

Production des hydrocarbures : assurer l'étanchéité des puits pétroliers



Axel-Pierre BOIS (N84, PhD 95)

Gérant CURISTEC

Introduction

Les gisements d'hydrocarbures se présentent sous la forme de roches dont les pores sont remplis d'huile ou de gaz. Dans le cas des réservoirs dits conventionnels, le triptyque roche mère, réservoir perméable, barrière géologique est respecté. La genèse des matières organiques en hydrocarbures a lieu dans les roches mères, puis ceux-ci migrent en direction de la surface jusqu'à rencontrer éventuellement un piège géologique qui permet de bloquer leur déplacement (barrière géologique). Dans le cas des réservoirs de roche mère, la migration des fluides vers un réservoir perméable n'a pas eu lieu, ainsi les hydrocarbures sont immobilisés dans des formations peu perméables et il est nécessaire d'utiliser des méthodes de stimulation pour aider à leur récupération.

La gaine de ciment.

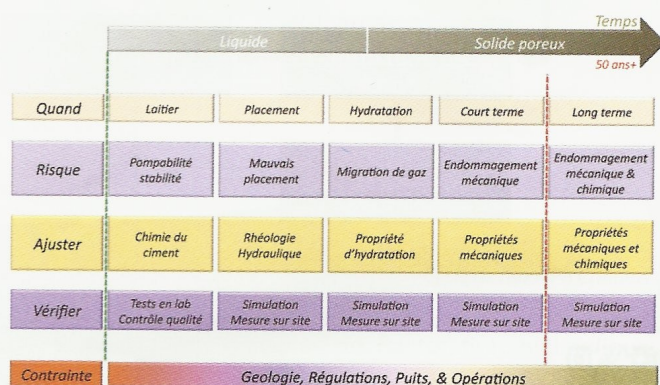
Élément clef de l'intégrité des puits pétroliers

Pour produire les hydrocarbures, il faut percer un trou de la surface jusqu'au gisement, le puits. Celui-ci est foré en plusieurs sections chacune étant protégée par un tubulaire métallique appelé cuvelage, une gaine de ciment étant placée entre ce tubulaire et la paroi du trou.

L'objectif de cette gaine de ciment est multiple : tenir le cuvelage, protéger le cuvelage de la corrosion, et surtout reconstruire la barrière naturelle qui a été détruite par le forage du puits car, sans sa présence, des fluides pourraient remonter le long du puits, du gisement vers la surface. Cette dernière fonction est essentielle pour maintenir l'intégrité du puits pétrolier puisque l'incapacité à assurer l'intégrité de la gaine de ciment peut amener à des incidents plus ou moins graves dus à la remontée d'hydrocarbures, allant d'une pollution, d'un flux souterrain, voir à une éruption en surface.

Comment analyser le risque de perte d'intégrité d'une gaine de ciment ?

Cela fait plusieurs dizaines d'années que l'industrie pétrolière travaille à diminuer les risques de perte d'intégrité des gaines de ciment et lorsqu'on étudie les nombreux articles



publiés à ce sujet, on s'aperçoit qu'elle a suivi une approche systématique qui suit les étapes de la vie d'une gaine de ciment :

- le laitier liquide,
- le placement du laitier liquide dans l'annulaire entre le cuvelage et les parois du trou,
- l'hydratation du ciment,
- la gaine de ciment soumise aux opérations de forage des phases ultérieures,
- le long terme, durant la production puis l'abandon des puits.

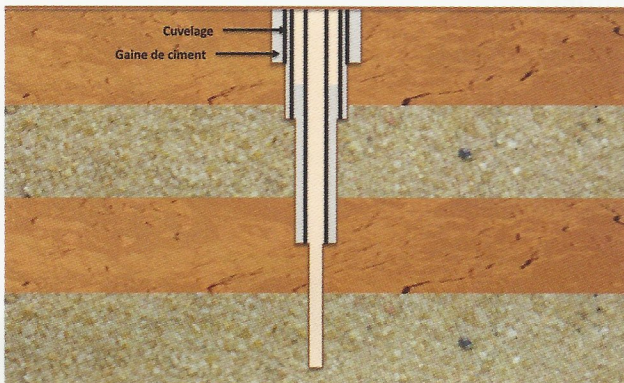
Nous proposons ci-dessous de passer rapidement en revue ces différentes étapes, tout en regroupant les deux premières.

Comment mettre en place une gaine de ciment ?

Le placement de la gaine de ciment se fait généralement par pompage du laitier de ciment dans le tubulaire, celui-ci remplaçant la boue qui y était en place lors du forage. Arrivé au fond du puits, il remonte dans l'annulaire entre le tubulaire et le trou, le pompage étant arrêté lorsque le positionnement recherché est obtenu. Un bon placement requiert donc que le laitier de ciment reste liquide et pompable durant toute la durée de l'opération (temps de prise et rhéologie), qu'il reste stable, c'est-à-dire qu'il ne présente pas de ségrégation ou de séparation liquide/solide et qu'il ne soit pas contaminé par la présence des fluides, le précédant ou lui succédant dans la séquence de pompage. La stabilité et la pompabilité s'étudie principalement par des essais en laboratoire et le placement se simule à l'aide d'outils numériques qui sont en général assez complexes car ils font appel à l'hydraulique multiphasique. Il s'agit d'un domaine plutôt mature, bien que certains aspects fassent encore l'objet de projets de R&D, notamment la maîtrise des interfaces entre les fluides lors du placement afin de s'assurer qu'aucune poche de boue de forage ne soit laissée en place

Quels sont les risques de perte d'intégrité des gaines lors de leur prise ?

