



CAPTAGE ET STOCKAGE DU CARBONE : UN RENFORT PLUS QUE JAMAIS NÉCESSAIRE POUR L'INDUSTRIE

Un colloque international à La Villette pour faire le point

Suite au succès des deux premiers colloques internationaux ayant eu lieu à Paris en 2005 et 2007 sur la réduction des émissions carbonées et le captage et stockage du CO₂ (CSC) dans des formations géologiques, l'ADEME, le BRGM et l'IFP organisent aujourd'hui et demain une troisième manifestation sur ce thème, centrée cette fois-ci la nécessité du déploiement urgent de ces techniques au niveau industriel. Sans préjuger des éléments qui seront présentés lors des nombreuses interventions au programme, nous présentons ici une brève synthèse de "l'état des lieux" d'une technologie qui semble désormais en bonne voie de maturité. Suivie d'entretiens accordés au BIP par les représentants des trois acteurs publics organisateurs, plus que jamais mobilisés dans la lutte contre la menace climatique.

Certains chiffres donnent le vertige... Les émissions mondiales de dioxyde de carbone ou CO₂, un gaz à effet de serre (GES) considéré comme l'un des facteurs majeurs du réchauffement de la planète, sont évaluées à 30 milliards de tonnes par an, soit 8,1 milliards de tonnes de carbone. Des rejets qui ne sont qu'à moitié absorbés par les "puits de carbone" naturels que constituent les océans (qui en "digèrent" 2,5 Gt/an), la végétation et les sols (2 Gt/an).

Chaque année viennent donc s'ajouter dans l'atmosphère près de 3,5 Gt de carbone, perturbant le climat, avec toutes les conséquences potentielles mises en évidence par le GIEC, le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat : fonte des glaciers, bouleversement des mécanismes des pluies, multiplication des cyclones et ouragans, déplacement de populations touchées par ces événements...

UN MOYEN D'AGIR SUR 60 % DES ÉMISSIONS

À défaut d'empêcher les rejets de GES, pourquoi ne pas capter le CO₂ et l'injecter sous terre afin de le stocker à grande profondeur ? Une idée simple - *a priori*... - sur laquelle "planchent" depuis plusieurs années chercheurs, responsables gouvernementaux et industriels. Il reste qu'à l'heure des premières expérimentations, le concept de captage/stockage du carbone suscite aussi les foudres d'une partie des organisations écologiques.

Les émissions diffuses, comme celles issues du transport routier, étant difficiles à capter, la cible retenue est celle des sources massives et localisées, engendrant pour chaque unité l'émission de plus de 100 000 tonnes annuelles de CO₂ par an. Autrement dit, les grands sites industriels que constituent les centrales thermiques et des activités telles que le raffinage, la sidérurgie, les cimenteries ou encore l'industrie chimique, en particulier les engrais. Tout ceci représente, bon an mal an, environ 60 % des émissions à l'échelle planétaire.

CSC, CCS, captage et capture...

●●● Comment faut-il l'appeler précisément ? Une certaine confusion a régné en ce domaine, certains usant indifféremment des termes de CSC, de CCS, de captage, de capture, voire de captation. Or, comme en fait foi depuis septembre 2008 le *JOURNAL OFFICIEL*, la Commission générale de terminologie et de néologie (aux travaux de laquelle deux journalistes du BIP sont associés en ce qui concerne la partie pétrolière et gazière) a tranché : c'est le terme CSC (captage et stockage de CO₂) qui est recommandé, désignant le « processus consistant à recueillir le dioxyde de carbone (CO₂) produit dans des usines ou des centrales électriques et à le transporter dans un lieu de stockage afin d'en empêcher la diffusion dans l'atmosphère ». Et il convient de réserver le terme de "capture" à son équivalent anglophone CCS (CO₂ capture and storage, ou CO₂ capture and sequestration).

Portée par d'importants programmes publics et privés, la recherche sur les différentes voies possibles de CSC vise à rendre mature, à l'horizon 2020 un secteur encore embryonnaire, même si certains des procédés et technologies employés, quant à eux, sont déjà maîtrisés, voire d'usage courant dans l'industrie.

En France, l'ADEME, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, s'est engagée à soutenir ces voies en allouant 100 millions d'euros de son Fonds démonstrateur de recherche au profit du CSC. Ainsi, suite à l'appel à manifestation d'intérêt (AMI) lancé

en septembre 2008 sur ce domaine spécifique (il y en a un deux autres concernant les véhicules, un sur les biocarburants de deuxième génération, un sur les “réseaux intelligents” et un sur les énergies marines), l’Agence a reçu cinq projets d’expérimentations. Les premiers tests devraient débuter dans les prochains mois et pourraient durer jusqu’à sept ans.

Trois voies possibles pour le CSC

●●● Actuellement, trois procédés coexistent pour récupérer le CO₂ au niveau des sites industriels : le captage en post-combustion (grâce à un solvant qui va piéger le CO₂ dans les fumées émises par l’installation de combustion), l’oxycombustion (un procédé de combustion à base d’oxygène qui génère des fumées contenant principalement du CO₂, lequel pourra ensuite être acheminé vers un site de stockage) et enfin la méthode dite de précombustion (consistant à capter le CO₂ avant la combustion). Parmi ces trois options, la première considérée est à l’heure actuelle comme étant technologiquement la plus mature. Reste la question du stockage, une fois le CO₂ acheminé à destination par gazoduc. Là encore, trois voies sont possibles : les aquifères salins profonds - des cavités remplies d’eau très salée, impropre à la consommation -, les réservoirs pétroliers et gaziers déplétés à l’issue de leur exploitation, et les veines de charbon inexploitées.

