

Dernières avancées dans les techniques de fracturation de puits pétroliers

Publié le vendredi 28 mars 2014

Voir en ligne : <https://www.france-science.org/Dernieres-avancees-dans-les.html>

Le contexte énergétique actuel est complexe avec une demande croissante d'un côté et de l'autre des réserves de pétrole prouvées qui s'amenuisent. Sur la base de notre consommation actuelle, ces réserves représentent environ 40 ans.



Extraction de pétrole

Crédits : ssuaphoto

L'une des possibilités pour satisfaire notre demande en énergie est l'exploitation du gaz de schiste, abondant, et des pétroles de schistes qui sont des hydrocarbures de roches-mères. Ces deux ressources étant piégées dans des roches très compactes et imperméables, il est nécessaire de créer des microfissures dans la roche afin de la perméabiliser. Pour cela, depuis le début des années 1990, la technique couramment utilisée est la fracturation hydraulique à partir d'un forage horizontal qui suit la roche-mère productrice. La fracturation de la roche consiste à injecter à très haute pression dans le puits un fluide composé d'eau avec 10% d'agents de soutènements et 0,5% d'additifs. Les agents de soutènements tels que le sable ou des poudres céramiques permettent de garder les microfissures ouvertes tout en conservant un "chemin drainant" pour que le gaz ou le pétrole puissent être extraits à mesure de leur désorption de la roche du réservoir. Les zones extractibles restent confinées à proximité des microfissures ce qui entraîne une diminution de la productivité du puits assez rapide dans le temps, cette dernière n'étant plus que de 10% au bout de 5 ans. Pour optimiser la technique de fracturation hydraulique et optimiser l'exploitation du réservoir, en général, plusieurs fracturations en séquence sont pratiquées en partant du point le plus éloigné de la base du puits ; il s'agit du "*multifracking*".

La fracturation hydraulique, technique controversée en raison de ses impacts environnementaux auxquels elle a été notamment associée aux Etats-Unis, est utilisée dans des dizaines de milliers de forages d'hydrocarbures dans le monde chaque année. Son utilisation pour exploiter les gisements non-conventionnels est relativement récente et de nombreux groupes de recherche travaillent sur une meilleure compréhension des réseaux souterrains ou sur une amélioration de la technique de fracturation en termes de performances ou d'impact sur l'environnement. Le Département américain de l'Energie ("*US Department of Energy*" ; DoE) travaille sur ce dernier sujet comme en témoignent deux des exemples cités ci-après et le rapport d'Ambassade rédigé par le Service pour la Science et la Technologie à l'Ambassade de France aux Etats-Unis [1].

Comment vérifier la connectivité souterraine ?

Les compagnies de forage rencontrent des difficultés pour déterminer la connectivité souterraine des microfissures, c'est-à-dire quelles fissures sont reliées entre elles permettant de connecter les puits d'insertion aux puits de production par lesquels le gaz ou le pétrole sont extraits. Pour comprendre le réseau souterrain de microfissures, des traceurs, sous forme de nanoparticules, peuvent être ajoutés aux fluides de fracturation mais de nombreuses optimisations restent à apporter, en particulier au niveau de la miniaturisation du volume des nanoparticules utilisées. Idéalement il faudrait utiliser une faible quantité de particules n'ayant aucune interaction avec la roche, les agents de soutènements ou le magma pompé, et facilement identifiables à la

sortie des puits d'extraction. La durée de la traversée devrait donner des indications sur la connectivité souterraine entre les microfractures. En effet, plus le temps de voyage serait court, plus les réseaux de fissures seraient développés et inversement. Le traceur sélectionné doit être adapté à l'agent de soutènement car les nanoparticules sont pour moitié en contact avec ce dernier. Or l'industrie manque d'une méthode unique pour tester et optimiser les nanoparticules pour des formations rocheuses ou des fluides particuliers.

