



HAL
open science

Modéliser les transformations, transformer les modèles ?

Céline Guivarch

► **To cite this version:**

Céline Guivarch. Modéliser les transformations, transformer les modèles ?. Transitions. Les nouvelles Annales des Ponts et Chaussées, 2024, 4. <hal-04794284>

HAL Id: hal-04794284

<https://hal.science/hal-04794284v1>

Submitted on 25 Nov 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization



Modéliser les transformations, transformer les modèles ?

Céline Guivarch

École nationale des ponts et chaussées, CIRED

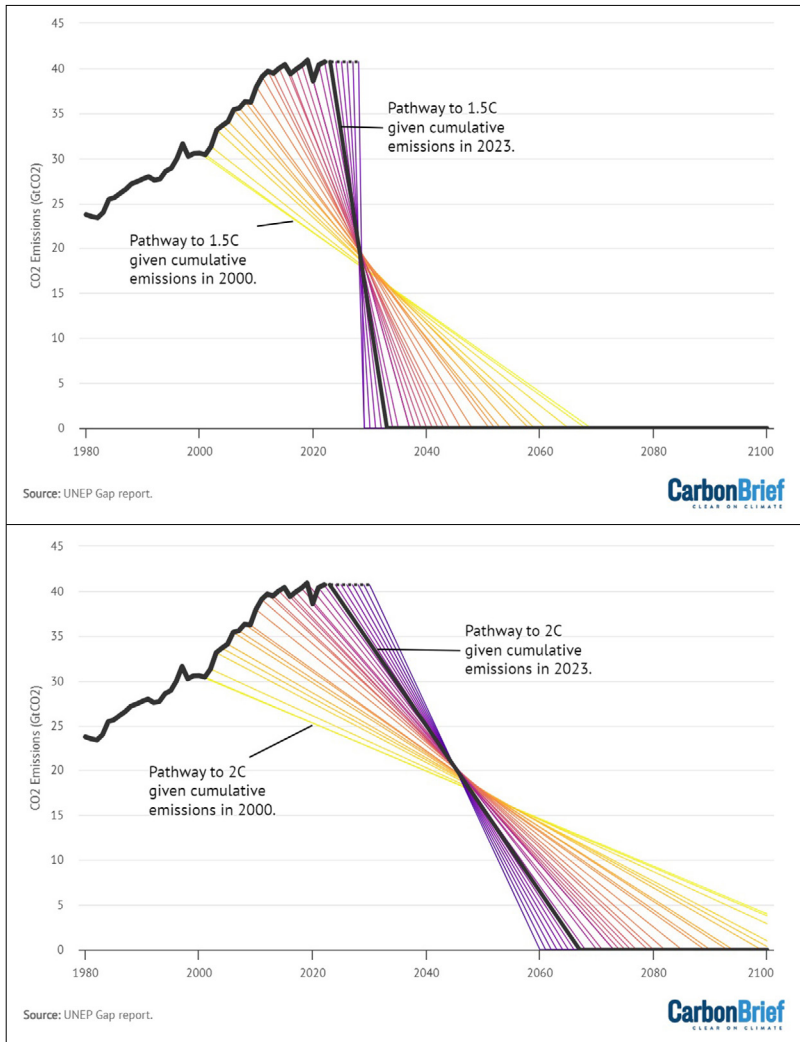
Le résumé à l'intention des décideurs du rapport de synthèse du GIEC, publié en mars 2023, nous dit, dans sa langue à la poétique si particulière :

« Toutes les trajectoires mondiales modélisées qui limitent le réchauffement à 1,5°C (> 50%) sans dépassement ou avec un dépassement limité, et celles qui limitent le réchauffement à 2°C (> 67%), impliquent des réductions rapides et fortes et, dans la plupart des cas, immédiates des émissions de gaz à effet de serre dans tous les secteurs au cours de la décennie actuelle. Des émissions nettes de CO₂ égales à zéro au niveau mondial sont atteintes pour ces catégories de trajectoires, au début des années 2050 et vers le début des années 2070, respectivement (*niveau de confiance élevée*) ». (traduction de l'auteurice ; IPCC, 2023, p. 20)

