractibles dans le futur représentent de l'ordre de 10 téra tonnes de C<sup>[4]</sup> ou 1% des quantités de carbone sous forme réduite dans la croûte. Il ne faut pas être surpris par ce faible pourcentage. Pour le pétrole une grande partie de C réduit est sous forme de kérogène non encore transformé, une autre sous forme dispersée et inexploitable dans la roche-mère (de 10 à 10 000 fois les quantités de pétrole accumulées dans les gisements<sup>[3]</sup>) et enfin une partie restera en place dans les gisements (voir annexe 5). La plupart des gisements de charbon sont trop profonds et/ou d'épaisseurs trop faibles ou encore de faible contenu énergétique pour que son exploitation soit rentable (énergétiquement et donc financièrement).

La conséquence de la théorie organique est que le pétrole comme les autres ressources fossiles sont de quantités finies. En outre, les coûts - en particulier énergétiques, voir annexe 10 - limitent fortement la partie extractible. De fait les découvertes sont de plus en plus maigres : champs de plus en plus petits sur les bassins sédimentaires bien explorés et nombre de bassins encore peu prospectés de plus en plus faibles. La théorie organique est arrivée à un tel degré de maîtrise que l'analyse d'échantillons de roches-mères établit le potentiel d'un bassin. Il reste cependant à trouver le pétrole piégé et accumulé dans des roches-réservoirs.

Xavier Chavanne, Laboratoire Environnement et Développement, Uni. D. Diderot, Paris.

---

Les références marquées d'un astérisque sont disponibles sur l'Internet à l'aide d'un moteur de recherche.

<sup>1</sup> LABEYRIE J. *L'homme et le climat*. éd. Denoël 1985, rééd. Points Sciences 1993. 350 p.

<sup>2</sup> PINSKER L. *Feuding Over the Origins of Fossil Fuels*. geotimes, oct. 2005\*.

<sup>3</sup> TISSOT B. *La genèse du pétrole*. La Recherche, n°77, avril 1977, 326-334.

<sup>4</sup> HUBBERT M. K. *The world's evolving energy system*. Am. J. Phys., vol. 49, No 11, Nov. 1981, 1007-29.