

## Vie de la recherche

# Qui alimente les études sur la géoingénierie ? Une perspective d'historien des sciences

Régis Briday

Doctorant en histoire des sciences, EHESS, Centre Alexandre Koyré, 75013 Paris, France

**Mots-clés :**  
géoingénierie ; histoire  
des sciences ; guerre  
froide ; entrepreneurs  
et think tanks privés ;  
États-Unis et Europe

**Résumé** – Depuis une dizaine d'années, des climatologues de renom, des académies des sciences et même le GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) ont proposé d'étudier le potentiel des techniques de géoingénierie. Le présent article recense et prospecte des pistes d'étude de la géoingénierie par les sciences humaines et sociales et, en particulier, par les historiens des sciences. L'auteur insiste sur les vertus d'un suivi des acteurs sociaux, notamment de ceux qui cherchent à rendre acceptable le recours à des technologies de géoingénierie, et qui sondent des voies d'épanouissement d'un programme de recherche scientifique sur le sujet. Parallèlement à cet exercice exploratoire, l'auteur espère offrir un éclairage utile sur les principaux débats et controverses actuels.

**Keywords:**  
geoengineering;  
history of science;  
Cold War; private  
entrepreneurs and  
think tanks; United  
States and Europe

**Abstract** – *Who fuels research on geoengineering? A historian's perspective.* Since the mid-2000s, renowned climate scientists, academies of science, and even the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) have suggested to study the potential of geoengineering techniques. This article reviews and explores possible research avenues on geoengineering in history of science and social science. The author insists on the interest of monitoring the actors of geoengineering, in particular those who work on the acceptability of having recourse to it and encourage scientific research on it. In parallel, the author hopes to throw some useful light on today's main debates and controversies on geoengineering.

## Introduction

L'écriture de ce texte trouve son impulsion dans les débats qu'ont animés des chercheurs en sciences humaines et sociales (Clive Hamilton, Mike Hulme, Amy Dahan, Bernadette Bensaude-Vincent, Matthias Dörries) et des chercheurs en sciences de l'atmosphère et du climat (Olivier Boucher, Peter Irvine), lors d'une journée de travail qui s'est tenue à Paris le 11 octobre 2013<sup>1</sup>. Intitulée « La géoingénierie sur l'agenda du changement climatique », la rencontre a confronté différents regards disciplinaires sur la géoingénierie, à l'heure où le GIEC et

diverses institutions nationales (comme l'Académie nationale des sciences des États-Unis ou la Royal Society britannique) s'interrogent sur la pertinence de faire de la géoingénierie une composante à part entière des programmes de recherche sur le changement climatique.

Le terme « géoingénierie » englobe l'ensemble des technologies visant à modifier intentionnellement un ou plusieurs paramètres environnementaux définis comme planétaires. Depuis les années 1970, les débats portent presque exclusivement sur des techniques potentiellement aptes à contrebalancer le changement climatique d'origine anthropique (par injection d'aérosols dans la

Auteur correspondant : regisbriday@yahoo.fr

<sup>1</sup> Ce « workshop » international était organisé par le Centre Alexandre Koyré, le projet ANR ClimaConf et l'Ifris (Institut francilien recherche innovation société). Il a réuni une quarantaine de chercheurs issus d'universités européennes (exception faite de Clive Hamilton, venu d'Australie). Étaient également présents des membres du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche français. Le programme est disponible sur le site internet de l'Ifris, à l'adresse <http://ifris.org/agenda/international-workshop-on-geoengineering>.

stratosphère, fertilisation des océans, blanchissement des nuages marins, édification d'arbres artificiels, etc.<sup>2</sup>).

Au tournant des années 1990, le changement climatique est mis à l'agenda politique international. En 1988, est créé le GIEC, et une Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques est signée quatre ans plus tard. Au cours de la décennie 1990, l'immense majorité des climatologues regarde la géoingénierie comme une science-fiction, émanant de quelques nostalgiques de la guerre froide. Seul un petit nombre de scientifiques a envisagé de mettre la géoingénierie sur la liste des options de lutte contre le changement climatique et ses effets, aux côtés des baisses d'émissions de CO<sub>2</sub> (ou « atténuation ») et de l'adaptation. À la fin de la décennie 2000, en revanche, la géoingénierie est devenue un sujet sérieux, légitime de discussion au sein de la communauté scientifique internationale. Les travaux sur les impacts environnementaux à redouter en cas de déploiement de technologies géoingénieriques se multiplient<sup>3</sup>. En 2011, le GIEC organise à Lima une rencontre sur le sujet, dont est tiré un rapport spécial<sup>4</sup>.

Les questions « politiques » soulevées dans la littérature experte ne sont pas nouvelles : saura-t-on corrélérer avec précision des phénomènes régionaux et globaux à des expériences géoingénieriques ? Quid des possibles usages belligérants ? Peut-on léguer aux générations futures l'entretien de technologies aussi onéreuses et potentiellement destructrices ? etc. Elles avaient été posées, pour la plupart, dès les années 1970-80, dans les premières dissertations sur le recours à la géoingénierie pour contrebalancer le changement climatique<sup>5</sup>. Quelques exceptions notables, toutefois : les

<sup>2</sup> Certains scientifiques ont également proposé de réfléchir à une injection d'hydrocarbures dans la stratosphère, qui pourrait freiner la destruction de la couche d'ozone. En ce qui concerne la géoingénierie climatique, à laquelle nous nous limiterons, elle recouvre plusieurs types de technologies, discutés par des communautés de chercheurs et d'ingénieurs différentes (voir par exemple Vaughan, N., Lenton, T., 2011. A review of climate geoengineering proposals, *Clim. Change*, 109, 745-790). Nous nous sommes focalisés ici sur les discours traitant la géoingénierie climatique de manière générique, en tant qu'ensemble de technologies aptes à modifier le climat global.

<sup>3</sup> Ils mettent en exergue de très nombreuses incertitudes, ainsi que d'inquiétants effets secondaires et rétroactions.

