

Auteurs : Travail collectif(plus d'infos)

Résumé : Ainsi qu'en attestent les témoignages archéologiques, l'homme exploite le pétrole depuis la nuit des temps. Par exemple, au Moyen-Orient, pendant l'Antiquité, les Sumériens utilisaient le bitume comme élément de leur statuaire, pour rendre étanches des paniers ou jointoyer les briques de terre crue de certains édifices. Document de Alain-Yves Huc issu de l'ouvrage "29 notions clefs pour savourer et faire savourer la science - primaire et collège", paru aux éditions Le Pommier en août 2009.

Copyright : Creative Commons France. Certains droits réservés.

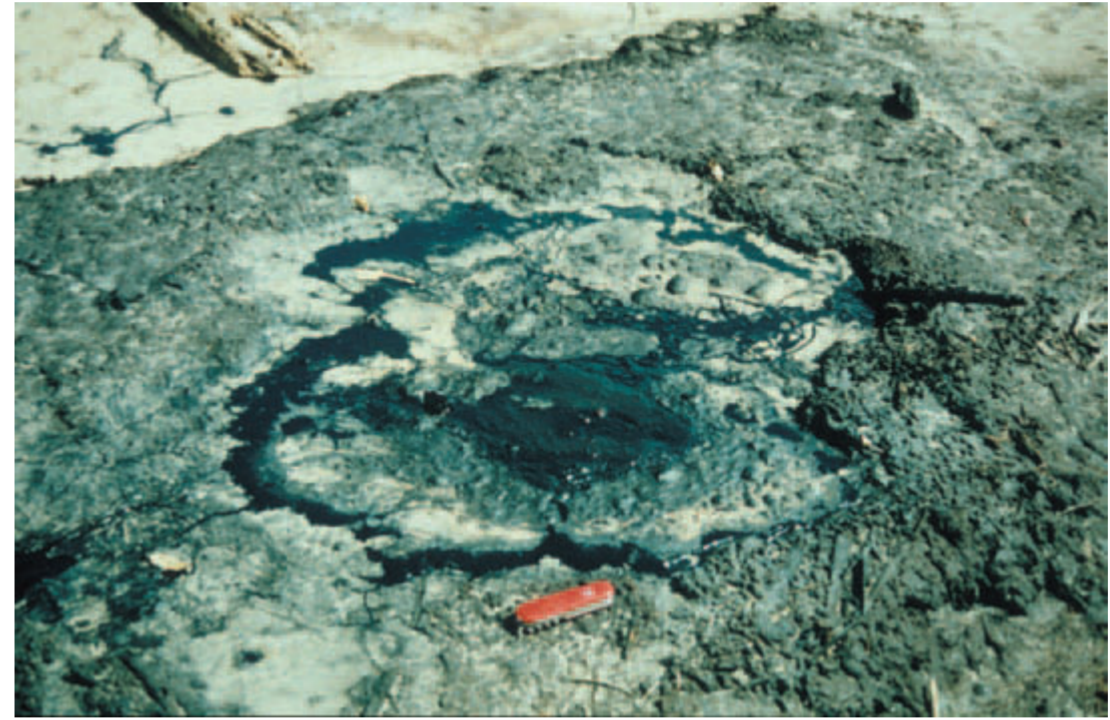


Le pétrole

Ainsi qu'en attestent les témoignages archéologiques, l'homme exploite le pétrole depuis la nuit des temps. Par exemple, au Moyen-Orient, pendant l'Antiquité, les Sumériens utilisaient le bitume comme élément de leur statuaire, pour rendre étanches des paniers ou jointoyer les briques de terre crue de certains édifices. De même, le calfatage des bateaux a-t-il de tout temps été assuré par de la poix, quand cette dernière était disponible. Bitume et poix correspondent à des termes vagues désignant des produits pétroliers ayant plus ou moins la consistance du goudron que l'on étend sur nos routes.