En attendant ces échéances, les différents acteurs concernés par la concrétisation du CSC devront parallèlement poursuivre un travail d’identification de l’ensemble des sites capables d’accueillir du carbone.

UNE CARTE À JOUER POUR L’INDUSTRIE FRANÇAISE

« J’ai la conviction que le CSC doit être prioritaire dans la grande panoplie actuelle des filières vertes », affirmait cette semaine Matthieu Orphelin, directeur de cabinet de la présidence de l’ADEME, lors de la présentation à la presse du colloque international de La Villette. Estimant qu’il s’agissait là d’une « option nécessaire et majeure pour limiter les émissions de gaz à effet de serre et lutter contre le réchauffement ».

Grâce à cette technologie, les émissions industrielles de CO₂ pourraient être réduites de 20 à 30 % au niveau mondial à l’horizon 2050. À plus long terme, d’ici à la fin de ce siècle, ce sont même jusqu’à 55 % des émissions anthropiques de CO₂ qui pourraient être captées. Le marché du CSC, quant à lui, est jugé prometteur, avec un potentiel d’investissements de l’ordre de

650 milliards d’euros. Sur un créneau industriel où les acteurs français ont, selon toute évidence, une belle carte à jouer. La liste des géants français de l’industrie et de l’énergie qui expérimentent le CSC atteste déjà du dynamisme tricolore en la matière. ArcelorMittal (projet européen Ulcos), Schlumberger ou Veolia (incinérateur de Claye-Souilly en Seine-et-Marne, dans le cadre d’un partenariat avec Geogreen) travaillent ainsi sur des projets pilotes. Tandis qu’Alstom, EDF, GDF Suez et Armines se sont regroupés autour du projet Pil Ansu (“Pilote d’antisublimation”) qui vise à traiter les fumées d’une centrale à charbon par givrage/dégivrage.

De son côté, Total a comme on sait lancé une ambitieuse expérimentation dans les Pyrénées-Atlantiques, associant un pilote intégré de 30 MWth en oxy-combustion et une opération de stockage dans le gisement gazier épuisé de Lacq. Le savoir-faire français s’exporte aussi à l’international. Citons ici deux opérations d’Alstom : en Norvège sur une centrale à cogénération au gaz et en Virginie occidentale (Etats-Unis) pour une chaudière au charbon (partenariat avec American Electric Power).

RÉDUIRE LES COÛTS D’UN FACTEUR 3

Comme l’a rappelé pour sa part Olivier Appert, le président de l’Institut français du pétrole (IFP), que ce soit au niveau du captage, du transport ou du stockage, des “briques” sont d’ores et déjà disponibles dans l’industrie pétrolière, qu’il s’agisse des technologies de traitement de gaz, des gazoducs, des stockages gaziers ou encore de la récupération assistée d’hydrocarbures, laquelle peut recourir à l’injection de gaz carbonique.

Encore faut-il être en mesure de réduire les coûts, en particulier au niveau du captage qui mobilise 70 % de ces coûts sur l’ensemble de la chaîne (contre 20 % pour la partie stockage et 10 % pour le transport). En outre, la phase du captage induit une “pénalité énergétique” de l’ordre de 10 points de rendement. D’où l’urgence de mettre au point une deuxième génération de procédés innovants qui permettrait de ramener cette pénalité à 8 points de rendement (voire à seulement 2 ou 3 points d’ici à 2020-2025).

Actuellement, les coûts du CSC rapportés à la tonne sont de l’ordre de 100 euros et il importe de « réduire ces coûts d’un facteur 3 à échéance 2020 ». Or ce niveau de 100 euros est aussi celui qui pourrait être celui atteint par la tonne de carbone sur le marché global des émissions, cette fois-ci vers 2030 : « à un moment donné, les courbes d’évolution vont se croiser et les

industriels trouveront plus intéressant d'investir dans des CSC » plutôt que de négocier des permis d'émission, anticipe Olivier Appert.

GARANTIR LA MAÎTRISE DU STOCKAGE

Bien que le CO₂ soit en lui-même peu dangereux, au vu des quantités susceptibles d'être stockées et la de durée visée (1 000 ans en ordre de grandeur, compte tenu de la durée d'utilisation du charbon et du temps de résidence du CO₂ dans l'atmosphère terrestre), il est primordial de veiller à ce que le CSC ne se généralise au-delà des opérations de démonstration que si des garanties suffisantes sont apportées sur la sécurité et les mesures correctives envisageables.

Tel est en particulier le rôle dévolu au BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières) qui, comme l'a indiqué François Démarcq, son directeur général délégué, s'attache à développer, d'une part, les connaissances sur la compréhension des impacts locaux du stockage, les impacts de remontées éventuelles sur les aquifères d'eau potable situés au-dessus du stockage, les impacts de remontées brutales et, plus généralement, les risques à court et à long terme (comportement géochimique et géomécanique du réservoir et de la couverture). Et, d'autre part, les méthodes de surveillance et les techniques de remédiation en cas de comportement anormal.

