

# AVIS

Pour un développement  
responsable, juste et solidaire  
de la géo-ingénierie climatique :  
un regard posé par les jeunes

**CEST** 

COMMISSION DE L'ÉTHIQUE  
EN SCIENCE ET EN TECHNOLOGIE





# AVIS

Pour un développement  
responsable, juste et solidaire  
de la géo-ingénierie climatique :  
un regard posé par les jeunes

**Commission de l'éthique  
en science et en technologie**

888, rue Saint-Jean, bureau 555  
Québec (Québec) G1R 5H6  
www.ethique.gouv.qc.ca

DIRECTION SCIENTIFIQUE

**Nicolas Bernier**, conseiller en éthique

RÉDACTION

**Nicolas Bernier**, conseiller en éthique  
**Philippe Bédard Gagnon**, stagiaire étudiant  
**Léon Gatien**, stagiaire étudiant

RECHERCHE ET DOCUMENTATION

**Dominic Cliche**, conseiller en éthique  
**Nathalie Torrès-Parent**, conseillère en éthique  
**Florence Legault**, stagiaire étudiante

SOUTIEN TECHNIQUE

Secrétariat

**Tchonang Chimène Nandjou**

Révision linguistique

**Liette Lemay**

Mise en page et accessibilité

**Pige communication**

Image de couverture :

**Shutterstock**

L'avis de la CEST-Jeunesse 2022 a été déposé à la  
Commission de l'éthique en science et en technologie  
lors de sa 104<sup>e</sup> séance, le 9 décembre 2022

© Gouvernement du Québec

Dépôt légal : 2023

Bibliothèque et archives nationales du Québec

ISBN : 978-2-550-93768-5 (version PDF)

Pour faciliter la lecture du texte, le genre masculin  
est utilisé sans aucune intention discriminatoire.

# LA CEST-JEUNESSE 2022

## ORGANISATION ET COORDINATION DE L'ÉVÉNEMENT

**Sylvain Pelletier**, secrétaire général  
**Nicolas Bernier**, secrétaire général par intérim et conseiller en éthique  
**Tchonang Chimène Nandjou**, adjointe administrative

## MEMBRES

### Collège Jean-de-Brébeuf

Adam Mouncef  
Béatrice Dufresne  
Béatrice Châteauvert  
Katia Derfoul Benabdesselam  
Maria Madi  
Xavier Barbès

### Cégep de Saint-Jérôme

Britanny Gauthier  
Clara Chartrand  
Frédérique Charlebois  
Jean-Philippe Landriault

### Cégep de Sainte-Foy

Julianne Fillion  
Mia-Claudia Keighan  
Renaud Fortin

### Cégep de la Gaspésie et des Îles

Louis-Thomas Roy  
Marilie O'Connor

### Cégep de Jonquière

Simone Murdock-Asselin

## PORTE-PAROLE

**Adam Mouncef**  
**Frédérique Charlebois**  
**Katia Derfoul Benabdesselam**  
**Louis-Thomas Roy**

## ENSEIGNANTS ACCOMPAGNATEURS

**Dominic Hébert**, Cégep de Saint-Jérôme  
**Katerine Deslauriers**, Collège Jean-de-Brébeuf  
**Mathieu Saucier**, Cégep de Sainte-Foy  
**Olivier Provencher**, Cégep de la Gaspésie et des Îles

## EXPERTS INVITÉS

**Anne-Sophie Doré**, avocate et coordonnatrice de la clinique juridique du Centre québécois du droit de l'environnement

**Anthony Voisard**, chercheur postdoctorant à l'Université de Fribourg en éthique des changements climatiques

**Erwan Gloaguen**, professeur à l'Institut national de la recherche scientifique (INRS)

**Marie-Hélène Parizeau**, professeure de philosophie à l'Université Laval

## ANIMATRICE

**Manon Lortie**, Cégep de Jonquière

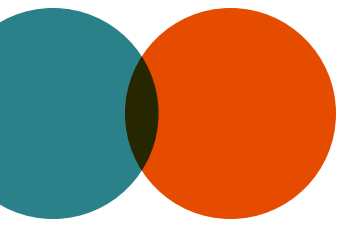
## OBSERVATEURS

**Myrna Chahine**, Cégep de Marie-Victorin

**Nicolas Bernier**, secrétaire général par intérim et conseiller en éthique

**Philippe Bédard Gagnon**, stagiaire étudiant

**Sylvain Pelletier**, secrétaire général



## TABLE DES MATIÈRES

<b>PRÉAMBULE DE LA COMMISSION DE L'ÉTHIQUE EN SCIENCE ET EN TECHNOLOGIE.....</b>	<b>IX</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>LES DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE GÉO-INGÉNIERIE CLIMATIQUE.....</b>	<b>4</b>
<b>LA CAPTATION DU CARBONE .....</b>	<b>6</b>
La captation par photosynthèse et fixation dans la biomasse .....	6
L'afforestation et la reforestation .....	6
La transformation du bois en biochar .....	6
La séquestration géologique du carbone .....	7
La captation de CO <sub>2</sub> dans l'air.....	7
Captation du CO <sub>2</sub> avant la libération dans l'atmosphère.....	8
Bioénergie avec captation et stockage du carbone (BCSC) .....	8
La minéralisation du carbone .....	9
Les approches océaniques.....	9
L'alcalinisation des océans.....	9
La fertilisation des océans.....	10
La culture de macro-algues.....	10
<b>LA GESTION DU RAYONNEMENT SOLAIRE.....</b>	<b>12</b>
L'augmentation de l'albédo des sols.....	12
L'augmentation de l'albédo des océans.....	12
L'augmentation de l'albédo des nuages marins.....	12
La précipitation des cumulus.....	13
La diffusion d'aérosols sulfatés en haute altitude .....	13
<b>CADRE D'ANALYSE ÉTHIQUE DE LA GÉO-INGÉNIERIE.....</b>	<b>15</b>
Les valeurs prioritaires .....	15
Responsabilité environnementale.....	15
Prudence et sécurité .....	16
Préservation de l'environnement .....	17
Lutte contre les changements climatiques .....	17

Solidarité.....	17
Dialogue et coopération.....	17
Justice environnementale et climatique.....	18
Bien commun .....	18
Éducation.....	18
Transparence .....	18
Efficacité et efficacité .....	19
Survie .....	19
<b>ANALYSE DES ENJEUX ÉTHIQUES ET RECOMMANDATIONS</b>	
<b>DE LA CEST-JEUNESSE.....</b>	<b>21</b>
L'importance de lutter contre les changements climatiques tout en préservant l'environnement et la biodiversité de la planète.....	21
Prendre garde au technosolutionnisme.....	21
Reconnaissance de l'urgence climatique et mise en place d'une transition verte.....	21
Une responsabilité commune, mais différenciée.....	22
Risques et incertitudes liés aux techniques de géo-ingénierie climatiques .....	23
Préparer la réflexion éthique en contexte de catastrophe climatique et de survie.....	24
Risques liés à la gouvernance de la recherche en géo-ingénierie solaire.....	25
Demande d'un moratoire sur la recherche en géo-ingénierie solaire.....	25
De la possibilité de construire une gouvernance juste et inclusive sur la géo-ingénierie .....	26
Position prise par la CEST-Jeunesse .....	27
De l'importance de l'éducation de la société québécoise à la géo-ingénierie climatique et à ses enjeux éthiques.....	28
De l'importance des incitatifs économiques.....	29
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>31</b>
<b>RÉFÉRENCES.....</b>	<b>32</b>

Ouverture officielle de la CEST-jeunesse



Le Président de la CEST,  
Jocelyn Maclure



L'animatrice  
de la CEST-jeunesse,  
Manon Lortie



Les étudiantes et les étudiants du Collège Jean-de-Brébeuf



Les étudiantes et les étudiants en cours de réflexion lors d'une séance de travail



Échanges entre les membres



Échanges entre les membres et leurs professeurs



# PRÉAMBULE DE LA COMMISSION DE L'ÉTHIQUE EN SCIENCE ET EN TECHNOLOGIE

La Commission de l'éthique en science et en technologie (CEST) est heureuse de publier l'avis de la 9<sup>e</sup> édition<sup>1</sup> de la CEST-Jeunesse qui s'intitule *Pour un développement responsable, juste et solidaire de la géo-ingénierie climatique*.

La CEST-Jeunesse est une activité bisannuelle organisée par le secrétariat de la CEST afin d'offrir la chance à un groupe d'étudiantes et d'étudiants du collégial provenant de diverses régions du Québec de participer à une délibération éthique portant sur des enjeux liés à un développement scientifique ou technologique.

Par cette tradition, la CEST souhaite favoriser la participation démocratique des jeunes en leur permettant d'apprendre, entre autres, à s'approprier des connaissances scientifiques en lien avec une thématique, à prendre position de façon réfléchie et argumentée tout en pratiquant l'écoute active de l'autre, à parvenir à un consensus et à formuler des recommandations à l'intention des décideurs publics. Cet événement permet également aux décideurs publics de prendre connaissance du point de vue de ce groupe de jeunes<sup>2</sup>. Il va sans dire que cet événement relève d'une grande importance pour la mission de la CEST.

Cette 9<sup>e</sup> édition de la CEST-Jeunesse s'est déroulée au cours des mois de septembre 2021 à juin 2022. Elle a été rendue possible grâce à la collaboration d'enseignants en philosophie et en sociologie du réseau collégial, qui ont organisé des séances de travail à partir de documents d'information et d'outils de délibération élaborés au secrétariat de la Commission. Les enseignants ont également accompagné les étudiantes et étudiants à quatre ateliers avec des experts. Certains professeurs ont en outre intégré les enjeux éthiques soulevés par la géo-ingénierie dans le cadre de leurs cours et supervisé la réalisation de travaux de session portant sur cette thématique.

La Commission souhaite souligner la grande qualité du travail réalisé par les participantes et les participants, tant lors de la préparation que lors des journées de délibération collective. Elle tient également à souligner leur forte résilience, parce qu'ils ont su persévérer tout au long du projet malgré le contexte pandémique qui a posé un grand défi à l'organisation de journées de délibération en présentiel, lequel constitue le mode d'interaction privilégié afin d'assurer la qualité des échanges et des idées partagées. La délibération collective, qui devait à l'origine se dérouler au début du mois de janvier 2022, a dû être reportée dans le contexte de lutte solidaire contre la propagation de la COVID-19. Les étudiants et étudiantes ont démontré une grande volonté de tenir l'événement, même si celui-ci aurait dû se tenir entièrement à distance. Heureusement, les conditions sanitaires ont été propices à la tenue de délibérations collectives et d'échanges avec les experts du 1<sup>er</sup> au 3 juin 2022 à l'Hôtel le Germain Québec.

La Commission accueille les constats et les recommandations, qu'elle relaiera aux autorités compétentes. Surtout, elle insiste sur la brûlante actualité de la réflexion effectuée par les membres de la CEST-Jeunesse. Il est important de souligner que le thème de la géo-ingénierie est difficile à appréhender puisqu'il s'agit avant tout d'un ensemble de technologies complexes et dont le degré de maturité, les risques et les incertitudes demeurent souvent difficiles à évaluer. Cet événement a été l'occasion pour les participantes

1 Dans les années passées, la CEST-Jeunesse s'est penchée sur le plagiat électronique (2005), le neuromarketing et la publicité (2007), la cyberintimidation (2009), l'éthique en sport (2011), les soins de santé personnalisés (2013), l'utilisation des technologies de l'information et des communications en éducation (TICE) (2015), la cybercitoyenneté (2018) et la reconnaissance faciale (2020). Les avis et les outils de sensibilisation découlant de ces éditions sont disponibles sur le site de la CEST ([www.ethique.gouv.qc.ca](http://www.ethique.gouv.qc.ca)).

2 Bien que cet exercice permette de cerner la perception et la position de ce groupe de jeunes, il demeure néanmoins limité du fait que ce groupe ne constitue pas nécessairement un échantillon représentatif de la jeunesse québécoise. Les avis et les perceptions peuvent diverger selon les personnes participantes.

et participants d'interpeller leurs élus pour qu'ils adoptent une démarche éthique responsable en ce qui concerne les risques du déploiement de certaines techniques de géo-ingénierie et qu'ils assument un leadership sur l'actualisation et la protection de plusieurs valeurs, telles que la préservation de l'environnement, la lutte contre les changements climatiques, la justice et la solidarité internationale.

La Commission souhaite enfin remercier les membres de la CEST-Jeunesse et tous ceux qui ont participé à faire de cet événement un succès. Elle souhaite souligner la contribution d'Erwan Gloaguen, de Marie-Hélène Parizeau, d'Anthony Voisard et d'Anne-Sophie Dorée, qui ont agi à titre d'expertes et d'experts, soit lors d'ateliers de préparation qui ont précédé l'événement ou lors des délibérations du mois de juin. L'intervention de ces experts a permis d'offrir des clés de compréhension aux participantes et participants et de répondre à certaines interrogations dont les réponses peuvent être difficilement accessibles dans la littérature scientifique. La CEST souhaite souligner la générosité d'Erwan Gloaguen, qui a donné deux ateliers en plus d'accompagner les participants et participantes lors de séances de délibération des groupes de travail.

La Commission espère qu'en donnant ainsi la parole aux jeunes et en leur permettant de jeter un regard éthique sur les enjeux qui les préoccupent, cette édition de la CEST-Jeunesse aura contribué à enrichir le débat public tout en contribuant à la formation à la délibération éthique et à l'éducation à la citoyenneté. Plus encore, elle espère que ces travaux marqueront le commencement d'une réflexion encore plus vaste et ambitieuse sur le thème de la géo-ingénierie climatique.

Le président de la Commission de l'éthique en science et en technologie,



Jocelyn Maclure



## INTRODUCTION

---

Il ne fait plus aucun doute que les changements climatiques sont principalement causés par les modes de production et les modes de vie des sociétés industrielles dont les activités sont fortement dépendantes de combustibles fossiles. La combustion de ces ressources génère d'importantes émissions de gaz à effet de serre (GES), lesquelles piègent la chaleur dans l'atmosphère terrestre. Les changements climatiques provoquent déjà des conséquences néfastes sur les populations humaines et animales. Il suffit de penser à l'augmentation de la fréquence des températures extrêmes, des vagues de chaleur mortelles, des inondations dans certaines régions et des sécheresses et des incendies dans d'autres, à la raréfaction des ressources en eau douce et à la perte en biodiversité des espèces végétales et animales. Les changements climatiques ne représentent rien de moins qu'une véritable menace à l'habitabilité de la Terre pour un grand nombre d'espèces végétales et animales, y compris l'être humain.

