

LE RISQUE CLIMATIQUE

UNE TENDANCE LENTE DE LONG TERME ?

Arthur Charpentier

Professeur, Université du Québec à Montréal

Dans la plupart des scénarios qui évoquent les changements climatiques, on nous parle de projections avec pour horizon 2050, voire 2100, des échelles de temps tellement lointaines qu'on a l'illusion que les risques majeurs seront seulement pour les « générations futures ». Et ces scénarios évoquent des possibilités de hausse de 1,2 °C ou 4 °C d'ici plusieurs décennies, chiffres qui devraient sembler dérisoires quand on est habitué à voir des températures varier de 10 °C ou 20 °C au sein d'une même journée, de 15 °C, 20 °C voire 30 °C entre l'hiver et l'été. Dans ce contexte, comment penser enfin sérieusement le risque climatique ?

Le message passe-t-il ?

Avant d'espérer des actions concrètes, il est important de prendre conscience de la gravité du risque à venir. La canicule de l'été 2022 aura marqué les esprits, et pourtant, quand on regarde la manière dont les médias ont eu tendance à parler des vagues de chaleur au cours des dernières années, on peut légitimement s'interroger. O'Neill *et al.* [2022] ont examiné la couverture médiatique visuelle des canicules de 2019 en France, en Allemagne, aux Pays-Bas et au Royaume-Uni. Comme ils l'expliquent, la grande majorité des images utilisées étaient associées à l'idée de « *fun in the sun* », avec des photographies de personnes s'amusant dans l'eau, ou au bord de l'eau. Et lorsque les images décrivent vraiment le danger de ces chaleurs extrêmes, il n'y a personne sur ces photos. Ce cadrage visuel des canicules est problématique, en cachant les personnes vulnérables.

Mais si on veut être juste et rigoureux, il convient d'admettre que la réalité est complexe, et parler de la température seulement ne suffit pas. Sherwood et Huber [2010] ont montré qu'en plus de la température, il convient de tenir compte du taux d'humidité : une température **humide** ⁽¹⁾ de 35 degrés serait la limite supérieure acceptable, au-delà de laquelle le corps humain ne peut plus se refroidir en évaporant la sueur de la surface du corps pour maintenir une température centrale stable. Lors de la canicule de Chicago de 2015, qui avait causé plusieurs centaines de décès, une température de 29 degrés (seulement) avait été dépassée, sur une journée, comme le rappelle Klinenberg [2022]. De même, lors de la canicule de 2003 qui avait tué plusieurs dizaines de milliers de personnes en Europe, la barre des 30 degrés n'avait pas été dépassée. Ajouter quelques degrés, ce n'est pas ajouter « un peu » de désagrément. La fonction de bien-être en fonction de la température est très loin d'être linéaire quand on arrive dans les températures extrêmes. Avoir des températures de 5 °C au-dessus

de la moyenne saisonnière au printemps peut enchanter la majorité de la population, mais au cœur de l'été, cela peut rapprocher dangereusement de niveaux qui mettent des vies en danger, comme l'a montré la vague de chaleur survenue au Pakistan au cours de l'été 2022 (2).

Evolution linéaire ou exponentielle ?

