

Energie et climat: la technologie du stockage du gaz carbonique est-elle viable?

Soumis par Pierre Papon
10-11-2009

Un récent colloque international sur le captage et le stockage du gaz carbonique émis, notamment, par des installations industrielles utilisant des combustibles fossiles, qui s'est tenu à Paris a permis de jeter un coup de projecteur sur l'avenir de cette technologie. Celle-ci est censée limiter les émissions de CO₂ et constituer un moyen important de lutte contre le réchauffement climatique. Il est probable que les techniques utilisées feront partie de la panoplie des transferts de technologie en débat dans la négociation internationale qui va s'engager lors de la conférence de Copenhague en décembre prochain.

Pourquoi capter et stocker le gaz carbonique? Telle est la première question que l'on doit se poser alors que plusieurs prototypes d'installations industrielles pour réaliser cette opération sont en fonctionnement et que plusieurs dizaines d'autres sont en projet dans le monde. Si la réponse à cette question est relativement simple - il faut éviter une amplification de l'effet de serre dont le CO₂ est en grande partie responsable - la mise en oeuvre des techniques pour réaliser ces opérations de captage-stockage est complexe. Un colloque international organisé à Paris les 5 et 6 novembre par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), l'Institut Français du Pétrole (IFP) et le Bureau des Recherches Géologiques et Minières (BRGM) a permis de faire le point des techniques et de leurs perspectives. Il faut rappeler d'abord que la plupart des scénarios énergétiques actuels dit tendanciels (Business as usual : on laisse filer la consommation d'énergie), en particulier ceux de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE), prévoient une progression de 45% des émissions de gaz carbonique d'ici 2030 liées à la consommation d'énergie et à la croissance de la demande. Sur une base des émissions mondiales de CO₂ qui, en 2008, étaient proches de 30 Gtonnes, celles-ci passeraient à 42,8 Gtonnes en 2030 et à 51 Gtonnes en 2050 (données Enerdata correspondant aux scénarios tendanciels) ; les secteurs des transports et de la production d'électricité seraient responsables tous deux de 70% de cette progression des émissions. La situation est autant plus préoccupante que de nombreux pays émergents, la Chine et l'Inde notamment, prévoient une très forte progression de leur consommation de charbon pour produire, en particulier, de l'électricité (la Chine produit aujourd'hui 80% de son électricité avec du charbon) et que le charbon, à pouvoir calorifique équivalent, « produit » davantage de CO₂ que le gaz naturel ou le pétrole (on lira avec grand intérêt l'article sur le charbon de J-M.Martin-Amouroux "Le grand retour du charbon" dans la revue Futuribles de novembre p.5-27). Selon les statistiques publiées par Enerdata, le charbon contribuerait ainsi à 62% des émissions de CO₂ en 2050 si aucune mesure n'était prise pour limiter les émissions de CO₂ (c'est un des enjeux de la conférence de Copenhague). Les experts du climat, ceux du GIEC, en particulier, estiment que cette forte croissance des émissions de CO₂ sera un facteur déterminant d'un fort réchauffement climatique et qu'une diminution drastique de la consommation d'énergie fossile, et notamment de celle du charbon dans les centrales thermiques (utiliser du « charbon propre » selon l'expression consacrée), et la construction de centrales thermiques avec des dispositifs de captation et de stockage du CO₂ à la sortie des centrales à partir de 2020 sont impératives. En limitant la concentration de CO₂ dans l'atmosphère à environ 0,45 pour mille (elle est actuellement de 0,38 pour mille) on pourrait ainsi éviter un réchauffement climatique supérieur à 2°C. Dans l'état actuel des techniques il est exclu, évidemment, d'envisager de séparer le CO₂ émis par des moteurs de véhicules à essence ou diesel.

Le problème technico-économique de la séparation et du stockage du CO₂ est donc posé. Il existe plusieurs procédés physico-chimiques qui permettent de séparer, plus ou moins efficacement, le gaz carbonique émis lors de la combustion du charbon, du gaz ou du pétrole dans une centrale thermique (le problème se posant aussi dans les usines de liquéfaction du charbon), une cimenterie ou une usine sidérurgique ; nous les avons largement évoqués dans une brève précédente. Revenons toutefois sur les procédés de séparation. Le procédé qui pour l'heure est le plus compétitif, inventé en 1930, est celui du « lavage » des effluents d'une usine (essentiellement les fumées) dans une solution aqueuse d'une amine (un composé organique relativement simple, l'amine la plus utilisée étant la MEA, monoethanolamine), cette opération va en quelque sorte dissoudre le CO₂ des fumées (il est en fait absorbé par l'amine) à la température ambiante. L'amine est ensuite restituée et séparée du CO₂ par chauffage à 100-120°C (une opération qui consomme de l'énergie) et le gaz est comprimé à 100-150 bars pour être ensuite expédié vers une installation de stockage. Plusieurs installations prototypes fonctionnent d'ores et déjà avec ce procédé qui doit être encore testé sur des installations de grande puissance (des centrales de 800 à 1000 MW). Le coût énergétique du procédé est non négligeable car il est de l'ordre de 0,37 MWh par tonne de CO₂ extraite (soit de 25 à 30% de l'énergie produite par une centrale) et les recherches techniques en cours visent à l'abaisser à 0,2 MWh/tonne ce qui représenterait encore 20% de l'énergie produite par une centrale (cf. G.T. Rochelle, « Amine scrubbing for CO₂ capture » Science, vol. 325, p. 1652 25 September 2009, www.sciencemag.org). Quoi qu'il en soit le coût de la tonne de CO₂ capturée aujourd'hui serait de l'ordre de 50 \$ (en baisse de 20 % depuis 2001). D'autres techniques de séparation physico-chimiques sont envisagées - le filtrage par une membrane ou l'absorption par un solide poreux - mais outre

