

## La géo-ingénierie face aux changements climatiques : Enjeux épistémologiques, politiques et éthiques

Marie-Hélène Parizeau\*

**Résumé :** Cet article porte d'abord sur le débat épistémologique et politique de la classification des techniques de géo-ingénierie – les techniques qui gèrent le rayonnement solaire et les techniques d'extraction du CO<sub>2</sub> atmosphérique. Ce débat révèle en effet des choix normatifs et idéologiques entre les tenants du technicisme et ceux de l'écologie. Nous analysons ensuite comment la Déclaration de principes éthiques en rapport avec le changement climatique de l'UNESCO de 2017 peut participer à l'effort réflexif et normatif en cours. L'examen des principes de la Déclaration qui pourraient fournir un cadre éthique aux techniques de géo-ingénierie permet de conclure que cette approche est trop anthropocentrée, surtout concernant les techniques d'extraction du CO<sub>2</sub> atmosphérique.

**Mots-clés :** géo-ingénierie, éthique, changements climatiques, responsabilité envers les générations futures, technicisme, anthropocentrisme

### Introduction

Nairobi, mars 2019, à l'Assemblée des Nations Unies pour l'environnement du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), une proposition soutenue par la Suisse et dix autres pays est portée à l'ordre du jour demandant que le PNUE prépare un document sur la géo-ingénierie, en particulier sur les techniques d'injection d'aérosols dans la stratosphère qui

---

\* Marie-Hélène Parizeau est professeure à la Faculté de philosophie de l'Université Laval. De 2015 à 2019, elle a été présidente de la Commission mondiale d'éthique des connaissances scientifiques et des technologies de l'UNESCO (COMEST). Elle a publié de nombreux ouvrages collectifs en bioéthique et en éthique de l'environnement, dont le dernier aux Presses de l'Université Laval, en 2019, avec Soheil Kash, *La société robotisée. Enjeux éthiques et politiques*.

visent à bloquer le rayonnement solaire. D'autres pays comme les États-Unis font échouer cette proposition en affirmant, entre autres, que cette question relève de la *Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques* de 1992 et du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (Tollefson, 2019, p. 156).

Les scénarios de géo-ingénierie font pourtant l'objet de multiples discussions scientifiques depuis plus d'une vingtaine d'années et le GIEC, dans son rapport de 2018 sur le réchauffement planétaire de 1,5°C, analyse les techniques de géo-ingénierie (IPCC, 2018, p. 394). Ces techniques visent à retirer le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère ou à bloquer une partie des effets du CO<sub>2</sub> atmosphérique dans le but de diminuer la température globale de la planète. Si elles démontraient leur efficacité au plan scientifique, ces techniques de géo-ingénierie pourraient agir rapidement de manière à compenser l'inertie et la lenteur des changements structurels, politiques et économiques, pour décarboner certains secteurs comme l'industrie, le transport, l'agriculture, le numérique, etc. Or le temps presse, la fenêtre d'opportunité pour ne pas dépasser le 2° C de réchauffement climatique mondial n'est guère plus que d'une dizaine d'années. Ce rapport du GIEC laisse donc la porte ouverte à toute une série de questions scientifiques, économiques, sociales, éthiques et politiques sur l'utilisation de la géo-ingénierie qui sont laissées en suspens. Il y a donc largement motif à discussion tant au sein des Nations unies que des universitaires ou des ONG.

Notre article vise à explorer deux questions. La première concerne la classification des techniques de géo-ingénierie et ses dimensions politiques. Ce n'est pas un sujet anodin, car nous verrons que les types de technologies offrent des moyens fort différents avec des avantages et des risques parfois difficilement mesurables et qui font controverses dans la communauté scientifique. C'est à la fois un enjeu épistémologique et normatif, car, à partir de ces définitions et classifications, les instances politiques internationales et gouvernementales édictent des règlements, des lois, des interdictions ou des moratoires, etc. La dimension normative nous intéresse particulièrement, car elle permet de clarifier le débat de la classification afin de comprendre la polarisation qu'elle induit entre ceux qui défendent des solutions

techniques de pointe suivant la logique à *un problème technique, il y a une solution technique* (Ellul, 2012) et ceux qui ont une approche écologique du problème.

La deuxième question s'intéresse au cadre éthique de la géo-ingénierie et nous examinerons celui proposé par l'UNESCO dans sa *Déclaration sur l'éthique des changements climatiques* de 2017. Nous verrons dans quelle mesure cette Déclaration peut être une source d'inspiration d'un cadre éthique à l'utilisation des techniques de la géo-ingénierie.

## **1. Les techniques de géo-ingénierie**

Afin de comprendre les termes du débat, il faut minimalement comprendre les techniques qui sont en jeu. Il n'est pas ici question d'entrer dans le détail de ces techniques – plusieurs excellents rapports l'ont très bien fait (House of Commons, 2010; National Research Council of the National Academies, 2015; Royal Society et Royal Academy of Engineering, 2018; GESAMP, 2019), mais il s'agit d'exposer brièvement les principales techniques auxquelles on se réfère lorsqu'on parle de géo-ingénierie, pour ensuite aborder le complexe enjeu des définitions et classifications. Mais avant de faire une brève liste des techniques de géo-ingénierie, il est utile de faire un détour sur le contexte historique d'apparition de celles-ci.

### **1.1 Contexte historique d'apparition de la géo-ingénierie**

Rappelons que les sciences du climat se sont développées surtout après la 2<sup>e</sup> Guerre mondiale avec l'essor de la modélisation informatique (Parizeau, 2016). Le contexte de la guerre froide et de la course à l'armement nucléaire, et plus particulièrement la bombe H dans les années 1950, permet de faire des liens entre la puissance de la bombe et la modification possible des conditions météorologiques, climatologiques et environnementales (Boucher *et al.*, 2014). Les recherches militaires, tout particulièrement, alignent les scénarios de modification du climat. *La géo-ingénierie de l'environnement*, selon l'expression utilisée alors, s'est développée dans un rapport de destruction de l'environnement à des fins militaires. Ainsi, des techniques plus locales d'ensemencement des nuages par exemple, dans le but de prolonger la mousson, sont

utilisées par les États-Unis lors de la guerre du Vietnam avec l'usage des gaz défoliants (Tran, Amat et Pirot, 2007). Cette guerre totale s'attaque tant aux soldats et aux populations locales qu'à leur environnement et aux conditions météorologiques. Un cran d'arrêt sera mis en place avec la convention de 1977, ENMOD – Convention sur l'interdiction d'utiliser des techniques de modification de l'environnement à des fins militaires ou toutes autres fins hostiles –, signée par les États-Unis et l'URSS.

