

**PIÉGEAGE ET STOCKAGE DU DIOXYDE DE CARBONE :
TECHNOLOGIE, CAPACITÉ ET LIMITES**

Tim Williams
Division des sciences et de la technologie

Le 10 mars 2006

Le Service d'information et de recherche parlementaires de la Bibliothèque du Parlement travaille exclusivement pour le Parlement, effectuant des recherches et fournissant des informations aux parlementaires et aux comités du Sénat et de la Chambre des communes. Entre autres services non partisans, il assure la rédaction de rapports, de documents de travail et de bulletins d'actualité. Les analystes peuvent en outre donner des consultations dans leurs domaines de compétence.

**THIS DOCUMENT IS ALSO
PUBLISHED IN ENGLISH**

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
UNE NÉCESSITÉ	2
PIÉGEAGE ET STOCKAGE DU DIOXYDE DE CARBONE	2
A. Sources mobiles et dispersées	3
B. Grandes sources fixes	3
1. Piégeage	3
2. Transport	4
3. Stockage	5
a. Capacité estimative	5
b. Durée de stockage	6
c. Impact des fuites	7
CONCLUSION	7



CANADA

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

PIÉGEAGE ET STOCKAGE DU DIOXYDE DE CARBONE : TECHNOLOGIE, CAPACITÉ ET LIMITES

INTRODUCTION

D'énormes dépôts de pétrole, de gaz et de charbon, qui ont mis des centaines de millions d'années à se former, sont extraits et brûlés en ce qui n'est qu'un clin d'œil à l'échelle des temps géologiques. Les rejets rapides de dioxyde de carbone (CO₂) provenant de la combustion de combustibles fossiles ont entraîné une accumulation de ce gaz dans l'atmosphère. À son tour, cet état de choses influe sur la croissance des plantes et l'utilisation qu'elles font de l'eau, ce qui entraîne l'acidification des océans et, fait plus important encore, un déséquilibre dans la manière dont l'énergie solaire est retenue dans l'atmosphère.

Le changement climatique anthropique est maintenant considéré par la plupart des gouvernements comme une question à laquelle il faut s'attaquer. Il existe des technologies pour réduire les émissions, mais aucune n'a la capacité de régler le problème à elle seule. Une option qui gagne du terrain est le piégeage et stockage du dioxyde de carbone (aussi appelé « piégeage et stockage du carbone »). Le présent document décrit cette technologie, sa capacité à assurer des réductions des émissions et certains des problèmes qui l'accompagnent⁽¹⁾.

(1) On trouvera davantage de détails sur la technologie dans le rapport spécial du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) intitulé *Piégeage et stockage du dioxyde de carbone*, septembre 2005 [Résumé à l'intention des décideurs et Résumé technique; le rapport principal n'est disponible qu'en anglais] (http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/IPCC%20F.pdf). Pour des informations sur l'économie du piégeage et du stockage du CO₂, voir Frédéric Beauregard-Tellier, *Les aspects économiques du piégeage et du stockage du dioxyde de carbone*, PRB 05-103F, Ottawa, Service d'information et de recherche parlementaires, Bibliothèque du Parlement, 13 mars 2006.

UNE NÉCESSITÉ

La seule véritable solution à long terme pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, en supposant que l'utilisation d'énergie continuera à augmenter, est de découpler l'utilisation de l'énergie des rejets de CO₂. On peut y parvenir en passant à des sources d'énergie à faibles émissions de carbone, comme l'hydroélectricité ou l'énergie nucléaire, éolienne, solaire géothermique ou marémotrice. Cependant, les sources d'énergie à faibles émissions de carbone actuellement disponibles et les technologies connexes ne peuvent pas se substituer totalement aux combustibles fossiles, vu les mille et une façons dont ceux-ci sont utilisés et le cadre économique actuel de l'énergie.

Par conséquent, on planifie aujourd'hui une infrastructure énergétique reposant sur les combustibles fossiles qui restera en place pendant des décennies, continuant à faire croître les concentrations atmosphériques de CO₂. On a estimé que les émissions sur le cycle de vie utile des centrales que l'on prévoit construire au cours des 25 prochaines années équivaldront à la totalité des émissions des 250 dernières années⁽²⁾.

Une autre possibilité, par contre, serait que les combustibles fossiles continuent de former la base de notre infrastructure énergétique, mais que le CO₂ puisse être extrait des émissions et stocké hors de l'atmosphère pendant de très longues périodes. L'atmosphère a constitué un site de dépôt pratique pour ces déchets, mais aucune raison technique ne s'oppose à ce qu'il en soit autrement. D'autres parties de la Terre, en particulier des formations géologiques et les océans, peuvent aussi être utilisées pour stocker le CO₂.