elles semblent moins efficaces leur coût énergétique semble plus élevé. On peut, enfin, faire fonctionner des centrales au charbon en utilisant des techniques en cascade : on gazéifie d'abord le charbon puis on utilise le gaz dans une turbine à gaz. Cette technique dite à « gazéification intégrée à un cycle combiné » est lourde, elle permettrait sans doute d'élever les rendements jusqu'à 50% et de séparer le gaz carbonique pour le stocker ensuite dans le sous-sol ; elle n'est pour l'instant qu'au stade de la réalisation de pilotes dans plusieurs pays. L'idéal est d'utiliser de l'oxygène pur au stade de la combustion, quel que soit le combustible utilisé d'ailleurs, pour se passer de l'étape de séparation du gaz carbonique après la combustion et éviter aussi de relâcher des oxydes d'azote dans l'atmosphère. Cette technique dite de l'oxycombustion est testée en France par Total sur un pilote à Lacq (en utilisant du méthane), le CO2 sera transporté par un gazoduc à 27 km pour être stocké dans le réservoir d'un gisement en fin de vie à 4,5 km de profondeur (un stockage de 150 000 tonnes est prévu). Cette technique est certainement prometteuse mais elle suppose la production en aval d'oxygène pur à partir de l'air par distillation (un procédé classique) qui, elle aussi, à un coût énergétique non négligeable.

Une fois le CO2 séparé des fumées d'une usine, il reste à le transporter et le stocker dans un réservoir souterrain. Le transport, dans des gazoducs sous pression, ne pose de problème technique majeur. Pour le stockage l'hypothèse de le déverser (sous forme gazeuse ou liquide) dans l'océan n'étant pas jugée réaliste car l'impact d'une telle opération est impossible à évaluer, elle aurait certainement une incidence sur la faune océanique et les coraux car elle acidifierait légèrement l'océan. La solution la plus fréquemment envisagée est celle d'un stockage souterrain dans un aquifère ou un ancien gisement de pétrole ou de gaz, voire une ancienne mine de charbon. Si les géologues estiment que des capacités de stockage importantes sont disponibles dans beaucoup d'endroits de la planète - les capacités mondiales de stockage selon des sources américaines seraient de l'ordre de 1700 à 11 000 Gtonnes (cf. F.M. Orr Jr, "Onshore geological storage of CO2", Science, vol. 325, p. 1656, 25 September 2009) - il n'en demeure pas moins nécessaire d'expérimenter différents modes de stockage et surtout de suivre pendant plusieurs années l'évolution du gaz stocké dans une formation géologique, en vérifiant qu'il ne diffuse pas vers la surface ce qui pourrait être dangereux en particulier pour un stockage à terre. Plusieurs expériences en vraie grandeur sont en cours depuis quelques années, la plus importante est réalisée au Canada sur le site de Weyburn dans le Saskatchewan, où est exploité un gisement pétrolier dont la production est en déclin. Le gaz carbonique est injecté dans le gisement pour augmenter sa production (le gaz « pousse » en quelque sorte le pétrole à travers les pores de la roche) et il y reste ensuite piégé ; le gaz carbonique provient d'une usine de liquéfaction du charbon située aux USA dans le Nord Dakota et il est acheminé à Weyburn par un gazoduc de 330 km de long. On expérimente donc à la fois une technique de récupération assistée du pétrole (qui est au point à vrai dire) et un mode de stockage du CO2 dans une couche géologique. L'objectif est de stocker 20 millions de tonnes de CO2 sur 25 ans. La compagnie norvégienne Statoil procède à opération de séquestration, depuis 1996, sur le site off-shore de Sleipner en Mer du Nord (au niveau de 1 million de tonnes de gaz carbonique par an produits par un gisement de gaz naturel) dans une couche poreuse de sable à une profondeur comprise entre 500 et 1500 m sous le fond de la mer ; l'opération permet d'économiser ainsi une taxe sur le carbone, instituée en Norvège, au niveau de 40 € par tonne émise... Les opérations de transport et de stockage ont, elles aussi, un coût qui dépend fortement de la distance de transport et du lieu de stockage. Au plan géologique le réservoir de stockage doit posséder deux caractéristiques : il doit être constitué d'une part de matériaux géologiques à haute perméabilité (typiquement du gré) qui permettent de piéger le CO2 et d'autre part d'un « couvercle » rocheux, recouvrant le réservoir, évitant que le gaz ne s'échappe (par exemple des schistes ou des argiles). Un stockage profond du CO2 est souhaitable (en dessous de 800 à 1000 m) afin que sa densité soit la plus élevée possible pour éviter qu'il ne s'échappe vers la surface. L'utilisation de réservoirs sous-marins très profonds (-3000 m) permettrait de stocker le CO2 à basse température et à haute pression (plus de 300 bars), celui-ci serait alors plus dense que l'eau de mer et ne pourrait donc pas remonter à la surface. D'autres modes de stockage plus ambitieux sont envisagés par certains géologues. L'un d'eux consisterait à réaliser, en quelque sorte, une véritable géochimie in situ dans les couches géologiques : on transformerait le CO2 en carbonates pour le stocker sous forme solide. Des géologues de l'université Columbia à New York ont repéré des formations rocheuses de péridotite à Oman (elles sont connues depuis longtemps et il en existe dans d'autres régions par exemple en Nouvelle Calédonie) qui sont constituées, notamment, d'olivine un minéral qui est un mélange de silicates de magnésium, de calcium et de fer, ces minéraux forment du carbonate de calcium et de magnésium par action de l'eau lorsqu'on les met en contact avec le CO2. C'est donc un processus géochimique naturel qui permettrait de « pomper » du CO2 dans des formations géologiques et de le stocker sous forme d'un carbonate de calcium solide après « réaction ». Cette technique futuriste n'a pas encore été testée. Le stockage du CO2 est souvent considéré comme un point de passage obligé pour continuer à utiliser à haute doses les combustibles fossiles dans la production d'électricité et certaines industries (celles de l'acier et du ciment en particulier), en attendant de passer à l'après pétrole et aussi comme le sésame ouvrant la voie du « charbon propre ». Certains experts, ceux de l'ADEME notamment, estiment que le stockage-captage du CO2 permettrait de diminuer de 20 à 30 % les émissions de CO2 d'ici 2050, ce qui représenterait une capacité de stockage mondiale utilisée de l'ordre d'au minimum 20 Gtonnes de CO2 par an. L'IFP a recensé pas moins de 140 projets de captage dans le monde, 55 d'entre eux auraient déjà débuté. En France, l'ADEME envisage de financer 5 projets de démonstration à hauteur de 100 millions d'euros.