En parallèle, l'usage des satellites de télécommunication, dès 1960, avec la course spatiale entre les États-Unis et l'URSS, permet de mieux comprendre au plan scientifique les climats et l'atmosphère de la Terre. Mais ces connaissances vont du même coup alimenter de nouveaux scénarios de géo-ingénierie du climat pour rendre habitables des planètes comme Mars. La géo-ingénierie s'inscrit alors dans le contexte de la recherche spatiale, ce qui est encore le cas aujourd'hui. Avec les débats sur les changements climatiques, à partir des années 1990-2000, la géo-ingénierie entre dans la panoplie des techniques qui pourraient être utilisées pour atténuer les effets des changements climatiques et réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Dans leur genèse, les techniques de géo-ingénierie appartiennent donc à un ensemble de techniques d'intervention humaine en vue de modifier l'environnement et le climat sur une grande échelle, mais également à des échelles plus réduites sur la Terre, et éventuellement sur d'autres planètes. La visée de ces modifications (interventions militaires, connaissances scientifiques, extraction ou captation du CO<sub>2</sub>) peut donc être multiple et surtout différente.

## 1.2 Deux catégories principales de techniques de géo-ingénierie

De manière schématique, les scientifiques distinguent actuellement deux types de techniques en géo-ingénierie. La première concerne des techniques qui gèrent le rayonnement solaire (*solar radiation management, solar geoengineering*), la deuxième concerne l'extraction du CO<sub>2</sub> atmosphérique (*carbon dioxide removal*).

**La première catégorie gérant le rayonnement solaire,** concerne des techniques qui, de façon intentionnelle, modifient l'équilibre radiatif de la Terre. Le but est d'atténuer le rayonnement du soleil de

manière à diminuer la quantité d'énergie qui est absorbée par la Terre. S'il y a moins de chaleur absorbée, alors la température moyenne est plus basse. L'effet recherché est donc de baisser de façon significative la température moyenne de la Terre pour diminuer le réchauffement climatique. On comprendra que ces techniques n'interviennent pas dans la quantité de CO<sub>2</sub> anthropique émise.

Trois techniques principales se distinguent au plan scientifique. *La première* concerne les techniques d'injection d'aérosols dans la stratosphère (haute atmosphère). Il s'agit de disperser des gaz ou des particules de soufre qui, telles les cendres des volcans<sup>1</sup>, pourraient réfléchir une partie du rayonnement solaire de manière à entraîner une baisse de la température globale. *La deuxième technique* serait d'augmenter l'albedo<sup>2</sup> des nuages stratocumulus gris foncé sur les zones marines, par pulvérisation de particules d'eau de mer qui augmenterait la brillance des nuages. L'effet est la diminution de l'absorption du rayonnement solaire. Enfin, *la troisième technique* concerne la dispersion des nuages en haute altitude qui ont un effet important de réchauffement en injectant par exemple du bismuth triiodure.

Ces techniques font actuellement l'objet d'études scientifiques qui mesurent, outre leur coût et faisabilité, les risques induits par ces techniques, par exemple la fluctuation sur les précipitations régionales et leurs impacts sur les humains et les écosystèmes (Reynolds, 2019). Notons que ce premier type de techniques repose essentiellement sur des études de modélisation et très peu sur des études expérimentales *in vivo*. Aussi séduisantes que soient ces modélisations, elles s'appuient dans leurs projections, sur les données entrées dans le modèle ainsi que sur un certain nombre de paramètres que l'on veut mesurer.

Des scientifiques ont avancé par ailleurs de nouveaux scénarios, considérés actuellement comme peu réalistes : l'un propose de mettre en orbite des structures réfléchissantes en haute altitude, l'autre de développer des technologies pour accroître le rayonnement vers l'espace.

### **La deuxième grande catégorie de techniques s'intéresse à**

---

<sup>1</sup> En 1991, le Mont Pinatubo a injecté 20 millions de tonnes de dioxyde de soufre entraînant une chute de 0,5 °C de la température de la Terre.

<sup>2</sup> Albedo : fraction de la lumière réfléchie.

**l'extraction du CO<sub>2</sub>.** Il s'agit ici de capter du CO<sub>2</sub> sous une forme ou une autre afin d'en diminuer la quantité dans l'atmosphère, et donc de diminuer les effets des changements climatiques. Si on capte le CO<sub>2</sub>, les technologies utilisées ne visent pas les causes anthropiques des émissions de CO<sub>2</sub>.

*Une première série de techniques s'intéresse à l'océan* dont le rôle déterminant dans les changements climatiques a été documenté par les rapports du GIEC de 2014. La fertilisation des océans est une technique où, par exemple, une grande quantité de fer serait ajoutée dans des zones des océans afin de stimuler la production primaire marine qui utiliserait davantage de CO<sub>2</sub> en le stockant. Notons que cette méthode de géo-ingénierie marine a failli être utilisée en 2007 près des Galápagos et des îles Canari entraînant une réaction forte des ONG environnementales et de certains organes des Nations unies comme la *Convention sur la diversité biologique ou le Protocole de Londres sur la protection des océans* de l'Organisation maritime internationale (GESAMP, 2019).

Une autre technique qui concerne l'océan consiste à produire une alcalinisation – par exemple par ajout de chaux à partir de calcaire chauffé à haute température – de manière à modifier le pH de l'océan. Actuellement, les océans sous l'effet des changements climatiques s'acidifient, causant, par exemple, la mort des récifs de corail. L'effet de cette technique d'alcalinisation serait de stocker le carbone, soit dans des organismes vivants, soit sous forme de sédiments.

*La deuxième série de techniques s'intéresse à la capture du CO<sub>2</sub>,* mais cette fois-ci, sur ou dans les sols. Une technologie à l'étude concerne l'augmentation du carbone organique des sols par le biochar. L'idée est d'utiliser la biomasse et de la transformer par pyrolyse et d'en faire un composé – le biochar – qui sera ensuite enfoui dans le sol, permettant à la fois un stockage du carbone et une fertilisation des sols pauvres.

