

La capture et la séquestration du CO² des centrales à charbon

Michel Colombier (Iddri)

La séquestration géologique du carbone a aujourd'hui le vent en poupe : chacun sait que G.W. Bush en a fait le porte-drapeau de sa « stratégie technologique » de lutte contre l'effet de serre et, notamment, de son offre de coopération avec les pays du pacifique réticents à l'approche de Kyoto et les pays émergents. Mais la capture-séquestration du carbone figure également désormais en bonne place dans les documents stratégiques de la Commission Européenne, et constitue le point fort du dialogue engagé avec la Chine à l'initiative de Tony Blair. Plus étonnant peut-être, si l'on se souvient des réticences exprimées à l'époque des négociations de Kyoto, certains représentants écologistes (notamment au sein du parlement européen) intègrent désormais pleinement cette option dans leur vision énergétique. Il est d'ailleurs frappant de voir comment, dans les scénarios prospectifs discutés au plan européen, la capture-séquestration du carbone joue un rôle symétrique du nucléaire dans la transition vers un système d'offre « décarboné » où électricité et hydrogène deviennent les principaux vecteurs finaux.

L'idée est en effet séduisante dans un paysage énergétique marqué par un jeu de contraintes en apparence contradictoires : selon les prospectives, la demande mondiale d'énergie serait pour le moins doublée d'ici 2050, sous l'effet notamment de la demande croissante des pays émergents (mais aussi d'une relative constance de la demande de l'OCDE) : elle passe ainsi de 11 Gtep à plus de 22 Gtep dans le scénario européen WETO-H2. Malgré des rythmes de développement du nucléaire et des énergies renouvelables ambitieux, le bilan repose encore à plus de 70 % sur les sources fossiles à l'horizon 2050, soit une production primaire de plus de 15 Gtep contre seulement 9 Gtep aujourd'hui. Ce phénomène est encore accentué dans les scénarios de l'AIE, où la croissance du nucléaire et, dans une certaine mesure des renouvelables, est moindre. Les tensions croissantes sur le marché pétrolier, puis gazier, se traduisent alors par un retour en force du charbon. Cette embellie du marché charbonnier, considéré comme une source d'énergie déclinante par les énergéticiens il y a peu encore, repose sur une série d'arguments solides, bien analysés par J.-M. Martin dans de récents articles : outre sa disponibilité (ressources abondantes et réparties) pour répondre à la croissance attendue de la demande mondiale, le charbon bénéficie en particulier d'une évolution technologique qui réduit fortement la contrainte environnementale locale et accroît l'efficacité de sa conversion en électricité. À plus long terme, la gazéification ou la conversion en combustibles liquides lui confère une plus grande versatilité.

Reste la question de l'effet de serre, pour laquelle les progrès attendus sur les filières de conversion ne peuvent suffire à contrer l'accroissement des émissions qui résulterait de ce redéploiement à l'échelle mondiale. Les technologies de capture-séquestration apporteraient ainsi une solution de détente opportune pour concilier ces visions énergétiques aujourd'hui dominantes avec la contrainte climatique. Il apparaît donc tout à fait essentiel de pouvoir former un jugement sur la portée possible de ces options, en tenant compte de deux contraintes incontournables pour leur mise en œuvre : la disponibilité des sites de stockage d'une part, et les rythmes possibles de déploiement d'autre part. Les évaluations proposées ci-après s'appuient sur une étude publiée en 2005 par le CLIP (cahier n° 17).

Potentiels de capture et inertie des parcs

Pour cette étude, nous avons choisi de limiter dans un premier temps la capture du carbone à son application la plus adaptée : la production d'électricité. Comme nous le verrons, les contraintes de stockage qui apparaîtront par la suite font que cette restriction n'est pas vraiment limitante dans l'évaluation globale présentée ici, dans la mesu-

re où une partie seulement du carbone potentiellement piégé à la production d'électricité pourra être réellement stocké. Pour le reste, les hypothèses faites sont optimistes : sur la base du scénario B1 du GIEC (à très forte demande électrique) nous considérons que dès 2020 toute centrale thermique neuve de plus de 200 MW fonctionnant en base ou semi-base (jusqu'à 5 000 heures par an) pourrait être équipée en pré-combustion (solution la plus efficace) dans des conditions économiques satisfaisantes, et que 10 % des centrales existantes d'âge inférieur à 30 ans pourraient chaque année faire l'objet d'un équipement de capture en post-combustion.

