

DES RENTES NATURELLES À EXPLOITER ET AUX MULTIPLES FINALITÉS PRODUCTIVES

Introduction

Les hydrocarbures pèsent aujourd'hui très lourdement dans l'activité globale du « Système-Monde » (au sens donné par Olivier Dollfus de représentation du Monde, vu comme un ensemble profondément cohérent, constitué d'éléments en interactions et en perpétuelle évolution) et contribuent à lui donner une consistance économique et sociale. La seconde révolution industrielle (concept né des réflexions de l'économiste Rostow) a fait du pétrole et du gaz naturel des secteurs énergétiques « moteurs » (Éric Bussière, Pascal Griset *et alii*) c'est-à-dire des sources d'énergie éclipsant peu à peu l'omnipotence absolue de la houille (source d'énergie fondatrice de la première révolution industrielle). D'ailleurs, aujourd'hui, le pétrole est la première source d'énergie mondiale (37,3 % de l'énergie mondiale) devant les houilles (26,6 %) et le gaz naturel (23,9 %). Réunis, les seuls hydrocarbures représentent donc près des deux tiers (61,2 %) de l'énergie consommée à l'échelle de la planète. Et leur intérêt ne se borne pas à la seule donnée énergétique, puisqu'ils constituent des matières premières indispensables au fonctionnement de larges secteurs industriels (l'activité chimique particulièrement...).

Il existe donc une véritable filière des hydrocarbures — au sens « d'ensemble des stades successifs de production et d'élaboration d'un produit », (Lacoste, 2003) — qui se déploie à toutes les échelles de l'espace géographique, depuis le site d'exploitation jusqu'aux routes maritimes intercontinentales du pétrole et du gaz, depuis l'activité d'extraction jusqu'aux activités multiples de transformation industrielle.

Or, à la base de cette filière figurent les sources naturelles d'hydrocarbures que sont le pétrole et le gaz naturel présents en l'état dans la lithosphère. Nés à de grandes profondeurs, ils ne peuvent être mis en valeur qu'après d'intenses activités de prospection et l'installation de techniques complexes d'exploitation. Une fois extraits, pétrole et gaz naturel entrent dans des processus variés et souvent enchaînés de valorisation et de transformation par l'activité pétrochimique.

Dès lors, comment expliquer la genèse du pétrole et du gaz ? Car comprendre les modalités de formation des hydrocarbures, c'est faciliter les activités de prospection. Comment se déroulent celles-ci et quelles sont les différentes étapes suivies depuis la détection d'un gisement jusqu'à son exploitation ? Enfin, une fois la ressource extraite, comment est-elle traitée par l'industrie, selon quelles finalités productives, et en suivant quels processus ?

I. Pétrole et gaz naturel : des hydrocarbures issus des processus de sédimentation

A. LES HYDROCARBURES : CONSTITUÉS SUR LE TEMPS LONG DANS LES ROCHES MÈRES DES BASSINS SÉDIMENTAIRES

1. À l'origine des hydrocarbures : de la matière organique, des roches mères, des fortes températures, des fortes pressions

a. Au départ : de la matière organique

L'origine des hydrocarbures procède directement de la matière organique, c'est-à-dire que pétrole et gaz naturel naissent de la décomposition et de la transformation d'éléments de la biosphère (résidus hétérogènes de la biocénose) dans des zones sédimentaires en cours de formation.

Ces éléments entrent en effet dans le processus de sédimentation, sont transformés et, pour certains, assimilés dans la roche sédimentaire se constituant peu à peu. Ainsi, « l'essentiel des gisements dérive, directement ou non, de la substance des êtres vivants incorporée dans les sédiments lors de leur dépôt » (Bernard Tissot).

b. Une matière organique se transformant, jusqu'à la genèse du kérogène

Deux éléments s'avèrent déterminants dans le processus de constitution des hydrocarbures. La matière organique subit d'une part des transformations du fait d'une activité microbiologique bactérienne. D'autre part certains de ses éléments solubles sont assimilés par la roche en cours de constitution et de solidification (diagenèse).

