25 NOVEMBRE 2015

LA GÉO-INGÉNIERIE

OU LA MANIPULATION DU CLIMAT À GRANDE ÉCHELLE

LES OCÉANS COMME LABORATOIRES

Le terme **géo-ingénierie** rassemble les différentes techniques ayant pour but de manipuler délibérément le climat à l'échelle de la planète. Selon ses promoteurs, la géo-ingénierie pourrait être une solution relativement simple et rapide à mettre en œuvre pour palier les effets du réchauffement climatique causé par les émissions de gaz à effet de serre (GES) d'origine humaine. Toutefois, la géo-ingénierie condense un ensemble de questionnements à la fois scientifiques, environnementaux, diplomatiques et éthiques.

Les techniques de géo-ingénierie sont généralement regroupées en deux catégories : celles visant à réduire l'énergie solaire captée à la surface de la terre (voir la fiche sur la gestion du rayonnement solaire) et celles visant à modifier les grands cycles du carbone afin de capter une partie du CO_2 atmosphérique (notamment les émissions produites par les activités humaines) et la transférer dans des compartiments géologiques ou biologiques afin de diminuer leur participation à l'effet de serre. Au sein de cette deuxième catégorie, plusieurs techniques visent à modifier les cycles du carbone dans les océans. Ce sont ces techniques et les incertitudes scientifiques qui les entourent qui sont l'objet du présent document.

POURQUOI JOUER SUR LE CARBONE DES OCÉANS ?

Les océans constituent de loin la plus grande réserve de carbone de la planète. Là où le stock de carbone dans l'atmosphère est estimé à environ 800 gigatonnes (i.e. milliards de tonnes), les océans, en particulier les eaux profondes, représentent une réserve de plus de 35 000 gigatonnes de carbone. Pour donner un autre ordre de grandeur, les océans contiendraient 10 fois plus de carbone que ce que représentent les réserves de carbone fossile (pétrole, charbon, gaz et tourbe).

L'idée apparait donc séduisante de jouer sur le cycle du carbone afin de transférer l'excès de carbone de l'atmosphère dans le « puits de carbone » que constituent les océans. Au vu des quantités importantes de carbone déjà présentes dans les océans, on peut penser qu'en ajouter un peu plus ne devrait pas modifier grandement les choses.

Deux problèmes émergent pourtant rapidement à l'examen du dossier. A l'heure actuelle, aucune technique n'est encore au point, ou même proche de l'être, pour transférer massivement du carbone de l'atmosphère aux océans. De plus, au vu des connaissances encore incomplètes que nous avons des systèmes complexes qui régissent les grands équilibres bio-géochimiques (le cycle du carbone, en l'occurrence), on ne mesure que très partiellement les conséquences que pourrait avoir le déploiement de telles techniques à large échelle.

Deux techniques de modification du cycle de carbone impliquant les océans sont régulièrement mises en avant : l'ensemencement (qui a déjà été expérimenté de manière controversée) et le chaulage des océans.

fondation SCIENCES CITOYENNES

coalition 21 climat

À l'occasion des mobilisations citoyennes autour de la **COP21** (21e Conférence des parties de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques) organisée à Paris en novembre et décembre 2015 et en lien avec la **Coalition Climat 21**, la **Fondation Sciences Citoyennes** propose un éclairage sur ce qu'elle considère, à l'instar de nombreux scientifiques, comme une fausse solution qui risque bien de prendre le pas sur la réduction des émissions de CO_2.

L'ENSEMENCEMENT DES OCÉANS

✓ Le principe

Il y a dans les océans près de 50 fois plus de carbone qu'il n'y en a dans l'atmosphère. Ce carbone organique y est principalement présent sous forme de phytoplancton, des plantes microscopiques vivant en suspension dans l'eau. Lorsque les conditions propices sont réunies, le phytoplancton peut connaître des phases de croissance importantes, appelées blooms, phases au cours desquelles le plancton capte du carbone atmosphérique pour sa croissance. À mesure que ce phytoplancton est décomposé, une partie du carbone capté retourne aux eaux superficielles des océans, d'où elle pourra rejoindre l'atmosphère. Une autre partie du carbone capté va rejoindre les eaux profondes des océans, via la chaine alimentaire ou plus simplement par gravité. C'est cette fraction du carbone qui est donc transférée de l'atmosphère aux eaux profondes des océans, et ne participe donc plus à l'effet de serre.

L'idée de la fertilisation des océans est donc de créer artificiellement des blooms de croissance du phytoplancton, en apportant le nutriment qui est le plus souvent limitant dans la croissance du plancton : le fer. D'après des études réalisées *in vitro,* une tonne de fer pourrait capter entre 120 et 440 gigatonnes de dioxyde de carbone. Néanmoins, les quelques expériences déjà réalisées en pleines eaux ont montré des rendements nettement inférieurs. De plus, il est simpliste de penser pouvoir intervenir de la sorte sur le cycle du carbone sans bouleverser profondément les écosystèmes océaniques.