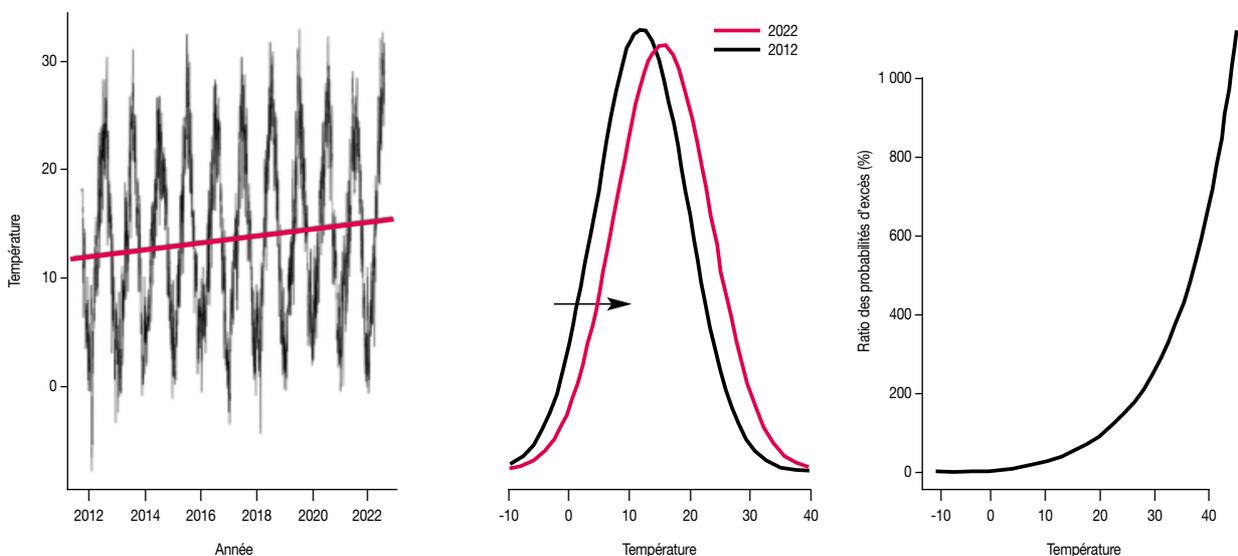
La principale erreur quand on parle de changement climatique, c'est de croire qu'il s'agit seulement d'une « évolution linéaire » de la température, qui se traduira par une « évolution linéaire » des risques. C'est par exemple ce que l'on observe sur le graphique 1, avec à gauche l'évolution de la température observée à Chambéry, sur dix ans, avec une « croissance linéaire » de la température journalière moyenne, avec un gain de 3,2 °C sur dix ans.

A gauche, une tendance linéaire a été ajustée à la température moyenne observée, chaque jour. Au centre, on observe la translation (vers la droite) de la

distribution de la température sur l'année (si on suppose que la température suit une loi normale, comme cela se retrouve illustré dans plusieurs rapports du Giec, par exemple Giec 2022). Sur la partie de droite, on observe l'évolution du rapport entre la probabilité de dépasser x °C en 2022, et la probabilité de dépasser x °C en 2012. Il y a ainsi cinq fois plus de chance de dépasser 35 °C en 2022 qu'en 2012. On notera la croissance (quasiment) exponentielle de ce ratio, correspondant à la probabilité d'avoir une vague de chaleur (Charpentier [2022] revenait sur la difficulté de percevoir des croissances exponentielles).

Sur ces données, on peut estimer le gain à 3,2 °C sur dix ans, ce qui est bien plus important que les ordres de grandeur de variations de températures évoqués dans la plupart des rapports sur le climat (à commencer par la synthèse du Giec). En effet, ces rapports évoquent un réchauffement climatique de +1 °C ou +4 °C par rapport à la période préindustrielle, sous l'angle de températures globales moyennes. Or le changement climatique est loin d'être uniforme dans l'espace, certaines régions du globe se réchauffant bien plus que d'autres. Et les scénarios de réchauffement sont au niveau planétaire, ou au niveau de grandes régions comme l'Europe ou le bassin méditerranéen.

Graphique 1 - Température moyenne journalière dans la banlieue de Chambéry, entre 2012 et 2022 à gauche, distribution de la température en 2012 et en 2022 au centre, et comparaison des probabilités de dépasser une température donnée



Source : données de l'auteur.

Il est assez nouveau d'avoir des évolutions à l'échelle de (petites) métropoles. La distribution des températures peut aussi changer avec un changement en moyenne (celui dont on parle souvent) mais aussi, potentiellement, de variance, comme le rappellent Douville *et al.* [2021]. Sur le graphique 1 (p. 88), la variance a légèrement augmenté au cours de la dernière décennie, ce qui se traduit par davantage d'étalement, et donc davantage d'extrêmes.

Pour illustrer les conséquences non linéaires d'une croissance linéaire de la température, on peut mentionner le cas des ouragans. Reed *et al.* [2020] ont montré que l'ouragan Florence (qui a touché terre en Caroline du Nord il y a quatre ans) avait engendré jusqu'à 50 % de pluie en plus et son diamètre était 80 km (50 miles) plus large à cause du réchauffement de l'océan. Au-delà des débats pour savoir si les tempêtes tropicales sont plus nombreuses ou pas (la communauté scientifique continue de progresser sur cette question), nous savons maintenant que les tempêtes les plus fortes se renforcent : la vitesse du vent augmente d'environ huit mètres par seconde par degré Celsius de réchauffement. Et comme le coût des tempêtes croît exponentiellement en fonction de la vitesse du vent, une hausse linéaire de la température se traduit mécaniquement par un coût des tempêtes qui croît exponentiellement vite avec le réchauffement climatique.