Or, en dépit des connaissances acquises depuis des décennies sur les causes anthropiques<sup>3</sup> des changements climatiques et des engagements de nombreux États à réduire leurs émissions, les GES n'ont jamais cessé d'augmenter, atteignant même des niveaux records en 2021. Les sociétés humaines peinent à entreprendre une transition écologique et énergétique pourtant nécessaire à la limitation de la hausse des températures du globe, à un tel point que l'atteinte des objectifs de l'Accord de Paris, dont celui qui vise à maintenir la température en dessous de la barre des 2 °C (si possible en dessous de 1,5 °C) par rapport à l'ère préindustrielle, semble de plus en plus impossible. En effet, le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) entrevoit que la température globale pourrait atteindre un seuil critique de 2,7 °C d'ici la fin du siècle.

Devant ce constant, des méthodes d'action parfois controversées sont de plus en plus étudiées et prises au sérieux afin de mitiger les effets délétères des pratiques humaines sur les conditions climatiques. La géo-ingénierie du climat, l'une de ces méthodes, est sans nul doute un sujet polarisant. Alors que certains la considèrent comme une partie nécessaire de l'équation dans la lutte aux changements climatiques, d'autres y voient plutôt une distraction par rapport à la nécessaire réduction à la source des émissions de GES. Dans le discours public, sa mention suscite souvent la méfiance et la crainte de voir les scientifiques et les décideurs publics jouer aux apprentis sorciers ou dissimuler de nouvelles armes militaires.

Les craintes émises à l'endroit des techniques visant à refroidir la planète représentent bien cette méfiance. Par exemple, la gestion du rayonnement solaire par diffusion en haute atmosphère d'aérosols sulfatés réfléchissants<sup>4</sup> pourrait, selon certains, réduire la température globale d'environ 2 °C. Toutefois, le recours à une telle technique comporte un lot de conséquences négatives et de nombreuses incertitudes sur le plan de la biodiversité, des relations sociopolitiques et des relations internationales (MacMartin *et al.*, 2017). Malgré l'incertitude entourant les conséquences de ces techniques, certains considèrent sérieusement y avoir recours en raison des efforts de décarbonation insuffisants qui laissent présager une augmentation catastrophique des températures globales.

---

3 Causées par les activités humaines.

4 À ce jour, la recherche n'est pas assez avancée pour permettre un développement à grande échelle de cette technologie.

Cela étant dit, « géo-ingénierie » est un terme parapluie qui regroupe une myriade de « moyens techniques susceptibles de modifier le climat terrestre, de manière à contrecarrer les effets du changement climatique... » (OQLF, 2019). Plusieurs approches de la géo-ingénierie climatique en sont au stade de projets pilotes ou de déploiement à petite échelle. D'autres sont déjà déployées à large échelle, comme l'afforestation et la reforestation (GIEC, 2022).

Les organisateurs de la 9<sup>e</sup> Commission jeunesse de la CEST ont cherché à obtenir l'avis et les recommandations de jeunes québécois sur les enjeux éthiques soulevés par la géo-ingénierie climatique. Une quinzaine d'étudiantes et d'étudiants collégiaux ont été recrutés via des professeurs en philosophie et en sociologie provenant de cinq cégeps. Accompagnés par un enseignant et outillés d'une documentation préparée à cet effet, les différents groupes de jeunes se sont rencontrés à plusieurs reprises en marge de l'événement afin de peaufiner leur compréhension de la thématique et des enjeux qui y sont associés. Des rencontres avec des expertes et des experts en géo-ingénierie, en éthique de l'environnement et en droit de l'environnement ont été organisées afin de maximiser l'intégration des connaissances et de répondre aux interrogations des participants et participantes.

Le premier chapitre de cet avis explique les différentes techniques de la géo-ingénierie. Le deuxième chapitre offre une présentation des principales valeurs ressorties comme étant les plus importantes lors des échanges. Enfin, la troisième et dernière partie vise à analyser les principaux enjeux éthiques de la géo-ingénierie et à présenter les recommandations qui ont été formulées par les étudiants et étudiantes et qui ont fait consensus lors de l'événement.



**LES DIFFÉRENTES TECHNIQUES  
DE GÉO-INGÉNIERIE CLIMATIQUE**



## LES DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE GÉO-INGÉNIERIE CLIMATIQUE

---

L'augmentation des concentrations de CO<sub>2</sub> depuis l'ère industrielle entraîne un réchauffement de la planète. Le CO<sub>2</sub> est un gaz à effet de serre (GES). Ces gaz ont la propriété de retenir l'énergie émise par la surface de la Terre dans son atmosphère, ce qui produit de la chaleur. Les GES se trouvent naturellement dans l'atmosphère et maintiennent la température moyenne du globe à un niveau propice à la vie. Sans effet de serre, la température moyenne de la planète passerait d'environ 14 °C à -20 °C (British Geological Survey, s.d.). Depuis l'ère industrielle, les activités humaines produisent suffisamment de GES pour affecter significativement le climat. On estime qu'entre 1850 et 2020, la température moyenne de la planète s'est accrue de 1,09 °C en raison de la concentration croissante de GES, particulièrement de CO<sub>2</sub> (GIEC, 2022, p. 28).

Plutôt que tendre vers la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, les approches de géo-ingénierie climatique visent l'altération du processus de l'effet de serre terrestre. Les approches de captation du carbone visent à absorber le CO<sub>2</sub> atmosphérique et à le séquestrer de manière à éviter son relâchement<sup>5</sup>. Les approches de gestion du rayonnement solaire visent à limiter la quantité de chaleur que la Terre peut absorber. Cela passe par l'augmentation du rapport entre le rayonnement solaire réfléchi et le rayonnement solaire absorbé, généralement en augmentant l'albédo (le pouvoir réfléchissant) de certains objets ou surfaces ou en écartant les obstacles à l'échappement de l'énergie réfléchie par la surface de la Terre.

Le terme de géo-ingénierie climatique rassemble des techniques variées, tant dans leurs moyens d'action que dans leurs effets. En raison de ces différences, il est important de ne pas amalgamer les différentes méthodes. Celles-ci sont généralement divisées en deux groupes, soit la captation du carbone (ou élimination du carbone) et la gestion du rayonnement solaire<sup>6</sup>.

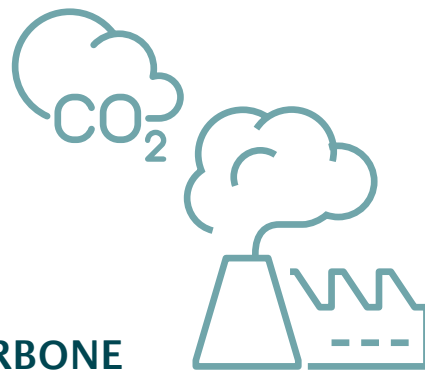
---

5 Le méthane (CH<sub>4</sub>) et l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O), des GES plusieurs dizaines de fois plus puissants que le CO<sub>2</sub>, pourraient aussi théoriquement être retirés de l'atmosphère, mais leurs faibles concentrations dans celle-ci rend cette option peu viable. Quelques projets existent toutefois dans le cas du méthane, mais ils en sont à leurs balbutiements. Nous nous concentrerons sur le CO<sub>2</sub> dans le cadre de cet avis, puisque la réduction des émissions est pour l'instant la seule avenue viable en ce qui concerne le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O.

6 Même si cette distinction présente des avantages conceptuels, les approches composant ces deux catégories présentent des différences marquées. En raison des différences qui opposent le captage de CO<sub>2</sub> et la gestion du rayonnement solaire, le GIEC n'emploie plus le terme de géo-ingénierie (climatique) pour les désigner conjointement, préférant les étudier séparément. Les prochaines pages détaillent les différentes approches que cette dernière regroupe.



# LA CAPTATION DU CARBONE





## LA CAPTATION DU CARBONE

---

Les techniques de captation du carbone visent à réduire les quantités de CO<sub>2</sub> en circulation dans l'atmosphère, de manière qu'elle piège moins d'énergie thermique. Cette réduction se réalise par la fixation du CO<sub>2</sub> dans différents médiums : la biomasse, les formations géologiques ou les océans. Il est donc question de neutraliser les GES plutôt que d'éviter de les produire.

### La captation par photosynthèse et fixation dans la biomasse

Ces techniques de captation du carbone tirent profit de la capacité naturelle des végétaux à absorber et à entreposer le CO<sub>2</sub>. Dans leurs chloroplastes<sup>7</sup>, les plantes font de la photosynthèse : elles transforment le CO<sub>2</sub> et l'eau en oxygène et en glucose en employant l'énergie des rayons du Soleil. Le glucose, qui contient le carbone du CO<sub>2</sub>, est ensuite entreposé dans la plante pour permettre sa croissance.

### L'afforestation et la reforestation

L'afforestation et la reforestation consistent toutes deux à planter des arbres. Ces deux techniques se différencient selon l'histoire du terrain où les arbres sont plantés. En effet, si celui-ci n'a pas accueilli de forêt depuis les 50 dernières années, on parle d'afforestation ; dans le cas contraire, il s'agit de reforestation. Par la suite, les arbres captent le CO<sub>2</sub> atmosphérique par photosynthèse durant toute la durée de leur croissance et le séquestrent dans leurs cellules et dans les sols. En raison de leur aspect « naturel », les approches de l'afforestation et de la reforestation bénéficient généralement d'une grande acceptabilité sociale (de Guillebon *et al.*, 2014).

Toutefois, leur efficacité et leurs effets secondaires sont variables. Si une reforestation peut permettre le rétablissement de certains habitats naturels, ce qui bénéficie à la biodiversité, une afforestation mal encadrée peut nuire à la biodiversité de la faune et de la flore et restreindre l'accès à la nourriture et à l'eau (GIEC, 2022, p. 47) lorsque des territoires naturellement dépourvus d'arbres sont boisés. De plus, ces techniques ont une efficacité très variable pour ce qui est de la séquestration du carbone. En effet, la capacité des arbres à séquestrer le carbone dépend d'une pluralité de facteurs, qu'il s'agisse des sols, de l'environnement, du climat et de la variété de végétation. De plus, l'afforestation nécessite beaucoup d'espace, ce qui risque notamment d'empiéter sur des terres agricoles et les droits des populations locales.

Finalement, au terme du cycle de vie de ces derniers, qui tend d'ailleurs à être accéléré par l'augmentation actuelle du nombre de feux de forêt, de maladies et d'infestations d'insectes, la plus grande part du CO<sub>2</sub> capturé risque de retourner dans l'atmosphère (Temple et Crownhart, 2022a). Une donnée frappante concernant les forêts canadiennes illustre bien ces risques : elles n'ont pas agi à titre de puits de carbone (net) depuis 2001, précisément en raison de feux de forêt et d'infestations d'insectes (Fletcher, 2019). C'est dire qu'en date de 2016, ces forêts avaient émis plus de carbone qu'elles n'en avaient absorbé chaque année durant les 15 dernières années. Selon le GIEC, plus de recherches sont nécessaires pour prévoir les effets spécifiques des politiques d'afforestation (GIEC, 2022, p. 47).

### La transformation du bois en biochar

Le biochar est le charbon de bois obtenu par pyrolyse, c'est-à-dire par la combustion du bois dans un environnement faible en oxygène. Cette réaction transforme la majeure partie du carbone emmagasiné

---

<sup>7</sup> Un organe des cellules végétales.

dans le bois en charbon, contrairement à une combustion classique qui libérerait le CO<sub>2</sub> dans l'air ambiant. La pyrolyse confère de la solidité aux structures des atomes de carbone, ce qui assure sa séquestration. De plus, la transformation en biochar annule le risque posé par les feux de forêt pour la longévité de la séquestration du CO<sub>2</sub>. Puisque le biochar augmenterait la productivité des sols, absorberait les métaux lourds et réduirait les émissions d'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O)<sup>8</sup>, il est souvent utilisé comme amendement pour les terres agricoles (GIEC, 2022, p. 53).

Toutefois, les effets du biochar varient selon le sol sur lequel il est employé. En effet, l'enrichissement de la terre par le biochar peut nuire à la biodiversité s'il est utilisé dans des milieux naturellement pauvres en nutriments. De plus, il faut savoir que les bénéfices du biochar en agriculture ne sont peut-être pas aussi systématiques qu'on le croyait au début des recherches le concernant (Six, 2014). En effet, le biochar peut absorber de l'eau, des nutriments, des pesticides et des herbicides, de sorte que ces substances sont moins disponibles pour les plantes cultivées, ce qui peut parfois réduire la productivité des terres. Selon la biomasse utilisée pour le créer, le biochar peut également être une source de contamination des sols aux métaux lourds. En somme, plus de recherches sont nécessaires pour clarifier ses effets dans différents contextes.

## La séquestration géologique du carbone

La séquestration géologique du carbone est autre façon de confiner le CO<sub>2</sub> atmosphérique. Contrairement à la biomasse, cette méthode permet de compresser le CO<sub>2</sub> gazeux et de l'enfouir à plus d'un kilomètre sous terre. Tous les sous-sols ne sont pas propices à l'entreposage de CO<sub>2</sub> comprimé. Les lieux au plus grand potentiel sont les sites d'extractions gazière et pétrolière épuisés ainsi que les aquifères profonds. Il faut donc étudier les sous-sols à la recherche de sites de séquestration préalablement à la mise en place de l'infrastructure d'enfouissement. En revanche, la technique de séquestration elle-même est déjà maîtrisée puisqu'elle est semblable à celle employée pour l'extraction accélérée de pétrole et de gaz (Hannis *et al.*, 2017). Naturellement, comme dans le cas des énergies fossiles, des risques sont associés au transport du CO<sub>2</sub> : les pipelines requièrent eux-mêmes beaucoup d'espace et ne sont jamais à l'abri de fuites qui peuvent notamment contaminer les nappes phréatiques. D'ailleurs, confiner assez de CO<sub>2</sub> pour produire un effet notable sur sa concentration dans l'air nécessiterait la construction de centaines de milliers de kilomètres de conduits (Larson *et al.*, 2021). La séquestration géologique est un moyen d'entreposage, mais elle n'est pas, à strictement parler, une méthode de captation. Il faut donc capter le CO<sub>2</sub> avec l'une des autres méthodes décrites dans cette section avant de pouvoir l'enfouir.