<sup>4</sup> Edenhofer, O., et al. (Eds.), 2012. *IPCC Expert Meeting on Geoengineering*. Meeting Report, Lima, Peru, 20-22 June 2011, IPCC, [http://www.ipcc-wg2.gov/meetings/EMs/EM\\_GeoE\\_Meeting\\_Report\\_final.pdf](http://www.ipcc-wg2.gov/meetings/EMs/EM_GeoE_Meeting_Report_final.pdf).

<sup>5</sup> Kellogg, W., Schneider, S., 1974. Climate stabilization: For better or for worse? *Science*, 186, 1163-1172 ; Meyer-Abich, K., 1981. Socio-economic impacts of carbon dioxide induced climatic changes and the comparative chances of alternative political responses – prevention, compensation, and adaptation, in Likens, G.E. (Ed.), *Some perspectives of the major biogeochemical cycles*, SCOPE, 17, 165-167.

discours de la « participation publique » et du libre accès aux résultats scientifiques se sont depuis largement imposés. On les retrouve notamment parmi les principes dits « d'Oxford ». Initialement proposés par Steve Rayner (un philosophe et anthropologue de formation, adversaire de la gouvernance du protocole de Kyoto et collaborateur de l'Oxford Geoengineering Programme), ils sont au nombre de cinq : (i) « la géoingénierie doit être réglementée en tant que bien public » ; (ii) « partout où cela est possible », les décisions doivent être prises après consultation et consentement des parties potentiellement affectées ; (iii) « toute recherche sur la géoingénierie doit être divulguée, et les résultats faire l'objet de publications en libre accès » ; (iv) « l'estimation des impacts doit être réalisée de manière indépendante » (par des institutions différentes de celles qui développent les technologies, et par des institutions régionales et internationales *ad hoc* si les impacts sont transfrontaliers) ; (v) « partout où cela est possible », la gouvernance (règles, institutions) doit être en place avant le déploiement des technologies<sup>6</sup>. Aussi évanescentes et peu spécifiques à la géoingénierie soient-ils, ces « principes directeurs de gouvernance » n'en ont pas moins été repris à leur compte par les experts du rapport spécial du GIEC sur la géoingénierie, qui ont proposé de les adopter afin « de faire un pas en avant », pour poursuivre sereinement les recherches<sup>7</sup>.

Plus généralement, quel état des lieux peut-on faire des études académiques en sciences humaines et sociales sur la géoingénierie ? D'abord, nous constatons qu'une part significative des travaux historiques, sociologiques et philosophiques sur la géoingénierie a été réalisée dans le cadre de programmes transdisciplinaires, tels que l'Oxford Geoengineering Programme. En France, où l'Académie des sciences n'a, à ce jour, produit aucun rapport spécifique sur le sujet mais seulement organisé une séance publique (le 25 juin 2013), l'Agence nationale de la recherche (ANR) a monté un Atelier de réflexion prospective (ARP) interdisciplinaire, nommé RÉAGIR (Réflexion autour de la géo-ingénierie environnementale ; 2012-2014<sup>8</sup>).

Ensuite, à ce stade, la plupart des travaux de sciences humaines et sociales sur la géoingénierie ont eu une visée normative<sup>9</sup>. Nous ne contestons pas l'importance de cette approche, ni par ailleurs la nécessité d'analyser les controverses sociotechniques autour des récentes

<sup>6</sup> Rayner, S., Heyward, C., Kruger, T., Pidgeon, N., Redgwell, C., Savulescu, J., 2013. The Oxford Principles, *Climatic Change*, 121, 502-503.

<sup>7</sup> Edenhofer, O., et al. (Eds.), 2012, *op. cit.*, 35.

<sup>8</sup> <http://arp-reagir.fr>.

<sup>9</sup> *Natures Sciences Sociétés* a ainsi publié un article de Dominique Bourg et Gérard Hess, qui proposait de réinterroger les enjeux du principe de précaution, sur la base d'une scénarisation d'un éventuel recours aux technologies de géoingénierie (Bourg, D., Hess, G., 2010. La géo-ingénierie : réduction, adaptation et scénario du désespoir, *NSS*, 18, 298-304).

expériences *in situ* présentées par leurs auteurs comme pertinentes pour étudier les capacités de certaines méthodes géoingénieriques. Toutefois, en historien, nous pensons qu'il est tout aussi précieux d'identifier les acteurs qui ont encouragé la recherche sur la géoingénierie (modélisations numériques, expériences en laboratoire et *in situ* à petite échelle, R&D) et ont entendu lui donner une légitimité politique. Aussi, le présent article recense-t-il plusieurs voies d'étude qui seraient centrées sur les logiques des acteurs sociaux, et sur les généalogies d'acteurs.

## Pour une histoire longue discontinuiste

Des technologies pensées pour servir des projets très différents s'avèrent parfois semblables d'un point de vue technique. Entre 1958 et 1962, se répondent, sous la plume du météorologue états-unien Harry Wexler, des projets d'amélioration du climat à grande échelle et des mises en garde contre les potentialités de développement d'armes climatiques. Dans les deux cas, seraient utilisées des méthodes comparables de modification des propriétés radiatives de la surface terrestre (en agissant sur les propriétés réfléchissantes des déserts, des glaces polaires) ou de l'atmosphère (en créant, par exemple, un gigantesque nuage de glace dans la stratosphère grâce à l'explosion de bombes H « propres » dans l'océan Arctique<sup>10</sup>). Les géoingénieurs se réclament d'un réductionnisme physicochimique, dans lequel se retrouvent amalgamées diverses techniques d'ingénierie du temps et du climat. Il rend, en outre, comparables des phénomènes naturels et artificiels (ainsi, sous la plume de Michael MacCracken, les injections d'aérosols dans la stratosphère pour contrebalancer l'effet de serre deviennent des « volcans humains<sup>11</sup> »).

Par ailleurs, certains géoingénieurs d'aujourd'hui revendiquent leur appartenance à une longue tradition d'élaboration de projets de modification délibérée du temps et du climat, qui remonterait aux années 1950, voire au tournant du XX<sup>e</sup> siècle. Or, leurs histoires continuistes se veulent des sagas de la modernité scientifique et technique d'un optimisme candide<sup>12</sup>. Des récits discontinuistes d'historiens permettent de les

contrarier, en appréciant l'épanouissement de l'ingénierie climatique dans la littérature scientifique à l'aune d'agencements sciences-sociétés particuliers.