Les boucles de rétroaction

La non-linéarité des systèmes dynamiques qui régissent l'évolution du climat est une composante qu'il ne faut pas négliger. Par exemple, la fonte de la glace entraîne un cercle vicieux de rétroaction positive, qui ne fait qu'aggraver le problème. La glace fraîche est blanche et renvoie une partie de la chaleur du soleil dans l'espace. A mesure que la glace de mer fond, la glace blanche se transforme en eau sombre, qui absorbe davantage de chaleur et en réfléchit moins. La région se réchauffe donc encore plus vite. Sur les glaciers du Groenland, la fonte de la glace salit les glaciers blancs, qui fondent donc aussi plus vite. En Sibérie et dans le nord du Canada, où le

sol était autrefois un **permafrost** (3) – « *permanently frozen* » ou « gelé toute l'année » –, la couche gelée n'est plus gelée de manière permanente. Et ce permafrost renferme d'énormes quantités de méthane, produit par la décomposition de la végétation. Or le méthane est un gaz à effet de serre bien plus puissant que le CO₂, ce qui aggravera la situation en engendrant encore davantage de réchauffement. La même situation se retrouve pour les incendies de forêt : les températures plus chaudes assèchent les forêts, et contribuent à créer l'environnement idéal pour que des incendies de forêt plus importants et plus fréquents se déclarent. Et cela conduit à son tour à des émissions de CO₂ plus élevées, provenant directement de la combustion du bois, aggravant encore le changement climatique et contribuant à davantage d'incendies dans le cadre d'une boucle de rétroaction.

Dans les systèmes dynamiques, on parle de « point de bascule » quand il existe un seuil critique, dans une boucle d'hystérésis, au-delà duquel le système change rapidement d'état, très souvent de manière irréversible. Autrement dit, à proximité de ce point, de petites perturbations peuvent, en raison des rétroactions dont nous parlions auparavant, conduire à des changements d'état avec des trajectoires d'équilibre qui divergent. Nordhaus et Boyer [2000] ont mis en évidence certains changements d'état potentiels dans les éléments de basculement climatique : une élévation rapide du niveau de la mer provoquée par l'effondrement de la calotte glaciaire de l'Antarctique occidental (ou par d'autres sources) ; des changements dans les schémas météorologiques tels que la mousson d'été indienne ou la mousson d'Afrique de l'Ouest ; l'arrêt de la circulation méridienne de retournement de l'Atlantique (*Atlantic Meridional Overturning Circulation* – *AMOC* ; correspondant à ce qui serait appelé « Gulf Stream » en français).

D'autres études ont mis en évidence d'autres candidats, allant d'un effondrement de la glace de mer d'été de l'Arctique à des changements de régime écologique en Amazonie ou au Sahel, en passant par une libération massive de carbone à partir du pergélisol ou des hydrates de méthane des fonds marins.

Dans bien des cas, le changement climatique n'est pas directement et exclusivement à l'origine de catastrophes comme les sécheresses, ou les tempêtes, mais clairement il rend ces événements plus intenses, avec des conséquences économiques de plus en plus graves. Le CO₂ et les autres gaz à effet de serre, provenant en grande partie des centrales électriques, des véhicules, des bâtiments, de l'industrie et de l'agriculture, emprisonnent la chaleur dans l'atmosphère, réchauffant ainsi la planète. Outre l'augmentation de la température, le réchauffement climatique accroît l'évaporation des eaux de surface dans l'atmosphère, asséchant ainsi les zones qui ont reçu peu de pluie. L'air plus chaud augmente la quantité de vapeur d'eau que l'atmosphère peut contenir, et l'atmosphère plus assoiffée aspire l'humidité de la surface. Cette humidité supplémentaire est emportée par les vents et finit par se transformer en tempêtes, souvent à des milliers de kilomètres de distance, qui font pleuvoir davantage. L'humidité atmosphérique a augmenté de 5 % à 20 % en général, par rapport à la période antérieure aux années 1970 (ce qui va engendrer davantage de décès lors des vagues de chaleur, comme nous l'évoquions plus haut). Et la vapeur d'eau est un gaz à effet de serre qui amplifie encore le réchauffement. Lorsque l'eau s'évapore, elle absorbe de la chaleur, et lorsqu'elle tombe ensuite sous forme de pluie cette chaleur est relâchée dans l'atmosphère. Cette énergie supplémentaire alimente les tempêtes, entraînant des systèmes plus intenses qui peuvent également être plus grands et durer plus longtemps, avec jusqu'à 30 % de pluie en plus en conséquence du réchauffement, comme le rappellent Kopp *et al.* [2016].