L'équipe du Professeur Andrew Barron, à l'université Rice, a mis au point un dispositif automatique permettant aux nanoparticules de parcourir un petit modèle de formation géologique et d'analyser rapidement ce qui est obtenu à l'autre extrémité [2]. Le dispositif envoie une faible quantité de nanoparticules d'argent sous forme d'impulsions rapides à travers une colonne solide simulant à petite échelle le chemin qu'elles parcourraient dans un puits. Ce dispositif permet aux chercheurs d'avoir un regard précis sur la robustesse des particules et sur leurs propriétés d'agglomération aux roches ou agents de soutènement. Les chercheurs ont sélectionnés les nanoparticules d'argent comme modèle d'étude pour leurs propriétés plasmoniques qui leur permettent d'être facilement observables grâce à un spectroscope et de fournir des données de grandes qualités. D'après le Dr. Barron, ces dernières ne sont pas utilisables dans de réels puits de forage. Cependant, elles sont aisément modifiables avec d'autres produits chimiques en fonction du type de roche forée et de l'agent de soutènement utilisé. Ce procédé, très simple, leur a permis de mettre au point des nanoparticules différentes et de les tester pour déterminer leur comportement.

En plus d'une utilisation dans le cadre des forages pétroliers, d'autres applications de ce dispositif peuvent être envisagées comme le suivi de l'eau de la source à la destination, ce qui pourrait intéresser les agences gouvernementales pour la compréhension du fonctionnement des aquifères ou la surveillance des flux de polluants dans les réserves d'eau.

Comment piéger le méthane relâché lors de la fracturation ?

Lors des opérations de fracturation hydraulique pour la production de gaz naturel ou de pétrole, un sous-produit est relâché dans l'atmosphère : le méthane (CH₄). Ce gaz à fort pouvoir réchauffant (effet 23 à 25 fois plus important que le CO₂ sur une période de 100 ans) contribue significativement au changement climatique et par conséquent il est aujourd'hui considéré comme problématique [3]. Pour éviter de relâcher le méthane dans l'atmosphère lors de la fracturation, un consortium de chercheurs composé du Laboratoire National d'Énergie Renouvelable au DoE (*National Renewable Energy Laboratory*, NREL), de l'Université de Washington, et des sociétés Lanzatech - entreprise pionnière dans le domaine de la technologie déchet à carburant - et Johnson Matthey travaille sur le développement d'un microbe capable de convertir le méthane en carburant liquide [4]. En cas de succès, le procédé "Biologique Gaz vers Liquide" (BioGTL) pourrait, en plus de son impact environnemental, avoir des répercussions économiques importantes en réduisant la dépendance énergétique des États-Unis par rapport à l'étranger. En effet, avec une forte croissance dans l'exploitation de la fracturation hydraulique (aujourd'hui 600.000 puits utilisant cette technique sont dénombrés aux États-Unis), la quantité de méthane perdue dans l'atmosphère est devenue problématique. Cette dernière est estimée à 28 milliards de mètres cubes, ce qui équivaut en capacité énergétique à 1/3 de la quantité de pétrole consommée chaque année aux États-Unis.

Cette potentielle manne d'énergie représente 12 milliards de dollars de revenus supplémentaires. Le méthane issu des forages n'a jusqu'alors pas été exploité pour des raisons de rentabilité ; il était trop coûteux d'apporter le gaz naturel sur le marché. Cependant, si ce gaz naturel peut être transformé en carburant liquide, il sera alors transportable avec le pétrole jusqu'aux raffineries afin d'être transformé en carburant. Soutenus par un financement de 4,8 millions de dollars provenant du *Advanced Research Projects Agency-Energy* (ARPA-E) du DoE, les chercheurs travaillent sur la mise au point d'un procédé évolutif, peu coûteux, fonctionnant à basse température et avec un faible impact sur l'environnement pour convertir ce méthane gaspillé en carburant.