Or, certaines roches sédimentaires ont plus que d'autres la capacité d'incorporer la matière organique et de favoriser les processus de genèse des hydrocarbures. On les désigne sous le vocable de roches mères. Plus encore que les grès et les sables, les argiles et certains calcaires fins constituent un milieu favorable à l'assimilation et à la transformation de la matière organique, laquelle se transforme progressivement selon des phénomènes chimiques de réduction. Ces derniers s'expliquent en regard à l'accumulation de sédiments nouveaux sur la matière organique elle-même qui se trouve alors piégée dans un milieu clos et anaérobie.

Au terme de ces transformations, il en résulte qu'une partie de la matière organique a été directement assimilée et est devenue un élément constitutif de la roche sédimentaire. Mais une autre partie, constituée de macromolécules, s'avère inassimilable et insoluble et demeure en l'état dans la roche mère, formant le kérogène.

c. Du kérogène aux hydrocarbures

Au gré du processus de sédimentation, le kérogène formé s'enfonce pour deux raisons. Dans le cadre de la diagenèse, le processus d'accumulation des strates sédimentaires se poursuit. En parallèle, l'accumulation sédimentaire provoque un processus de subsidence, le bassin sédimentaire plongeant sur la masse des matériaux accumulés. En conséquence, le kérogène s'enfonce en profondeur, la température et la pression environnantes augmentant nettement. Tous les 100 m, la température croît en moyenne de 3 °C (entre 2 °C et 4,5 °C tous les 100 m). Or, à partir de 100-110 °C, le kérogène est affecté de transformations internes. Les macromolécules sont peu à peu disloquées (phénomène de craquage), à mesure que température et pression croissent. « Des édifices plus petits et plus riches en carbone et hydrogène sont libérés » (Bernard Tissot).

C'est alors que de la matière organique naissent les hydrocarbures. Plus les conditions de température et de pression sont fortes, plus les hydrocarbures deviennent légers et épurés de tous résidus. À mesure que pressions et températures augmentent, que le processus de craquage s'accroît, on obtient des hydrocarbures très différents puisque l'on passe successivement des pétroles visqueux et lourds, aux pétroles liquides puis au gaz naturel et enfin au méthane pur (CH_4).

2. Les hydrocarbures : des matériaux géologiques hétérogènes

a. L'hétérogénéité peut être fonction de la nature de la matière organique transformée

Selon la nature de la matière organique initiale, la constitution des hydrocarbures varie. Une matière organique très végétale, issue de grands arbres, de ligneux, de végétaux à forte teneur en cellulose, donnera moins de pétrole que de gaz, le processus de craquage étant facilité.

En revanche, une matière organique riche en éléments de décomposition animale favorise davantage la production d'hydrocarbures liquides, et partant, de pétrole.

b. La diversité intrinsèque des hydrocarbures formés

En profondeur, selon la composition du kérogène et le degré de craquage des macromolécules renfermées dans ce dernier, des hydrocarbures très divers sont engendrés, la diversité naissant de leur composition. Hydrocarbure pur, le méthane apparaît lorsque le processus naturel de craquage est poussé à son terme.

Le gaz naturel est donc essentiellement composé de méthane, la teneur variant entre 70 % et 95 %. Mais il renferme également d'autres hydrocarbures tels que le propane, butane, pentane... ainsi que des éléments divers (perçus comme autant d'impuretés) tels que le soufre, l'hélium, le dioxyde de carbone, l'azote, la vapeur d'eau...

S'agissant du pétrole, sa composition interne varie fortement selon les gisements. Il renferme ainsi plus ou moins de soufre (les teneurs variant de 0,2 % à plus de 5 %), de sulfures, d'azote (jusqu'à 1 %), d'oxygène (jusqu'à 1 % également) et surtout plus ou moins d'acides organiques (acides gras et naphtéiques). Il en résulte une grande diversité dans les bruts produits. Tous les pétroles extraits ne se valent pas : leur exploitation s'avère alors plus ou moins rémunératrice selon leur teneur en hydrocarbures légers, leur potentiel de valorisation énergétique et pétrochimique (plus ou moins aisée selon leur nature et leur composition). Ainsi, les pétroles du golfe Persique et du Venezuela sont globalement assez riches en soufre. Certains pétroles de mer du Nord se caractérisent par de fortes teneurs en azote. Le pétrole libyen s'avère plus chargé en paraffine et asphaltène que le pétrole algérien : ce dernier est donc plus léger et d'une qualité supérieure.

3. Un processus de genèse particulièrement long

a. Quels paramètres considérer ?

