conseil d'analyse économique

Focus
n° 152
novembre 2026

La France à l'ère du changement climatique

Adrien Bilal, Université de Stanford, CEPR et NBER

La coopération internationale sous-tend la politique climatique nécessaire pour atteindre un niveau élevé de réduction des émissions, mais la rend potentiellement fragile : les coûts de transition sont supportés par chaque économie prise individuellement alors que les dommages climatiques évités sont partagés par le monde entier. Ce Focus examine si une décarbonation robuste est possible. La décarbonation reste-t-elle rentable lorsqu'un pays ou une région ne prend en compte que les dommages qu'il ou elle subit au sein de son territoire ? En s'appuyant sur des estimations récentes selon lesquelles les impacts climatiques sont plus importants qu'on ne l'estimait auparavant, ce Focus montre que la France et l'Union européenne risquent de subir des pertes de PIB par habitant de 20 à 30 % par degré de réchauffement mondial. Dans ce contexte, l'Union européenne aurait intérêt, unilatéralement et même en l'absence de coopération du reste du monde, à mettre en œuvre les réductions d'émissions les moins coûteuses jusqu'à couvrir environ deux tiers de ses émissions. Cette réduction permettrait d'éviter 298 milliards d'euros de dommages climatiques sur le territoire européen par an pour un coût de 77 milliards d'euros, soit un bénéfice net de 221 milliards d'euros à l'échelle de l'Union européenne. La France bénéficierait également de cette action collective européenne, avec 55 milliards d'euros de dommages évités, 12 milliards d'euros de coûts et 42 milliards d'euros de bénéfices nets par an.

*

Ce Focus *adapte librement les résultats de Bilal et Känzig (2025) et (2026) et réutilise directement des passages de ces travaux.*

Ce *Focus* est publié sous la responsabilité de l'auteur et n'engage que lui.

Introduction

La politique climatique est généralement présentée comme un problème de coopération internationale. Les émissions de gaz à effet de serre et le réchauffement qui s'ensuit sont partagés à l'échelle mondiale, et les bénéfices des efforts de réduction d'un pays se diffusent dans le monde entier. Cette externalité globale crée le problème classique du passager clandestin : chaque pays souhaiterait que les autres réduisent leurs émissions tout en conservant la possibilité de différer une action coûteuse chez lui. L'Accord de Paris de 2015 et les négociations climatiques ultérieures ont contribué à coordonner les engagements, mais les émissions mondiales ont continué d'augmenter presque chaque année. Beaucoup de grands pays hésitent à s'engager dans une décarbonation coopérative. Ces difficultés indiquent que la question n'est pas seulement de savoir si la décarbonation est souhaitable du point de vue du monde dans son ensemble, mais si elle est attractive pour un pays ou une région qui agit unilatéralement – c'est-à-dire qui n'internalise que ses propres dommages climatiques.

La décarbonation unilatérale est plus exigeante qu'une politique climatique coordonnée, mais elle est aussi plus robuste. Une politique qui s'autofinance au niveau national n'exige pas que tous les pays avancent au même rythme, ne se défait pas lorsqu'un partenaire commercial fait défaut, et peut se justifier même lorsque la coordination internationale demeure incomplète. Avec les estimations conventionnelles des dommages climatiques, cet argument est difficile à soutenir : le coût social du carbone – la somme des pertes économiques mondiales associées à l'émission d'une tonne supplémentaire de carbone – peut dépasser de nombreux coûts d'abattement, mais le coût régional du carbone d'un pays – les pertes correspondantes circonscrites à l'intérieur de ses frontières – est beaucoup plus faible que le coût social mondial du carbone.

Des résultats récents suggèrent une conclusion différente. Les dommages macroéconomiques du changement climatique pourraient avoir été nettement sous-estimés. Dans ce cas, le coût social du carbone et les coûts régionaux du carbone sont eux aussi plus élevés. La part régionale des dommages mondiaux peut alors être suffisamment importante pour que la décarbonation unilatérale soit rentable dans les grandes économies, sans reposer sur une coopération globale.

Ce Focus étudie cette possibilité pour la France et pour l'Union européenne. Nous combinons des estimations en forme réduite de l'impact des chocs de température mondiale sur l'activité économique, un modèle de croissance néoclassique qui convertit les réponses de production à moyen terme en dommages de long terme, et des courbes de coût marginal d'abattement pour la France et l'Union européenne. La France et l'Union européenne risquent de subir des pertes de PIB par habitant de 20 à 30 % par degré de réchauffement mondial de long terme. En conséquence, une décarbonation unilatérale allant jusqu'à 65 % des émissions est rentable au niveau de l'Union européenne. La décarbonation unilatérale de l'Union européenne génère 298 milliards d'euros de bénéfices bruts par an pour un coût de 77 milliards d'euros, soit 221 milliards d'euros de bénéfices nets. La France bénéficie de l'action européenne : elle reçoit 55 milliards d'euros de bénéfices bruts, supporte 12 milliards d'euros de coûts, et obtient 42 milliards d'euros de gains nets.

La première étape consiste à estimer les dommages climatiques. Nous suivons Bilal et Känzig (2026) et nous nous concentrons sur la température moyenne mondiale plutôt que sur la température locale. Cette distinction est centrale. Une grande partie de la littérature empirique climat-économie estime l'effet des chocs de température locale sur l'activité économique au niveau des pays (Dell et al., 2012 ; Burke et al., 2015). Cette approche est naturelle pour mesurer l'exposition locale à la chaleur, mais elle peut passer à côté de la composante mondiale commune du changement climatique. La température mondiale résume un ensemble plus large de transformations physiques, notamment le réchauffement des océans, l'humidité atmosphérique et les conditions climatiques globales qui façonnent les sécheresses, les vents extrêmes et les précipitations extrêmes.

Empiriquement, nous construisons des chocs de température comme des écarts de la température à sa tendance de long terme, puis nous estimons leurs effets dynamiques sur le PIB par habitant. Un choc de température mondiale normalisé à 1 °C réduit le PIB français par habitant jusqu'à 13 % après 6 ans. L'effet correspondant pour l'Union européenne est similaire, avec une baisse maximale de 12 % après 5 ans. En revanche, les chocs de température locale estimés avec le même cadre empirique ont des effets proches de zéro pour la France comme pour l'Union européenne. La conversion de ces réponses impulsionnelles en effet d'une hausse permanente de température implique

* Nous remercions Lucie Huang, chargée d'étude, et Arthur Poirier, conseiller scientifique du Conseil d'analyse économique, pour leur aide dans la construction des courbes de coût marginal d'abattement.

qu'une hausse permanente de 1 °C de la température mondiale réduit le PIB français par habitant de 23 % à long terme et le PIB par habitant de l'Union européenne de 33 %. Les estimations correspondantes fondées sur la température locale sont proches de zéro. La suite de l'introduction se concentre donc sur les estimations fondées sur la température mondiale.

La deuxième étape consiste à convertir ces réponses de moyen terme en dommages de long terme à l'aide d'un modèle de croissance néoclassique standard. Les ménages choisissent leur consommation et leur épargne, les entreprises produisent avec du capital et du travail, et la température mondiale affecte la productivité par l'intermédiaire d'une fonction de dommage. Nous estimons cette fonction de dommage de sorte que le modèle reproduise les réponses en forme réduite de la production et de la température. Nous introduisons ensuite dans le modèle un scénario de température de type statu quo dans lequel la température mondiale augmente d'environ 2 °C par rapport à aujourd'hui d'ici 2100, atteignant ainsi environ 3 °C au-dessus du niveau préindustriel. Lorsque les dommages sont évalués à partir de la température mondiale, le PIB par habitant et la consommation en France sont près de 60 % plus faibles à la fin du siècle relativement au scénario de référence sans changement climatique.

Le même modèle fournit également des coûts régionaux du carbone. Le coût régional du carbone mesure la valeur actualisée des pertes économiques subies dans une région et causées par l'émission d'une tonne supplémentaire de carbone aujourd'hui. C'est le pendant régional du coût social du carbone. Comme il ne comptabilise que les pertes à l'intérieur de la région, il est plus faible que le coût social mondial du carbone. Mais pour une grande région exposée à des dommages climatiques importants, il peut néanmoins être élevé. Nous estimons un coût régional du carbone de 34 euros pour la France et de 185 euros pour l'Union européenne lorsque les dommages sont fondés sur la température mondiale. Cet écart reflète presque exclusivement la différence de taille économique entre la France et l'Union européenne. L'UE est environ six fois plus grande et prend donc en compte beaucoup plus de répercussions économiques du changement climatique. Son coût régional du carbone est ainsi proportionnellement plus élevé.

La troisième étape consiste à comparer les bénéfices de l'abattement carbone, qui correspondent précisément au coût régional du carbone – c'est-à-dire aux dommages évités – aux coûts d'abattement. Conceptuellement, la décarbonation unilatérale égalise le coût régional du carbone et le coût marginal d'abattement. Si le coût marginal de réduction d'une tonne de carbone est inférieur au bénéfice climatique régional associé à l'évitement de cette tonne, la décarbonation unilatérale s'autofinance. S'il lui est supérieur, la région doit valoriser les bénéfices climatiques étrangers, ou s'appuyer sur des transferts et une coopération internationale, pour justifier l'abattement du point de vue coût-bénéfice.

Nous construisons des courbes de coût marginal d'abattement pour la France et pour l'Union européenne à partir de coûts sectoriels d'abattement et d'émissions par grandes catégories : production d'énergie, transports, bâtiments, procédés industriels, hydrogène et capture directe de l'air. La France dispose d'un secteur électrique relativement décarboné, de sorte que certaines des opportunités d'abattement les moins coûteuses disponibles ailleurs en Europe y sont moins importantes. L'Union européenne, au contraire, combine une économie plus grande et une structure d'émissions différente. Ces deux forces sont centrales dans la comparaison coûts-bénéfices.

Les résultats diffèrent fortement entre la France agissant seule et l'Union européenne agissant comme un bloc. Le coût régional du carbone de la France est positif et économiquement significatif, mais il n'est pas assez élevé pour justifier à lui seul une vaste décarbonation unilatérale. La France n'internalise que les dommages qui surviennent à l'intérieur de ses frontières, tandis que les bénéfices climatiques de ses réductions d'émissions se diffusent dans le monde entier. L'Union européenne internalise une part beaucoup plus importante de ces bénéfices parce qu'elle représente une économie beaucoup plus grande. Par conséquent, l'Union européenne trouve rentable de décarboner jusqu'à 65 % de son économie, même lorsqu'elle agit unilatéralement vis-à-vis du reste du monde (mais coopérativement à l'intérieur de ses frontières).

Enfin, nous quantifions les bénéfices et les coûts de cette politique européenne. La décarbonation unilatérale de l'Union européenne génère 298 milliards d'euros par an de dommages climatiques bruts évités et coûte 77 milliards d'euros par an en abattement, soit 221 milliards d'euros de bénéfices nets. La France bénéficie également de cette politique européenne commune. Ses bénéfices bruts s'élèvent à 55 milliards d'euros par an, tandis que sa part des coûts d'abattement est de 12 milliards d'euros, ce qui laisse 42 milliards d'euros de bénéfices nets. Ces gains sont concentrés dans la production d'énergie, les transports et l'isolation des bâtiments. Ils n'arrivent pas immédiatement : les coûts d'abattement sont supportés aujourd'hui, tandis que les bénéfices climatiques se matérialisent au cours des décennies suivantes. Mais en valeur actualisée, les bénéfices dépassent les coûts.