Dans ce scénario, les émissions de CO² du secteur électrique atteignent 25 Gt/an en 2050 (dont 60 % ex-charbon) et le cumul sur la période 2000-2050 s'élève à 870 Gt. Le déploiement massif des technologies de capture décrit ci-dessus permettrait alors d'éviter 66 % des émissions de CO² du secteur électrique en 2050. En valeur cumulée, ce sont 45 % des émissions (soit 395 Gt de CO²) qui pourraient être ainsi évitées, au prix toutefois d'une surconsommation d'énergie de 26 Gtep sur la période, et d'une captation additionnelle de 88 Gt pour neutraliser ces pertes. De plus, l'hypothèse ambitieuse d'équipement des centrales existantes pèse fortement dans ce bilan, puisque si l'on s'en tenait aux nouvelles centrales les réductions ne porteraient plus que sur 26 % du bilan cumulé. On voit ainsi que, sans même prendre en considération la limitation des capacités de stockage, la capture déployée selon un scénario très volontariste permettrait certes de ralentir fortement la croissance des émissions du secteur électrique par rapport à 2000 (+16%, contre un triplement des émissions sans capture), mais pas de les stabiliser. Les émissions du secteur électrique des pays de l'OCDE seraient divisées par 2 par rapport à 2000, ce qui reste insuffisant pour compenser la croissance observée dans les pays du sud. Notons que dans un scénario de développement électrique moins soutenu, la fraction de CO² capturé dans le bilan cumulé diminue, en raison du rythme moins important de nouvelles mises en services.

Une vision réaliste des capacités de stockage

Trois types de formation géologique peuvent être envisagés pour le stockage : les réservoirs d'hydrocarbures (pétrole et gaz), les veines de charbon non exploitées, et les aquifères salins. Dans un premier temps, nous considérerons que les deux dernières sont encore trop mal qualifiées (sites, capacités, maîtrise technologique, et conséquences environnementales) et nous adopterons une approche conservatrice consistant à mobiliser les réservoirs d'hydrocarbures, bien connus et pour lesquelles les technologies sont aujourd'hui en voie d'être maîtrisées. Au niveau mondial, les capacités totales de stockage (715 GtCO²) seraient alors suffisantes pour absorber les émissions capturées (483 GtCO²) sur le secteur électrique. Dans une hypothèse de « mobilité globale » du CO², la capacité globale de stockage serait donc suffisante pour couvrir le carbone capté sur le seul secteur électrique jusque vers 2060-2070. Cette hypothèse soulève toutefois de nombreuses questions de mise en œuvre (logistique, droit international, sécurité, coût du « service » de stockage). Notons que les volumes de CO² ainsi transportés seraient alors 5 fois supérieurs aux échanges actuels de gaz naturel. Or ces capacités présentent une très forte hétérogénéité régionale (cf tableau ci-dessous) :

	Potentiel de capture Cumul 2000-2050 GtCO ²	Potentiel de stockage Cumul 2000-2050 GtCO ²
Régions excédentaires	89	564
Régions équilibrées	70	90
Régions déficitaires	324	62

Le Moyen Orient et la Russie offrent 60 % du potentiel mondial de stockage à elles seules, qui correspond à 6 fois leurs besoins ; à l'opposé, l'Europe de l'Est, les États-Unis, l'Inde et la Chine apparaissent extrêmement démunies, avec seulement 8,5 % du potentiel de stockage mondial pour 67 % des émissions. Enfin, l'apparent équilibre sur les autres régions (Canada, Europe occidentale, Asie du sud-est notamment) cache le fait que 80 % du potentiel de stockage se situe sur les gisements off-shore qui seront pour la plupart déplétés avant 2020 : leur valorisation pour le stockage supposera d'importants travaux de reconstruction de plateformes, ou de maintenance des équipements actuels si la législation permet de les conserver (ce qui n'est pas le cas actuellement). Ainsi, une étude récente montre que le potentiel au Royaume-Uni, estimé aujourd'hui à près de 700 millions de tonnes, ne serait plus que de 100 millions de tonnes environ après 2020.