La solution envisagée par le consortium de chercheurs pour convertir le méthane en carburant liquide est d'utiliser une bactérie méthanotrophe capable de digérer le méthane et de le convertir en carburant liquide. Les microorganismes peuvent être cultivés dans un dispositif de fermentation avec l'aide de nutriments tels que l'azote, le phosphore et des sels minéraux et il est possible d'utiliser l'eau récupérée en sortie des puits pour faire fonctionner le dispositif. Les chercheurs ont fait le choix d'utiliser un nouveau type de microbe méthanotrophe : *Methylobacterium buryatense* 5GB1, qui fait partie des rares bactéries capables de produire

des lipides, précurseurs du carburant, à partir de n'importe quelle source de carbone, ici le méthane. A l'échelle du laboratoire, les chercheurs ont montré que, en 3h avec un milieu minéral simple, leur microbe se développe 2 fois plus rapidement que les autres méthanotrophes avec un taux de lipides de 17 à 22%. Leur dispositif d'alimentation continu des bactéries en méthane dans le dispositif de fermentation a obtenu en décembre dernier un SWP (*Safe Work Permit*), élément important pour la commercialisation de ces dispositifs sur les sites de forage. Dans le consortium chaque rôle est bien défini : les chercheurs de l'Université de Washington sont en charge des modifications génétiques du microbe pour accroître la production lipidique et obtenir des lipides sans phosphore qui seraient plus aisément convertibles en carburant ; l'équipe de Johnson Matthey travaille sur la conversion des phospholipides en carburant ; LanzaTech a signé un accord pour convertir le procédé du laboratoire à l'échelle commerciale en cas de succès ; les chercheurs du NREL sont en charge de la fermentation, de la démonstration de la productivité des microbes naturels et génétiquement modifiés, de l'extraction des lipides à partir des bactéries des organismes et de l'analyse du potentiel économique du projet.

Toutefois, de nombreux challenges restent encore à relever avant qu'un dispositif de fermentation soit mis en service à la sortie des puits de fracturation. On peut citer par exemple la dépendance du système au transfert de masse de l'oxygène gazeux et du méthane qui sont tous deux peu solubles dans l'eau ainsi que l'évacuation de la chaleur produite par la croissance rapide des bactéries. Cependant l'intérêt du procédé reste très élevé. Par exemple, l'ARPA-E a récemment distribué des financements dans le cadre de son programme REMOTE (*Reducing Emissions using Methanotrophic Organisms for Transportation Energy*) pour identifier de nouvelles technologies de conversion du méthane en carburant, financement auquel le consortium a eu recours [5]. Lors de sa candidature, l'équipe de chercheurs a déclaré que ce procédé pourrait simultanément capturer l'énergie perdue, produire une nouvelle source d'hydrocarbure liquide et atténuer les émissions de gaz à effet de serre tout en créant de nouveaux emplois et de nouveaux équipements de production. De grandes ambitions à suivre...

Nouvel alliage pour l'utilisation de l'électronique dans les puits pétroliers

De leur côté, les chercheurs du *National Sandia Laboratory* du DoE à Albuquerque ont développé un nouvel alliage composé d'or, d'argent et de germanium dans les proportions massiques respectives : 77,32%-12,62%-10,06% [6]. Développé il y a une quinzaine d'année comme nouveau matériau de soudure pour un tube à neutrons, cet alliage a été mis de côté jusqu'à ce que des chercheurs travaillant sur des applications électroniques dédiées à la surveillance des puits sur les champs opérationnels s'y intéressent et requièrent l'aide des géothermiciens de Sandia. En effet, les composants électroniques introduits dans les puits, appelées "*downhole*", doivent résister à des conditions extrêmes avec de hautes températures, de fortes pressions et des vibrations excessives. L'alliage or-argent-germanium développé remplit ce cahier des charges, ce qui représente une niche unique pour Sandia dans le domaine de l'électronique "*downhole*". La plupart des procédés de brasure se produisent aux alentours de 700°C alors que la soudure se produit quant à elle en dessous de 350°C, laissant peu de matériaux avec un point de fusion compris entre ces deux températures pour ces applications. Jusqu'alors les seuls matériaux disponibles étaient des alliages à base de brasure d'aluminium qui fondent autour de 600°C mais difficiles à produire. L'alliage mis au point par Sandia présente un avantage certain en ne comportant pas de plomb ce qui le rend compatible avec les réglementations européennes. De plus, ce dernier possède un point de fusion uniforme et proche de la brasure permettant des applications en électronique pour les puits. La caractérisation des propriétés techniques et des performances de l'alliage en terme d'agent de soudure est déjà bien avancée ce qui leur permet un gain d'étude d'environ 2 ans. Leur publication sur les propriétés de cet alliage a été récompensée par le *Best of Proceedings category* par la *Surface Mount Technology Association International* en 2012. SMTA International considère que Sandia sera capable d'utiliser cet alliage comme agent de soudure dans les composants de haute précision.