La fable de la grenouille et les signaux faibles

On est donc dans un système dynamique complexe, où les variables causales semblent croître lentement, de manière presque linéaire. Ce qui rappelle la fable de la grenouille. La fable de la grenouille est celle d'une expérience scientifique. Dans la seconde moitié du

XIX^e siècle, William Sedgwick s'est livré à des expériences sur la sensibilité nerveuse, et il montra que si une grenouille était plongée (subitement) dans de l'eau chaude, elle s'échappait instantanément, alors que si la température de l'eau augmente très progressivement, la grenouille, par accoutumance ou par engourdissement, reste inerte, et finit par mourir. Même si cette expérience a largement été commentée et contredite, elle a fini par devenir une fable, insinuant que lorsqu'un changement s'effectue d'une manière suffisamment lente, il échappe à la conscience, et ne suscite alors ni réaction, ni opposition, contrairement aux changements brutaux et soudains.

N'y a-t-il pas un parallèle évident avec ce que nous vivons ? Si la science nous dit que cette histoire est fautive pour les grenouilles, ne pourrions-nous pas l'appliquer aux humains, et accepter la morale de la fable ? Ne doit-on pas y voir le revers de la médaille de la formidable adaptabilité de l'être humain ? Car nous avons tous des mauvaises habitudes auxquelles nous nous sommes finalement habitués, et qui peuvent nous coûter cher à long terme. Il faut souvent un effort important pour reconnaître des erreurs et modifier des comportements qui ont fini par être normalisés. Car les conséquences du changement climatique sont claires et alarmantes. Si les émissions ne sont pas rapidement réduites, le réchauffement au cours du siècle en cours dépassera celui du dernier demi-million d'années. Comme dans le cas de la grenouille, le rythme lent du changement combiné à notre adaptation rapide, on pourrait croire que tout est normal. Or ce n'est pas le cas, et il est important d'être conscients de la façon dont nous nous habitons collectivement à ce nouveau climat.

La prise de décision collective

Barry et Charpentier [2020] revenaient sur la difficulté de prise de décision collective. La première étape est une prise de conscience et une acceptation collective du risque. Meyer

et Kunreuther [2017] nous rappellent que parmi les nombreuses conséquences possibles du changement climatique, l'élévation du niveau des mers a longtemps été la moins controversée. Depuis les années 1800, le niveau des mers n'a cessé d'augmenter dans le monde entier, ce qui représente un risque évident, clairement identifié, mais qui représente un danger subtil et trompeur. Car pour les risques de court terme, on sait que les gens ont du mal à voir au-delà d'une ou deux années (on parlera de myopie) et sous-estiment la probabilité qu'ils subissent eux-mêmes un préjudice. Ici, on évoque un risque à quinze ou trente ans, un horizon temporel au-delà de l'horizon de la majorité des prêts hypothécaires, et même de certaines vies. Pourtant, on pourrait penser que l'élévation du niveau de la mer est un risque facile à gérer : nous savons qu'elle arrive, et nous avons le temps et les ressources pour y faire face de manière préventive. Et pourtant rien ne se passe, collectivement. En effet, tout d'abord, il est difficile pour les élus d'avoir la sagesse de s'engager dans de grosses dépenses financières dont les bénéfices seront réalisés bien après qu'ils auront terminé leur mandat (on parlera d'effet de « myopie »). De plus, l'incertitude qui existe quant à l'ampleur exacte de l'élévation du niveau de la mer engendre un biais en faveur du *statu quo* consistant à ne rien faire (on parlera d'effet d'« inertie »). Enfin, le fait que la plupart des villes adoptent une approche attentiste similaire est interprété à tort comme une preuve que les responsables de ces autres villes savent ce qu'ils font (effet de troupeau).