Pour obtenir cette matière première, l'homme a mis à profit les suintements naturels de substances pétrolières plus ou moins visqueuses, existant dans certaines régions du monde. Sur ces sites d'approvisionnement, qui peuvent constituer de véritables lacs, le pétrole se présente sous la forme de matières « bitumineuses » ou de « fontaines de pétrole » (voir la photo ci-contre). Ces dernières, décrites par Marco Polo en Azerbaïdjan, sont semblables à des sources d'eau, mais elles produisent du pétrole... D'autres émanations de fluides pétroliers, cette fois gazeux, peuvent également se rencontrer, souvent en association avec les précédentes. Ce gaz, sensiblement le même que celui qui alimente les brûleurs de nos cuisinières, peut s'enflammer au contact de l'atmosphère. Certaines de ces manifestations naturelles peuvent atteindre une ampleur exceptionnelle. Des falaises entières crachant du feu (que l'on appelle *gash i turush* au Moyen-Orient), voilà qui devait frapper l'esprit des peuples de l'Antiquité !

La quête de sites où il serait possible de s'approvisionner avec cette matière première a donc été une préoccupation permanente des sociétés humaines. Au Moyen Âge, les Chinois ont été les premiers à dépasser le stade de la collecte de surface en forant, à l'aide de tubes de bambou, de véritables puits à proximité de ces suintements. La demande de produits pétroliers s'est considérablement accrue à la fin du XVIII^e siècle avec la découverte de la lampe à pétrole. Les besoins en « pétrole lampant », c'est-à-dire d'une fraction du pétrole obtenue par distillation du pétrole naturel, et les vertus thérapeutiques supposées de certains dérivés pétroliers sont à l'origine de l'entreprise du colonel Edwin Drake, bien connu des lecteurs de Lucky Luke. À la recherche du précieux liquide, il jeta son dévolu sur la Pennsylvanie, aux États-Unis, une région où les suintements pétroliers – ou indices de surface – étaient connus depuis fort longtemps. Le forage qu'il y entreprit près de Titusville pendant l'été 1859, et qui provoqua un jaillissement spectaculaire de pétrole provenant d'un gisement situé à une vingtaine de mètres de profondeur à peine, est associé dans la mémoire collective au début de l'aventure pétrolière, elle-même intimement liée au développement industriel de nos sociétés.



Indices pétroliers de surface
Suintement de pétrole dans un lac de bitume du delta de l'Orénoque, au Venezuela.



Émanation de gaz naturel entrant en combustion spontanée au contact de l'air à Chimera en Turquie. Ce phénomène est peut-être à l'origine de la légende de la Chimère, monstre à corps de chèvre, tête de lion et queue de serpent, qui souffle le feu (clichés de Alain-Yves Huc).

Qu'est-ce que le pétrole ?

Le pétrole est un fluide géologique présent dans des gisements souterrains. À l'état naturel, c'est-à-dire de pétrole brut, il se présente généralement sous la forme d'un liquide brun plus ou moins visqueux, mais aussi, parfois, sous la forme d'un liquide incolore ou, à l'inverse, de substances pâteuses, voire solides – ces dernières sont connues sous le vocable d'« asphaltites » : pierres d'asphalte. Le pétrole contient deux catégories de composés chimiques :

- des hydrocarbures qui, comme leur nom l'indique, correspondent à des assemblages chimiques (molécules) ne contenant que des atomes de carbone et d'hydrogène (les atomes sont les briques élémentaires des molécules, qui elles-mêmes constituent les unités de base de chaque substance matérielle qui nous entoure) ;
- des produits lourds, aussi appelés « résines » ou « asphaltènes », qui, outre des atomes de carbone et d'hydrogène – qui restent toujours largement majoritaires –, contiennent des atomes de soufre, d'oxygène et d'azote. Il s'agit généralement d'édifices moléculaires de grande taille dont la concentration dans le pétrole en conditionne fortement les propriétés, notamment la viscosité : plus ils sont abondants, plus le pétrole est visqueux.

Le gaz naturel, souvent associé à l'huile dans les gisements, mais aussi parfois trouvé comme fluide unique, est composé d'hydrocarbures de petite taille contenant un à quatre atomes de carbone :

- méthane : CH₄ (1 atome de carbone et 4 atomes d'hydrogène) ;
- éthane : C₂H₆ (2 atomes de carbone et 6 atomes d'hydrogène) ;
- propane : C₃H₈ (3 atomes de carbone et 8 atomes d'hydrogène) ;
- butane : C₄H₁₀ (4 atomes de carbone et 10 atomes d'hydrogène).