Du biomimétisme pour l'amélioration des techniques de forage ?

Le domaine pétrolier est souvent victime d'une mauvaise image auprès des défenseurs de la nature. Or, de nouvelles études inspirées d'organismes naturels pour l'amélioration des techniques de forage sont en cours ; celles-ci pourraient, pour une fois, rapprocher les deux parties. C'est le cas des escargots et des palourdes dont le mode de déplacement a attiré l'attention du Professeur Anette Hosoi, à l'Institut de Technologie du Massachussetts [7]. En effet les escargots peuvent se déplacer dans toutes les directions et sur des surfaces

variées grâce à leur mucus qui leur permet une bonne adhésion à de nombreux supports. En partant de ce constat l'équipe du Dr. Hosoi a mis au point un robot appelé "*RoboSnail*" capable de grimper des murs et de rester accroché sur des surfaces à l'envers ce qui peut avoir des applications en forage de puits pétrolier. De même, ils ont développé un robot "*RoboClam*" inspiré de la palourde qui peut plonger et se terrer dans le sable avec une consommation en énergie bien moindre que les équipements et technologies actuelles pour les forages. La compréhension de son fonctionnement pourrait permettre de développer un dispositif automatique.

Sources :

- [2] Article "Automated method for determining the flow of surface functionalized nanoparticles through a hydraulically fractured mineral formation using plasmonic silver nanoparticles", Maguire-Boyle, S. J. et al., *Environ. Sci. : Processes Impacts*, 2014,16, 220-231.
<http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2014/em/c3em00718a#!divAbstract>

- [3] BE Etats-Unis 328, "Gaz naturel : comment limiter les "emissions fugitives" ?" :
<http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/72824.htm>

- [4] Press release du National Renewable Energy Laboratory, US Department of Energy : "NREL working to clean air in fracking process" : http://www.nrel.gov/news/features/feature_detail.cfm/feature_id=7300

- [5] Site internet de "Advanced Research Projects Agency - Energy" (ARPA-E) concernant le projet de conversion du méthane en carburant :
<http://www.arpa-e.energy.gov/?q=arpa-e-projects/microbe-based-methane-diesel-conversion>

- [6] Article "Ag-Au-Ge Alloys For High Temperature Geothermal and Oil Well Electronics Applications", Vianco, P. T. et al., SMTA International Conference 2012.
http://www.smta.org/knowledge/proceedings_abstract.cfm?PROC_ID=3538

- [7] Press release de la Society for Industrial and Applied Mathematics : "An intersection of math and biology : Clams and snails inspire robotic diggers and crawlers" :
<http://connect.siam.org/an-intersection-of-math-and-biology-clams-and-snails-inspire-robotic-diggers-and-crawlers/>

Pour en savoir plus, contacts :

[1] Rapport d'Ambassade "Gaz de schistes aux Etats-Unis : Recherche en vue de minimiser l'impact environnemental" : http://www.bulletins-electroniques.com/rapports/smm12_031.htm

Code brève

ADIT : 75538

Rédacteurs :

- Maud Bernollin, Attachée Scientifique Adjointe, deputy-phys@ambascience-usa.org ;
- Suivre le secteur Physique, Chimie, Nanotechnologies sur twitter @Fr_US_Nanotechs ;
- Retrouvez toutes nos activités sur <http://france-science.org>.