Comment mettre en place cette politique européenne ? Dans le cadre institutionnel actuel, cela impliquerait deux étapes. La première consisterait à réduire le nombre de permis mis sur le marché réglementé des quotas d'émission (EU-ETS1) de façon à relever leur prix, qui a récemment oscillé entre 70 et 90 euros par tonne. La politique unilatérale européenne de décarbonation nécessiterait 185 euros par tonne. La deuxième étape consisterait à élargir progressivement la couverture du marché des quotas aux grandes catégories d'émissions considérées dans notre analyse – la production d'énergie, les transports, les bâtiments et les procédés industriels. Cette extension est cohérente avec l'élargissement prévu du système ETS1 et la mise en place du marché ETS2.

La conclusion de ce Focus n'est pas que la coopération internationale est inutile. Une coopération mondiale choisirait encore davantage de décarbonation qu'une région agissant seule. La conclusion est plutôt que le bien-fondé de la politique climatique ne dépend pas exclusivement de la coopération mondiale. Les grandes économies, ou de plus petites économies formant des blocs régionaux, peuvent soutenir une décarbonation unilatérale grâce aux bénéfices régionaux. Cet argument repose sur l'évaluation des pertes économiques du changement climatique à partir d'une métrique fondée sur la géoscience – la température mondiale. En définitive, la politique climatique européenne est plus robuste : elle n'est pas seulement une contribution à un bien public mondial, mais aussi un investissement qui s'autofinance pour l'Europe.

Données et estimations en forme réduite

Nous cherchons à estimer les effets du changement climatique sur l'activité économique. Le changement climatique correspond à une transformation d'un large ensemble de régimes météorologiques, de courants océaniques et de conditions atmosphériques relativement à l'ère préindustrielle. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) résume ce phénomène complexe par une mesure scalaire unique : la température moyenne mondiale. Nous utilisons donc la température moyenne mondiale comme principale métrique d'un climat en mutation et étudions ses effets sur l'économie. Nous comparons l'effet de la température moyenne mondiale à celui de la température locale, que les analyses plus conventionnelles privilégient comme mesure principale du changement climatique.

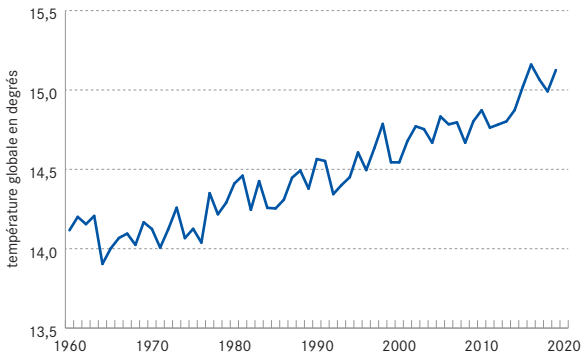
Données

Notre base de données s'appuie sur les Penn World Tables. Nous obtenons des informations sur le PIB, la population, la consommation, l'investissement et la productivité pour 173 pays de 1960 à 2019. Nous complétons les données PWT avec des informations climatiques et météorologiques. Nous obtenons les données de température de la Berkeley Earth Surface Temperature Database. Cette base fournit des anomalies de température à une résolution spatiale de $1° \times 1°$ de latitude et de longitude. À partir de ces données maillées, nous construisons des mesures de température au niveau des pays pondérées par les surfaces. Nous construisons également des mesures pondérées par les surfaces de la température mondiale, qui incluent la température de l'air à la surface des terres et des océans. De manière rassurante, notre mesure est presque parfaitement corrélée avec la mesure directe de la NOAA.

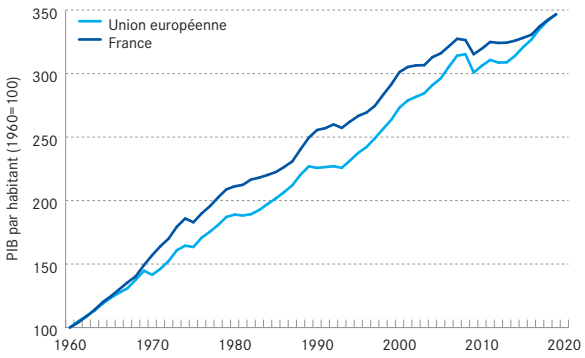
La figure 1 présente l'évolution de la température moyenne mondiale et du PIB réel mondial par habitant depuis 1960 dans notre base de données. La température moyenne mondiale a augmenté progressivement depuis les années 1960. Dans le même temps, la croissance économique est demeurée relativement stable sur l'ensemble de l'échantillon.

Figure 1. Évolution de la température moyenne mondiale et du PIB réel mondial par habitant depuis 1960

a. Température mondiale



b. PIB par habitant : France, Union européenne



Sources : données issues de a. Berkeley Earth ; b.Penn World Tables.

Chocs de température

Le comportement tendanciel des deux séries de la figure 1 complique l'identification des effets économiques des hausses de température. Une simple corrélation du PIB mondial par habitant avec la température serait fallacieuse (Granger et Newbold, 1974). Dans notre cas, la difficulté est encore accrue par le fait que la croissance économique est associée à des émissions plus élevées de gaz à effet de serre, qui se traduisent à terme par des températures plus élevées. Pour contourner ces difficultés, nous ne nous concentrons pas sur le niveau de la température comme variable explicative, mais sur des chocs de température. Nous définissons ces chocs comme des écarts par rapport à la tendance de long terme de la température moyenne mondiale.

Qu'est-ce qui explique ces variations de température autour de la tendance ? La littérature en géosciences distingue deux types de causes. Premièrement, des causes externes, telles que les cycles solaires et les éruptions volcaniques, entraînent des fluctuations de court terme de la température moyenne de la Terre. Les cycles solaires ont une période typique de 10 ans et peuvent réchauffer la Terre jusqu'à 0,1 °C (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2009). Les éruptions volcaniques ont des effets de refroidissement plus brefs, pouvant durer jusqu'à 2 ans, en raison des aérosols sulfatés qui accroissent l'albédo (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2005). Deuxièmement, la variabilité interne du climat – les interactions au sein du système climatique lui-même qui donnent lieu à des événements récurrents irréguliers – affecte aussi les températures. Par exemple, le cycle El Niño-La Niña varie de manière imprévisible entre 2 et 7 ans et affecte fortement les températures moyennes mondiales ainsi que les extrêmes météorologiques (Kaufmann et al., 2006 ; National Oceanic and Atmospheric Administration, 2023).

Comment isoler la tendance et les composantes transitoires de la température ? Une approche adaptée à nos besoins sur ces deux dimensions est la méthode proposée par Hamilton (2018). Nous prédisons la température courante à partir de valeurs passées de la température et extrayons l'erreur de prévision. Nous appelons cette erreur de prévision le choc de température. L'annexe A.1 (Définition des chocs de température) fournit davantage de détails. Les chocs de température mondiale ainsi obtenus fluctuent autour de zéro, avec un nombre presque égal de chocs positifs et négatifs. Les plus grands chocs de température de notre échantillon sont proches de 0,3 °C.

Méthode empirique

Nous évaluons l'effet des chocs de température mondiale sur l'activité économique à moyen terme. À cette fin, nous utilisons des méthodes de régression de panel standard, dans lesquelles la variable explicative est le choc de température mondiale. Les variables dépendantes sont les différences du logarithme du PIB par habitant entre l'année du choc et jusqu'à 10 ans après le choc de température. L'annexe A.2 (Spécification empirique) fournit davantage de détails. Nous estimons l'effet des chocs de température mondiale pour la France seule, ainsi qu'en moyenne sur l'ensemble des pays de l'Union européenne. Dans les deux cas, nous tenons compte d'un ensemble riche de variables de contrôle. Plus précisément, nous incluons les valeurs passées du PIB par habitant, les valeurs passées du choc de température, les valeurs passées de la croissance du PIB réel mondial par habitant, les taux des obligations à 1 an, les indicatrices de récession courantes et retardées, et une tendance linéaire.

Nous comparons également les effets des chocs de température mondiale à l'effet plus conventionnel des chocs de température locale (Dell et al., 2012; Burke et al., 2015). Afin de nous assurer que nos résultats ne sont pas dus à des différences de spécifications économétriques ou de choix de données, nous reproduisons les effets des chocs de température locale dans notre cadre empirique. Nous mesurons les chocs de température locale et leur effet sur le PIB avec la même méthodologie que pour la température mondiale, mais à partir des données de température au niveau des pays. Les chocs de température locale et mondiale se révèlent seulement faiblement corrélés. Souvent, les chocs mondiaux ne correspondent pas à des chocs locaux et évoluent fréquemment dans des directions différentes.

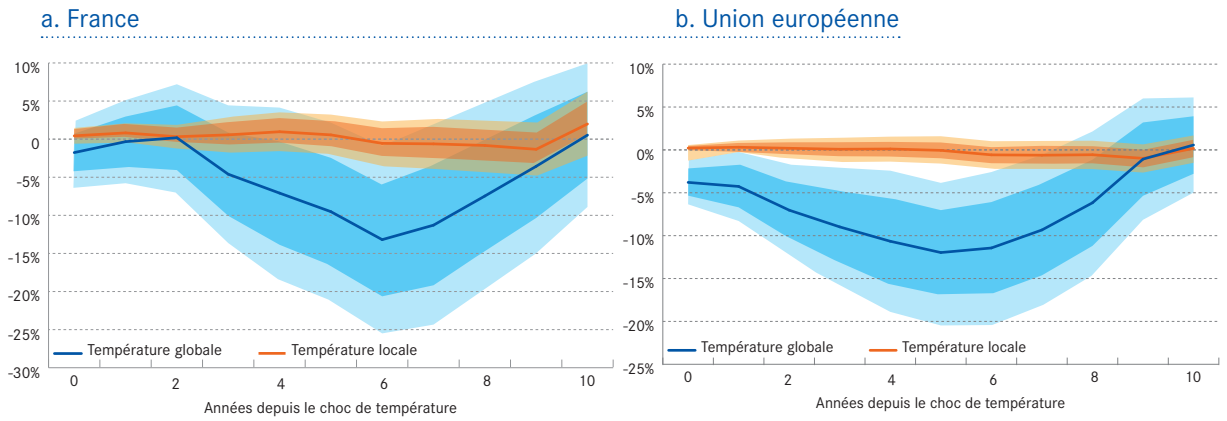
Résultats

La figure 2 présente les réponses impulsionnelles à un choc de température mondiale. Les chocs de température mondiale entraînent une baisse significative du PIB réel par habitant. Un choc de température mondiale normalisé à 1 °C conduit à une baisse graduelle du PIB français par habitant, qui atteint un maximum de 13 % après 6 ans. Le PIB par habitant de l'Union européenne suit une dynamique similaire, avec une baisse maximale de 12 % après 5 ans. Les effets pour l'Union européenne sont estimés avec plus de précision, mais les estimations ponctuelles sont similaires.