Or *a priori*, c'est le stockage dans les aquifères profonds qui présente le meilleur potentiel pour abriter, à terme, la part la plus importante du volume croissant d'émissions industrielles de CO₂ qui seront en mesure d'être captées à partir de 2020.

Ainsi à l'horizon 2050, le BRGM estime que quelque 3 500 opérations équivalentes à celle actuellement menée en Norvège sur Sleipner, dans un aquifère profond (avec un million de tonnes de CO₂ injectées par an) pourront être déployées. « *Aucune technologie ne pourra avoir un impact [sur le CO₂] aussi massif sur une échelle de temps aussi réduite* », insiste François Démarcq, pour qui « *l'objectif à terme est de stocker quelques milliards de tonnes de CO₂ chaque année* ». Conscients de ce que le CSC, encore mal connu du grand public, est controversé sur son principe par certaines organisations de défense de l'environnement, les trois organismes publics partenaires lors de ces deux jours de colloque n'en tiennent pas moins à faire valoir que l'on ne peut faire impasse sur aucune technologie en matière de lutte contre le réchauffement.

Mais aussi que la capture et le stockage du carbone devront s'opérer en parallèle avec la prise de conscience de la nécessité d'infléchir les comportements, les modes de vie ou encore la gestion de l'espace, en faveur d'une plus grande modération quant à l'usage qui est fait des ressources de la planète.

Le calendrier recherche-démonstration-déploiement

●●● Selon l'ADEME, ce calendrier se déploie selon un phasage en trois temps, avec une période charnière en 2020, début de l'entrée sur le marché des installations ainsi équipées d'une installation de CSC.

Période	Objectifs
2007-2009	Les grandes options de captage font l'objet de démonstrateurs de recherche, les différentes configurations de transport sont évaluées et les conditions scientifiques, techniques, réglementaires et sociales sont réunies pour décider du lancement d'un pilote instrumenté de stockage sur le territoire national.
2010-2012	Un portefeuille technologique sur le captage est validé, les résultats des démonstrateurs de recherche permettent de lancer les premières opérations de captage, transport, stockage de taille industrielle. En parallèle, orientation des programmes de recherche en fonction des nouveaux besoins identifiés.
2020	L'ensemble des éléments de la chaîne captage, transport et stockage du CO ₂ est mature pour une exploitation industrielle. Des installations industrielles sont en fonctionnement et représentent une part croissante du marché. Le couplage est effectué avec la production d'hydrogène. Des infrastructures de transport sont opérationnelles et le savoir-faire sur le stockage maîtrisé.

ENTRETIEN



Nathalie Thybaud

« *L'urgence consiste à limiter le changement climatique* »

Ingénieur au département des procédés industriels et agricoles de l'ADEME, Nathalie Thybaud porte un regard favorable sur les diverses avancées effectuées depuis deux ans, en particulier sur l'évolution du cadre juridique régissant le CSC, et sur l'intérêt manifesté à tous les niveaux sur cette technologie. Reste cependant à persévérer en matière de connaissance du sous-sol et des aquifères profonds, là où les possibilités de stockage sont les plus vastes.

BIP. *Comment évolue l'action de l'ADEME en matière de soutien aux installations de recherche sur le captage et le stockage de CO₂ ?*

Nathalie Thybaud. En complément de l'accompagnement de la recherche, nous soutenons aujourd'hui des démonstrateurs de recherche qui représentent un niveau intermédiaire entre l'expérimentation en laboratoire et des installations de taille industrielle. Et ce à la fois sur les volets du captage et du stockage.

Jusqu'à maintenant, l'effort de l'ADEME se concentrait sur des projets de recherche et développement, qui nous ont permis d'avancer mais sans pour autant concrétiser la mise en œuvre de solutions. Il a donc été éprouvé le besoin de passer à un échelon supérieur. Les démonstrateurs permettent de valider des technologies et de les faire évoluer du laboratoire à des conditions représentatives d'une utilisation industrielle. Il y a en effet des verrous technologiques à lever, qui sont notamment liés à la taille.

C'est dans cette perspective que nous avons lancé, à l'automne 2008, un appel à manifestation d'intérêt dans le cadre du Fonds Démonstrateur de Recherche, dont la gestion et l'animation a été confié à l'ADEME.

BIP. *Quel en est le résultat actuellement ?*

Nathalie Thybaud. À ce jour, nous avons reçu cinq projets : deux consacrés au volet captage, un sur le volet stockage et deux autres portant sur des systèmes intégrant à la fois le captage, le transport et le stockage. Les expertises des projets ont été menées par des experts de l'ADEME et des spécialistes extérieurs.

BIP. *Peut-on en savoir un peu plus sur ceux qui ont répondu à l'appel à projets ? Parmi ceux que vous avez évoqués, seront-ils tous retenus ou seulement quelques-uns ?*

Nathalie Thybaud. Je ne peux donner des détails sur ces projets car, pour des raisons stratégiques pour les industriels concernés et de confidentialité à laquelle est tenue l'ADEME, tant que l'instruction de l'ensemble des 5 projets n'est pas terminée, nous ne pouvons rien dire de plus. Il faut ici préciser que l'ADEME dispose d'une enveloppe de 450 millions d'euros sur 4 ans pour le Fonds démonstrateurs de recherche, créé par le Grenelle de l'Environnement, afin de financer des démonstrateurs de recherche dans le domaine des nouvelles technologies de l'énergie.

