

# UNE TRAJECTOIRE ZÉRO ÉMISSION

Les objectifs zéro émission nette et de limitation du réchauffement de la planète à 1,5 °C peuvent être atteints en prenant des mesures de grande ampleur et rapides

**Christoph Bertram, Ottmar Edenhofer et Gunnar Luderer**

Les progrès en matière de technologies vertes fondamentales sont stupéfiants. Ils augmentent la probabilité d'atteindre l'objectif de réduction sans précédent des émissions qui s'impose pour limiter le réchauffement de la planète à 1,5 °C, comme le prévoit l'accord de Paris sur le climat. Il faudra toutefois réorganiser en profondeur les systèmes énergétiques et modes d'exploitation des terres à l'échelle mondiale, en optant pour le bon dosage de mesures incitatives. Les dirigeants peuvent s'appuyer sur une multiplication des connaissances et pratiques afin d'encourager le recours aux technologies vertes existantes et d'accélérer le développement de nouvelles technologies.

Atteindre une trajectoire de limitation du réchauffement à 1,5 °C réduirait fortement les risques liés aux changements

climatiques et aurait aussi plusieurs effets positifs importants, qui vont d'une meilleure qualité de l'air à la modernisation des infrastructures et économies en passant par une augmentation du nombre d'emplois dans le secteur de l'énergie assortis de meilleures perspectives à long terme.

## **Décarbonation de l'électricité**

Comme les émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) perdurent dans l'atmosphère pendant des centaines d'années, les émissions cumulées de ce gaz à effet de serre déterminent en grande partie le réchauffement qui en découle. Cela signifie que l'ampleur de la réduction des émissions à court terme est plus importante que l'année précise où les émissions deviendront nulles. Pour atteindre l'objectif de 1,5 °C avec une probabilité

moyenne, il faut que les émissions diminuent dès maintenant. Pour y parvenir, la solution la moins onéreuse consiste à réduire les émissions de moitié environ d'ici à 2030 par rapport aux niveaux de 2020.

Dans cette optique, le secteur de l'électricité est le premier point d'accès. Actuellement, il est à l'origine d'environ un tiers du total des émissions de CO<sub>2</sub> (voir le graphique). Si la production d'électricité est toujours dominée par le charbon et le gaz, les nouvelles capacités supplémentaires issues de l'énergie éolienne et solaire dépassent de plus en plus les gains de capacité liés aux combustibles fossiles.

La pandémie a montré que les systèmes électriques ont tendance à devenir plus propres quand la demande est réduite. En effet, les centrales au charbon et au gaz, qui ont un coût plus élevé, sont les premières à être mises à l'arrêt, tandis que les énergies solaire, éolienne, nucléaire et hydraulique continuent à produire autant d'électricité que les marchés peuvent en absorber (Bertram *et al.*, 2021). De toute évidence, une utilisation plus efficace de l'électricité peut contribuer fortement à réduire les émissions plus rapidement sans sacrifier la capacité des systèmes. Cela s'avérera particulièrement utile au cours de la prochaine décennie, lorsqu'une grande partie de l'électricité produite sera encore issue de combustibles fossiles à forte teneur en carbone.

Une consommation plus efficace de combustibles liquides, solides et gazeux par les secteurs de l'industrie, des transports et du bâtiment est encore plus fondamentale puisque les gains d'efficacité se traduisent par une diminution immédiate des émissions.

L'offre restreinte de technologies des énergies propres n'est plus un obstacle à la décarbonation de l'électricité (les solutions d'intégration s'améliorent aussi). En revanche, la lente suppression des capacités reposant sur des combustibles fossiles l'est. Une réglementation des émissions de gaz à effet de serre, dans l'idéal au moyen d'une tarification du carbone, est nécessaire pour orienter les nouveaux investissements vers les technologies des énergies vertes et inciter à l'abandon progressif des centrales électriques. Si la communauté internationale parvient à saisir l'occasion offerte par la décarbonation rapide du réseau électrique, le secteur de l'électricité pourra réduire ses émissions de plus des deux tiers d'ici à 2030, comme l'illustre le scénario « zéro émission nette en 2050 » dans le graphique.

Qu'en est-il de l'utilisation des terres et de l'objectif zéro émission nette ? Actuellement, le secteur agricole comprend des puits de CO<sub>2</sub> (activités qui éliminent le carbone de l'atmosphère, par exemple la création de nouvelles forêts) et des sources de CO<sub>2</sub>, notamment la déforestation, mais aussi d'autres modes d'exploitation des terres. Les changements de pratiques en matière d'occupation des sols pourraient même aboutir à la neutralité en CO<sub>2</sub> dans ce secteur d'ici à 2030 (même si l'utilisation des terres — essentiellement l'agriculture — continuera forcément à contribuer au réchauffement à travers les émissions de méthane et d'oxyde nitreux).