En revanche, un choc de température locale normalisé à 1 °C conduit à un effet nul estimé un peu plus précisément, tant pour la France que pour l'Union européenne. Ces estimations ponctuelles pour la température locale sont proches des résultats antérieurs de Dell et al. (2012) et Burke et al. (2015) pour les pays riches situés à des latitudes relativement élevées.

La comparaison révèle que les chocs de température mondiale ont des effets plus marqués sur l'activité économique que les chocs de température locale. Les effets estimés des chocs de température mondiale sont d'un ordre de grandeur supérieurs à ceux des chocs de température locale, à modèle empirique et période d'échantillon identiques. Cet écart souligne l'importance de se concentrer sur des mesures représentatives du changement climatique, telles que la température mondiale, faute de quoi ses conséquences économiques risquent de passer inaperçues.

Figure 2. Effet à moyen terme des chocs de température sur le PIB en France et dans l'Union européenne



Note: Réponses impulsionnelles du PIB réel par habitant aux chocs de température mondiale et locale estimées dans le panel à partir de (2) et (3). Contrôles: 4 retards de la variable dépendante, choc de température, croissance du PIB réel mondial, taux des obligations à 1 an, indicatrices de récession courantes et retardées, et tendance linéaire. Échantillon: 1960-2019. Courbe bleue: effet d'un choc de température mondiale à l'horizon 0. Courbe orange: effet d'un choc de température locale à l'horizon 0. Zones foncée et claire: intervalles de confiance de référence à 68 et 90 %.

Pourquoi, alors, la température mondiale déprime-t-elle davantage l'activité économique que la température locale? Bilal et Känzig (2026) montrent que la température mondiale est fondamentalement différente de la température locale. La littérature en géosciences montre que les sécheresses, les vents extrêmes et les précipitations sont des manifestations du climat mondial qui dépendent des températures océaniques et de l'humidité atmosphérique à l'échelle du globe, plutôt que de réalisations locales de température (Seneviratne et al., 2016; Wartenburger et al., 2017; Seneviratne et al., 2021; Domeisen et al., 2023).

Dans le même esprit, Bilal et Känzig (2026) montrent que la température des océans, plutôt que celle des terres, est responsable de la majeure partie des effets de la température mondiale sur l'activité économique. En outre, les chocs de température mondiale prédisent une hausse prononcée et persistante de la fréquence de quatre événements climatiques extrêmes qui causent des dommages économiques : températures extrêmes, sécheresses, vents extrêmes et précipitations extrêmes. En revanche, les chocs de température locale ne prédisent qu'une faible hausse de ces extrêmes. Quantitativement, l'inclusion de ces quatre événements extrêmes permet d'expliquer la moitié de l'impact estimé de la température mondiale. Bien sûr, cet exercice d'agrégation ne peut probablement pas rendre compte de l'effet complet de la température mondiale sur le PIB : il faudrait spécifier et mesurer l'ensemble des canaux par lesquels la température mondiale affecte l'économie. L'utilisation directe de la température mondiale contourne cette difficulté.

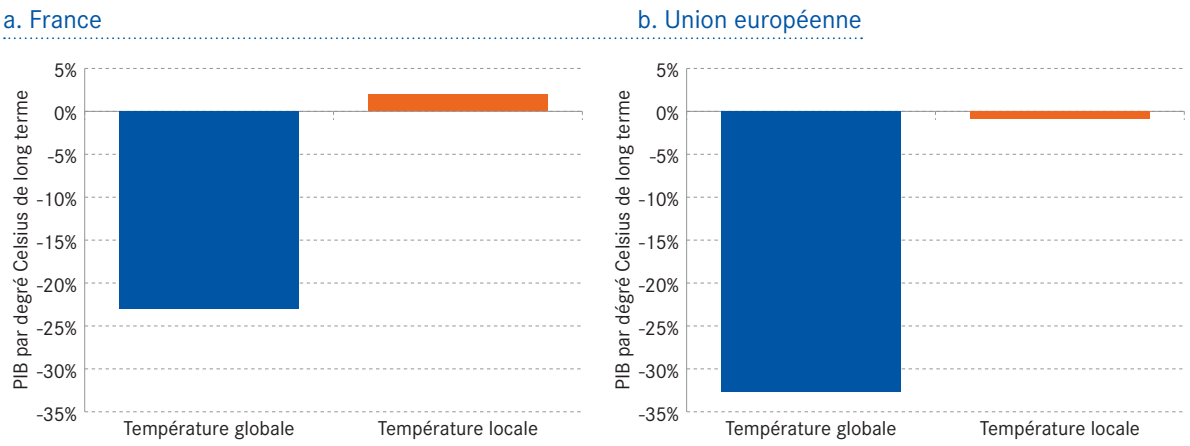
La baisse graduelle du PIB après les chocs de température mondiale reflète non seulement l'impact direct du choc initial de température, mais aussi les effets ultérieurs d'une température durablement élevée qui s'accumulent au fil du temps. La figure 9 de l'annexe A montre que le niveau de température augmente après un choc de température avant de revenir progressivement vers zéro, tout en restant élevé pendant plusieurs années après le choc initial.

Nous nous sommes concentrés sur les chocs de température pour des raisons économétriques, mais le déterminant fondamental de la production est le niveau de température. Ainsi, les impacts de 12-13 % après 5-6 ans dépassent l'effet d'une hausse ponctuelle et entièrement transitoire de 1 °C de la température, mais restent inférieurs à l'effet d'une hausse permanente de 1 °C.

Nous inférons ensuite l'impact d'une hausse permanente de 1 °C de la température mondiale uniquement à partir de nos estimations empiriques. Nous suivons la pratique standard et calculons le ratio entre la réponse impulsionnelle cumulée de la production par habitant et la réponse impulsionnelle cumulée de la température, qui correspond à un cas particulier de la méthode de Sims (1986). Plus précisément, nous calculons $\sum_{h=0}^{10} \theta_h^{GDPpc} / \sum_{h=0}^{10} \theta_h^{T}$ où les deux fonctions de réponse impulsionnelle, celle du logarithme du PIB par habitant θ_h^{GDPpc} et celle du niveau de température θ_h^{T}, répondent au même choc de température (mondiale ou locale) à $h = 0$ (figures 2 et 9).

La figure 3 montre qu'une hausse permanente de 1 °C de la température mondiale entraîne une réduction de long terme de 23 % du PIB français par habitant, et de 33 % pour l'Union européenne. En revanche, une hausse permanente de 1 °C de la température locale entraîne une hausse de long terme de 2 % du PIB français par habitant et une baisse de 1 % pour l'Union européenne.

Figure 3. Une première estimation de l'effet de long terme de la température sur le PIB en France et dans l'Union européenne



Note : Effet de long terme d'une hausse permanente de température de 1 °C sur le PIB par habitant. Calculé comme $\sum_{h=0}^{10} \theta_h^{GDPpc} / \sum_{h=0}^{10} \theta_h^{T}$, où les deux fonctions de réponse, celle du logarithme du PIB par habitant θ_h^{GDPpc} et celle du niveau de température θ_h^{T}, répondent au même choc de température (mondiale ou locale) à $h = 0$ (figures 2 et 9).

Même si le changement climatique se produit par une suite de petites augmentations, extrapoler nos estimations à une hausse de 1 °C repose sur deux conditions. Il est important de noter que ces mêmes conditions sous-tendent aussi les estimations existantes fondées sur la variation de la température locale. La première condition est que la relation entre température et PIB par habitant demeure valable au-delà de l'amplitude des chocs de température

observés dans l'échantillon. Un choc de température mondiale de 1 °C est un choc important qui n'apparaît pas directement dans notre échantillon historique : en pratique, nous observons des chocs plus petits, de 0,1-0,2 °C.

Dans notre analyse, nous faisons abstraction des non-linéarités potentielles. Bilal et Känzig (2026) ne trouvent guère d'éléments en faveur de non-linéarités parmi les chocs relativement faibles observés dans l'échantillon. Ces résultats n'impliquent pas que les non-linéarités ne jouent aucun rôle pour des variations plus importantes qui ne se sont pas encore matérialisées. Toutefois, en présence de points de bascule potentiels à l'avenir, on pourrait s'attendre à des effets plus importants que ceux prédits par nos estimations linéaires (Dietz et al., 2021b). Si une adaptation coûteuse aux impacts de la température mondiale devient plus répandue à l'avenir qu'elle ne l'a été historiquement, les impacts réalisés pourraient alors être plus faibles que nos estimations.

La deuxième condition qui rend notre extrapolation cohérente est que la relation estimée entre PIB par habitant et température mondiale demeure valable pour des changements de température permanents et anticipés. Nous intégrons la réponse de l'investissement en capital dans notre modèle structurel à la section suivante.

Impacts de long terme

Modèle et estimation

Nous convertissons nos estimations de moyen terme en impacts de long terme au moyen d'un modèle standard intégrant l'investissement en capital. Notre cadre suit de près le modèle de croissance néoclassique standard. Il reprend ainsi l'ossature du modèle Dynamic Integrated Climate Economy (DICE) introduit par Nordhaus (1992).

Les ménages décident de leur consommation et de leur épargne. L'épargne est transformée en capital productif. Les entreprises décident de la quantité de travail et de capital à utiliser, ce qui détermine les salaires et les taux d'intérêt. La température mondiale affecte la productivité des entreprises : des températures plus élevées réduisent la productivité. Cette relation est gouvernée par la fonction de dommage.

Nous paramétrons la fonction de dommage de manière que le modèle reproduise les estimations de moyen terme des figures 2 et 9. Nous le faisons séparément pour la France et pour l'Union européenne. L'annexe B fournit davantage de détails.

Avec le modèle estimé, nous construisons deux types d'exercices. Le premier examine comment l'activité économique évolue du fait du changement climatique au cours du prochain siècle. Nous introduisons une trajectoire de température mondiale de type statu quo qui ajoute deux degrés aux températures actuelles d'ici 2100, soit environ 3 degrés au-dessus des températures préindustrielles. Notre scénario de référence suppose une croissance annuelle de la productivité de 2 % en l'absence de changement climatique.

Le second exercice évalue le coût régional du carbone (CRC) pour l'Union européenne et pour la France. Il est important de distinguer le coût régional du carbone du concept bien connu de coût social du carbone. Le coût social du carbone résume la valeur (en euros) de l'ensemble des pertes mondiales actuelles et futures associées à l'émission d'une tonne de carbone aujourd'hui, en laissant le réchauffement supplémentaire causé par cette tonne suivre son cours et en considérant toutes les pertes économiques qu'il provoque à l'avenir. Par contraste, le coût régional du carbone d'une région résume la valeur de toutes les pertes actuelles et futures qui se produisent uniquement dans cette région et qui sont associées à l'émission d'une tonne de carbone aujourd'hui.

