

sujet, dans le cadre du programme de recherche sur les gaz à effet de serre de l'Agence internationale de l'énergie et dans le cadres de programmes nationaux et industriels.

Une nouvelle approche en Norvège

La première opération de stockage de dioxyde de carbone dans une formation géologique a commencé en octobre 1996, en mer du Nord, à 240 kilomètres des côtes norvégiennes. Sur l'une des plates-formes pétrolières du site de Sleipner, on injecte chaque semaine 20 000 tonnes de dioxyde de carbone dans les pores d'une couche de grès, à 1 000 mètres sous le fond de la mer.

Comment cette opération a-t-elle commencé? Le gaz naturel extrait sur cette plate-forme contient neuf pour

cent de dioxyde de carbone : pour qu'il soit vendable, l'usine chimique de la plate-forme le purifie, mais, au lieu de rejeter le dioxyde de carbone dans l'atmosphère, les sociétés exploitantes (*Statoil, Exxon, Norsk Hydro et Elf*) ont décidé de le stocker. Elles le compriment, puis l'injectent à travers un puits de 200 mètres de profondeur, dans la couche de grès sous-jacente initialement remplie d'eau salée (formation aquifère saline). La quantité de gaz ainsi stocké cette année à Sleipner (un million de tonnes) représente trois pour cent des émissions totales de dioxyde de carbone de la Norvège.

Dans ce pays, c'est une taxe sur les émissions de dioxyde de carbone dans l'atmosphère qui a décidé les pétroliers à stocker ce gaz : en 1996, cette taxe s'élevait à environ 300 francs par tonne de gaz émis (aujourd'hui, elle n'est plus

que de 230 francs environ). L'investissement correspondant à l'achat du matériel de compression et au forage du puits s'est élevé à 480 millions de francs environ. Le rejet du dioxyde de carbone dans l'atmosphère aurait coûté environ 300 millions de francs par an entre 1996 et 1999 : les propriétaires de la plate-forme ont donc amorti leur investissement en un an et demi.

Dans d'autres régions du monde, des pétroliers ont des projets similaires. En mer de Chine, le champ pétrolier de Natuna contient du gaz naturel et 71 pour cent de dioxyde de carbone : l'exploitant prévoit de stocker ce dernier. Aujourd'hui, on étudie les possibilités de stockage de ce gaz dans le sous-sol, notamment sous les installations de gaz naturel liquéfié des sites de Gordon (Australie), de Snøhvit (Norvège) et sous les champs pétrolifères de la Pente (Alaska).

Les pétroliers doivent séparer le gaz naturel du dioxyde de carbone pour le vendre ; le dioxyde de carbone est donc prêt pour le stockage. Toutefois, dans d'autres industries, sa récupération représente une étape coûteuse à mettre en place avant le stockage. Les industriels concernés seront plus difficiles à convaincre que les pétroliers, à cause du coût supplémentaire.

L'enfouissement du dioxyde de carbone : quelle technique employer?

• En quoi consiste le stockage du carbone?

Au lieu de laisser le dioxyde de carbone (un gaz à effet de serre) produit par les activités humaines se dégager dans l'atmosphère, on envisage de le stocker dans des réservoirs naturels, afin de limiter les risques de réchauffement de l'atmosphère. La plantation d'arbres est l'un des moyens de stockage. Nous en étudions un autre : la récupération du dioxyde de carbone dégagé par des sources fixes, par exemple par les centrales électriques, et son injection dans l'océan ou dans le sol.

• Où sera stocké le dioxyde de carbone?

Dans des formations géologiques, tels les gisements houillers non exploitables, les puits de pétrole ou de gaz naturel épuisés et les formations géologiques qui contiennent de l'eau salée. Le procédé employé serait le pompage, comme pour l'extraction du pétrole, mais en sens inverse (vers le bas). On étudie aussi les possibilités de stockage dans la mer, en répandant le dioxyde de carbone en petites gouttelettes, de sorte que sa concentration reste faible et modifie peu les écosystèmes environnants, et en choisissant une profondeur telle que le gaz reste dans la mer.

• Comment évaluer les risques que présente ce stockage?

L'évaluation des risques est l'un des principaux objectifs des recherches. En 1986, l'énorme bulle de dioxyde de carbone qui s'est dégagée du lac Nyos (au Cameroun), asphyxiant près de 2 000 personnes, a posé le problème de la sécurité de façon dramatique. Toutefois, la situation dans le lac Nyos était totalement différente de celle que nous envisageons dans la mer. L'éruption y était inéluctable, étant donné la petite taille du lac et la grande quantité de dioxyde de carbone stocké. En revanche, la capacité de l'océan est bien supérieure. Dans le cas d'un stockage souterrain, la nature a fait ses preuves : des réservoirs naturels, tel celui du McElmo Dome (Colorado), retiennent d'énormes quantités de dioxyde de carbone depuis des siècles.

• Le stockage du dioxyde de carbone a-t-il déjà commencé?

Oui. La plate-forme *off-shore* de gaz naturel de Sleipner, au large de la Norvège, injecte chaque jour du dioxyde de carbone dans un aquifère salin à 1 000 mètres sous le plancher océanique. C'est le seul projet qui vise à réduire les risques de réchauffement de l'atmosphère, mais d'autres projets démontrent la faisabilité d'un tel stockage. Plus d'une dizaine de centrales électriques collectent le dioxyde de carbone de leurs rejets gazeux, notamment la centrale de Shady Point (Oklahoma), qui le revend. Aux États-Unis, dans plus de 65 puits d'extraction de pétrole, on injecte du dioxyde de carbone sous terre pour augmenter le rendement du forage.

En sous-sol

La technique d'injection du dioxyde de carbone dans le sous-sol est au point : c'est la même que pour extraire du pétrole ou du gaz naturel, mais on pompe vers le bas. On l'utilise même sur de nombreux champs de pétrole pour rendre les puits d'extraction plus productifs : en injectant du dioxyde de carbone dans le pétrole, on fait remonter ce dernier jusqu'à la surface.

Les formations géologiques du monde entier, telles les formations aquifères salines (site de Sleipner), les gisements houillers non exploitables, les réservoirs de pétrole et de gaz épuisés, les cavernes rocheuses et les dômes de sel, pourraient contenir des centaines, voire des milliers, de gigatonnes de carbone.

Bien que les formations géologiques soient de bons sites de stockage, le réservoir potentiel le plus important est l'océan, qui contient 40 000 gigatonnes de carbone dissous (l'atmosphère n'en contient que 750) et dont la capacité est bien supérieure. Même si l'on injectait dans les