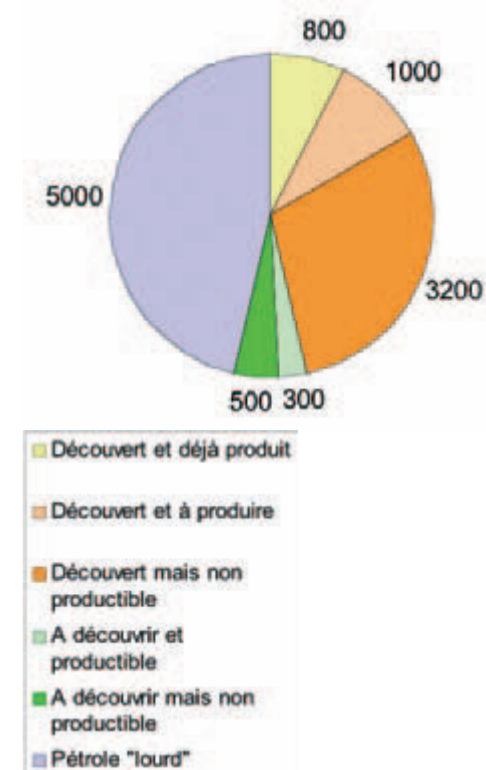
À partir de cinq atomes de carbone, les molécules d'hydrocarbures sont de trop grande taille pour exister à l'état gazeux et sont, de ce fait, liquides à température et pression ambiantes.

Les pétroles les plus visqueux, ceux très riches en produits lourds, sont appelés « huiles lourdes », « huiles extra-lourdes », ou « sables bitumineux » quand ils sont associés à du sable meuble à la surface de la Terre – il s'agit alors de l'équivalent de suintements géants. De tels pétroles se rencontrent par exemple dans les gisements superficiels de l'Athabasca, dans la province de l'Alberta, au Canada, ou le long du fleuve Orénoque, en Amazonie. Ils représentent des réserves colossales. En effet, on estime que la moitié des ressources de pétrole que recèle notre planète est constituée de ces pétroles visqueux à très visqueux. Cette propriété fait qu'ils sont très difficiles à extraire et à raffiner. Ils représentent cependant un défi technologique d'envergure pour une société à la recherche de sources d'énergie.

Le diagramme ci-dessous montre l'importance de ces ressources en place de pétrole lourd – visqueux à très visqueux – par rapport aux ressources en place de pétrole conventionnel – fluide et donc plus facile à extraire d'un gisement. Il est intéressant de signaler que les principales zones pétrolières correspondant à ces deux types de pétrole ne se recoupent pas. La plupart des réserves de pétrole conventionnel sont situées au Moyen-Orient, alors que la presque totalité des réserves de pétrole lourd se concentre au Venezuela et au Canada.

Distribution des ressources mondiales de pétrole : les chiffres sont exprimés en milliards de barils (le baril représente environ 159 l).

La quantité de pétrole conventionnel déjà découverte mais restant à exploiter (« découvert et à produire ») est au moins aussi importante que celle produite depuis le début de l'ère industrielle (« découvert et déjà produit »). D'autre part, celle que l'on estime rester à découvrir (« à découvrir et productible » et « à découvrir mais non productible ») n'est pas négligeable, mais relativement faible. Les méthodes actuelles de production ne permettent d'extraire du sol qu'une faible partie du pétrole que l'on sait s'y trouver, le pétrole restant dans le réservoir (« découvert mais non productible » et « à découvrir mais non productible ») demeurant inaccessible aux méthodes d'extraction que l'on sait mettre en oeuvre aujourd'hui. L'amélioration de l'efficacité de la récupération du pétrole dans les champs connus représente, de ce point de vue, un enjeu majeur pour les équipes de recherche et de développement impliquées dans le domaine de l'approvisionnement énergétique. Enfin, la part des pétroles visqueux à très visqueux – pétrole lourd ou extra-lourd – dans ces réserves est considérable.