Dans ce cadre, et en retenant un scénario plus réaliste de stockage régional (avec une distance maximale de transport de 1 000 km), seul 34 % du potentiel de capture trouverait alors preneur dans les réservoirs d'hydrocarbures. Le bilan serait ainsi fortement revu à la baisse, avec un total de 106 GtCO² d'émissions évitées sur la période 2000-2050, soit 16 % des émissions cumulées du secteur électrique sur la période (jusqu'à 25 % environ pour les scénarios moins intensifs en électricité). Les États-Unis (29 Gt stockées pour une production cumulée de

163 Gt), la Chine (22 Gt stockées pour 154 produites) et l'Inde (6 Gt stockées pour 120 produites) ne trouvent alors qu'une contribution marginale à leur problème.

Et si on mobilise l'ensemble des options géologiques ?

La contrainte de stockage découle évidemment de ce que nous nous sommes jusqu'ici limités aux gisements d'hydrocarbures. Si nous oublions pour un temps les réserves qui empêchent aujourd'hui de parier sur la disponibilité future des aquifères et des veines profondes de charbon avec la même crédibilité, en quoi le tableau précédent est-il modifié ? Selon une étude réalisée par ECOFYS, 10 % environ des bassins houillers pourrait s'avérer exploitables pour le stockage du CO₂, pour un potentiel total de 267 Gt de CO₂ environ. D'un point de vue régional, ces capacités sont essentiellement situées en Chine (plus de 160 Gt), où elles permettraient de couvrir les besoins de stockage pour le secteur électrique d'ici 2050 (mais seraient alors épuisées), et dans une proportion moindre aux États-Unis (30 Gt). Le reste des capacités n'apporte pas une contribution majeure au problème, car il se situe dans des régions excédentaires en capacités de stockage dans les gisements d'hydrocarbures plus faciles à mettre en œuvre. La question des aquifères, moins bien connue, est plus controversée encore. Si l'extension des aquifères fermés est importante et mieux répartie que les gisements pétroliers et gaziers, ECOFYS estime (en accord avec d'autres sources) que seule une petite proportion (2 % au niveau mondial) remplit les conditions permettant d'envisager leur utilisation pour le stockage géologique.

En prenant en compte ces nouveaux potentiels, les régions pour lesquelles le rapport stockage/capture est excédentaire sont plus nombreuses : elles représentent alors 58 % du potentiel mondial de capture, soit 270 GtCO₂ sur la période 2000-2050. 90 GtCO₂ supplémentaires pourraient être séquestrées aux États-Unis et en Afrique du Sud, dont la contrainte de stockage serait partiellement levée. L'Inde, le Japon et l'Europe Centrale demeurent fortement déficitaires. Au total, près de 400 GtCO₂ pourraient être stockées au niveau mondial, soit un peu moins de la moitié des émissions du secteur électrique.

Quel bilan tirer de tout cela ?

Tout d'abord, que la technologie de captation/stockage peut très certainement apporter une contribution majeure à la maîtrise des émissions de gaz à effet de serre dans un contexte où les énergies fossiles fourniront encore une part importante de l'approvisionnement. Ce n'est certainement pas une option marginale, et ses perspectives de déploiement dans des domaines maîtrisés (production d'électricité et gisements d'hydrocarbures notamment) peuvent favoriser un recours par ailleurs justifié au charbon. Mais cette prospective rapide met aussi en évidence des contraintes fortes dont il faut tirer les conséquences : premièrement, et même avec des hypothèses très volontaristes de déploiement, l'inertie des parcs et les contraintes techniques limitent la part des émissions qui peuvent être ainsi neutralisées, et l'effet s'avère très progressif dans le temps. Si l'on s'en tient au seul critère de l'effet de serre, la capture-séquestration ne permet en aucune mesure de faire l'impasse d'une remise en question radicale des tendances d'évolution de la demande énergétique aujourd'hui observées. Or il faut être conscient que les rythmes de déploiement considérés ici font abstraction de nombreuses difficultés, et notamment du fait que le coût incrémental, tout acceptable qu'il soit ramené au kWh produit (2 à 5 €) ou à la tonne de CO₂ évitée (40 à 60 €) pèse presque entièrement sur l'investissement (400 à 800 €/kW, hors transport et stockage), et entre donc directement en concurrence avec les besoins énormes de développement des parcs de production par ailleurs sous-tendus par ces scénarios, notamment dans les pays émergents. Enfin, ces scénarios conduisent à une situation plus que paradoxale au milieu du siècle prochain, avec une base énergétique fossile hypertrophiée et toujours en croissance, et des capacités de stockage en voie d'épuisement. ■