Un récit en trois époques se dégage des travaux d'histoire des sciences qui ont cherché à expliquer le poids variable de l'ingénierie du temps et du climat dans les agendas de recherche aux États-Unis, pays qui est resté à la pointe du domaine depuis 1945<sup>13</sup>. La périodisation s'ouvre sur un « âge d'or », à l'intérieur du complexe universitaire-militaire-industriel des décennies 1950-60. De nombreuses expériences locales et régionales *in situ* sont alors effectuées, et de nombreux projets d'ingénierie à grande échelle formulés. Mais, au cours des décennies 1970-80, s'opère un reflux massif des financements de la recherche publique et privée destinés à la modification intentionnelle du temps et du climat. Ce désenchantement trouve ses origines, non seulement dans les échecs répétés des tentatives de maîtrise du temps, mais également dans l'utilisation d'armes météorologiques au Vietnam (l'ensemencement des nuages, avec pour objectif d'embourber les troupes ennemies), et dans la « mutation environnementaliste » de la société et des programmes de recherche sur l'atmosphère aux États-Unis.

Toutefois, dans le même temps, la recherche sur le changement climatique s'étoffe, avec deux corollaires. D'une part, des climatologues reconnus lancent des alertes publiques relatives à l'augmentation des concentrations de CO<sub>2</sub>. D'autre part, alors que la modification de l'albédo terrestre, atmosphérique ou spatiale (par exemple, à l'aide de miroirs géants disposés dans l'espace) avait été la seule méthode géoingénierique explorée jusqu'alors, les études sur le cycle biogéochimique global du carbone ouvrent une seconde voie : la captation-séquestration du carbone atmosphérique. À la fin des années 1980, des océanologues proposent de « fertiliser » les océans, en y injectant massivement du fer ;

<sup>12</sup> Voir, par exemple, Keith, D., 2000. *Geoengineering the climate. History and prospect*, *Annu. Rev. Energy Environ.*, 25, 245-284.

<sup>13</sup> Nous reprenons ici les résultats de nos travaux effectués avec Mieke van Hemert, et présentés lors de la journée de travail du 11 octobre 2013. Nous renvoyons par ailleurs aux travaux suivants : Fleming, J., 2006. *The pathological history of weather and climate modification: Three cycles of promise and hype*, *Hist. Stud. in the Phys. and Biol. Sc.*, 37, 1, 3-25 ; Kwa, C., 2001. *The rise and fall of weather modification: Changes in American attitudes towards technology, nature and society*, in Miller, C., Edwards, P. (Eds), 2001. *Changing the atmosphere: Expert knowledge and environmental governance*, Cambridge, The MIT Press, 135-165 ; Howe, J., 2010. *Making global warming green: Climate change and American environmentalism, 1957-1992*. Thèse de doctorat en histoire, Stanford University ; Doel, R., Harper, K., 2006. *Prometheus unleashed: Science as a diplomatic weapon in the Lyndon B. Johnson Administration*, *Osiris*, 21, 66-85.

<sup>10</sup> Wexler, H., 1958. *Modifying weather on a large scale*, *Science*, 128, 1059-1063 ; Fleming, J., 2010. *Fixing the sky: The checkered history of weather and climate control*, New York, Columbia University Press, 213-217.

<sup>11</sup> MacCracken, M., 1991. *Geoengineering the climate*, Lawrence Livermore National Laboratory, Report UCRL-JC-108014, Livermore CA. Cette métaphore a depuis été maintes fois reprise... et la pertinence de cette comparaison entre injection prolongée d'aérosols et éruption volcanique, réfutée par de nombreux scientifiques. Voir sur ce point Hamilton, C., 2013. *Les apprentis sorciers du climat. Raisons et déraison de la géo-ingénierie*, Paris, Le Seuil, 83-100.

cela favoriserait l'épanouissement du phytoplancton, qui pourrait capturer le carbone atmosphérique en grande quantité, avant de rejoindre, une fois mort, le fond des océans<sup>14</sup>.

Plus généralement, certains acteurs militent pour que la géoingénierie soit discutée comme un recours crédible, dès les premières heures des négociations internationales sur le changement climatique, au tournant des années 1990 ; la fin des années 2000 consacra la géoingénierie comme sujet légitime de discussion dans les rapports d'experts internationaux. Quant au regain d'intérêt pour l'ingénierie du temps et du climat régional que l'on observe depuis quelques années, il faudrait lui consacrer une étude spécifique, afin d'évaluer dans quelle mesure il est lié à la montée de la thématique de la géoingénierie, mais aussi à d'autres facteurs, dont l'attrait que montrent de nouvelles nations (Chine, pays du Golfe) pour l'ingénierie atmosphérique comme méthode de lutte contre la sécheresse ou la pollution de l'air. En outre, on pourrait envisager une étude sur les facteurs culturels pouvant expliquer l'existence, ou non, d'un tabou sur la géoingénierie et sur l'ingénierie du temps et du climat régional, dans différentes régions du monde.

### Qui stimule la recherche publique sur la géoingénierie depuis le tournant des années 1990 ?

Deux facteurs explicatifs ont été maintes fois mis en avant pour expliquer la montée en puissance de la thématique géoingénierie au cours des années 2000. D'une part, les prévisions de plus en plus alarmistes du GIEC, qui promettent des événements météorologiques et climatiques extrêmes, et des flux migratoires importants. D'autre part, la criante veulerie de l'effort de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> à l'échelle mondiale. Ces deux « facteurs » sont également les deux principaux arguments de légitimation en faveur de la recherche sur la géoingénierie. Ses avocats jurent que son déploiement effectif se fera si et seulement si « la catastrophe est sur le

point d'advenir », et si les technologies de géoingénierie sont « au point ». Problème : d'après quels critères en jugera-t-on ? Nous ne contestons pas qu'il soit important de répondre à cette question normative ; toutefois, nous pensons qu'il est tout aussi décisif d'identifier les acteurs qui poussent à « plus de recherche » sur la géoingénierie et lui confèrent un bien-fondé politique.

