

## Risques majeurs et questions en suspens liés à la modification du rayonnement solaire comme mesure climatique

Les méthodes techniques visant à réduire le rayonnement solaire et à refroidir la Terre (Solar Radiation Modification, SRM) comportent des risques considérables et largement inconnus. Outre des recherches spécifiques sur les éventuels impacts, il faudrait un cadre réglementaire international pour permettre une approche coordonnée à l'échelle mondiale de l'utilisation de la SRM et éviter les abus. Le recours à la SRM ne peut en aucun cas remplacer les mesures de réduction des gaz à effet de serre.

L'Accord de Paris sur le climat vise à limiter le réchauffement global bien en dessous de 2 degrés Celsius, voire à 1,5 degré par rapport à l'ère préindustrielle.<sup>1</sup> Mais l'évolution actuelle montre que les réductions d'émissions et le développement de techniques d'extraction du CO<sub>2</sub> progressent trop lentement pour atteindre les objectifs climatiques dans les délais prescrits.<sup>2,3</sup>

La modification ciblée du rayonnement solaire (Solar Radiation Modification, SRM) pourrait contribuer à réduire le réchauffement. Des rapports scientifiques récemment publiés dressent un bilan de l'état actuel des connaissances sur les méthodes de SRM.<sup>3,4,5</sup> La présente fiche d'information résume les points essentiels et les résultats des recherches menées.

## Quelles sont les techniques permettant de modifier le rayonnement solaire ?

La SRM vise à réduire le rayonnement solaire et à refroidir la Terre par des mesures techniques et à limiter ainsi l'augmentation de la température moyenne mondiale.<sup>5</sup>

### Les différentes méthodes

Trois méthodes SRM sont principalement envisagées. Leur objectif est de renvoyer les rayons solaires incidents à ondes courtes vers l'espace. En fonction de la méthode, cela se fait au niveau mondial, régional ou local.<sup>5,6</sup>

**1. Injection d'aérosols stratosphériques (Stratospheric Aerosol Injection, SAI) :** Des aérosols dans la stratosphère réfléchissent la lumière du soleil. Ainsi, seule une partie du rayonnement atteint la basse atmosphère et réchauffe la surface de la Terre. L'injection de dioxyde de soufre contribue à la formation d'aérosols et permet d'amplifier la réflexion du rayonnement. Cette méthode agit principalement à l'échelle mondiale.<sup>6</sup>

Le même phénomène se produit par exemple de manière naturelle lors des grandes éruptions volcaniques, comme celle du Pinatubo aux Philippines en 1991. Le volcan a projeté de grandes quantités de dioxyde de soufre dans la stratosphère. Cela a entraîné rapidement une réduction de la température moyenne mondiale de quelques dixièmes de degrés.<sup>6</sup>

**2. Eclaircissement des nuages marins (Marine Cloud Brightening, MCB) :** Des particules d'eau salée sont injectées dans les nuages de basse altitude au-dessus de l'océan dans le but de former des gouttelettes plus nombreuses et plus petites. Les nuages deviennent plus brillants et reflètent davantage la lumière du soleil. Cette méthode agit principalement à l'échelle régionale.<sup>6</sup>

**3. Augmentation de l'albédo des surfaces :** Les toitures, les routes ou les surfaces agricoles utiles sont éclaircies afin d'augmenter la part de lumière solaire réfléchie. Les températures de l'atmosphère et du sol baissent localement. L'effet est insignifiant à l'échelle mondiale. Cette méthode est utilisée avec succès depuis des siècles, surtout dans les villes subtropicales et tropicales, et permet de réduire les atteintes à la santé et les dommages aux infrastructures dus à la chaleur.<sup>6</sup>

Une autre méthode a pour but de renvoyer davantage de rayonnement infrarouge à ondes longues (donc davantage de chaleur) vers l'espace :

**4. Amincissement des cirrus :** L'injection de noyaux glacigènes supplémentaires permet de réduire la quantité et l'épaisseur des cirrus. Cela permet de renvoyer vers l'espace davantage de rayonnement infrarouge à ondes longues et de refroidir ainsi l'atmosphère.<sup>6</sup>