Cette enveloppe n'est pas uniquement destinée au CSC mais également à tout ce que l'on peut regrouper sous l'appellation de "nouvelles technologies de l'énergie" : à savoir les véhicules du futur, les biocarburants de deuxième génération, les réseaux intelligents, les énergies marines, etc.

Les démonstrateurs de recherche sont une étape indispensable dans l'accompagnement du déploiement commercial de la filière à l'horizon 2020. L'étape ultérieure sera la mise en œuvre de démonstrateurs de taille industrielle, qui pourraient être soutenus par la Commission européenne ; le premier appel à projet pourrait être lancé dès 2010.

BIP. *La France est a priori un “bon élève” en matière d’émissions de CO₂. Quelle part la technologie du CSC peut-elle prendre dans la réduction de l’empreinte carbone nationale ?*

Nathalie Thybaud. La France émet un peu moins de 400 millions de tonnes de CO₂ par an. Sur la part que la technologie du CSC pourrait prendre dans la réduction de l’empreinte carbone nationale, je souhaiterais me référer au projet SOCECO2, qui a été financée par l’Agence Nationale de la Recherche (ANR) et qui a procédé, entre autres, à une évaluation technico-économique et environnementale de la filière captage, transport, stockage du CO₂ à l’horizon 2050 en France. Le projet a défini et étudié numériquement trois scénarios de développement du CSC en France, qui conduisent à éviter près de 1,06 Gt CO₂ sur la période 2020-2050 et à stocker de l’ordre de 40 Mt à 60 Mt de CO₂ en 2050. Mais dans l’immédiat, les capacités de stockage susceptibles d’être utilisées demeurent pour certaines encore théoriques. Nous avons besoin, en particulier, de caractériser les aquifères au niveau national. Une partie du Bassin parisien, par exemple, commence à être assez bien connu en ce domaine mais l’aquifère du Bassin méditerranéen par exemple l’ai beaucoup moins. Il est nécessaire de procéder à des explorations et de récupérer des données au niveau du sous-sol.

Je rappelle à ce sujet qu’il existe trois grandes possibilités pour stocker du CO₂ : les gisements d’hydrocarbures en fin de vie (ou déplétés), les veines de charbon et les aquifères salins profonds. D’un point de vue géologique, les anciens gisements, surtout ceux d’hydrocarbures, sont les mieux connus, du fait des nombreux travaux d’exploration effectués par les compagnies pétrolières.

Mais en matière de stockage, ce sont les aquifères salins qui présentent le potentiel le plus important sur lesquels nous devons chercher les données manquantes. Il y a d’ailleurs eu plusieurs projets ces dernières années, notamment en France avec PICOREF (Piégeage du CO₂ dans les réservoirs géologiques en France).

BIP. *La technologie du CSC sera-t-elle prête à temps pour permettre une relance des projets de centrale au charbon ? A contrario, de tels projets étant mal perçus par l’opinion en raison de l’image négative véhiculée par ce combustible, le CSC ne risque-t-il pas d’apparaître comme un “alibi” pour justifier des équipements nocifs pour l’environnement ?*

Nathalie Thybaud. Comme je l’ai dit, le CSC pourrait se voir déployé commercialement à partir de 2020.

La réglementation, et notamment la loi “Grenelle 1”, établit que tout projet de construction d’une centrale à charbon devra être conçu de manière à pouvoir équiper celle-ci d’un dispositif de captage et stockage des émissions de CO₂. Il est important de noter qu’il s’agit là d’une technologie transitoire, qui vient en complément d’autres moyens mis en œuvre, tels que la maîtrise de la consommation énergétique, l’amélioration de l’efficacité énergétique, le développement des énergies renouvelables... L’urgence consiste d’abord à lutter contre le réchauffement climatique et à limiter l’augmentation de la température mondiale à 2°C. Toutes les mesures énoncées sont nécessaires par rapport à nos objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre, en particulier la réduction d’un facteur 4.

En outre, les procédés de captage exigent que les fumées soient plus dépolluées qu’elles ne le sont actuellement, ce qui est un point positif pour la réduction des émissions polluantes. *A contrario*, il est exact que le CSC entraîne une consommation énergétique supplémentaire mais des travaux sont menés pour limiter cet impact.

BIP. *Que peut-on dire sur l’évolution de la réglementation ?*

Nathalie Thybaud. Sur ce volet, l’année 2009 a été particulièrement riche, à l’évidence. Les choses commencent à se mettre en place. On peut par exemple citer la loi “Grenelle 1” dont l’article 19 prévoit que tout projet de construction d’une centrale à charbon devra être conçu de manière à pouvoir équiper celle-ci d’un dispositif de captage et stockage des émissions de CO₂. Le projet de loi “Grenelle 2”, quant à lui, délimite les grandes lignes du cadre juridique du stockage pour les démonstrateurs. Ceux-ci seraient autorisés à stocker du CO₂ dans la limite de 500 000 tonnes sur cinq ans.

