

Modification du rayonnement solaire : **Une analyse risque-risque**

Résumé

Mars 2022

Auteurs, autrices

Tyler Felgenhauer, Duke Center on Risk, Duke University, États-Unis

Govindasamy Bala, Centre for Atmospheric and Oceanic Sciences, Indian Institute of Science, Inde

Mark E. Borsuk, Pratt School of Engineering et Duke Center on Risk, Duke University, États-Unis

Matthew Brune, Duke Center on Risk, Duke University, États-Unis

Inés Camilloni, Université de Buenos Aires, Faculté de Sciences exactes et naturelles, Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos et CONICET – Université de Buenos Aires.

Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (Centre de recherche sur la mer et l'atmosphère), Argentine

Jonathan B. Wiener, Law School, Nicholas School, Sanford School et Duke Center on Risk, Duke University, États-Unis

Jianhua Xu, Département de gestion de l'environnement, Faculté des sciences et de l'ingénierie de l'environnement et Institut pour la santé mondiale et le développement, Université de Peking, Chine

Informations sur la publication

Ce rapport a été commandé et financé par la Carnegie Climate Governance Initiative (C2G) qui est une initiative du Carnegie Council for Ethics in International Affairs - Conseil Carnegie pour l'Éthique dans les Affaires internationales (CCEIA). Les opinions exprimées dans le présent rapport sont celles de ses auteurs et autrices, et ne reflètent pas les positions officielles des organisations des auteurs, ni celles de la C2G, du CCEIA, des relecteurs ou des autres contributeurs.



Cette publication est sous licence Creative Commons CC BY-NC-SA et peut être reproduite en tout ou partie et sous quelque forme que ce soit à des fins éducatives ou non lucratives sans autorisation spéciale de la C2G, à condition que la source soit mentionnée ou référencée de manière adéquate.

Citations proposées

Felgenhauer, T., Bala, G., Borsuk, M., Brune, M., Camilloni, I., Wiener, J.B., Xu, J. (2022). *Solar Radiation Modification: A Risk-Risk Analysis - Summary*, Carnegie Climate Governance Initiative (C2G), février, New York, NY: www.c2g2.net

Remerciements

Les auteurs remercient Nicholas Harrison, Janos Pasztor, Cynthia Scharf et Kai-Uwe Schmidt de la C2G pour leur générosité, pour le temps consacré et pour les idées apportées, ainsi que les relecteurs extérieurs : Marie-Valentine Florin, International Risk Governance Center, et Matthias Honegger, Perspectives Climate Research et Copernicus Institute for Sustainable Development, Université d'Utrecht. Les auteurs remercient également Simone Tilmes, du National Center for Atmospheric Research (NCAR), Arden Rowell, de la Faculté de droit de l'université d'Illinois et John D. Graham, de la Paul H. O'Neill School of Public and Environmental Affairs, de l'université de l'Indiana, pour leurs analyses utiles.

Pour toute question ou pour suggérer une correction, veuillez vous adresser à : contact@c2g2.net

Télécharger le rapport complet sur: www.c2g2.net

Résumé

La modification du rayonnement solaire comme stratégie supplémentaire de réduction des risques climatiques