Une autre technologie consiste à augmenter de façon importante la surface des forêts par reboisement ou par afforestation, c'est-à-dire en mettant des arbres sur des surfaces qui n'en ont pas (zone désertique, zone de friche). Enfin, d'autres technologies concernant l'agriculture visent à modifier les pratiques et les flux de carbone par le bilan énergétique à la surface ou en changeant la réflectivité des sols.

Les techniques d'extraction du CO<sub>2</sub> sont donc variées et la géo-ingénierie s'applique ici à l'environnement, qu'il soit marin ou terrestre. Certains rapports utiliseront le vocable de *techniques à émission négative de CO<sub>2</sub>* (Jones et al., 2013) pour désigner cette catégorie de techniques.

## **2. La querelle des classifications : des enjeux épistémologiques et politiques**

Classifier, c'est délimiter et mettre un certain ordre parmi les objets. Mettre en œuvre une classification n'est pas neutre puisqu'elle valorise et exclut telle ou telle technique. La classification est une démarcation qui permet ensuite d'appuyer des décisions politiques, administratives et juridiques au niveau international ou national. Les discussions concernant la classification des techniques de géo-ingénierie sont politiquement très délicates puisque la classification se rapporte directement aux actions du champ complexe et controversé des changements climatiques. Dans l'analyse qui suit, nous voudrions distinguer deux niveaux d'arguments, l'un scientifique, l'autre politique, et dégager ensuite les arrière-plans idéologiques.

### **2.1 Des critères scientifiques ayant des incidences politiques**

Les scientifiques qui travaillent dans les sciences du climat ou de la géo-ingénierie cherchent à caractériser le domaine de la géo-ingénierie et son domaine d'application en prenant appui sur des critères scientifiques ou d'application pratique. Le rapport britannique de la *House of Commons* de 2010 donne un aperçu des problèmes de classification. Prenons deux exemples. Ce rapport fait basculer une technique comme la culture de plantes qui reflèteraient davantage l'albedo dans les techniques qui gèrent le rayonnement solaire. Or, dans la catégorisation scientifique que nous avons exposée dans la section précédente, cette technique fait partie de la catégorie de l'extraction du CO<sub>2</sub>. La ligne de séparation est donc mince et le choix du critère de sélection dans le rapport britannique correspond à *sa nature technique* (refléter l'albedo) et non à *la nature du résultat* (extraire du CO<sub>2</sub>). Ce changement de critères – nature de la technique plutôt que le critère du résultat –

peut paraître anodin à première vue. Cependant, il permet de légitimer politiquement plus facilement la catégorie du rayonnement solaire avec une technique socialement acceptable (choisir certaines plantes en agriculture pour refléter le rayonnement solaire paraît raisonnable), alors que les autres techniques de cette catégorie – par exemple, les injections d'aérosols dans la stratosphère – inquiètent nettement le public.

Ce rapport britannique, dans un autre exemple, exclut de la géo-ingénierie les techniques locales d'ensemencement des nuages qui modifient la météo à une échelle locale. Ici, c'est l'échelle qui est considérée, et non ses modalités d'usage – cette technique pourrait avoir un impact sur le climat régional si elle était utilisée de façon régulière et systématique. Or, cette technologie qui se sert de l'iodure d'argent pour la condensation de l'eau est déjà utilisée dans de nombreux pays tant par l'État que par des entreprises privées, pour faire pleuvoir, et ce pour une multitude de motifs : agriculture, feux de forêt, neige dans les stations de ski, transformation de la grêle, etc. Stratégiquement, le rapport britannique ne veut pas ouvrir une nouvelle boîte de pandore et des débats sociaux dans ce champ peu règlementé que certains considèrent comme de la géo-ingénierie. Critères scientifiques et considérations politiques s'entremêlent et l'on comprend ici l'importance des débats sur les critères de démarcation.

Il ressort de ce rapport, comme d'autres rapports, que la géo-ingénierie est considérée davantage comme une expression-parapluie pour désigner toute une série de techniques et de technologies qui ont des effets transfrontaliers à large échelle, dispersant des matières potentiellement dangereuses dans l'environnement et qui ont des effets sur les écosystèmes (House of Commons, 2009, p. 18). Dit de façon lapidaire, les scientifiques n'ont pas trouvé de critères techniques et scientifiques suffisamment clairs, uniformes et évidents pour classer les techniques de géo-ingénierie, c'est-à-dire inclure ou exclure certaines techniques et les ordonner. La géo-ingénierie n'est pas en ce sens une nouvelle discipline scientifique au sens strict du terme (Parizeau, 2010), mais un ensemble de moyens techniques utilisés aujourd'hui dans la lutte aux changements climatiques.

## **2.2 Entre mesures de compensation/atténuation et mesures d'adaptation : les nouveaux termes de la classification**

La multitude de définitions de la géo-ingénierie et de ses techniques ne permettait donc pas une traduction politique suffisamment simple au niveau international. Les discussions sur la classification ont donc repris sous un nouvel angle à partir des rapports des Académies des sciences des États-Unis de 2015. La question reformulée se pose ainsi : quelles sont les techniques et les technologies de géo-ingénierie qui tombent dans les mesures de compensation et d'atténuation (*mitigation*) et quelles sont celles qui participent aux mesures d'adaptation (*adaptation*) aux changements climatiques? Ces deux grandes catégories structurent en effet les débats de la *Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques* à partir de 1992. En 1998, l'accord de Kyoto introduit les mesures de compensation et d'atténuation, et, dans la mouvance de l'accord catastrophique de Copenhague de 2009, ce sont les mesures d'adaptation qui sont valorisées.

Les techniques de géo-ingénierie font donc maintenant l'objet d'une discussion au niveau international pour savoir lesquelles tombent sous les mesures de compensation et lesquelles sous les mesures d'adaptation. À nouveau, ceci n'a rien de d'anodin au plan politique. Comme le montre le rapport de 2017 du PNUE, on peut alors distribuer les techniques de géo-ingénierie d'extraction du CO<sup>2</sup> suivant un gradient de technologies « naturelles », « combinées naturelles et technologiques » ou « technologiques » (UNEP, 2017, p. 58). Ce gradient est aussi un indicateur croissant de coût, de la réversibilité des technologies utilisées, des capacités humaines et technologiques (tableau 1). Ce sont donc de nouveaux critères qui sont utilisés pour catégoriser et ils mettent davantage l'accent sur les impacts des techniques de géo-ingénierie d'extraction du CO<sub>2</sub> du point de vue environnemental et local. En conséquence, cette classification liée à la *Convention-cadre sur les changements climatiques* isole complètement les techniques de géo-ingénierie portant sur la gestion du rayonnement solaire qui entrent alors dans la catégorie des mesures de compensation et d'atténuation (*mitigation*). Ces distinctions sont évidemment l'objet de discussion (Heyward, 2013).

