

Tectonique des plaques et ressources géologiques

Rappels de la classe de Seconde

Le pétrole est une grande famille de roches carbonées présentes sous forme liquide ou même gazeuse et solide. Liquide et gaz sont les roches carbonées les moins denses mais il existe aussi une forme très dense : le bitume.

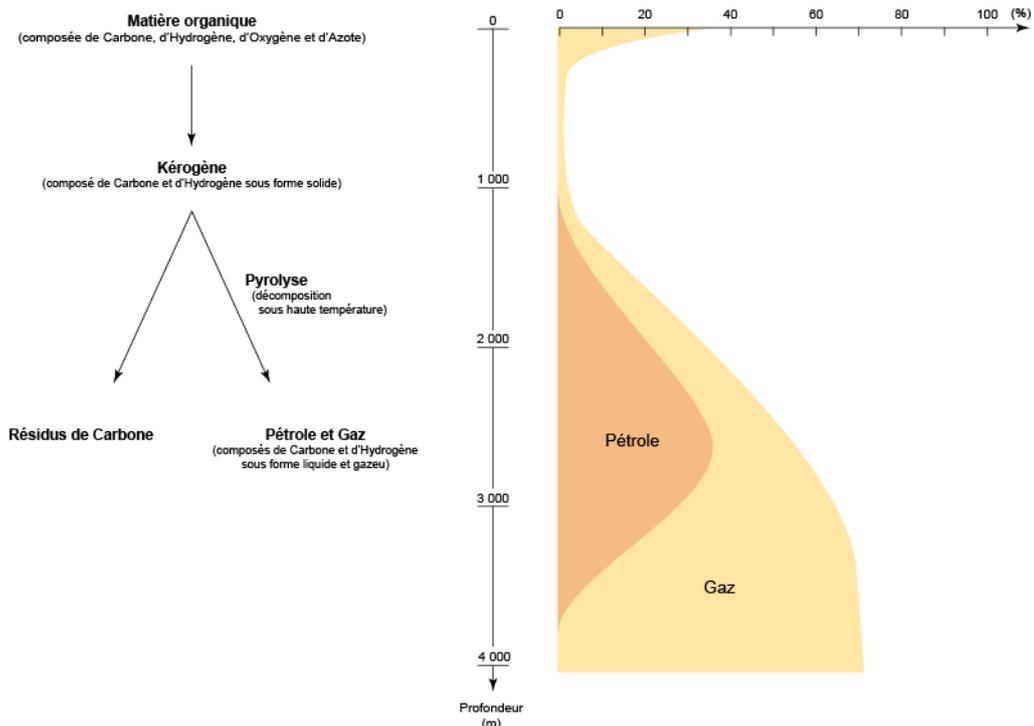
À l'origine du pétrole, il y a le phytoplancton océanique. Lorsqu'il meurt, les molécules organiques qui le constituent sont normalement décomposées et minéralisées en présence de dioxygène. Sous certaines conditions, la productivité primaire du phytoplancton dans les bassins sédimentaires est telle qu'une partie de cette matière échappe à la décomposition et donne naissance à des sédiments riches en matière organique qui s'enfouissent peu à peu.

En l'absence de dioxygène et grâce à l'augmentation de température consécutive à l'enfouissement, des bactéries entrent en action et transforment cette matière en quelques dizaines de millions d'années en un mélange d'hydrocarbures disséminés dans la roche sédimentaire appelée alors roche-mère : c'est le kérogène. C'est en fait essentiellement de la boue organique dispersée dans une roche poreuse. Peu à peu, les sédiments s'enfoncent plus profondément et la température augmente. De l'eau se forme dans le kérogène.

