

Les gisements très enfouis au delà de 5000 mètres

La quasi totalité des gisements de pétrole ou de gaz actuellement en production ont été découverts à une profondeur n'excédant pas 4500 mètres sous la surface de la terre. Mais les géologues sont aujourd'hui convaincus que plus bas, vers 6000 ou 7000 mètres, voire 8000 mètres, d'autres réserves d'hydrocarbures existent.

A ces profondeurs, compte tenu de la température et de la pression ambiantes, on ne s'attend pas à trouver du pétrole liquide, mais essentiellement du gaz : soit du gaz "sec", soit du gaz à condensats c'est à dire contenant sous forme gazeuse, un pétrole très léger généralement d'excellente qualité, qui redevient liquide à température de surface.

L'exploitation de ces gaz à grande profondeur représente un enjeu important dans un contexte où la consommation de gaz est en forte croissance : 2,7% par an à l'horizon 2010. Une consommation qui va continuer à augmenter selon toutes les prévisions, principalement en raison de la croissance des centrales à gaz pour la production d'électricité.

Ces gisements profondément enfouis correspondent à des structures géologiques particulières qu'on s'attend à trouver, notamment dans des régions déjà explorées pour des objectifs moins profonds :

- les piémonts des chaînes de montagnes (Andes, Zagros en Iran, Asie centrale) ;
- les deltas des grands fleuves comme le Niger (Nigéria), le Mississippi (golfe du Mexique) ou la Volga et l'Oural dans la mer Caspienne où les apports sédimentaires très importants provoquent un enfouissement rapide des terrains ;
- le sous-sol de bassins anciens : mer du Nord, Algérie, Moyen-Orient (Arabie Saoudite notamment) etc.

Des régions où l'exploration pourrait être relancée par la recherche à grande profondeur.

Mais, en l'état actuel des techniques d'exploration et de forage, il devient très difficile de forer avec de bonnes chances de succès et dans des conditions de sécurité acceptables à des profondeurs supérieures à 5000 mètres. Un certain nombre de verrous technologiques vont devoir être levés par les chercheurs de l'ensemble des domaines associés à l'exploration pétrolière : géologues, géophysiciens, ingénieurs réservoirs, chimistes, foreurs, spécialistes de l'électronique et de la métallurgie notamment.

Les perspectives ouvertes par ces gisements paraissent cependant suffisamment attrayantes pour que les majors de l'industrie pétrolière s'y intéressent. Les Etats-Unis ont notamment lancé un plan de recherche baptisé "Deep Trek Program", doté d'un budget de 16 millions de dollars (13,2 millions d'euros).

L'IFP, de son côté, a fait de l'exploration des gisements profondément enfouis l'un de ses "thèmes stratégiques" de recherche auquel plusieurs millions d'euros ont été consacrés depuis trois ans. L'IFP participe, par ailleurs, à un consortium financé par dix compagnies pétrolières, en association avec la

Sonatrach, qui s'est donné pour mission de rechercher du gaz à grande profondeur dans la région de Berkine, dans le sud-est de l'Algérie.

De nombreux défis technologiques

Les défis technologiques posés par les gisements très enfouis sont liés à la profondeur du fait de la température et de la pression qui y règnent. La température, qui est de l'ordre de 150 degrés centigrades vers 4500 mètres de profondeur, peut approcher 300 degrés au-delà de 6000 mètres. La pression passe d'environ 500 bars à 1000 voire 1500 bars, soit 1 500 fois la pression atmosphérique.

Ces conditions enlèvent une grande partie de leur efficacité aux techniques et aux outils utilisés aujourd'hui pour l'exploration pétrolière, quand elles ne les rendent pas totalement inopérants. Les problèmes rencontrés touchent, pratiquement sans exception, l'ensemble des instruments dont disposent les techniciens.

Sismique réflexion

La sismique réflexion est la technique qui permet, à partir de la propagation des ondes dans le sous-sol générées par des vibrations ou des mini-explosions à la surface du sol, de réaliser une "échographie" du sous-sol. Elle donne une image de la structure des différentes couches du terrain. C'est grâce à cette imagerie que l'on peut identifier les structures propices à l'accumulation d'hydrocarbures, structures qui deviennent autant d'objectifs pour les foreurs.

Cette discipline a réalisé d'immenses progrès au cours des dernières années avec le développement de la sismique 3D qui, avec l'accroissement de la résolution, permet d'imager de manière de plus en plus fine les réservoirs profonds.