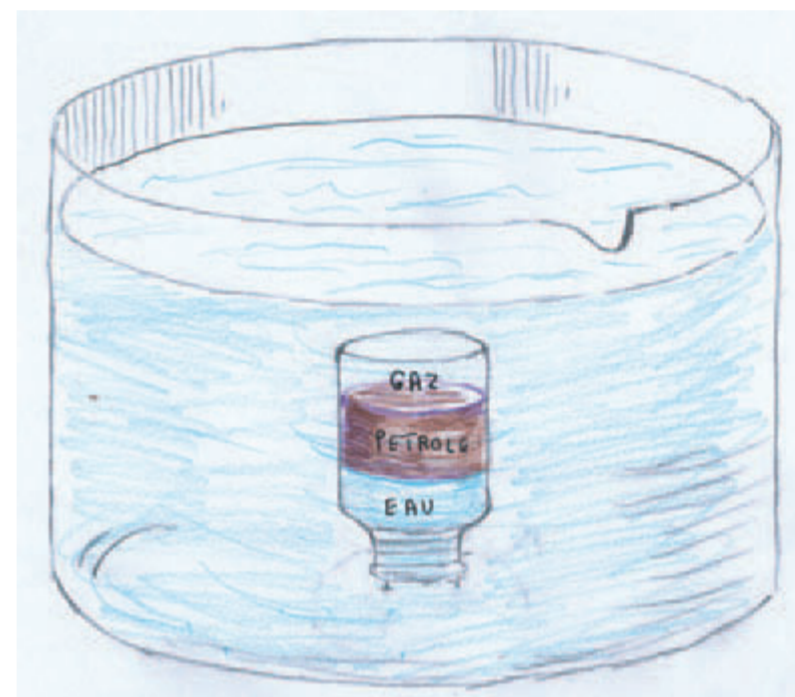


La recherche de gisements souterrains

La géologie de surface

À peine quelques années après la découverte du colonel Drake, l'exploration commença à s'appuyer sur une véritable démarche géologique basée sur la *théorie de l'anticlinal*. Du fait que le pétrole n'est pas miscible avec l'eau, qui est le fluide imprégnant l'ensemble des roches sédimentaires, et que sa masse volumique est inférieure à celle de l'eau (700 à 900 kg/m³ pour le pétrole comparé à 1 000 pour l'eau pure), les géologues ont naturellement supposé que les accumulations recherchées devaient se trouver dans des structures correspondant à des anticlinaux. Les anticlinaux sont des plis rocheux du sous-sol qui se présentent sous la forme de dômes. Lorsque ces structures géologiques impliquent des roches poreuses pouvant accueillir des fluides et que leur partie supérieure est imperméable, elles sont à même de jouer le rôle de pièges collectant et accumulant le pétrole. En effet, tout le pétrole qui aura pu pénétrer dans une telle structure lors de sa montée vers la surface se trouvera piégé dans la partie haute, en y chassant l'eau qui s'y trouvait au préalable. Si du gaz est également admis dans l'anticlinal, il se placera au-dessus du pétrole, auquel cas on trouvera dans le gisement, de bas en haut et par ordre de densité décroissante, de l'eau, de l'huile et du gaz.

Un flacon bouché dans lequel sont enfermés du pétrole (ou un produit pétrolier liquide tel que le gazole), de l'eau et du gaz (de l'air par exemple) est introduit dans un cristalliseur rempli d'eau. Le flacon est retourné, son bouchon ôté après quelques instants destinés à laisser le système s'équilibrer, et nous obtenons un analogue de gisement pétrolier : le flacon représente le piège ; sa paroi, la roche couverture imperméable ; l'eau du cristalliseur, les sédiments gorgés d'eau. Nous observons alors l'agencement des fluides dans le flacon : l'eau à la base, surmontée par le pétrole, et le gaz au sommet.



Les suintements de surface manifestent, quant à eux, la présence de pétrole ou de gaz n'ayant pas été piégé ou fuyant à partir de l'accumulation.

Longtemps, la recherche d'anticlinaux, parfois décelables par l'observation et l'interprétation de la surface du sol et des cartes géologiques qui en découlaient, a été le seul guide de l'exploration pétrolière, surtout lorsque ces structures étaient identifiées dans des régions où des indices de surface étaient également connus.