Pour ce qui est des installations de taille supérieure, qui seront capables d’accueillir plus de 100 000 tonnes par an, cela relève de la directive 2009/31/CE du 23 avril 2009 « relative au stockage géologique du dioxyde de carbone ». Ce texte, qui a été publié au *JOURNAL OFFICIEL DE L’UNION EUROPÉENNE*, définit les conditions de sélection des sites de stockage, met en place un système de permis de stockage et prévoit les obligations relatives à l’exploitation, la fermeture et la post-fermeture d’un site de stockage. Chaque Etat membre dispose désormais de deux ans pour transposer cette directive en droit national.

BIP. *Quelle est la perception réelle des enjeux du CSC par le grand public et quel est le rôle de l'ADEME à cet égard ?*

Nathalie Thybaud. Nous nous associons bien évidemment aux travaux menés sur l'acceptabilité sociale du CSC. Et notamment à l'enquête qui avait été menée en avril 2007 par TNS-SOFRES auprès d'un échantillon représentatif de la population française. Cette enquête montrait à l'époque que si 34 % des sondés avaient entendu parler du stockage géologique du CO₂, seulement 12 % d'entre eux déclaraient savoir de quoi il s'agissait, tandis que 6 % seulement étaient en mesure d'apporter une réponse exacte.

Pour contribuer à l'information du public sur le sujet, l'ADEME, en partenariat avec l'IFP et le BRGM, a publié deux brochures en 2005 et 2007. Par ailleurs, l'élaboration progressive de la réglementation dont nous avons parlé a suscité un accroissement des débats. Mais comme pour toute technologie nouvelle, il

y a encore des inquiétudes de la part du public. C'est pour cette raison que dans le cadre des démonstrateurs de recherche, l'information et la concertation avec le public seront évidemment un facteur clef dans le déploiement du CSC.

Je voudrais enfin souligner, pour conclure, qu'en matière de devenir du CO₂ après captage, l'ADEME ne s'intéresse pas uniquement au stockage géologique mais aussi à d'autres possibilités, telles que par exemple la valorisation. Nous disposons là de flux de CO₂ qui peuvent être d'une grande pureté et qui pourraient par exemple intéresser l'industrie chimique, ou être utilisés pour stimuler la croissance de micro-algues (lesquelles pourraient ensuite permettre de produire des biocarburants). Plusieurs voies sont examinées, qui sont encore au stade de la recherche. Néanmoins, au regard des volumes de CO₂ émis, de telles applications ne seront pas en mesure à elles seules de permettre d'atteindre les objectifs de réduction des émissions de CO₂. Mais il est aussi de notre rôle d'étudier cette possibilité.

ENTRETIEN



Olivier Appert

« Le CSC représente aussi un marché international et la France dispose d'industriels bien placés »

Le p-dg de l'IFP se veut résolument optimiste quant à l'avenir du CSC et rappelle que pour ce qui est des technologies employées, elles sont déjà utilisées de manière concrète dans d'autres domaines, en particulier par l'industrie pétrolière. À plus long terme, la maîtrise du CSC devrait avoir de fructueuses retombées économiques. Encore faut-il parvenir à réduire encore les coûts de déploiement et convaincre des opinions publiques encore réticentes.

BIP. *Deux ans se sont écoulés depuis le précédent colloque international consacré au CSC. Où en est l'évolution globale du dossier ? Quel regard portez-vous sur le captage et le stockage géologique du carbone ?*

Olivier Appert. Ce que je remarque en premier lieu, c'est la vitesse à laquelle le CSC s'est invité dans le paysage énergétique et environnemental. Lors des négociations de Kyoto en 1997, le CSC était ignoré. Et il y a deux ans encore, le CSC était juridiquement interdit : il n'y avait pas de cadre réglementaire, que ce soit au niveau national ou international. Désormais, une directive européenne adoptée en décembre 2008 établit ce cadre juridique global. La convention de Londres sur l'immersion des déchets a été amendée, ce qui autorise le stockage du carbone à des horizons géologiques profonds.

Donc depuis deux ans, des avancées significatives ont été accomplies dans la stratégie de développement du CSC. Des projets de démonstration sont également sur la table et des discussions sont menées à l'échelle internationale, avec des pays tels que, par exemple, l'Australie ou la Chine.

À titre personnel, je suis tout à fait convaincu que le CSC va pouvoir contribuer de manière significative à la réduction des émissions de gaz à effet de serre à

l'horizon 2050. Il n'en reste pas moins qu'il s'agit là d'une technologie coûteuse et dont la mise en œuvre suscite des problèmes d'acceptation par les opinions. Mais il en va de même pour tout projet industriel.

Nous sommes également confrontés à des interrogations de nature quasi-philosophiques, telles que le fait de savoir ce que va devenir le CO₂ au fil du temps. Les projets en cours ont précisément pour but d'apporter des réponses.

BIP. *En matière de CSC, la technologie avance-t-elle au même rythme que les décisions politiques ?*

Olivier Appert. Il faut laisser du temps au temps ! La technologie, la recherche, ont leur propre rythme. Mon inquiétude est qu'après une prise de conscience très forte de la nécessité de lutter contre les émissions de CO₂, on se retrouve dans des débats politiques et financiers qui s'enlisent. Il y a parfois des difficultés à concrétiser les bonnes intentions.

Evidemment, comme je l'ai déjà dit, le CSC n'est pas gratuit et les projets de recherche non plus. Cela étant, c'est une technologie qui est aujourd'hui disponible et il faut désormais passer aux actes pour en apporter la démonstration.