Cette langue technique n'exprime rien d'autre que la falaise vertigineuse en haut de laquelle nous nous trouvons. C'est maintenant un fait scientifique établi que l'accumulation de gaz à effet de serre d'origine anthropique est responsable de l'intégralité du changement climatique que nous mesurons en tant que scientifiques, que nous subissons aussi en tant qu'humains, tout comme les écosystèmes dont nous faisons partie. Les émissions de gaz à effet de serre ont atteint 59 milliards de tonnes de CO₂ équivalent (CO₂_{eq}) en 2019, leur niveau le plus élevé de l'histoire de l'humanité, et elles continuent d'augmenter. Pourtant, seule l'atteinte de zéro émission nette de CO₂ permettra de stabiliser l'augmentation de la température du globe, ainsi que les risques, les pertes et les dommages associés. Zéro émission nette de CO₂ à l'échelle mondiale correspond à une situation

où les puits gérés par les activités humaines, qui absorbent du CO₂ de l'atmosphère (forêts, sols, technologies de capture directe du CO₂ dans l'atmosphère avec stockage du CO₂), contrebalancent les émissions de CO₂ dues aux activités humaines (Perrier *et al.*, 2018). Plus cette situation sera atteinte rapidement, plus le niveau de stabilisation sera bas, et plus de dommages pourront être évités. Une autre façon de dire les choses est de parler de « budget carbone », les émissions cumulées qu'il est encore possible d'émettre pour rester sous un niveau d'augmentation de température du globe donné. Année après année, ce budget se réduit comme une peau de chagrin. Le budget qui donne une chance sur deux de rester sous 1,5°C était de 250 milliards de tonnes de CO₂ en 2023 (Lamboll *et al.*, 2023), soit moins de six ans d'émissions annuelles au niveau actuel !

Face au changement climatique, les générations actuelles ont la responsabilité d'agir rapidement et fortement, pour éviter des conséquences graves, généralisées et irréversibles qui compromettraient l'habitabilité de larges zones de notre planète. Des actions ont commencé à émerger. De plus en plus de politiques climatiques ont été mises en œuvre, dans de nombreux pays et à tous les échelons de gouvernance. Par exemple, la part des émissions de gaz à effet de serre couvertes par des lois climat est passée de 20% à plus de 50% des émissions mondiales, entre 2010 et 2020. Les mesures mises en place ont permis d'éviter plusieurs milliards de tonnes d'émissions de gaz à effet de serre par an. Toutefois, le rythme et l'ampleur des actions sont très insuffisants, très loin d'être à la hauteur pour inverser la tendance à la hausse des émissions. N'oublions pas que le « nous », qui a la responsabilité d'agir, n'est pas



Figures 1 et 2. Trajectoires de réduction des émissions, associées à une probabilité de 50% de limitation du réchauffement à moins de 1,5°C (premier panel), ou associées à une probabilité de 66% de limiter le réchauffement à moins de 2°C (second panel), sans recourir à des émissions nettes négatives et selon l'année du pic des émissions mondiales. La ligne noire continue montre les émissions historiques, tandis que la ligne noire en pointillé montre des émissions constantes au niveau de 2023. Source : UNEP Gap report/Carbon Brief, 2023. « UNEP: Humanity is still 'breaking all the wrong records' in fast-warming world ». <https://www.carbonbrief.org/unep-humanity-is-still-breaking-all-the-wrong-records-in-fast-warming-world/>

une humanité homogène. Les responsabilités en termes d'émissions, et les capacités à agir, sont très inégalement réparties : à l'échelle mondiale, les 10% de ménages dont les émissions sont les plus élevées représentent environ 40% des émissions totales, tandis que 50% les moins émetteurs en représentent moins de 15% (IPCC, 2022).