En conséquence, la demande d'énergie des secteurs de l'industrie, du bâtiment et des transports constituera la principale source d'émissions de CO<sub>2</sub> provenant de combustibles fossiles en 2030 et au-delà dans les scénarios compatibles avec l'objectif de 1,5 °C. Dans ces scénarios, il faudrait que les émissions cumulées de ces secteurs soient réduites de plus de la moitié d'ici à 2040 et représentent environ un quart des niveaux actuels d'ici à 2050 pour parvenir à la neutralité en carbone aux alentours de cette date.

Afin de compenser ce niveau même relativement faible d'émissions résiduelles, un développement très rapide et ambitieux de possibilités d'élimination du CO<sub>2</sub> s'impose, par exemple la plantation de nouvelles forêts, le captage direct dans l'air (piégeage du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, puis son stockage géologique) et les bioénergies avec captage et stockage du carbone, technologies qui produisent des énergies propres à partir de la biomasse tout en captant et en stockant constamment le CO<sub>2</sub>.

Bon nombre des technologies nécessaires pour décarboner les secteurs de la demande supposent une électrification directe ou indirecte au moyen de combustibles à base d'hydrogène, comme la technologie des piles à

**Il existe diverses possibilités pour parvenir à un système mondial à consommation énergétique nette nulle, dans lequel tout le carbone émis dans l'atmosphère est compensé par le carbone éliminé.**

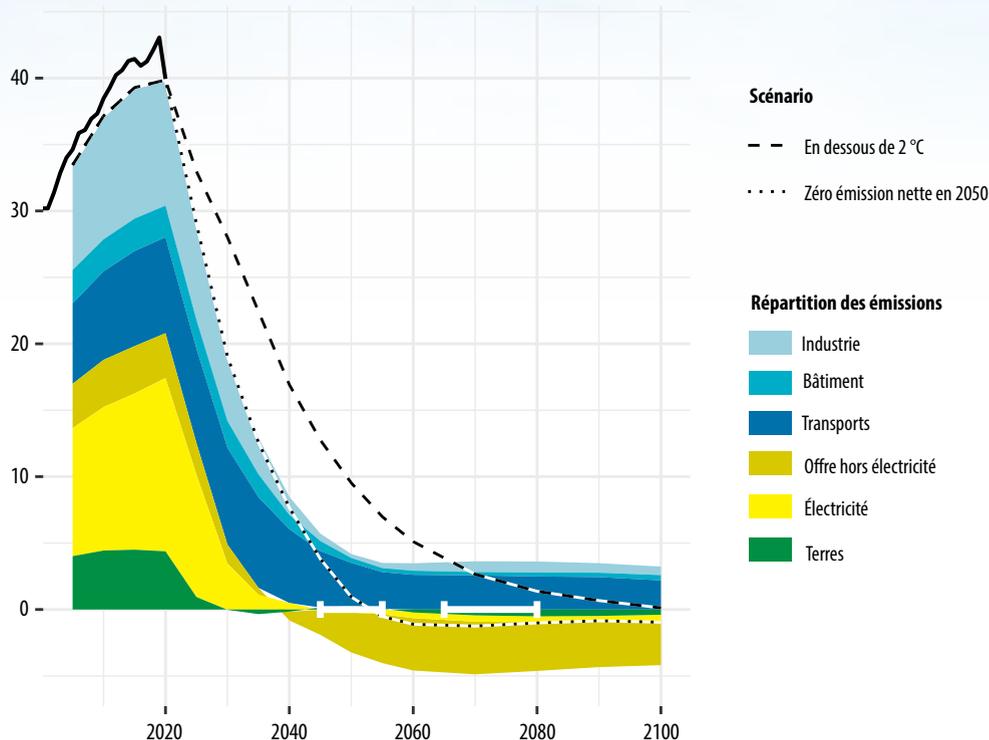
combustible et les combustibles de synthèse (Ueckerdt *et al.*, 2021). En outre, ces technologies ne sont pas encore déployées à grande échelle sur les marchés et se heurteront probablement à des obstacles institutionnels et environnementaux. Leurs résultats et coûts futurs sont donc nettement plus incertains que ceux des technologies utilisées aujourd'hui (par exemple les énergies renouvelables et les véhicules électriques à batteries).