Techniques naturelles	Mixte de techniques naturelles et technologies	Technologies plus complexes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reforestation et afforestation (utilisation du CO<sub>2</sub> atmosphérique)</li> <li>• Biochar</li> <li>• Gestion agricole (captation du CO<sub>2</sub> dans le sol)</li> <li>• Utilisation des sols - restauration, construction de système de captation de carbone de haute densité, écosystèmes anaérobiques</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioénergie avec captage de carbone et stockage (BECCS bioenergy with carbone capture and sequestration)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Systèmes industriels utilisant le CO<sub>2</sub> de la biomasse pour alimenter des systèmes d'énergie</li> <li>○ Conversion du CO<sub>2</sub> et stockage sous terre</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accelerated Weathering (réaction de minéraux naturels pour lier le CO<sub>2</sub> sous la forme de nouveaux minéraux)</li> <li>• Capture directe du CO<sub>2</sub> stocké dans le sol</li> <li>• Augmentation de l'alcalinité des océans</li> <li>• CO<sub>2</sub> transformé sous la forme de carbone durable (matériaux ayant une longue durée d'existence)</li> </ul>
<p style="text-align: center;">➔</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Moins coûteux</li> <li>• Plus local</li> <li>• Plus vulnérable à la réversibilité</li> </ul>	<p style="text-align: center;">↔</p>	<p style="text-align: center;">←</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plus coûteux</li> <li>• Besoin de R&amp;D croissant</li> <li>• Moins vulnérable à la réversibilité</li> </ul>

**Tableau 1.** Les stratégies pour des émissions négatives – techniques de géo-ingénierie d'extraction du CO<sub>2</sub>, excluant les techniques de gestion du rayonnement solaire. D'après la figure 7.1 du Rapport de l'UNEP, 2017, p. 58.

### 2.3 Une classification directement liée aux négociations politiques sur le climat

Au plan politique, les mesures de compensation et d'atténuation sont actuellement plutôt marginalisées dans les discussions internationales de la *Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques*, l'attention étant davantage tournée vers les mesures d'adaptation qui relèvent d'actions plus locales au niveau de chaque pays. Les grandes actions politiques concertées pour une gouvernance mondiale des changements climatiques, qui

soutenaient les discussions de la Convention dans les années 1990 avec le *Protocole de Kyoto*, se sont dissipées dans les années 2000 avec la position irresponsable des États-Unis, de l'administration Bush et des lobbys climatosceptiques (Jamieson, 2014).

Cette classification, en redistribuant les techniques de géo-ingénierie, a une signification politique au niveau international. D'un côté, les techniques de géo-ingénierie d'extraction du CO<sub>2</sub> seraient *a priori* plus acceptables parce que, ayant un gradient technologique, les scientifiques peuvent davantage mesurer les effets positifs et les risques sur l'environnement. Ces techniques, plus variées, sont *a priori* moins controversées sur les plans politique et social, puisque certaines de ces techniques de type adaptatif sont à la portée des pays riches comme des pays pauvres dans la lutte contre les effets des changements climatiques.

De l'autre côté, les techniques de géo-ingénierie qui gèrent le rayonnement solaire, quant à elles, en tombant dans les mesures d'atténuation, focalisent sur les moyens financiers et techniques très sophistiqués que seuls quelques pays possèdent. Ces techniques sont nettement plus controversées sur le plan scientifique et leurs conséquences plus aléatoires. Quant à leur mise en œuvre, elles relèvent d'une gouvernance mondiale et d'une justice globale pour le moins difficile dans le contexte géopolitique actuel (Burns et Strauss, 2013).

Cette nouvelle catégorisation est-elle vraiment plus cohérente? La question n'est plus vraiment là puisque cette classification est le résultat évolutif des rapports de force et des négociations politiques et scientifiques sur le climat. Cette classification comporte des aspects positifs et négatifs. Les aspects positifs se concentrent sur une véritable réflexion et une systématisation des types d'interventions techniques d'adaptation aux changements climatiques que les pays, suivant leur capacité politique et économique, peuvent mettre en œuvre de manière à accélérer les stratégies d'émission négative<sup>3</sup>. L'action est possible à grande échelle et chaque État peut faire des choix adaptés à ses capacités financières et humaines – la reforestation ou le changement de pratiques agricoles coûtent moins cher et sont

---

<sup>3</sup> Les émissions négatives concernent les activités et les techniques permettant d'extraire du CO<sub>2</sub> atmosphérique et de le stocker.

aussi accessibles pour les pays africains, par exemple, que la captation du CO<sub>2</sub> dans le sol par le biais d'installations industrielles que peuvent mettre en œuvre, de leur côté, les pays européens, par exemple.

Les aspects négatifs sont de différents ordres. Augustin Fragnière et Stephen Gardiner (2016) ont montré que cette nouvelle configuration donne l'illusion que la géo-ingénierie constitue cependant «un plan B» en ouvrant la porte aux techniques de géo-ingénierie liées à la gestion du rayonnement solaire aux pays qui en ont la capacité financière et politique. Ainsi sont relancés les débats de faisabilité et de gouvernance de ces techniques, et ce, ajouterons-nous, dans un contexte géopolitique conflictuel où, depuis 2015, les États-Unis accélèrent un nouveau programme de conquête spatiale en compétition avec la Chine (Pasco, 2017). Il devient politiquement séduisant pour les États-Unis, par exemple, d'agir contre les changements climatiques en lançant des satellites avec des miroirs réfléchissants dans un partenariat économique avec des compagnies privées du genre *SpaceX*. La dimension utopique et optimiste face à la catastrophe climatique, ainsi que l'idéologie guerrière originelle de la géo-ingénierie, rend à nouveau aveugle aux impacts éthiques et politiques de ces décisions. La nature des risques – dérèglements climatiques régionaux accentués, impacts sur le cycle de l'eau, modifications majeures des écosystèmes et perte de la biodiversité, impacts sur l'agriculture, etc. – sur la Terre et pour l'ensemble des êtres humains et des écosystèmes n'autorise pourtant pas de jouer à l'apprenti sorcier (Gardiner, 2013).