Une fois le laitier de ciment placé, celui-ci s'hydrate, ce qui lui permet de se transformer en un solide poreux. Cette hydratation ne donne pas seulement naissance à de nouvelles propriétés, de résistance par exemple, mais s'accompagne aussi de variations volumétriques car la somme du volume des réactants (clinker et eau) est supérieure au volume des hydrates produits, ce que l'on appelle le retrait chimique. Ainsi, à très jeune âge, c'est-à-dire avant que le ciment ne soit pris, la gaine de ciment est soumise à une diminution de son volume (par retrait ou par filtration de son eau vers les terrains poreux) et à une structuration, ce qui induit une diminution de pression et peut permettre, en cas de mauvaise conception, à des fluides de pores de migrer dans le laitier de ciment vers la surface. C'est ce que l'on appelle la migration de gaz, des gaz parce que la plupart du temps ce sont des gaz qui migrent car ils sont plus mobiles que les liquides. Pallier ce risque nécessite d'adapter la géométrie du puits, la composition chimique du ciment ou sa mise en place. On utilise pour ce faire principalement des essais en laboratoire, mais des projets de R&D sont actuellement mis en œuvre afin de permettre de simuler numériquement ces phénomènes et ainsi d'optimiser les conditions d'hydratation des ciments.



Quels sont les risques de perte d'intégrité des gaines durant la suite des opérations de forage ?

Les opérations de forage requièrent d'adapter la densité des fluides qui sont situés dans le puits, de faire varier la pression en tête de puits et d'induire des variations de températures. Ceci induit donc des chargements thermomécaniques sur les gaines de ciment déjà en place, ce qui peut les endommager, d'où un risque de perte d'intégrité. La prise de conscience de ce risque a commencé dans les années 1990, mais la capacité à les analyser est nettement plus récente car, comme tout phénomène d'endommagement, le simuler requiert de connaître les propriétés des matériaux, l'importance des chargements et l'état de contraintes initial dans la gaine de ciment après sa prise et avant la reprise des opérations de forage. Si ces exigences apparaissent évidentes, c'est seulement ces dernières années que l'industrie s'est intéressée à la mesure des propriétés mécaniques des ciments durcis et qu'un groupe de travail a été créé au sein de l'American Petroleum Institute (API).

Par ailleurs, l'état initial de la gaine de ciment après sa prise est un sujet extrêmement récent et ce n'est que cette année

qu'a été mis sur le marché, par notre société, un logiciel permettant de simuler le comportement d'un laitier de ciment durant son hydratation, de la phase liquide à la phase poreuse, en évaluant à tout instant sa composition, sa température, ses pressions de pores et surtout son état de contraintes. Il est ainsi possible d'évaluer l'état de contraintes dans une gaine de ciment après sa prise et par la suite toute au long de sa vie, ce qui permet de savoir si la gaine peut être endommagée. L'optimisation est donc à portée de main.

Quels sont les risques de perte d'intégrité des gaines durant les phases de production et d'abandon ?

Durant ces phases, on retrouve deux types de risques : ceux déjà existants durant les opérations de forage, car là encore les gaines de ciment vont être soumises à des chargements thermomécaniques. Mais un nouveau risque existe, celui de la dégradation chimique des matériaux : corrosion des aciers et altération des minéraux cimentaires, particulièrement en présence de fluides acides (dioxyde de carbone, hydrogène sulfure) car le pH d'équilibre des systèmes cimentaires est très élevé. De nombreuses expériences de laboratoires et simulations numériques ont été réalisées ces dix dernières années montrant que ce risque pouvait être raisonnablement géré en adaptant la chimie des systèmes cimentaires ou en s'assurant que les gaines de ciment ne soient pas endommagées au préalable.

Peut-on maîtriser ces risques pour forer et produire proprement ?

Au vu de la rapide revue présentée ci-dessus, on pourrait se dire que le risque de perdre l'intégrité d'une gaine de ciment est élevé, mais l'expérience montre que l'industrie pétrolière s'est attachée à pallier chaque risque lorsqu'il a été identifié. Et pour ce faire, elle a souvent mis en œuvre des moyens de recherche et développement importants. A ce jour, on peut considérer, qu'avec les derniers développements concernant le comportement mécanique des gaines de ciment, la cimentation des puits pétroliers est devenue mature et qu'il est possible de réaliser des gaines de ciment intègres qui empêchent le rejet d'hydrocarbure dans l'atmosphère ou la pollution d'aquifère.

Bien sûr, arriver à cet objectif requiert non seulement l'existence de technologies mais aussi des processus précis et contrôlés de conception, mise en œuvre et vérification pour garantir, entre autres, que le laitier pompé soit conforme aux exigences réelles du puits. De plus, ceci doit s'accompagner d'une législation efficace et réaliste pour encadrer les pratiques de l'industrie et de dispositifs pour en vérifier l'application. Dans le cas contraire l'anarchie et, son opposé, l'immobilisme guettent, l'anxiété percole et le principe de précaution gouverne sans que l'intérêt supérieur de la nation soit réellement pris en compte.

Mais l'autre leçon de cet historique du risque de perte d'intégrité des gaines de ciment est que lorsqu'il existe un challenge technologique, il existe des possibilités de développement pour des TPE et PME à condition d'innover. Et il existe encore de nombreuses niches à pourvoir.

L'industrie pétrolière peut être écologique et facteur de croissance. ■