Par ailleurs, des études théoriques sont menées sur l'augmentation de la réflexion de la lumière solaire à l'aide de miroirs spatiaux. Toutefois, cette technologie est encore loin d'être disponible et serait très coûteuse.<sup>5</sup>

### Possibilités d'application

La SRM se différencie de l'extraction de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère (Carbon Dioxide Removal, CDR) sur un point important : le CDR consiste à inverser les émissions de CO<sub>2</sub> et à lutter ainsi contre une *cause principale* du changement climatique. La SRM permet en revanche de modifier le bilan radiatif pour atténuer une partie des *répercussions* du changement climatique, à savoir la hausse des températures. Mais d'autres répercussions du changement climatique demeurent.<sup>5,6</sup>

La SRM est actuellement la seule technologie à pouvoir, si elle est appliquée à grande échelle, atténuer en quelques années l'augmentation de la température moyenne mondiale.<sup>5,6</sup> Mais dès que les mesures de SRM prennent fin, le réchauffement reprend rapidement, avec des répercussions largement explorées sur l'écosystème et le système terrestre. En revanche, une réduction des gaz à effet de serre, par exemple par le biais de l'extraction de CO<sub>2</sub>, ne produit d'effets qu'après plusieurs années, mais agit pendant des siècles.<sup>5</sup> La SRM pourrait donc être utilisée temporairement, en attendant que les mesures de réduction de gaz à effet de serre portent leurs fruits. La SRM permettrait de réduire pendant cette période le réchauffement maximal et certains des impacts économiques, écologiques et sociaux du changement climatique. Et ce, peut-être même, à un coût relativement peu élevé. Le franchissement de points de basculement climatiques et écologiques pourrait aussi éventuellement être évité. Les mesures de SRM pourraient ensuite être progressivement arrêtées.<sup>4</sup>

Il serait en outre possible d'utiliser le MCB de manière ciblée dans des zones vulnérables, par exemple dans l'Arctique ou la Grande Barrière de corail.<sup>4</sup>

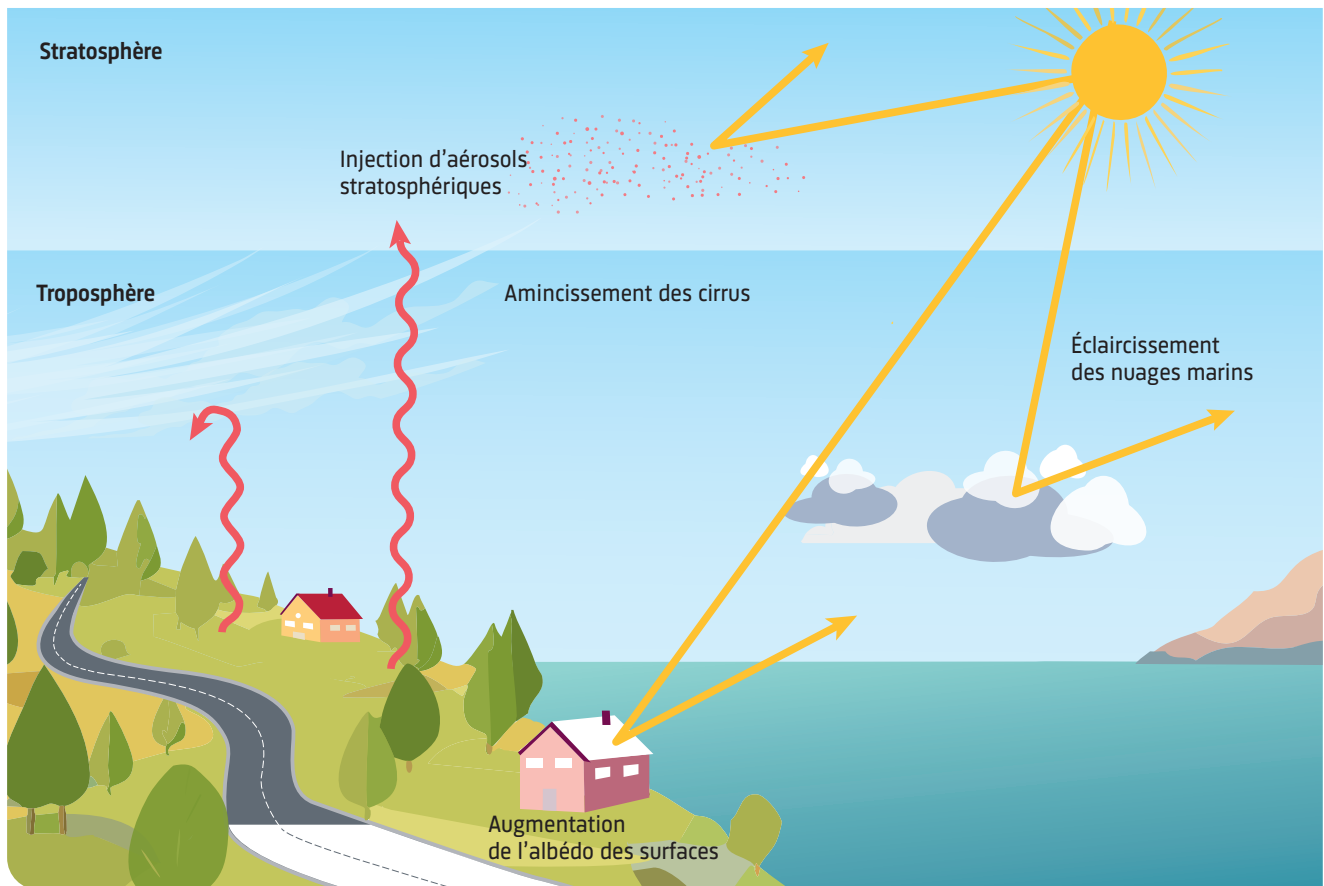
## Incertitudes et risques liés à la SRM