Appréhender les modes d'apparition des hydrocarbures dans le sous-sol nécessite de prendre en considération tout un faisceau de facteurs qui entrent en ligne de compte dans leur genèse : la décomposition en milieu anaérobie de la matière organique, son intégration dans les processus de sédimentation, l'individualisation du kérogène, l'accumulation sédimentaire permettant le phénomène de subsidence et donc l'augmentation de la température et de la pression

à partir de laquelle la transformation moléculaire du kérogène engendre, par le craquage, pétrole et gaz naturel.

b. Pétrole et gaz : une genèse s'effectuant à très grande profondeur

La durée de genèse du pétrole et du gaz est en fait fonction de la nécessité d'atteindre de hautes températures pour que le kérogène subisse le phénomène de craquage. Dans les bassins sédimentaires « chauds » (Rousselot, 2003), c'est vers 2 500 m de profondeur en moyenne que le pétrole commence à apparaître, vers 3 800 m pour les bassins sédimentaires « froids » (Rousselot, 2003). Pour l'apparition du gaz en quantités intéressantes, il faut compter en moyenne sur des profondeurs de 3 800 à plus de 5 000 mètres.

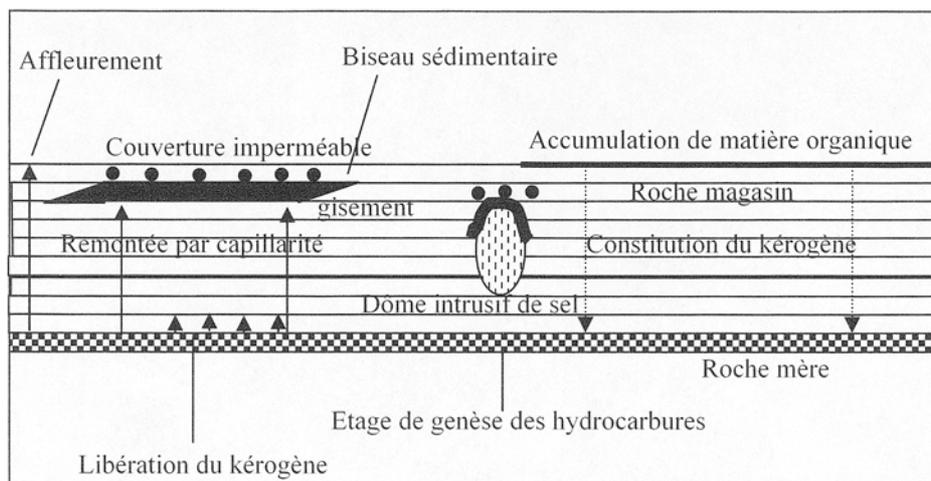
Or, les processus d'accumulation sédimentaire sont toujours lents. Au fil du temps géologique, le rythme d'accumulation peut être plus ou moins important (moins de cinq mètres de sédiments empilés par million d'années à plus d'une centaine) mais il n'est jamais démesuré. En conséquence, la genèse des hydrocarbures est, par essence même, particulièrement longue.

c. Un processus qui s'étale dans les temps longs de la géologie

La genèse du pétrole est consubstantielle à la construction des bassins sédimentaires. Dès lors, l'échelle de temps à considérer est celle du million d'années. Les hydrocarbures les plus récents ont quelques millions d'années, mais ils sont rares et les gisements qui en renferment peu abondants. Tout gisement recelant un potentiel de production important a, au moins, plusieurs dizaines de millions d'années, et plus généralement une centaine, c'est-à-dire qu'il procède le plus généralement de l'ère Secondaire (Mésozoïque).

Pétrole et gaz naturel sont donc des énergies non renouvelables, tant le temps de genèse est long. Il en résulte qu'elles sont donc des énergies fossiles dans le sens où le cadre chronologique de leur constitution (ainsi que les modalités de leur genèse) n'est pas historique mais bien géologique.

Document 1 : Schématisation du mode de genèse des hydrocarbures.