Penser aux « générations futures »

Une autre difficulté est de savoir pour qui ces efforts sont faits (ou seraient faits). La situation a été tellement détériorée au cours des dernières décennies que peu d'entre nous espèrent voir la situation s'améliorer de notre vivant. Arrive alors cette autre fable, celle des « générations futures ». Si on n'agit pas pour nous, on doit le faire, moralement, pour les « générations

futures ». Or penser les « générations futures » sur les aspects éthiques et moraux est souvent compliqué. En effet, l'éthique cherche des critères d'actions « justes », les obligations que nous avons, vis-à-vis de nous-mêmes et des autres. Or les « générations futures » sont des autres qui n'existent pas, et on peut se demander s'il y a du sens à reconnaître des droits à des « êtres humains » qui n'existent pas encore (et dont on ne sait pas s'ils existeront un jour). D'un point de vue légal ou juridique, c'est par son existence (et sa naissance) que l'être humain obtient des droits, et en toute logique, il ne saurait exister d'obligations envers des personnes qui n'existent pas. Avec cette vision, il ne peut y avoir de dommages et de préjudices qu'envers des personnes vivantes, et pas d'hypothétiques « générations futures ». Peut-on concevoir une forme de responsabilité s'étendant jusqu'à cet avenir lointain qui est évoqué quand on parle de ces « générations futures » ? Le premier sommet de la terre, qui s'est tenu à Stockholm, en 1972, avait tenté d'introduire une forme de cohérence dans la responsabilité, avec des droits qui tiendraient compte de cette dimension « transgénérationnelle », comme le rappelle Gosseries [2004]. Et envisager ces « générations futures », c'est aussi se concevoir collectivement comme une génération qui aurait une forme de responsabilité collective, d'une génération envers une autre. La question naturelle qui en découle est de savoir si je peux être tenu responsable des actes (et des non-actes) de ma génération ?

Cet aspect moral et éthique est important, cela pose aussi des questions économiques majeures, car bien souvent, la prise de décision collective se fonde sur une analyse coûts-bénéfices. Charpentier et Cherrier [2019] revenaient sur la difficulté d'attribuer une valeur monétaire à des choses qui n'en ont pas, et ne pourraient probablement pas être échangées sur un quelconque marché, comme la vie humaine. Dans le contexte des dommages environnementaux, comme l'affirmait Sen [2004] « *the very idea that I treat the prevention of an environmental damage just like buying a private good is itself quite absurd* ». Plus précisément, Posner [2004] et Singer [2016] se sont interrogés sur le choix du taux d'actualisation, l'approche actuarielle était peut-être douteuse quand on

s'intéresse aux biens environnementaux. Avec un taux d'actualisation de 5 %, la valeur de dix milliards de vies actualisées sur cinq cents ans est la même que la valeur d'une cinquantaine de vie aujourd'hui. Cyniquement, l'analyse coûts-bénéfices renforce notre préférence pour le présent, nous incitant à laisser l'avenir s'occuper de lui-même, même si l'action à laquelle nous renonçons aujourd'hui était une occasion unique de sauver l'humanité.