## La captation de CO<sub>2</sub> dans l'air

Le principe de la captation de CO<sub>2</sub> dans l'air (ou capture directe du CO<sub>2</sub> atmosphérique) consiste à filtrer l'atmosphère à l'aide de grandes turbines pour en extraire le CO<sub>2</sub>. Le gaz extrait peut ensuite être acheminé vers un site de séquestration géologique. En septembre 2021, la compagnie Climeworks a mis en opération ce qui était à ce jour la plus grande usine de capture directe du CO<sub>2</sub> atmosphérique. La capacité de captation de cette compagnie, qui est située en Islande, est limitée à 4 000 tonnes (métriques) de CO<sub>2</sub>, ce qui peut sembler beaucoup, mais équivaut en réalité aux émissions annuelles d'un peu moins de 900 voitures (Temple et Crownhart, 2022b). Plusieurs entreprises ont toutefois annoncé leurs intentions de construire des installations pouvant capter jusqu'à un million de tonnes de CO<sub>2</sub> par année. Rappelons, pour donner un ordre de grandeur, que les émissions mondiales de CO<sub>2</sub> s'élevaient, pour la seule année de 2020, à environ 35 milliards de tonnes (Ritchie *et al.*, 2020). Selon le GIEC, cette méthode de capture n'est pas encore prête au déploiement, ni sur le plan technologique ni sur celui du coût par tonne de CO<sub>2</sub> captée (Babiker *et al.*, 2022, p. 4). De plus, son efficacité est variable selon les sources d'énergie employées pour le processus. En effet, la captation directe du CO<sub>2</sub> atmosphérique est très énergivore, et peut même

8 Un gaz à effet de serre produit par les activités agricoles.

devenir contreproductive si ses besoins en énergie sont comblés par des centrales électriques utilisant des énergies fossiles (Riahi *et al.*, 2022, p. 68). Dans le cas contraire, les installations de capture directe du CO<sub>2</sub> alimentées par des énergies renouvelables pourraient profiter des surplus d'énergie ponctuels pour fonctionner sans générer de pollution excédentaire (Clarke, 2022, p. 94).

### **Captation du CO<sub>2</sub> avant la libération dans l'atmosphère<sup>9</sup>**

Plutôt que de filtrer les concentrations en CO<sub>2</sub> présentes dans l'air ambiant, la capture en précombustion, par oxycombustion et en postcombustion, consiste à piéger le CO<sub>2</sub> avant qu'il ne s'échappe dans l'atmosphère. Les deux premières approches exigent de traiter l'air afin d'en retirer l'azote pour n'obtenir que de l'oxygène, et d'utiliser ensuite cet oxygène de manière différente. La capture en précombustion consiste à injecter une quantité limitée d'oxygène et de la vapeur d'eau dans un réacteur à haute température pour faire gazéifier un composé comme du charbon de façon à produire un gaz de synthèse (Nippert, 2022). Ce dernier pourra ensuite être séparé en hydrogène (que l'on pourra brûler) et en CO<sub>2</sub> (qui pourra être séquestré). Dans le cas de la capture en oxycombustion, on alimente la combustion de la biomasse avec de l'oxygène de manière à produire une fumée très concentrée en CO<sub>2</sub>, qui après avoir été désulfurée, est compressée (Nippert, 2022). Ces procédés sont encore assez marginaux et, dans le cas de l'oxycombustion, des embûches techniques nous empêchent présentement de transposer l'approche à un niveau industriel. Dans les deux cas, l'isolation de l'oxygène dans l'air est aussi énergivore.

La capture en postcombustion, de son côté, repose principalement sur l'utilisation d'un solvant liquide afin de séparer le CO<sub>2</sub> des gaz de combustion avant qu'il ne s'échappe des cheminées. La capture en postcombustion est pour le moment beaucoup moins coûteuse que la capture directe du CO<sub>2</sub> atmosphérique. Cependant, le procédé de capture en postcombustion ne peut pas être mis en place à toutes les cheminées d'usines émettrices, car la distance entre l'usine et le centre d'enfouissement le plus proche peut requérir l'emploi de camions ou de pipelines, ce qui peut rendre son implantation contre-productive.

### **Bioénergie avec captation et stockage du carbone (BCSC)**

La bioénergie est une énergie générée par la combustion de biomasse végétale. Au cours de leur croissance, les plantes utilisées comme carburant font de la photosynthèse et capturent donc du CO<sub>2</sub>. La bioénergie est habituellement émettrice de CO<sub>2</sub>, car la combustion de ces plantes relâche le carbone emmagasiné. En jumelant au captage en postcombustion, ce n'est plus le cas : le CO<sub>2</sub> produit par la combustion est immédiatement capté et séquestré. Bien entendu, les émissions de GES produites par la récolte et le transport de la biomasse doivent être prises en compte. Il faut aussi favoriser l'utilisation de biomasse qui a été plantée à cette fin et ne pas, par exemple, raser une forêt ancestrale, qui a par ailleurs bien d'autres bénéfices environnementaux et sociaux que sa capacité de captation. Or, selon le GIEC, le déploiement de la bioénergie avec captage de carbone risque de fragiliser l'accès à la nourriture dans les régions vulnérables à la famine. En effet, la production de biomasse entre en concurrence avec la production de nourriture et la protection de la biodiversité, car elle requiert de l'eau et des terres. Le GIEC recommande donc de faire preuve de prudence (Babiker *et al.*, 2022, p. 59).

---

9 Il existe un débat à savoir si ce type de technologie appartient ou non à la géo-ingénierie. Lorsque le CO<sub>2</sub> ainsi capturé n'a jamais contribué au réchauffement climatique, le GIEC ne considère pas cette technique comme une méthode de captation du carbone atmosphérique. Cela inclut notamment les centrales électriques et les usines qui utilisent des sources d'énergie fossile. Elle a néanmoins été considérée comme une technique de géo-ingénierie lors de la CEST-Jeunesse, compte tenu de son importance dans le discours public et de la possibilité qu'elle offre de décarboniser des secteurs dont les émissions sont difficilement réductibles, comme la production d'acier et de béton.

## La minéralisation du carbone

Il existe une autre avenue de séquestration du CO<sub>2</sub> qu'il convient cependant de distinguer de la séquestration *géologique* à proprement parler. La minéralisation du carbone est une technique par le biais de laquelle le dioxyde de carbone devient un minéral solide par sa réaction avec certaines roches, particulièrement les olivines et les serpentines, lorsqu'elles y sont exposées. L'important est que le minéral possède une haute teneur en calcium, en magnésium ou en fer. Il s'agit avant tout d'un processus naturel nécessitant peu d'énergie, mais que l'on peut accélérer.

Une technique similaire à la séquestration géologique consiste à envoyer du CO<sub>2</sub> dans des formations rocheuses qui possèdent des propriétés particulières afin qu'il se minéralise en l'espace de quelques années. Une autre technique de minéralisation utilise des minéraux broyés afin de les faire réagir plus rapidement avec le CO<sub>2</sub>. Au sein d'un réacteur où la température et la pression sont très élevées, du CO<sub>2</sub> concentré est injecté de manière à entrer en contact avec les minéraux, dont le broyage a augmenté la surface exposée. Cette seconde technique présente plusieurs particularités intéressantes. Bon nombre de résidus miniers possèdent les caractéristiques nécessaires pour être employés dans la minéralisation. Qui plus est, les minéraux produits par le processus peuvent être revalorisés dans des usages industriels. Ces deux techniques présentent l'avantage notable d'être les seules méthodes de séquestration qui rendent le CO<sub>2</sub> complètement inerte et stable, de sorte qu'il ne puisse plus retourner dans l'atmosphère. Le contexte d'application doit toutefois être bien choisi, surtout dans le cas de la seconde méthode, qui exige de grandes quantités d'énergie. En effet, afin que cette technique ne soit pas contre-productive, les besoins doivent être comblés au moyen d'énergies renouvelables, non pas d'énergies fossiles.

## Les approches océaniques

Les océans participent aux cycles biologique et géologique du carbone. Les approches océaniques visent à accélérer ces cycles pour retirer de grandes quantités de CO<sub>2</sub> de l'atmosphère.

### L'alcalinisation des océans

Le CO<sub>2</sub> atmosphérique se dissout naturellement dans les océans dans le cadre de son cycle géologique. Ce faisant, il augmente l'acidité des eaux. Or, plus l'acidité des océans est élevée, moins ceux-ci dissolvent le CO<sub>2</sub>. En raison de ce mécanisme, la capacité des océans à absorber l'excédent de carbone produit diminue avec la hausse des concentrations en CO<sub>2</sub>. L'alcalinisation des océans, qui consiste à diminuer leur acidité, augmente donc leur capacité à absorber du CO<sub>2</sub>. Deux approches peuvent provoquer un tel changement : disséminer des minéraux alcalins en amont du cycle de l'eau ou directement dans la mer et modifier électrochimiquement l'eau salée. Bien que quelques expériences aient pu valider les principes de ces deux méthodes, d'autres remettent en doute leur efficacité dans le monde réel, de sorte qu'aucune n'est prête au déploiement (Babiker *et al.*, 2022, p. 58). Dans le cas spécifique de la dissémination de minéraux alcalins, Fuhr *et al.* ont publié en 2022 des résultats d'expériences qui démontrent que les interactions complexes des minéraux ajoutés dans les océans avec ceux y étant déjà présents pourraient diminuer l'efficacité présumée de la technique par un facteur de cinq. De plus, les effets secondaires de ces techniques sont inconnus. On craint déjà des modifications environnementales hostiles à la vie dans les eaux de profondeur. Toutefois, l'alcalinisation présente des avantages peu communs. D'abord, la capacité des océans à entreposer le CO<sub>2</sub> à très long terme (jusqu'à 100 000 ans) est immense, de l'ordre de milliers de milliards de tonnes de CO<sub>2</sub>. De même, le débit potentiel de dissolution du CO<sub>2</sub> est aussi très élevé. Enfin, certains processus de manipulation électrochimique de l'eau salée produisent de l'hydrogène, qui peut ensuite être employé comme source d'énergie propre (Kheshgi, 1995).

## La fertilisation des océans

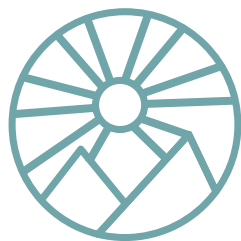
Plutôt que de favoriser la dissolution du CO<sub>2</sub> dans l'eau, la technique de fertilisation des océans vise à augmenter la photosynthèse marine en accentuant le développement de populations de phytoplancton. Le phytoplancton est un organisme unicellulaire aquatique qui, comme les plantes, effectue de la photosynthèse. La fertilisation des océans peut s'effectuer par la dissémination de nutriments, notamment du fer, dans certaines zones. Cela faciliterait la multiplication du phytoplancton et augmenterait l'activité photosynthétique totale, ce qui accélérerait le cycle biologique du carbone. Cette technique pourrait potentiellement emmagasiner le CO<sub>2</sub> à très long terme, car à sa mort, le phytoplancton coule généralement jusqu'au fond des océans avec le carbone emmagasiné. Ce dernier point reste toutefois à évaluer dans le cadre de la fertilisation des océans. De même, les effets néfastes que pourraient avoir l'explosion des populations de phytoplancton et la modification de l'environnement chimique des océans sont inconnus (Babiker *et al.*, 2022, p. 48-49). On suspecte cependant qu'une présence accrue de ces microalgues pourrait créer des zones où l'oxygène marin se raréfie, et ainsi mener à une dégradation de la biodiversité et à la production de GES très puissants, comme le N<sub>2</sub>O (Pêches et Océans Canada, 2010).

## La culture de macro-algues

Cette approche, qui n'implique pas de démarches de fertilisation, mise sur la capacité de certaines algues, comme le kelp, à grandir à une vitesse effrénée<sup>10</sup>. Ce faisant, comme les arbres et le phytoplancton, le kelp absorbe du CO<sub>2</sub> par la photosynthèse. Cela se réaliserait par la dissémination dans l'océan de bouées composées de calcaire, de résidus de l'industrie forestière et de spores de kelp (Temple, 2022). En l'espace d'environ trois mois, le kelp pousserait à la surface, avant que la bouée ne se dissolve trop pour pouvoir flotter et que le tout sombre dans les profondeurs marines, comme les algues ne flottent pas d'elles-mêmes. À partir de ce moment, le carbone capté par le kelp serait enseveli de sédiments ou consommé par des animaux et microorganismes marins. Ce plan en particulier comporte des risques, détaillés précédemment, puisque le calcaire a un effet alcalinisant. De manière générale, cependant, la culture d'algues est une approche embryonnaire dont le potentiel et les conséquences sont incertains. On redoute notamment des perturbations aux écosystèmes délicats que représentent les océans ainsi que la compétition avec le phytoplancton, qui retire déjà des quantités importantes de CO<sub>2</sub> (Temple, 2022).

---

<sup>10</sup> La compagnie Running Tide, originaire du Maine, compte offrir des crédits-carbones dont l'impact se produirait par la culture à grande échelle de cette algue. Comme leur plan de captation du carbone à partir des macro-algues est présentement le plus concret et le plus ambitieux, nous l'utilisons pour exemplifier la technique en général.



**LA GESTION DU RAYONNEMENT SOLAIRE**



## LA GESTION DU RAYONNEMENT SOLAIRE

---

Les techniques de gestion du rayonnement solaire, ou de géo-ingénierie solaire, ne passent pas par une réduction des quantités de CO<sub>2</sub> pour agir sur le climat. Elles visent à augmenter le rayonnement solaire réfléchi afin de diminuer le rayonnement solaire absorbé, généralement en augmentant le pouvoir réfléchissant de certains objets ou surfaces (l'albédo) ou en écartant les obstacles à l'échappement de l'énergie réfléchie par la surface de la Terre.