Il n'existe que peu d'études scientifiques sur les répercussions de l'application de techniques de SRM pour les êtres humains et l'environnement.<sup>5</sup> Jusqu'ici, la SRM a surtout été étudiée dans des modèles climatiques. Ces modèles ne sont toutefois pas encore assez perfectionnés pour évaluer ou quantifier les répercussions de manière fiable.<sup>4</sup>

Les différents impacts environnementaux positifs et négatifs de la SRM, comme ceux du changement climatique, ne sont pas répartis de manière uniforme à l'échelle mondiale et régionale. Les incertitudes quant aux impacts sont par conséquent très importantes.<sup>5</sup>

Il manque actuellement un processus d'évaluation scientifique international pour identifier les scénarios et les conséquences, lever les incertitudes et combler les lacunes en matière de connaissances dans le domaine de la SRM.<sup>3</sup>

Certaines conséquences du changement climatique ne peuvent pas être atténuées par la SRM, par exemple l'acidification des océans, due aux taux élevés d'émission de gaz à effet de serre, et ses effets négatifs sur les écosystèmes marins et sur la pêche.<sup>5,6</sup>



L'injection d'aérosols stratosphériques, l'éclaircissement des nuages marins et l'augmentation de l'albédo des surfaces visent à renvoyer vers l'espace les rayons solaires incidents à ondes courtes. L'amincissement des cirrus devrait permettre de réfléchir davantage de rayonnement infrarouge à ondes longues vers l'espace.

### Risques environnementaux

D'importantes incertitudes subsistent quant à la manière dont le cycle hydrologique réagirait à la SRM au niveau mondial. Les régimes de précipitations risquent de se modifier de manière défavorable, ce qui pourrait avoir de graves conséquences pour la nature et la société. Les interactions entre les nuages, les aérosols et le rayonnement induites par la SRM et l'influence exercée sur la formation des nuages ne sont pas encore suffisamment comprises. Des changements non linéaires à l'échelle régionale, par exemple en raison de modifications de l'évaporation, ne peuvent pas être exclus.<sup>7</sup> De plus, les régions polaires pourraient se réchauffer davantage ou les tropiques se refroidir.<sup>3</sup>