Nous ne sommes plus « au pied du mur », car des actions ont débuté, mais nous sommes bien en haut d'une falaise. La figure ci-dessus permet de visualiser cette falaise, et comment chaque année écoulée sans baisse des émissions mondiales la rend un peu plus abrupte. Si la pente est un peu moins raide pour rester sous 2°C, la nécessité de réductions rapides et fortes des émissions mondiales demeure. D'autant plus que chaque fraction de degré supplémentaire se traduira en canicules, sécheresses,

inondations plus fréquentes et plus intenses, en franchissements de seuils de tolérance pour les écosystèmes et les humains, en risques pour les infrastructures, la sécurité alimentaire, l'accès à l'eau, la santé humaine, la sécurité. Avec eux augmente la probabilité de conséquences graves, généralisées et irréversibles, affectant la santé des individus, les sources de nourriture, d'eau et bien d'autres choses encore.

En tant que modélisateurs de la communauté de recherche qui produit et analyse des scénarios prospectifs d'émissions de gaz à effet de serre, nous sommes de ceux qui construisent ces graphiques aux allures de falaises, de ceux qui « explorent » les trajectoires de transformations socio-économiques et technologiques cohérentes (ou compatibles) avec des cibles de stabilisation de la température du globe. Nos « explorations » s'appuient sur des modèles

numériques, les modèles d'évaluation intégrée qui représentent les interactions entre les systèmes socio-économiques, techniques et climatiques sur des horizons de temps de quelques décennies. Ces modèles et les scénarios qu'ils produisent esquissent différentes trajectoires plausibles ou possibles d'évolutions futures. En raison de leur capacité à relier les processus humains et biophysiques, ces modèles sont mobilisés pour quantifier les ordres de grandeur du problème climatique, ainsi que pour analyser les implications (en termes de changement technologique, de changement des structures de demandes et de production, de transformations du mix énergétique...) de diverses stratégies d'atténuation¹ du changement climatique.

En 2013, avant même que l'Accord de Paris n'entérine l'objectif de maintenir « l'augmentation de la température moyenne mondiale bien en dessous de 2°C au-dessus des niveaux préindustriels », dans notre article « 2°C or not 2°C ? » avec Stéphane Hallegatte, nous interrogeons les hypothèses sous-jacentes à la réalisation de cet objectif de 2°C (Guivarch, Hallegatte, 2013). En effet, en l'absence d'action immédiate, l'objectif apparaissait difficilement atteignable, à moins de faire des hypothèses optimistes sur les développements technologiques. Depuis, l'état s'est resserré : d'un côté, les émissions ont poursuivi leur course à la hausse, de l'autre, l'objectif de limiter l'augmentation de la température du globe à 1,5°C — alors que nous sommes actuellement à + 1,2°C — appelle des réductions d'émissions encore plus rapides et plus fortes. Cet objectif de 1,5°C a émergé et pris de l'importance pour de multiples raisons, jusqu'à sa mention dans l'Accord de Paris en 2015 (Cointe, Guillemot, 2023). Depuis, l'évolution des connaissances sur les impacts du changement climatique a revu à la hausse l'estimation des risques et des dommages à ce niveau de réchauffement (voir figure SPM.4, panneau a, IPCC, 2023, p. 17-18).

En haut de la falaise, chaque année sans réduction des émissions mondiales nous pousse à estimer des possibilités qui s'amenuisent, des trajectoires « en voie de disparition ». Ces trajectoires mettent en évidence le besoin de transformation de tous les systèmes, qu'ils soient énergétiques, agricoles et alimentaires, liés aux transports... Elles quantifient les besoins en investissements associés, et les réductions d'usages d'énergies fossiles. Ces travaux de

modélisation prospective occupent un rôle important dans les interfaces entre science et politique, et dans les rapports du GIEC en particulier (Cointe *et al.*, 2019 ; van Beek *et al.*, 2020). Le chapitre sur l'énergie du dernier rapport paru à ce jour explique notamment que, dans les scénarios limitant le réchauffement du globe à 1,5°C, l'usage des énergies fossiles décroît de 52 à 73% (par rapport au niveau de 2020) d'ici 2050, et de 24 à 51% dans les scénarios compatibles avec 2°C (Clarke *et al.*, 2023). Ces trajectoires sont également utilisées pour mettre en lumière l'écart — le grand écart — entre les actions mises en place, ou les engagements pris, et ce qui serait nécessaire pour rester sous 2°C ou 1,5°C (SEI, Climate Analytics, 2023 ; UNEP, 2023).