Schéma d'une carte géologique témoignant de l'existence d'une structure anticlinale souterraine. Le dôme est ici érodé dans sa partie supérieure, laissant apparaître en surface un agencement de couches géologiques d'âges de plus en plus anciens lorsque l'on se rapproche de l'emplacement de la partie sommitale.

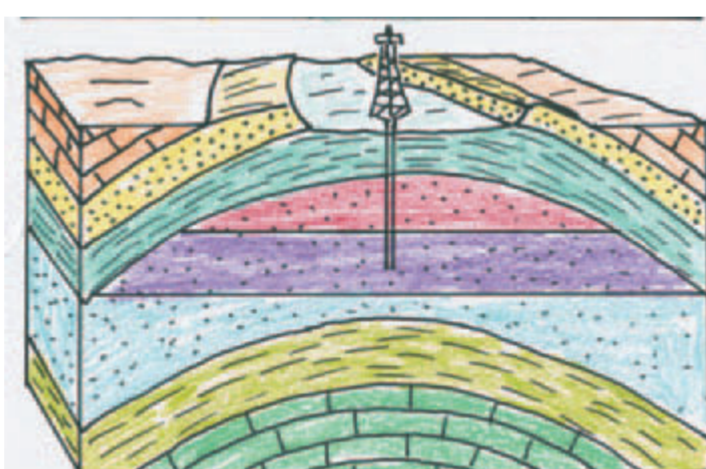


Schéma d'un anticlinal contenant du pétrole et du gaz piégés au sommet de la structure en raison de leurs masses volumiques inférieures à celle de l'eau qui imprègne la porosité des roches. Le gaz se place dans la partie supérieure car il est lui-même moins dense que le pétrole.



Carte géologique d'une région d'Iran qui permet, en suivant cette logique, de détecter l'existence d'une structure anticlinale en profondeur. Sur la carte, ceci se voit par l'existence d'une auréole qui indique l'affleurement de couches sédimentaires dont l'âge augmente vers la partie centrale, la couleur bleu foncé correspondant aux sédiments plus anciens alors que la couleur verte correspond aux plus récents.