### L'augmentation de l'albédo des sols

Les rayons du Soleil sont partiellement réfléchis et partiellement absorbés par les sols. L'énergie absorbée contribue au réchauffement de la Terre, alors que l'énergie reflétée, si elle parvient à s'échapper de l'atmosphère, n'a pas d'effet sur la température globale. L'augmentation de l'albédo<sup>11</sup> des sols permet ainsi d'augmenter la proportion de rayons réfléchis par la surface de la planète. Il existe de nombreuses méthodes pour y parvenir, du blanchiment des toits à l'augmentation de la réflectivité des plantes agricoles, en passant par la disposition de grandes surfaces réfléchissantes sur les glaciers ou sur les déserts. Ces techniques peuvent affecter radicalement la distribution des précipitations et la biodiversité locale en raison de la destruction ou du remplacement des habitats naturels par ces surfaces. Certains envisagent un recours plus régional à ces techniques comme complément à la géo-ingénierie solaire (Seneviratne *et al.*, 2018).

### L'augmentation de l'albédo des océans

Dans le même ordre d'idées, l'augmentation de l'albédo des océans vise à augmenter la proportion de rayons réfléchis par les surfaces de la Terre, cette fois-ci des surfaces maritimes, en y générant de la mousse ou en y dispersant des bulles réfléchissantes. Les effets secondaires de cette approche sont encore inconnus puisqu'elle n'a pas franchi le stade conceptuel (Zhao *et al.*, 2021)

### L'augmentation de l'albédo des nuages marins

Les nuages marins offrent aussi une occasion d'accroître l'albédo. En effet, des particules d'eau de mer peuvent augmenter leur réflectivité si elles sont projetées vers le ciel. L'avantage de cette approche est double : non seulement les nuages reflètent-ils davantage de lumière vers le ciel, mais ils masquent aussi les océans, dont l'albédo est très faible. Cela ralentirait le réchauffement des océans et protégerait les écosystèmes sous-marins menacés par les hausses des températures. Toutefois, empêcher la lumière d'atteindre les océans risque de nuire à la photosynthèse marine, ce qui entraînerait une baisse de l'absorption du CO<sub>2</sub>. De plus, la diffusion de particule d'eau de mer peut allonger la durée de vie du méthane, un gaz à effet de serre près de 200 fois plus fort que le CO<sub>2</sub> (Horowitz *et al.*, 2020)

---

<sup>11</sup> Le pouvoir réfléchissant d'une surface.

## La précipitation des cumulus

Si certains nuages refroidissent la planète, d'autres la réchauffent. C'est le cas des cumulus, des nuages en haute altitude qui absorbent le rayonnement infrarouge provenant de la surface terrestre. Le principe de la précipitation des cumulus est de limiter leur durée de vie, ce qui les empêche de retenir l'énergie s'échappant de l'atmosphère. Cela pourrait être accompli par la diffusion d'aérosols provoquant leur précipitation à haute altitude. Pour l'instant, les caractéristiques des particules à diffuser et les méthodes de diffusion demeurent inconnues (Gasparini *et al.*, 2020). De même, les effets secondaires sur les systèmes climatiques et sur la biodiversité restent à évaluer (Patt *et al.*, 2022, p. 58).

## La diffusion d'aérosols sulfatés en haute altitude

En 1991, l'éruption du volcan Pinatubo a engendré une chute des températures globales d'environ 0,5 °C en projetant des particules qui ont réfléchi la lumière du Soleil en haute atmosphère. Afin de lutter contre le réchauffement climatique, certains suggèrent de reproduire artificiellement ce phénomène en diffusant des aérosols sulfatés dans la stratosphère (Zhang *et al.*, 2015). Ces aérosols refléteraient une partie du rayonnement solaire incident avant même qu'il n'atteigne la surface de la Terre. Un test à petite échelle d'une plateforme de diffusion d'aérosols devait se dérouler l'an dernier en Suède, mais il a été suspendu en raison des protestations de certains groupes environnementalistes, autochtones et scientifiques, qui jugeaient la technique trop dangereuse (Fountain et Flavelle, 2021). La diffusion d'aérosols sulfatés risque en effet de dégrader la couche d'ozone, de provoquer des pluies acides et de modifier la distribution des précipitations sur le globe, ce qui mettrait à risque des populations du Sud global, dont l'apport en eau est déjà faible (Patt *et al.*, 2022, p. 58).

Comme nous avons pu le constater, la géo-ingénierie climatique comporte de nombreuses technologies diversifiées et dont l'état de développement, les niveaux de risque et d'incertitude sont grandement variables. Si certaines technologies semblent moins risquées et peuvent paraître prometteuses, d'autres demeurent grandement risquées et incertaines.



**CADRE D'ANALYSE ÉTHIQUE  
DE LA GÉO-INGÉNIERIE**





## CADRE D'ANALYSE ÉTHIQUE DE LA GÉO-INGÉNIERIE

---

### Les valeurs priorisées

D'un point de vue théorique, les valeurs sont des *critères d'évaluation* qui se rapportent à une représentation de ce qui devrait être, c'est-à-dire de ce qui est bien, juste, désirable, préférable, etc. Les valeurs servent à évaluer le caractère désirable, la légitimité et l'acceptabilité sociale des actions, des situations ou des événements ainsi qu'à orienter les décisions. Bien entendu, plusieurs valeurs et principes peuvent orienter l'action et les décisions dans différentes directions. Il s'agit alors de déterminer lesquels devront être priorisés et quels moyens seront les plus à même de les matérialiser.

Ce deuxième chapitre vise à présenter brièvement les valeurs et les principes qui sont ressortis comme étant les plus importants au terme des discussions des participantes et des participants de la 9<sup>e</sup> édition de la CEST-Jeunesse. Le dernier chapitre sera consacré à la présentation des analyses et des recommandations effectuées lors des échanges afin d'actualiser et d'articuler concrètement ces valeurs et principes et d'orienter les décisions lorsque des tensions normatives surgissent. Les valeurs et principes retenus à la suite de nos discussions sont :

- La responsabilité environnementale et climatique
- La prudence et la sécurité
- La préservation de l'environnement
- La lutte contre les changements climatiques
- La solidarité, le dialogue et la coopération
- La justice environnementale et climatique
- Le bien commun
- L'éducation
- La transparence et la confiance
- L'efficacité et l'efficience
- La survie

### Responsabilité environnementale

Il est utile de distinguer la responsabilité selon deux catégories, l'une rétrospective et l'autre prospective. Sous son angle rétrospectif, la responsabilité signifie qu'un agent puisse être imputable d'un acte passé. La responsabilité prospective est pour sa part orientée vers le présent et l'avenir. Elle implique que des agents puissent collectivement corriger des injustices ou des situations déplorables existantes en ce moment même et soient responsables des conséquences futures de leurs actions, bien que celles-ci puissent paraître lointaines.

Les participants de la CEST-Jeunesse ont mis l'accent sur le **principe de responsabilité commune, mais différenciée**. Ce principe reconnaît le devoir moral universel des États à **préserver l'environnement** et à **lutter contre les changements climatiques**. Toutefois, les générations et les gens issus de nations qui ont bénéficié – et qui bénéficient encore – d'un enrichissement économique collectif provenant d'une industrialisation intensive faisant fi des limites **d'absorption du carbone par la planète** doivent en faire davantage que les pays en voie de développement. En plus d'avoir moins de capacités économiques et

technologiques pour entreprendre une **transition verte**, plusieurs des pays en voie de développement seront plus lourdement affectés par les conséquences négatives des changements climatiques. Dans ce contexte, les capacités financières et technologiques supérieures des États les plus riches les enjoignent à **contribuer** davantage à **l'atténuation et à l'adaptation aux changements climatiques** ainsi qu'à la **transition verte** des pays en voie de développement, notamment via un soutien financier et un transfert technologique.

Enfin, la responsabilité environnementale implique le principe de **non-malfaisance**, lequel vise à empêcher ou à minimiser le plus possible les préjudices à autrui ainsi qu'à la communauté des vivants<sup>12</sup>. Si l'humanité a pu être autrefois vulnérable à l'égard d'une nature beaucoup plus puissante qu'elle, c'est maintenant celle-ci qui se retrouve en danger face au pouvoir de transformation sans précédent des techniques scientifiques et technologiques modernes. Par leur puissance et leur étendue, ces dernières ont littéralement décuplé la capacité d'agir de l'être humain, d'un point de vue tant spatial que temporel. Sur le plan spatial, les techniques ont par exemple acquis la possibilité d'affecter les écosystèmes par-delà les frontières humaines, d'affecter la survie des autres espèces et d'affecter la biosphère elle-même. Sur le plan temporel, elles sont maintenant susceptibles d'influencer de manière irréversible les cycles biogéochimiques et de mettre en danger les **générations futures** (Jonas, 2008).

Cette situation entraîne de nouveaux devoirs moraux qui découlent de la responsabilité environnementale, que les participants à la CEST-Jeunesse ont articulée autour de la prudence et de la sécurité, de la préservation de l'environnement, de la lutte contre les changements climatiques, de la solidarité humaine, de la justice environnementale, de l'éducation et de la survie des générations présentes et futures.

## Prudence et sécurité

La **prudence** est une disposition à choisir l'attitude appropriée en fonction des risques et des incertitudes éventuels d'une situation ou d'une décision. Elle vise à limiter les risques et les incertitudes afin de favoriser la **sécurité**.

La prudence peut se décliner en différents principes en fonction du niveau de risque et d'incertitude en jeu. Le principe de **prévention** peut être mobilisé lorsque des risques sont connus et que l'on peut anticiper leur occurrence. On peut penser, par exemple, aux risques de défaillance d'un objet technique, aux effets secondaires liés à un médicament ou encore à un risque météorologique. Une approche de prévention consiste à gérer ces risques en amont, que ce soit en les atténuant, en les surveillant, en les éliminant à la source, ou encore en cherchant à les contourner.

De son côté, le principe de **précaution** vise à orienter l'action dans les situations qui sont davantage façonnées par l'incertitude, soit pour lesquelles les risques ne sont pas entièrement connus. Bien que le principe de précaution possède différentes déclinaisons selon le pays qui l'adopte, on l'entend généralement comme un principe selon lequel « l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles » (Larrère, 2014). En d'autres termes, le principe de précaution enjoint les individus à s'assurer que les effets néfastes imaginables puissent être contrôlés, même s'il n'est pas garanti que ces effets se produisent.

---

12 Définition offerte par Catherine Larrère : « l'ensemble des vivants, animaux et végétaux, qui partagent notre existence et avec lesquels nous formons un monde commun » (Larrère, 2014). Garvey abonde dans le même sens lorsqu'il mentionne que l'essentiel de l'éthique environnementale consiste à « élargir notre conception des valeurs ou du moins du nombre de choses que nous valorisons », voire à élargir la communauté morale tout entière (Garvey, 2008).

Le principe de précaution, contrairement à une interprétation courante, n'est pas forcément un frein à la décision ou au progrès technoscientifique. Au cas où un danger surviendrait, le principe de précaution enjoint à poser des gestes afin de minimiser les conséquences négatives potentiellement graves. De plus, le principe de précaution invite plutôt à creuser davantage les recherches scientifiques, à les orienter vers les zones d'incertitudes et à entreprendre une réflexion sur l'étendue de notre savoir et de notre ignorance.

## Préservation de l'environnement

La préservation de l'environnement vise à prendre des mesures afin d'éliminer ou du moins de limiter significativement les conséquences négatives des activités humaines sur l'environnement naturel. Elle implique également le déploiement de moyens d'action qui permettent d'améliorer la biodiversité, la santé des écosystèmes et leurs capacités à fournir un rendement de services écologiques propres à la **santé et à la survie** des humains et de la vie sur Terre.

## Lutte contre les changements climatiques

La lutte contre les changements climatiques comprend généralement des méthodes d'action qui visent l'atténuation des changements climatiques et l'adaptation des sociétés humaines à leurs conséquences environnementales et humaines. L'atténuation vise à réduire l'ampleur des changements climatiques. Elle rassemble toutes les méthodes de réduction à la source des émissions de GES, qu'il s'agisse de la prohibition de substances ou de procédés à fortes émissions de GES, ou le développement des énergies renouvelables et des réseaux de transports en commun.

L'*adaptation* aux changements climatiques vise pour sa part à diminuer les effets des changements climatiques sur les populations humaines. La construction de digues pour éviter les inondations, la conservation des espèces et la mise en place de systèmes d'air climatisé en réaction à l'augmentation de la durée et de l'intensité des canicules sont des exemples de mesures d'adaptation.

La lutte contre les changements climatiques doit s'accompagner de la **solidarité** et de la **coopération internationale** ainsi que la **justice internationale**.

## Solidarité

Le mot **solidarité** provient du latin *solidus*, qui signifie « qui forme une même masse ». Elle se traduit comme un sentiment de connexion et de relation aux autres qui suscite un devoir d'assistance, d'entraide ou de coopération. La solidarité est à la base de la cohésion des sociétés humaines les plus anciennes. Elle se distingue de la charité, qui implique une relation plus passive. Dans un contexte de solidarité, les acteurs participent, **selon leurs capacités respectives**, à réaliser des objectifs, des intérêts ou des valeurs partagés. La solidarité renvoie à une forme particulière du lien social, davantage axée sur l'interdépendance et la complémentarité que sur le conflit et la concurrence.

## Dialogue et coopération

Le **dialogue** se traduit comme une entreprise de co-construction de sens entre deux ou plusieurs personnes. Le **dialogue** se distingue d'autres formes de communication telles que le débat ou la négociation, principalement par le fait qu'il ne vise pas à convaincre, mais plutôt à inviter les acteurs en interaction à transformer leurs pensées et leurs points de vue à travers la qualité et la rigueur des points de vue, via notamment les **connaissances partagées** au sein des échanges.

De son côté, le **coopération** désigne une participation conjointe dans une entreprise commune qui respecte les libertés, les droits et les devoirs qui sont conférés aux acteurs impliqués (CEST, 2022). **La coopération internationale** au sein de la lutte aux changements climatiques implique la prise en compte du **principe de responsabilité commune, mais différenciée**.

