

Des mesures politiques pour protéger le climat

par David Keith et Edward Parson

En 200 ans, les activités humaines ont augmenté de 35 pour cent la concentration en dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Cette augmentation modifiera les climats. De combien ? Quand ? Comment ? Quelles en seront les conséquences écologiques, économiques et sociales ? Nous n'avons pas de réponses précises à ces questions, mais l'ensemble des États conviennent qu'on doit aujourd'hui réduire les émissions de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Pour stabiliser la concentration de ce gaz à 550 parties par million, soit deux fois sa concentration préindustrielle, on devrait réduire les émissions de moitié, par rapport aux prévisions pour 2050. C'est un objectif ambitieux qui ne sera atteint que, dans le meilleur des cas, grâce à la réorganisation complète des systèmes mondiaux de production d'énergie.

Comment réduire les émissions de gaz à effet de serre ? En augmentant les rendements énergétiques ? En utilisant d'autres sources d'énergie (solaire, éolienne, de la biomasse, nucléaire) ? Howard Herzog, Baldur Eliasson et Olav Kaarstad proposent une autre solution : continuer à brûler des combustibles fossiles, mais sans rejeter de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, c'est-à-dire en le stockant dans le sol ou dans la mer.

Même si l'objectif des 550 parties par million est atteint, cette concentration provoquera des changements climatiques. Les problèmes d'environnement qui en découleront n'auront probablement que des conséquences limitées sur l'économie mondiale. En particulier, les pays riches seront peu affectés. En revanche, à l'échelle régionale, les effets seront plus marqués : certaines régions en tireront profit, alors que d'autres en souffriront. Par exemple, aux États-Unis, le Nord du pays pourrait connaître des hivers plus doux, mais des écosystèmes continentaux entiers pourraient disparaître, telles les forêts des montagnes du Sud-Ouest, les forêts du littoral et les prairies alpines. En outre, la menace de changements climatiques imprévus, ajoutés aux risques précédents, incite fortement à stabiliser la concentration de dioxyde de carbone.

Aujourd'hui, le coût de la réduction des émissions ou les problèmes que pose cette réduction. Les autres sources d'énergie restent chères. Quant aux énergies renouvelables, elles ont une faible densité d'énergie : elles sont peu rentables par rapport à la surface de terrain nécessaire à leur mise en œuvre, ce qui limiterait les possibilités d'utilisation à grande échelle. Leur coût diminuera probablement grâce aux progrès techniques, mais leur densité énergétique est une caractéristique intrinsèque immuable.

La réduction des émissions de carbone portera-t-elle un coup à l'économie ? Pas nécessairement. Tout dépendra du temps

nécessaire à la mise au point de techniques bon marché, directement lié aux taxes qui seront instaurées sur le dioxyde de carbone émis dans l'atmosphère. Pour évaluer le coût de la réduction des émissions, les théories classiques n'ont pas pris en compte l'accélération de l'innovation technique due à d'éventuelles incitations politiques et financières. Dans cette hypothèse, en retardant la réduction des émissions, on se donne le temps de trouver des solutions techniques moins coûteuses. Toutefois, nous avons plutôt le sentiment qu'une action politique rapide pour prévenir les changements climatiques stimulerait l'innovation et abaisserait le coût de la réduction des émissions.

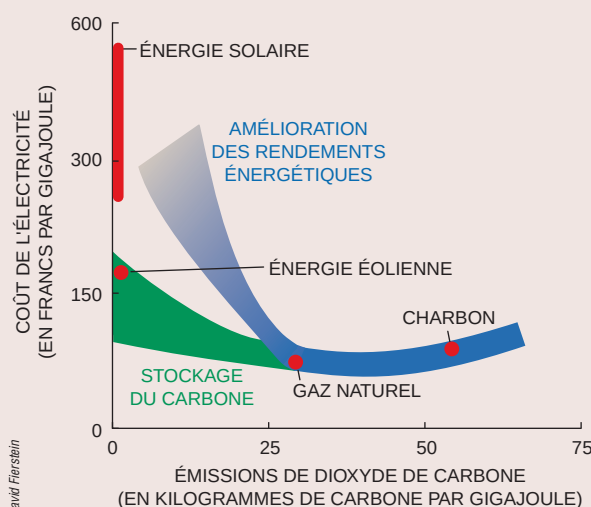
Le stockage du carbone est une des innovations attendues. Il est déjà techniquement possible et semble moins cher que l'exploitation d'énergies renouvelables. Cependant, la réduction massive des émissions passe par l'abandon de l'essence et du gasoil au profit de carburants sans carbone, tel l'hydrogène. Grâce au stockage du carbone, l'utilisation des combustibles fossiles poserait moins de problèmes d'environnement, ce qui résoudrait peut-être du même coup quelques conflits politiques : si le stockage du carbone se généralisait, l'industrie des combustibles fossiles pourrait continuer à fonctionner, avec son marché actuel, plus le nouveau marché du stockage du carbone ; elle ferait donc moins obstacle aux politiques de réduction des émissions.