## 2.4 Idéologies techniciste et écologique

Ce débat sur la classification de la géo-ingénierie reflète une fracture idéologique profonde qui traverse historiquement les négociations des États sur les changements climatiques. Le discours politico-économique du climatoscepticisme est, certes, plus difficile à tenir aujourd'hui face aux dérèglements du climat mondial et à ses conséquences de plus en plus visibles (multiplication des tempêtes, inondations, sécheresses, feux, etc.) et coûteuses, comme les compagnies d'assurances peuvent en témoigner. Le climatoscepticisme fait donc place à un discours ouvertement

techniciste dont la géo-ingénierie incarne probablement le mieux la puissance et l'optimisme technologiques avec l'idée que des solutions techniques viendront à bout du problème technique – l'excès de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Il y aurait même, dans cette logique, une urgence à développer ces technologies puisque leurs impacts seront autant importants qu'efficaces. C'est une question de contrôle et de maîtrise des paramètres physico-chimiques, d'expérimentation scientifique et d'innovation technique orientés par l'État et appuyés sur le marché économique capitaliste. Par sa portée technicienne, la géo-ingénierie permet de ne pas remettre en cause le modèle économique capitaliste dominant de la révolution industrielle qui a induit les changements climatiques. Ce discours techniciste s'inscrit dans ce qu'Ellul a décrit comme l'expression d'une civilisation technicienne<sup>4</sup> et qu'Habermas a analysé comme l'idéologie du complexe technico-militaro-industriel<sup>5</sup>. La géo-ingénierie pourrait ainsi relancer un nouveau cycle d'innovation technologique dans l'espace.

À l'opposé, l'autre discours idéologique écologiste vient des environnementalistes (scientifiques, ONG, partis politiques écologistes, regroupements de citoyens) qui remettent en cause le système économique actuel ayant induit l'augmentation du CO<sub>2</sub> anthropique causant les changements climatiques. Ils plaident pour s'attaquer à la racine du problème en proposant diverses formes de transition énergétique vers une transition écologique pour diminuer de façon radicale les émissions de CO<sub>2</sub> des pays et des filières industrielles qui en émettent le plus. Les thèmes classiques des philosophies de l'environnement, du développement

---

<sup>4</sup> « [C]ivilisation technique, cela signifie que notre civilisation est construite par la technique (fait partie de la civilisation uniquement ce qui est objet de technique), qu'elle est construite pour la technique (tout ce qui est dans la civilisation doit servir à une fin technique), qu'elle est exclusivement technique (elle exclut tout ce qui ne l'est pas ou le réduit à sa forme technique). (Ellul, 1990, p. 116)

<sup>5</sup> « Avec l'apparition de la recherche industrielle à une grande échelle, science, technique et mise en valeur industrielle se sont trouvées intégrées en un seul et même système. Entre temps, la recherche industrielle a été couplée avec la recherche scientifique sur commande de l'État qui favorise en premier lieu les progrès scientifiques et techniques dans le domaine militaire ». (Habermas, 1973, p. 43)

durable à l'écologie profonde (*deep ecology*), se trouvent mêlés aux choix pratiques - recyclage, arrêt de la surconsommation et de l'obsolescence programmée des objets techniques, économie circulaire, transport actif, agriculture de proximité sur le modèle de l'agroécologie, commerce équitable, etc.

Dans cette perspective très polarisée, on comprend qu'il devient stratégiquement et politiquement utile pour certains groupes de séparer ou au contraire d'amalgamer, les techniques de géo-ingénierie fondées sur les sciences de l'écologie qui concernent l'extraction du CO<sub>2</sub> atmosphérique, des techniques de géo-ingénierie technicistes et capitalistes qui gèrent le rayonnement solaire.

Au niveau international, les enjeux actuels de la géo-ingénierie sont tellement imbriqués dans les négociations de la *Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques* qu'il semble nécessaire de les lire en parallèle avec l'évolution des débats sur les changements climatiques. Si des appels à une gouvernance mondiale de la géo-ingénierie sont régulièrement lancés, l'évolution actuelle des accords internationaux sur le climat converge vers un consensus pragmatique minimal où chaque pays est appelé à s'adapter aux changements climatiques à la mesure de ses moyens financiers et technologiques. Chacun des pays, du nord au sud, peut donc participer à son échelle nationale, de façon variable et selon ses priorités politico-économiques, à l'effort mondial de lutte contre les changements climatiques. Il reste que chaque pays est plus ou moins traversé par des tensions idéologiques entre technicisme et écologisme.

Ces tensions idéologiques se reflètent aussi à l'échelle politique des organes des Nations unies. Ce débat n'est pas nouveau, il était déjà présent lors du premier Sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992; il s'est simplement déplacé ensuite sur un autre terrain, celui des changements climatiques. D'ailleurs, c'est à partir de la *Convention sur la diversité biologique* (CDB) de 1992, qui affirme la valeur intrinsèque de l'environnement, que la question de la géo-ingénierie a été examinée attentivement au niveau des Nations unies. Dès 2008, lors de la Conférence des Parties de la CDB, la technique de la fertilisation des océans a fait l'objet d'un moratoire tant que les bases scientifiques ne pouvaient justifier ce type de technique qui comporte des conséquences

néfastes sur la diversité marine. La *Convention de Londres*, en 2013, a emboîté le pas en interdisant la géo-ingénierie marine à l'exception de recherches scientifiques autorisées. En 2012, le Secrétariat à la CDB a produit deux études qui concluaient à une ignorance des effets des techniques de géo-ingénierie sur la biodiversité. Une mise à jour des connaissances a été effectuée en 2016 qui fait état des débats scientifiques en introduisant dans l'évaluation des impacts des différentes techniques de géo-ingénierie sur les écosystèmes, les conséquences socio-économiques et culturelles sur les populations humaines. Les techniques de géo-ingénierie sont devenues un sujet de préoccupations politiques croissantes à l'ordre du jour de plusieurs agences internationales, comme le PNUE en 2019.