BIP. *Quels sont les obstacles les plus difficiles à franchir ? Quels sont les freins au déploiement de cette technologie ?*

Olivier Appert. Ils sont à la fois de nature économique et politique, principalement. Le fait que la technologie existe constitue, en fait, le paradoxe du CSC. Car qu'il s'agisse du captage, du transport ou du stockage du CO₂, nous avons là affaire à autant de technologies qui sont d'usage courant dans l'industrie pétrolière. Mais le coût de leur mise en œuvre est encore trop élevé par rapport au prix du CO₂ aujourd'hui.

Le deuxième obstacle est lié à la difficulté de l'acceptation par les opinions publiques car naturellement, toutes les précautions doivent être prises pour s'assurer de l'absence de risques et de savoir que des fuites éventuelles de CO₂ pourraient être maîtrisées. Faute de quoi ces projets industriels sont menacés.

En Allemagne, un électricien a ainsi dû renoncer à un projet de centrale au charbon, face aux oppositions exprimées localement.

BIP. Comment évolue l'activité de Geogreen, la filiale commune créée entre l'IFP, le BRGM et Geostock ?

Olivier Appert. La création de Geogreen illustre parfaitement le modèle économique que nous poursuivons : à savoir, valoriser nos travaux de recherche en répondant à un besoin du marché et par là créer des emplois. Avant qu'il y ait des installations de CSC en Europe, nous nous positionnons déjà sur le conseil en matière d'élaboration de tels projets.

Nous visons en particulier les équipementiers ou les électriciens, qui recherchent des compétences sur la chaîne globale. À plus long terme, nous ambitionnons de nous présenter comme gestionnaires de ces installations de stockage, à l'image de ce que fait déjà notre partenaire Geostock dans le stockage d'hydrocarbures.

BIP. Quels sont les atouts de la France dans le domaine du CSC ? Quel est l'état de la coopération au niveau européen et international ?

Olivier Appert. Potentiellement, ces atouts sont très importants et nous venons de voir à quel point la France est déjà impliquée. Mais il y a aussi un handicap : bon nombre de responsables ne croient pas au CSC, l'argument principal avancé étant qu'avec la part importante du nucléaire dans notre bilan énergétique, il serait inutile de développer de telles installations. Or c'est là un argument que je combats car les études montrent que nous aurons besoin du CSC si nous voulons atteindre les objectifs de réduction des émissions auxquels nous nous sommes engagés. Et en la matière, l'électricité n'est pas le seul domaine concerné. Nous avons aussi l'industrie lourde, qu'il s'agisse de la chimie, des cimenteries, du raffinage, de la sidérurgie... où nous émettons autant de CO₂ que nos partenaires.

Ainsi, l'Agence Internationale de l'Energie indique dans une étude récente qu'à l'horizon 2050 le CSC pourrait contribuer à hauteur de 20 % à la réduction des émissions de CO₂ nécessaire pour atteindre l'objectif d'une division par deux au niveau mondial. Les enjeux

sont également répartis entre la production d'électricité et les autres secteurs de l'économie.

Ne perdons pas non plus de vue que le déploiement d'installations de CSC représente aussi un marché international potentiellement énorme. Or la France dispose d'acteurs bien placés pour pouvoir jouer un rôle majeur, qu'il s'agisse de groupes tels qu'Air Liquide, Alstom, EDF, GDF Suez, Total, et bien sûr des organismes de recherche. Alors oui, nous avons des atouts et nous devons les faire jouer.

Quant à la coopération internationale, elle s'est développée de façon très rapide. Je pense ici à la plate-forme technologique ZEP (pour "Zero Emissions Platform") lancée en 2005 par la Commission européenne visant à développer une stratégie de recherche et de déploiement de technologies non émettrices de CO₂ au niveau des centrales électriques utilisant des combustibles fossiles. Elle regroupe les parties prenantes que sont les industriels (pétroliers, équipementiers, électriciens), les organismes de recherche et les ONG, afin d'élaborer en commun un agenda stratégique et de faire des propositions en matière de déploiement. Cette plate-forme a déjà élaboré des recommandations sur la mise en œuvre de ces technologies.

À l'extérieur de l'Europe, nous avons également la CSLF ("Carbon Sequestration Leadership Forum"), mise en route aux Etats-Unis en 2003 et qui vise à échanger au niveau international sur le thème du CSC. Elle permet notamment d'associer des pays comme la Chine et compte aujourd'hui 24 membres [la Pologne étant le dernier adhérent en date, depuis le mois d'octobre - *NDLR*]. N'oublions pas non plus qu'au niveau du G20, un appel solennel a été lancé en faveur de la réalisation de projets de démonstration, afin de montrer la faisabilité du CSC.

BIP. Bien qu'imaginé pour améliorer l'environnement, le CSC n'en fait pas moins l'objet de polémiques d'ordre environnemental. Quelle est votre opinion sur ce point ?

Olivier Appert. Toutes les ONG ne s'opposent pas au CSC, loin s'en faut. Nous travaillons par exemple, au sein de la plate-forme européenne, avec Bellona qui est une ONG d'origine norvégienne. Nous menons également des discussions constructives avec le World Wildlife Fund (WWF). Certes, d'autres ONG ont sur le sujet une position plus radicale, avec des arguments qui, à mes yeux, ne sont pas convaincants. Ils affirment que le CSC est trop cher (ce que nous disons

aussi, d'ailleurs !) et que ce n'est pas une technologie sûre, alors que précisément nous cherchons à en assurer l'innocuité.