Si les techniques de séparation sont au point, deux conditions doivent être réunies pour qu'elles puissent réellement décoller. La première est que l'on puisse prouver la fiabilité sur le long terme des modes de stockage géologique (avoir la garantie que les réservoirs ne « fuient » pas). C'est dire l'importance des programmes de recherche pour un suivi des stockages qui devraient être lancés, le plus souvent à une échelle internationale. Il faut en particulier s'intéresser au comportement du CO₂ dans les roches (sa diffusion dans des pores, la physico-chimie du transport, son adhésion aux surfaces des parois, etc.). La seconde est économique : le coût du captage et du stockage du CO₂ est encore élevé (probablement de 60 à 80 € la tonne) et il faut donc l'abaisser pour que la solution soit compétitive mais il ne saura probablement pas inférieure à 50 € la tonne (il sera sans doute difficile d'utiliser moins de 20% de l'énergie produite par une centrale lors de la phase de séparation du CO₂) ce qui grèvera autant le prix du kWh d'électricité (ou de la tonne de ciment). L'instauration d'une taxe carbone dont le taux atteindrait 100 € la tonne de CO₂ émise à horizon 2030 rendrait probablement la technique compétitive. Il faut souligner que celle-ci, compliquée et coûteuse, ne se mettra pas en place en un tournemain : il faudra probablement deux décennies de recherches et de tests en vraie grandeur pour qu'elle puisse prendre son essor. Un petit calcul montre l'ampleur de la tâche : si l'on souhaitait séparer et stocker, par exemple, 10% du CO₂ émis dans le monde en 2030, soit 4 Gtonnes, il faudrait alors disposer de 4000 installations du type de celle mise en œuvre par Statoil en Mer du Nord ce qui représente un effort gigantesque (dont le coût annuel ne serait pas inférieur à 200 milliards d'euros). Une telle opération ne pourrait d'ailleurs être entreprise à grande échelle qu'au moment où, probablement, le pétrole entrerait dans sa phase de déclin. En revanche si, comme c'est probable, le charbon « fait de la résistance » (il existe environ deux siècles de réserve exploitables) alors les techniques du captage-stockage du CO₂ pourraient être promises à un bel avenir. Celles-ci feront probablement partie du « paquet » des transferts de technologie qui sera un enjeu majeur de discussion pendant la négociation internationale sur le climat qui s'engage car elles intéressent, évidemment, les pays en développement qui ont besoin d'augmenter leur production d'électricité.