L'historien James Fleming a posé les jalons d'une recherche de ce type. Il a insisté sur l'importance de la double publication, en 2003, d'un rapport de l'U.S. National Research Council (NRC<sup>15</sup>), qui proposait la création « d'un nouveau programme de recherche sur la modification du temps à grande échelle », et d'un rapport du Pentagone, intitulé « *An abrupt climate change scenario and its implications for United States national security*<sup>16</sup> », qui se refermait sur une recommandation faite au gouvernement fédéral d'explorer les options géoingénieriques de contrôle du climat<sup>17</sup>. Par ailleurs, les articles conjointement signés en 2006 par Paul Crutzen, prix Nobel de Chimie en 1995<sup>18</sup>, et Ralph Cicerone, président de l'Académie des sciences des États-Unis<sup>19</sup>, ont indubitablement contribué à rendre les discussions sur la géoingénierie « respectables », « *mainstream* » au sein de la communauté scientifique, dans les années qui ont suivi<sup>20</sup>.

Toutefois, ces « électrochocs » n'expliquent pas pourquoi nous trouvons, dès 1992, un chapitre entier sur la géoingénierie dans le rapport de l'Académie nationale des sciences des États-Unis sur les implications politiques du réchauffement climatique, puis une expertise optimiste sur les possibles futurs de la géoingénierie, dans le troisième rapport du groupe III du GIEC, paru en 2001<sup>21</sup>. Or, derrière ces deux expertises, nous trouvons plusieurs climatologues aguerris et reconnus du Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL), dont Michael MacCracken et Ken Caldeira qui comptent

<sup>15</sup> U.S. National Research Council, 2003. *Critical issues in weather modification research*, Washington, D.C., The National Academies Press.

<sup>16</sup> Schwartz, P., Randall, D., 2003. *An abrupt climate change scenario and its implications for United States national security*. Report, U.S. Pentagon. Ce rapport est disponible à l'adresse <http://www.greenpeace.org/international/en/publications/reports/an-abrupt-climate-change-scena/>.

<sup>17</sup> Fleming, 2006, *op. cit.*, 3-4 et 20-21.

<sup>18</sup> Crutzen, P., 2006. Albedo enhancement by stratospheric sulfur injections: a contribution to resolve a policy dilemma? An Editorial Essay, *Clim. Change*, 77, 3-4, 211-219.

<sup>19</sup> Cicerone, R., 2006. Geoengineering: encouraging research and overseeing implementation. An Editorial Comment, *Clim. Change*, 77, 3-4, 221-226.

<sup>20</sup> Hamilton, C., 2013. *op. cit.*, 27-34.

<sup>21</sup> US National Academy of Sciences, 1992. *Policy implications of greenhouse warming: Mitigation, adaptation, and the science base*, Panel on policy implications of greenhouse warming, National Academy of Sciences, National Academy of Engineering, Institute of Medicine, 944 p. ; IPCC, 2001. *Climate Change 2001: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of IPCC*, Cambridge University Press, Cambridge (UK) and New York, 332-334.

<sup>14</sup> On distingue par conséquent aujourd'hui deux grandes catégories de géoingénierie : les technologies de gestion des flux radiatifs solaires ; les technologies de capture et séquestration du carbone. Dans la mesure où l'afforestation a été intégrée à la comptabilité carbone du protocole de Kyoto (1997) indépendamment des discussions sur les technologies de modification d'albédo, de fertilisation des océans, etc., elle est généralement exclue de la catégorie géoingénierie. Néanmoins, certains auteurs classent l'afforestation (massive) parmi les technologies géoingénieriques de capture-séquestration du carbone (tout en excluant généralement la « déforestation évitée », qui préserve de plus hauts taux de CO<sub>2</sub>, et serait donc à classer dans la catégorie des actions « d'atténuation », comme la réduction des émissions des gaz à effet de serre) [Vaughan et Lenton, 2011, *op. cit.*, 750-751]. De multiples définitions de la géoingénierie climatique ont été proposées depuis la fin des années 1970. Aussi insignifiantes paraissent les redéfinitions, elles ont nécessairement des enjeux stratégiques, qui mériteraient une analyse détaillée.

parmi les plus ardents zélateurs de la géoingénierie. Leur appartenance au LLNL n'est pas anecdotique. Premièrement, le LLNL est un reliquat de la recherche militaire de la guerre froide. Deuxièmement, ce grand laboratoire est placé depuis 1979 sous la tutelle de l'US Department of Energy (DoE). Or, le DoE est pris en étau entre son activité de recherche sur le changement climatique (et, notamment, de production de modélisations numériques pour le GIEC) et son activité de conseil sur les solutions à mettre en œuvre pour atteindre les impératifs nationaux de moindre dépendance énergétique et de baisse des coûts de l'énergie<sup>22</sup>.

### Le rôle central joué par les entrepreneurs privés

À ce stade, nous nous sommes focalisés sur la géoingénierie dans la recherche publique en sciences de la nature, et en particulier aux États-Unis. Mais, si la recherche publique états-unienne a été la plus prolifique sur le sujet, le corpus n'en reste pas moins réduit (en tout cas, pour ce que nous en savons, c'est-à-dire en ce qui concerne la littérature dont l'accès n'est pas barré par le secret défense). De plus, la recherche publique n'a, officiellement, mené à ce jour que de rares expériences de terrain pertinentes pour contrebalancer le changement climatique. Les seules, significatives, seraient des expériences de fertilisation des océans<sup>23</sup>. Or, des laboratoires privés et des consortia public/privé, nord-américains pour la plupart, se trouvent impliqués dans plusieurs d'entre elles.