Pandémie, changement climatique et science

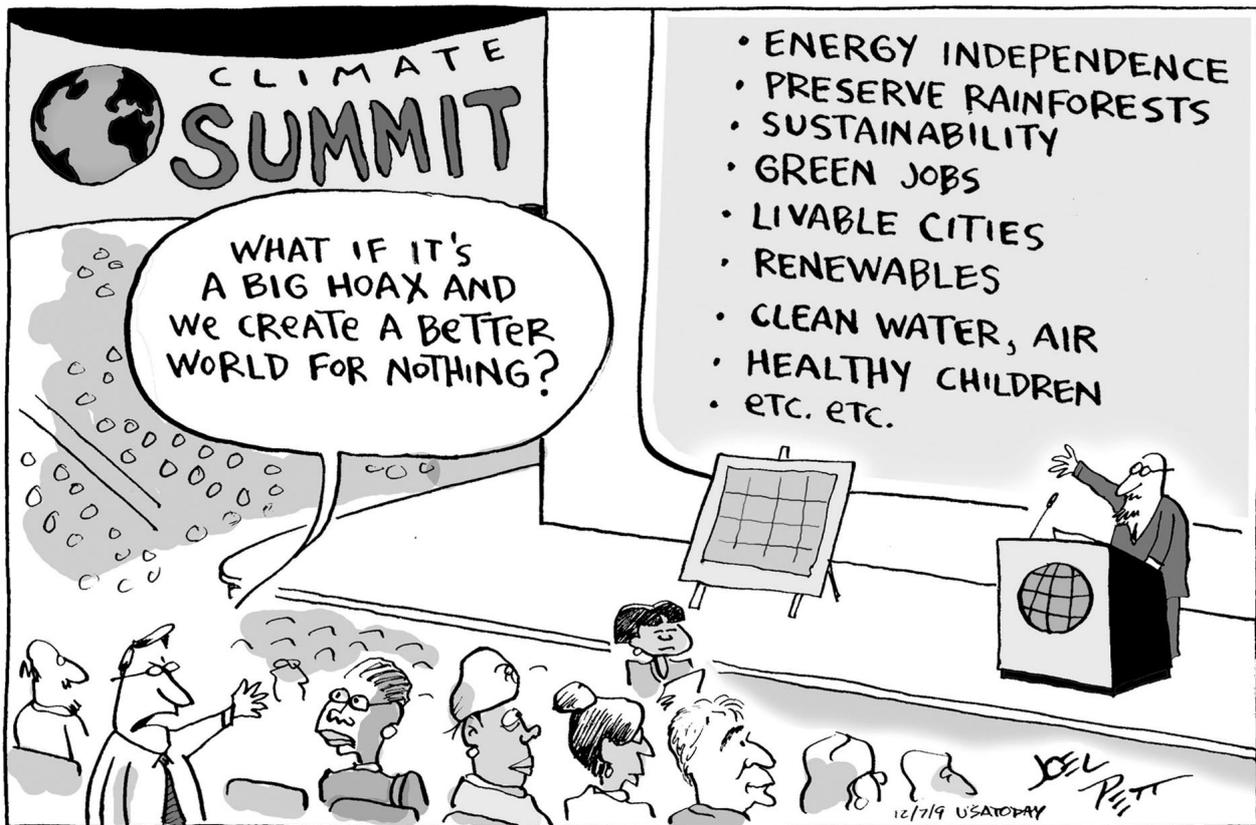
Cette difficulté de penser et d'agir collectivement n'est pas sans rappeler les débats des dernières années relatifs à la pandémie, qu'on pourrait lier au déni de la science que l'on observe dans la plupart des pays développés. On a vu de nombreux décideurs refuser de croire aux recommandations des scientifiques, et continuer de voir le monde avec des œillères. On peut penser à la négation de la transmission du virus par l'air, la non-prise en compte des situations dites de « Covid-long », ou la multiplication des accidents cardiovasculaires post-Covid. Dans le cas du réchauffement, ce sont les refus de prendre des mesures réellement efficaces (mais souvent restrictives) en se répétant des contes de fées, avec un progrès technique qui viendra un jour nous sauver. Dans le contexte de la pandémie, l'idée qu'il allait falloir « vivre avec » a fini par s'imposer collectivement, et on peut se demander si ce n'est pas le cas aussi du changement climatique, même si la « tragédie des communs » nous montre les dangers de cette approche. Dans la fable de Garrett Hardin, un groupe de villageois fait paître son bétail sur le terrain communal du village, qui devient ainsi surpâturé. Chaque villageois sait qu'il devrait cesser d'ajouter du bétail à son troupeau parce que le bien commun ne peut en supporter davantage. Mais individuellement, chacun sait aussi que s'il ajoute une vache de plus à son troupeau, il en tirera un grand bénéfice. Et le bien commun ne se dégradera que marginalement. Chaque personne est donc motivée

pour continuer à agrandir son propre troupeau jusqu'à ce que le bien commun disparaisse, sous la pression de l'ensemble des villageois.

De même que dans cette fable de villageois partageant un terrain communal, une simple analyse coûts-avantages (basée sur les pertes et les gains immédiats) des conséquences du changement climatique va conduire à une inaction climatique dans tous les pays. On retrouve ici l'argument que l'on entend souvent : il est inutile de décarboner tant que la Chine ne fait rien. La réalité du commerce international devrait nous rappeler qu'une grande part des émissions de carbone en Chine sont une réponse à nos modes de consommation, en Europe et en Amérique du Nord. Si penser les « générations futures » revient à imposer une forme de collaboration dans le temps, il est aujourd'hui important de penser la collaboration dans l'espace. Car du point de vue du changement climatique sur terre, le CO₂ rejeté à Paris est interchangeable avec le CO₂ rejeté à Pékin, à Sydney, au Cap ou à Montréal. Nombreux sont ceux qui ont souligné que l'atmosphère était un « bien commun mondial », comme Everard *et al.* [2013] ou Bosselmann [2019]. Une des conséquences est qu'on est rapidement confronté à une forme particulièrement compliquée du problème du passager clandestin, où on espère que les générations futures ou que les autres pays feront les efforts nécessaires, car on se contente de voir le coût associé à prendre des mesures pour ralentir le changement climatique. Et si prendre des mesures pouvait avoir des bénéfices non seulement à long terme et loin de nous, mais aussi très concrètement dès aujourd'hui ? Et si, comme sur le dessin de Joel Pett (voir p. ---), on avait la possibilité de créer un monde vraiment meilleur ?