Avant de stocker le carbone, on étudiera les réservoirs potentiels afin de déterminer ceux qui ne présentent pas de risque. À cause des erreurs passées dans la

gestion des déchets toxiques et nucléaires, les experts en stockage du carbone n'ont pas la confiance du public. Les écologistes restent convaincus que les combustibles fossiles nuisent à la qualité de l'environnement. Ils se méfient du stockage du carbone, car il relève de la «géo-ingénierie», c'est-à-dire de l'intervention sur le climat à l'échelle planétaire, tout comme la solution qui consisterait à refroidir la planète par injection d'aérosols dans la stratosphère afin de réfléchir les rayonnements solaires.

En somme, le stockage du carbone est prometteur, mais ses conséquences incertaines imposent la prudence. Des mesures politiques et économiques sont nécessaires pour soutenir la recherche fondamentale sur l'énergie et pour inciter les sociétés à innover, afin de réduire les émissions de dioxyde de carbone à moindre coût. Le stockage de ce gaz est aujourd'hui la meilleure alternative parmi celles qui sont proposées pour les prochaines décennies.

David KEITH, Université de Carnegie Mellon
Edward PARSON, Université Harvard



Remplacer le charbon par du gaz naturel réduirait les émissions de dioxyde de carbone et les coûts. Pour diminuer encore les émissions, le stockage du carbone (en vert) serait moins cher que l'énergie solaire ou l'amélioration des rendements énergétiques (en bleu). Bien que l'énergie éolienne soit relativement bon marché, les grandes surfaces de terrain qu'elle utilise compromettent la généralisation de son utilisation.

Adams, nous avons montré qu'un facteur de dilution de dioxyde de carbone inférieure à une partie par million ne modifierait pas beaucoup le pH. La variation serait de moins de 0,1. En injectant le dioxyde de carbone dans la mer sous forme de petites gouttelettes (après l'avoir comprimé pour le liquéfier), à partir d'un conduit posé sur le plancher océanique ou remorqué par un bateau, cette concentration ne serait pas dépassée, ce qui supprimerait les problèmes d'acidité.

Au cours des prochaines années, on testera expérimentalement les conséquences sur l'environnement des différentes méthodes de stockage du dioxyde de carbone. Par exemple, en 2001, nous analyserons, avec une équipe internationale (États-Unis, Japon, Suisse, Norvège, Canada, Australie), la faisabilité technique et l'influence sur l'environnement d'un stockage de carbone dans la mer au large d'Hawaii.

Notamment, pendant deux semaines, nous réaliserons une série de tests de dissolution de dioxyde de carbone dans la mer à une profondeur de 800 mètres. Nous observerons le panache qui en résultera et mesurerons le pH de l'eau, la quantité de carbone inorganique dissous... Ainsi, nous modéliserons les conséquences du stockage du dioxyde de carbone, afin de prévoir son impact sur l'environnement avec précision. Nous déterminerons aussi la technique la mieux adaptée à la dissolution de dioxyde de carbone dans l'eau sous forme de petites gouttelettes.

Le coût du stockage du carbone

Combien le stockage du dioxyde de carbone coûtera-t-il? Comme les centrales électriques sont responsables d'un tiers des émissions mondiales de dioxyde de carbone, le stockage du carbone les concerne en premier lieu. Ces usines ont réduit leur rejet de polluants, tels les particules solides, les oxydes de soufre, d'azote et le monoxyde de carbone, mais pas le dioxyde de carbone.

Depuis 1910, des «précipitateurs électrostatiques» éliminent des particules de polluants résultant de la combustion du pétrole et du gaz naturel, sans grever le prix de l'électricité. Aujourd'hui, une centrale électrique moderne équipée pour réduire au minimum les particules, les oxydes de soufre et les oxydes

d'azote rejetés coûte environ 30 pour cent de plus (à l'installation) qu'une centrale ordinaire. Ensuite, ces équipements n'augmentent le prix du kilowattheure d'électricité que de 0,1 à 0,5 pour cent.

Les rejets des centrales électriques thermiques ne contiennent que 3 à 15 pour cent de dioxyde de carbone. Avant de stocker le carbone, on devrait d'abord concentrer le dioxyde de carbone des émissions de gaz. Avec les équipements existants, cette étape est

plus coûteuse que le stockage lui-même. Notre objectif est de mettre au point un procédé moins cher.

