

Pour freiner le réchauffement climatique, des scientifiques proposent de créer un écran contre le rayonnement solaire dans la haute atmosphère. Bien que controversé, le concept gagne du terrain.

# Faut-il investir dans la géo-ingénierie de l'atmosphère ?

**L'**expérience britannique *Spice* devait être la première du genre. Ses responsables prévoient d'injecter des gouttes d'eau dans l'atmosphère, à haute altitude, à l'aide d'un ballon. Elle a toutefois été abandonnée, en mai dernier. Des groupes écologistes contestaient le principe même de cette « géo-ingénierie ». Et des scientifiques ont refusé d'utiliser une technique pour laquelle des brevets avaient été déposés, considérant que l'on ne devait pas pouvoir faire des profits dans un domaine touchant autant l'intérêt général.

Malgré cet échec, l'idée d'augmenter artificiellement la capacité de l'atmosphère à réfléchir le rayonnement solaire, en y injectant des aérosols (poussières solides ou gouttelettes) reste d'actualité. Ce serait une solution pour lutter contre le réchauffement climatique, qui semble inéluctable. Parmi les techniques envisagées, la plus en vogue est sans conteste

l'injection de particules soufrées dans la stratosphère, entre 20 et 30 kilomètres d'altitude.

Défendue, notamment, par le Prix Nobel allemand Paul Crutzen, spécialiste de la chimie atmosphérique, cette méthode permettrait de réduire de 1,8 % l'énergie solaire qui parvient au sol, en n'utilisant que quelques millions de tonnes de soufre. De quoi compenser un doublement de la teneur atmosphérique en dioxyde de carbone : largement plus que l'augmentation de 280 à 400 parties par million entre la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et aujourd'hui. Faut-il s'engager dans un vaste effort de recherche pour mieux cerner les conséquences de cette pollution volontaire ? David Keith, pionnier en la matière, espère faire sa première expérience l'an prochain. Olivier Boucher, spécialiste des modélisations du climat, pense lui qu'il est urgent d'attendre.

■ Denis Delbecq

**David Keith** est professeur à l'université Harvard, aux États-Unis. Pionnier des recherches sur la géo-ingénierie, il dirige également Carbon Engineering, une entreprise qui met au point un procédé de capture du dioxyde de carbone dans l'atmosphère.



**Olivier Boucher** est directeur de recherche au CNRS, au laboratoire de météorologie dynamique de Paris. Il est notamment spécialiste des aérosols atmosphériques et de leur interaction avec le climat, du rôle climatique de l'aviation, et consacre une partie de ses recherches à la géo-ingénierie.

### Les grandes dates

**1991**

L'éruption du Pinatubo, aux Philippines, projette plus de 15 millions de tonnes de dioxyde de soufre dans l'atmosphère. Dix-huit mois plus tard, la température moyenne du globe a baissé d'environ 0,5 °C.

**2000**

David Keith, alors à l'université Carnegie-Mellon, publie un plaidoyer en faveur de la géo-ingénierie du climat.

**2006**

Le Prix Nobel de physique Paul Crutzen apporte son soutien à l'utilisation du soufre. Le débat scientifique arrive sur la place publique.

**2009**

La Royal Society britannique publie un rapport qui reconnaît la nécessité de faire des recherches, tout en réclamant la création d'un code de bonne conduite. Deux mois plus tard, l'American Geophysical Union adopte une position similaire.

## « En dispersant des aérosols soufrés, on peut



David Keith

L'augmentation continue des émissions de gaz à effet de serre et le réchauffement global associé présentent un grand risque pour les communautés humaines, en raison notamment des pertes de récoltes provoquées par le stress thermique des plantes. Or une géo-ingénierie de la stratosphère avec des aérosols soufrés pourrait être employée pour freiner le réchauffement climatique, si les risques associés

se révèlent raisonnablement acceptables.

Avant de prendre une décision, nous devons évaluer ce concept avec des expériences. Non pas à une échelle globale, puisque ce serait déjà faire de la géo-ingénierie du climat. Mais nous pouvons apprendre beaucoup sur la chimie stratosphérique avec des expériences en situation réelle, qui sont bien plus faciles à réaliser qu'en laboratoire. Ces expériences doivent répondre à des questions importantes : quelle technologie permettra de contrôler la taille des gouttelettes ? Comment se comporteraient des

particules solides ?

Comment pouvons-nous prévoir la perte d'ozone, en particulier quand la vapeur d'eau augmente dans la stratosphère ? Existe-t-il des moyens de réduire ou de supprimer un effet sur l'ozone ?

J'appartiens à l'un des groupes qui conçoivent de telles expériences. Nous espérons en présenter une à la fin de cette année, et la réaliser d'ici deux ans. Elle mettrait en jeu une centaine de kilogrammes de soufre et un poids équivalent d'eau, des quantités bien trop faibles pour présenter un risque en termes de climat et de pollution.

Il y a de bonnes raisons de s'opposer à l'idée de géo-ingénierie du climat. Mais il est bien plus difficile d'imaginer de bonnes raisons de refuser des expériences à petite échelle. Grâce aux modèles atmosphériques, leurs résultats nous permettront d'évaluer l'impact d'une géo-ingénierie à grande échelle. L'ignorance est dangereuse.

**Collaboration internationale.** Il y a aujourd'hui trop peu de chercheurs qui travaillent sur cette question. Nous avons besoin d'impliquer une communauté

## « Il est encore trop tôt pour conduire des



Olivier Boucher

Un effort de recherche est nécessaire sur la géo-ingénierie du climat, et en particulier sur l'injection d'aérosols dans la stratosphère, qui semble être une voie efficace, mais pas forcément souhaitable, pour refroidir le climat de la Terre. Cet effort ne doit pas pour autant se faire au détriment des autres domaines de recherche liés à l'évolution du climat, notamment ceux qui portent sur la réduction des

émissions de gaz à effet de serre et sur les moyens de s'adapter au réchauffement climatique. Si la géo-ingénierie apparaît comme l'autre voie crédible, il faudra bien évidemment, le jour venu, réaliser des expériences, ne serait-ce que pour déterminer la meilleure manière d'injecter des aérosols dans la stratosphère. Mais il serait contre-productif de conduire ces expériences trop tôt.

