

L'ESSENTIEL

■ Le coût de la capture et du stockage du dioxyde de carbone (CO_2) est souvent rédhibitoire.

■ Pour y remédier, on envisage d'amener en surface de l'eau salée (ou saumure) chaude et riche en méthane, abondante dans certains sous-sols. Du CO_2 y serait dissous, tandis que du méthane et de l'énergie géothermique en seraient extraits.

■ La saumure chargée en CO_2 serait ensuite renvoyée dans les profondeurs pour être stockée de façon permanente.

migrer jusqu'à la surface. À l'origine, la plupart des prospecteurs foraient là où ils repéraient un suintement.

Plusieurs études ont montré que de nombreuses structures géologiques du sous-sol peuvent bloquer l'ascension du CO_2 , mais que le gaz risquerait tout de même de remonter par divers conduits naturels. Cependant, une propriété intéressante du CO_2 pourrait être exploitée. La plupart des liquides deviennent moins denses quand du gaz s'y dissout, mais le contraire se produit lorsque du CO_2 se dissout dans l'eau. En profondeur, l'eau liquide est principalement présente sous forme de saumure et celle-ci est plus dense quand elle contient du dioxyde de carbone. La saumure chargée en CO_2 tend alors à couler, ce qui l'éloigne de la surface et augmente la fiabilité du stockage.

Cependant, dans les conditions de température et de pression régnant dans les profondeurs, le CO_2 met du temps à se dissoudre dans la saumure. Mon étudiant Mac Burton et moi avons envisagé une solution radicale : forer un puits jusqu'à la saumure pour la faire remonter à la surface, où du CO_2 y serait injecté sous pression (sa dissolution serait alors plus rapide), avant de la renvoyer dans le sous-sol.

Une telle méthode nécessiterait beaucoup d'énergie. En outre, il faudrait remonter de grandes quantités de saumure, car elle retient assez peu de CO_2 par unité de masse.

Des techniques bien maîtrisées par l'industrie pétrolière

Ce second point ne semble pas problématique : les compagnies pétrolières ont l'habitude de gérer des quantités de fluides équivalentes. Pour exploiter un réservoir, elles forent des puits régulièrement espacés et injectent par certains d'entre eux de l'eau ou de la saumure, qui pousse le pétrole vers le haut ; ce dernier est alors récupéré par les autres puits. Aujourd'hui, une dizaine de gigatonnes de saumure sont ainsi injectées chaque année dans les réservoirs (la plupart du temps, cette saumure provient elle-même du sous-sol). Nous devrions donc parvenir à gérer les flux de saumure nécessaires à un stockage de CO_2 significatif. Certains puits extrairaient de la saumure et d'autres la renverraient

dans le sous-sol avec un chargement de CO_2 dissous.

En revanche, les investissements nécessaires et les coûts d'exploitation sont plus difficiles à assurer. Dans la plupart des pays, les entreprises qui émettent du CO_2 ne paient rien en retour, de sorte qu'elles n'ont aucune incitation économique à séquestrer le carbone. Gary Pope, qui enseigne l'ingénierie du pétrole à l'Université du Texas, a alors eu l'idée d'exploiter le méthane des saumures, susceptible d'être brûlé dans des centrales thermiques locales ou distribué dans des gazoducs.

Comme toutes les régions pétrolières, le golfe du Mexique possède de profonds aquifères salins riches en méthane dissous. Ce gaz pourrait être extrait de la saumure lorsqu'elle atteint la surface et remplacé par du CO_2 . Combinée avec la production de chaleur géothermique, l'exploitation du méthane suffirait-elle à couvrir le coût de fonctionnement de l'installation ? Avec G. Pope, nous avons engagé un doctorant, Reza Ganjdanesh, pour le déterminer.

Plus d'énergie extraite que consommée

Dans un forage conventionnel, la saumure qui remonte dans un puits chute en pression et relargue une partie de son méthane. Y dissoudre du CO_2 force encore plus de méthane à sortir. En outre, le long des côtes du Texas et de la Louisiane, de nombreux aquifères sont situés à une profondeur supérieure à trois kilomètres et ont une forte pression interne, si bien que la quantité d'énergie nécessaire pour amener la saumure à la surface est faible, voire nulle.

Ces aquifères sont aussi assez chauds pour que la saumure constitue une source notable d'énergie géothermique (sa température y dépasse 150°C). R. Ganjdanesh a montré que l'extraction de méthane et de chaleur, combinée avec la dissolution de CO_2 dans le fluide, a un solde énergétique positif : le méthane et la chaleur représentent plus d'énergie que ce qui est consommé. Le dispositif pourrait donc être économiquement attractif, même quand le droit d'émettre du carbone ne coûte rien.

Le méthane des saumures risque de toute façon de devoir être exploité un jour. Des décennies durant, on a foré dans les gisements les plus accessibles, les plus faciles à exploiter et où le combustible était le plus concentré. Mais aujourd'hui, ces

d'une gigatonne de CO_2 compressé pourrait être réalisable, mais avec un effort conséquent. Bien sûr, le stockage de CO_2 peut s'accompagner d'autres mesures, telles que l'amélioration de l'efficacité énergétique et le passage à des carburants non fossiles, qui réduiraient les émissions à la source.