## Justice environnementale et climatique

La **justice environnementale** est souvent envisagée dans sa dimension distributive. Sous cet angle, elle vise une répartition équitable, entre les individus et les générations, des bénéfices et des coûts ou des torts liés aux conditions et aux ressources environnementales. La justice environnementale possède à cet effet une dimension intergénérationnelle, puisque les actions humaines peuvent changer considérablement — voire compromettre — les conditions futures de la vie sur Terre. **La justice intergénérationnelle** fait appel au devoir moral des contemporains à veiller au bien-être des générations futures et à s'assurer de leur léguer des conditions de vies saines et épanouissantes.

La justice environnementale doit cependant dépasser une vision strictement distributive de la justice **et inclure une dimension participative et pluraliste**, défendant l'égalité de considération des parties en présence et de leurs points de vue de manière à intégrer au sein même du débat la pluralité scientifique et la pluralité culturelle (Larrère, 2009). La justice environnementale doit ainsi comprendre la reconnaissance de la **diversité culturelle** des perceptions et des rapports à la nature. Si les différentes disciplines scientifiques permettent en effet de comprendre les phénomènes de la nature d'un point de vue technoscientifique, la nature fait aussi l'objet d'une perception et d'une sensibilité locale par différents individus et groupes (Larrère, 2009).

## Bien commun

Le sens étymologique de cette notion est tiré de *bene* (« à propos » ou « favorablement ») et de *communis* (« qui appartient à plusieurs ou à tous »). On peut considérer le bien commun comme un ensemble de ressources (matérielles, culturelles et scientifiques), d'institutions, de relations sociales et de valeurs partagées qui permettent le bien-être des individus et l'épanouissement des collectivités dans leur ensemble. On peut ainsi traduire le bien commun comme un projet collectif de vivre-ensemble, qui favorise la pluralité et l'inclusion des différents individus et groupes sociaux. Le bien commun vise l'intérêt général, ce qui implique la priorisation des bénéfices collectifs sur les intérêts particuliers lorsque ceux-ci entrent en contradiction. Le bien commun ne peut se réaliser sans la participation concrète des individus dans l'amélioration de leurs connaissances du monde et dans des lieux de dialogue afin de parvenir aux meilleures décisions (CEST, 2022).

## Éducation

Le **bien commun** ne se peut se réaliser sans **la promotion de l'éducation**, une valeur phare de la plupart des éditions de la CEST-Jeunesse. On peut définir l'éducation comme un processus actif et expérimental qui vise l'acquisition de connaissances et le développement de compétences telles que les habiletés de synthèse, d'analyse et de jugement critique, et la capacité d'être autonome et d'innover afin de contribuer concrètement au bien commun de l'humanité. L'éducation doit ainsi éviter une vision passive axée sur la reproduction sociale du statu quo et permettre aux individus de participer concrètement à la vie démocratique et à travailler à l'avancement de leurs sociétés (CEST, 2015, 2018).

## Transparence

La **transparence** est un principe selon lequel toute institution ou personne impliquée dans la vie publique se doit de communiquer certaines informations exactes et pertinentes au public. La transparence est une valeur cruciale pour la qualité des relations humaines, le sentiment d'appartenance, l'exercice démocratique, la crédibilité des gouvernements et des entreprises, ainsi que pour la confiance générale du public vis-à-vis ces différentes institutions. Elle implique non seulement de répondre de façon claire et exacte aux demandes d'informations, mais aussi de diffuser de façon proactive certaines informations jugées essentielles (CEST, 2022).

La transparence s'impose de plus en plus comme une condition d'**acceptabilité** et de **légitimité** de l'action des organisations publiques ou privées et est un prérequis à l'établissement d'une relation de **confiance** avec les citoyennes et les citoyens. La transparence permet à l'individu d'avoir accès à toute l'information pertinente à l'exercice de son **autonomie**, soit sa capacité de faire des choix éclairés et en phase avec ses valeurs et ses intérêts (CEST-Jeunesse, reconnaissance faciale).

### **Efficacité et efficience**

L'efficacité est le rapport entre les résultats obtenus et les objectifs fixés. L'efficience, de son côté, est le rapport entre les résultats obtenus et les ressources utilisées pour les atteindre. Ainsi, une technologie est efficace si elle permet de réaliser entièrement l'objectif pour lequel elle est déployée ; elle est efficiente si elle permet d'atteindre cet objectif en faisant une utilisation optimale des ressources disponibles. L'efficience peut être interprétée du point de vue environnemental pour étayer des principes de développement dit durable ou soutenable, tels que la réduction des déchets et la maximisation des matières réutilisées ou recyclées dans le cycle de vie de la technologie, l'efficacité énergétique, et la réduction des impacts sur les écosystèmes et la biodiversité (CEST, 2020).

### **Survie**

La survie est comprise ici comme le fait de se maintenir en vie malgré des circonstances difficiles, voire adverses. Pour ce faire, la survie implique de protéger les conditions d'existence des êtres humains et des communautés humaines, ce qui implique de préserver les écosystèmes et la biodiversité. Plusieurs participants de la CEST-Jeunesse ont exprimé des inquiétudes à l'endroit des risques et incertitudes à la survie de l'espèce humaine liées au déclin significatif de la biodiversité et aux perturbations climatiques de la planète. Ainsi, ceux-ci voient une convergence entre la préservation de la vie humaine, animale et végétale. L'importance qu'ils ont accordée à la justice environnementale les enjoint également à considérer non pas que la survie des espèces, mais aussi celle du plus grand nombre possible de leurs représentants. Il faut dire que ces inquiétudes sont également partagées par bon nombre d'experts, qui affirment que les décès liés à la dégradation de l'environnement et aux conditions climatiques continueront d'augmenter significativement au cours des prochaines années dans le monde. Il suffit de penser à cet effet à l'augmentation de périodes de grandes chaleurs (chaleur accablante), ou encore à la hausse du nombre d'événements climatiques extrêmes (ouragans, inondations, etc.).

Dans cette perspective, le recours aux différentes techniques afin de prévenir une hausse de la température terrestre ou de la diminuer temporairement (ex. injection d'aérosols dans la stratosphère) devient de plus en plus attrayant. La survie est donc apparue comme une valeur indispensable, quoique tragique, à l'analyse des enjeux éthiques liés au recours à la géo-ingénierie solaire.



**ANALYSE DES ENJEUX ÉTHIQUES  
ET RECOMMANDATIONS DE LA CEST-JEUNESSE**



## ANALYSE DES ENJEUX ÉTHIQUES ET RECOMMANDATIONS DE LA CEST-JEUNESSE

---

Un enjeu éthique survient lorsqu'un principe, une valeur, ou plusieurs de ceux-ci sont mis en jeu dans une situation concrète. Bien souvent, les enjeux éthiques mettent en tension ou opposent carrément des valeurs. Au terme de discussions ayant mobilisé les informations scientifiques et les avis d'experts, les participantes et participants de la CEST-Jeunesse ont pu constater les limites, les risques et les incertitudes entourant la géo-ingénierie. Ces enjeux ont été exposés dans des mises en situation et des écrits scientifiques qui ont fait l'objet de discussions et d'analyses collectives. Lors du dernier avant-midi de travail, les participantes et participants se sont entendus sur une liste de recommandations portant sur les actions prioritaires que devraient prendre les décideurs publics de la société québécoise<sup>13</sup>.

### L'importance de lutter contre les changements climatiques tout en préservant l'environnement et la biodiversité de la planète

Tout au long des discussions, les participantes et participants ont souligné l'importance de prendre garde au technosolutionnisme, de reconnaître l'urgence climatique et de mettre en branle une transition verte qui prend en compte le principe de **responsabilité commune, mais différenciée**.

### Prendre garde au technosolutionnisme

Malgré leurs différences, les méthodes de géo-ingénierie climatique soulèvent toutes l'enjeu du technosolutionnisme, la perspective selon laquelle il existerait une solution technologique à tout problème humain. Le problème des changements climatiques est de nature sociale, économique et écologique. Imaginer la géo-ingénierie comme une solution unique à la crise climatique relève, par conséquent, du technosolutionnisme.

Les techniques de géo-ingénierie agissent directement sur le climat sans réduire à la source nos émissions de GES. Les techniques de géo-ingénierie climatique ne sont pas assez efficaces pour contrecarrer les changements climatiques indéfiniment et, pour certaines, risquent d'endommager gravement et de façon irréversible la biodiversité et les populations humaines.

**Considérant que l'on ne peut pas substituer la géo-ingénierie climatique à la diminution des émissions de gaz à effet de serre dans le contexte de la lutte contre les changements climatiques, la CEST-Jeunesse recommande :**

#### Recommandation 1

**Que le gouvernement du Québec prenne conscience que la géo-ingénierie ne peut à elle seule constituer une solution aux changements climatiques.**

### Reconnaissance de l'urgence climatique et mise en place d'une transition verte

Le solutionnisme technologique sous-jacent à la géo-ingénierie peut poser un certain risque de démobilitation quant à la nécessité de s'attaquer aux causes des changements climatiques. En effet, toutes les techniques

---

<sup>13</sup> Les analyses et les recommandations reflètent l'état de la réflexion du groupe de participants au terme de cette rencontre. Il importe de tenir compte du temps restreint dont disposaient ceux-ci et de la lourde tâche qu'est celle d'analyser une famille de technologies complexes, vouées à évoluer et dont les conséquences environnementales, sociales et politiques sont difficile à évaluer.

de géo-ingénierie, sans exception, risquent de provoquer un aléa moral, c'est-à-dire une situation dans laquelle un acteur aura tendance à prendre plus de risques s'il n'a pas à supporter le coût de ceux-ci. La géo-ingénierie promet d'atténuer les conséquences des émissions de GES; ce faisant, elle pourrait encourager les émetteurs à temporiser dans l'expectative que la géo-ingénierie leur fera économiser des efforts de décarbonisation beaucoup plus coûteux.

La crise climatique est une urgence de grande ampleur et doit être la priorité des gouvernements. Les participants et participantes ont rappelé l'inaction générale des gouvernements du monde malgré les connaissances sur les conséquences des changements climatiques et les demandes répétées des sociétés civiles.

En ce sens, bien que le recours aux technologies de géo-ingénierie climatique les moins risquées peut désormais être considéré comme un outil nécessaire, il demeure insuffisant pour assumer à lui seul une lutte durable contre les changements climatiques. **Ce ne sont rien de moins que l'ensemble des modes de production et de consommation qui doivent subir des changements structurels majeurs afin de contenir le réchauffement climatique.** Ainsi, la géo-ingénierie n'est pas une solution miracle ou une solution de rechange à long terme à la transition écologique, notamment en raison des incertitudes et des risques sous-jacents à plusieurs de ses développements.

Enfin, il a été maintes fois mentionné que l'intérêt pour la géo-ingénierie afin de limiter les émissions de gaz à effet de serre comporte le risque de générer une vision en tunnel ayant pour effet de restreindre le vaste champ de la protection de l'environnement à la limitation des émissions de GES.

**Conséquemment, la CEST-Jeunesse recommande :**

#### **Recommandation 2**

**Considérant que la situation est urgente et que la géo-ingénierie ne permet pas de répondre aux risques auxquels fait face la biodiversité des écosystèmes, la CEST-Jeunesse recommande :**

**Que le gouvernement du Québec et l'ensemble de ses ministères et organismes reconnaissent concrètement l'urgence climatique en s'engageant fortement dans une transition verte, la seule solution à long terme aux changements climatiques et à la crise environnementale.**

Voici quelques exemples d'actions prioritaires pour lesquelles les participants et participantes ont jugé essentiel que les décideurs publics s'engagent :

- Établir des formes durables de transport en améliorant notamment les systèmes de transport en commun, y compris dans les régions mal desservies.
- Soutenir et encourager la participation à la transition verte de l'ensemble de la société québécoise, y compris celle des régions éloignées.
- Prioriser l'exploitation, la mobilisation et l'implantation des techniques et des connaissances en matière d'énergie propre.

#### **Une responsabilité commune, mais différenciée**

Les participantes et participants de la CEST-Jeunesse se sont mis rapidement d'accord sur **le principe de responsabilité commune, mais différenciée**. Le Québec est une province qui fait partie d'un pays riche, dont le développement économique s'est fait au détriment de la préservation des conditions climatiques de la planète et du développement des pays du Sud. En plus des raisons liées à la **responsabilité collective historique** et à la **justice climatique**, les participantes et participants de la CEST-Jeunesse ont convenu que l'actualisation de ces valeurs suggère que l'État québécois adopte **un rôle de leader et de modèle** aussi bien au sein de la fédération canadienne qu'à l'échelle internationale.

Ainsi, la CEST-Jeunesse recommande :

#### Recommandation 3

Que le gouvernement du Québec joue un rôle de modèle à l'international en matière de transition verte afin d'inciter d'autres États à faire de même.

#### Recommandation 4

Que le gouvernement du Québec soutienne économiquement et politiquement les populations affectées par les changements climatiques.

#### Recommandation 5

Que les gouvernements du Québec et du Canada accompagnent la transition verte des pays en voie de développement et qu'ils encouragent les pays du Nord à accompagner les pays du Sud désirant s'engager dans cette voie.

## Risques et incertitudes liés aux techniques de géo-ingénierie climatiques

Tout au long de la CEST-Jeunesse, les participants et participantes ont insisté sur l'importance de **faire preuve de prudence en ce qui concerne les risques du déploiement de certaines techniques de géo-ingénierie à l'endroit de la préservation de l'environnement et de la biodiversité ainsi qu'en matière de solidarité et de justice intergénérationnelles**. Les approches océaniques et de gestion du rayonnement solaire (à l'exception de l'augmentation de l'albédo des sols) ont été plus particulièrement ciblées.

À l'exception de la modification de l'albédo des sols, les techniques de géo-ingénierie solaire ne demeurent efficaces que sur de courtes périodes. Il est donc nécessaire de les redéployer à intervalles réguliers sur une longue durée pour préserver leur effet sur le climat. Advenant une augmentation des concentrations de CO<sub>2</sub> pendant leur déploiement, l'arrêt soudain de l'utilisation de ces techniques occasionnerait un réchauffement accéléré aux conséquences catastrophiques : en moins d'une décennie, le bouleversement du cycle hydrologique et de la température globale pourrait mettre des milliers d'espèces à risque. Ces répercussions sont nommées « effets d'interruption ». Du moment où l'on fait appel à la géo-ingénierie solaire, il est pratiquement impossible de faire marche arrière sans subir ces effets d'interruptions et sans que d'importantes quantités de CO<sub>2</sub> soient préalablement retirées de l'atmosphère pour contrebalancer la diminution des effets de la géo-ingénierie solaire. Certains estiment qu'une telle réalisation devra attendre un siècle (Neuber et Ott, 2020). C'est ce que l'on désigne par l'expression « effet de verrou » : si l'on commence à l'utiliser, les générations futures seront obligées de le faire aussi.