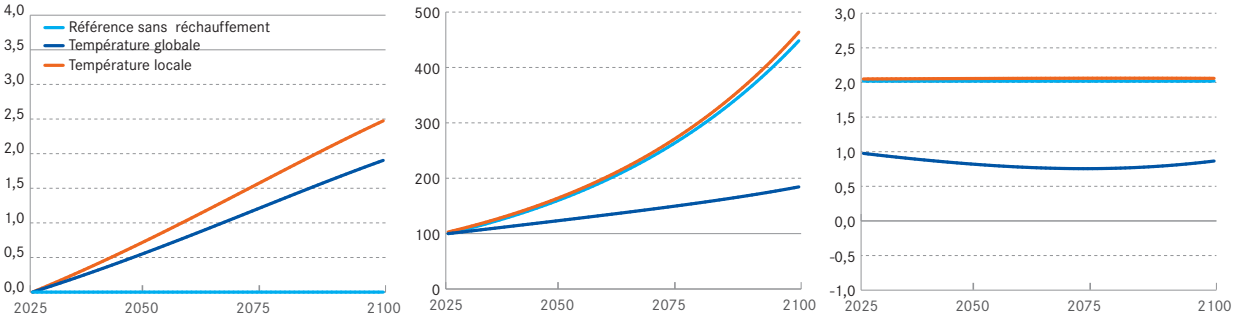
Bien sûr, le coût régional du carbone de toute région est inférieur au coût social du carbone, et la somme des coûts régionaux du carbone de toutes les régions est égale au coût social du carbone (mondial). Les régions plus exposées aux dommages climatiques présentent des coûts régionaux du carbone plus élevés. En outre, les régions dont l'économie est plus grande présentent également des coûts régionaux du carbone plus élevés, simplement parce qu'elles représentent une plus grande part de l'activité économique globale et tendent donc à subir davantage de pertes économiques liées au changement climatique.

Croissance de long terme à l'ère du changement climatique

La figure 4 présente nos principaux résultats de long terme pour la France. Le panneau (a) représente la trajectoire de température moyenne mondiale que nous utilisons comme scénario principal de changement climatique. Nous présentons également la trajectoire correspondante de température locale pour la France. La France se réchauffe environ 30 % plus vite que la moyenne mondiale.

Figure 4. Effet de long terme du changement climatique en France

a. Température (en degrés Celsius) b. PIB par habitant c. Taux de croissance (pp)



Note : Évolution de l'activité économique française à partir du scénario d'évolution de la température mondiale présenté dans la figure (a). Les lignes bleu clair représentent un scénario de référence sans changement climatique. Les lignes bleu foncé traduisent l'évolution de l'activité économique lorsque les dommages climatiques sont évalués à partir de la température mondiale. Les lignes orange correspondent à l'évolution de l'activité économique lorsque les dommages climatiques sont évalués à partir de la température locale. b. Indice 2025 = 100.

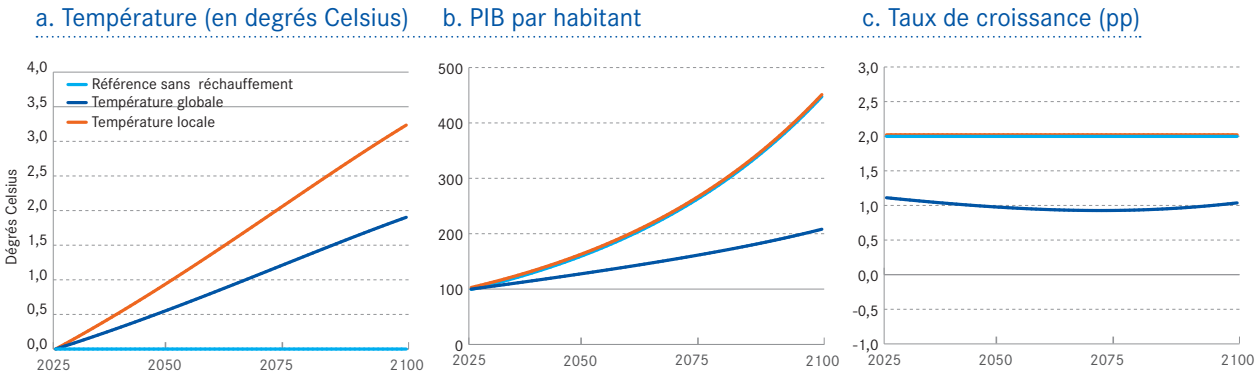
Le panneau (b) montre les trajectoires de PIB par habitant sous changement climatique pour l'économie française. En l'absence de changement climatique, le PIB par habitant est supposé croître de 2 % par an, de sorte qu'il est plus de 4 fois plus élevé à la fin du siècle qu'en 2025.

La croissance du PIB ralentit fortement. Comme les dommages climatiques s'accumulent au cours du siècle, la production est à peine moins de deux fois plus élevée qu'en 2025. Le panneau (c) indique que cet écart correspond à plus qu'une division par deux du taux de croissance de l'économie française au cours du siècle. La figure 10 de l'annexe B présente ces valeurs en pourcentage du scénario de référence sans changement climatique. À la fin du siècle, le PIB par habitant et la consommation sont près de 60 % plus faibles qu'ils ne l'auraient été en 2100 en l'absence de changement climatique.

La prise en compte des pertes économiques associées à la température mondiale est un facteur important de ces conclusions. Lorsque les dommages climatiques sont calculés à partir de la température locale, il n'y a pratiquement aucun changement relativement au cas sans changement climatique, car les pertes économiques sont faibles.

Les figures 5 et 11 de l'annexe B présentent les trajectoires de croissance correspondantes pour l'Union européenne dans son ensemble. Elles sont similaires à celles de la France.

Figure 5. Effet de long terme du changement climatique en Union européenne

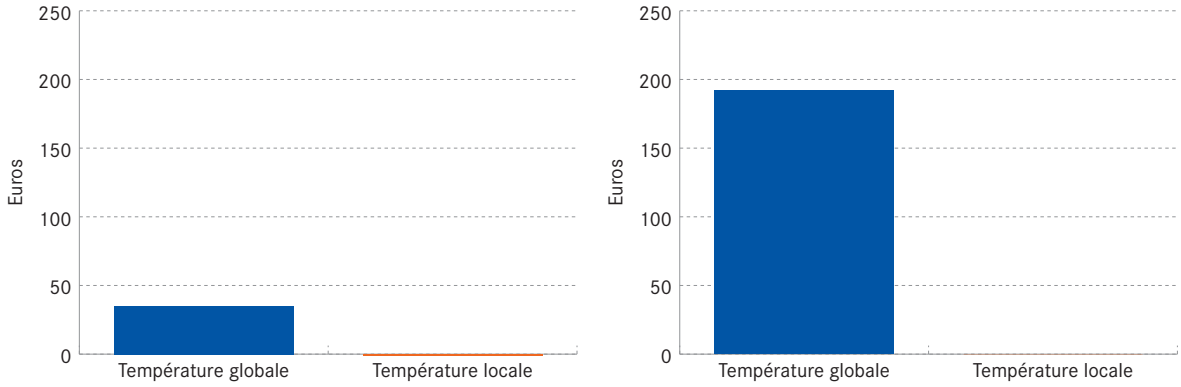


Note: Évolution de l'activité économique européenne à partir du scénario d'évolution de la température mondiale présenté dans la figure (a). Les lignes bleu ciel représentent un scénario de référence sans changement climatique. Les lignes bleu foncé traduisent l'évolution de l'activité économique lorsque les dommages climatiques sont évalués à partir de la température mondiale. Les lignes orange correspondent à l'évolution de l'activité économique lorsque les dommages climatiques sont évalués à partir de la température locale. b. Indice 2025 = 100.

Le coût régional du carbone

Nous passons maintenant à notre second exercice. Au lieu de considérer les pertes économiques associées à plusieurs degrés de réchauffement, nous considérons les pertes économiques associées à l'émission d'une seule tonne de carbone et au réchauffement correspondant qui suit son cours. En vue de la section suivante, nous exprimons ces pertes en valeur actualisée afin de les comparer aux coûts de décarbonation : le coût régional du carbone, puisque nous ne considérons que les pertes se produisant à l'intérieur des frontières françaises ou de l'Union européenne.

Figure 6. Le coût régional du carbone en France et en Union européenne



Note: Coût régional du carbone pour la France (a) et l'Union européenne (b), en euros de 2025. Barre bleue à gauche : coût prenant en compte les dommages dus à l'augmentation des températures mondiales. Barre orange à droite : coût prenant en compte les dommages dus à l'augmentation des températures locales.

La figure 6 présente le coût régional du carbone obtenu séparément pour la France et pour l'Union européenne. Le coût régional du carbone de la France est de 34€, tandis qu'il est de 185€ pour l'Union européenne. L'essentiel de cet écart s'explique par la taille économique plus importante de l'Union européenne. Comme l'économie de l'Union européenne est six fois plus grande que celle de la France, son coût régional du carbone devrait être proportionnellement plus élevé. En outre, la France et l'Union européenne ne sont pas exposées de manière exactement identique aux chocs de température, ce qui explique le reste de l'écart. Lorsque les dommages économiques sont estimés à partir de la température locale, les coûts régionaux du carbone sont essentiellement nuls.

Décarbonation unilatérale

Le problème du passager clandestin

Obtenir d'importantes réductions d'émissions est difficile en raison du problème classique du passager clandestin : un pays qui décarbone son économie supporte l'intégralité du coût mais ne récupère qu'une fraction des bénéfices associés (mesurés par le coût régional du carbone), puisque tous les autres pays bénéficient également de la décarbonation. Malgré des progrès substantiels dans les négociations internationales visant à coordonner les réductions d'émissions depuis la Conférence des Parties de Paris en 2015, les émissions mondiales ont continué d'augmenter presque chaque année.

Le problème du passager clandestin est aigu lorsque les pertes liées au changement climatique sont modérées — c'est-à-dire lorsque le coût social du carbone est modéré. Dans ce cas, tout pays fait face à un coût régional du carbone faible, qui est le seul coût du carbone qu'il prend en compte s'il décide de se comporter en passager clandestin. Il est alors tentant de se soustraire aux accords climatiques afin d'éviter de payer pour la décarbonation.

Lorsque le coût social du carbone est élevé, les coûts régionaux du carbone le sont également. Dans ce cas, le problème du passager clandestin peut devenir moins aigu, car chaque pays fait face à des incitations nationales plus fortes à se décarboner. Autrement dit, quoi que fassent les autres pays, réduire ses propres émissions s'autofinance puisque, à la marge, cela réduit la température et produit des bénéfices nationaux plus importants. Soutenir une décarbonation unilatérale est plus exigeant, car les pays ne considèrent que leurs coûts régionaux du carbone lorsqu'ils mettent en œuvre leur politique, puisqu'ils ne prennent en compte que les pertes économiques à l'intérieur de leurs frontières. Pour comprendre si la décarbonation unilatérale est rentable, nous devons comparer deux objets, comme le détaille l'annexe C. Premièrement, nous devons construire les bénéfices de la décarbonation unilatérale. Ces bénéfices prennent la forme de pertes économiques évitées dues aux émissions actuelles. Ils sont résumés par le coût régional du carbone, que nous avons déjà calculé à la section précédente. Deuxièmement, nous devons construire les coûts de décarbonation — aussi appelés coûts d'abattement. Nous nous tournons maintenant vers ces coûts.