Ces trajectoires sont également utilisées, ou détournées, pour alimenter des « discours du délai ». Contrairement aux discours climato-sceptiques, ces « discours du délai » reconnaissent l'existence du changement climatique, et son origine anthropique, mais ils cherchent à justifier l'inaction ou une action minimale (Lamb *et al.*, 2020). Ainsi, des trajectoires conçues dans des projets de recherche visant à quantifier les implications des délais à l'action — et qui ont donc pour caractéristiques d'avoir des émissions qui restent élevées à court terme, et de reposer à long terme sur des émissions négatives significatives — sont sélectionnées à dessein pour justifier une poursuite d'investissements importants dans les énergies fossiles. Pourtant, le potentiel de développement des solutions d'émissions négatives reste limité et incertain², et elles ne peuvent en aucun cas se substituer à une réduction importante de l'usage des énergies fossiles (Achakulwisut *et al.*, 2023).

Triste sort pour ces trajectoires, qui se trouvent obsolètes dès leur construction si elles montrent une décroissance des émissions immédiates, ou utilisées pour alimenter des discours du délai si elles en explorent l'hypothèse. De là émerge le risque de prophéties auto-réalisatrices.

Force est de constater l'échec des approches qui modélisent les transformations à enclencher des transformations réelles. S'il est immodeste de leur prêter un si grand pouvoir, et injuste de faire porter l'entière responsabilité de l'échec à inverser la courbe des émissions mondiales sur les modélisations, sans doute faut-il leur

1. L'atténuation est la réduction des émissions de gaz à effet de serre et le renforcement des puits (ou absorptions) de carbone. En agissant sur les causes du changement climatique, l'atténuation vise à le limiter et à éviter les effets les plus graves. L'atténuation est différente, et complémentaire, de l'adaptation, dont l'objectif est de limiter l'exposition et la vulnérabilité aux aléas climatiques.

2. Les « émissions négatives » correspondent à l'élimination des gaz à effet de serre (GES) de l'atmosphère issues des activités humaines délibérées, en plus de l'élimination qui se produirait par le biais du cycle naturel du carbone, ou des processus chimiques atmosphériques. Elles peuvent s'appuyer sur des méthodes biologiques, par exemple la restauration d'écosystèmes qui stockent du carbone (forêts, tourbières, zones humides...) ou des changements de pratiques agricoles pour stocker davantage de carbone dans les sols, les haies... Elles peuvent aussi s'appuyer sur des technologies d'absorption directe du CO₂ atmosphérique, technologies au stade de recherche ou prototype. Quelle que soit la méthode, les quantités de GES qui pourraient être retirées de l'atmosphère restent limitées et incertaines.

attribuer une part de cette responsabilité (Stoddard *et al.*, 2021). Peut-être est-elle à chercher dans une capacité limitée des modèles (et des modélisateurs) à dessiner des trajectoires de rupture avec les modèles de développement historiques, au-delà de visions de transformations technologiques ?