Les différentes techniques regroupées sous le terme de captation du carbone comportent également leur lot de risques et d'incertitudes. Pour chacune d'entre elles, leur efficacité à grande échelle reste à démontrer. De plus, les approches qui impliquent les océans sont très risquées pour la biodiversité, et celles qui impliquent l'utilisation de la biomasse (biochar, BCSC) demanderaient beaucoup d'espace pour la croissance de celle-ci, un enjeu non négligeable dans un contexte où la population mondiale est en croissance. Les méthodes de séquestration géologique, quant à elles, demeurent très coûteuses et sont souvent pointées du doigt par les environnementalistes à titre d'instruments d'écoblanchiment pour l'industrie pétrolière.

En fait, comme pour toute technologie, il ne faut pas non plus oublier que la mise en place de ces différentes avenues exige des quantités variables de ressources, principalement pour l'extraction et le transport des matériaux ainsi que pour leur fonctionnement. On peut penser à la demande énergétique de la captation directe dans l'air, aux opérations minières nécessaires pour l'alcalinisation des océans ou encore à la récolte

de la biomasse pour les BSCS et le biochar. C'est dire qu'il est important de tenir compte des différents coûts de ces techniques, sur les plans pécuniaires comme sur celui des ressources naturelles ou des émissions de CO<sub>2</sub>.

Les participants et participantes ont appelé à une prise de considération rigoureuse des connaissances scientifiques disponibles à cet effet.

**Ainsi, la CEST-Jeunesse recommande :**

#### **Recommandation 6**

**Que le gouvernement du Québec priorise la mise en place des techniques de géo-ingénierie les plus efficaces parmi les techniques les moins risquées (fertilisation et alcalinisation de l'océan exceptées), par conséquent, qu'il favorise le développement des techniques de captation du carbone les plus matures en raison des risques importants de la géo-ingénierie solaire.**

Selon l'évaluation des participantes et participants, la captation à la sortie des émetteurs soulève peu de risques techniques et environnementaux.

## **Préparer la réflexion éthique en contexte de catastrophe climatique et de survie**

Certains participantes et participants de la CEST-Jeunesse ont estimé que les sociétés humaines étaient près de vivre des scénarios dystopiques étant donné le peu d'actions réalisées afin de contrer le réchauffement planétaire. Force est de constater que plusieurs faits ou avis scientifiques peuvent leur donner raison. Dans son dernier rapport, le groupe de travail 3 du GIEC s'alarme de la situation actuelle. On y lit que, même si tous les États respectaient leurs objectifs liés aux émissions de GES d'ici 2030, les probabilités de maintenir le réchauffement climatique sous la barre des 1,5 °C d'ici 2100 seraient malgré tout d'une chance sur trois ou moins<sup>14</sup>. De plus, le groupe de travail considère probable (suivant une probabilité minimale de 66 %) que les États aient échoué à atteindre leurs objectifs nationaux d'émissions de GES pour 2020, ce qui rend encore plus improbable la maîtrise de l'évolution des températures sous le seuil de 1,5 °C d'ici 2100 (GIEC, 2022).

Dans les faits, même l'atteinte de la carboneutralité ne garantit pas la stabilisation de la température moyenne. D'abord, le CO<sub>2</sub> atteint son plein potentiel de réchauffement une décennie après avoir été émis (Zickfeld et Herrington, 2015). Le réchauffement dans les dix années suivantes serait certes moins élevé que si les émissions nettes demeuraient positives, mais il pourrait être suffisant pour aggraver sérieusement les crises engendrées par les changements climatiques. Ensuite, le réchauffement climatique déclenche d'autres phénomènes qui, à leur tour, viennent l'alimenter. Par exemple, la hausse des températures provoque la fonte du pergélisol, ce qui occasionne la libération de méthane et de CO<sub>2</sub> et l'augmentation de l'effet de serre (Schoor *et al.*, 2015). À certaines températures, qualifiées de points de bascule, ces boucles de rétroaction risquent d'engendrer un réchauffement effréné ou, du moins, de fortement réduire l'efficacité des mesures d'atténuation des émissions de CO<sub>2</sub> et d'adaptation face aux changements climatiques (Lenton *et al.*, 2019).

Dans cette perspective, le recours à la géo-ingénierie solaire, lequel permettrait un refroidissement de la température globale, pourrait permettre de « gagner du temps » pour accomplir la transition verte des activités humaines et pourrait être employé pour éviter des dommages intolérables ou le dépassement de points de bascule climatiques (Neuber et Ott, 2020).

<sup>14</sup> Cette affirmation est fondée sur les objectifs annoncés avant la COP26.

Ce type de recours pose de nombreux enjeux éthiques sur lesquels les participantes et participants ne se sont pas mis d'accord. Par exemple, en situation d'urgence, certains estiment que la survie d'une communauté humaine peut nécessiter que d'autres valeurs, telles que la **solidarité** et la **justice**, ne soient pas priorisées, alors que d'autres s'y opposent catégoriquement. Ce type de scénarios soulève toutes sortes de questions. Par exemple, serait-il envisageable de déployer la diffusion sulfatée d'aérosols en haute altitude afin de favoriser la survie d'un grand nombre d'êtres vivants, même si, en plus d'un lot d'incertitudes, des conséquences environnementales négatives connues de ce déploiement pourraient nuire considérablement à la biodiversité et aux conditions climatiques d'un plus petit nombre de personnes ?

**Considérant que le recours à la géo-ingénierie solaire puisse devenir nécessaire pour la survie d'un plus grand nombre d'individus tout en engendrant des torts considérables à d'autres individus et à la biodiversité, la CEST-Jeunesse recommande :**

### **Recommandation 7**

**Que le gouvernement du Québec devienne un leader dans l'encadrement éthique de la recherche et du déploiement de la géo-ingénierie climatique.**

## **Risques liés à la gouvernance de la recherche en géo-ingénierie solaire**

### **Demande d'un moratoire sur la recherche en géo-ingénierie solaire**

Nous l'avons vu, à l'exception de l'augmentation de l'albédo des sols, les techniques de gestion du rayonnement solaire comportent des risques importants. En effet, modifier les cycles climatiques naturels peut générer des conséquences imprévisibles sur le plan environnemental, lesquelles pourraient causer des torts importants aux pays les plus vulnérables ainsi qu'exacerber les tensions politiques sur la scène internationale. En effet, bien que l'injection d'aérosols pourrait permettre d'abaisser la température et d'éviter des catastrophes importantes pour certaines populations, d'autres populations pourraient subir davantage de conséquences négatives. C'est dire que la géo-ingénierie solaire pourrait créer son lot de gagnants et de perdants, ce qui pourrait mener à des conflits politiques et à l'accentuation de la domination des pays du Nord sur les pays du Sud dans les structures de gouvernance internationales.

Comme l'arrivée à la maturité de la géo-ingénierie solaire, particulièrement dans le cas de l'injection d'aérosols, semble envisageable dans un avenir non lointain, l'enjeu le plus important, selon plusieurs, ne serait pas de nature technique. Il concernerait avant tout **la gouvernance de ces technologies**.

La modification du climat de la planète est par définition une entreprise globale, et ses effets sont susceptibles d'être ressentis à grande échelle et par une diversité d'individus. Plusieurs auteurs estiment que la structure actuelle de l'ordre international rend impossible une gouvernance de la géo-ingénierie solaire respectant les exigences de **solidarité** et de **justice** à l'endroit des populations les plus vulnérables.

Depuis janvier 2022, plus de 350 scientifiques (dont plusieurs sommités internationales) provenant d'une cinquantaine de pays ont signé une lettre ouverte qui exige un moratoire immédiat sur la géo-ingénierie solaire et qui enjoint aux gouvernements et à l'Organisation des Nations Unies d'utiliser leur pouvoir politique afin de prendre immédiatement les cinq actions suivantes :

- Interdire tout financement public et international de la géo-ingénierie solaire
- Interdire toute expérimentation sur la géo-ingénierie solaire dans la nature
- Interdire tout brevet de géo-ingénierie solaire
- Ne pas déployer des technologies destinées à la géo-ingénierie solaire qui sont développées par une tierce partie
- Ne pas soutenir l'établissement de politiques de géo-ingénierie solaire dans les institutions internationales, notamment le GIEC

Derrière ces demandes se trouvent plusieurs arguments. D'abord, le déploiement des techniques de géo-ingénierie dépend d'une évaluation des pertes et des bénéfices engendrés, ce qui présente plusieurs enjeux. Les conséquences des techniques de géo-ingénierie ainsi que des changements climatiques, bien que présentes partout, sont inégalement distribuées : en général, les États les plus pauvres subissent davantage les effets néfastes des changements climatiques. On peut ainsi penser que les pays les plus vulnérables subiront davantage les effets négatifs engendrés par le déploiement de techniques de géo-ingénierie solaire.

Pour ces raisons, les auteurs soulignent qu'un système de gouvernance internationale devrait permettre de prendre des décisions complexes quant à la nature des interventions, leur intensité et leur durée, en plus d'assurer un système de compensation pour les torts subis par certaines régions en fonction des bénéfices obtenus par d'autres. Selon eux, l'état actuel du système politique international est loin de pouvoir assurer **une gouvernance internationale juste et inclusive** de la géo-ingénierie solaire. Une telle gouvernance exigerait que les pays les plus puissants confient la régulation de la géo-ingénierie solaire à des institutions internationales multilatérales dans lesquelles les pays qui sont les plus susceptibles de subir des conséquences négatives pourraient participer concrètement aux délibérations et même posséder un droit de veto effectif sur les décisions finales.

Ensuite, certains doutent que l'arène internationale permette une gestion équitable et démocratique de la géo-ingénierie. Quelques instances déjà existantes, comme le Conseil de sécurité de l'ONU, avantagent certains États; d'autres, comme l'Assemblée générale des Nations Unies, peuvent être ignorées par des pays suffisamment puissants (Biermann *et al.*, 2022). Ainsi, les structures de gouvernance internationale ne sont pas adaptées à la gestion de la géo-ingénierie solaire, qui touche **un certain nombre de biens communs comme les océans, l'atmosphère et le climat**. Seul un engagement sincère des États les plus puissants à respecter les décisions de la communauté internationale dans son ensemble pourrait renverser cette situation.

Les auteurs de la lettre ouverte présentent plusieurs barrières qui pourraient empêcher l'établissement d'une gouvernance mondiale assurant **une participation démocratique, inclusive et juste**. Ils estiment que les développements scientifiques sont largement décidés par une minorité de pays parmi les plus industrialisés. De plus, ils affirment que la structure profondément inégale des Nations Unies dans laquelle cinq pays possèdent un droit de veto au Conseil de sécurité enlève toute légitimité quant à la possibilité d'une régulation internationale de la géo-ingénierie solaire.

De plus, la lettre insiste sur le fait que l'évaluation des risques par les comités d'experts des pays les plus puissants n'est pas en mesure d'intégrer la pluralité des valeurs et de la sensibilité au risque, lesquelles peuvent largement différer d'une culture à une autre. Il existe également un risque élevé que les États les plus puissants décident, de manière unilatérale ou sous forme de petite coalition, d'expérimenter des technologies de géo-ingénierie solaire, et ce, même si une majorité de pays s'y opposent.

## **De la possibilité de construire une gouvernance juste et inclusive sur la géo-ingénierie**

Tous les experts en géo-ingénierie climatique ne sont pas d'accord avec le moratoire contre la recherche en géo-ingénierie solaire. Cette idée serait en effet souvent invoquée par des chercheurs de pays développés sans consultation avec d'autres experts de pays en voie de développement. La décision d'abandonner la recherche dès aujourd'hui serait une décision des États qui font actuellement de la recherche dans le milieu, soit des États du Nord. Les États du Sud n'auraient donc pas leur mot à dire sur la question.

Ensuite, certains affirment que l'impossibilité de gouverner la recherche en géo-ingénierie n'est qu'une thèse qui reste à démontrer. Cesser toute recherche dans le domaine en attendant de prouver scientifiquement qu'une gouvernance mondiale est possible serait une réaction excessive et potentiellement dommageable,

puisque certaines techniques de géo-ingénierie solaire pourraient possiblement atténuer les effets des changements climatiques sur les populations humaines.

De plus, certains craignent qu'un moratoire sur la recherche en géo-ingénierie invite les États à poursuivre le travail dans le secret plutôt qu'au grand jour. Cela pourrait paradoxalement favoriser la création d'un monopole sur la géo-ingénierie solaire. Or, la dissimulation d'un secret requiert la protection des services de sécurité d'un État, ce qui, dans le cas de la géo-ingénierie, conduirait à une militarisation de la recherche. Si les percées scientifiques dans le domaine sont vues comme des informations sensibles et militaires, il sera difficile pour les États de concevoir la géo-ingénierie comme autre chose qu'une arme. Ainsi, certains croient qu'un moratoire sur la recherche en géo-ingénierie motivé par la peur que ces techniques soient détenues par une poignée d'États puissants et employées comme des armes aurait en fin de compte l'effet inverse.

Plutôt que d'abandonner catégoriquement la géo-ingénierie solaire, certains suggèrent que l'on poursuive la recherche tout en s'assurant qu'elle sera réalisée à l'intérieur d'une gouvernance inclusive et équitable. Pour ce faire, ils estiment essentiel que les pays les plus avancés fournissent une aide financière et favorisent le développement de centres de recherche scientifique internationaux qui permettraient la participation effective des scientifiques, des décideurs publics et de la population civile provenant des États présumés « à risque » face à la géo-ingénierie solaire. Cette approche permettrait de favoriser la diversité des idées, la légitimité politique, la réduction des biais culturels et le développement de normes de comportements prosociaux à l'endroit de la géo-ingénierie solaire. Des auteurs nous invitent également à envisager les possibilités qu'offre la mise en place d'une gouvernance mondiale de la géo-ingénierie en matière de construction et de consolidation de la paix entre les nations.