Une ONG canadienne de veille technologique et environnementale, l'ETC Group, a répertorié treize essais significatifs d'ensemencement des océans par injection de fer au cours des vingt dernières années, avant qu'un moratoire ne soit adopté en 2008 par la Convention sur la diversité biologique. Cette disposition légale fut prise dans la foulée de l'affaire Planktos. En 2007, l'entrepreneur californien Russ George, propriétaire de la firme Planktos Inc., avait fait l'annonce d'une prochaine « démonstration » dans le Pacifique équatorial, à proximité des îles Galápagos. Le projet consistait à

fertiliser, à l'aide de plusieurs tonnes de particules de fer, un carré de 10 000 km<sup>2</sup>, ce qui constituait une échelle beaucoup plus grande que les expériences menées jusqu'alors, depuis le début des années 1990 (la plus large, SOFeX, ayant été déployée sur 225 km<sup>2</sup> en 2002). Mais, la firme dut reculer, suite à ce qu'elle qualifia de « campagne de désinformation<sup>24</sup> ». En 2010, le moratoire fut étendu à l'ensemble des activités géoingénieriques pouvant porter atteinte à la biodiversité. En 2013, un amendement à la Convention sur la prévention de la pollution des mers résultant de l'immersion des déchets, dite Convention de Londres, fut par ailleurs adopté afin d'interdire la presque totalité des expériences de « géoingénierie marine, dont la fertilisation des océans<sup>25</sup> ».

Les expériences de fertilisation des océans sont controversées au sein de la communauté des océanographes. Par-delà les risques environnementaux qu'elles font courir, on leur a reproché leur caractère marchand. En effet, plusieurs brevets ont été déposés. Parmi les technologies, certaines ont été explicitement conçues avec l'espoir d'intégrer rapidement une comptabilité carbone, et donc d'obtenir des crédits carbone (soit par le biais d'un amendement au protocole de Kyoto, soit dans le cadre d'une autre gouvernance hypothétique dans le futur<sup>26</sup>). Le constat ne se limite pas aux technologies de fertilisation des océans. David Keith, l'un des géoingénieurs les plus médiatiques, a construit au sein d'un laboratoire de l'Université de Calgary, puis de la start-up Carbon Engineering qu'il a créée en 2009, des machines destinées à pomper le CO<sub>2</sub> directement dans l'air ambiant, avec pour objectif affiché de récupérer prochainement des crédits carbone<sup>27</sup>.

Autre exemple : en 2010, des industriels ont déclaré que 12 % des émissions globales de CO<sub>2</sub> pourrait être

<sup>24</sup> ETC Group, 2010. *Geopiracy: The case against geoengineering*, Communiqué #103, 24-25, [www.etcgroup.org](http://www.etcgroup.org).

<sup>25</sup> La « géoingénierie marine » y est définie comme « une intervention délibérée dans l'environnement marin pour manipuler les processus naturels, y compris le changement climatique d'origine anthropique et/ou ses impacts, et qui a le potentiel de produire des effets délétères, en particulier là où ces effets peuvent être très étendus, de longue durée et graves. » L'expression « fertilisation des océans » désigne « toute activité entreprise par l'homme avec comme intention principale de stimuler la productivité primaire dans les océans (ce qui n'inclut pas l'aquaculture conventionnelle, la mariculture ou la création de récifs artificiels) ». Site de l'IMO (International Maritime Organization ; ONU), 2014, <http://www.imo.org/MediaCentre/PressBriefings/Pages/45-marine-geoengineering.aspx>.

<sup>26</sup> Strong, A. *et al.*, 2009. Ocean fertilization: time to move on, *Nature*, 461, 347-348 ; Strong, A. *et al.*, 2009. Ocean fertilization: Science, policy, and commerce, *Oceanography*, 22, 3, 236-261.

<sup>27</sup> ETC Group, 2010. *op. cit.*, 32 ; <http://carbonengineering.com> ; <http://people.ucalgary.ca/~keith>. Ces efforts ont valu à Keith d'être reconnu comme l'un des « héros de l'environnement » de l'année 2009 par le magazine *Time* : [http://content.time.com/time/specials/packages/article/0,28804,1924149\\_1924154\\_1924428,00.html](http://content.time.com/time/specials/packages/article/0,28804,1924149_1924154_1924428,00.html).

<sup>22</sup> En raison de ce mandat, précisément, nous pensons que se focaliser sur l'intérêt atypique que le DoE porte à la géoingénierie serait faire fausse route. Ce serait passer à côté d'une analyse critique plus générale des manœuvres du DoE, qui promeut les solutions technologiques effectives les plus gigantesques, les plus « brutales » pour lutter contre le changement climatique (centrales nucléaires, grands barrages, grandes exploitations de gaz et pétrole de schiste, de biocarburants, etc.).

<sup>23</sup> Quelques expériences atmosphériques auraient également déjà été entreprises en vue de futurs développements de technologies géoingénieriques, dont des épandages d'aérosols et de fumées sous la direction du renommé climatologue russe Yuri Izrael (Hamilton, 2013. *op. cit.*, 190-191 ; Kintisch, E., 2010. *Hack the Planet*, Wiley).

séquestré grâce à la production-séquestration de *biochar*, un type de charbon produit par pyrolyse à partir de résidus de biomasse végétale (fumiers, résidus forestiers ou agricoles), qui pourrait potentiellement « retenir du CO<sub>2</sub> » dans le sol pendant plusieurs siècles, voire plusieurs millénaires. Le « lobby du *biochar* », comme le nomme l'ETC Group, parlait d'utiliser des centaines de milliers d'hectares de terre, et évoquait explicitement la possibilité d'obtenir des crédits carbone en contrepartie<sup>28</sup>.

Les exemples précédents suggèrent que, tout comme il serait intéressant d'étudier les pratiques des groupes de recherche transdisciplinaires « sciences de la nature / sciences humaines et sociales » sur la géoingénierie, évoqués en introduction, une analyse détaillée des partenariats public/privé serait nécessaire. D'autant que les premiers éléments de recherche sur les investissements privés en géoingénierie mettent en avant le rôle central joué par quelques milliardaires : R. George ; Richard Branson ; Bill Gates, enfin, dont la fondation, qui a notamment financé D. Keith et K. Caldeira, serait actuellement le plus important bailleur de fonds de la recherche en géoingénierie<sup>29</sup>. En outre, nous ajoutons que, au vu des sommes importantes que B. Gates a par ailleurs investies dans les nanotechnologies et la biologie de synthèse, qui sont souvent vendues comme des technologies vertes, il serait sans doute fructueux de travailler conjointement sur la géoingénierie et ces deux autres technosciences. En complément des travaux de Céline Lafontaine sur les nanotechnologies et des travaux de Bernadette Bensaude-Vincent sur la biologie de synthèse, notamment, il s'agirait d'identifier les financeurs communs aux trois technosciences, de questionner leur éventuelle matrice idéologique commune, ou encore les affinités entre leurs stratégies économiques<sup>30</sup>. Ces trois technosciences n'ont de cesse, en tout cas, de brouiller les frontières entre le naturel et l'artificiel, entre le vivant et la technique.