PIÉGEAGE ET STOCKAGE DU DIOXYDE DE CARBONE

Avant que le CO₂ puisse être stocké d'une manière qui l'empêche d'entrer dans l'atmosphère, il doit d'abord être séparé des émissions issues de la combustion des combustibles. L'extraction du CO₂ de sources très dispersées, mobiles ou les deux, comme le chauffage résidentiel, les automobiles et les avions, n'est pas facile à réaliser, mais elle s'impose.

(2) Robert Socolow, « Can we bury global warming? », *Scientific American*, vol. 293, 1^{er} juillet 2005.

A. Sources mobiles et dispersées

Si les utilisations d'énergie mobiles et dispersées continuent de recourir à des combustibles carbonés, le problème du CO₂ doit être réglé après l'émission. On pourrait le faire en augmentant les puits biologiques (p. ex. les forêts), ou indirectement en remplaçant les combustibles fossiles par des sources sans carbone comme le vent pour produire l'électricité. Cette dernière option est probablement la plus viable, puisque les puits biologiques n'ont qu'une capacité limitée. D'autres approches technologiques comme le piégeage du CO₂ atmosphérique dans des substances chimiques qui absorberaient le carbone ont été proposées, mais n'ont pas encore fait l'objet de démonstrations⁽³⁾.

B. Grandes sources fixes

On parle de piégeage et stockage du CO₂ surtout pour décrire des méthodes consistant à extraire le gaz des émissions des grandes sources fixes, comme les centrales électriques et certains procédés industriels, et à le stocker en l'isolant de l'atmosphère.

1. Piégeage

Il y a trois méthodes de base pour piéger le CO₂ des flux d'émissions : la précombustion, la postcombustion et la combustion de gaz oxygéné (oxycombustion).

- La précombustion fait réagir un combustible primaire avec de l'air ou de l'oxygène et de la vapeur pour produire de l'hydrogène et du monoxyde de carbone, qui peut être traité à nouveau pour produire plus d'hydrogène et du CO₂ (15 à 60 p. 100 en volume), lequel peut alors en être séparé. L'hydrogène (combustible de synthèse) peut être utilisé pour produire de l'énergie, avec l'eau comme sous-produit; le CO₂, à des pressions et concentrations relativement élevées, est alors plus facile à piéger que si le combustible avait été brûlé tel quel. Ce type de technologie est utilisé au Canada dans quatre centrales au charbon intégrées gazéification/cycle mixte, mais aucune ne piège le CO₂. La production de gaz de synthèse est une technologie relativement vieille, mais n'a été utilisée en combinaison avec le piégeage par précombustion que dans certaines circonstances particulières.
- Les procédés de postcombustion utilisent généralement un solvant recyclable pour piéger le CO₂ dans le flux d'émission, mais certains projets tentent de faire la démonstration d'un piégeage biosynthétique à l'aide d'algues photosynthétiques. Le piégeage en postcombustion n'a été utilisé que dans certaines circonstances particulières.

(3) Klaus Lackner, « A Guide to CO₂ Sequestration », *Science*, vol. 300, 13 juin 2003.

- L'oxycombustion brûle le combustible primaire dans de l'oxygène presque pur pour produire un flux de CO₂ très pur qui peut alors être comprimé en vue du stockage. Ce procédé exige cependant un mécanisme assez complexe pour purifier l'oxygène. La technologie d'oxycombustion est à l'étape de la démonstration. Dans d'autres cas, comme la production d'engrais (ammoniac), le CO₂ est séparé lors du procédé chimique de production. Ces derniers types d'exploitations sont déjà utilisées dans un marché parvenu à maturité, mais, là encore, pas en combinaison avec le stockage.

Toutes ces technologies, quand elles sont appliquées à la production d'énergie, en réduisent en fait le rendement, ce qui fait augmenter la quantité de CO₂ généré (et qu'il faudra donc piéger) par unité d'énergie produite. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a estimé que l'augmentation d'énergie requise pour piéger le CO₂ se situe entre 10 et 40 p. 100, selon la technologie; c'est dans les centrales au gaz naturel à cycle combiné que cette hausse est la moindre et dans les centrales au charbon pulvérisé qu'elle est la plus élevée⁽⁴⁾. Par ailleurs, le piégeage du CO₂ est l'étape la plus énergivore (et donc celle qui contribue le plus aux rejets de CO₂ et au coût de la production d'énergie) dans un mécanisme complet de piégeage et stockage du carbone.

Il faudrait aussi noter que, comme les biocarburants tels que l'éthanol et le biodiesel sont tirés de matières végétales qui utilisent le CO₂ atmosphérique, le piégeage et stockage du CO₂ issu de leur combustion reviendrait dans les faits à extraire du CO₂ de l'atmosphère.