Les gradients de température de la planète pourraient se déplacer, ce qui aurait un impact direct sur la circulation atmosphérique et les systèmes météorologiques.<sup>3</sup> L'utilisation de la SAI pourrait accroître les différences de température entre l'hémisphère nord et l'hémisphère sud et modifier par exemple les précipitations de la mousson tropicale ou amplifier la puissance des ouragans dans l'Atlantique nord.<sup>5</sup>

L'utilisation de la SRM peut avoir des conséquences négatives directes et involontaires sur l'environnement. La couche d'ozone stratosphérique pourrait par exemple être endommagée ou la reconstitution de la couche d'ozone retardée.<sup>3</sup>

Les aérosols libérés par SRM ne restent qu'un à trois ans dans la stratosphère avec la SAI et une dizaine de jours seu-

lement dans la troposphère avec le MCB. Pour faire baisser la température moyenne mondiale, il faudrait donc maintenir durablement les mesures de SRM.<sup>5</sup> Si elles sont subitement interrompues, l'atmosphère se réchauffera très rapidement et les cycles hydrologiques à l'échelle mondiale et régionale pourront se modifier brutalement, en particulier dans les régions tropicales, ce qui aggraverait les répercussions du changement climatique sur les écosystèmes et l'environnement.<sup>7</sup>

### Risques (géo)politiques

La SRM est une solution prétendument rapide et pourrait donc saper les efforts politiques et la volonté des populations de réduire les émissions.<sup>4</sup>

La SRM ne joue actuellement qu'un rôle mineur dans l'opinion publique. Il est donc difficile de déterminer si la société accepterait de telles mesures.<sup>4</sup>

Il manque une coordination mondiale au sujet de l'utilisation de la SRM. Il n'existe pas de gouvernance ou de règles internationales permettant de prendre des décisions sur l'utilisation de la SRM et d'établir des normes et des lois.<sup>3</sup>

Même l'utilisation de la SRM à une échelle locale pourrait avoir des répercussions mondiales. Les communautés régionales, les nations et les sociétés opposées à l'utilisation de la SRM seraient donc également concernées. Cela soulève des questions éthiques et juridiques.<sup>5</sup>

La SRM pose des défis politiques, sécuritaires et géopolitiques considérables. Elle risque d'entraîner des luttes de pouvoir entre les pays ou une utilisation abusive de la technologie à des fins militaires.<sup>4</sup> L'absence de coordination en matière d'utilisation de la SRM au niveau local peut avoir des répercussions négatives sur d'autres régions. Des conflits pourraient survenir quant à la responsabilité en cas de variations climatiques régionales, même s'il n'existe aucun lien direct entre les phénomènes météorologiques et l'utilisation de la SRM.<sup>3, 4, 5</sup>

## Risques économiques

Les coûts directs de l'utilisation de la SRM – indépendamment des éventuelles répercussions négatives – pour un refroidissement de 1 degré Celsius sont estimés à plusieurs dizaines de milliards de dollars américains par an.<sup>5</sup> On ne sait pas qui prendrait en charge ces coûts ainsi que les coûts supplémentaires liés à d'éventuels effets négatifs.<sup>5</sup>

## Principales conclusions et options d'action

Compte tenu des risques existants et des importantes incertitudes, il semble encore trop tôt pour envisager des tests ou même un recours à la SRM. Il convient au préalable de faire avancer la recherche au moyen de modèles climatiques et le développement d'un cadre réglementaire international.

Une concertation internationale sur l'étude et l'utilisation de la SRM semble pertinente et nécessaire. L'élaboration de règles claires permettrait d'éviter ou du moins de limiter les actions isolées non coordonnées et risquées, et d'atténuer les risques climatiques et géopolitiques, ainsi que les effets secondaires indésirables. Une telle gouvernance internationale devrait constituer le fondement sur lequel l'utilisation de la SRM est négociée, ainsi que l'élaboration de stratégies d'utilisation et de cadre réglementaire.

Des recherches spécifiques sur la SRM sont essentielles pour réduire autant que possible les incertitudes et les risques. Il est recommandé de mettre en place un processus d'évaluation scientifique international pour identifier les scénarios et les conséquences, lever les incertitudes et combler les lacunes en matière de connaissances.