Mais comme je l'ai évoqué, le problème est avant tout l'opposition locale et en particulier le fameux syndrome "Nimby" (*not in my backyard*)... Tout ceci fait que l'information sur le CSC est une priorité, y compris au niveau des entreprises et des gouvernements. Nous devons montrer qu'une fois injecté sous terre dans un horizon géologique profond, le CO₂ reste piégé, pour des raisons géologiques incontestables. De façon simpliste, on peut dire que le CO₂ se dissout

dans l'eau et a tendance à s'enfoncer dans le sous-sol, d'où il a bien peu de chances de pouvoir s'échapper...

En conclusion, si l'on veut développer une stratégie pour récupérer le carbone et le stocker en profondeur, il faut encore résoudre certaines difficultés technologiques et aménager la réglementation, boucler les financements (au niveau des gouvernements) et rendre cette solution acceptable par l'opinion (cette fois-ci au niveau local). De ce point de vue, toute opération de CSC concrètement réalisée où que ce soit dans le monde devrait contribuer à faciliter cette acceptation.

ENTRETIEN

François Démarcq

« *Le CSC est une solution incontournable* »

Pour François Démarcq, directeur général délégué (depuis octobre 2007) du BRGM, le Bureau de recherches géologiques et minières, la technologie du CSC s'apprête à franchir le seuil qui va l'intégrer à part entière dans la chaîne industrielle des secteurs grands émetteurs d'émissions carbonées. Si toutes les difficultés concrètes ne sont pas encore résolues, l'organisme public s'attache à réduire la part d'incertitude pour ce qui est du stockage en aquifères, son domaine de prédilection.

BIP. *L'enthousiasme suscité initialement par la technologie du CSC est-il toujours aussi vif ou a-t-il été émoussé par certaines des difficultés rencontrées ?*

François Démarcq. "Enthousiasme" n'est pas forcément le mot le plus adapté ! Il est utile que les chercheurs soient enthousiastes, mais désormais, nous parlons d'industriels qui entrent dans un processus technique et économique. L'heure est donc plutôt au réalisme. Nous sommes confrontés à une technologie qui va représenter des coûts supplémentaires et vous ne trouverez pas vraiment d'utilisateur enthousiaste face à cette perspective ! Naturellement, ceux qui développent cette technologie et espèrent la commercialiser avec succès verront les choses différemment.

Je rappellerai que, jusqu'ici, les secteurs industriels gros émetteurs de CO₂ ont bénéficié de quotas alloués gratuitement, mais que dans un proche avenir, ils vont devoir payer pour les quotas d'émissions nécessaires à leurs activités. Sauf à passer à des technologies sans carbone, mais celle-ci ne sont pas nécessairement à portée de la main, la maîtrise de la technologie du CSC devient donc un impératif. La loi "Grenelle 1" impose notamment que pour tout nouveau projet de centrale au charbon, il faudra démontrer que les installations sont

adaptées au captage et au stockage du CO₂. Et l'opinion publique n'acceptera pas l'implantation de nouvelles centrales sans que soit clairement indiqué comment il sera procédé au stockage du CO₂.

Pour toutes ces raisons, nous devons plutôt considérer le CSC comme une solution incontournable pour que les économies des pays développés soient en mesure de diviser leurs émissions par quatre sans bouleverser totalement les modes de vie. Elle s'insère bien évidemment dans un "panier" de solutions adaptées aux différents besoins d'énergie et aux différentes situations (efficacité énergétique, énergies renouvelables, etc.).

Les émissions de CO₂ proviennent à la fois de sources mobiles et de sources fixes centralisées, et pour ces dernières, c'est la séquestration qui semble le plus à portée de main (même si pour l'électricité nous avons le nucléaire et les renouvelables !). Les centrales au charbon ne constituent en tout cas pas l'unique préoccupation : nous avons également la sidérurgie, les cimenteries et les industries du raffinage, de la chimie, des engrais... Toutes émettent d'importantes quantités de CO₂. D'ailleurs, pour ce qui est de la sidérurgie et des engrais, certains flux carbonés sont très concentrés, ce qui facilite l'étape du captage.

Quoi qu'il en soit, les grandes sources fixes vont devoir mettre en œuvre progressivement le captage de leurs émissions. À plus long terme, c'est même la seule solution susceptible de s'imposer à grande échelle pour les pays disposant de ressources importantes en charbon, et qui souhaiteront manifestement les valoriser. En particulier la Chine, l'Inde, l'Australie ou encore les Etats-Unis. Cette solution est donc de plus en plus dans l'esprit de chacun, ce qui lui ouvre des perspectives considérables.

BIP. *Quelles difficultés reste-t-il à surmonter ?*

François Démarcq. Il faut tout d'abord considérer que nous nous situons dans des coûts additionnels de protection de l'environnement, et les producteurs n'accepteront de procéder à cet effort qu'à partir du moment où seront instaurées des réglementations (au sens large) qui s'imposent à tous, ainsi qu'à leurs principaux concurrents au niveau mondial. D'où l'intensité des négociations en cours sur le climat et l'importance d'un partage équitable de l'effort.