Le changement climatique fait peser sur la société humaine et l'environnement des risques nombreux et interdépendants qui ne feront qu'empirer avec le réchauffement. La gestion de ces risques qui se profilent demande un ensemble de réponses politiques. Les stratégies d'atténuation (qui comprennent à la fois la réduction des émissions de gaz à effet de serre - GES - et l'élimination du dioxyde de carbone de l'atmosphère - EDC) doivent rester la priorité politique, car elles sont le seul moyen de s'attaquer à la cause profonde du changement climatique. Il pourrait toutefois s'avérer extrêmement difficile d'atteindre les objectifs de température d'un réchauffement à 1,5°C ou 2°C stipulés dans l'Accord de Paris sur le climat si l'on ne s'attèle qu'à l'atténuation. Par ailleurs, étant donné que le CO₂ (principal facteur du changement climatique actuel) a une longue durée de vie dans l'atmosphère, il est probable que le CO₂ et les températures restent élevés pendant des centaines d'années si l'on ne parvient pas aux émissions négatives nettes. L'adaptation peut contribuer à réduire les risques associés à un niveau particulier de réchauffement, mais son efficacité et sa durabilité sont limitées. C'est pourquoi la modification du rayonnement solaire a été proposée comme approche complémentaire permettant de réduire rapidement de nombreux risques à court terme liés au réchauffement de la planète et de contribuer sans doute à éviter les points de basculement climatique irréversibles pourvu que l'on redouble d'efforts pour faire baisser les concentrations de GES dans l'atmosphère.

La modification du rayonnement solaire (MRS) est un terme générique désignant une série d'approches qui proposent de réduire ou d'arrêter le réchauffement climatique en augmentant délibérément la quantité de lumière solaire incidente qui est réfléchiée par l'atmosphère vers l'espace. Les options de MRS les plus étudiées à ce jour sont l'injection d'aérosols dans la stratosphère (SAI selon l'anglais), à savoir la libération délibérée de particules fines extrêmement réfléchissantes ou de leurs précurseurs dans la stratosphère, et l'éclaircissement des nuages marins (MCB selon l'anglais), à savoir l'augmentation délibérée de la réflectivité des nuages marins. Bien que d'autres approches de MRS aient également été proposées, nous nous axons dans le présent rapport sur la SAI et le MCB, car ce sont les deux options qui semblent les plus efficaces lorsqu'elles sont couplées à la réduction des émissions et à l'EDC, et qu'elles sont susceptibles d'aider à atteindre les objectifs de température de l'Accord de Paris.

En tant qu'option proposée pour la réduction du risque climatique, la MRS est radicalement différente de l'atténuation. Plutôt que de s'attaquer à la source du changement climatique (par la réduction des émissions de GES) ou de tenter d'inverser le changement climatique (grâce à l'EDC), la MRS consiste en un changement climatique délibéré d'une autre forme. Bien qu'encore très incertains, les possibles bénéfices qu'elle présente tiennent au fait qu'une fois que la technologie et l'infrastructure nécessaires seraient développées, il pourrait s'agir d'un moyen rapide, efficace et financièrement peu coûteux de refroidir la planète dans son ensemble. La MRS n'est toutefois pas parfaite car elle ne compenserait pas complètement le changement climatique dans toutes les régions, ni au fil de toutes les saisons. Par ailleurs, il faudrait déployer la SAI et le MCB en permanence car leurs effets ne devraient être que temporaires. Ces nouvelles technologies peuvent également s'accompagner de risques, tant en raison de leurs interactions avec le climat que par la possible aggravation des risques existants et la survenue de nouveaux risques biophysiques et sociétaux, notamment de défis de gouvernance inédits. Ces balances fondamentales - entre le potentiel de la MRS à réduire le risque climatique et la probabilité qu'elle provoque ses propres « risques compensatoires » - sont au cœur de ce rapport.

Le cadre de la balance risque-risque

Dans ce document, nous utilisons une balance risque-risque afin de comparer la situation d'un monde qui applique la MRS à celle d'un monde qui n'applique pas la MRS pour lutter contre le changement climatique. Le cadre de la balance risque-risque tient compte de l'ensemble du