B. DE LA ROCHE MÈRE À LA ROCHE MAGASIN : LES MIGRATIONS ET LE STOCKAGE DU GAZ ET DU PÉTROLE DANS LES DIFFÉRENTS ÉTAGES SÉDIMENTAIRES

1. L'expulsion des hydrocarbures de la roche mère et leur migration primaire

a. Les hydrocarbures hors de la roche mère

Sous l'effet de la pression, à mesure que les hydrocarbures sont formés en profondeur, ils sont expulsés de la roche mère. De fait, ils tendent alors, par capillarité, à remonter à la surface, car leur densité est plus faible que l'eau qui imprègne les roches sédimentaires du sous-sol. C'est le principe de la migration primaire.

b. La migration première des hydrocarbures

De fait, si aucun obstacle ne se présente à leur progression, ils montent jusqu'à la surface, en se jouant des accidents tectoniques de l'écorce terrestre (remontée par les lignes de fracture et les failles) et des degrés différenciés de porosité et de perméabilité des roches.

Le gaz naturel est alors perdu, se dispersant dans l'atmosphère. Les pétroles affleurent à la surface « en laissant dans le sol des résidus quasi solides » (Rousselot, 2003). Le pétrole suinte à la surface du sol, pouvant donner de véritables « mares » (Rousselot, 2003) naturelles noires comme il en existe, par exemple, au Venezuela (dans les pourtours de la lagune de Maracaïbo) ou dans l'antique Mésopotamie, principalement en Irak, autour de Bassorah dans la région marécageuse du Chatt-Al-Arab. Porté en surface, le pétrole s'oxyde à l'air libre, se dégrade en bitumes compacts cependant que, lorsque les apports sont consistants, l'homme peut extraire des ces affleurements naturels des produits plus légers comme des huiles.

Mais, dans la plupart des cas, les hydrocarbures restent dans les profondeurs géologiques du sous-sol.

2. La migration entravée des hydrocarbures par des pièges naturels et leur accumulation dans des roches magasins. La constitution des gisements

a. Les principes de l'accumulation des hydrocarbures en gisements

Dans leur migration primaire, les hydrocarbures peuvent être piégés en profondeur. C'est alors qu'ils s'accumulent, donnant naissance à un gisement. Trois conditions sont requises pour permettre leur accumulation.

La roche renfermant les hydrocarbures doit être suffisamment poreuse — la structure de la roche étant alors vacuolaire c'est-à-dire présentant des interstices dans lesquels les fluides peuvent se nicher — et perméable — la perméabilité étant la résultante d'un fort degré de connectivité des vides entre eux dans la structure de la roche (ce qui permet le déplacement et un meilleur stockage des fluides à l'intérieur même de la roche). On parle alors de roche magasin ou de roche réservoir pour désigner une roche ayant la capacité de fixer les fluides. Grès, sables, calcaires vacuolaires, calcaires dolomités, dolomies sont les roches magasins les plus fréquentes et les plus efficaces dans leur capacité de rétention.

La deuxième condition réside dans la présence, au niveau de la strate supérieure à la roche magasin, d'une couverture imperméable afin de bloquer la migration primaire.

Enfin, la troisième condition réside dans la nécessité d'une fermeture latérale du gisement, afin que les hydrocarbures stockés dans la roche magasin se concentrent et ne se dispersent latéralement le long de la strate d'accumulation selon le phénomène de migration secondaire.

b. Les principaux pièges à hydrocarbures

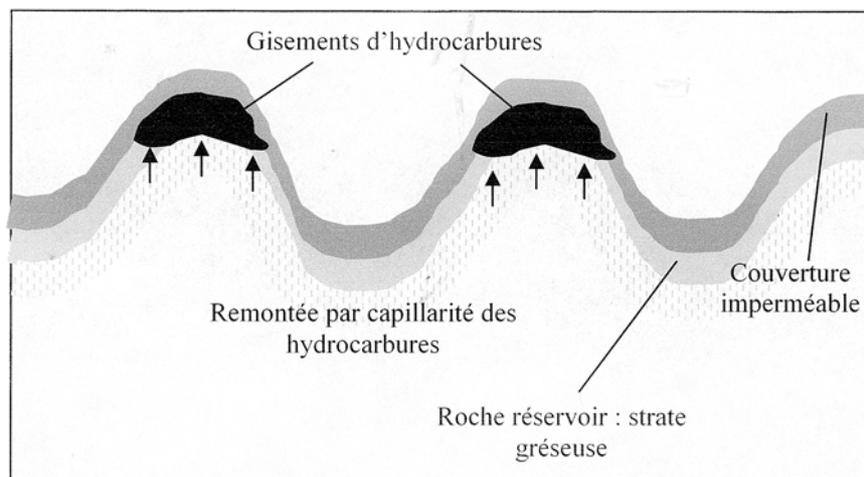
Le piège à hydrocarbures est « une zone où le réservoir, couvert par une couche imperméable, est fermé latéralement par des terrains imperméables ou par une déformation des couches » (Alain Perrodon).