En général, pour séparer le dioxyde de carbone d'un mélange gazeux, on le fait réagir avec de la monoéthanolamine en solution diluée dans une tour d'absorption, à température ambiante. Puis on chauffe le composé formé à environ 120 °C dans une seconde colonne, le rectificateur; le dioxyde de carbone libéré est ensuite comprimé,

Plantons des arbres

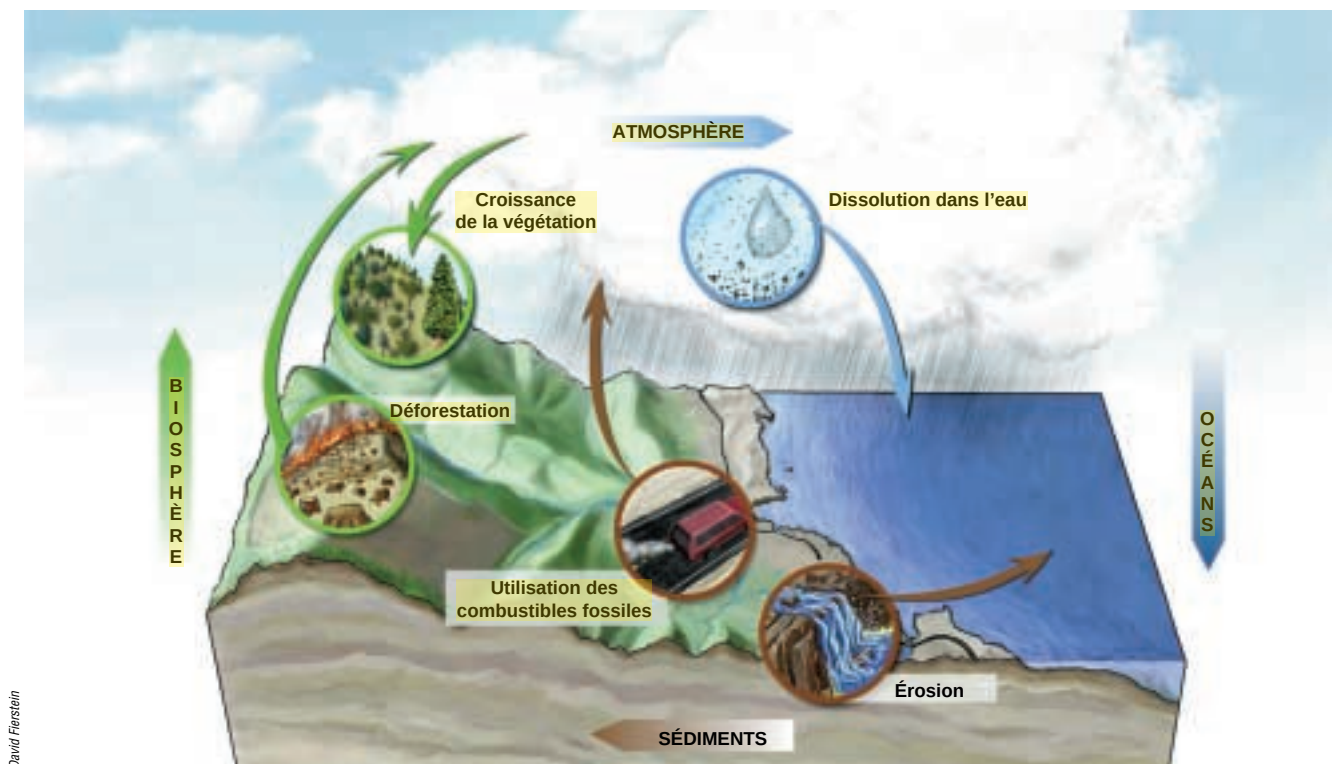
Depuis plus de dix ans, on stocke du carbone dans les régions déforestées et les terres cultivées du Guatemala, sans conduit souterrain ni station de pompage : on plante des arbres. À mesure qu'ils poussent, ils absorbent le dioxyde de carbone atmosphérique, dont ils stockent le carbone sous forme de bois. Planter des forêts est donc un moyen de stocker le carbone en profitant de ce processus naturel. La reforestation, l'afforestation (la plantation d'arbres sur des terres qui initialement ne portaient pas de forêts) et l'agrosylviculture (l'intégration d'arbres aux cultures agricoles) sont prévues par le traité international de Kyoto pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Dès 1988, la compagnie d'électricité *Allied Energy Services* (AES) utilisa la sylviculture pour compenser ses émissions de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. À cette époque, AES prévoyait de construire une nouvelle centrale thermique dans le Connecticut; les ingénieurs avaient calculé que la combustion de charbon, pendant les 40 ans d'exploitation, rejetterait 52 millions de tonnes de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Avec l'Institut des ressources mondiales et la Coopérative pour l'assistance et le secours partout dans le monde, AES créa des forêts communautaires au Guatemala, y introduisit des pratiques d'agrosylviculture et forma des brigades de pompiers, afin de protéger les arbres nouvellement plantés et les forêts naturelles. D'après l'Institut des ressources mondiales, 58 millions de tonnes de dioxyde de carbone seront stockées d'ici la fin du projet. Aujourd'hui, plus d'une dizaine de programmes de plantations sont en cours sur quelque quatre millions d'hectares de terres boisées aux États-Unis, en Norvège, au Brésil, en Malaisie, en Russie et en Australie.