<sup>28</sup> ETC Group, 2010, *op. cit.*, 17. En outre, les promoteurs du *biochar* mettent en avant les cobénéfices d'une telle technologie, qui serait non seulement apte à capter le CO<sub>2</sub> atmosphérique, mais également capable de produire de la bioénergie (lors du processus de pyrolyse) pouvant se substituer en partie à l'usage de combustibles fossiles, ainsi que d'améliorer la fertilité des sols (y compris dans les zones sèches, avec pour corollaire, avancent certains auteurs, de lutter contre la désertification). Toutefois, cette bonification des sols, ainsi que la grande longévité du *biochar* dans les sols sont sujettes à caution ; les agronomes et les scientifiques du sol insistent notamment sur le fait qu'elles dépendent de la nature des sols. Voir, par exemple, le rapport de synthèse du Comité scientifique français de la désertification (CSFD) : Cornet, A., Escadafal, R., 2009. *Le biochar est-il vert ?* Rapport, CSFD, <http://www.csf-desertification.org/combatte-la-desertification/item/le-biochar-est-il-vert>.

<sup>29</sup> Hamilton, 2013, *op. cit.*, 101-107. Clive Hamilton ajoute que certaines compagnies pétrolières, dont Exxon, BP et Shell, commencent à montrer un intérêt pour cette nouvelle niche d'investissement, et poussent des gens de chez eux vers des « groupes indépendants », qui produisent des rapports conseillant de mener des recherches sur la géoingénierie.

Autre élément parlant : l'attitude de certains think tanks libéraux et néoconservateurs états-uniens (Heartland Institute, American Enterprise Institute, Cato Institute) a récemment évolué d'un « climatoscepticisme » obstiné<sup>31</sup> à une promotion de la géoingénierie pour contrebalancer le changement climatique, « au cas où » le risque se révélerait manifeste. Cette concession subite au risque climatique a conduit C. Hamilton à suspecter que la géoingénierie serait, pour ces acteurs, non un dernier recours, mais une solution prioritaire et permanente en lieu et place des réductions d'émissions de CO<sub>2</sub>. Ils entreverraient même dans ce programme « la légitimation du système politico-économique » qu'ils défendent – le système peut résoudre le problème (pour peu qu'on ne le bride pas<sup>32</sup>) !... On peut également y reconnaître une nouvelle diversion, qui poursuit l'œuvre de procrastination différant toujours la sortie de l'économie carbonée. Quoi qu'il en soit, on observe, au cœur du projet géoingénierie, la rencontre, et parfois la « synthèse », de la figure du chercheur-démiurge de la guerre froide, incarnée par Edward Teller et ses « enfants » du LLNL<sup>33</sup>, et de la figure de l'entrepreneur, qui se présente – et que les think tanks libéraux présentent – comme thau-maturge (le sauveur de l'activité économique et de l'environnement).

### Garde-fous juridiques et politiques contre les projets à grande échelle, et pistes de recherche pour une « géoingénierie »

<sup>30</sup> Lafontaine, C., 2006. Le Québec Nanotech : les discours publics en matière de nanotechnologie entre promotion et fascination, *Quaderni*, 61, 39-53 ; Bensaude-Vincent, B., Benoit-Browaey, D., 2011. *Fabriquer la vie. Où va la biologie de synthèse ?*, Paris, Le Seuil.

<sup>31</sup> Voir sur ce point Oreskes, N., Conway, E., 2010. *Merchants of doubt. How a handful of scientists obscured the truth on issues from tobacco smoke to global warming*, London, Bloomsbury Press.

<sup>32</sup> Voir l'entretien de C. Hamilton sur le site web de *Democracy Now*, 2013. [http://www.democracynow.org/2013/5/20/geoengineering\\_can\\_we\\_save\\_the\\_planet](http://www.democracynow.org/2013/5/20/geoengineering_can_we_save_the_planet). Voir également Hamilton, 2013, *op. cit.*, 129-144.

<sup>33</sup> En 1975, E. Teller, le père de la bombe H, est élu directeur émérite du LLNL. Il est, ensuite, le directeur de thèse de M. MacCracken sur les modélisations numériques des âges glaciaires. Puis, il disserte sur les usages possibles d'un éventail de particules d'aluminium réfléchissantes, pour contrebalancer le changement climatique sans endommager la couche d'ozone (Teller, E., et al., 1997. *Global warming and ice ages. I- Prospects for physics-based modulation of global change*, Lawrence Livermore National Laboratory, Preprint UCRL-JC-128715, Livermore CA). Dans la lignée de ce travail, des modélisations de K. Caldeira et ses collègues du LLNL cherchent à démontrer la crédibilité des technologies d'injection d'aérosols dans la stratosphère. Leurs travaux sont repris dans la section enthousiaste du rapport du GIEC de 2001 sur la géoingénierie... dont l'un des auteurs n'est autre que D. Keith (Schneider, S., 2001. Earth systems engineering and management, *Nature*, 409, 419 ; IPCC, 2001, *op. cit.*, 301 et 334).

## territoriale »

Dans cet article, nous avons proposé une introduction à la géoingénierie, dans une perspective relevant principalement de l'histoire des sciences. Il reste encore à cette tradition de nombreuses zones d'ombre à éclaircir. Et, il faudrait parvenir à intégrer, de manière raffinée, le programme de géoingénierie dans des « régimes de production des savoirs<sup>34</sup> » et dans le « régime climatique<sup>35</sup> ».