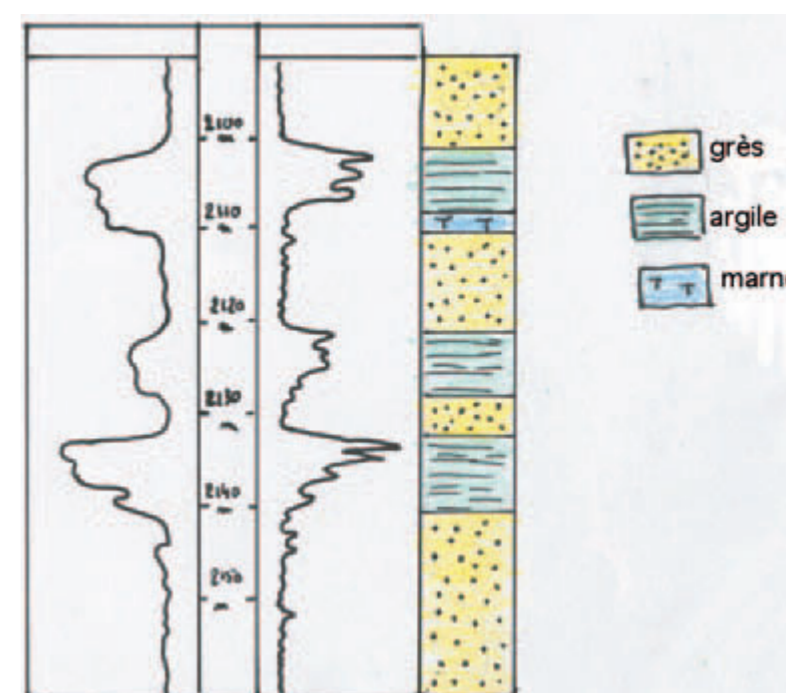
Les puits d'exploration

Une fois la présence de structures favorables à l'accumulation du pétrole et du gaz ainsi reconnue, le seul moyen de s'assurer que ces structures recèlent bien des gisements est de forer des puits d'exploration. La réalisation de ces forages, outre la mise en évidence éventuelle de l'existence de fluides pétroliers – mais on ne gagne pas à tous les coups ! –, fournit, grâce aux échantillons de roches prélevés (carottes ou déblais de forage), des informations géologiques sur les terrains traversés. On peut ainsi déterminer les types de roches rencontrées, ainsi que leurs propriétés, et dater à l'aide de fossiles les couches sédimentaires atteintes. Ces précieuses données viennent compléter les connaissances acquises lors des études effectuées en surface. Le résultat de ces investigations se matérialise sous la forme de cartes et de représentations du sous-sol, notamment de coupes géologiques qui extrapolent les données d'observation obtenues en surface et dans les forages en s'appuyant sur l'interprétation du géologue, basée sur la connaissance qu'il a des phénomènes géologiques et de leur diversité. Savoir théorique et expérience acquise sur le terrain sont évidemment indispensables.

L'utilisation des propriétés physiques des roches

C'est aux travaux des frères Schlumberger, au début du XXe siècle, que l'on doit l'avènement de la géophysique et son utilisation pour l'étude du sous-sol. Le principe est de tirer parti du fait que les différents types de roches, ainsi que la nature des fluides contenus dans les pores de celles-ci, se traduisent par des propriétés physiques caractéristiques qu'il s'agit de mesurer puis d'interpréter. L'exploration pétrolière a rapidement bénéficié de cette avancée technologique qui permet d'acquérir des informations sur la composition des terrains présents en profondeur sans observation directe. Cette méthode de prospection vient ainsi avantageusement compléter les données, souvent largement fragmentaires, obtenues par examen des couches géologiques affleurant à la surface et des échantillons de roches remontés lors des forages. Depuis ses débuts, cette technique s'est considérablement développée, notamment sous la forme de ce qu'il est convenu d'appeler les diagraphies.

Une fois le forage effectué, des outils de mesure (sondes de diagraphie) sont descendus jusqu'au fond du puits à l'aide d'un câble – qui sert aussi à transmettre les signaux recueillis par ces sondes lors des mesures – puis remontés à vitesse constante de manière à détecter en continu les propriétés physiques des terrains traversés. On mesure, par exemple, leur résistivité électrique (capacité à s'opposer au passage d'un courant électrique), leur comportement acoustique (capacité à transmettre le son) ou leur radioactivité naturelle, due à la présence dans certaines roches, comme les argiles, de minéraux ayant des teneurs infimes, mais réelles, en uranium, potassium ou thorium radioactif. Les enregistrements obtenus se présentent sous la forme de courbes continues traduisant les variations des propriétés des différentes couches géologiques en fonction de la profondeur (voir ci-contre).