La courbe de coût marginal d'abattement

Nous utilisons le rapport de Criqui (2023) pour construire les coûts d'abattement de 6 grandes catégories d'émissions en France : production d'énergie, transports, bâtiments, procédés industriels, hydrogène et capture directe de l'air. Nous obtenons les émissions agrégées françaises pour chaque catégorie auprès du Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique. Nous utilisons ensuite la courbe de coût d'abattement de Bilal et Känzig (2025) afin d'obtenir des coûts d'abattement relatifs à un niveau plus fin au sein de chaque catégorie. Surtout, notre méthodologie préserve les coûts d'abattement propres à la France au niveau des grandes catégories.

Nous répétons ensuite la même méthodologie pour l'Union européenne. En l'absence de données comparables de coûts d'abattement au niveau de l'Union européenne, nous appliquons les coûts d'abattement français par grandes catégories à l'Union européenne. Nous obtenons les émissions agrégées de l'Union européenne pour chaque catégorie auprès d'Eurostat. Cette combinaison produit une courbe de coût d'abattement sensiblement différente, car la composition des émissions de l'Union européenne diffère notablement de celle de la France.

Décarbonation unilatérale en France et dans l'Union européenne

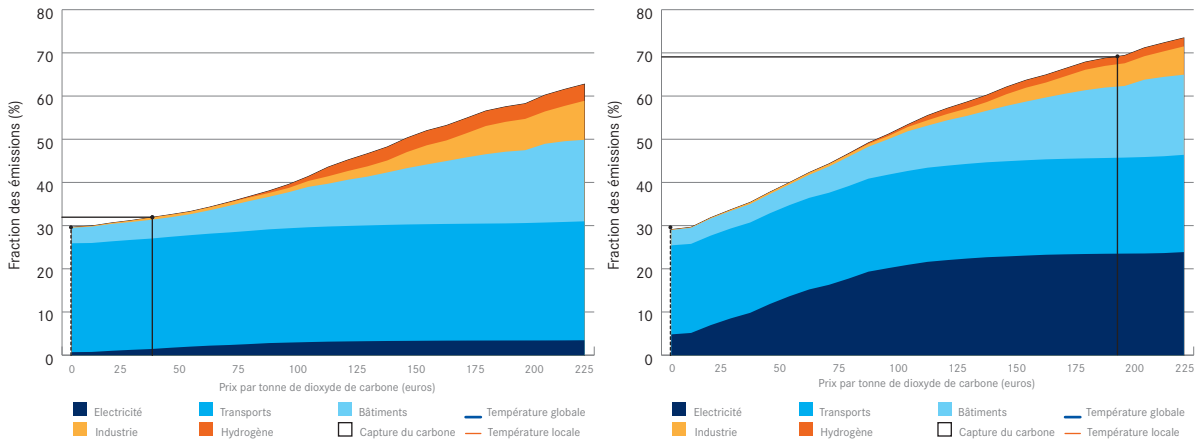
La figure 7 illustre l'analyse coûts-bénéfices inhérente à la décarbonation unilatérale. Nous menons d'abord l'analyse pour la France, supposée agir unilatéralement, y compris indépendamment du reste de l'Union européenne. Nous menons ensuite l'analyse pour l'Union européenne, qui agit de manière coopérative — c'est-à-dire qui partage les coûts d'abattement entre tous ses membres — mais unilatéralement vis-à-vis du reste du monde.

La figure 7 superpose le coût régional du carbone à la courbe de coût d'abattement. Le point de la courbe de coût d'abattement qui est égal au coût régional du carbone correspond à l'abattement maximal rentable.

Figure 7. Coûts d'abattement et coûts régionaux du carbone en cas de décarbonation unilatérale en France et en Union européenne

a. France

b. Union européenne



Note : Courbe de coûts marginaux de réduction des émissions et coûts régionaux du carbone (CRC) français et européen. Axe des abscisses : prix du carbone (coût marginal de réduction). Axe des ordonnées : fraction des émissions de l'économie optimalement réduites. Le CRC européen est plus élevé que le CRC français car il prend en compte les dommages de l'ensemble de l'UE. Pour obtenir le CRC européen, on répète pour l'UE les estimations effectuées pour la France. Le CRC français ne prend en compte que les dommages pour l'économie française. La courbe d'abattement française est plus plate car l'électricité française est déjà largement décarbonée, ce qui n'est pas le cas au niveau européen.

Lecture : Lorsque le prix du carbone atteint 185 € par tonne de CO_2 (le coût régional du carbone de l'UE), il est rentable pour l'UE de réduire environ 65 % de ses émissions.

La figure 7 indique que, prise isolément, la France n'a pas de fortes incitations à réduire ses émissions unilatéralement. L'économie française n'est tout simplement pas assez grande pour internaliser une part importante des dommages mondiaux. De plus, la France dispose déjà d'un secteur de production d'énergie relativement décarboné, ce qui implique qu'il y reste peu de réductions d'émissions à réaliser à faible coût. Ainsi, prise isolément, la France ne se décarbonerait pas unilatéralement beaucoup plus qu'en l'absence de changement climatique — une partie de la décarbonation est rentable même sans changement climatique, par exemple parce que les véhicules électriques sont déjà moins coûteux que les véhicules à moteur thermique en coût complet.

La conclusion change fortement lorsque l'on considère l'Union européenne comme un bloc. Comme l'Union européenne est environ six fois plus grande que la France en taille économique, elle prend en compte une part beaucoup plus importante des dommages climatiques (estimés à partir de la température mondiale). Par conséquent, elle a des incitations beaucoup plus fortes à décarboner son économie, même unilatéralement. Notre analyse indique que, collectivement, l'Union européenne trouve rentable de décarboner jusqu'à 65 % de son économie. Lorsque les coûts de décarbonation sont partagés entre les membres, tous bénéficient de températures plus basses.

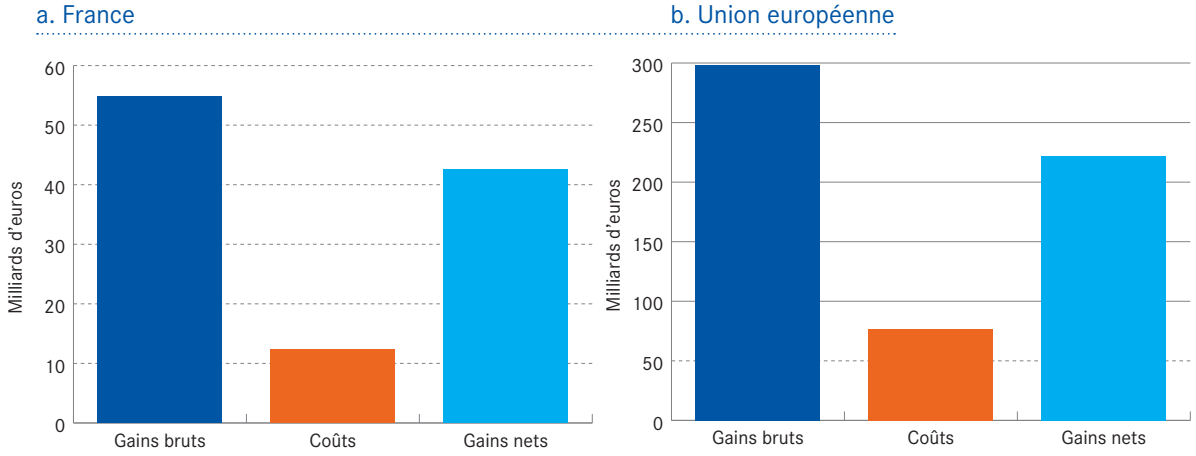
Cette comparaison donne une interprétation directe de la politique correspondante. La décarbonation unilatérale optimale de l'Union européenne consiste à porter le prix marginal du carbone au niveau de son coût régional du carbone européen, estimé ici à 185 euros par tonne. Dans l'architecture européenne actuelle, le levier principal est le système européen d'échange de quotas d'émission (EU-ETS 1). Atteindre ce niveau impliquerait de réduire le nombre de permis mis sur le marché afin d'augmenter le prix des quotas, au-delà des niveaux récents de l'EU-ETS 1 qui ont oscillé entre 70 et 90 euros par tonne. Cela impliquerait aussi d'étendre progressivement le périmètre du marché carbone afin que ce signal-prix couvre les grands postes d'émissions qui structurent la courbe de coût d'abattement : production d'énergie, transports, bâtiments et procédés industriels. Cette extension est cohérente avec l'élargissement prévu du système ETS 1 et la mise en place du marché ETS2.

Bénéfices et coûts sous décarbonation unilatérale

Nous détaillons maintenant la valeur des bénéfices et des coûts économiques associés à la décarbonation unilatérale. Compte tenu de nos résultats de la section « Décarbonation unilatérale en France et dans l'Union européenne », nous nous concentrons sur le cas où l'Union européenne coordonne sa politique de décarbonation.

Nous considérons donc la décarbonation unilatérale au niveau de l'Union européenne, et présentons les bénéfices et les coûts supportés par la France et par l'Union européenne dans le cadre de cette politique commune.

Figure 8. Bénéfices et coûts pour la France et pour l'Union européenne de la décarbonation unilatérale européenne



Note : Bénéfices et coûts pour la France et pour l'Union européenne d'une décarbonation unilatérale entreprise par l'Europe. Les coûts pour la France sont calculés proportionnellement à sa part dans le PIB de l'Union européenne.

La figure 8 montre que la France gagnerait 42 milliards d'euros par an grâce à la politique de décarbonation unilatérale de l'Union européenne. Ces gains nets correspondent à 55 milliards d'euros de bénéfices bruts – le coût régional du carbone multiplié par le volume d'émissions évitées – moins 12 milliards d'euros de coûts d'abattement. Les ordres de grandeur sont similaires pour l'Union européenne dans son ensemble, mais avec des montants beaucoup plus élevés en raison de sa plus grande taille économique : 221 milliards d'euros de bénéfices nets, avec 298 milliards d'euros de bénéfices bruts et 77 milliards d'euros de coûts d'abattement.

Comme le montre la figure 12 de l'annexe C.2 (Bénéfices et coûts), ces gains sont largement tirés par trois secteurs : la production d'énergie, les transports et l'isolation des bâtiments. Les procédés industriels et l'hydrogène représentent des gains beaucoup plus faibles, et la capture directe de l'air est pratiquement nulle.

Enfin, nous soulignons que les coûts d'abattement sont supportés aujourd'hui, tandis que les bénéfices s'étalent sur de longues périodes. Bien que la valeur actualisée de ces bénéfices dépasse les coûts, les bénéfices ne se matérialisent qu'après 10 à 25 ans. Nous présentons la trajectoire temporelle exacte des bénéfices dans la figure 13 de l'annexe C.2 (Bénéfices et coûts).

Références

Barrage L., Nordhaus W. (2024) : « Policies, projections, and the social cost of carbon: Results from the DICE-2023 model », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 121, n° 13.