Compte tenu de cette incertitude, il existe diverses possibilités pour parvenir à un système mondial à consommation énergétique nette nulle, dans lequel tout le carbone émis dans l'atmosphère est compensé par le carbone éliminé. Si toutes ces solutions évoluent plus favorablement qu'attendu, il sera peut-être aussi possible (et utile) d'enregistrer des émissions nettes plus négatives (en éliminant davantage de carbone que celui émis), ce qui abaissera la température mondiale moyenne après son pic. Si certaines solutions technologiques évoluent plus vite que prévu, alors que d'autres ne suivent pas le rythme, le dosage des possibilités pourra différer des projections, mais l'objectif

## Objectif zéro émission nette

Divers secteurs doivent contribuer à ramener les émissions de CO<sub>2</sub> à zéro d'ici à 2050, parallèlement à la limitation du réchauffement de la planète à 1,5 °C, et quelques décennies plus tard à 2 °C d'ici à 2100.

(émissions de CO<sub>2</sub>, en GtCO<sub>2</sub>/an)



**Source :** estimations des auteurs, sur la base de données du scénario du Réseau pour le verdissement du système financier (Network for Greening the Financial System) et de données historiques issues du Global Carbon Project.

**Note :** L'offre hors électricité inclut les émissions découlant de la production de combustibles, essentiellement dans les raffineries. Les lignes blanches font apparaître les dates de neutralité en carbone exigées selon le rapport spécial sur les conséquences d'un réchauffement planétaire de 1,5 °C du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (2018). GtCO<sub>2</sub>/an = gigatonnes de dioxyde de carbone par an.

global de zéro émission nette pourra encore être atteint. Uniquement dans le cas où toutes les solutions évoluent plus lentement que prévu, ou si des obstacles imprévus ne peuvent être surmontés (par exemple des problèmes de viabilité liés aux bioénergies), il serait beaucoup plus difficile que prévu actuellement de parvenir à des systèmes à consommation énergétique nette nulle.

## Une transition harmonieuse

Pour qu'elle porte ses fruits, la transformation nécessaire pour limiter le réchauffement de la planète à 1,5 °C avec une probabilité satisfaisante doit être vaste et rapide. Toutefois, avec le bon dosage de mesures incitatives, le processus peut être relativement harmonieux. Concrètement, une transition inclusive et juste qui ne laisse personne sur le carreau est une condition politique préalable pour susciter l'adhésion dans la durée. Les dirigeants devraient donc appliquer rigoureusement un éventail de mesures qui s'appuient sur les instruments adéquats.

Une tarification du carbone peut être un instrument primordial pour cette transition. Elle peut prendre la forme d'un marché des permis de polluer comme le système d'échange de quotas d'émission de l'Union européenne, ou d'une taxe carbone qui augmente au fil du temps. Les scénarios « zéro émission nette en 2050 » du Réseau pour le verdissement du système financier (Network for Greening the Financial System ; NGFS, 2021) estiment que les tarifs du carbone seront compris entre 100 dollars et 200 dollars la tonne de CO<sub>2</sub> en 2030 et qu'ils augmenteront sensiblement jusqu'en 2050. Cependant, les prix du carbone à long terme pourront être maintenus à des niveaux inférieurs si des mesures complémentaires absorbent une partie du coût de la décarbonation, comme dans le scénario « zéro émission nette d'ici à 2050 » de l'Agence internationale de l'énergie (AIE, 2021). Dans ce dernier, les mesures réglementaires jouent un rôle nettement plus important, et les tarifs du carbone ne dépassent pas 250 dollars jusqu'en 2050. (Le scénario du NGFS, élaboré en partenariat avec un groupement

## Une solution prometteuse pour favoriser la coopération entre les pays consiste à former des clubs climatiques avec des tarifs minimums du carbone différenciés.

universitaire dirigé par l'Institut de recherche de Potsdam sur les effets des changements climatiques, contient d'autres scénarios à haut risque, mais les scénarios « zéro émission nette en 2050 » sont comparables à celui de l'AIE sur la plupart des points.)

Le principal avantage de la tarification du carbone est qu'elle peut jouer le rôle de coordination des efforts déployés dans les différents secteurs (et dans tous les pays à l'avenir) pour faire en sorte qu'ils soient équilibrés. En outre, elle garantit une sécurité juridique essentielle, encourage des investissements adaptés à long terme et accroît les ressources permettant aux pouvoirs publics d'appliquer des mesures supplémentaires qui exigent un financement public.