✓ Les problèmes de mise en pratique

Depuis les années 1990, une douzaine d'expériences d'ensemencement des océans ont été conduites en pleines eaux. Celles-ci ont toutes montré des rendements nettement inférieurs à ce que laissaient prédire les expériences en laboratoire, avec des rendements plus proches de 800 tonnes de CO_2 captées pour 1 tonne de fer déversée. À ces niveaux de rendement, ce sont donc quelques 50 millions de tonnes de fer qu'il faudrait déverser annuellement dans les océans pour compenser les émissions humaines de dioxyde de carbone (autour de 40 gigatonnes par an). Par ailleurs, le carbone des eaux profondes des océans n'est pas fixé de manière définitive. On estime qu'au bout d'un siècle, les trois quarts environ du carbone exporté vers le plancher océanique sont renvoyés à la surface (et donc à l'atmosphère) par les courants marins, alors même que le fer reste en grande partie fixé au fond des océans. Sur des échelles de temps de l'ordre du siècle ou de la décennie, déverser du fer dans les océans afin de séquestrer du carbone qui remontera à la surface revient donc à essayer de remplir le tonneau des Danaïdes.

✓ Les risques

L'écologie en tant que science ne cesse de nous rappeler que les grands systèmes naturels sont régis par des processus complexes par nature très difficile à prédire. Ainsi, il est illusoire de penser qu'agir sur le phytoplancton, qui est le premier maillon de la chaîne alimentaire des océans, n'aura pas de répercussion sur l'ensemble du système biologique.

Comme tout organisme vivant, le phytoplancton est en compétition pour les ressources nécessaires à sa croissance. Or, toutes ces ressources, et pas seulement le fer, sont présentes en quantités limitées dans les océans. Apporter artificiellement du fer au plancton pour en stimuler la croissance aura ainsi pour répercussion un accaparement par le phytoplancton des autres ressources nécessaires à son développement (phosphate, nitrate, silice), et ce aux dépens des autres espèces. Il faut également garder à l'esprit que les eaux océaniques constituent un milieu mouvant dans lequel les éléments et nutriments peuvent être mobiles sur de grandes échelles. Ce même processus d'accaparement de nutriments par le phytoplancton stimulé par ensemencement au fer dans une région A pourrait jouer aux dépens du phytoplancton d'une région B. Cela reviendrait donc à augmenter artificiellement le rendement carbone du plancton dans une région, mais avec le contrecoup de le diminuer dans la région voisine. Un jeu à somme nulle, donc… Pire, d'après une étude publiée en 2013*, le jeu pourrait carrément être perdant : en effet, certains types de phytoplancton, en particulier les diatomées, accapareraient plus de fer qu'il n'est nécessaire pour leur croissance. Les blooms artificiels pourraient ainsi être limités par ce type de phytoplancton, réduisant d'autant la croissance des espèces plus compétentes pour capter le carbone atmosphérique. Sur le long terme, ce processus pourrait donc s'avérer négatif en termes de bilan de carbone stocké.

Enfin, on peut encore allonger la liste des conséquences mal maîtrisées que pourrait avoir un ensemencement des océans à large échelle. On peut ainsi citer le « verdissement » des océans suite aux blooms de phytoplancton, qui s'avérerait néfaste pour la croissance des coraux, par exemple, ou encore la modification locale de la couverture nuageuse, phénomène dû à un gaz rejeté lors de la croissance du phytoplancton, le diméthyle de sulfure. Le manque de connaissances quant à ces phénomènes invite donc à un redoublement de la précaution.

* Ingall, Ellery D., Julia M. Diaz, Amelia F. Longo, Michelle Oakes, Lydia Finney, Stefan Vogt, Barry Lai, Patricia L. Yager, Benjamin S. Twining, and Jay A. Brandes. *Role of Biogenic Silica in the Removal of Iron from the Antarctic Seas.* Nature Communications 4 (10 June 2013): 1981. doi:10.1038/ncomms2981.

LE CHAULAGE DES OCÉANS

✓ Le principe

Le carbone capté dans les océans l'est aussi de manière chimique. Cette captation du carbone dépend de l'acidité des eaux : les eaux basiques captant plus de carbone que les eaux acides. Or, un des effets néfastes des émissions de carbone liées aux activités humaines et du réchauffement climatique est justement une acidification des océans. Cette acidification a donc pour conséquence une moindre captation du carbone de l'atmosphère par les eaux océaniques.

Une idée, proposée initialement par un ingénieur d'ExxonMobil, serait de contrer l'acidification des eaux océaniques en y déversant de grandes quantités de chaux. Les eaux océaniques rendues moins acides par « chaulage » pourraient ainsi capter de plus grandes quantités de carbone. Contrairement à l'ensemencement des océans, qui repose sur des processus biologiques complexes, cette solution à l'avantage de s'appuyer sur des réactions chimiques bien connues. Des substances autres que la chaux, comme par exemple la poudre de calcaire, pourraient également être utilisées.