Bilal A., Känzig D. R. (2025) : « Does Unilateral Decarbonization Pay For Itself? », *American Economic Association Papers and Proceedings*, vol. 115, p. 369-373.

Bilal A., Känzig D. R. (2026) : « The Macroeconomic Impact of Climate Change: Global vs. Local Temperature », *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 141, p. 889-944.

Burke M., Hsiang S. M., Miguel E. (2015) : « Global non-linear effect of temperature on economic production », *Nature*, vol. 527, n° 7577, p. 235-239.

Criqui P. (2023) : « Les coûts d'abattement en France », France Stratégie, *note de synthèse*.

Dell M., Jones B. F., Olken B. A. (2012) : « Temperature shocks and economic growth: Evidence from the last half century », *American Economic Journal: Macroeconomics*, vol. 4, n° 3, p. 66-95.

Dietz S., van der Ploeg F., Rezai A., Venmans F. (2021b) : « Are Economists Getting Climate Dynamics Right and Does It Matter? », *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, vol. 8, n° 5, p. 895-921.

Dietz S., Rising J., Stoerk T., Wagner G. (2021a) : « Economic impacts of tipping points in the climate system », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 118, n° 34.

Domeisen D. I. V. et al. (2023) : « Prediction and Projection of Heatwaves », *Nature Reviews Earth and Environment*, vol. 4, p. 36-50.

Folini D., Friedl A., Kübler F., Scheidegger S. (2024) : « The Climate in Climate Economics », *The Review of Economic Studies*.

Granger C. W. J., Newbold P. (1974) : « Spurious regressions in econometrics », *Journal of Econometrics*, vol. 2, n° 2, p. 111-120.

Hamilton J. D. (2018) : « Why you should never use the Hodrick-Prescott filter », *Review of Economics and Statistics*, vol. 100, n° 5, p. 831-843.

Joos F. et al. (2013) : « Carbon dioxide and climate impulse response functions for the computation of greenhouse gas metrics: a multimodel analysis », *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 13, n° 5, p. 2793-2825.

Jordà Ò., Schularick M., Taylor A. M. (2020) : « The effects of quasi-random monetary experiments », *Journal of Monetary Economics*, vol. 112, p. 22-40.

Kahn M. E., Mohaddes K., Ng R. N. C., Pesaran M. H., Raissi M., Yang J.-C. (2021) : « Long-term macroeconomic effects of climate change: A cross-country analysis », *Energy Economics*, vol. 104.

Kaufmann R. K., Kauppi H., Stock J. H. (2006) : « Emissions, concentrations, & temperature: a time series analysis », *Climatic Change*, vol. 77, p. 249-278.

Moore F. C., Diaz D. B. (2015) : « Temperature impacts on economic growth warrant stringent mitigation policy », *Nature Climate Change*, vol. 5, n° 2, p. 127-131.

National Oceanic and Atmospheric Administration (2005) : « Volcanos and Climate ».

National Oceanic and Atmospheric Administration (2009) : « Climate Change: Incoming Sunlight ».

National Oceanic and Atmospheric Administration (2023) : « What are El Niño and La Niña? ».

Nordhaus W. D. (1992) : « An optimal transition path for controlling greenhouse gases », *Science*, vol. 258, n° 5086, p. 1315-1319.

Nordhaus W. D., Yang Z. (1996) : « A Regional Dynamic General-Equilibrium Model of Alternative Climate-Change Strategies », *The American Economic Review*, vol. 86, n° 4, p. 741-765.

Rennert K. et al. (2022) : « Comprehensive evidence implies a higher social cost of CO2 », *Nature*, vol. 610, n° 7933, p. 687-692.

Seneviratne S. I. et al. (2021) : « Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate », in Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., Connors S. L., Péan C., Berger S., Caud N., Chen Y., Goldfarb L., Gomis M. I., Huang M., Leitzell K., Lonnoy E., Matthews J. B. R., Maycock T. K., Waterfield T., Yelekçi O., Yu R., Zhou B. dir., *Climate Change* 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, p. 1513-1766.

Seneviratne S. I., Donat M. G., Pitman A. J., Knutti R., Wilby R. L. (2016) : « Allowable CO2 Emissions Based on Regional and Impact-Related Climate Targets », *Nature*, vol. 529, p. 477-483.

Sims C. A. (1986) : « Are forecasting models usable for policy analysis? », *Quarterly Review*, vol. 10, p. 2-16.

Wartenburger R., Hirschi M., Donat M. G., Greve P., Pitman A. J., Seneviratne S. I. (2017) : « Changes in Regional Climate Extremes as a Function of Global Mean Temperature: an Interactive Plotting Framework », *Geoscientific Model Development*, vol. 10, p. 3609-3634.

Annexes

A. Analyse empirique

Définition des chocs de température

Pour construire les chocs de température, nous régressons la température moyenne mondiale sur ses retards à partir de la période t − 1 et construisons le choc de température comme l'innovation correspondante :

$$\widehat{T_t^{\text{shock}}} = T_t - (\widehat{\alpha} + \widehat{\beta}_1 T_{t-1} + \ldots + \widehat{\beta}_{p+1} T_{t-1-p}), \qquad (1)$$

où $\hat{\beta}_i$ désigne les coefficients estimés de la régression de la température sur son retard $T_{(t-i)}$ et $\hat{\alpha}$ l'ordonnée à l'origine estimée. Nous fixons le nombre de retards à p = 4.

Spécification empirique

Pour estimer les effets causaux dynamiques des chocs de température dans le panel, nous utilisons l'approche des projections locales en panel de Jordà et al. (2020). Dans cette section, nous estimons l'effet des chocs de température mondiale, en moyenne sur l'ensemble des pays de l'Union européenne ou pour la France seule. Plus précisément, nous estimons la série suivante de régressions de panel pour les horizons h = 0, ..., 10 :

$$y_{i,t+h} - y_{i,t-1} = \alpha_{i,h} + \theta_h T_t^{\text{shock}} + \mathbf{x}_t' \boldsymbol{\beta}_h + \mathbf{x}_{i,t}' \boldsymbol{\gamma}_h + \varepsilon_{i,t+h}, \qquad (2)$$

où $y_{i,t}$ est la variable de résultat d'intérêt pour le pays i à l'année t, soit le logarithme du PIB par habitant $y_{i,t} = \log \text{GDPpc}_{i,t}$, soit le niveau de température $y_{i,t} = T_t$. T_t^{shock} est le choc de température mondiale et θ_h est l'effet causal dynamique d'intérêt à l'horizon h. x_t est un vecteur de contrôles mondiaux, $x_{i,t}$ est un vecteur de contrôles spécifiques aux pays et $\varepsilon_{i,t}$ est un terme d'erreur. Nous pondérons les projections locales de panel par la part du PIB d'un pays $\text{GDP}_{i,t-1}/\Sigma_j \text{GDP}_{j,t-1}$ à la date t − 1 afin que nos estimations soient représentatives de l'activité économique dans notre panel et que les années anciennes et récentes reçoivent un poids égal. La variation identifiante des chocs de température mondiale T_t^{shock} est commune à tous les pays ; nous ne pouvons donc pas inclure d'effets fixes d'année. Nous incluons donc des contrôles mondiaux. Nous regroupons les erreurs standards au niveau de l'année.

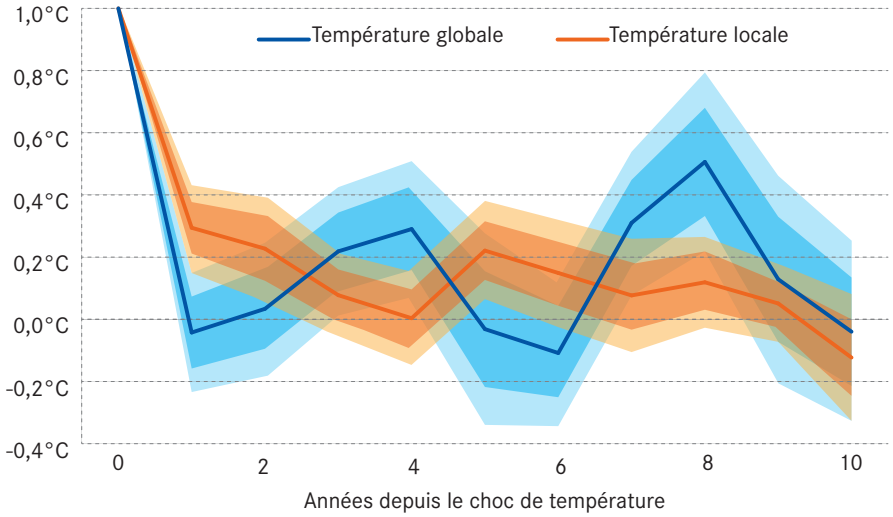
Nous incluons un ensemble riche de variables de contrôle. Plus précisément, nous contrôlons par quatre retards de la variable dépendante, le choc de température, la croissance du PIB réel mondial par habitant, la croissance du PIB réel local par habitant, les taux des obligations à 1 an, les indicatrices de récession courantes et retardées, et une tendance temporelle linéaire.

Pour estimer les réponses aux chocs locaux, nous nous appuyons sur notre spécification de panel (2) avec une différence essentielle : le choc de température devient un choc de température spécifique au pays $T_{i,t}^{\text{shock}}$. Dans cette spécification, nous pouvons faire le choix d'inclure ou d'exclure des effets fixes temporels dans l'analyse, ce qui ne modifie nos résultats qu'à la marge :

$$y_{i,t+h} - y_{i,t-1} = \alpha_{i,h} + \theta_h T_{i,t}^{\text{shock}} + \mathbf{x}_t' \boldsymbol{\beta}_h + \mathbf{x}_{i,t}' \boldsymbol{\gamma}_h + \varepsilon_{i,t+h}. \qquad (3)$$

Réponses de la température

Figure 9. Effet des chocs de température sur la température dans l'Union européenne



Note : Réponses impulsionnelles du niveau de température à un choc de température estimées dans le panel de l'Union européenne à partir de (2) et (3). Contrôles : 4 retards de la variable dépendante, choc de température, croissance du PIB réel mondial, taux des obligations à 1 an, indicatrices de récession courantes et retardées, et tendance linéaire. Échantillon : 1960-2019. Ligne bleu foncé : effet d'un choc de température mondiale à l'horizon 0 sur le niveau de température mondiale. Ligne orange foncé : effet d'un choc de température locale à l'horizon 0 sur le niveau de température locale. Zones ombrées foncée et claire : intervalles de confiance de référence à 68 % et 90 %.

B. Modèle

Notre cadre suit de près le modèle de croissance néoclassique standard. Il reprend ainsi l'ossature du modèle Dynamic Integrated Climate Economy (DICE) introduit par Nordhaus (1992) et développé dans Barrage et Nordhaus (2024). Notre principale innovation est d'utiliser nos estimations en forme réduite de l'impact des chocs de température mondiale pour estimer structurellement les fonctions de dommage dans le modèle.