portefeuille ou de la portée des conséquences importantes qui peuvent découler d'une décision. Dans ce cadre, le risque est mesuré à la fois par l'ampleur des conséquences indésirables et par la probabilité de la survenue de ces conséquences. Dans le cadre de la balance risque-risque, le risque particulier qu'une action ou une politique vise à traiter est appelé risque cible ; les risques supplémentaires qui découlent du traitement du risque cible sont appelés risques compensatoires ; les autres réductions des risques non cibles et les autres gains sont appelés co-bénéfices. Le cadre identifie ensuite les principales caractéristiques permettant de comparer ces risques, notamment le type, l'ampleur, la probabilité, le moment et la répartition des conséquences liées aux différentes actions ou politiques. Le cadre de la balance risque-risque vise à améliorer les résultats en aidant les analystes à penser plus loin que les coûts et bénéfices qui découlent directement de la seule réduction du risque cible. À l'instar de toutes les politiques publiques, la MRS pourrait, tout comme d'autres options de politique climatique, rencontrer des réactions du public « irrationnelles » susceptibles d'influencer fortement la prise de décision. Le présent rapport propose le cadre risque-risque afin d'aider à guider les politiques vers des résultats socialement souhaitables, éclairés par la science.

La modification du rayonnement solaire dans la balance risque-risque

À la lumière des dernières publications de recherche, les possibles effets de l'ajout de la MRS à un portefeuille de politiques théoriques d'atténuation et d'adaptation pourraient comporter les éléments suivants (dans lesquels la plupart des effets proviendraient d'un déploiement mondial de la SAI, sauf lorsqu'il est stipulé que l'effet est spécifique au MCB) :

Effets de l'ajout de la MRS à l'atténuation et l'adaptation

	positifs	négatifs
Effets de la MRS sur le risque cible : effets du changement climatique	Bénéfices climatiques La MRS devrait permettre de réduire rapidement les futurs risques importants qui sont liés à l'augmentation des températures dans la plupart des régions du monde. Les avantages les plus importants sont les suivants : • réduction de la fréquence et de l'intensité des températures extrêmes et des précipitations extrêmes • ralentissement de la fonte de la banquise de l'Arctique et des glaciers de montagnes • réduction de la perte des calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique • ralentissement de l'élévation du niveau de la mer • réduction de l'affaiblissement de la circulation méridienne de retournement de l'Atlantique • réduction de l'intensité des cyclones tropicaux • réduction de la baisse de l'humidité du sol • une légère réduction des concentrations de dioxyde de carbone dans l'atmosphère	Risques climatiques La MRS n'inverse pas le changement climatique, mais constitue plutôt un type supplémentaire et différent de changement climatique qui s'accompagne d'autres effets, dont certains des plus importants sont : • des changements climatiques inattendus (réchauffement ou refroidissement excessif inattendus, dus à l'incertitude qui entoure nos estimations sur la quantité de SAI nécessaire) • des modifications des précipitations régionales

Autres effets de la MRS : effets des changements autres que climatiques	Co-bénéfices La MRS pourrait avoir comme bénéfices secondaires de réduire d'autres risques ou d'ajouter de la valeur, tant biophysique que sociale. En voici quelques exemples : • réduction de l'ozone troposphérique • augmentation de la disponibilité de l'eau sur les terres dans les régions tropicales (MCB)	Risques compensatoires En fonction de la technologie employée, la MRS s'accompagne de nouveaux risques, tant biophysiques que sociaux, parmi lesquels : • augmentation des dépôts acides dans les zones vierges des hautes latitudes • des effets sur l'ozone stratosphérique • diffusion et atténuation de la lumière • de possibles conflits internationaux et d'autres risques sociétaux • de possibles interactions avec une éruption volcanique majeure • choc dû à un arrêt brutal • augmentation des dépôts de sel sur les terres (MCB)
	Effets positifs ou négatifs • influence sur la motivation à adopter des politiques ou des comportements favorables à la baisse des émissions • diffusion et atténuation de la lumière et effets de celles-ci sur la santé humaine, les écosystèmes et l'agriculture • effets sur la justice procédurale et distributive, et autres préoccupations éthiques	