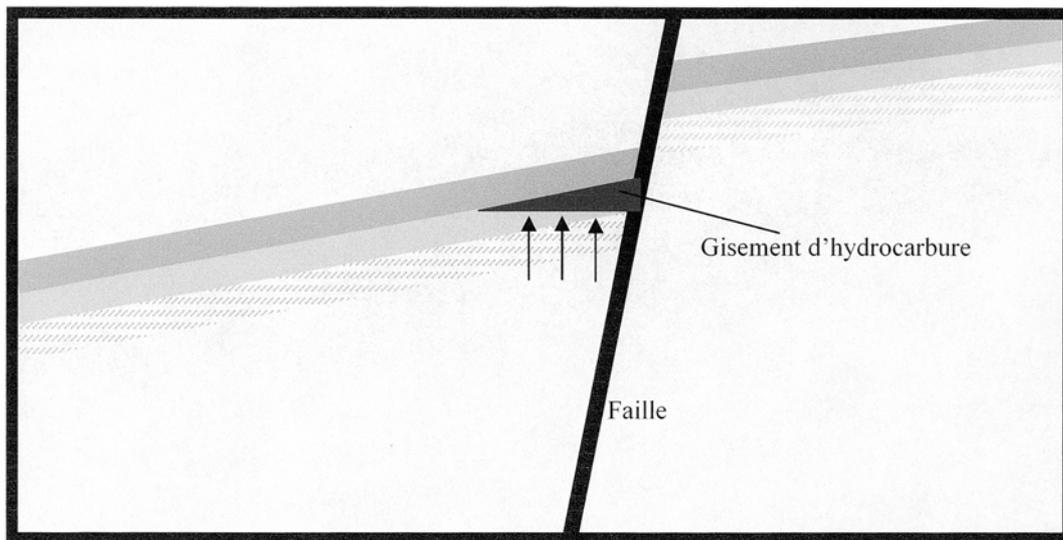
Deux types de pièges existent. Les pièges stratigraphiques et les pièges structuraux. Les pièges stratigraphiques naissent d'une variation de la nature de la roche sédimentaire le long de la strate de la roche réservoir. Suite à ce changement lithologique, il y a passage de la roche perméable et poreuse à une roche dont la structure est imperméable. Ce changement latéral du processus sédimentation engendre la création d'un biseau sédimentaire qui assure la fermeture latérale du gisement.

Dans le cadre des pièges structuraux, les fermetures latérales des gisements sont dues à des déformations tectoniques de la couverture sédimentaire. Les failles constituent souvent des fermetures latérales efficaces, la roche réservoir se trouvant en contact avec des terrains imperméables mis au même niveau par la tectogenèse. Les plissements sont créateurs également de pièges à hydrocarbures, pétrole et gaz stagnant dans la partie supérieure des anticlinaux. L'intérêt est grand dans la mesure où les plissements sont parfois de grande envergure et se répètent dans l'espace sur la longueur. Dès lors, les gisements sont alignés.

La surrection de dômes intrusifs de sel au cœur des structures sédimentaires concordantes est également un facteur de création de pièges à hydrocarbures. Les intrusions salines bouleversent en effet les niveaux sédimentaires et créent des plissements diapiriques dans le sous-sol géologique où s'accumulent, en position anticlinale, les hydrocarbures.

Document 2 : Schématisation d'un piège à hydrocarbures en structure plissée.



Document 3 : Gisement d'hydrocarbures en structure faillée.**II. Capter la ressource en profondeur : explorer et exploiter****A. LA RECHERCHE DES PRÉCIEUX GISEMENTS**

C'est à partir de la compréhension des modes de genèse des hydrocarbures qu'il est loisible de se lancer, avec une bonne probabilité de succès, dans la prospection. Celle-ci se décompose en plusieurs phases. À petite échelle, il s'agit d'abord de définir le périmètre des grands bassins sédimentaires susceptibles de renfermer des gisements. À plus grande échelle, sont par la suite définies des « implantations de forages d'exploration » (Alain Perrodon). Puis vient le contrôle géologique des sondages effectués afin de clairement définir les forages à venir pour l'exploitation en grand de la ressource.