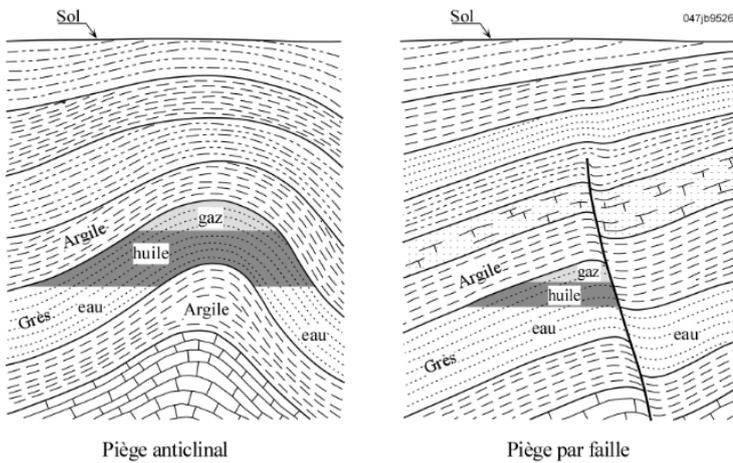
Mais le processus de formation n'est pas fini à ce stade. La température continue d'augmenter pour dépasser les 100°C à cette profondeur (1 à 3 km sous la surface). Il y a alors pyrolyse ou décomposition thermique. De l'eau mais aussi du CO₂ sont dégagés par cette étape.

La matière organique, au cours de sa transformation en hydrocarbures, s'est donc appauvrie en oxygène pour n'être quasiment plus constituée que d'hydrogène et de carbone, d'où le terme « d'hydrocarbures ». La roche-mère contient alors un mélange de gaz naturel et de pétrole en proportions variables suivant la profondeur de formation (plus le sédiment est profond, plus la pyrolyse est importante et plus la proportion de gaz est grande)

Les hydrocarbures formés sont moins denses que la roche dans laquelle ils se forment et ont tendance ensuite à remonter vers la surface en traversant les couches sédimentaires mais se retrouvent parfois bloqués dans leur ascension par des structures géologiques particulières : plis dans une roche imperméable, dôme de sel, faille... La roche dans laquelle s'accumulent les hydrocarbures est appelée roche « réservoir ». Au final, 1L de pétrole correspond à 23 tonnes de matière organique transformée.

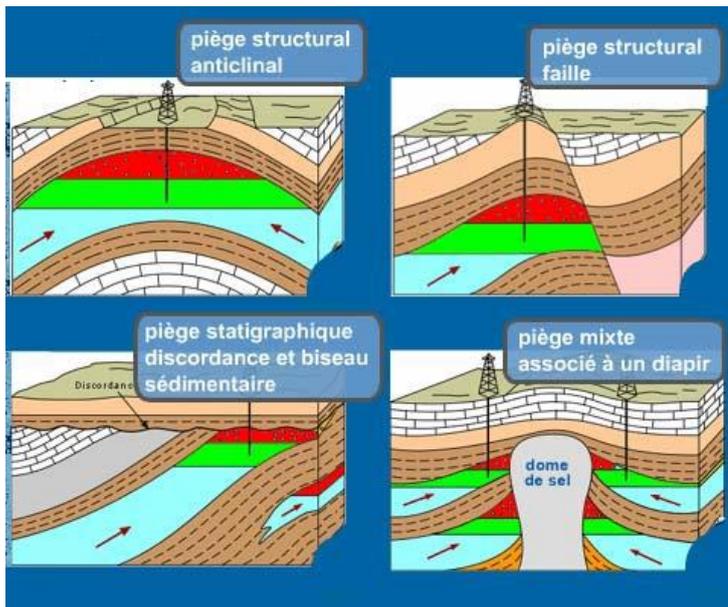


Les pièges géologiques



Les plis anticlinaux sont des plis dont le cœur est occupé par les couches les plus anciennes. Ces anticlinaux sont, de loin, les pièges à pétrole les plus caractéristiques, les plus fréquents et les plus importants. Ils constituent la grande majorité des champs géants. Dans les années 1920, la chasse aux anticlinaux demeure le principal, sinon le seul fil directeur.

Les failles sont des discontinuités dues à une déformation cisailant ; leur caractère fondamental est d'introduire un décalage brutal des repères inclus dans la masse. Les failles sont des cassures accompagnées d'un déplacement relatif des deux compartiments. Elles sont fort importantes car elles permettent à la fois la migration des hydrocarbures et la structuration des pièges pétroliers.