Il est clair que le déploiement de la MRS ne se fera pas de manière isolée et que les bénéfices et risques qui en découleront dépendront donc d'un certain nombre d'autres facteurs, notamment les objectifs particuliers du déploiement de la MRS, la trajectoire des émissions résiduelles et les plans d'adaptation qui seront suivis, les objectifs de développement durable poursuivis et le cadre de gouvernance mis en place. Sur le plan conceptuel, la trajectoire des émissions et la capacité d'adaptation attendue devraient déterminer le niveau de risque climatique résiduel qui pourrait être traité par la MRS. Le déploiement et la gouvernance de la MRS chercheraient alors tout à la fois à minimiser ces risques climatiques, optimiser les gains supplémentaires et limiter ses propres autres risques compensatoires et climatiques. Afin de bien expliciter ces contreparties, nous tenons compte dans tout le présent rapport de trois scénarios spécifiques de gestion des risques climatiques où interviennent différentes contributions relatives de l'atténuation et de la MRS.

Principaux messages

- (1) **L'utilisation d'un cadre risque-risque dans l'analyse politique et la prise de décision ayant trait à la MRS devrait permettre une évaluation, une comparaison et une gestion plus complètes des risques liés au changement climatique, à la réduction des émissions, à l'EDC, à l'adaptation et à la MRS.** Ce cadre risque-risque comprendrait l'identification et la mesure comparative des effets sur le risque cible, les risques compensatoires et les co-bénéfices, en reconnaissant l'interdépendance complexe que ces risques peuvent entretenir. Alors que le public et les décideurs peuvent être confrontés à des éléments heuristiques et des biais qui influencent la prise de décision, un cadre risque-risque peut contribuer à approfondir les réflexions portant sur l'ensemble des effets importants. Les tentatives d'identification des mesures qui minimisent le risque global sont susceptibles de contribuer à réduire le risque cible unique, mais aussi à limiter ou à réduire conjointement les nombreux risques compensatoires.
- (2) **Le risque cible que la MRS cherche à traiter est le risque du changement climatique, en tenant compte du scénario des émissions et des effets de la réduction des émissions, de l'EDC et de l'adaptation.** En fonction de la voie politique choisie, ces risques peuvent être conséquents.
- (3) **En tant que stratégie de réduction du risque cible (au même titre que la réduction des émissions, l'EDC et l'adaptation), le déploiement de la MRS est susceptible de réduire le risque climatique, en générant de grands bénéfices directs pour les êtres humains et les écosystèmes naturels.** En réduisant l'augmentation de la température moyenne mondiale (ou en stabilisant la température à un niveau donné), la MRS pourrait probablement atténuer les dommages à court terme du changement climatique et réduire les chances de franchir des points de basculement climatique irréversibles.
- (4) **La MRS pourrait présenter des risques compensatoires pour les systèmes biophysiques.** Ces risques pourraient inclure (en fonction de l'approche de MRS utilisée) des modifications de l'ozone stratosphérique et du rayonnement ultraviolet en surface, des pluies acides et des changements climatiques inattendus tels qu'une modification des températures et des régimes de précipitations ou un refroidissement excessif. Le niveau de plusieurs de ces risques serait en partie affecté par la conception et la gouvernance du déploiement de la MRS.
- (5) **La MRS pourrait également s'accompagner de risques compensatoires pour les systèmes sociétaux.** Ces risques pourraient inclure (en fonction de l'approche utilisée) un risque de conflit international sur le déploiement (en particulier dans les cas de déploiement incontrôlé et unilatéral, de perspective ou de menace de déploiement, ou de préjudices perçus entre le déploiement et les effets locaux/régionaux inattendus), un risque de changement climatique rapide découlant d'un arrêt brutal (qui est également un risque biophysique), et le risque que la MRS puisse supplanter la réduction des émissions des GES, pour ne citer que ces motifs d'inquiétude. Rappelons que le niveau de plusieurs de ces risques serait en partie affecté par la conception et la gouvernance d'un déploiement de la MRS.
- (6) **La MRS pourrait présenter certains co-bénéfices.** Les co-bénéfices de certaines approches de MRS sont susceptibles d'inclure une augmentation du rayonnement solaire diffus (lumière du soleil), qui peut être bénéfique pour certains écosystèmes et cultures, ainsi qu'une légère réduction de l'ozone troposphérique aux latitudes moyennes et élevées. Il est toutefois probable que ces effets incertains soient faibles et ne puissent pas jouer un rôle significatif dans la pondération de la balance risque-risque.
- (7) **L'élaboration de politiques liées à la MRS doit comparer les effets de celle-ci à de nombreux risques (notamment les réductions du risque cible, les co-bénéfices et les dommages compensatoires), dans le cadre d'un portefeuille de politiques qui prend également en compte les réductions des émissions, l'EDC et l'adaptation.** Ces effets liés les uns aux autres doivent être évalués en termes de probabilité, d'effets, de calendrier, d'incertitudes, de répartition et de facteurs connexes.