Description du modèle

Environnement

Le temps est continu et s'étend indéfiniment. Il existe un continuum unitaire de ménages identiques à durée de vie infinie qui peuplent l'économie mondiale. Les ménages ont des préférences de flux à aversion relative au risque constante : $U(C) = (C^{1-\gamma}-1)/(1-\gamma)$. L'offre de travail est exogène et fixée à $L_t = 1$. Le taux pur de préférence pour le présent des ménages est ρ.

Les entreprises produisent selon une fonction de production Cobb-Douglas en capital K_t et travail L_t avec une productivité globale des facteurs Z_t dépendant du temps : $Y_t = Z_t K_t^{\alpha} L_t^{1-\alpha}$. Elles embauchent du travail et louent du capital aux ménages sur des marchés de facteurs concurrentiels. Le capital se déprécie au taux δ, constant dans le temps et supporté par les entreprises. La trajectoire de productivité Z_t est parfaitement anticipée.

Les ménages perçoivent des salaires w_t, détiennent le capital K_t et le louent aux entreprises pour la production. Le taux d'intérêt net est r_t. Les entreprises réalisent des profits nuls en raison des rendements d'échelle constants ; nous omettons donc les profits dans la contrainte budgétaire du ménage, qui peut s'écrire : $C_t + \dot{K}_t = w_t + r_t K_t$. Les ménages sont dotés d'un stock initial de capital K_0.

Un équilibre concurrentiel de notre économie est une collection de séquences $\{C_t, K_t, r_t, w_t\}_{t=0}^{\infty}$ telle que les ménages optimisent étant donné les prix $\{r_t, w_t\}_{t=0}^{\infty}$:

$$\max_{\{C_t,K_t\}_t} \int_0^\infty e^{-\rho t} U(C_t)dt \quad \text{sous la contrainte} \quad C_t + \dot{K}_t = w_t + r_t K_t \quad \text{étant donné } K_0;$$

les entreprises optimisent, étant donné les prix $\{r_t, w_t\}_t$: $\max_{K_t^D,\, L_t^D} Z_t(K_t^D)^\alpha(L_t^D)^{1-\alpha} - (r_t + \delta)K_t^D - w_t L_t^D$; et les marchés des facteurs s'équilibrent : $K_t = K_t^D$ et $1 = L_t^D$

Changement climatique

Nous modélisons le changement climatique comme des variations de la productivité globale des facteurs Z_t au cours du temps, relativement à sa valeur de référence Z_0. Cette représentation suit les travaux existants (Nordhaus, 1992 ; Nordhaus et Yang, 1996 ; Moore et Diaz, 2015 ; Kahn et al., 2021).

Nous prenons comme donnée la trajectoire de température moyenne mondiale T_t relativement à un niveau de référence T_0, et notons $\hat{T}_t \equiv T_t - T_0$ la trajectoire de température excédentaire. La température moyenne mondiale affecte la productivité globale des facteurs par l'intermédiaire de la fonction de dommage structurelle $\{\zeta s\}_{s\geq 0}$:

$$Z_t = Z_0 \exp\left(\int_0^t \zeta_s \hat{T}_{t-s} ds\right). \qquad (4)$$

Lorsque la température $T_t \equiv \overline{T}$ est constante, l'économie converge vers son état stationnaire avec la valeur correspondante de la productivité globale des facteurs $\overline{Z} = Z_0 \exp\left((\overline{T} - T_0)\int_0^\infty \zeta_s ds\right)$. Cette expression met en évidence que la fonction de dommage cumulée $\int_0^\infty \zeta_s ds$ détermine l'impact de long terme des changements de température mondiale. Dans ce cas, ζ_s doit être intégrable pour obtenir un état stationnaire bien défini. Ainsi, en présence d'effets de croissance, il n'existe pas d'état stationnaire bien défini et l'économie tend asymptotiquement vers zéro pour tout niveau de réchauffement permanent.

Pour l'instant, nous ne modélisons pas la rétroaction entre l'économie et les émissions, ni les externalités associées, car nous nous concentrons sur les dommages climatiques. L'équilibre concurrentiel est donc efficace, comme dans le modèle de croissance néoclassique standard.

Coût social du carbone

Dans notre cadre, nous définissons le coût social du carbone comme le montant unique en dollars C que les ménages seraient prêts à payer à la date 0 pour être indifférents entre un monde où une tonne supplémentaire de CO2 est émise à la date 0 et un monde démarrant à l'état stationnaire, sans émission, mais après avoir payé C.

Comme nous ne modélisons pas directement les émissions, nous devons convertir une impulsion unique de CO2 en trajectoire de température afin de calculer le CSC. Nous suivons Folini et al. (2024) et utilisons la réponse de la température moyenne mondiale à une impulsion de CO2 issue de Dietz et al. (2021a), elle-même fondée sur Joos et al. (2013).

Nous notons $\{\hat{T}_t^{CSC}\}_{t\geq 0}$ la trajectoire de réchauffement excédentaire impliquée par l'émission à la date 0 d'une tonne de CO2. La réponse médiane de Dietz et al. (2021a) indique qu'après une impulsion de 1 gigatonne de carbone, la température augmente progressivement et se stabilise finalement à 0,002 °C après 15 ans[1]. Nos résultats de bien-être ne dépendent pas de la réponse de la température à une impulsion de CO2, mais plutôt d'un scénario particulier de réchauffement.

Nous construisons ensuite une trajectoire de productivité $\{Z_t^{CSC}\}_{t\geq 0}$ selon l'équation (4), dans laquelle nous utilisons la trajectoire de température $\{\hat{T}_t^{CSC}\}_{t\geq 0}$ plutôt qu'un scénario de réchauffement global. Le modèle fournit une trajectoire de fonctions de valeur $\{V_t^{CSC}(K)\}_{t\geq 0}$, de stocks de capital d'équilibre $\{K_t^{CSC}\}_{t\geq 0}$ avec condition initiale $K_0^{CSC} = K^{ss}$, ce qui conduit à une trajectoire de valeurs réalisées $\{V_t^{CSC}(K_t^{CSC})\}_{t\geq 0}$ en réponse à ce réchauffement induit par l'impulsion de CO2. Notre définition impose que le CSC $\mathcal{C}$ soit donné implicitement par :

$$V^{ss}(K^{ss} - \mathcal{C}) = V_0^{CSC}(K^{ss}), \qquad (5)$$

où les exposants ss désignent les quantités de l'état stationnaire initial.

[1] Par souci de concision, nous désignons la réponse de l'ensemble « best fit CMIP5 ensemble » de Dietz et al. (2021a) comme la 'réponse médiane'

Pour fixer les idées, considérons le cas où le CSC n'est pas trop élevé. Une perturbation de premier ordre implique alors que le CSC vérifie $C = \int_0^\infty e^{-\rho t} u'(C^{ss})(C^{ss} - C_t^{CSC})dt = (1/\rho)\left((C^{ss} - \overline{C}^{CSC})/C^{ss}\right)$, où $(C^{ss} - \overline{C}^{CSC})/C^{ss}$ est la perte de bien-être équivalente en consommation due au réchauffement induit par l'émission initiale de CO2. Ces identités soulignent que le CSC est égal à la valorisation actualisée des pertes de bien-être équivalentes en consommation en flux, causées par le réchauffement induit par l'émission initiale de CO2. Bien que ces conditions soient utiles pour l'intuition, nous utilisons toujours dans notre quantification la définition non linéaire (5), qui tient compte d'un taux marginal de substitution variant dans le temps.

Stratégie d'estimation

L'étape suivante consiste à estimer la fonction de dommage structurelle ζs. Pour ce faire, nous faisons correspondre le modèle aux fonctions de réponse impulsionnelle de la production aux chocs de température mondiale issues des figures 2 et 9. Nous procédons en deux étapes.

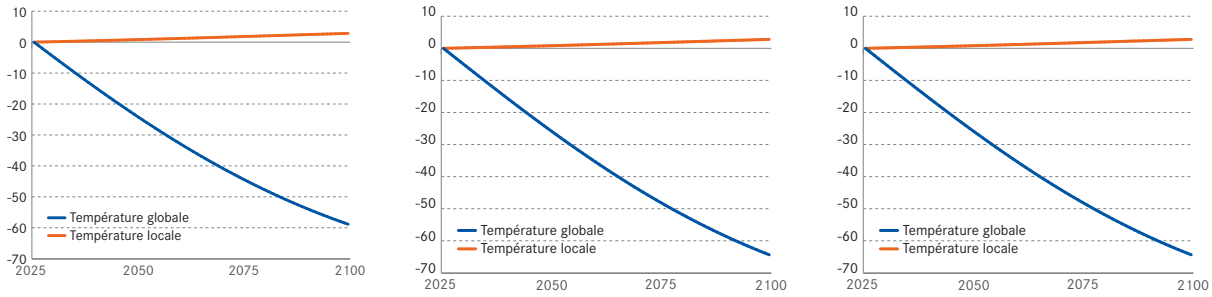
Dans la première étape, nous calibrons notre modèle à partir de valeurs standard dans la littérature, à l'exception de notre fonction de dommage. Nous fixons l'aversion au risque à $\gamma = 1$. La part du capital est $\alpha = 0{,}33$. Le taux annuel de dépréciation du capital est $\delta = 0{,}08$. Notre choix d'un taux annuel pur de préférence pour le présent $\rho = 0{,}02$ suit Rennert et al. (2022) et est cohérent avec un taux d'intérêt annuel de 2 % à l'état stationnaire. Bien sûr, la trajectoire d'équilibre de la consommation dans le modèle détermine le taux d'actualisation effectif fondé sur la consommation.

Dans la deuxième étape, nous inversons notre modèle afin d'estimer la séquence de productivité globale des facteurs correspondant à un choc de température. Nous suivons exactement Bilal et Känzig (2026).

Résultats supplémentaires

Figure 10. Impact de long terme du changement climatique pour la France : relativement au scénario de référence

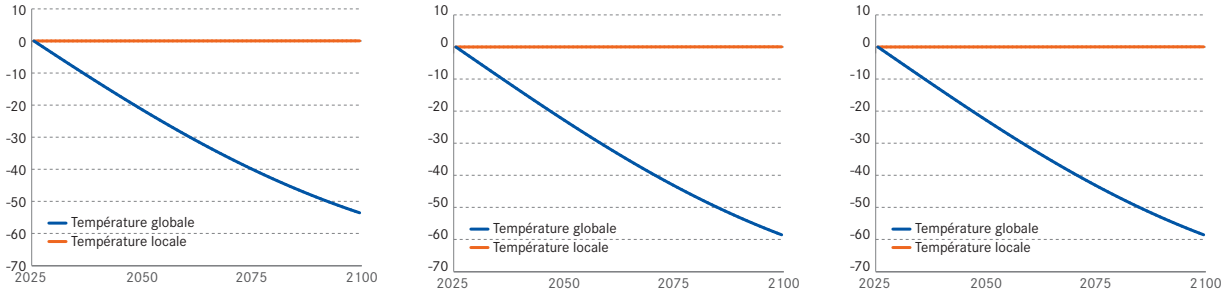
a. PIB par habitant (%) b. Consommation par habitant (%) c. Capital par habitant (%)



Note : Évolution de l'activité économique française sous le scénario de température mondiale du panneau (a), relativement au scénario de référence contemporain sans changement climatique. Lignes bleues : activité économique lorsque les dommages climatiques sont évalués à partir de la température mondiale. Lignes orange foncé : activité économique lorsque les dommages climatiques sont évalués à partir de la température locale.