S'agissant maintenant du stockage (puisque c'est surtout à ce niveau qu'un organisme tel que le BRGM est concerné), il est évident que nous aurons toujours des incertitudes, lesquelles sont liées à la géologie. De telles incertitudes sont par exemple bien connues de l'industrie pétrolière, lorsqu'elle procède à des forages d'exploration qui ne sont pas tous couronnés de succès !

Notre travail va donc constituer à mener des études géologiques, en faisant notamment appel à des techniques géophysiques et à des forages, pour parvenir à une meilleure connaissance du sous-sol et tenter de réduire autant que possible cette part d'incertitude. On parle de plus en plus de la nécessité de réaliser de véritables atlas des zones propices au stockage, notamment pour les aquifères profonds.

Nous devons aussi apporter des démonstrations crédibles en matière d'innocuité du stockage. Au cours des deux dernières années, nous avons mis en place une unité spécialisée sur l'analyse des impacts et des risques éventuels. Actuellement, un certain nombre de travaux de recherche sont menés, qui doivent nous permettre de modéliser de manière fiable des scénarios de défaillance possible. Sur ce plan, la tendance depuis deux ans est clairement celle de la réduction des incertitudes. Nous avons même énormément progressé : 11 scénarios potentiels de défaillances ont été distingués et rendus publics, correspondant par exemple à des remontées de CO₂ vers des aquifères supérieurs.

Au cas par cas, l'aménageur d'un site retenu devra apporter la preuve du niveau de sûreté de son installation. Nous sommes désormais en mesure d'élaborer différents critères grâce auxquels il sera possible de juger de la qualité de chaque dossier.

Mais au final, ce ne sont pas réellement ce que je qualifierais de "difficultés" : il s'agit plutôt de domaines de recherche méritant d'être constamment approfondis.

BIP. Quelles sont les nouvelles pistes à explorer ?

François Démarcq. Comme je l'ai dit, nous poursuivons le travail sur les questions de sécurité. Les travaux

scientifiques progressent tous les jours en matière de maîtrise des impacts du stockage.

À cet égard, un point sensible est constitué par les effets de pression et les déplacements horizontaux pouvant affecter les grandes nappes. Les pressions, comme nous le savons, se transmettent au sein des aquifères. Lorsque l'on y injecte d'importants volumes de dioxyde de carbone dans un état dit "supercritique" (correspondant à un état de la matière *grosso modo* mille fois plus dense que dans le cas d'un gaz à pression atmosphérique), cela peut engendrer des effets mécaniques sur d'autres aquifères ou dans le champ lointain du même aquifère. Et provoquer par exemple des déplacements de ce qu'on appelle le "front de potabilité" pour ce qui est des nappes utilisées pour le captage de l'eau potable. Tout ceci nécessite donc de disposer de modélisations de ces aquifères sur de grandes distances.

Il faut aussi prévoir les mesures de surveillance à prendre après la fermeture des sites, avant que la situation du sous-sol ne soit définitivement stabilisée. Le coût de ces mesures devra être aussi faible que possible. Les risques de fuites devront aussi être évalués.

BIP. Comment évolue l'activité de Geogreen, la filiale commune créée entre l'IFP, le BRGM et Geostock ?

François Démarcq. Geogreen se porte bien ! Nous avons certes connu une période d'inquiétudes pendant quelques mois car ses clients, qui sont les grandes entreprises concernées par le CSC, avaient réduit leurs budgets en raison de la crise. Mais depuis lors, les arbitrages internes ont probablement été revus au sein de ces entreprises. Geogreen a notamment été approché par deux grands groupes. Un autre point positif a également été l'appel à manifestations d'intérêt de la part de l'ADEME.

Au final, Geogreen demeure en avance par rapport aux prévisions initiales et nous en sommes bien sûr très satisfaits.

BIP. Quel est l'état d'avancement du dossier en matière de réglementation ?

François Démarcq. La situation a assurément beaucoup progressé. Ainsi au niveau de l'Europe, nous avons depuis juin 2009 une directive-cadre sur le stockage géologique du CO₂. Et le projet de loi "Grenelle 2" fixe le cadre pour organiser le stockage à des fins de recherche. L'étape suivante sera le stockage en vraie grandeur. Sur cette base, nous nous attachons à développer notre offre d'expertise pour

les industriels et les administrations qui souhaiteront faire appel à nous.

BIP. *Les risques éventuels encourus peuvent-ils engendrer des effets négatifs auprès de l'opinion publique ? Quels sont les efforts entrepris en matière d'information pour éviter des phénomènes de rejet ?*

François Démarcq. Il est parfaitement légitime que l'opinion se pose des questions et, de notre côté, notre devoir est d'apporter des réponses. Nous organisons des colloques à destination des scientifiques et nous

diffusons beaucoup d'information, notamment sur Internet. Notre effort vise à donner aux parties prenantes les outils qui permettront d'avoir un examen approfondi de la question, sur le plan des impacts environnementaux. Nous sommes en mesure d'apporter une expertise scientifique aux uns et aux autres, dans des conditions répondant à une stricte déontologie.

Des industriels et des Pouvoirs publics qui seront bien armés pour répondre de manière crédible aux questions du grand public, c'est le meilleur gage pour des décisions futures à la fois saines et acceptées de tous.