-
- (8) Les différents niveaux de MRS peuvent avoir des conséquences différentes sur le risque global en fonction de la technologie, de son déploiement et de la gouvernance.** On peut s'attendre à ce qu'un déploiement plus large de la MRS entraîne une diminution plus importante des risques climatiques cibles qui sont liés à la température, mais aussi une augmentation des risques compensatoires propres à la MRS. Les niveaux particuliers et les modèles de réponse des risques cibles et compensatoires aux différents niveaux de MRS dépendront de la technologie MRS employée, de la stratégie de déploiement et des mécanismes de gouvernance utilisés. Il est possible que le niveau de MRS qui minimise le risque total corresponde à une échelle de déploiement faible à intermédiaire, conçu pour éviter les pires effets climatiques à court terme en réduisant le pic de réchauffement tandis que les efforts d'atténuation des émissions des GES et d'EDC prennent effet.
- (9) Plus les réductions d'émissions des GES, l'EDC et l'adaptation réduisent les risques globaux, moins il est nécessaire de recourir à la MRS et à ses risques compensatoires, ce qui diminue l'exposition aux risques globaux (sous réserve des risques compensatoires découlant des options d'atténuation des émissions).** Une plus grande attention doit être accordée à l'interdépendance entre les nombreux risques qui peuvent être créés par des causes partagées ou des interactions entre les différentes politiques.
- (10) L'analyse risque-risque peut aider à orienter la gestion des risques liés au changement climatique sur des objectifs sociétaux plus larges, plutôt que sur les seuls objectifs de température.** Bien que les objectifs de température puissent être un but important, il existe de nombreux impacts climatiques qui ne sont pas directement liés à la température, et de nombreux autres risques secondaires qui dépassent la question du climat. Les indicateurs employés pour évaluer les Objectifs de développement durable (ODD) des Nations Unies offrent des mesures de bien-être qui peuvent être utilisées pour estimer les nombreux risques liés à la MRS. Ce rapport présente une première évaluation de la façon dont trois portefeuilles de gestion des risques potentiels qui complètent l'atténuation des émissions des GES, l'EDC et l'adaptation couplée à la MRS pourraient avoir un effet sur la réalisation des ODD par rapport à un scénario où la MRS n'est pas utilisée.
- (11) De nouvelles institutions ou de nouveaux mécanismes de gouvernance peuvent être nécessaires pour freiner l'utilisation néfaste ou injuste de la MRS, garantir que tout déploiement est bénéfique et juste, et pour évaluer et minimiser les dommages compensatoires.** La gouvernance internationale existante, qui vise à lutter contre le changement climatique et ses effets, peut offrir des mécanismes utiles, mais semble actuellement mal conçue pour traiter la MRS et les caractéristiques qui la distinguent. En tant que tentative pour restreindre les risques que des actions précipitées ou imprudentes font peser sur le monde, la gouvernance de la MRS pourrait se rapprocher davantage des accords sur le contrôle des armes que des traités environnementaux.