En plus des anticlinaux et des failles, d'autres pièges existent comme la discordance ou les diapirs (dômes de sel, de gypse...) qui déforment les structures encaissantes. Les gisements associés directement à des dômes de sel sont très rarement des géants, sauf dans le cas de dômes soulevant des larges voûtes, comme on l'observe, ou on le suppose, pour un certain nombre des plus grands champs de la plate-forme arabique.

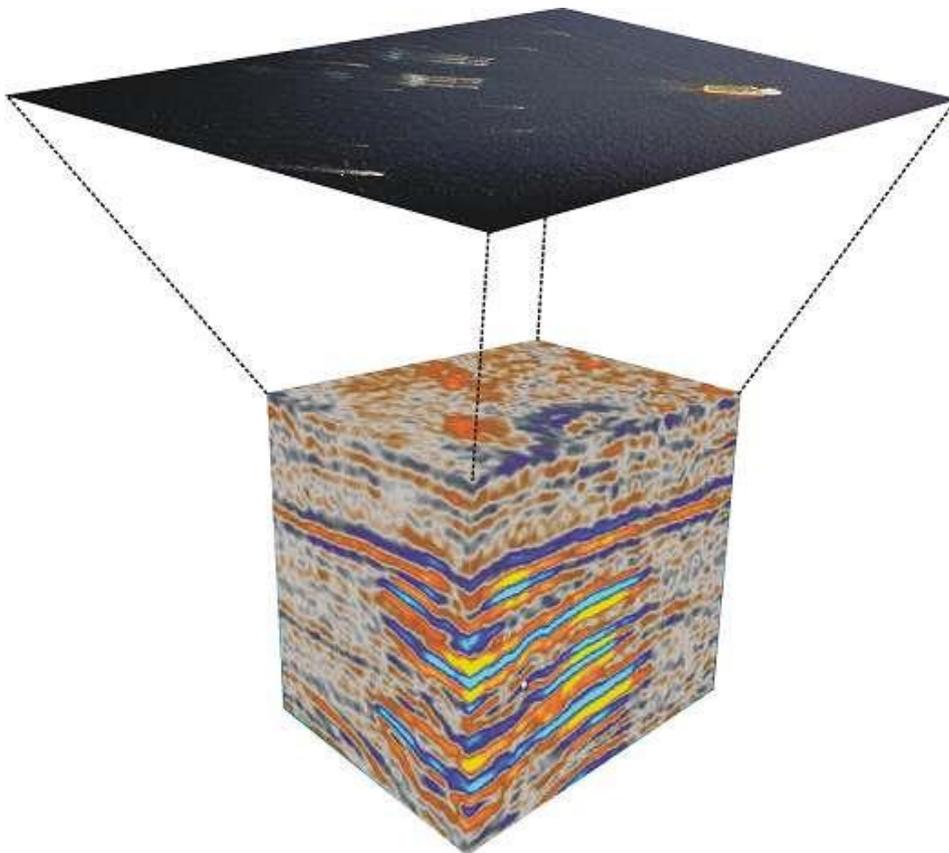
Sismique réflexion et prospection

La sismique est une technique de prospection basée sur le déclenchement de séismes artificiels. Les méthodes utilisées permettent d'obtenir des informations sur les structures du sous-sol (croûtes). Cette technique est principalement utilisée dans le cadre de la prospection géophysique pour rechercher des substances (pétrole) ou des structures du sous-sol utilisables par l'homme. Les profils obtenus permettent de connaître la structure de la croûte continentale ou océanique pour la sismique marine. La sismique fait appel aux propriétés de propagation du son dans l'eau et dans les roches.