2. Transport

Comme bien des sources ponctuelles de CO₂ piégé ne seraient pas situées à proximité d'installations de stockage géologique ou océanique, il se pose la question de l'y acheminer. La forme de transport la plus souvent envisagée est le pipeline, mais le transport par bateau pourrait au besoin être une solution. Les camions-citernes et wagons-citernes ne suffiraient pas pour des projets de cette envergure.

Le recours aux pipelines exigerait la mise en place d'un nouveau régime réglementaire pour assurer l'utilisation de matériaux adéquats (le CO₂ combiné à l'eau, par exemple, est un mélange extrêmement corrosif pour certains matériaux utilisés dans la fabrication de pipelines) et une surveillance suffisante des fuites et de l'application des mesures de santé et sécurité. Il est techniquement possible de surmonter ces contraintes, cependant, et les pipelines sont en général actuellement exploités dans un marché parvenu à maturité.

(4) Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2005).

3. Stockage

C'est surtout le stockage du CO₂ dans des formations géologiques qui fait l'objet de discussions, mais le stockage océanique est aussi une possibilité. Pour le stockage géologique, on peut utiliser des gisements de pétrole et de gaz, des aquifères salins profonds et des couches de charbon inexploitable. Le CO₂ injecté sous pression dans ces formations, généralement à des profondeurs de plus de 800 m, reste à l'état liquide et déplace les fluides, tels que le pétrole ou l'eau, présents dans les pores de la roche.

Le CO₂ liquide, étant plus léger que l'eau, a tendance à remonter; c'est pourquoi les formations géologiques se prêtant à cette solution doivent avoir un « couvercle » rocheux qui fera obstacle à ce mouvement. Si ce couvercle n'est pas assez large, des fuites de CO₂ pourraient se produire à sa périphérie et il faudrait disposer de mécanismes pour les prévenir. La viabilité de ces projets devra donc être établie au cas par cas.

Il est aussi possible d'injecter le CO₂ dans les profondeurs de l'océan. Cependant, le CO₂ réagit avec l'eau pour former de l'acide carbonique, qui augmente l'acidité de l'eau. Or, de nombreux organismes aquatiques sont très sensibles aux changements de l'acidité, ce qui, d'un point de vue écologique, rend le stockage océanique plus problématique que le stockage géologique. Selon les estimations de modèles prévoyant que les océans contribueraient 10 p. 100 des réductions des émissions de CO₂ visant à stabiliser les concentrations atmosphériques de ce gaz (380 parties par million ou ppm à l'heure actuelle et 280 ppm à l'époque pré-industrielle) à 550 ppm, 1 p. 100 du volume des océans verrait son acidité multipliée par 2,5 (baisse de pH de 0,4) – soit une acidification sensiblement supérieure aux variations de l'époque pré-industrielle⁽⁵⁾.

a. Capacité estimative

Un des grands objectifs de l'étude du GIEC était d'examiner la capacité mondiale de stockage du CO₂. Le rapport du GIEC arrivait à la conclusion que, sur le plan technique, la capacité de stockage du CO₂ se situe entre une limite inférieure d'environ 1 700 gigatonnes (Gt; une Gt égale mille millions de tonnes) et des limites supérieures très incertaines (peut-être supérieures à 10 000 Gt). D'un point de vue plus réaliste (économique), cependant, le rapport

(5) *Ibid.*

donne à penser qu'une capacité minimale de 200 Gt est pratiquement certaine, et qu'une capacité de 2 000 Gt est probable⁽⁶⁾. Toutes les émissions actuelles seraient séquestrées pendant environ neuf ans selon l'estimation la plus basse, et 90 ans selon la plus élevée. À la fin de ces périodes, la définition de ce qui est économiquement viable, le besoin de piégeage ou les deux pourraient avoir changé de façon appréciable.

Il existe à l'heure actuelle dans le monde trois grands sites de stockage du carbone, qui stockent environ quatre mégatonnes de CO₂ par an (0,004 Gt/an), l'une d'entre elles étant le projet de récupération assistée du pétrole de Weyburn, en Saskatchewan. Ce projet améliore la récupération du pétrole par injection de CO₂ (provenant des États-Unis) dans le champ pétrolifère. Le CO₂, restant dans le sol, déplace le pétrole et en facilite l'extraction.

b. Durée de stockage

Une fois le CO₂ injecté dans le sol, la durée de son stockage dépend non seulement du potentiel de fuites de la formation géologique, y compris celles causées par des phénomènes sismiques, mais aussi de ses propriétés chimiques. Le CO₂ peut se dissoudre pendant des centaines ou des milliers d'années dans les eaux environnantes, qui deviennent alors lourdes et ont tendance à descendre dans le sol plutôt qu'à remonter. De plus, des réactions chimiques survenant sur des millions d'années peuvent séquestrer de façon permanente le CO₂ sous la forme de carbonates, dans la mesure où les roches contiennent les minéraux nécessaires. Le CO₂ peut aussi déplacer le méthane dans certaines couches de charbon et s'adsorber (coller) sur le charbon. Les durées de stockage des formations géologiques sont généralement de l'ordre de plusieurs centaines, milliers, voire dizaines de milliers d'années⁽⁷⁾.