Nous sommes donc très loin d'une gouvernance mondiale de la géo-ingénierie. Mais certains auteurs vont affirmer qu'il existe une «gouvernance *de facto*», bref un système de règles émergentes qui cherche «un ordre dans le désordre» et qui s'est manifesté progressivement depuis les deux rapports de commissions d'experts (Royal Society Report de 2009 [Grande-Bretagne] et National Academies of Sciences Reports de 2015 [États-Unis]). Ces rapports ont encadré les discussions et produit des normes sur les techniques de géo-ingénierie, encore appelée dans ce contexte «*climate engineering*» (Gupta et Möller, 2019). Dans une étude comparative des principaux rapports, David Morrow (2017) synthétise les aspects convergents d'une gouvernance des techniques de géo-ingénierie appliquées au climat : 1) les techniques de géo-ingénierie, si elles sont utilisées, ne devraient l'être qu'en supplément des approches d'adaptation et des mesures de compensation et d'atténuation des changements climatiques; 2) les lois actuelles offrent une gouvernance partielle qui doit être complétée; 3) un moratoire général en ce moment n'est pas une option souhaitable; 4) les structures de gouvernance doivent encourager la coopération et la coordination internationales, ainsi que la transparence dans les processus scientifiques; 5) certaines formes d'engagement du public sont souhaitables. Ces énoncés, s'ils appellent de nombreux commentaires qui dépassent le cadre de cet article, permettent en tout cas de comprendre que la gouvernance n'est pas l'éthique parce qu'elle s'intéresse davantage aux mécanismes d'encadrement juridiques (fussent-ils de la *soft law*) et aux institutions qui les

mettent en œuvre. La gouvernance porte sur les procédures qui permettent éventuellement d'écarter les conflits politiques et sur l'ordonnancement des rapports de pouvoir. Pour le dire très vite, l'éthique se situe ailleurs et contribue d'une autre façon aux débats. L'éthique se présente sous deux dimensions : la réflexion sur ce qui est bien ou juste, et l'élaboration normative de valeurs ou de principes partagés au sein d'une communauté ou par rapport à un horizon d'universalité. Dans la dernière section, nous allons illustrer comment l'éthique peut contribuer aux discussions sur l'utilisation ou non des techniques de géo-ingénierie. Nous prendrons l'exemple de la *Déclaration de principes éthiques en rapport avec le changement climatique* de l'UNESCO de 2017 et nous analyserons comment ce type de déclaration d'un organe des Nations unies pourrait participer à l'effort réflexif et normatif en cours. Le choix de cette Déclaration se justifie puisque le débat sur les techniques de géo-ingénierie est intrinsèquement lié aux débats sur l'éthique des changements climatiques (Gardiner *et al.*, 2010).

### **3. La Déclaration de principes éthiques en rapport avec le changement climatique de l'UNESCO et les enjeux de la géo-ingénierie**

L'histoire de la *Déclaration de principes éthiques en rapport avec le changement climatique* de l'UNESCO (2017) est longue et laborieuse puisque, de 2010 à 2015, quatre rapports de la Commission mondiale d'éthique des connaissances scientifiques et des technologies (COMEST) en ont construit le parcours jusqu'à l'adoption de la Déclaration le 13 novembre 2017. Nous nous intéresserons ici au résultat de la Déclaration sachant que celle-ci a fait l'objet de négociations entre les États membres dans le contexte politique particulier du sillage de la COP 21 et de l'*Accord de Paris* du 12 décembre 2015 qui a donné un nouveau souffle à la lutte contre les changements climatiques.

La Déclaration de principes éthiques en rapport avec le changement climatique de l'UNESCO (2016) décline six principes éthiques :

1. *La prévention des nuisances (prevention of harm)*, en les anticipant, les évitant ou en les réduisant.
2. *L'approche de précaution (precautionary approach* dans la version anglaise de la Déclaration) où l'absence de certitude scientifique absolue ne devrait pas servir de prétexte pour différer l'adoption de mesures économiques pour prévoir, prévenir ou atténuer les causes des changements climatiques.
3. *L'équité et la justice* avec la réaffirmation du principe «des responsabilités communes mais différenciées. L'interaction des humains et des écosystèmes est affirmée en soulignant leur interdépendance.
4. *Le développement durable* avec les Objectifs de développement durable (ODD).
5. *La solidarité* collective et individuelle envers les groupes les plus vulnérables.
6. *Les connaissances scientifiques et l'intégrité dans la prise de décision.*

Ces six principes se déclinent à partir de l'affirmation de la responsabilité envers les générations présentes et futures.

Le cadre éthique de la Déclaration de l'UNESCO est nettement anthropocentriste et davantage tourné vers les intérêts humains dans la lutte contre les changements climatiques. L'ouverture vers une perspective plus écocentriste développée dans les documents préalables de la COMEST n'est visible que dans le principe 3) sur l'équité et la justice, qui introduit l'idée d'interdépendance entre les humains et les écosystèmes. La Déclaration n'introduit pas la valeur intrinsèque de la nature (sa valeur en soi en dehors d'une valorisation d'utilité humaine), alors que la CDB, à la première phrase de son préambule de 1992, affirme la valeur intrinsèque de la diversité biologique (Parizeau, 1997). La Déclaration, quant à elle, s'appuie sur le principe du développement durable et des ODD dont l'anthropocentrisme assumé cherche un équilibre entre l'économie, le développement

humain et l'environnement. On saisit ici la différence importante d'objets, certes (la CDB a pour objet la diversité biologique, la Déclaration de l'UNESCO a pour objet les changements climatiques), mais surtout de perspectives et d'arrière-plans philosophiques qui influencent le cadre interprétatif des principes. Comment alors la Déclaration de principes éthiques en rapport avec le changement climatique de l'UNESCO peut-elle inspirer un cadre éthique pour les techniques de géo-ingénierie? Plusieurs principes pourraient être ici mobilisés afin de guider les politiques publiques des États en matière de géo-ingénierie.

Le principe de la prévention des nuisances ou des effets dommageables donne une orientation pour mesurer de façon scientifique les impacts réels des techniques de géo-ingénierie, quelles qu'elles soient. Ces impacts concernent à la fois les populations humaines et les écosystèmes puisque le principe de justice reconnaît l'interdépendance des êtres humains envers les écosystèmes. On ne peut ici appliquer un simple calcul d'utilité ou une évaluation des risques et bénéfices anthropocentriques.