Ce n'est pas seulement l'utilisation de la SRM qui comporte des risques, mais aussi la progression du changement climatique. Si les mesures de protection du climat sont insuffisantes, il faut donc, le cas échéant, comparer les risques de la SRM à ceux d'un réchauffement incontrôlé.

La SRM ne peut pas remplacer une réduction des gaz à effet de serre. La réduction des émissions et l'extraction de CO<sub>2</sub> doivent rester des priorités en matière de protection du climat.<sup>9</sup>

### ODD : les objectifs de durabilité internationaux de l'ONU

Avec cette publication, l'Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT) contribue aux objectifs (SCNAT) 13: « Prendre d'urgence des mesures pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions ».

> [sustainabledevelopment.un.org](https://sustainabledevelopment.un.org)  
> [eda.admin.ch/agenda2030/fr/home.html](https://eda.admin.ch/agenda2030/fr/home.html)



### MENTIONS LÉGALES

#### ÉDITRICE ET CONTACT

Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT)  
ProClim – Forum sur le climat et les changements globaux  
Maison des Académies · Laupenstrasse 7 · Case postale · 3001 Berne · Suisse  
+41 31 306 93 50 · [proclim@scnat.ch](mailto:proclim@scnat.ch) · [proclim.scnat.ch](http://proclim.scnat.ch) X @scnatCH

#### PROPOSITION DE CITATION

Marty S, Neu U et al. (2024) Risques majeurs et questions en suspens liés à la modification du rayonnement solaire comme mesure climatique. Swiss Academies Factsheets 19 (2)

#### AUTEUR

Severin Marty (SCNAT)

#### RÉDACTEUR

Urs Neu (SCNAT)

#### CONTRIBUTEURS

Markus Ammann (Institut Paul Scherrer) · Gabriel Chiodo (EPF Zurich) · Reto Knutti (EPF Zurich) · Ulrike Lohmann (EPF Zurich) · Axel Michaelowa (Université de Zurich) · Thomas Peter (EPF Zurich) · Johannes Sutter (Université de Berne) · Sandro Vattioni (EPF Zurich) · Ivo Wallimann-Helmer (Université de Fribourg)

#### GRUPE D'EXPERTS RESPONSABLE

Comité directeur de ProClim

#### RÉDACTION

Andres Jordi (SCNAT)

#### TRADUCTION

Translingua

#### MISE EN PAGE ET GRAPHIQUE

Olivia Zwygart (SCNAT)

#### PHOTO DE COUVERTURE

[freestockgallery.de](https://freestockgallery.de)

ISSN (en ligne): 2297-1610

DOI: 10.5281/zenodo.14013208



## Bibliographie

- 1 United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2016) **The Paris Agreement**. Bonn.
- 2 IPCC (2021) **Summary for Policymakers**. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds. Masson-Delmotte V et al.) Cambridge University Press.
- 3 United Nations Environment Program (UNEP) (2023) **One Atmosphere. An independent expert review on Solar Radiation Modification research and deployment**. Kenya, Nairobi.
- 4 SAPEA (2024) **Evidence Review Report. Solar Radiation Modification**. Berlin.
- 5 United Nations Environment Program (UNEP) (2024) **Navigating New Horizons: A global foresight report on planetary health and human wellbeing**. Nairobi.
- 6 Lee JY, Marotzke J, Bala G, Cao L, Corti S, Dunne, JP, Zhou T et al. (2021) **Future global climate: scenario-based projections and near-term information**. In Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change (pp. 553–672). Cambridge University Press.
- 7 Arias P, Bellouin N, Coppola E, Jones R, Krinner G, Marotzke J, Zickfeld K et al. (2021) **Climate Change 2021: the physical science basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; technical summary.
- 8 Académies suisses des sciences (2018) **Inverser les émissions ou influencer le rayonnement solaire. La « géo-ingénierie » est-elle raisonnable, réalisable et, si oui, à quel prix ?** Swiss Academies Factsheets 13 (4).