✓ Les problèmes de mise en pratique

Le paradoxe majeur auquel doit faire face la technique de chaulage des océans vient du fait que la production de chaux est un processus particulièrement énergivore (pour le moins dans le contexte actuel où la majeure partie de l'énergie est produite à partir de combustibles fossiles). La chaux s'obtient en effet par chauffage à très haute température de roche calcaire. Ce qui se paie par des rendements faibles : une fois prises en compte les quantités de CO_2 produites lors du processus de fabrication de chaux, une tonne de chaux déversée dans l'océan ne permettrait de compenser que 2 tonnes de CO_2 atmosphérique. Ce qui laisse présager des quantités nécessaires pour compenser les quelques 40 milliards de tonnes de CO_2 émises annuellement.

La production de poudre de calcaire nécessite comparativement moins d'énergie. Néanmoins, une fois déversé dans les eaux océaniques, il faut des années avant que le calcaire se dissolve et capte du CO_2. Les effets attendus par déversement de poudre de calcaire ne se feraient sentir que sur des dizaines, voire des centaines d'années. Ainsi, d'après des projections considérées comme optimistes sur la question, un déversement massif de 4 milliards de tonnes de poudre de calcaire par an à partir de 2020 ne permettrait de diminuer la quantité de CO_2 de l'atmosphère de 30 ppm (parties par millions) qu'à l'horizon 2200.

Compte tenu des quantités de CO_2 émises lors de la production de ces substances, on estime qu'il coûterait plus cher de produire de l'électricité par combustion de substances fossiles (pétrole, gaz ou charbon), puis de la compenser par ajout de chaux ou de poudre de calcaire, que de produire la même quantité d'énergie à partir de ressources renouvelables (solaire, éolien…). Dès lors, l'intérêt des méthodes de chaulage des océans, avec toutes les incertitudes qu'elles comportent, devient plus que limité.

✓ Les risques

Comme on l'a dit, le chaulage des océans repose sur des processus chimiques qui sont plutôt bien connus (plus en tout cas que ceux servant de base à l'ensemencement des océans). Néanmoins, toutes les incertitudes liées au chaulage des océans sont encore mal mesurées. Par exemple, la poudre de calcaire, pendant la longue période nécessaire pour sa dissolution, pourrait être consommée par le zooplancton, avec des conséquences inconnues sur sa croissance et sur les répercussions tout au long de la chaîne alimentaire.

Traduction « libre » :
- *Scientifique (à gauche)* : Les fuites de méthane en Arctique ont fortement augmenté.
- *Ours :* Quand le monde aura complètement cramé, est-ce que les scientifiques nous conseilleront encore de ne pas nous alarmer ?
- *Scientifique (à gauche) :* Ne vous alarmez pas.
- *Scientifique (à droite) :* Des études complémentaires sont nécessaires.

Source : StephanieMcMillan.org

JOUER AVEC LE CARBONE DES OCÉANS : LE JEU EN VAUT-IL LA CHANDELLE ?

On le voit, les techniques visant à transférer artificiellement l'excès de CO_2 de l'atmosphère aux eaux océaniques, en jouant sur des processus biologiques ou des équilibres chimiques, sont encore très loin d'être au point. De plus, les rendements en termes de séquestration de CO_2 que ces méthodes pourraient offrir semblent bien loin de pouvoir compenser les émissions actuelles. Enfin, les incertitudes qui entourent ces méthodes et le manque de connaissances concernant les processus qu'elles tendent à modifier ne nous permettent pas à l'heure actuelle de mesurer tous les conséquences néfastes qu'elles pourraient engendrer.

Ces techniques sont donc bien loin de constituer une alternative facile et sûre à la seule réponse au réchauffement climatique qui paraît raisonnable : la réduction des émissions de CO_2.

BIBLIOGRAPHIE INDICATIVE

Travaux du **Groupe ETC** (ONG basée à Ottawa)
http://www.etcgroup.org/

Observatoire de la géo-ingénierie
http://www.geoengineeringmonitor.org/

Rapport final de l'Atelier de Réflexion Prospective REAGIR (2014)
http://www.arp-reagir.fr/index.html

5e Rapport du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat)
http://www.developpement-durable.gouv.fr/-5e-Rapport-du-GIEC-.html

Gouverner le climat ? 20 ans de négociations internationales
Stefan Aykut et Amy Dahan - Presses de Sciences Po, 2015

Les Apprentis sorciers du climat - Raisons et déraisons de la géo-ingénierie
Clive Hamilton - Seuil, 2013

Tout peut changer - Capitalisme et changement climatique
Naomie Klein - Actes Sud, 2015

Crime climatique STOP ! L'appel de la société civile
Ouvrage collectif - Seuil, 2015

Un projet soutenu par :

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

Fondation Charles Léopold Mayer pour le Progrès de l'Homme

Cette fiche est le résultat d'un travail effectué au sein de l'association pour une **Fondation Sciences Citoyennes** (FSC) par Dominique Cellier, Kévin Jean, Sylvie Nadin et Fabien Piasecki.

Ce document est amené à évoluer au fil du temps, la version que vous êtes en train de lire n'est pas définitive.

Pour plus d'information :
geo-ingenierie@sciencescitoyennes.org
http://sciencescitoyennes.org