Les outils numériques dont nous disposons permettent de mieux comprendre la réponse du climat à une géo-ingénierie de grande échelle, tout en

faisant avancer les sciences du climat en général. Nous avons aussi à notre disposition plusieurs analogues naturels à la géo-ingénierie comme les gros-

Conduire des expériences dès aujourd'hui dans la stratosphère est donc sans doute prématuré. Personne ne sait encore à quelle échelle il faudrait les réali-

### Modifier le climat comporterait des risques qu'il faut évaluer par des modélisations

ses éruptions volcaniques capables de modifier le climat terrestre, de plus petites éruptions qui nous renseignent sur la dispersion des panaches, ou encore les pollutions liées au trafic maritime qui contribuent à rendre le ciel plus réfléchissant.

ser pour obtenir des réponses aux questions que l'on se pose. Faudra-t-il injecter des tonnes, des milliers de tonnes ou plus encore, pour qu'on puisse observer quelque chose ? Bien des aspects liés à la géo-ingénierie peuvent être étudiés avec les observations et

## freiner le réchauffement climatique »

bien plus large ainsi que de nombreux pays. Il est important que différents groupes conçoivent des expériences à petite échelle, de manière à don-

prendre une décision.

Un autre problème, qui devra être résolu d'ici là, est le manque d'un cadre international qui permette aux États de parvenir à une

la quantité d'aérosols de manière à diviser par deux le rythme du réchauffement ne coûterait que quelques centaines de millions de dollars par an au cours des dix premières années. Si la géo-ingénierie était utilisée dès aujourd'hui, elle pourrait être le fait d'une décision unilatérale d'un seul pays, ce qui est inacceptable. Nous avons besoin d'une meilleure gouvernance, sans pour autant rester enfermés dans des processus de consensus, qui ne produisent pas de décisions concrètes et rapides.

De toute évidence, nous ne sommes pas prêts pour

déployer des techniques de géo-ingénierie à grande échelle. Mais même si un effort planétaire finit par réduire rapidement les émissions de gaz à effet de serre, il sera insuffisant en raison de l'inertie des processus de réchauffement par le dioxyde de carbone. Alors, si les risques devaient apparaître acceptables, la géo-ingénierie deviendrait un outil nécessaire pour gérer les risques climatiques ; tout particulièrement ceux qui pèsent sur les plus pauvres et les plus vulnérables. Ainsi, nous avons besoin d'un effort de recherche agressif à l'échelle de la planète. ■

### *Des expériences à petite échelle doivent être menées pour tester la méthode*

ner des résultats fiables et à susciter des discussions fructueuses fondées sur une science solide. C'est nécessaire pour aider la société et les gouvernements à peser les risques et les bénéfices de la géo-ingénierie quand le moment viendra de

décision. Nos calculs montrent que la géo-ingénierie à l'aide de sulfates serait un moyen peu coûteux de freiner le réchauffement climatique. Si peu onéreux que n'importe quel pays pourrait se l'offrir. Démarrer de zéro en 2020, et augmenter progressivement

## expériences dans la stratosphère »

les outils de modélisation dont nous disposons.

Car la géo-ingénierie du climat ne serait pas sans risque. En faibles quantités, les aérosols stratosphériques seraient plutôt bénéfiques aux plantes car ils augmentent la quantité de rayonnement diffus au niveau du sol. Ils contribueraient aussi à diminuer la couche d'ozone, ce qui augmenterait le rayonnement ultraviolet à la surface mais dans des proportions peut-être acceptables. Mais que se passerait-il si, alors qu'on injecte de grandes quantités de sulfates, survient une grosse éruption

volcanique comme celle du Pinatubo en 1991 ?

Quels effets sur la couche d'ozone, les précipitations et les récoltes ?

**Courte durée de vie.** Contrairement aux gaz à effet de serre dont l'effet climatique est durable – cent ans pour le dioxyde de carbone –, les aérosols ont une durée de vie relativement courte. Si on devait arrêter l'injection de sulfates dans la stratosphère, 80 % du réchauffement évité réapparaîtrait en seulement dix ans, ce qui poserait un grave problème d'adaptation. Qui peut garantir

que l'on pourra poursuivre un effort de géo-ingénierie pendant des décennies, voire des siècles, qu'il n'y aura pas un conflit ou une crise économique majeure qui conduiraient à un arrêt des injections, créant alors un choc climatique ?

Il faudra aussi étudier les aspects économiques à long terme de la géo-ingénierie. Les investissements sur les énergies décarbonées produisent des effets durables, parce qu'à long terme ils contribueront à faire baisser le coût de l'énergie. Sans en nier la difficulté, des économistes calculent qu'un effort massif pour décarboner

l'économie ne réduirait en théorie le PIB mondial que de 1 % à 2 % en 2070, ce qui semble raisonnable. Si elle semble bon marché à première vue, l'injection d'aérosols crée peu de richesses et induirait des coûts cachés qu'il faut évaluer.

Cela dit, cette solution ne doit pas être écartée d'emblée, notamment si la sensibilité du climat aux gaz à effet de serre devait se révéler plus forte que prévu. Elle pourrait alors permettre de gagner le temps nécessaire à l'émergence de solutions originales pour combattre le réchauffement. Mais nous n'en sommes pas encore là. ■