Notes

1. On parle aussi de « température du thermomètre mouillé » (ou « wet-bulb » en anglais). 35 °C correspond à 35 °C à 100 % d'humidité relative, 40 °C à 80 % d'humidité relative, ou 45 °C à 50 % d'humidité relative.



Dessin de Joel Pett.

2. *Vague de chaleur qui n'était pas loin du premier chapitre de The Ministry of the Future, la fiction climatique de Kim Stanley Robinson.*

3. *On parlera parfois de pergélisol en français.*

Bibliographie

BARRY L. ; CHARPENTIER A., « Concilier risques collectifs et décisions individuelles », *Risques*, n° 123, 2020.

BOSSELMANN K., "The Atmosphere as a Global Commons", in *Research Handbook on Global Climate Constitutionalism*, Edward Elgar Publishing, 2019.

CHARPENTIER A., « Le tabou de l'exponentielle », *Risques*, n° 129, 2022.

CHARPENTIER A. ; CHERRIER B., « La valeur de la vie humaine », *Risques*, n° 118, 2019.

DOUVILLE H. ; RAGHAVAN K. ; RENWICK J. ; ALLAN R. ; ARIAS P. ; BARLOW M. [...] GERGIS J., "Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate", *Climate Change*, 2021, pp. 1513-1766.

EVERARD M. ; PONTIN B. ; APPLEBY T. ; STADDON C. ; HAYES E. T. ; BARNES J. H. ; LONGHURST J. W. S., "Air as a Common Good", *Environmental Science & Policy*, vol. 33, 2013, pp. 354-368.

GOSSERIES A., *Penser la justice entre les générations*, Aubier, 2004.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec), *Climate Change 2021, The Physical Science Basis: Full Report*, 2022. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf

HARDIN G., "The Tragedy of the Commons: The Population Problem has no Technical Solution; it Requires a Fundamental Extension in Morality", *Science*, vol. 162, n° 3859, 1968, pp. 1243-1248.

- KLINENBERG E., *Canicule. Chicago, été 1995 : Autopsie sociale d'une catastrophe*, Editions 205, 2022.
- KOPP R. E. ; SHWOM R. L. ; WAGNER G. ; YUAN J., "Tipping Elements and Climate-Economic Shocks: Pathways toward Integrated Assessment", *Earth's Future*, vol. 4, n° 8, 2016, pp. 346-372.
- MEYER R. ; KUNREUTHER H., *The Ostrich Paradox: Why We Underprepare for Disasters*, Wharton School Press, 2017.
- NORDHAUS W. D. ; BOYER J., *Warming the World*, MIT Press, 2000.
- O'NEILL S. *et al.*, "Visual Portrayals of Fun in the Sun Misrepresent Heatwave Risks in European Newspapers", *SocArXiv Papers*, 2022.
- POSNER A., *Catastrophe: Risk and Response*, Oxford University Press, 2004. <https://global.oup.com/academic/product/catastrophe-9780195306477?cc=us&lang=en&>
- REED K. A. ; STANSFIELD A. M. ; WEHNER M. F. ; ZARZYCKI C. M., "Forecasted Attribution of the Human Influence on Hurricane Florence", *Science Advances*, vol. 6, n° 1, 2020.
- SEDGWICK W., "On the Variation of Reflex Excitability in the Frog Induced by Changes of Temperature", in *Studies from the Biological Laboratory of the Johns Hopkins University*, vol. 2, 1883, pp. 385-410.
- SEN A., *Rationality and Freedom*, Harvard University Press, 2004.
- SHERWOOD S. C. ; HUBER M., "An Adaptability Limit to Climate Change due to Heat Stress", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 107, n° 21, 2010.
- SINGER P., *One World Now: The Ethics of Globalization*, Yale University Press, 2016.
- ZAJDENWEBER D., « Réchauffement climatique global et catastrophes climatiques », *Risques*, n° 130, 2022.