Une forme de recyclage des recettes au profit des citoyens devrait être un aspect important de cet instrument pour veiller à ce que personne ne reste à l'écart du fait de la transition. Bien qu'une tarification homogène du carbone ait des effets régressifs dans de nombreux pays, une redistribution responsable des recettes en fera une mesure progressive qui pourra favoriser la cohésion sociale et susciter l'adhésion de la classe politique. Les recettes ont un autre usage : le financement de projets infrastructurels tournés vers l'avenir, à l'instar des bornes de recharge pour les véhicules électriques. Ces projets sont indispensables pour stimuler les marchés naissants pour les entreprises qui se lancent dans les technologies et échouent en raison de l'effet de verrou dû aux infrastructures obsolètes et des retombées technologiques.

### Une coopération internationale capitale

Certains pays progressent dans l'application des mesures prévues pour aboutir à une trajectoire nationale zéro émission nette d'ici au milieu du siècle. Le défi reste toutefois de taille à l'échelle mondiale. Afin de surmonter les obstacles structurels à l'action collective, par exemple les problèmes de distribution, la coopération internationale doit évoluer de manière radicale pour faire en sorte que tous les pays puissent se positionner sur une trajectoire similaire une fois la pandémie endiguée.

Les pays du Sud et du Nord ont des responsabilités différentes en la matière. Une conclusion majeure de notre analyse des scénarios de limitation du réchauffement à 1,5 °C (NGFS, 2021) est que cet objectif ne permet pas une décarbonation selon des calendriers très différents (Bauer *et al.*, 2020). Tous les grands pays en transition doivent atteindre leur pic d'émissions très rapidement avant une diminution de celles-ci, ce qui est possible d'un point de vue technologique du fait de l'évolution

récente du secteur de l'électricité. Les pays à revenu élevé devraient avoir conscience qu'ils doivent aider davantage les autres pays durant cette transition, notamment parce qu'ils ont une responsabilité historique dans les changements climatiques. Un accès plus facile aux technologies et aux financements pourrait être utile, tout comme une hausse des investissements directs.

Une solution prometteuse pour favoriser la coopération entre les pays consiste à former des clubs climatiques avec des tarifs minimums du carbone différenciés. Les pays à faible revenu et à revenu intermédiaire commenceraient avec des prix planchers plus bas et profiteraient d'une partie des recettes tirées des tarifs plus hauts appliqués dans les pays à revenu élevé. Les pays plus riches auraient, quant à eux, la garantie que la production, le commerce et les émissions ne basculeraient pas simplement vers des marchés non réglementés, à leur détriment. Cela garantirait l'efficacité de leurs mesures d'atténuation ainsi que des pratiques commerciales loyales. Si la mise en œuvre d'un tel programme est à l'évidence une tâche délicate pour les systèmes politiques dans les deux groupes de pays, les conséquences positives, à savoir des économies prospères et modernisées et des sociétés plus solides et résilientes, en valent clairement la chandelle. **FD**

**CHRISTOPH BERTRAM** est chef d'équipe pour la politique climatique internationale, et **OTTMAR EDENHOFER** est directeur et économiste en chef à l'Institut de recherche de Potsdam sur les effets des changements climatiques. **GUNNAR LUDERER** est directeur adjoint du département de recherche sur les trajectoires de transformation de l'Institut.

*Stephen Bi, Jérôme Hilaire et Elmar Kriegler ont aussi participé aux travaux de recherche à l'origine du présent article.*

### Bibliographie :

- Bauer, Nico, Christoph Bertram, Anselm Schultes, David Klein, Gunnar Luderer, Elmar Kriegler, Alexander Popp, and Ottmar Edenhofer. 2020. "Quantification of an Efficiency—Sovereignty Trade-off in Climate Policy." *Nature* 588 (7837): 261–66.
- Bertram, Christoph, Gunnar Luderer, Felix Creutzig, Nico Bauer, Falko Ueckerdt, Aman Malik, and Ottmar Edenhofer. 2021. "COVID-19-Induced Low Power Demand and Market Forces Starkly Reduce CO<sub>2</sub> Emissions." *Nature Climate Change* 11 (3): 193–96.
- International Energy Agency (IEA). 2021. "Net Zero by 2050—A Roadmap for the Global Energy Sector." Paris.
- Network for Greening the Financial System (NGFS). 2021. Scenarios portal. Paris.
- Ueckerdt, Falko, Christian Bauer, Alois Dirnmaier, Jordan Everall, Romain Sacchi, and Gunnar Luderer. 2021. "Potential and Risks of Hydrogen-Based e-Fuels in Climate Change Mitigation." *Nature Climate Change* 11 (5): 384–93.