La difficulté est que le dioxyde de carbone tend à remonter vers la surface à travers des fissures et des pores, pour finir par s'échapper dans l'atmosphère, à moins qu'il ne rencontre un « joint étanche » sur son trajet – une couche rocheuse dont les pores sont si minuscules que le gaz ne peut s'y infiltrer. L'industrie pétrolière bénéficie de flux ascensionnels similaires. Le pétrole et le gaz arrivent dans les réservoirs du sous-sol à partir de roches encore plus profondes, et une partie continue de

gisements s'épuisent et l'ère du pétrole et du gaz « faciles » est révolue. La demande continuant de croître, les exploitants se tournent vers des formes moins accessibles de carburants fossiles.

Au cours des cinq dernières années, l'augmentation de la production américaine de pétrole et de gaz a surtout résulté de la fracturation hydraulique de schistes profonds. Les combustibles y sont moins concentrés que dans les gisements traditionnels, leur récupération est lente et difficile, et pose des problèmes environnementaux, mais ils sont présents en quantités considérables. En 2012, les États-Unis ont extrait quelque 255 milliards de mètres cubes de gaz de schiste, d'une valeur de 25 milliards de dollars (18,5 milliards d'euros).

Le méthane dissous dans la saumure pourrait être encore plus abondant, malgré une concentration cinq fois plus faible que dans les schistes. Il représentera sans doute la prochaine réserve exploitée. Pour la côte du golfe uniquement, il y aurait de l'ordre de un million de milliards de mètres cubes de méthane. Pour comparaison, les États-Unis ont consommé au cours des dernières décennies entre 560 et 710 milliards de mètres cubes de gaz naturel par an.

L'immensité des réserves de gaz dissous dans les saumures a poussé le Département de l'énergie américain à effectuer quelques tests dans les années 1970 et 1980. Des puits ont été creusés et de la saumure a été remontée à la surface, mais les coûts n'étaient pas compétitifs.

Chauffer grâce à l'énergie géothermique

Ce n'est toujours pas le cas, mais la production combinée d'énergie géothermique pourrait changer la donne. Sur une échelle de temps humaine, la chaleur interne de la Terre durera indéfiniment. Son exploitation requiert des puits d'injection et d'extraction, techniques déjà disponibles et utilisées pour d'autres ressources du sous-sol. La principale raison pour laquelle l'énergie géothermique véhiculée par la saumure n'est pas plus exploitée est qu'elle est peu dense : à volume équivalent, la saumure contient beaucoup moins d'énergie que celle obtenue en brûlant du charbon, du pétrole ou du gaz (le rapport est d'environ deux ordres de grandeur).

Cependant, cette faible densité énergétique n'est pas problématique pour

■ L'AUTEUR



Steven BRYANT est professeur d'ingénierie du pétrole et des systèmes géologiques

à l'Université du Texas, à Austin, aux États-Unis.

■ SUR LE WEB

Plus d'information

sur les coûts :

ScientificAmerican.com/
nov2013/bryant

Quelques chiffres

Le stockage d'une gigatonne de CO₂ par an :

- nécessiterait l'extraction et l'injection de plus de 63 millions de mètres cubes de saumure par jour.

- produirait plus de 110 milliards de mètres cubes de gaz naturel par an, soit un sixième de la consommation américaine.

- fournirait entre 20 et 200 gigawatts de chaleur d'origine géothermique, selon les applications.

certaines applications. Le chauffage et la climatisation, ainsi que la production d'eau chaude, représentent une part importante de l'énergie que nous consommons (près de dix pour cent aux États-Unis, selon le Département de l'énergie). Ces usages pourraient être assurés par la géothermie à basse ou moyenne énergie. En Europe, des pompes à chaleur fonctionnant sur ce principe sont exploitées avec succès depuis de nombreuses années.

Une région idéale au Sud-Est des États-Unis

Les dispositifs qui combinent le stockage du CO₂ avec l'extraction du méthane et de la chaleur des saumures séquestreraient-ils assez de gaz pour réduire de façon notable la quantité émise dans l'atmosphère ? Nous l'avons récemment étudié pour la côte du golfe, qui abrite de nombreuses centrales à combustibles fossiles et des industries très émettrices de CO₂.

Du gaz pourrait aussi y être acheminé depuis des sources distantes. La construction des pipelines nécessaires est réalisable, même si elle impliquerait des investissements importants. Ainsi, dans les années 1980, les industriels ont construit plus de 3 400 kilomètres de pipelines dans l'Ouest du Texas pour apporter le CO₂ de réservoirs souterrains naturels à des gisements de pétrole, où il sert à augmenter la quantité de pétrole récupérée. Là encore, la région de la côte du golfe est l'endroit idéal pour le dispositif combiné : outre ses énormes réservoirs de saumure et sa population importante (qui constitue un débouché potentiel pour l'énergie géothermique), elle a une infrastructure de pipelines développée, qui alimente le reste du pays en gaz naturel.

Stocker une gigatonne de CO₂ par an, soit un sixième des émissions actuelles des États-Unis, nécessiterait l'extraction et l'injection de plus de 63 millions de mètres cubes de saumure par jour. Ce débit est élevé, mais pas insurmontable : on pourrait l'obtenir avec environ 100 000 puits (à titre de comparaison, plus d'un million de puits ont été forés au Texas pour le pétrole et le gaz). Il faudra de nombreuses années pour les creuser, mais la réalisation de tout autre dispositif évitant l'émission d'une gigatonne de CO₂ par an prendrait un temps similaire. Si l'on remplaçait des centrales au charbon par des centrales nucléaires, par exemple,