La sismique réflexion : elle utilise les ondes réfléchies sur la surface et à faible profondeur sur les différentes interfaces constituant le sous-sol, de cinq à trente kilomètres. En sismique marine, un navire traîne sur le fond deux canons à air qui produisent, dans l'eau, un signal acoustique par détente brutale d'air comprimé, les ondes réfléchies sont captées par une « flûte sismique » traînée par le navire. Cette flûte contient des hydrophones. Si la vitesse du navire est de six à douze nœuds (de onze à vingt-deux km/h), la fréquence des tirs est de dix secondes. Lors de certaines explorations pétrolières, la flûte peut mesurer jusqu'à un kilomètre. La sismique réflexion « écoute longue » a permis de reconstituer la structure de la croûte continentale sous les fossés et de modéliser le phénomène d'amincissement de la croûte continentale (rifting). Les programmes français et allemand Ecors et Dekorp ont permis l'étude du fossé rhénan. Le programme Ecors est dirigé par les trois partenaires qui l'ont fondé : l'IFP (Institut français du pétrole), l'INSU (Institut national des sciences de l'univers) et la société nationale Elf Aquitaine-Total. Ce programme a réalisé des campagnes sismiques aboutissant à l'interprétation du « profil Nord de la France ».

La sismique réfraction : en utilisant des sources de plus forte puissance, elle permet d'obtenir des informations sur des couches plus profondes que celles explorées par la sismique réflexion (de trente à cinquante kilomètres). Cette technique permet de connaître la profondeur du Moho sous les croûtes.

La sismique 4D fait rêver les ingénieurs du pétrole. "La différence entre sismique 3D et 4D, c'est un peu celle entre la photo et le cinéma", explique Claude Roulet, vice-président de la coordination technique Europe et initiateur de la sismique 4D chez Schlumberger. Comme le cinéma il y a un siècle, la 4D n'en est qu'à ses premiers balbutiements. Pourtant, tous les grands de l'exploration, PGS, Western Atlas, Schlumberger, s'y intéressent. Si elle se révélait fiable, la sismique 4D devrait modifier la gestion des gisements pétroliers en donnant une vision dynamique des flux d'hydrocarbures, ce que les technologies conventionnelles ne peuvent pas faire. En détectant les zones "oubliées" par l'exploitation, elle devrait aussi permettre d'augmenter la production des puits de quelques pour cent supplémentaires, ce qui se traduirait, en mer du Nord par exemple, en milliards de dollars de gains. Enfin, la 4D pourrait contrôler la stimulation de production (par injection de vapeur d'eau, d'eau ou de gaz dans les réservoirs) afin de mieux maîtriser ses effets. Le principe de toutes les sismiques, sur terre ou en mer, est le même. Il consiste à émettre une onde en direction de la formation géologique, à étudier et à analyser le signal réfléchi pour en déduire la nature et la structure du sous-sol. Dans les trois dimensions de l'espace pour la sismique 3D. La 4D intègre simplement un paramètre supplémentaire : le temps. En fait, elle consiste à réaliser des séries de mesures 3D à plusieurs mois d'intervalle. L'objectif est de détecter tous les changements intervenant dans la distribution des fluides d'un réservoir (eau, pétrole, gaz) et d'en prédire l'effet sur la production future.



En sismique 4D, la principale difficulté est de se repositionner très précisément au même endroit à chaque série de mesure. Un petit décalage se traduit en effet par des variations très importantes dans la mesure des mouvements des fluides : il est donc difficile d'opérer à partir d'un bateau. C'est pourquoi se sont développées des technologies dans lesquelles des capteurs sont installés à demeure sur le fond marin. Exemple : Sumic, mis au point par le norvégien Statoil et exploité sous licence par Schlumberger. Des piquets capteurs tridimensionnels sont plantés sur le fond marin au moyen d'un robot sous-marin. Chaque piquet contient trois géophones (capteurs de vitesse de déplacement de l'onde) qui donnent des mesures en compression (verticalement), mais aussi en cisaillement (horizontalement), ce que ne permet pas une mesure classique à partir d'un bateau, d'où une sismique encore plus fine. Le coût de déploiement est cependant dix à vingt fois plus élevé que pour une sismique classique, qui revient à près de 2000 à 3000 dollars le kilomètre carré.