La durée de stockage dans l'océan dépend de la profondeur d'injection. Après une centaine d'années, on s'attend à ce qu'environ 20 p. 100 du CO₂ injecté s'échappe si la profondeur d'injection est de 800 m; à une profondeur de 3 000 m, la fuite ne serait que d'environ 1 p. 100⁽⁸⁾.

(6) Pour le GIEC, le terme « pratiquement certain » correspond à une confiance de 99 p. 100 ou plus, et « probable » d'entre 66 et 90 p. 100.

(7) Lackner (2003).

(8) GIEC (2005).

c. Impact des fuites

À l'heure actuelle, les émissions mondiales sont d'environ 6 Gt de carbone (à peu près 22 Gt de CO₂) par an. Pour que le stockage du carbone joue un rôle significatif dans la réduction des émissions de CO₂, il faudrait probablement stocker quelques centaines de Gt de carbone sur une période de 100 ans. Des taux de fuite de seulement 1 p. 100 par an correspondraient à l'émission de plus de 1 Gt de carbone sur l'année; dans ce cas, les générations à venir devraient soit le séquestrer, un peu comme cela est fait aujourd'hui pour les sources diffuses, ou en subir les conséquences.

Des fuites catastrophiques – dues par exemple à des phénomènes sismiques ou à d'autres défaillances du stockage géologique, ou à la rupture de pipelines – auraient pour effet non seulement de libérer d'énormes quantités d'un gaz à effet de serre, mais aussi de créer des concentrations de CO₂ potentiellement mortelles à l'endroit où elles surviennent. Ce sont là des considérations qui doivent être prises en compte pour décider où stocker le CO₂, et qui donnent aussi à penser que seule la séquestration océanique à très grande profondeur devrait être envisagée comme option océanique viable.

Le GIEC concluait qu'avec des taux de fuite globaux de 1 à 10 p. 100 sur 100 ans, ou de 5 à 40 p. 100 sur 500 ans, le stockage resterait une option viable pour réduire les émissions. Dans un cas extrême, cependant, si le charbon doit continuer de constituer une bonne part du panier énergétique de la planète et que ses principales utilisations impliquent la combustion, il faudra stocker environ 5 000 Gt de carbone, qui serait susceptible de fuir. Plus on aura recours au stockage, plus grande sera la nécessité absolue de réduire au maximum les taux de fuite pour limiter les efforts que devront fournir les générations à venir.

CONCLUSION

Il existe déjà des technologies qui peuvent apporter des contributions graduelles et très importantes à la réduction des émissions de gaz à effet de serre au cours des prochaines décennies⁽⁹⁾. Le GIEC concluait dans son rapport spécial sur le piégeage et le stockage du dioxyde de carbone que cette technologie fait partie de ce groupe. La capacité en est sans aucun

(9) S. Pacala et R. Socolow, « Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years With Current Technologies », *Science*, vol. 305, 13 août 2004.

doute importante, encore que mal délimitée. Le stockage géologique est préférable au stockage océanique, puisqu'il s'agit d'une technologie mieux établie qui a moins de répercussions sur l'environnement. Il faudra cependant examiner la viabilité de chaque projet, en particulier pour ce qui est de limiter les taux de fuite à des niveaux acceptables. À la limite, l'utilisation de biocombustibles suivie du piégeage et stockage du CO₂ reviendrait à extraire ce gaz de l'atmosphère.

Utilisée isolément, la technologie de piégeage fait croître les intrants énergétiques de 10 à 40 p. 100, ce qui se répercuterait sur les coûts de l'énergie pour le consommateur. La mise en œuvre du piégeage et du stockage du CO₂ sur une grande échelle exigera donc l'appui du public pour amener les politiciens à agir. Le GIEC conclut ainsi :

[...] deux conditions au moins doivent être remplies pour que le piégeage et le stockage du CO₂ deviennent une technologie crédible pour la population, parallèlement à des options mieux connues : 1) l'évolution du climat de la planète imputable aux activités humaines doit être perçue comme un problème sérieux; 2) la nécessité de réduire notablement les émissions de CO₂ afin d'atténuer les changements climatiques doit être reconnue.⁽¹⁰⁾

(10) GIEC (2005), p. 36.