L'approche de précaution, le deuxième principe, vient appuyer cette analyse en insistant sur la nécessité d'agir pour atténuer les causes des changements climatiques ou en limiter les effets néfastes même en l'absence de certitude scientifique. Les techniques de géo-ingénierie ne s'attaquent pas aux causes des changements climatiques, mais certaines d'entre elles, si elles respectent le principe de la prévention des nuisances, peuvent en limiter certains effets néfastes. On comprend pourquoi dans ses analyses, le GIEC examine les techniques de géo-ingénierie. Le principe des connaissances scientifiques et l'intégrité dans la prise de décision sont ici complémentaires puisqu'ils soulignent le rôle essentiel des connaissances scientifiques à jour afin d'orienter le jugement politique. En matière de géo-ingénierie, il paraît en effet essentiel que les décisions politiques soient informées par les connaissances scientifiques afin d'éviter de prendre des décisions portées par les enjeux géopolitiques et économiques de la course spatiale, par exemple.

Le principe de justice et d'équité pointe dans la direction de l'engagement de tous et de la protection des groupes les plus pauvres ou vulnérables. Or certaines techniques de géo-ingénierie qui gèrent le rayonnement solaire comme l'injection d'aérosols

pourraient induire des modifications sur l'intensité de la mousson (perturbation du cycle de l'eau). Ceci pourrait avoir des conséquences catastrophiques pour certains pays déjà pauvres d'Afrique et d'Asie du Sud-Est (Burns, 2013). Certaines techniques de géo-ingénierie qui gèrent le rayonnement solaire pourraient donc avoir des conséquences particulièrement injustes pour des pays pauvres peu émetteurs de CO<sub>2</sub>.

Par ailleurs, le principe de justice est adossé à la responsabilité envers les générations présentes et futures. Ce principe de transmission intergénérationnelle affirme que chaque génération doit s'efforcer, d'une part, d'assurer le maintien et la perpétuation de l'humanité dans le respect de la dignité de la personne humaine, et d'autre part, de préserver l'intégrité de l'environnement et des ressources pour la génération suivante (UNESCO, 1997). Comme Will Burns l'analyse, les techniques de géo-ingénierie qui gèrent le rayonnement solaire peuvent difficilement passer le test du principe de la responsabilité envers les générations futures, car ces techniques passent à côté du vrai problème, les émissions de CO<sub>2</sub>, et vont créer d'autres problèmes majeurs et des inégalités tant entre les humains que vis-à-vis l'environnement. Pour Burns, si et seulement si l'économie mondiale est décarbonée, alors nous pouvons répondre à l'exigence morale de la responsabilité envers les générations futures et de l'équité intergénérationnelle.

### **En guise de conclusion**

Le cadre éthique de la *Déclaration de principes éthiques en rapport avec le changement climatique* de l'UNESCO donne en effet des repères éthiques pertinents pour analyser les techniques de géo-ingénierie, en particulier celles qui gèrent le rayonnement solaire. Concernant les techniques d'extraction du CO<sub>2</sub> atmosphérique, la Déclaration de l'UNESCO, par sa dimension anthropocentriste, manque de critères éthiques se rapportant à la valeur intrinsèque des écosystèmes, pour guider l'agir politique.

La situation au Canada et au Québec nous permet d'illustrer ce problème éthique. D'un côté, le premier ministre du Canada, Justin Trudeau, a annoncé en septembre 2019 vouloir planter deux milliards d'arbres pour compenser l'expansion du

pipeline *Trans Mountain* et l'augmentation de CO<sub>2</sub> ainsi généré par l'extraction du pétrole. L'échange se résume à « du pétrole contre des arbres ». Ce troc ne modifie en rien la nature du problème des émissions de CO<sub>2</sub> produit par l'extraction du pétrole au Canada.

De l'autre, le ministre des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, M. Pierre Dufour, annonce quant à lui, au même moment, son projet d'intensifier la coupe forestière pour mieux capter le carbone sous forme de produits forestiers et stimuler ainsi de nouvelles pousses d'arbres avides de CO<sub>2</sub>. Cette équation fantastique, du genre « deux pour un », permet de couper des arbres tout en stockant du CO<sub>2</sub> par de nouvelles jeunes forêts et des produits forestiers. Le problème éthique évidemment est que la forêt ne se résume pas en arbres coupés. La forêt est un écosystème avec des milliers d'espèces de plantes, d'animaux et de micro-organismes n'ayant pas de valeur économique, mais une valeur en soi, celle de la diversité biologique, condition de la vie sur Terre pour tous les êtres vivants, y compris les êtres humains. Ne pas couper les vieilles forêts serait donc certainement une très bonne idée puisqu'elles continuent de séquestrer du CO<sub>2</sub> et conservent la diversité biologique essentielle aux conditions d'adaptation de tous les vivants aux changements climatiques.

Ces deux exemples montrent la difficulté de sortir d'un schéma de valeurs anthropocentriste pour affronter les défis des changements climatiques, de même que la nécessité d'un changement de perspective et de valeurs pour permettre d'imaginer et de penser les transitions énergétique et écologique.

Les techniques de géo-ingénierie cristallisent cette tension éthique entre perspectives techniciste, anthropocentriste et écocentriste. Elles posent de façon directe le problème de la production anthropique du CO<sub>2</sub>. Elles ouvrent certes, sur la complexité, mais aussi sur la diversité des réponses pour décarboner de façon accélérée l'économie mondiale de manière juste et écologique.

## Références

BOUCHER, O. et al. (2014). *Réflexion systémique sur les enjeux et méthodes de la géo-ingénierie de l'environnement*, rapport final des Ateliers de réflexion