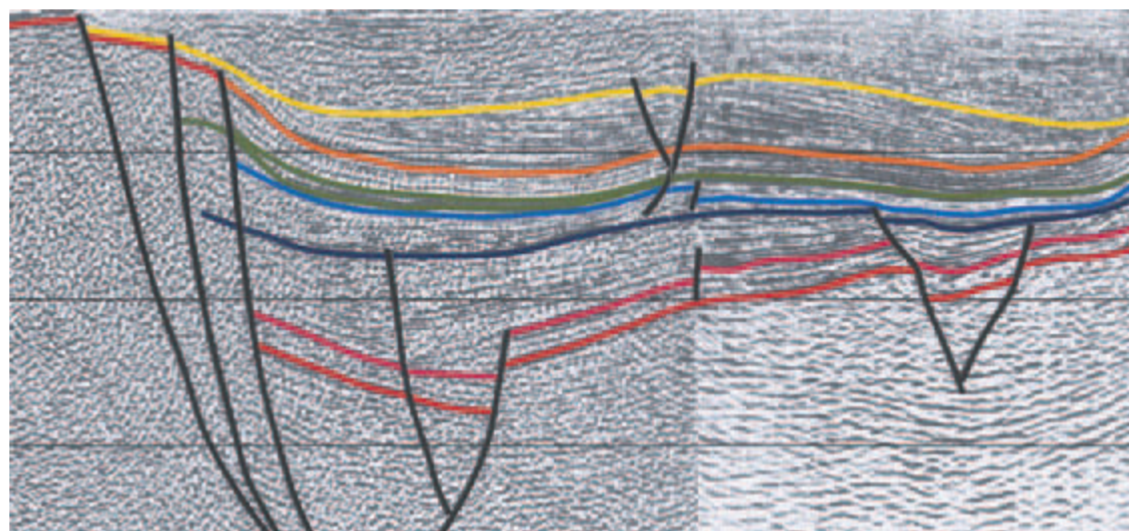


Ces propriétés peuvent être interprétées en termes de type de roche – argile, grès, calcaire, sel... –, de porosité de ces dernières et de nature des fluides présents dans les pores – eau, gaz, pétrole. Il n'est pas aujourd'hui de puits d'exploration ou de production qui ne fasse l'objet de telles mesures.

L'échographie du sous-sol

Au milieu du XXe siècle, une autre révolution technologique de la géophysique vint enrichir d'une manière déterminante la panoplie des outils des prospecteurs de pétrole : la sismique réflexion. Cette technique pourrait être comparée à l'échographie médicale, mais effectuée à une bien plus grande échelle, sur des distances de plusieurs dizaines de kilomètres et des profondeurs de plusieurs kilomètres... Des ébranlements sont produits en surface à l'aide de différents émetteurs. À terre, il s'agit d'explosions de dynamite ou de vibrations initiées par de lourdes plaques métalliques équipant d'énormes camions ; en mer, de tirs de canons à air à partir de bateaux. Les ondes qui en résultent sont transmises dans le sous-sol. Là, une partie d'entre elles sont susceptibles d'être renvoyées vers la surface par les hétérogénéités géologiques majeures qu'elles rencontrent, par exemple certaines limites de bancs rocheux. Des « images » sont ainsi produites, où les signaux épousent les structures souterraines : après avoir été « réfléchies », comme sur un miroir, ces ondes sont enregistrées par des capteurs disposés à la surface du sol ou traînés par un bateau. L'analyse de ces énormes quantités de signaux permet d'aboutir, après des opérations de traitement demandant l'intervention d'ordinateurs très puissants, à une image du sous-sol, à l'instar de celles obtenues par l'imagerie médicale. L'interprétation de cette image fournit à l'explorateur l'équivalent d'une coupe géologique approchée sur laquelle il peut essayer de reconstituer l'architecture des terrains investigués, et notamment d'identifier des structures géologiques pouvant jouer le rôle de piège pour du pétrole ou du gaz.

Le géologue est alors à même de proposer des cibles souterraines – appelées « objectifs » – pour l'implantation de forages. Décision lourde de conséquences économiques pour une entreprise pétrolière en raison du coût élevé d'un forage : de 1 million d'euros dans le bassin de Paris à 100 millions d'euros pour des opérations se déroulant par 2 000 m de fond au large de l'Angola. Évidemment, le forage n'est pas toujours couronné de succès : les images sismiques peuvent avoir été mal interprétées ou, tout simplement, le piège atteint peut ne pas contenir de pétrole mais de l'eau... C'est ce que l'on appelle, d'une manière un peu contradictoire, un « puits sec » !



Les progrès spectaculaires de la sismique au cours des dernières décennies – amélioration des sources de vibration et du traitement des signaux, augmentation formidable de la puissance des ordinateurs – ont permis, d'une part, d'améliorer constamment la qualité et la précision des images obtenues et, d'autre part, de développer la sismique 3D. Cette méthode, qui s'appuie sur une acquisition de données effectuée non plus le long d'une ligne mais sur l'ensemble d'une surface régionale, ne produit plus uniquement des images le long de coupes en deux dimensions – appelées « lignes sismiques » – mais des images de volumes de terrains en trois dimensions – appelés « blocs 3D ».

Exemple de ligne sismique interprétée par un géologue et permettant de produire une image approchée de la structure du sous-sol. Cette interprétation sert de base à la compréhension du style géologique régional et à l'identification de pièges potentiels pour le pétrole et le gaz. C'est à partir de ce genre de document que va se décider, en prenant en compte évidemment l'ensemble des informations accumulées par ailleurs, la localisation des forages à effectuer. La certitude de l'existence d'un champ n'est acquise qu'en cas de succès du forage...