1. La définition liminaire des aires à explorer**a. Étudier précisément la nature du sous-sol : le rôle du géologue**

Produits de la géologie engendrés en milieux sédimentaires, c'est d'abord par la recherche des bassins sédimentaires que la prospection du pétrole et du gaz démarre. A priori, tout bassin sédimentaire d'envergure renferme potentiellement des hydrocarbures. Sont particulièrement recherchés les bassins où les strates se développent en profondeur sur plus de deux kilomètres d'épaisseur.

b. À la recherche des pièges à hydrocarbures

Une alternance régulière de différentes strates concordantes de roches détritiques, organiques et chimiques (argiles, calcaires, grès, dolomies, flyschs) est un indice de grand intérêt, puisque la diversité des roches peut donner à la fois des roches mères et des roches réservoirs.

En outre, un plissement modéré et une dissection tectonique de la structure sédimentaire sont autant d'éléments favorables à l'existence de pièges donc à la présence de gisements en profondeur. À la surface du sol, les affleurements de bitumes, les mares naturelles à pétrole sont aussi autant de signes prometteurs.

2. Les modalités techniques de l'exploration

a. Une exploration exigeante à haute scientificité

Les études géophysiques permettent de révéler la composition interne des bassins sédimentaires. Elles croisent une multitude de techniques, d'approches et de disciplines scientifiques afin d'offrir des conclusions les plus précises possibles. Ainsi, l'utilisation de l'imagerie satellitale permet, par exemple, d'envisager une approche globale des grandes déformations des bassins sédimentaires et facilitent leur cartographie.

Dans le domaine pétrolier et gazier, les études de géophysique cherchent donc à définir la nature des roches en profondeur et à analyser l'agencement global des strates afin de cerner et de localiser les éventuels pièges à hydrocarbures. Pour ce faire, il est plus particulièrement fait appel, pour sonder les profondeurs, à la gravimétrie, au magnétisme, et surtout à la sismique. La mise en relation de ces données permet aux chercheurs de décrire avec précision les faciès sédimentaires sous-jacents, les ruptures de concordance sédimentaire, la nature et l'organisation des couches sédimentaires en profondeur. L'idée est d'avoir une vue aussi précise que possible de la nature du sous-sol en procédant à une véritable « radiographie des terrains en profondeur » (Alain Perrodon).

Ces études s'avèrent complexes, et les résultats sont toujours à exploiter avec nuance et discernement. L'exploration reste une prospective. Celle-ci a fait de gros progrès. Les avancées géophysiques ont permis à présent de prospecter les zones les plus difficiles d'accès (sous-sols marins, piedmonts). Mais au final, l'exploration reste un exercice délicat et n'implique pas systématiquement un succès à la clé. Le taux de succès des forages était jadis de un sur dix, il n'est encore aujourd'hui que de un sur trois (Rousselot, 2003).

b. Les forages d'exploration irremplaçables

Appelés dans le jargon des techniciens du pétrole des « wildcats », les forages d'exploration sont indispensables dans la mesure où ils apportent la preuve de l'agencement lithologique des bassins prospectés ainsi que celle de la présence de gisements d'hydrocarbures. Les carottes, véritables échantillons des roches du substratum géologique, sont soigneusement analysées par les géologues diligents auprès des équipes de prospection. Ces derniers s'intéressent notamment aux boues, produits et résidus de forage afin de définir la présence possible ou non de roches mères, de roches magasins, et afin d'analyser la nature des fluides qu'elles peuvent renfermer.

B. APRÈS LE TEMPS DE L'EXPLORATION, LE TEMPS DE L'EXPLOITATION

1. L'organisation interne des gisements : une triple composante associant gaz, pétrole, eau

a. Ne pas oublier qu'un gisement procède d'abord de la roche magasin

En effet, contrairement à une idée tenace, « il n'existe pas de poches » (Daniel Champlon) d'hydrocarbures à proprement parler. Ils sont, en effet, renfermés directement dans la structure interne de la roche magasin. Et c'est à l'intérieur de la roche, qui joue le rôle d'une véritable éponge, que l'on trouve trois éléments associés : du gaz, du pétrole, et partout de l'eau.