### **Position prise par la CEST-Jeunesse**

La CEST-Jeunesse s'est rangée à la deuxième solution en estimant qu'il était important de poursuivre la recherche sur la géo-ingénierie solaire, étant donné son coût potentiellement bas comparativement à d'autres actions sur le climat et son **efficacité potentielle** à servir de dispositif de dernier recours afin d'assurer **la survie de sociétés humaines**.

Cela étant dit, les participants et participantes ont aussi rejoint l'argumentaire des scientifiques militant pour plus de prudence sur plusieurs points. Ils partagent le constat selon lequel les structures de gouvernance mondiales existantes sont insuffisantes ou inefficaces pour assurer un déploiement juste et équitable de la géo-ingénierie solaire. De plus, même lorsqu'il est question de la recherche, l'importance du **principe de précaution** et de **non-nuisance** a été réaffirmée. Des méthodes d'investigation à faible impact, telles que la modélisation climatique, devraient être priorisées jusqu'à ce que des connaissances plus solides soient disponibles. Pour les recherches plus appliquées, les étudiants et étudiantes ont aussi fait valoir l'intérêt des environnements simulés en laboratoire, de manière à ce que soient précisées le plus possible les conséquences des techniques de la géo-ingénierie solaire sur la biodiversité et les écosystèmes.

**Considérant l'importance de protéger la biodiversité de la planète, la CEST-Jeunesse recommande :**

#### **Recommandation 8**

**Que le gouvernement du Québec interdise la recherche et l'expérimentation scientifique en géo-ingénierie climatique sur des territoires protégés.**

#### **Recommandation 9**

**Considérant le peu de recherche portant sur la géo-ingénierie solaire et le rôle capital de l'État dans l'encadrement éthique de la recherche, la CEST-Jeunesse recommande :**

Que le Québec favorise les partenariats public-privé sur la recherche et sur la mise en œuvre des technologies de captation de carbone dans le but d'assurer un encadrement éthique et l'efficacité de la recherche.

Considérant le manque de coopération internationale actuel et la nécessité de la renforcer face au désastre environnemental et climatique actuel, la CEST-Jeunesse recommande :

#### Recommandation 10

Que le gouvernement du Québec s'assure que la recherche en géo-ingénierie vise le bien commun mondial, c'est-à-dire qu'elle soit au service de la collectivité et de la protection de la biodiversité.

Les participants et participantes ont insisté, tout au long des discussions, sur le fait que la recherche sur la géo-ingénierie solaire devait se réaliser dans un esprit de solidarité, de coopération et de justice. Ils ont également tenu à prendre en compte les conséquences des relations coloniales passées et les inégalités qui en découlent, ainsi que le paternalisme des États du Nord, qui perdure.

Considérant l'importance d'éviter toute forme de rapport colonial avec les pays en voie de développement ou les populations vulnérables aux conséquences négatives du déploiement de la géo-ingénierie solaire, la CEST-Jeunesse recommande :

#### Recommandation 11

Que le gouvernement du Québec prenne position en faveur de l'établissement d'une instance internationale pour la régulation de la géo-ingénierie, et qu'il participe activement et avec transparence à l'établissement de protocoles et d'une réglementation internationale, et ce, dans une perspective de solidarité, de coopération et de bien commun entre les peuples.

#### Recommandation 12

Que le gouvernement du Québec collabore avec les populations nationales et internationales vulnérables aux effets des changements climatiques et de la géo-ingénierie, notamment avec les communautés autochtones.

## De l'importance de l'éducation de la société québécoise à la géo-ingénierie climatique et à ses enjeux éthiques

L'importance du développement de la géo-ingénierie dans une perspective de **bien commun**, c'est-à-dire visant l'intérêt collectif des populations humaines au-delà des frontières du Québec, ne saurait être surestimée. Il s'agit de l'un des thèmes qui sont revenus le plus souvent dans les échanges. Or, comme nous l'avons soulevé plus tôt, la réalisation de ce souhait est conditionnelle à la participation active du grand public, celui-ci étant après tout l'objet du bien commun. Impliquer les collectivités dans les décisions concernant la géo-ingénierie est vu comme une manière de responsabiliser les décideurs ainsi que de garantir la représentation des différentes conceptions de la nature, du risque et des technologies qui sont présentes dans nos sociétés pluralistes.

Cette volonté d'un développement axé sur le bien commun se doit de commencer par l'éducation, qui lui est essentielle, car elle permet une participation active et critique à la vie démocratique. Ainsi, l'éducation a le potentiel de favoriser tant les développements technologiques que les développements éthiques qui entourent la géo-ingénierie. Comme il est question d'enjeux d'une grave importance, cet accent sur l'éducation va de pair avec la **transparence des décideurs publics** : celle-ci favorise de meilleures connaissances chez la population, tout en lui permettant de remettre en question certaines avenues et d'en suggérer d'autres. Elle permet aussi d'augmenter la légitimité des décisions prises par les représentants de la population.

Considérant les possibilités qu’offre la géo-ingénierie à long terme et le rôle prépondérant de la recherche publique et au sein des établissements d’enseignement supérieur dans le développement de procédés plus efficaces et sécuritaires, la CEST-Jeunesse recommande :

#### Recommandation 13

Que le ministère de l’Éducation crée de nouveaux programmes universitaires en géo-ingénierie et bonifie ceux qui existent en offrant des bourses et des stages et en finançant des laboratoires spécialisés.

Considérant l’importance d’un développement et d’un encadrement participatif de la géo-ingénierie, particulièrement dans le cas de ses techniques les plus risquées, la CEST-Jeunesse recommande :

#### Recommandation 14

Que le gouvernement du Québec mette en place des campagnes d’information et de sensibilisation sur les enjeux de la géo-ingénierie pour assurer un processus démocratique.

#### Recommandation 15

Que le ministère de l’Éducation intègre les questions d’éthique environnementale et celles de la géo-ingénierie dans tous les programmes scolaires.

## De l’importance des incitatifs économiques

Le rôle du secteur privé dans le développement et la mise en place des technologies et techniques de géo-ingénierie a été un thème récurrent dans les discussions des participants à la CEST-Jeunesse. Bien que le rôle des autorités gouvernementales dans la recherche, le développement, l’encadrement et le monitoring de la géo-ingénierie ait été mis de l’avant, il ne l’a pas été dans une perspective d’opposition avec le rôle du privé. Afin de favoriser **l’efficience**, soit l’utilisation optimale de nos ressources dans l’atteinte d’un but, la relation entre les secteurs privé et public devrait être envisagée sous l’angle d’une **synergie**. Plusieurs participants et participantes ont mentionné que l’État avait un rôle à jouer pour s’assurer que la capacité du privé à innover sera canalisée dans une perspective de bien commun.

Les participants et participantes ont insisté sur le fait qu’il n’y aurait vraisemblablement pas de grands changements apportés au système économique capitaliste dans lequel évoluent les entreprises privées et qui les contraignent à faire certains choix. Les entreprises privées gravitent dans une économie de marché globalisée dans laquelle elles doivent sans cesse demeurer compétitives et générer des profits. Selon les participants et participantes, lorsqu’elle est bien encadrée, la recherche de profit peut aussi permettre de réaliser des prouesses d’innovation technologique.

Ainsi, la CEST-Jeunesse recommande :

#### Recommandation 16

Que le gouvernement du Québec mette en place des incitatifs économiques pour encourager la réduction des émissions de GES et pénaliser les émissions de GES.

#### Recommandation 17

Que le gouvernement du Québec mette en place des incitatifs économiques pour encourager la captation de carbone des entreprises.



**CONCLUSION**





## CONCLUSION

---

Au terme de cette édition de la CEST-Jeunesse, il semble indéniable que la géo-ingénierie, prise dans son ensemble, a peu ou pas d'effets sur les sources de gaz à effet de serre et vise plutôt à rattraper les émissions. C'est un peu comme si, pour éviter qu'une baignoire déborde, on y retirait de l'eau avec un seau alors que le robinet coule toujours. Certes, cela aide à court terme, mais il est évident que ce n'est qu'une solution temporaire et qu'il faudra éventuellement couper l'entrée d'eau ! Dans le cadre des changements climatiques, fermer le robinet revient à réduire radicalement nos émissions de gaz à effet de serre.

Reconnaissant que l'urgence de la situation oblige la prise de moyens effectifs afin de lutter contre les changements climatiques, la CEST-Jeunesse considère que certaines technologies de captations de carbone peuvent toutefois s'avérer utiles et que la recherche sur les technologies de géo-ingénierie climatiques, même les plus controversées, doit se poursuivre. Puisque l'heure est grave, le recours à des technologies risquées, telles que la diffusion d'aérosols sulfatés en haute altitude, pourrait s'avérer un moindre mal comparativement aux conséquences ultimement dévastatrices de grandes périodes de chaleur. Cette « solution de rechange », ce plan B, quoique tragique, pourrait permettre « de gagner du temps ».

Cette prise de position de la CEST-Jeunesse n'est pas un chèque en blanc au développement sans balises, mais constitue plutôt un appel à un développement responsable, juste et solidaire des technologies de géo-ingénierie. En effet, il est du devoir et du pouvoir des décideurs publics d'adopter un rôle de leader sur la scène internationale contre la lutte aux changements climatiques tout en insistant sur la préservation de l'environnement et de la biodiversité et en prenant garde aux perspectives dites « technosolutionnistes ». Il importe donc de considérer la géo-ingénierie comme un ensemble d'outils pouvant soutenir la lutte contre les changements climatiques, qui devrait se baser de manière prioritaire sur une transition écologique axée sur la réduction des GES à la source.

Les participantes et participants invitent les décideurs publics québécois à contribuer à la mise en place d'une gouvernance juste et solidaire de la géo-ingénierie solaire, laquelle s'efforcerait de respecter les droits des populations les plus vulnérables tout en s'affranchissant de la reproduction de relations coloniales avec celles-ci. Derrière cet important défi d'éviter un réchauffement radical du climat terrestre se trouvent plusieurs opportunités, dont celle de construire un monde plus solidaire et uni. Il apparaît ainsi comme un impératif que les acteurs politiques et économiques des États les plus riches soutiennent les pays en voie de développement, et ce, dans une approche axée sur le dialogue et la justice, dénuée de toute forme historique de rapports de domination Nord-Sud.

Les écrits scientifiques ou extrascientifiques sur la géo-ingénierie n'ont sans doute jamais été aussi nombreux, tout comme ceux sur les changements climatiques. Les nouveaux développements en géo-ingénierie et l'évolution de la discussion sur la situation environnementale vont nécessairement soulever de nouveaux enjeux de discussion, qui n'ont pas été traités dans cet avis. Mais ce premier regard aura permis de consigner l'ensemble des technologies de géo-ingénierie et de comprendre un peu mieux la position des jeunes sur les changements climatiques et le recours aux technologies de géo-ingénierie et, comme dans les éditions précédentes de la CEST-Jeunesse, d'apprécier la force de leur analyse sur des enjeux qu'on aurait pu croire hors de leur portée.



## RÉFÉRENCES

---

- Biermann, Frank, Jeroen Oomen, Aarti Gupta, Saleem H. Ali, Ken Conca, Maarten A. Hajer, Prakash Kashwan *et al.*, 2022. « Solar Geoengineering: The Case for an International Non-use Agreement ». *WIREs Climate Change*, janvier. <https://doi.org/10.1002/wcc.754>
- British Geological Survey. s.d. « The Greenhouse Effect ». British Geological Survey. Consulté le 28 novembre 2022. <https://www.bgs.ac.uk/discovering-geology/climate-change/how-does-the-greenhouse-effect-work/>
- Commission de l'éthique en science et en technologie (CEST). 2015. L'éthique et les TIC à l'école : un regard posé par des jeunes. Gouvernement du Québec. <https://www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications/technologies-de-l-information-et-des-communications-en-education-tice/>
- Commission de l'éthique en science et en technologie (CEST). 2018. Éthique et cybersociété : un regard posé par des jeunes. Gouvernement du Québec. <https://www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications/cybersociete/>
- Commission de l'éthique en science et en technologie (CEST). 2020. Les enjeux éthiques soulevés par la reconnaissance faciale. Gouvernement du Québec. <https://www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications/reconnaissance-faciale/>
- Commission de l'éthique en science et en technologie (CEST). 2022. L'utilisation de l'information scientifique par les décideurs publics au sein d'une société démocratique : enjeux éthiques. Gouvernement du Québec. <https://www.ethique.gouv.qc.ca/fr/publications/l-utilisation-de-l-information-scientifique-par-les-decideurs-publics-au-sein-d-une-societe-democratique/>
- Fletcher, Robson. 2019 « ANALYSIS | Canada's Forests Actually Emit More Carbon than They Absorb — despite What You've Heard on Facebook ». CBC. <https://www.cbc.ca/news/canada/calgary/canada-forests-carbon-sink-or-source-1.5011490>.
- Fountain, Henry, et Christopher Flavelle. 2021. « Test Flight for Sunlight-Blocking Research Is Canceled ». *The New York Times*, 2 avril 2021, sect. Climate. <https://www.nytimes.com/2021/04/02/climate/solar-geoengineering-block-sunlight.html>.
- Fuhr, Michael, Sonja Geilert, Mark Schmidt, Volker Liebetrau, Christoph Vogt, Brendan Ledwig, et Klaus Wallmann. 2022. « Kinetics of Olivine Weathering in Seawater: An Experimental Study ». *Frontiers in Climate* 4. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fclim.2022.831587>.
- Garvey, J. 2010. Éthique des changements climatiques : le bien et le mal dans un monde qui se réchauffe. Yago.
- Gasparini, Blaž, Zachary McGraw, Trude Storelvmo, et Ulrike Lohmann. 2020. « To what extent can cirrus cloud seeding counteract global warming? » *Environmental Research Letters* 15 (5) : 054002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab71a3>.
- Guillebon, Benoit de, O Boucher, L. Abbadie, P. Barré, Slimane Bekki, Bernadette Bensaude-Vincent, S. Blain, *et al.* 2014. « Atelier de Réflexion Prospective RÉAGIR Réflexion systémique sur les enjeux et méthodes de la géo-ingénierie de l'environnement ». <https://anr.fr/fileadmin/documents/2016/ARP-REAGIR-avril-2014.pdf>.
- Hannis, Sarah, Jiemin Lu, Andy Chadwick, Sue Hovorka, Karen Kirk, Katherine Romanak, et Jonathan Pearce. 2017. « CO<sub>2</sub> Storage in Depleted or Depleting Oil and Gas Fields: What Can We Learn from Existing Projects? » *Energy Procedia*, 13th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, GHGT-13, 14-18 November 2016, Lausanne, Switzerland, 114 (juillet) : 5680-90. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1707>.
- Harding, Anthony R., Katharine Ricke, Daniel Heyen, Douglas G. MacMartin, et Juan Moreno-Cruz. 2020. « Climate Econometric Models Indicate Solar Geoengineering Would Reduce Inter-Country Income Inequality ». *Nature Communications* 11 (1) : 227. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13957-x>.