Les forêts de l'ensemble du Globe stockeraient près d'un trillion de tonnes de carbone. Pour compenser les émissions actuelles de dioxyde de carbone (près de 13 milliards de tonnes), on devrait planter chaque année de nouvelles forêts couvrant une surface équivalente à celle de l'Inde. Les projets de sylviculture, s'ils ne résolvent pas le problème des émissions de gaz à effet de serre, présentent néanmoins de nombreux avantages, allant de l'amélioration de la qualité de l'environnement à la création d'emplois dans les plantations. Cependant, la capacité de stockage de carbone est limitée. En outre, les plantations d'arbres nuisent à la biodiversité des plantes indigènes et obligent parfois à déplacer des populations. Les arbres ne peuvent enrayer seuls les risques de bouleversement climatique dus à l'émission des gaz à effet de serre. Nous devons prendre d'autres engagements, à l'échelle planétaire, afin de réduire ces émissions.



Aux îles Fidji, des ouvriers plantent des arbres dans le cadre d'un programme de reforestation.



David Farstein

3. EN BRÛLANT DES COMBUSTIBLES FOSSILES, on transfère le carbone des sédiments dans l'atmosphère. Le but du stockage du carbone est de transférer une partie du carbone atmosphérique dans la mer, les sédiments ou la biosphère.

séché, refroidi, liquéfié et purifié si nécessaire, tandis que la solution de monoéthanolamine est recyclée. Ce procédé est efficace, mais il consomme trop d'énergie pour le stockage du carbone à grande échelle. Seules quelques centrales électriques (telle celle de Shady Point, dans l'Oklahoma) l'utilisent pour récupérer le dioxyde de carbone de leurs rejets gazeux. Le dioxyde de carbone obtenu est vendu à d'autres industries, qui l'utilisent pour lyophiliser les volailles ou gazéifier la bière et les jus de fruits.

On peut aussi faire réagir le dioxyde de carbone avec l'hydrogène, afin de

former du méthanol, utilisable comme carburant. Le méthanol ainsi produit est plus cher que le méthanol obtenu à partir du gaz naturel, mais la réutilisation du dioxyde de carbone, qui lui donne une valeur marchande, devrait contribuer à réduire les émissions, inciter les industriels à mettre au point une technique de récupération de dioxyde de carbone moins chère et faciliter la transition vers l'emploi de combustibles moins polluants.

Malgré les risques de réchauffement du climat, le charbon, le pétrole et le gaz naturel restent les principales sources d'énergie. On connaît les techniques qui utilisent ces combustibles tout en préservant le climat. Aujourd'hui, la récupération et le stockage du dioxyde de carbone rejeté par les centrales électriques augmenteraient le coût de production de l'électricité de 50 à 100 pour cent. Cependant, ces équipements n'augmentent pas le prix de l'acheminement ni de la distribution de l'électricité, qui représentent une proportion importante des factures d'électricité des consommateurs. Celles-ci n'augmenteraient que de 30 à 50 pour cent, et moins si l'on trouvait des techniques de séparation plus efficaces.

Comment généraliser le stockage du carbone? Tout d'abord, les cher-

cheurs doivent étudier la stabilité des sites envisagés. Puis les industriels, aidés par les États, doivent tester les nouveaux procédés à l'échelle industrielle et chercher des moyens de réduire les coûts (principalement les coûts de séparation du dioxyde de carbone des autres gaz rejetés dans les centrales électriques). Le projet Sleipner a montré que le stockage du carbone réduit efficacement les émissions de dioxyde de carbone lorsqu'il existe une incitation économique. Au cours des 100 dernières années, les systèmes de production d'énergie ont profondément changé : nous sommes passés d'une économie stationnaire, fondée sur le charbon et la vapeur, à une économie mobile fondée sur les combustibles liquides, le gaz et l'électricité. Dans les 100 prochaines années, les changements devraient être aussi profonds.

Howard HERZOG travaille au laboratoire d'énergie de l'Institut de technologie du Massachusetts. Baldur ELIASSON est directeur du programme énergétique de la Société ABB. Olav KAARSTAD est conseiller pour l'orientation de la recherche sur l'énergie et l'environnement dans la Société norvégienne Statoil.



ABB Corporate Research

4. L'INSTALLATION DE SHADY POINT, dans l'Oklahoma, sépare le dioxyde de carbone du mélange gazeux rejeté dans l'atmosphère et le vend à des industries alimentaires.