Ensuite, l'apport d'historiens des techniques serait hautement enrichissant. Le possible usage dual (civil/militaire) de la plupart des technologies d'ingénierie atmosphérique et climatique plaide en leur défaveur ; mais, la « plasticité » des usages de la technique est aussi sa plus grande force dans sa conquête d'acceptabilité sociale (sans oublier son pouvoir de séduction des imaginaires obsédés par le contrôle ou en quête de nouveaux spectacles). L'occasion pour nous de souligner que l'histoire de la modification du climat à grande échelle a été, est, et demeurera indissociable de celle à échelle locale et régionale.

Enfin, un travail de sociologie des sciences permettrait de mieux cerner les tensions actuelles au sein de la communauté scientifique. Et cela, pays par pays, discipline par discipline (climatologie, physicochimie de l'atmosphère, océanographie, géologie, microbiologie et « microbiologie »). La tentation est grande, pour les scientifiques, de transgresser leur tabou de l'expérimentation *in situ*<sup>36</sup>, afin d'accroître leur pouvoir d'action et leur capacité de théorisation de certains mécanismes climatiques. En août 2011, *The Guardian* annonçait que les chercheurs du projet public SPICE (Stratospheric Particle Injection for Climate Engineering ; Universités de Bristol, Cambridge, Oxford et Édimbourg) s'approprièrent à injecter quelques dizaines de litres de vapeur d'eau un kilomètre au-dessus du comté de Norfolk, à l'aide d'un ballon arrimé à un bateau. Il était alors question de réaliser un simple exercice liminaire, afin de tester le comportement de l'aérostat dans l'atmosphère ; mais à terme, le programme visait à réaliser des tests d'injection de particules réfléchissantes dans la stratosphère, à vingt kilomètres d'altitude (grâce à la même technique<sup>37</sup>).

<sup>34</sup> Pestre, D., 2003. *Science, argent et politique. Un essai d'interprétation*, Versailles, Quæ.

<sup>35</sup> Dahan-Dalmedico, A., 2007. Le régime climatique, entre science, expertise et politique, in Dahan-Dalmedico, A. (Ed.), *Les modèles du futur. Changement climatique et scénarios économiques : enjeux politiques et économiques*, Paris, La Découverte, 113-139.

<sup>36</sup> Cet interdit de mener des expérimentations *in situ* « destructrices » (c'est-à-dire qui ne laissent pas les propriétés du lieu inchangées une fois l'expérience achevée) est profondément ancré dans la culture des sciences de l'atmosphère et du climat... même si, au cours des décennies 1950-60, les États-Unis et l'URSS nous ont offert de nombreux exemples de transgression. Voir Fleming, 2010. *op. cit.*

Sous la pression de la société civile, l'équipe SPICE a finalement annulé l'ensemble de ce projet expérimental *in situ*, huit mois après la parution de l'article dans *The Guardian*<sup>38</sup>. Cet épisode a inspiré au politiste britannique Mike Hulme la démonstration suivante : aucune gouvernance internationale viable ne saurait être imaginée au sujet des technologies d'injection d'aérosols dans la stratosphère ; par conséquent, à quoi bon en appeler à plus de recherche scientifique sur le sujet ? R. Cicerone avait, quant à lui, plaidé quelques années auparavant pour un moratoire sur les expériences de terrain à grande échelle (mais qui préservait la possibilité de réaliser « de plus petites expériences à visée scientifique, telles que des additions de fer ou de CO<sub>2</sub> dans les eaux océaniques ou les systèmes terrestres »). Enfin, C. Hamilton a proposé une troisième voie : travailler sur un nouveau traité international propre à la géoingénierie. Car, argue-t-il, si « le droit de l'environnement existant couvre différents domaines de recherche et d'expérimentation en géoingénierie », il n'en présente pas moins « des lacunes et des ambiguïtés<sup>39</sup> ».

Pour conclure, il faut prendre garde que l'actuel emballage médiatique pour la géoingénierie, voire plus généralement pour la maîtrise du temps et du climat, ne se résume pas à un débat technique qui mésestimeraient les visées idéologiques et marchandes de leurs partisans, et qui ferait l'économie de réfléchir aux nouveaux agencements sciences-sociétés que pourraient générer la recherche sur de telles technologies et leur déploiement. De plus, il est impératif d'insister sur le fait que faire usage de technologies de géoingénierie ne « résoudra » pas le problème climatique, mais le reconfigurera, scientifiquement et politiquement, avec des conséquences politiques et culturelles considérables.

En particulier, il semble acquis que l'ingénierie environnementale à moyenne et grande échelle ne saurait faire bon ménage avec une pratique scrupuleuse de la démocratie<sup>40</sup>. Il ne faut donc pas s'étonner de la crainte

<sup>37</sup> Department of Engineering of the University of Cambridge, 2011. <http://www.eng.cam.ac.uk/news/spice-project-announced-british-science-festival> (11 Sept. 2011) ; Hulme, M., 2014. *Can science fix climate change? A case against climate engineering*, Cambridge, Polity Press, Chapter 3.

<sup>38</sup> *The Guardian*, 2012. Geoengineering experiment cancelled due to perceived conflict of interest. 16 May 2012, <http://www.theguardian.com/environment/2012/may/16/geoengineering-experiment-cancelled>.

<sup>39</sup> Hulme, M., 2014. *op. cit.* ; Cicerone, 2006. *op. cit.*, 224-225 ; Hamilton, 2013. *op. cit.*, 198-208.