Horowitz, Hannah M., Christopher Holmes, Alicia Wright, Tomas Sherwen, Xuan Wang, Mat Evans, Jiayue Huang, *et al.* 2020. « Effects of Sea Salt Aerosol Emissions for Marine Cloud Brightening on Atmospheric Chemistry : Implications for Radiative Forcing ». *Geophysical Research Letters* 47 (4) : e2019GL085838. <https://doi.org/10.1029/2019GL085838>.

Jonas, Hans. 2008. *Le principe responsabilité : une éthique pour la civilisation technologique*. Paris : Flammarion.

Kheshgi, Haroon S. 1995. « Sequestering Atmospheric Carbon Dioxide by Increasing Ocean Alkalinity ». *Energy* 20 (9) : 91522. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(95\)00035-F](https://doi.org/10.1016/0360-5442(95)00035-F).

Larrère, Catherine. 2009. « La justice environnementale ». *Multitudes*, 36(1), 156-162. <https://doi.org/10.3917/mult.036.0156>

Larrère, Catherine. 2014. « Vulnérabilité et responsabilité : un autre Jonas ? » *Alter. Revue de phénoménologie*, n° 22 : 18193. <https://doi.org/10.4000/alter.304>.

Larson, Eric, Chris Greig, Jesse Jenkins, Erin Mayfield, Andrew Pascale, Chuan Zhang, Joshua Drossman, *et al.* 2021. « Net-Zero America: Potential Pathways, Infrastructure, and Impacts, Interim Report ». New Jersey : Princeton University. <https://netzeroamerica.princeton.edu/>.

Lenton, Timothy M., Johan Rockström, Owen Gaffney, Stefan Rahmstorf, Katherine Richardson, Will Steffen, et Hans Joachim Schellnhuber. 2019. « Climate Tipping Points — Too Risky to Bet Against ». *Nature* 575 (7784) : 592-95. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-03595-0>.

MacMartin, Douglas G., Ben Kravitz, Simone Tilmes, Jadwiga H. Richter, Michael J. Mills, Jean-Francois Lamarque, Joseph J. Tribbia, et Francis Vitt. 2017. « The Climate Response to Stratospheric Aerosol Geoengineering Can Be Tailored Using Multiple Injection Locations ». *Journal of Geophysical Research : Atmospheres* 122 (23) : 12,574-12,590. <https://doi.org/10.1002/2017JD026868>.

Neuber, Frederike, et Konrad Ott. 2020. « The Buying Time Argument within the Solar Radiation Management Discourse ». *Applied Sciences* 10 (13) : 4637. <https://doi.org/10.3390/app10134637>.

Nippert, Aline. 2022. « Captage de CO<sub>2</sub> par précombustion et oxycombustion : deux solutions qui doivent encore faire leurs preuves ». *Usine Nouvelle*. 21 avril 2022. <https://www.usinenouvelle.com/article/captage-de-co2-par-precombustion-et-oxycombustion-deux-solutions-qui-doivent-encore-faire-leurs-preuves.N1804727>.

Office québécois de la langue française. 2019. « Grand dictionnaire terminologique — géo-ingénierie ». Office québécois de la langue française. [https://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?ld\\_Fiche=26504637](https://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?ld_Fiche=26504637).

Pêches et Océans Canada. « Ocean Fertilization: Mitigating Environmental Impacts of Future Scientific Research ». MPO Canada, avril 2010. [https://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/publications/saras/2010/2010\\_012-eng.htm](https://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/publications/saras/2010/2010_012-eng.htm).

Ritchie, Hannah, Max Roser, et Pablo Rosado. « CO<sub>2</sub> and Greenhouse Gas Emissions ». *Our World in Data*, 2020. <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>.

Six, Johan. 2014. « Biochar: Is There a Dark Side? » ETH Zurich. <https://ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2014/04/biochar-is-there-a-dark-side.html>.

Schuur, E. a. G., A. D. McGuire, C. Schädel, G. Grosse, J. W. Harden, D. J. Hayes, G. Hugelius, *et al.* 2015. « Climate Change and the Permafrost Carbon Feedback ». *Nature* 520 (7546) : 171-79. <https://doi.org/10.1038/nature14338>.

Seneviratne, Sonia I., Steven J. Phipps, Andrew J. Pitman, Annette L. Hirsch, Edouard L. Davin, Markus G. Donat, Martin Hirschi, Andrew Lenton, Micah Wilhelm, et Ben Kravitz. 2018. « Land Radiative Management as Contributor to Regional-Scale Climate Adaptation and Mitigation ». *Nature Geoscience* 11 (2) : 88-96. <https://doi.org/10.1038/s41561-017-0057-5>.

Temple, James et Casey Crownhart. 2022a. « Carbon Removal Factory ». *MIT Technology Review*, 23 février 2022. <https://www.technologyreview.com/2022/02/23/1044972/carbon-removal-factory-climate-change/>.

Temple, James et Casey Crownhart. 2022b. « UN Climate Report: Carbon Removal Is Now “Essential” ». *MIT Technology Review*, 4 avril 2022. <https://www.technologyreview.com/2022/04/04/1048832/un-climate-report-carbon-removal-is-now-essential/>.

Temple, James. 2022. « Running Tide Is Facing Scientist Departures and Growing Concerns over Seaweed Sinking for Carbon Removal ». *MIT Technology Review*, 16 juin 2022. <https://www.technologyreview.com/2022/06/16/1053758/running-tide-seaweed-kelp-scientist-departures-ecological-concerns-climate-carbon-removal/>.

Zhang, Zhihua, John C. Moore, Donald Huisingsh, et Yongxin Zhao. 2015. « Review of Geoengineering Approaches to Mitigating Climate Change ». *Journal of Cleaner Production*, Carbon Emissions Reduction: Policies, Technologies, Monitoring, Assessment and Modeling, 103 (septembre): 898-907. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.076>.

Zhao, Mengying, Long Cao, Lei Duan, Govindasamy Bala, et Ken Caldeira. 2021. « Climate More Responsive to Marine Cloud Brightening Than Ocean Albedo Modification : A Model Study ». *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 126 (3) : e2020JD033256. <https://doi.org/10.1029/2020JD033256>.

Zickfeld, Kirsten, et Tyler Herrington. 2015. « The Time Lag between a Carbon Dioxide Emission and Maximum Warming Increases with the Size of the Emission ». *Environmental Research Letters* 10 (3): 031001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/3/031001>.

## RAPPORTS DU GIEC

Groupe d'experts intergouvernemental sur le climat (GIEC). 2022. : Summary for Policymakers. In : Climate Change 2022 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. A+

Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-33, doi:10.1017/9781009325844.001.

Ara Begum, R., R. Lempert, E. Ali, T.A. Benjaminsen, T. Bernauer, W. Cramer, X. Cui, K. Mach, G. Nagy, N.C. Stenseth, R. Sukumar, and P. Wester, 2022 : Point of Departure and Key Concepts. In : Climate Change 2022 : Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 121-196, doi:10.1017/9781009325844.003.

Riahi, K., R. Schaeffer, J. Arango, K. Calvin, C. Guivarch, T. Hasegawa, K. Jiang, E. Kriegler, R. Matthews, G.P. Peters, A. Rao, S. Robertson, A.M. Sebbit, J. Steinberger, M. Tavoni, D.P. van Vuuren, 2022 : Mitigation pathways compatible with long-term goals. In IPCC, 2022 : Climate Change 2022 : Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.005

Clarke, L., Y.-M. Wei, A. De La Vega Navarro, A. Garg, A.N. Hahmann, S. Khennas, I.M.L. Azevedo, A. Löschel, A.K. Singh, L. Steg, G. Strbac, K. Wada, 2022 : Energy Systems. In IPCC, 2022 : Climate Change 2022 : Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.008

Babiker, M., G. Berndes, K. Blok, B. Cohen, A. Cowie, O. Geden, V. Ginzburg, A. Leip, P. Smith, M. Sugiyama, F. Yamba, 2022 : Cross-sectoral perspectives. In IPCC, 2022 : Climate Change 2022 : Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.005

Patt, A., L. Rajamani, P. Bhandari, A. Ivanova Boncheva, A. Caparrós, K. Djemouai, I. Kubota, J. Peel, A.P. Sari, D.F. Sprinz, J. Wettstad, 2022 : International cooperation. In IPCC, 2022 : Climate Change 2022 : Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.016



## MEMBRES DE LA COMMISSION

---

### Président

#### Jocelyn Maclure

Professeur titulaire  
Faculté de philosophie, Université McGill

### Membres

#### M. Michel Bergeron

Travailleur autonome  
Consultant en éthique, en recherche  
et en intégrité scientifique

#### Mme Mélanie Bourassa Forcier

Professeure agrégée  
Université de Sherbrooke

#### M. Guillaume Chicoisne

Directeur des programmes scientifiques  
Université de Montréal – IVADO

#### Mme Nathalie De Marcellis-Warin

Professeure  
École Polytechnique de Montréal

#### M. Michel Désy

Conseiller en éthique,  
Institut national de santé publique du Québec  
(INSPQ)

### Observateur

Poste vacant

### Secrétariat

#### Nicolas Seney

Secrétaire général

#### M. Benoît Dubreuil

Directeur régional  
Agence d'évaluation d'impact du Canada

#### Mme Miriam Fahmy

Conseillère en transfert  
Territoires innovants en économie sociale  
et solidaire (TIESS)

#### Mme Naima Hamrouni

Professeure régulière  
Université du Québec à Trois-Rivières

#### M. Éric Montpetit

Vice-doyen  
Faculté des arts et des sciences – Direction  
Université de Montréal

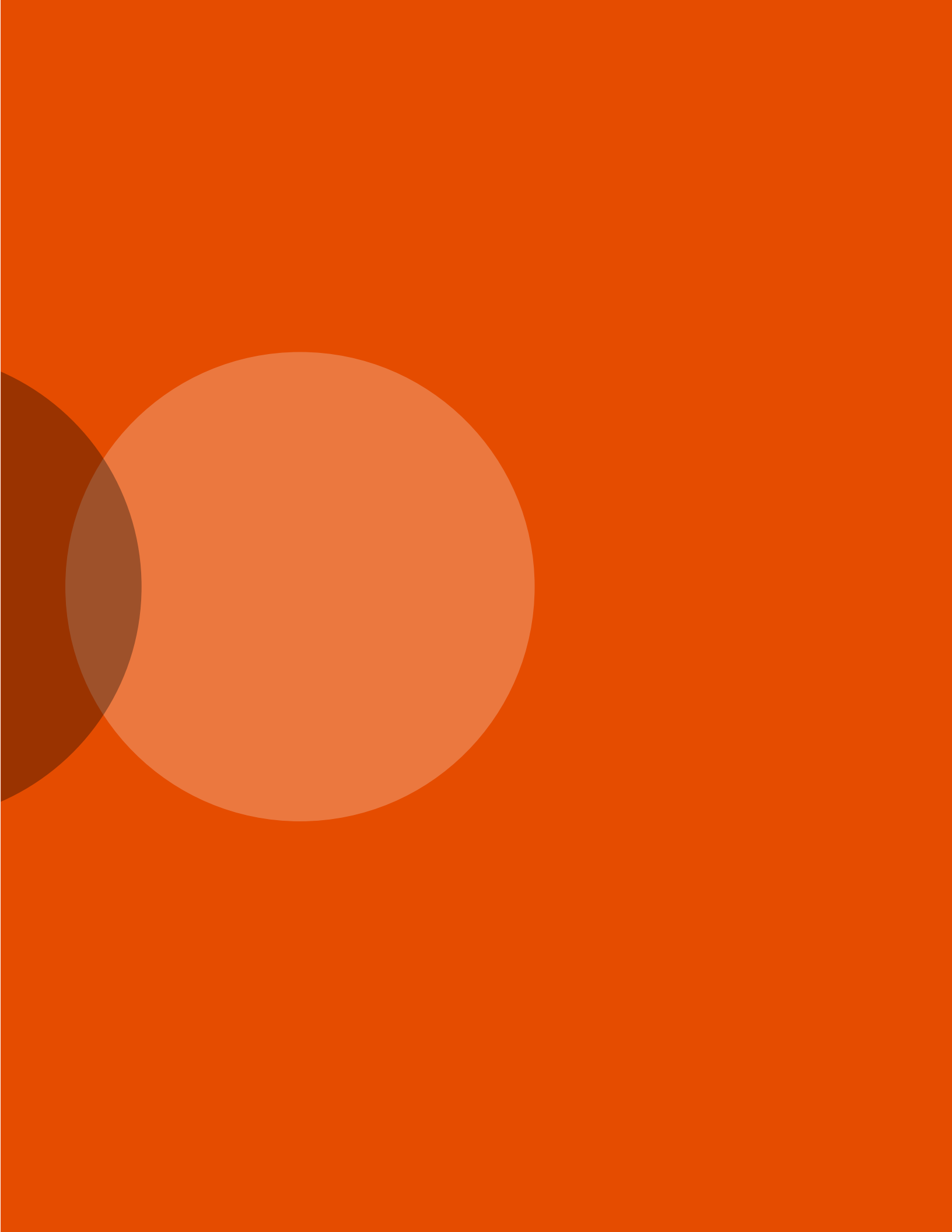
#### Mme Nathalie Orr Gaucher

Professeure agrégée de clinique  
Département de pédiatrie, Faculté de médecine,  
Université de Montréal

#### M. Éric Simard

Président-directeur général,  
Idunn Technologies inc.

**1 poste vacant**





**CEST** 

COMMISSION DE L'ÉTHIQUE  
EN SCIENCE ET EN TECHNOLOGIE