- PROSPECTIVE REAGIR, [EN LIGNE]. [HTTP://WWW.MINH.HADUONG.COM/FILES/BOUCHER.EA-2014-RAPPORTFINALREAGIR.PDF](http://www.minh.haduong.com/files/BOUCHER.EA-2014-RAPPORTFINALREAGIR.PDF)
- BURNS, W. (2013). « Climate Geoengineering. Solar Radiation Management and Its Implications for Intergenerational Equity », dans Burns, W. et A. Strauss (dir.) *Climate Change Geoengineering: Philosophical Perspective, Legal Issues and Governance Framework*, Cambridge University Press, p. 200-220.
- BURNS, W. et A. STRAUSS, A. (dir.) (2013). *Climate Change Geoengineering: Philosophical Perspective, Legal Issues and Governance Framework*, Cambridge University Press.
- COMEST (2016). *Les principes éthiques en rapport avec le changement climatique : rapports de la Commission mondiale d'éthique des connaissances scientifiques et des technologies (COMEST) de l'UNESCO, (2010-2015)* [en ligne]. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245280>
- ELLUL, J. (1990). *La technique ou l'enjeu du siècle*, Paris, Economica.
- ELLUL, J. (2012). *Le système technicien*, Paris, Édition du Cherche-midi.
- ENMOD (1977). Convention on the Prohibition of Military and Any Other Hostile Use of Environmental Modification techniques, [en ligne]. [https://treaties.un.org/doc/Treaties/1978/10/19781005%2000-39%20AM/Ch\\_XXVI\\_01p.pdf](https://treaties.un.org/doc/Treaties/1978/10/19781005%2000-39%20AM/Ch_XXVI_01p.pdf)
- FRAGNIÈRE, A. et S. GARDINER (2016). « Why Geoengineering is not Plan B » dans Preston, C. (dir.), *Climate Justice and Geoengineering, Ethics and policy in the Atmospheric Anthropocene*, Rowman & Littlefield International, p. 15-32.
- GARDINER S. (2013). « Geoengineering and Moral Schizophrenia: What is the Question? » dans Burns W. et A. Strauss (dir.), *Climate Change Geoengineering: Philosophical Perspective, Legal Issues and Governance Framework*, Cambridge University Press, p. 11-38.
- GARDINER, S. et al. (2010). *Climate Ethics. Essential readings*, New York, Oxford University Press.
- GESAMP (2019). « High level review of a wide range of proposed marine geoengineering techniques » dans Boyd, P.W. and C. M. G. Vivian (dir.) (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UN Environment/UNDP/ISA Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). Report and Studies GESAMP No. 98 [en ligne]. [file:///C:/Users/rondda01/Desktop/GESAMPWG41\\_HighLevelReviewofProposedMarineGeoengineeringTechniques.pdf](file:///C:/Users/rondda01/Desktop/GESAMPWG41_HighLevelReviewofProposedMarineGeoengineeringTechniques.pdf)
- GUPTA, A. et I. MÖLLER (2019). « De facto governance: how authoritative assessments construct climate engineering as an object of governance », *Environmental Politics*, vol. 28, n° 3, p. 480-501.

- HABERMAS, J. (1973). *La technique et la science comme idéologie*, Paris, Médiations, Denoël.
- HEYWARD, C. (2013). « Situating and Abandoning Geoengineering: A Typology of Five Responses to Dangerous Climate Change », *Political Sciences and Politics*, January, p. 23-27.
- HOUSE OF COMMONS UK, SCIENCE AND TECHNOLOGY COMMITTEE (2010). *The Regulation of Geoengineering*, London, The Stationery Office.
- IPCC (2018). *Special Report Global Warming of 1,5° C above Pre-industrial levels*, [en ligne]. <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- JAMIESON, D. (2014). *Reason in a dark time. Why the struggle against climate change failed and what it means for our future*, Oxford University Press.
- JONES, C. ET AL. (2013). *LWEC (Living with Environmental Change) Geoengineering Report. A forward look to the UK research on climate impacts of geoengineering*, [en ligne]. <https://www.lwec.org.uk>
- MORROW, D. (2017). *International governance of climate engineering. A survey of reports on Climate Engineering*, FCEA Working Papers series: 001
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THE NATIONAL ACADEMIES USA, COMMITTEE ON GEOENGINEERING CLIMATE: TECHNICAL EVALUATION AND DISCUSSION OF IMPACTS (2015). *Climate Intervention Reflecting Sunlight to Cool Earth*, Washington, The National Academies Press.
- PARIZEAU, M.-H. (2016). « De l'Apocalypse à l'Anthropocène : parcours éthiques des changements climatiques », numéro thématique « Éthique et gouvernance du climat », *Revue de Métaphysique et de Morale*, vol. 89, n° 1, p. 23-38.
- PARIZEAU, M.-H. (2010). *Biotechnologies, Nanotechnologies, Écologie : entre science et idéologie*, collection « Sciences en question », Paris, Éditions Quæ.
- PARIZEAU, M.-H. (dir.) (1997). *La Biodiversité. Tout protéger ou tout cultiver?* Bruxelles, De Boeck.
- PASCO, X. (2017). *Le nouvel âge spatial. De la Guerre froide au New Space*, Paris, CNRS Éditions.
- REYNOLDS, J. (2019). « Solar geoengineering to reduce climate change: a review of governance proposals », *In Proceedings of the Royal Society A. Mathematical, physical, and engineering sciences* 475 (2229), p. 20190255. DOI: 10.1098/rspa.2019.0255.
- ROYAL SOCIETY et ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING (2018). *Greenhouse gas removal*, [en ligne]. <https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/greenhouse-gas-removal/royal-society-greenhouse-gas-removal-report-2018.pdf>

- SECRETARIAT OF THE CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY (2012). *Geoengineering in relation to the Convention on Biological Diversity: Technical and Regulatory Matters*, CBD Technical Series no 66 [en ligne]. <https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-66-en.pdf>
- SECRETARIAT OF THE CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY (2016), *Update on Climate Geoengineering in relation to the Convention on Biological Diversity: Potential Impacts and Regulatory Framework*. CBD Technical Series no 84 [en ligne]. <https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-84-en.pdf>
- TRAN, T., AMAT, J.-P. ET R. PIROT (2007). « Guerre et défoliation dans le sud Viêt-Nam, 1961-1971 », *Histoire et mesure*, vol. 22, n° 1, p. 71-107.
- TOLLEFSON, J. (2019). « Geoengineering debate shifts to UN environment assembly », *Nature*, vol. 567, n° 7747, p. 156.
- UNEP (2017). The Emissions Gap Report 2017, A UN Environment Synthesis Report, Chapter 7 Bridging the gap- Carbone dioxide removal, [en ligne]. [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/22070/EGR\\_2017.pdf](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/22070/EGR_2017.pdf)
- UNESCO (2017). *Déclaration de principes éthiques en rapport avec le changement climatique*, [en ligne]. [http://portal.unesco.org/fr/ev.php-URL\\_ID=49457&URL\\_DO=DO\\_TOPIC&URL\\_SECTION=201.html](http://portal.unesco.org/fr/ev.php-URL_ID=49457&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html)
- UNESCO (1997). *Déclaration sur les responsabilités des générations présentes envers les générations futures*, [en ligne]. [http://portal.unesco.org/fr/ev.php-URL\\_ID=13178&URL\\_DO=DO\\_TOPIC&URL\\_SECTION=201.html](http://portal.unesco.org/fr/ev.php-URL_ID=13178&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html)