Figure 11. Impact de long terme du changement climatique pour l'Union européenne : relativement au scénario de référence

a. PIB par habitant (%) b. Consommation par habitant (%) c. Capital par habitant (%)



Note : Évolution de l'activité économique de l'Union européenne sous le scénario de température mondiale du panneau (a), relativement au scénario de référence contemporain sans changement climatique. Lignes bleues : activité économique lorsque les dommages climatiques sont évalués à partir de la température mondiale. Lignes orange foncé : activité économique lorsque les dommages climatiques sont évalués à partir de la température locale.

C. Décarbonation unilatérale

Le problème du passager clandestin

Pour organiser notre analyse coûts-bénéfices, nous considérons un cadre simple à plusieurs pays qui étend notre modèle de référence. Il existe un ensemble de régions indexées par i, chacune se comportant comme dans notre modèle. L'activité économique de chaque région fonctionne en autarcie, sauf pour le dioxyde de carbone et la température mondiale : les émissions d'une région ont des répercussions partout à cause du changement climatique.

Nous définissons le bien-être économique W_i comme la valeur actualisée des flux d'utilité. Nous rendons explicite sa dépendance à deux quantités : la trajectoire de température moyenne mondiale excédentaire $T_t \geq 0$ relativement à la référence $T = 0$, et le capital initial K, que nous prenons égal à sa valeur d'état stationnaire. Nous considérons la possibilité qu'à la date 0, et seulement à la date 0, chaque économie paie des coûts de décarbonation $C_i(D_i)Y_{i0}$, où $D_i \in [0, 1]$ désigne la fraction de l'économie qui est décarbonée. Les coûts de décarbonation $C_i(D_i)Y_{i0}$ sont proportionnels à la taille de l'économie.

Ces coûts sont soustraits du stock initial de capital, de sorte que le bien-être s'écrit :

$$W_i\left(\{T_t\}_{t\geq 0}, K^{ss} - C_i(D_i)Y_{i0}\right).$$

Les émissions mondiales $E = \sum_i E_i$ entraînent un réchauffement excédentaire selon la relation $T_t = T\left(\{E_s\}_{s=0}^{t}\right)$, où la fonction $\mathcal{T}$ représente la rétroaction des gaz à effet de serre. Enfin, les émissions sont proportionnelles à la taille de l'économie : $E_{it} = (1 - D_i)Y_{it}$.

Nous considérons le problème de décision d'une région qui agit unilatéralement et choisit son taux de décarbonation sans internaliser l'externalité carbone mondiale :

$$\max_{D_i} W_i\left(\{T_t\}_{t\geq 0},\ K^{ss} - C_i(D_i)Y_{i0}\right)$$

$$\text{s.c. } T_t = \mathcal{T}\left(\left\{E_{is} + \sum_{j\neq i} E_{js}\right\}_{s=0}^{t}\right),\ E_{is} = (1 - D_i)Y_{is},$$

La condition d'optimalité conduit à $-\frac{\partial W_i}{\partial T} \bullet \frac{\partial \mathcal{T}}{\partial E} \bullet Y_i = \frac{\partial W_i}{\partial K} C_i'(D_i)Y_{i0}$, où les dérivées partielles sont comprises comme des gradients multivariés et $\bullet$ désigne le produit scalaire. Pour les petites régions qui ne modifient pas fortement la trajectoire de température mondiale en se décarbonant unilatéralement, nous pouvons imposer $Y_{is} \approx Y_{i0}$ au premier ordre. Nous reconnaissons le coût national du carbone, $CRC_i = -\frac{\partial W_i}{\partial T} \bullet \frac{\partial \mathcal{T}}{\partial E} / \frac{\partial W_i}{\partial K}$, de sorte que la condition d'optimalité devient :

$$CRC_i = C'_i(D_i)$$

Cette condition indique que le coût régional du carbone doit être égal au coût marginal d'abattement. Le coût régional du carbone est à son tour le produit des dommages climatiques en fonction de la température et de la sensibilité climatique à tous les horizons.

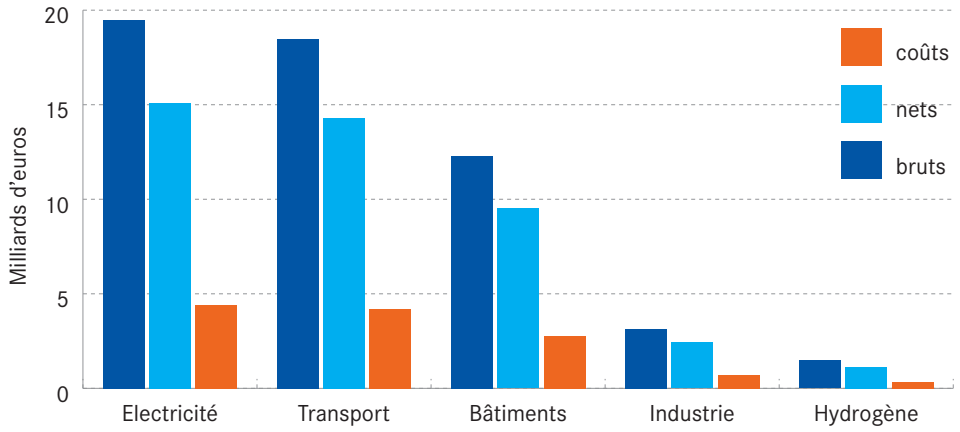
Par contraste, un planificateur mondial internalise l'externalité carbone mondiale et fixe la décarbonation de sorte que $C'_i(D_i) = \sum_j CRC_j = CSC$. Le planificateur mondial choisit toujours davantage de décarbonation que les régions agissant unilatéralement.

Dans ce Focus, nous ne comparons pas les solutions coopératives et non coopératives. Nous évaluons plutôt quantitativement dans quelle mesure la décarbonation unilatérale est rentable lorsque les dommages sont estimés à partir de la température mondiale.

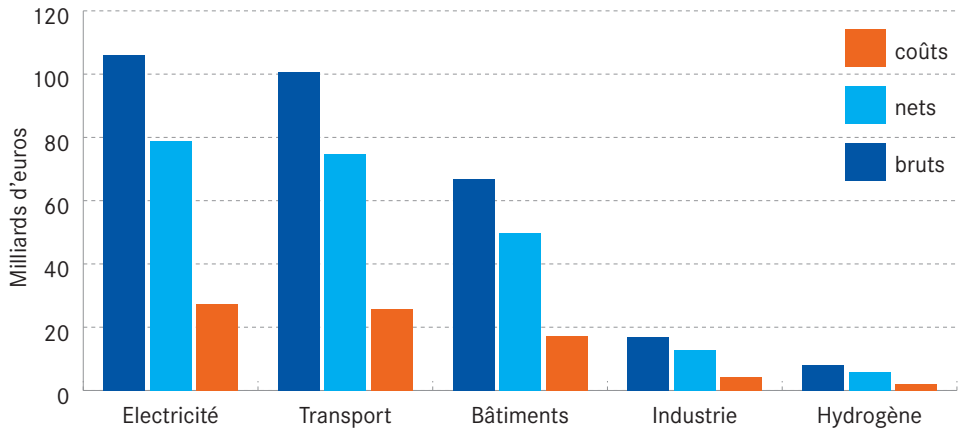
Bénéfices et coûts

Figure 12. Bénéfices et coûts pour la France et pour l'Union européenne par secteur, issus de la décarbonation unilatérale européenne

a. France



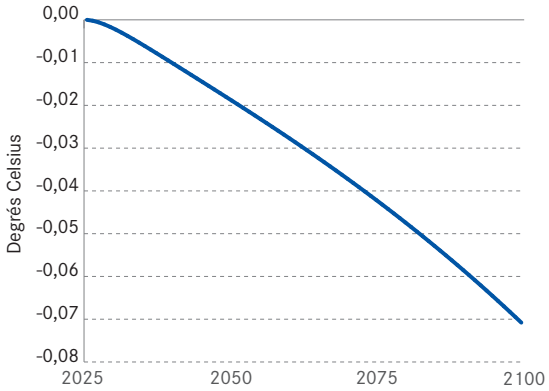
b. Union européenne



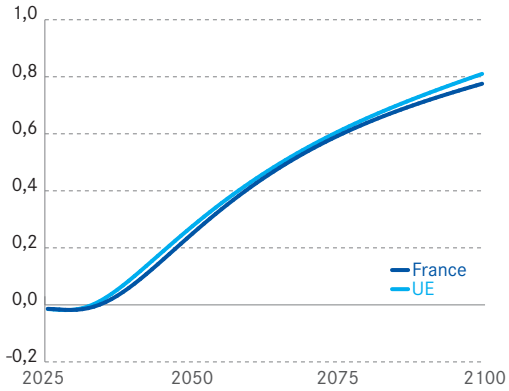
Note : Les coûts pour la France sont calculés proportionnellement à sa part dans le PIB de l'Union européenne.

Figure 13. Température et PIB par habitant sous décarbonation unilatérale de l'Union européenne

a. Différence de température globale



b. France et Union européenne



Note : Température additionnelle (mondiale) et variation du PIB par habitant (France et Union européenne) sous décarbonation unilatérale menée par l'Union européenne. Dommages estimés à partir de la température mondiale.

conseil d'analyse économique

Le Conseil d'analyse économique, créé auprès du Premier ministre, a pour mission d'éclairer, par la confrontation des points de vue et des analyses de ses membres, les choix du gouvernement en matière économique.

Président délégué Xavier Jaravel

Secrétaire général Augustin Vicard

Conseillers scientifiques
Jean Beuve, Samuel Delpeuch, Claudine Desrieux, Arthur Poirier

Économistes/Chargés d'études
Angela Gales, Nicolas Grimprel, Iris Laugier

Assistante du président délégué
Orkia Saïb

Membres Adrien Auclert, Emmanuelle Auriol, Antonin Bergeaud, Antoine Bozio, François Fontaine, Julien Grenet, Fanny Henriet, Xavier Jaravel, Florence Jusot, Sébastien Jean, Isabelle Méjean, Thomas Philippon, Vincent Pons, Xavier Ragot, Pauline Rossi, Alexandra Roulet, Katheline Schubert, Emmanuelle Taugourdeau, Jean Tirole

Correspondants
Dominique Bureau, Benoît Mojon, Anne Perrot, Aurélien Saussay, Ludovic Subran

Toutes les publications du Conseil d'analyse économique sont téléchargeables sur son site : **www.cae-eco.fr**

ISSN 2971-3560 (imprimé)
ISSN 2999-2524 (en ligne)

Directeur de la publication Xavier Jaravel

Directeur de la rédaction Augustin Vicard

Édition et contact presse Hélène Spoladore
helene.spoladore@cae-eco.fr – Tél. : 01 42 75 77 47