Mais au-delà de 5000 mètres de profondeur on ne voit plus grand chose ! "Le signal est atténué par la profondeur et perturbé par l'hétérogénéité des morts-terrains", explique Rémi Eschard, chef du Département Sédimentologie-Stratigraphie à l'IFP.

"L'image obtenue n'est plus une représentation fidèle de ce qui se trouve dans le sous-sol. On a beaucoup de mal à visualiser les zones d'accumulation et à apprécier la qualité du réservoir".

Seul point positif : le signal sismique est également perturbé par les "zones de surpressions" qui peuvent ainsi être localisées. Ces "cocottes minutes" sont en elles-mêmes des objectifs intéressants puisque elles contiennent potentiellement d'importantes quantités de gaz.

En l'état actuel des techniques sismiques, on devra se contenter, dans la plupart des cas, d'une imagerie de qualité très moyenne pour explorer les zones profondes .

Outils de forage

Le principe du forage est simple : à partir d'une tour métallique d'environ trente mètres de haut, ressemblant à la partie supérieure de la Tour Eiffel, le derrick, des tiges métalliques font tourner un outil, le trépan, qui creuse la roche à la manière d'une gigantesque perceuse. Au fur et à mesure que le trépan s'enfonce dans le sol on rajoute des tiges.

Mais lorsque la longueur du train de tiges atteint six kilomètres, tout se complique. Son poids devient énorme : plus de 500 tonnes. Il faut donc mettre en œuvre des moteurs très puissants pour soulever

l'ensemble et le faire tourner. Compte tenu de la longueur du dispositif, le train de tiges fait cinq à six tours sur lui même avant que le mouvement de rotation ne se transmette au trépan !

Le trépan va rencontrer des roches compactées par le poids des terrains sus-jacents et donc très dures. Il va s'user plus vite que dans une configuration normale. Il faudra le changer plus souvent. Mais pour changer de trépan il faut remonter à la surface six kilomètres de tiges, les dévisser et les ranger. Durée de l'opération, une vingtaine d'heures ! Après quoi on doit redescendre l'ensemble.

Un forage profond prendra donc beaucoup de temps. "Si on compte deux mois environ pour la réalisation d'un puits classique", reprend Rémi Eschard, "pour un puits de 6000 mètres ce sera entre six mois et un an. Il faudra impérativement trouver un moyen de réduire les temps non-productifs pour réduire les coûts du forage".

"Le frottement du trépan sur des roches dures va, en outre, engendrer des phénomènes de vibration de la garniture de forage", ajoute de son côté Olivier Vincke, chef du projet "réservoirs très enfouis" à l'IFP. "Ces phénomènes de vibration ainsi que les phénomènes de corrosion aggravés par la température élevée "fatiguent" le train de tiges; on risque alors une rupture de ce train de tiges. Dans des forages conventionnels, on sait aller repêcher un train de tiges cassé. A ces grandes profondeurs, on ne pourra pas le faire, car on aura des problèmes de stabilité de parois. Le puits risque alors d'être purement et simplement perdu".

La métallurgie et la résistance des aciers, en particulier à la corrosion, sont des points délicats, pas seulement pour l'outil de forage. Les tubes d'acier utilisés pour garnir les parois du puits devront être capables de résister à de fortes pressions pendant de nombreuses années.

Diagraphies-logging

Le train de tiges est équipé de capteurs qui transmettent en permanence à la surface un certain nombre d'informations, notamment la trajectoire du forage, les pressions et températures rencontrées. Ces informations sont exploitées en temps réel pour piloter le forage, et notamment pour modifier sa trajectoire si nécessaire. Ce sont également des informations précieuses pour la réalisation des forages horizontaux.

D'autres mesures sont, en outre, réalisées lors des arrêts. Ces diagraphies, dites différées, sont l'outil de prédilection du géologue, car elles lui fournissent des indications sur les propriétés du réservoir : type de roches, porosité, nature des fluides contenus, saturation, etc.

Toutes ces mesures sont réalisées au moyen de dispositifs électroniques très perfectionnés qui ne fonctionnent plus aux températures rencontrées à de telles profondeurs. "Aucun instrument électronique ne résiste à plus de 180 degrés", déplore Olivier Vincke.

Sur ce point aussi, on cherche des solutions pour franchir le "mur de la chaleur". Certaines équipes proposent des sortes de bouteilles "thermos" dans lesquelles on pourrait protéger l'électronique.