<sup>40</sup> On trouve une démonstration bien involontaire, mais éclatante, de la démocratie « au rabais » qu'exige la mise en œuvre de la géoingénierie, y compris dans sa phase de recherche prospective, dans Heyward, C., Rayner, S., 2013. *A curious asymmetry: Social science expertise and geoengineering*, Climate Geoengineering Governance Working Paper Series: 007, UK ESRC et AHRC, <http://geoengineering-governance-research.org/perch/resources/workingpaper7heywardrayneracuriousasymmetry.pdf>.

qu'inspire aujourd'hui la géoingénierie, malgré les prévisions alarmistes réitérées par le GIEC dans son dernier rapport (2014), qui somme d'adopter des mesures rapides de lutte contre le changement climatique<sup>41</sup>. La circonspection semble en tout cas de mise en France. Les auteurs du rapport de l'ARP RÉAGIR, le premier document de référence produit dans le pays (sur la base d'une coopération interdisciplinaire entre « des chercheurs, en sciences sociales et naturelles, et des experts des secteurs publics et privés »), proposent ainsi de mettre de côté « les techniques dont l'impact est clairement planétaire et dédié uniquement à un objectif de géoingénierie ». Ces techniques, qui comprennent l'injection d'aérosols dans la stratosphère et l'ensemencement des océans, sont pourtant les plus discutées dans la littérature internationale sur le changement climatique, qui a donné le primat à un cadrage de la géoingénierie comme « dernier recours » – donc devant générer des résultats climatiques rapides (... avec tous les risques que cela comporte). Mais, ces technologies sont également celles qui présentent des risques « politiques », « scientifiques » et « sociotechniques » qui sont apparus réhibitifs aux yeux des auteurs du rapport de l'ARP RÉAGIR<sup>42</sup>.

Ceux-ci proposent par conséquent de limiter les prochaines recherches françaises à l'étude de techniques qui « restent confinées ou territoriales » (par opposition à « trans-territoriales » ou « utilisant les biens communs [de l'humanité] comme l'océan »), ou dont l'action climatique « arrive en seconde intention » (par exemple, un refroidissement localisé greffé à la production d'énergie renouvelable, ou la capture du CO<sub>2</sub> associé à un dessalement de l'eau de mer<sup>43</sup>). Ils suggèrent d'étudier plus avant les potentialités de leur « géo-ingénierie territoriale », comme ils la nomment, dans « quatre secteurs » en priorité : « l'agriculture » (par exemple, en modifiant l'albédo des sols par le choix des cultures, la

mise en jachères, les techniques de labours) ; « la forêt » (par reforestation et afforestation) ; « la ville » (modification de l'albédo des toitures) ; « l'industrie » (champs d'éoliennes modifiant le climat local de manière bénéfique, production de sous-produits capteurs de CO<sub>2</sub> parallèlement au dessalement de l'eau de mer<sup>44</sup>).

Quelles objections pouvons-nous apporter à ces projets de développement de techniques « territoriales » ou « locales » ? La première est évidente, elle porte sur leur efficacité. En effet, si lesdites techniques semblent présenter des risques moindres et avoir des conséquences plus facilement réversibles que celles déployées à grande échelle, elles sont également potentiellement moins aptes à contrebalancer les changements climatiques globaux et durables occasionnés par les émissions de polluants. En outre, les auteurs du rapport de l'ARP RÉAGIR misent sur deux phénomènes de « montée en échelle » pour accroître l'efficacité de leurs techniques : d'abord, sur une dynamique collective, un « effet boule de neige » où les acteurs modifient peu à peu leurs pratiques pour intégrer la composante climatique<sup>45</sup> ; ensuite, sur « l'élargissement » progressif des infrastructures, des territoires concernés. Or, dans les deux cas, l'emploi de la notion de « territoire » et de « local » recèle une nouvelle boîte noire qu'il faudra ouvrir. Certains effets pervers des dynamiques évoquées sont évidents – nous pensons notamment à l'accaparement de potentielles terres agricoles, au renforcement du tropisme vers de grandes exploitations agricoles, à la production de nouvelles nuisances, aux impacts sur les paysages. Reste que, dans le cas des techniques envisagées par les auteurs du rapport de l'ARP RÉAGIR, on peut au moins parier sur le fait que les résolutions seront prises sur une base plus « participative » que dans le cas des technologies déployées à grande échelle.

<sup>41</sup> IPCC, 2014. *Climate change 2013: The physical science basis. Working Group I contribution to the fifth assessment report of IPCC*, Cambridge University Press, Cambridge (UK) and New York. Précisons que « la gestion du risque » pensée par le GIEC envisage bel et bien la possibilité de faire appel à des technologies de géoingénierie à grande échelle. Dans la mesure où les preuves de leur efficacité sont « limitées » et leur acceptabilité politique est « faible », leur déploiement serait toutefois acceptable seulement « en dernier recours », précisent les experts, en cas de « risques climatiques extrêmes » (IPCC, 2014. *Climate change 2014: The mitigation of climate change, Working Group III contribution to the fifth assessment report of IPCC*, Cambridge University Press, Cambridge (UK) and New York, Chapter 1, 5).

<sup>42</sup> Guillebon, B. et al., 2014. *Atelier de réflexion prospective RÉAGIR : Réflexion systémique sur les enjeux et méthodes de la géo-ingénierie de l'environnement*. Document de synthèse, Agence nationale de la recherche, avril, 1 et 13-15, [http://arp-reagir.fr/iso\\_album/rapport\\_final\\_court\\_v14.pdf](http://arp-reagir.fr/iso_album/rapport_final_court_v14.pdf).

<sup>43</sup> Guillebon, B. et al., 2014. *op. cit.*, 7-8 et 13-15.

<sup>44</sup> Guillebon, B. et al., 2014. *op. cit.*, 7-9. Soullignons, en outre, que certaines pistes de recherche proposées par les auteurs du rapport relèvent, non de l'ingénierie climatique, mais de l'adaptation (« le maintien des bocages et des haies » pour réduire la vitesse des vents au sol, ou « la multiplication d'espaces verts au sein des villes » pour lutter contre la formation d'îlots de chaleur), ou de l'atténuation (comme « chercher à diminuer les émissions de N<sub>2</sub>O par les sols ou celles de CH<sub>4</sub> par les ruminants en agissant sur les pratiques, les microorganismes du sol ou l'alimentation du bétail »).

<sup>45</sup> Les auteurs du rapport écrivent : « le mouvement collectif [des] communautés [de « personnes concernées par une même culture » ou de « gens qui travaillent dans le même secteur » industriel] peut avoir des impacts importants car il peut rapidement prendre une ampleur très large avec un effet boule de neige. C'est pourquoi on pourrait envisager d'utiliser cette dynamique collective pour la géo-ingénierie territoriale » (Guillebon, B. et al., 2014. *op. cit.*, 8).