Et si, précisément, il s'agissait de transformer les modèles ? À la fois les modèles numériques que l'on développe, les hypothèses qu'ils embarquent pour construire des scénarios et leurs rôles pour interroger nos modèles de société et de développement. Il faudra pour cela s'atteler à rouvrir l'espace des possibles, alimenter les délibérations sur les futurs possibles et souhaitables plutôt que de les restreindre, et questionner les dimensions épistémiques, politiques et éthiques des modèles et des scénarios. Par exemple, certaines alternatives n'ont reçu que très peu d'attention des études modélisées jusqu'ici : des scénarios où les leviers de sobriété sont largement mobilisés, des scénarios de décroissance ou de post-croissance, des

scénarios s'appuyant largement sur la restauration des écosystèmes. Qu'est-ce que ces alternatives impliquent en termes d'inégalités entre et au sein des pays, en termes de commerce international, en termes de mode de vie et de développement, en termes de changement des structures de production et de consommation, en termes de bien-être, d'emploi ou d'usage du temps et de l'espace ? Ce sont autant de questions à explorer. Certains programmes de recherche en cours s'en emparent, par exemple le projet EU-ERC Synergy « REAL : A Post-Growth Deal », les recherches menées au sein du réseau ENOUGH - International Network for Sufficiency Research and Policy, et celles qui ont été présentées lors de la conférence « Science, Technology, and Innovation beyond growth: Cultivating collective creativity for a sustainable future » en juin 2024 à Vigo.

Nous sommes donc en haut de cette falaise. Comment allons-nous parvenir en bas ? Il est temps de nous encorder et d'amorcer la descente.

Bibliographie

Achakulwisut Ploy, Peter Erickson, Céline Guivarch *et al.*, 2023. « Global Fossil Fuel Reduction Pathways under Different Climate Mitigation Strategies and Ambitions », *Nature Communications*, vol. 14, n° 1, 5425. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41105-z>

Clarke Leon, Yi-Ming Wei *et al.*, 2023. « 6 - Energy Systems », dans Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157926.008>

Cointe Béatrice, Christophe Cassen, Alain Nadaï, 2019. « Organising Policy-Relevant Knowledge for Climate Action », *Science & Technology Studies*, vol. 32, n° 4, p. 36-57. <https://doi.org/10.23987/sts.65031>

Cointe Béatrice, Hélène Guillemot, 2023. « A History of the 1.5°C Target », *WIREs Climate Change*. <https://doi.org/10.1002/wcc.824>

Guivarch Céline, Stéphane Hallegatte, 2013. « 2C or Not 2C? », *Global Environmental Change*, vol. 23, n° 1, p. 179-192. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.10.006>

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2022. « Summary for Policymakers », dans *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge/New York, Cambridge University Press, p. 1-53. <https://doi.org/10.1017/9781009157926.001>

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2023. « Summary for Policymakers », dans *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva, p. 1-34. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>

Lamb William F., Giulio Mattioli, Sebastian Levi *et al.*, 2020. « Discourses of climate delay », *Global Sustainability*, vol. 3, Cambridge, Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/sus.2020.13>

Lamboll Robin D., R. J. Nicholls Zebedee, Christopher J. Smith *et al.*, 2023. « Assessing the Size and Uncertainty of Remaining Carbon Budgets », *Nature Climate Change*, vol. 13, p. 1360-1367. <https://doi.org/10.1038/s41558-023-01848-5>

Perrier Quentin, Céline Guivarch, Olivier Boucher, 2018. « L'objectif "zéro émissions nettes" de l'Accord de Paris : signification et implications », *La Météorologie*, n° 103, p. 26-30. <https://doi.org/10.4267/2042/68784>

SEI, Climate Analytics, E3G, IISD, UNEP, 08 novembre 2023. *Production Gap Report 2023*, UNEP. <http://www.unep.org/resources/production-gap-report-2023>

Stoddard Isak, Kevin Anderson, Stuart Capstick *et al.*, 2021. « Three Decades of Climate Mitigation: Why Haven't We Bent the Global Emissions Curve? », *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 46. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-011104>

UNEP, 2023. « Emission Gap Report 2023 », UNEP. <http://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2023>

Van Beek Lisette, Maarten Hajer, Peter Pelzer *et al.*, 2020. « Anticipating futures through models: the rise of Integrated Assessment Modelling in the climate science-policy interface since 1970 », *Global Environmental Change*, n° 65. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102191>