On envisage également d'utiliser la boue de forage pour refroidir le puits pendant une durée limitée nécessaire à la réalisation des mesures. C'est une technique qui a déjà été utilisée. Mais, en faisant varier les températures, on risque de fragiliser les parois du puits et de créer des problèmes d'instabilité de parois.

Une troisième approche consisterait à exploiter les informations transportées par la boue de forage elle-même. La boue ramène, en effet, à la surface, en plus des fragments de la roche forée, des gaz contenus dans les roches rencontrées qui peuvent fournir des indications sur la nature des fluides du réservoir et servir à piloter le forage. C'est un sujet sur lequel l'IFP a conduit des recherches pour le pilotage des forages horizontaux. Faute d'informations précises permettant de corriger le tir en cours de forage, les pétroliers seront obligés de viser juste dès le départ ou bien ils manqueront leur objectif.

Boue de forage

La boue joue un rôle essentiel dans la réalisation d'un forage. Il s'agit d'un mélange à base d'eau ou d'huile (mais l'huile est interdite pour la protection de l'environnement dans certaines régions comme la mer du Nord). Elle contient de l'argile (bentonite) et des polymères, ainsi que de la baryte qui sert à régler son poids. Ce mélange est descendu jusqu'au trépan par l'intérieur des tiges de forage et remonte en périphérie, le long des parois du puits, jusqu'à la surface.

La boue de forage assume plusieurs fonctions, et entre autres :

- lubrifier le trépan et réduire les frottements de la tige sur la paroi, à la manière de l'huile de coupe en métallurgie ;
- évacuer vers la surface les débris de roches arrachés par le trépan ;
- contrebalancer la pression des fluides rencontrés en profondeur afin d'éviter des éruptions en surface.

Cette dernière fonction est particulièrement délicate puisque le poids de la boue doit être adapté à chaque phase du forage. Il ne doit pas être trop élevé afin que la boue n'envahisse pas le réservoir d'hydrocarbures. Il ne doit pas être trop faible pour résister à la pression du fluide contenu dans les roches traversées. Sinon il y a risque d'éruption ; un risque encore accru avec les pressions rencontrées à grande profondeur, supérieures à 1 500 fois celle de l'atmosphère.

"Or, à ces grandes profondeurs", explique, Olivier Vincke, "la densité de la boue doit être parfaitement calculée afin d'éviter des venues intempestives de fluides ou au contraire, de perdre la boue dans les réservoirs les plus poreux. En outre", reprend-il, "les boues dont nous disposons aujourd'hui ne sont pas utilisables à plus de 240 degrés". Un défi supplémentaire pour la recherche fondamentale si on veut aller chercher du gaz à très haute pression dans ces zones encore inexplorées.

Les perspectives de ces gisements

Il reste beaucoup d'incertitudes sur l'importance des réserves d'hydrocarbures qui pourraient se trouver à grande profondeur. Celles-ci ne sont d'ailleurs pas prises en compte dans les estimations publiées sur les réserves de pétrole et de gaz restant à découvrir dans le monde.

Deux types principaux de réservoirs sont espérés à ces grandes profondeurs, en fonction de l'histoire géologique des bassins sédimentaires :

- d'une part les réservoirs en surpression. Ces zones en surpression permettent de préserver dans ces "cocottes minutes" une porosité élevée et peuvent donc contenir de grandes quantités de gaz.
- d'autre part, les réservoirs fracturés, dans lesquels un réseau de fractures générées lors de l'histoire géologique a fragmenté la roche. La porosité de la roche elle-même est faible, mais les fractures peuvent contenir beaucoup de gaz et faciliter son écoulement.

Elaborer une représentation de ces bassins et construire des modèles prédictifs, reconstituant l'histoire du bassin au cours du temps, pour localiser les structures intéressantes constituent un défi de taille pour les géologues et les géophysiciens.

Les gisements visés devront être de grande taille, en raison des coûts prévisibles pour le forage et la mise en exploitation du champs. On anticipe en effet des difficultés de tous ordres lors de la mise en production : dépôts minéraux aux abords du puits et dans les conduites de production, émission d'H₂S et corrosion rapide de ces conduites. Alors qu'un forage classique coûte entre 5 et 10 millions de dollars, un puits à 6000 mètres de profondeur devrait coûter entre 50 et 100 millions de dollars. Un montant qui limitera sans doute le nombre des compagnies pétrolières disposant de moyens suffisants pour se lancer dans l'aventure.

Contact Presse

Anne-Laure de Marignan

Tél. 01 47 52 62 07

a-laure.de-marignan@ifp.fr